

გ. მახარაძე

**ელექტროენერგეტიკული
(ელექტრული)
სისტემები**

(მეორე გამოცემა)



**გამომცემლობა „უნივერსალი“
თბილისი 2015**

ელექტროენერგეტიკული (ელექტრული) სისტემები. 2015. – 470 გვ.

წიგნში გაშუქებულია ელექტროენერგეტიკული სისტემების ძირითადი თავისებურებანი და უპირატესობანი, დამყარებული რეჟიმების გაანგარიშების მეთოდები, მუშაობის საიმედოობისა და ეკონომიკურობის საკითხები, ელექტრული ქსელის დაპროექტების ელემენტები და საჰაერო საშვების მექანიკური ნაწილი.

წიგნში გადმოცემულია ყველა ის ძირითადი საკითხი, რაც გათვალისწინებულია ელექტროენერგეტიკული სპეციალობების სტუდენტებისთვის, რომელთაც შესაბამისი სასწავლო პროგრამებით ეკითხებათ დისციპლინები: „ენერგეტიკული სისტემები“, „ელექტროენერგიის გადაცემა და განაწილება“, „ენერგოსისტემების რეჟიმების ოპტიმალური მართვა“, „შორეული ელექტროგადაცემები“ და „ელექტრული ქსელების დაპროექტება“. წიგნში განხილულია შესაბამისი რიცხვითი მაგალითები, რაც აადვილებს თეორიული მასალის ათვისებას.

წინამდებარე წიგნი არის ამავე დასახელების წიგნის მეორე გამოცემა, გადამუშავებული და შევსებული.

რეცენზენტები: პროფ. მ. სულაძე
ინჟ. დ. ქერციკიძე

© გ. შახარაძე, ელექტროენერგეტიკული (ელექტრული) სისტემები,
გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2015

თბილისი, 0128, ი. ჯავახიშვილის გამზ. 1, ☎: 29 09 60, 8(99) 17 22 30
E-mail: universal@internet.ge

ISBN 978-9941-22-468-8

თავი 1. ენერგეტიკული სისტემები

1.1. შესავალი

ენერგეტიკული სისტემა მოიცავს ქვეყნის მთელ ტერიტორიას და წარმოადგენს ყველა იმ მოწყობილობა-დანადგარებისა და პროცესების ერთობლიობას, რაც დაკავშირებულია ყველა სახის ენერგორესურსის მოპოვება-გარდაქმნა-განაწილება-მომხმარებლასთან. მაშასადამე, ენერგეტიკული სისტემის შემადგენლობაში შედის ორთქლის ქვაბები, ტურბინები, გენერატორები, ბოილერები, ელექტროლი და თბური ენერგიების გადაცემის ხაზები და მაგისტრალები, ტრანსფორმატორები, ელექტროლი ქარავები, განათებისა და გამახურებელი ხელსაწყოები, დენის გარდამსახები, მანქანა-დანადგარები (ხარხები, ტუქბოები, ვენტილატორები და ა.შ.). ენერგეტიკულ სისტემას ასევე მიაკუთვნებენ ენერგორესურსების წყაროებს (ჰიდროენერგეტიკული რესურსი; ბუნებრივი აირის, თხევადი და მყარი საწვავის საბადოები; ატომბირთვის ენერგია და ა.შ.).

ენერგეტიკული სისტემის (ენერგოსისტემის) შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს ელექტროენერგეტიკული (ელექტრული) სისტემა, რომლის დანიშნულებაა ელექტრული ენერგიის გამომუშავება, გადაცემა და განაწილება.

ენერგოსისტემების ფუნქციონირება და განვითარება შეიძლება განხილული იქნეს სამ ასპექტში: ტექნიკო-ეკონომიკური; სოციალ-დემოგრაფიული; ეკოლოგიური. ამათგან პირველი უკავშირდება ახალი ეკონომიკური ტექნიკისა და ტექნოლოგიების სრულყოფასა და შექმნას, მეორე – ენერგეტიკის გავლენას ქვეყნის სოციალურ და პოლიტიკურ პროცესებზე, ხოლო მასამე – ენერგეტიკის გავლენას გარემოზე.

მიღწევები ენერგეტიკის განვითარებაში გავლენას ახდენს სოციალურ პროგრესზე და გარკვეულ წილად განსაზღვრავს ქვეყნის ეკონომიკური და კულტურული განვითარების დონეს.

ელექტრული ენერგია უშუალოდ არ მოიხმარება. მანქანა-დანადგარებში მისი გადაქმნით მიიღება მომხმარებლისთვის სასურველი სახის ენერგია. კერძოდ, ელექტრონათურებში - სხივური ენერგია, ელექტროღუმელებში - თბური ენერგია, ელექტროძრავებში - მექანიკური ენერგია და ა.შ.

მეურნეობის ნებისმიერ დარგში ელექტრული ენერგიის ფართო გამოყენება განპირობებულია ამ სახის ენერგიის მკვეთრად გამოკვეთილი დადებითი თვისებებით: სისუფთავე; ტრანსპორტირების

სიადგილე და სისწრაფე; მომხმარებლებს შორის განაწილების სიმარტივე; სხვა სახის ენერგიად გარდაქმნის ფართო შესაძლებლობა და ა.შ.

თავისი მეშაობის სპეციფიკიდან გამომდინარე ენერგეტიკულ სისტემაში მუდამ მოითხოვება ენერგეტიკული ბალანსი, რომელიც გულისხმობს გამოშუშაებულ, მარგად მოხმარებული და დაკარგული ელექტროენერგიების სრულ რაოდენობრივ თანაფარდობას დროით, ტერიტორიულ და საწარმოო-დარგობრივ ჭრილში. ენერგეტიკული ბალანსი მუდმივად განვითარებადი ენერგეტიკული მეურნეობის დამახასიათებელი თავისებურებაა.

ფუნქციონირებისა და განვითარების თვალსაზრისით ენერგეტიკული სისტემა ხასიათდება მთელი რიგი სპეციფიური თავისებურებებით, რაც გამოიხატება შემდეგში:

ა) ელექტროენერგიის წარმოება, მისი გადაცემა და მოხმარება ანუ სხვა სახის ენერგიად გარდაქმნა ხორციელდება, პრაქტიკულად, დროის ერთსა და იმავე მომენტში. აქედან გამომდინარე, ელექტრულ სისტემაში დროის ნებისმიერ მომენტში მუდამ უნდა არსებობდეს აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა ზუსტი ბალანსი. წინააღმდეგ შემთხვევაში სისტემის მდგრადი მუშაობა გამორიცხებულია. მაშასადამე, სისტემაში მუდამ უნდა გაგვანდეს სიმძლავრის სათანადო რეზერვი და შესაბამისი მარეგულირებელი მოწყობილობები. სწორედ ეს თავისებურება მიუთითებს მას, რომ ენერგეტიკული სისტემა თავისი, ტერიტორიულად დიდ მანძილზე დაშორებული ცალკეული რგოლებითა და ელემენტებით, წარმოადგენს ერთ მთლიან მექანიზმს;

ბ) ელექტრულ სისტემაში ტექნოლოგიური პროცესები მიმდინარეობს ძალიან სწრაფად, თითქმის სინათლის სიჩქარით. აქედან გამომდინარე, ელექტრული სისტემის ნორმალური ფუნქციონირებისთვის საჭიროა სწრაფმოქმედი სპეციალური ავტომატური მოწყობილობები, რომელთა დახმარებით თავიდან ავიცილებთ სისტემაში წარმოქმნილი ავარიის შემდგომ განვითარებას. ამ ავტომატიკის გაწყობა და შესაბამისი პარამეტრების შერჩევა შეუძლებელია ჩატარდეს მთელი სისტემის, როგორც ერთიანი მექანიზმის, თითქმის ყველა ელემენტის გათვალისწინების გარეშე;

გ) ელექტრული სისტემა მჭიდრო კავშირშია მეურნეობის ყველა დარგთან და, აქედან გამომდინარე, სისტემის მუშაობისას წარმოქმნილი ნებისმიერი შემფოთება მომენტალურად და, ამასთან, მტკივნეულად შეიგრძნობა მომხმარებელთა მხრიდან. ეს თავისებურება აქტუალურს ხდის მომხმარებელთა კვების საიმედოობის საკითხს, რაც თავის მხრივ მოითხოვს ეკონომიკურად

მიწანაშენიან რეზერვს ენერგიის წარმოება-გადაცემა-განაწილების ყველა რგოლში;

დ) სისტემის ცალკეული ელემენტის მუშაობის რეჟიმები ურთიერთდამოკიდებულებაშია. აქედან გამომდინარე, რაიმე შემთხვევა ელექტროენერგიის გადაცემისას იმავდრიულად გავლენას ახდენს ენერგიის წარმოების პროცესზე ელექტროსადგურებში (ელექტროგენერატორებში) და ენერგიის მოხმარების რეჟიმზე ენერგომიმღებებთან;

ე) ენერგოსისტემის განვითარების დაგეგმვისას ამა თუ იმ ახალი ელემენტის პარამეტრების შერჩევა შეუძლებელია მისი მომავალი რეჟიმისა და სისტემის სხვა უკვე არსებულ ელემენტებთან კავშირის გათვალისწინების გარეშე. აქედან გამომდინარე, ენერგეტიკული სისტემა მიეკუთვნება დიდი სისტემების ჯგუფს, რომელთა ფუნქციონირების ანალიზი შესაძლებელია მხოლოდ სისტემური მიდგომის საფუძველზე. დიდი სისტემების დამახასიათებელ თვისებებს შორის შეიძლება აღვნიშნოთ: ორგანიზებულიობა და მართვადობა; იერარქიულობა და ურთიერთ კავშირი; მრავალკრიტერიულობა; ფუნქციონირებისა და განვითარების მრავალფეროვნება; განვითარების მდგრადი დინამიზმი და სხვ. სწორედ ამ თვისებებით ხასიათდება ენერგეტიკული სისტემები.

ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში შეიძლება გამოვყოთ მოწყობილობათა სამი ჯგუფი: ელექტრული ენერგიის წარმოების მიხედვით – ელექტრული სადგურები (კვების წყაროები), ელექტროენერგიის გადაცემა-განაწილების მიხედვით – ელექტრული ქსელები: ელექტრული ენერგიის მოხმარება-გამოყენების მიხედვით – ელექტრომომღებები (მომხმარებლები).

ელექტრული ენერგიის მიღება წარმოებს ელექტროსადგურებზე, რომლებიც გამოყენებული პირველადი ენერგორესურსის მიხედვით შეიძლება იყოს:

- თბოელექტროსადგურები (თესი), სადაც პირველადი ენერგორესურსის სახით გამოიყენება ბუნებრივი აირი, თხევადი ან მყარი საწვავი;

- ჰიდროელექტროსადგურები (პესი), სადაც პირველადი ენერგორესურსის სახით გამოიყენება წყლის პოტენციური ენერგია;

- ატომური ელექტროსადგურები (აესი), სადაც პირველადი ენერგორესურსების სახით გამოიყენება ატომბირთვის დაშლის შედეგად მიღებული თბური ენერგია.

აღნიშნული სახის ელექტროსადგურებს დიდი ხნის ისტორია აქვთ და ფართოდ გავრცელებულია მსოფლიოს ყველა ქვეყანაში. აქედან

გამომდინარე, მათ ელექტროენერგიის ტრადიციულ წყაროებს უწოდებენ.

მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში ექსპლუატაციაშია ისეთი ელექტროსადგურებიც, რომელთა მუშაობა დაფუძნებულია მზის თბური ენერგიისა და ქარის მექანიკური ენერგიის გამოყენებაზე. არსებობს აგრეთვე სხვა სახის ელექტროსადგურებიც.

ელექტროსადგურებისა და ელექტრომომხმარებელთა ერთ მთლიან ენერგეტიკულ სისტემად გაერთიანებას დიდი ეკონომიკური ეფექტი აქვს. კერძოდ: სიმძლავრის ჯამური რეზერვის სიდიდის შემცირება; პიდროელექტროსადგურების სიმძლავრისა და ენერგიის უფრო ეფექტური გამოყენება; ენერგოსისტემის ჯამური დადგმული სიმძლავრის შემცირება; ურთიერთ დახმარება რემონტებისა და ავარიების დროს და ა.შ.

12. ენერგეტიკული პროცესები ცვლადი დენის წრედში

მანქანას, რომელიც მაქანიკურ ენერგიას ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნის, ელექტრულ გენერატორს უწოდებენ. ელექტრული გენერატორის უმარტივესი მოდელის სახით შეიძლება განვიხილოთ მაგნიტურ ველში მბრუნავი გამტარი ჩარჩო (ნახ. 1.1,ა).

N-S მაგნიტურ ველში გამტარი ჩარჩოს ბრუნვისას ამ ჩარჩოს მიერ შემოსაზღვრული ფართის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იცვლება და მის ბოლოებს შორის წარმოიქმნება ცვლადი ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ე.მ.ძ.), რომელიც ჩარჩოს ბოლოებზე დამაგრებული სპეციალური რგოლებისა და მეხების გავლით ელექტრულ წრედში წარმოქმნის დროში ცვლად ელექტრულ დენს. ჩარჩოს თანაბარი ბრუნვისას ელექტრულ წრედში აღპრელი ელექტრომამოძრავებელი ძალა და დენი იქნება სინუსოიდური (ნახ.1.2,ბ), რომელთა მყისა მნიშვნელობებს ნაწერენ შემდეგი სახით

$$e = E_{\text{მძ}} \cdot \sin \omega t = E_{\text{მძ}} \cdot \sin 2\pi f t \quad \text{და} \quad i = I_{\text{მძ}} \cdot \sin(\omega t - \varphi),$$

სადაც:

$E_{\text{მძ}}$ - ელექტრომამოძრავებელი ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა (ამპლიტუდა);

$I_{\text{მძ}}$ - დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა (ამპლიტუდა);

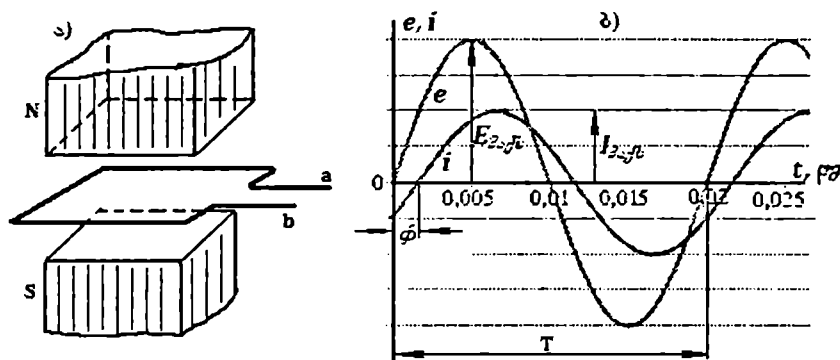
$\omega = 2\pi f$ - ცვლადი დენის კუთხური სიხშირე, 1/წმ;

f - დენის ცვლილების სიხშირე, პერცი;

φ - ელექტრომაგნიტური ძალისა და დენის ცვლილებებს შორის ფაზური ძეგრა (ძერის კუთხე);
 ცვლადი დენის სიხშირის შებრუნებული სიდიდე დენის ცვლილების პერიოდს წარმოადგენს

$$T = \frac{1}{f} \text{ წმ.}$$

საქართველოში და მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში გამოყენებული სამფაზა ცვლადი დენის სიხშირე $f=50$ პერცს, რომელსაც სამრეწველო სიხშირეს უწოდებენ. მაშასადამე, 50 პერცი ცვლადი დენის პერიოდი $T=0,02$ წამს (ნახ.1.1,ბ).



1.1. ცვლადი დენის მიღება: ა) ელექტრული გენერატორის უმარტივესი მოდელი; ბ) სინუსოიდური ე.მ.ძ. და დენი

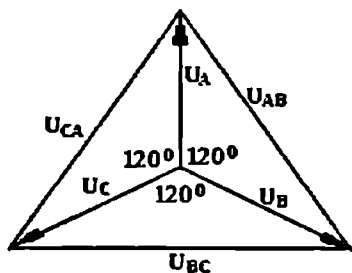
სამფაზა ცვლადი დენის შემთხვევაში გვაქვს სამი ელექტრომაგნიტური ძალისა და, შესაბამისად, სამი ფაზური ძაბვა, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ დაძრულია 120° -ით:

$$u_A = U_{A, \text{მკ}} \sin \omega t,$$

$$u_B = U_{B, \text{მკ}} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

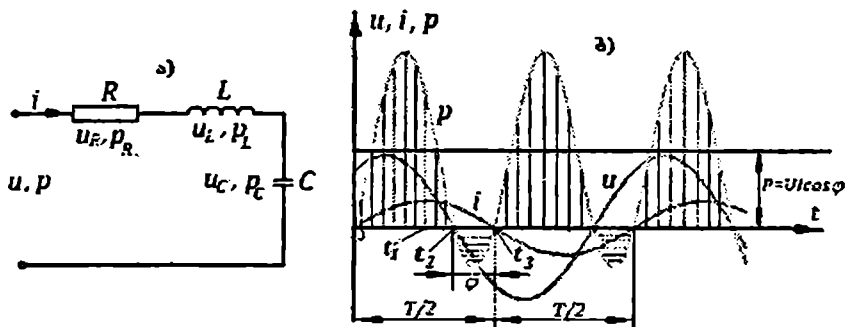
$$u_C = U_{C, \text{მკ}} \sin(\omega t - 240^\circ).$$

სინუსოიდური ე.მ.ძ., ძაბვა და დენი ხასიათდებიან მოქმედი მნიშვნელობებით, რაც მათ შესაბამის ამპლიტუდურ (მაქსიმალურ) მნიშვნელობაზე $\sqrt{2}$ -ჯერ ნაკლებია. ნახ. 1.2-ზე ნაჩვენებია ძაბვითა სამფაზა სისტემის ვექტორული დიაგრამა.



ნახ. 12. ძაბვათა სამფაზა სისტემა:
 $U_A = U_B = U_C = U_{\phi}$ – ფაზური ძაბვები;
 $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L$ – ხაზური ძაბვები.
 $U_L = \sqrt{3} U_{\phi}$

ელექტრულ წრედში ჩართული ელემენტები (ხაზები, ტრანსფორმატორები, და ა.შ.), ძირითადად, სამი სახის გრძივი პასიური პარამეტრებით ხასიათდებიან (ნახ.1.3,ა): R წინააღობით (რეზისტორი), რომელშიც შეუქცევადი პროცესი მიმდინარეობს – ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება მომხმარებლისთვის სასურველ ენერგიად; L ინდუქციურობით (ინდუქციური კოჭა), რომელშიც მიმდინარეობს მაგნიტური ველის ენერგიის დაგროვება-გაცემის პროცესი; C ტევადობით (კონდესატორი), რომელშიც მიმდინარეობს ელექტრული ველის ენერგიის დაგროვება-გაცემის პროცესი.



ნახ. 13: ა) ცელადი დენის R, L, C წრედი; ბ) დენის (i), ძაბვის (u) და სიმძლავრის (p) მყისი მნიშვნელობების ცვლილების გრაფიკი.

ცელადი დენის წრედში მყისი სიმძლავრე $p = u \cdot i$ წარმოადგენს დროის ფუნქციას, რომელიც ამ წრედის ცალკეულ უბნებზე (ელემენტებზე) მყისი სიმძლავრეების ჯამის ტოლია:

$$p = u \cdot i = p_R + p_L + p_C = i^2 r + \frac{d}{dt} W_{\text{მგ}} + \frac{d}{dt} W_{\text{ელ}},$$

სადაც:

- სიმძლავრე $p_R = I^2 \cdot R$ ხასიათდება მედამ დადებითი მნიშვნელობით და წარმოადგენს ენერგიის მოხმარების შეუქცევად პროცესს. მას აქტიურ სიმძლავრეს უწოდებენ;
- სიმძლავრე $p_L = \frac{d}{dt} W_{\text{მეფ}}$ განსაზღვრავს წრედის ინდუქციური ელემენტი მაგნიტურ ველში ენერგიის შემოსვლის სინქარეს, როცა $p_L > 0$ და ამ ეულიდან ენერგიის გამოსვლის (დაბრუნების) სინქარეს, როცა $p_L < 0$;
- სიმძლავრე $p_C = \frac{d}{dt} W_{\text{ელ}}$ განსაზღვრავს წრედის ტევადური ელემენტის ელექტრულ ველში ენერგიის შემოსვლის სინქარეს, როცა $p_C > 0$ და ამ ეულიდან ენერგიის გამოსვლის (დაბრუნების) სინქარეს, როცა $p_C < 0$.

13,6 ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტრული წრედში დენის, ძაბვის და სიმძლავრის მყისი მნიშვნელობების ცვლილების გრაფიკი, რომელიც აგებულია $U_L > U_C$ შემთხვევისთვის. ამ შემთხვევაში დენისა და ძაბვის მყისა მნიშვნელობები ჩაიწერება შედეგ სახეში

$$i = I_{\text{მეფ}} \cdot \sin \omega t \quad \text{და} \quad u = U_{\text{მეფ}} \cdot \sin(\omega t + \varphi).$$

ამ გამოსახულებათა თანახმად, გვაქვს

$$p = u \cdot i = U_{\text{მეფ}} \cdot I_{\text{მეფ}} \sin(\omega t + \varphi) \cdot \sin \omega t = UI \cdot \cos \varphi + UI \cdot \cos(2\omega t + \varphi),$$

სადაც $U = \frac{U_{\text{მეფ}}}{\sqrt{2}}$ და $I = \frac{I_{\text{მეფ}}}{\sqrt{2}}$ წარმოადგენს ძაბვისა და დენის ეფექტურ (მოქმედ) მნიშვნელობებს.

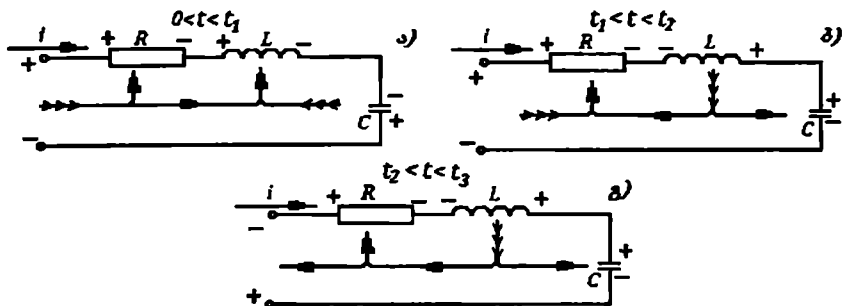
ამრიგად, ცვლადი დენის სიმძლავრე შეიცავს ორ შემდგენს, რომელთაგანაც ერთი $P = UI \cdot \cos \varphi$ სიმძლავრე ენერგეტიკული თვალსაზრისით მონაწილეობს შეუქცევად პროცესში და იხარჯება R წინააღობაში სითბოს, მექანიკური ან სხვა ენერგიის სახით (მუდამ დადებითია). მას აქტიურ სიმძლავრეს უწოდებენ. მეორე შემდგენი $UI \cdot \cos(2\omega t + \varphi)$, რომელიც ირხევა 2ω კუთხური სიხშირით, დენის რსევის ერთი ნახევარი პერიოდის გარკვეულ ინტერვალში როგორც დენის წყაროდან, ასევე ტევადური ელემენტიდან შედის წრედის ინდუქციურ ელემენტში (როცა $p_L > p_C$) და დროის შემდგომ ინტერვალში ინდუქციური ელემენტიდან ნაწილი გადადის ტევადობაში და ნაწილი ბრუნდება დენის წყაროში.

მეორე ნახევარი პერიოდის განმავლობაში აღნიშნული ენერგეტიკული პროცესი იმავე მიმდევრობით მეორდება.

ცვლადი დენის წრედის იმ სიმძლავრეს, რომელიც შეუქცევად ენერგეტიკულ პროცესში არ მონაწილეობს, რეაქტიული (პასიური) სიმძლავრე ეუწოდოთ და, აქტიური სიმძლავრის ანალოგიით, ჩაუწეროთ $Q=U I \sin \varphi$ სახეში. რეაქტიული სიმძლავრის მიმართ სარგებლობენ ანალოგიური ცნებით, როგორც აქტიურის მიმართ, თუმცა ის თავისი ფიზიკური თვისებებით რადიკალურად განსხვავდება აქტიური სიმძლავრისაგან.

ენერგეტიკული პროცესი, რომელიც მიმდინარეობს დენის რხევის პირველ ნახევარ პერიოდში ანუ $(0, t_3)$ დროის ინტერვალში, ნაჩვენებია ნახ.1.4-ზე.

1.4.ა ნახაზი შეესაბამება $(0, t_1)$ დროის ინტერვალს, როცა წრედში დენი იზრდება ნულიდან თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე. დროის ამ ინტერვალში ენერგია გროვდება ინდუქციურ ელემენტში, ხოლო კონდენსატორში დაგროვილი ენერგია ბრუნდება უკან და გადადის ინდუქციური ელემენტის მაგნიტური ველის ენერგიაში. ამ პერიოდში მიმდინარეობს კონდენსატორის განმუხტვა. რადგანაც, მოცემულ შემთხვევაში $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ და შესაბამისად $p_L > p_C$, ინდუქციურ ელემენტში დამატებითი ენერგია შედის წყაროდან. აგრეთვე, დროის ამ შუალედში წყაროდან წრედში შემოდის ის აქტიური ენერგია, რომელიც მოიხმარება R წინაღობის მიერ.



ნახ.1.4. ენერგეტიკული პროცესი ცვლადი დენის წრედში.

1.4.ბ ნახაზი შეესაბამება (t_1, t_2) დროის ინტერვალს, როცა წრედში დენი მცირდება და ინდუქციური ელემენტის მაგნიტურ ველში დაგროვილი ენერგია იწყებს უკან დაბრუნებას, რომლის ნაწილი გადადის ტეჟადობაში ელექტრული ველის ენერგიის

სახით (ამ დროს კონდესატორი იმუხტება), ხოლო ნაწილი გადადის R წინაღობაში და გამოიყოფა სითბოს სახით. დროის ამ ინტერვალში დენი ჯერ კიდევ დიდია და R წინაღობაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა იმდენად დიდია, რომ მის შესახებ წყაროდან წრედში შემოდის დამატებითი ენერგია.

1.4.გ ნახაზი შეესაბამება (t_2, t_3) დროის ინტერვალს, როცა წრედში დენი მნიშვნელოვნად მცირდება და R წინაღობაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა იმდენად შემცირდა, რომ ინდუქციური ელემენტის მაგნიტურ ველში დაგროვილი ენერგია უკან ბრუნდება არა მარტო C ტევადობასა და R წინაღობაში, არამედ კვების წყაროშიც. დროის ამ ინტერვალში $P < 0$, ე.ი. წყარო ქსელიდან იღებს ენერგიას.

ამრიგად, დენის რხევის პირველ ნახევარ პერიოდში მთავრდება წრედში ენერგიის რხევის ერთი ციკლი. მეორე ნახევარ პერიოდში წრედში ენერგეტიკული პროცესი, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მეორდება იმავე მიმდევრობით. ამასთან, ყოველ ნახევარ პერიოდში გენერატორის მიერ გამოუმუშავებული აქტიური ენერგია მოიხმარება წრედის R წინაღობაში გამოიყოფილი სითბოს სახით, ხოლო რეაქტიული ენერგია ცირკულირებს გენერატორსა და წრედის L და C ელემენტებს შორის.

ცვლადი დენის სამფაზა სიმეტრიული სისტემისთვის სრული სიმძლავრის ნაწერის მოხერხებული ფორმაა

$$\underline{S} = \sqrt{3} \underline{U} \cdot \underline{I}^* = P + jQ, \text{ მგვ.} \quad (1.1)$$

სადაც: $\underline{I}$ - დენის კომპლექსური მნიშვნელობა, კა; $\underline{U}$ - ხაზური ძაბვის კომპლექსური მნიშვნელობა, კვ; P - აქტიური სიმძლავრე, მგვტ; Q - რეაქტიული სიმძლავრე, მგვარ.

აქტიური სიმძლავრე (მისი უცვლელი მნიშვნელობისას) გამრავლებული დროზე გვაძლევს ელექტრული ენერგიის რაოდენობას ამ დროში

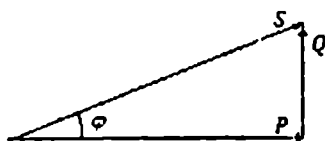
$$\mathcal{E} = P \cdot t.$$

რეაქტიული სიმძლავრე წარმოადგენს ცვლადი დენის წრედში ენერგიის მიმოცვლის მახასიათებელი სურათის შემავსებელ სიდიდეს.

(1.1) გამოსახულების შესაბამისად, შეიძლება ავაგოთ სიმძლავრეთა სამკუთხედი (ნახ. 1.5.), რომლის მიხედვით გვაქვს:

$$S^2 = P^2 + Q^2; P = S \cdot \cos \varphi; Q = S \cdot \sin \varphi; Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

სადაც: $\cos \varphi$ - აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტი; $\operatorname{tg} \varphi$ - რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტი; φ - ძერის კუთხე ძაბვისა და დენის ვექტორებს შორის.



ნახ. 15. სიმძლავრის სამკუთხედი:

P - აქტიური სიმძლავრე;

Q - რეაქტიული სიმძლავრე;

S - სრული სიმძლავრე;

φ - დენისა და ძაბვის ვექტორებს შორის კუთხე.

13. ელექტრული ენერგიის გადაცემის პრინციპული სქემა

ელექტროსადგურებიდან მომხმარებელამდე ელექტრული ენერგიის გადაცემას თან ახლავს სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგები ელექტროგადაცემის ხაზებსა და გრანსფორმატორებში

$$\Delta P = 3 I^2 R \quad \text{და} \quad \Delta U = \sqrt{3} I Z,$$

სადაც:

ΔP - აქტიური სიმძლავრის დანაკარგი ელექტროგადაცემაში;

ΔU - ძაბვის ვარდნა ამავე გადაცემაში;

I, I - დატვირთვის დენის მოდული, კომპლექსური მნიშვნელობა;

$Z = R + jX$ - გადაცემის სრული წინაღობა;

R, X - ელექტროგადაცემის აქტიური და რეაქტიული წინაღობა.

თუ ამ ფორმულებში დატვირთვის დენს შევცვლით დატვირთვის

სიმძლავრით

$$I = \frac{P - jQ}{\sqrt{3}U} \quad \text{ანუ} \quad I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U},$$

მივიღებთ

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \quad \text{და} \quad \Delta U = \frac{PR + QX}{U}$$

სადაც:

P - დატვირთვის აქტიური სიმძლავრე;

Q - დატვირთვის რეაქტიული სიმძლავრე;

ΔU - ძაბვის დანაკარგი ელექტროგადაცემაში (ძაბვის ვარდნის გრძივი შემდგენი);

U - ელექტროგადაცემის მუშა ძაბვა.

ანუ პროცენტებში

$$\Delta P\% = \frac{P(1 + \text{tg}^2 \varphi)}{U^2} R \cdot 100 \quad \text{და} \quad \Delta U\% = \frac{P(R + X \text{tg} \varphi)}{U^2} \cdot 100,$$

აქ: $\text{tg} \varphi$ - რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტი, $\text{tg} \varphi = Q/P$;

$R = \frac{\rho \ell}{F}$ - ელექტროგადაცემის აქტიური (ოჰური) წინაღობა,

$X = x_0 \cdot \ell$ - ელექტროგადაცემის რეაქტიული წინაღობა;

ρ - სადენის მასალის სვედრითი წინაღობა;

ℓ - ელექტროგადაცემის სიგრძე;

F - სადენის განივი კვეთი;

x_0 - 1-კმ სიგრძის ხაზის რეაქტიული წინაღობა.

მაშასადამე, სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგების პროცენტული მნიშვნელობების საანგარიშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$\Delta P\% = \frac{P\ell}{U^2} \cdot \frac{(1 + \text{tg}^2 \varphi) \rho}{F} \cdot 100 \quad (12)$$

და

$$\Delta U\% = \frac{P\ell}{U^2} \left(\frac{\rho}{F} + x_0 \text{tg} \varphi \right) \cdot 100 \quad (13)$$

როგორც ამ გამოსახულებებიდან ჩანს, სხვა ერთნაირ პირობებში ელექტროგადაცემაში სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგების პროცენტული მნიშვნელობები გადასაყდნად სიმძლავრისა და ელექტროგადაცემის სიგრძის პროპორციულად იზრდება. ძაბვასთან მიმართებაში კი დანაკარგები ძაბვის კუადრატულპროპორციულად მცირდება.

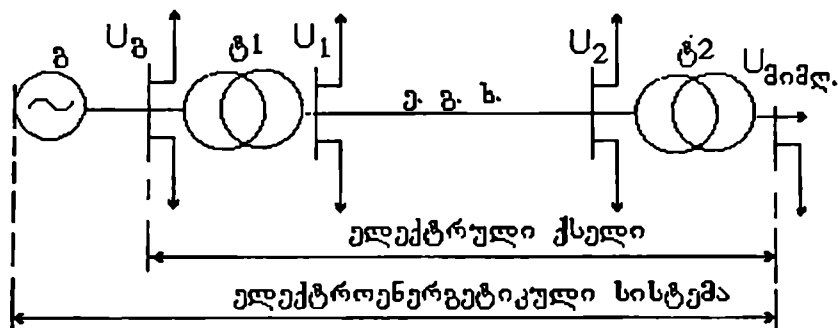
ელექტროენერგიის მიმღების მუშაობის რეჟიმი გათვლილია ძაბვის გარკვეულ მნიშვნელობაზე. ამ მნიშვნელობიდან ძაბვის გადახრისას მომხმარებლის მუშაობის ეკონომიკური მაჩვენებლები უარესდება. გარდა ამისა, ელექტროგადაცემაში ელექტრული ენერგიის დანაკარგების დასაფარავად საჭიროა ელექტროსადგურებზე გაუმართლოთ პირველადი ენერგორესურსის ხარჯი, რაც უარყოფითად მოქმედებს ელექტროსისტემის მუშაობის ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე.

სინქრონული გენერატორები მზადდება შედარებით დაბალ ნომინალურ ძაბვაზე (27 კვ-მდე). შედარებით დიდ მანძილზე (რამდენიმე ათეული კმ და მეტი) შეადრებით დიდი სიმძლავრის (რამდენიმე ათეული თუ ასეული მგვტ და მეტი) გადაცემისას სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგების შემცირების მიზნით ეკონომიკურად უფრო მიზანშეწონილი აღმოჩნდა ამაღლებული ძაბვის გამოყენება.

აქედან გამომდინარე, ელექტრული ენერგიის გადაცემის პრინციპულ სქემაში გადაცემის თავსა და ბოლოში ჩართულია სამაღლებელი და სადაბლებელი გრანსფორმატორები (ნახ.1.6).

ამ სქემის თანახმად ელექტროსადგურებზე წარმოებული ელექტრული ენერგიის ნაწილი შეიძლება გადაცემული იქნეს შედარებით დაბალ

ძაბვაზე, ხოლო დანარჩენი ნაწილი კი ამაღლებული ძაბვის საშუალებით გადაეცემა შედარებით შორ მდებარე მომხმარებლებს. გადაცემის მიმღებ ბოლოში სდება ძაბვის დადაბლება მიმღებისთვის საჭირო დონემდე.



ნახ. 1.6. ელექტრული ენერგიის გადაცემის პრინციპული სქემა:
გ-ელექტრული გენერატორი; ტ1, ტ2-სამაღლებელი და
სადაბლებელი ტრანსფორმატორები; ე.გ.ხ.-ელექტროგადაცემის ხაზი;
Uგ-გენერატორის ძაბვა; U_1, U_2 - ძაბვები ხაზის თავსა და ბოლოში;
 $U_{\text{მიმღ}}$ - ელექტრომიმღების ძაბვა

1.4. ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვები და მათი გამოყენების ფარგლები

ელექტრომოწყობილობებისა და დანადგარების ნომინალური ძაბვა ეწოდება ძაბვის იმ მნიშვნელობას, რომელზედაც გაანგარიშებულია და დამზადებულია მოცემული მოწყობილობა-დანადგარი ნორმალურ რეჟიმში ხანგრძლივი და ეფექტური მუშაობისთვის. ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვის სიდიდე გავლენას ახდენს მის ტექნიკურ მახასიათებლებზე – გადაცემის ზღვრული სიმძლავრე, ზღვრული სიგრძე, სიმძლავრისა და ენერგიის დანაკარგები, ძაბვის დანაკარგები და სხვა.

ელექტროგადაცემის ამა თუ იმ ხაზის ნომინალური ძაბვის ოპტიმალური მნიშვნელობის განმსაზღვრელი ფაქტორებია: მაქსიმალური გადასაცემი სიმძლავრე; ხაზის სიგრძე; სიმძლავრისა და ენერგიის გადაცემის რეჟიმი; ხაზში დაკარგული ენერგიის ღირებულება; მოწყობილობათა ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლები; არსებული ქსე

ლის განვითარების დონე; ქსელში არსებული ხაზების ნომინალური ძაბვის საფეხური და სხვა.

ხაზის ნომინალური ძაბვის დადგენა რთულ გექნიკურ-ეკონომიკურ ამოცანას წარმოადგენს, რომლის გადაჭრა დაკავშირებულია სადენის განიკეეთის, ფაზაში სადენების რაოდენობის, ჯაჭვთა რიცხვის შერჩევასთან და მოითხოვს კომპლექსურ გადაწყვეტას. შედარებით დაბალი ნომინალური ძაბვის ხაზი უფრო იაფია, მაგრამ ენერგიის დიდი დანაკარგების გამო ხასიათდება ამაღლებული საექსპლუატაციო ხარჯებით. მაღალი ნომინალური ძაბვის შემთხვევაში მცირდება ენერგიის დანაკარგები, გაშვარი მასალის ხარჯი (გარდა იმ შემთხვევებისა, როცა სადენის განიკეეთი ხაზზე შერჩეულია საერთო გვირგვინის თავიდან აცილების მიზნით (§2.4), მარტივდება ელექტრული ქსელის შემდგომი განვითარების ამოცანა, მაგრამ იზრდება მშენებლობა-მონტაჟისა და მომსახურების ხარჯები.

1.1 ცხრილში მოცემულია საერთაშორისო ელექტროგექნიკური კომისიის მიერ რეკომენდირებული 50 პერცე სიხშირის ცვლადი დენის დანადგარების სტანდარტული ხაზური ძაბვები.

სინქრონული გენერატორების ნომინალური ძაბვა მასთან მიერთებულ ქსელში ძაბვის დანაკარგების კომპენსაციის მიზნით, ამ ქსელის ნომინალურ ძაბვასთან შედარებით ამაღლებულია 5%-ით. გარდა ცხრილში ნაჩვენები ძაბვებისა მძლავრი სინქრონული გენერატორებისთვის მიღებულია კიდევ შემდეგი ნომინალური ძაბვები: 13,8; 15,75; 18; 24 და 27 კე.

გრანფორმატორებისა და ავტოგრანფორმატორებისთვის სტანდარტით გათვალისწინებულია ძაბვათა ორი სკალა: გრანფორმატორებისთვის, რომლებიც აღჭურვილია დაგვირთვის ქვეშ რეგულირებით (РПН რეგულირება) და გრანფორმატორებისთვის, რომლებზედაც ძაბვის მარეგულირებელი გამომყვანების გადართვა წარმოების მხოლოდ გრანფორმატორის ქსელიდან ამორთვის შემდეგ (ПБВ რეგულირება).

გრანფორმატორები და ავტოგრანფორმატორები РПН რეგულირებით მზადდება მაღალი ძაბვის გრანფორმატორებზე მოწყობილი ძაბვის მარეგულირებელი გამომყვანებით. მათი სამუშაოებით შეიძლება ძაბვის რეგულირება გრანფორმატორის ქსელიდან ამორთვის გარეშე $\pm(12-16)\%$ -ს ფარგლებში 1,5-2% ბიჯით. ПБВ რეგულირებით ძირითადად მზადდება საგენერატორო ძაბვების სამაღლებელი გრანფორმატორები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ძაბვის რეგულირებას $\pm 2 \times 2,5\%$ -ს ფარგლებში.

**ცხრილი 1.1 - სამუაზა ცვლადი ღენის დანადგარების
ფაბრიკის (ხაზური) ნომინალური ძაბვები**

ნომინალური ძაბვა, კვ	გენერატორები და სინქრონული კომპენსა- ტორები	გრანსფორმატორები და ავტოგრანსფორმატორები				მაქსიმალური მუშა ძაბვა
		დაგეირთვის ქვეშ ძაბვის რეგული- რების გარეშე (ПДВ)		დაგეირთვის ქვეშ ძაბვის რეგული- რებით (РПН)		
		პირვე- ლადი გრადნი- ლი	მეორე- ული გრადნი- ლი	პირველ- ადი გრადნი- ლი	მეორე- ული გრადნი- ლი	
3	3,15	3; 3,15	3,15; 3,3		3,15	3,6
6	6,3	6; 6,3	6,3; 6,6	6,0; 6,3	6,6; 6,3	7,2
10	10,5	10; 10,5	10,5; 11	10,0; 10,5	11,0; 10,5	12,0
20	21,0	20	22	20; 21	22	24,0
35		35	38,5	35; 36,75	38,5	40,5
110			121	110; 115	115; 121	126
150			165	158	158	172
220			242	220; 230	230; 242	252
330		330	347	330	330	363
400		400	420	400		420
500		500	525	500		525
750		750	787	750		787
1150				1150		1200

გრანსფორმატორებისა და ავტოგრანსფორმატორების პირველადი და მეორეული გრადნილების ნომინალური ძაბვები შეესაბამება გრადნილის ძირითად (0%-იან) გამოყვანს უქმი სვლის რეჟიმში. საშუალო-
ბელი გრანსფორმატორის შემთხვევაში პირველადი გრადნილი წარ-
მოადგენს ენერგიის მიმღებს და ამიტომ, მისი ნომინალური ძაბვა მას-
თან მიერთებული გენერატორის ან მქვედავი ქსელის ნომინალურ ძაბ-
ვის ტოლია ან მაღალია მასზე 5%-ით. მეორეული გრადნილი, მასთან
მიერთებული ქსელისთვის, წარმოადგენს მქვედავ გრადნილს და ამი-
ტომ მისი ნომინალური ძაბვა, თვით გრანსფორმატორში და ქსელში
ძაბვის დანაკარგების გარეშე წილად კომპენსაციისთვის, აიღება
5-10%-ით უფრო მაღალი, ვიდრე ქსელის ნომინალური ძაბვა.

ცხრილი 12 მოცემულია სხვადასხვა ნომინალური ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზების ეკონომიკური დაგვირგევი და გადაცემის ზღვრული სიგრძე იმ განიკუთნის სადენებისთვის, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება ამ ძაბვის ხაზებზე.

ცხრილი 12 6-1150კვ ხაზების ეკონომიკური და დასაშვები დაგვირგევი და გადაცემის ზღვრული სიგრძე

ნომინალური ძაბვა, კე	სადენის განიკუთნო, მმ ²	ეკონომიკური დაგვირგევი, მგ/მ ($\gamma_{\text{კ}}=1,1$ ა/მმ ² , $\cos\phi=0,85$)	დასაშვები დაგვირგევი, მგ/მ ($\theta_{\text{კ}}=25^{\circ}\text{C}$, $\cos\phi=0,85$)	გადაცემის ზღვრული სიგრძე, კმ ($P=P_{\text{კ}}$, $\text{tg } \phi = 0,65$)		
				მ.ქ.კ.		ძაბვის დასაშვები დანაკარგი $\Delta U=5\%$
				0,9	0,98	
6	25-50	0,25-0,50	1,2-2,4	8	1,6	4,8-4,2
10	25-50	0,40-0,80	2,4-4,0	14	2,8	8,1-7,0
20	25-70	0,80-2,30	4,1-5,6	28	5,6	16,2-12,5
35	25-95	1,43-5,42	8,2-17,0	48	9,6	28,3-19,5
110	70-185	12,6-33,2	43,9-82,5	152	30,4	68,9-43,7
150	150-300	36,7-73,2	99,3-152,2	207	41	67,1-43,6
220	240-400	86,1-143,3	232,2-316	304	61	74,4-51,9
330	2X240-2X400	258,2-430	592-805	455	91	-
400	3X300-3X500	685-1140	1235-1667	470	95	-
500	3X300-3X500	733-1223	1544-2084	690	138	-
750	4X300-4X500	1467-2445	3088-4235	1040	204	-
1150	8X300-8X500	4500-7500	9470-12987	1600	320	-

დაბალი ძაბვის მანაწილებელ ქსელში გამოიყენება 380 და 600 ვ ნომინალური ძაბვა. 380 ვ გავრცელებულია საქალაქო და სასოფლო ქსელების კარე და შიგა განათების სისტემებში და, აგრეთვე, მცირე

სიმძლავრის ძრავული მომხმარებლების კეებისთვის. 600 ვ ნომინალური ძაბვა გამოიყენება მხოლოდ ძალოვანი დაგვირთვის კეებისთვის.

3, 20 და 150 კვ ძაბვები ნაკლებად გამოყენებულია და ახლადპროექტირებისას არარეკომენდირებულია. 6-10 კვ ძაბვაზე აიგება ქალაქების, სოფლებისა და სამრეწველო საწარმოთა ელექტრომომარაგების ქსელები, რომელიც გამოიყენება, ძირითადად, 380 ვ ძაბვის კეების ცენტრების შესაქმნელად. 10 კვ ძაბვის ქსელი უფრო ფართოდაა გაცრელებული, ვიდრე 6კვ. ეს უკანასკნელი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა სამრეწველო საწარმოთა ელექტრულ ძრავებს გააჩნიათ ამ საფეხურის ნომინალური ძაბვა.

35 კვ ძაბვა გამოიყენება ძირითადად სოფლის ადგილებში 6-10 კვ ძაბვის კეების ცენტრების შესაქმნელად (გრანსფორმატორები 35/0,38 კვ ძაბვაზე იშვიათად მზადდება).

110 კვ ძაბის გამოყენებით ხორციელდება ქალაქების, სამრეწველო საწარმოთა, ელექტროფიცირებული რკინიგზის მომხმარებელთა ელექტრომომარაგება, შედარებით მცირე სიმძლავრის ელექტროსადგურებიდან სიმძლავრის გაცემა და, ზოგჯერ, სოფლის ადგილებში უფრო დაბალი ძაბვის კეების ცენტრების შექმნა.

220 კვ ძაბვა გამოიყენება 110 კვ ძაბვის კეების ცენტრების შესაქმნელად და საშუალო სიმძლავრის ელექტროსადგურებიდან სიმძლავრის გასაცემად.

330 კვ ძაბვა 500 კვ ძაბვის ექსპლუატაციაში შეყვანამდე გამოიყენებოდა სისტემაწარმოქმნელი ქსელის ასაგებად, მძალერი ელექტროსადგურებიდან სიმძლავრის გასაცემად და სისტემათაშორისი კავშირებისთვის. მომხმარებელთა დაგვირთვის და ელექტროსადგურების სიმძლავრეთა ზრდასთან ერთად 330 კვ ძაბვა თანდათან კარგავს სისტემაწარმოქმნელი ქსელისა და სისტემათაშორისი კავშირის ფუნქციას, რომელიც გადადის 400, 500 და 750 კვ ძაბვის ფუნქციებში. ზოგიერთ რეგიონებში (აზერბაიჯანი, დაღესტანი) 330 კვ ძაბვა ღელსაყწარმოადგენს სისტემაწარმოქმნელი ქსელის ძაბვას.

400-750 კვ ძაბვა გამოიყენება სისტემაწარმოქმნელი ქსელებისა და 220 კვ ძაბვის კეების ცენტრების შესაქმნელად, მძლავრი ელექტროსადგურებიდან სიმძლავრეთა გადასაცემად და სისტემათაშორისი კავშირებისთვის.

1150 კვ ძაბვის დანიშნულებაა დიდი სიმძლავრის (5000-8000 მგვტ) შორ მანძილზე (2000-3000 კმ) გადაცემა.

15. ელექტრული სისტემების რეჟიმები. მათლამი წყენებული მოთხოვნები და გაანგარიშების ამოცანები

ელექტრული სისტემის რეჟიმი ეს არის მისი გარკვეული მდგომარეობა (მდგრადი ან არამდგრადი), რომელიც განისაზღვრება სიმძლავრის, დენის, ძაბვის, სიხშირის და სხვა ფიზიკური სიდიდეებით, რომელთაც რეჟიმის პარამეტრები ეწოდება და რომლებიც დამახასიათებელია ელექტრული ენერგიის წარმოება-გადაცემა-განაწილების ტექნოლოგიური პროცესისთვის.

სისტემის რეჟიმის პარამეტრები პირობითად შეიძლება დაეყოთ: კვანძების რეჟიმის პარამეტრები (ძაბვა, სიხშირე, გენერაცია, დატვირთვა) და შგოს რეჟიმის პარამეტრები (დენი, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრე, ძაბვისა და სიმძლავრის დანაკარგები, გრანსფორმაციის კოეფიციენტი). სისტემის რეჟიმის პარამეტრები ცნობილია, როცა ცნობილია მისი ცალკეული კვანძისა და შგოს რეჟიმის მახასიათებელი პარამეტრები.

სისტემის რეჟიმი იცვლება მომხმარებელთა მუშაობის რეჟიმის შეცვლისა და სისტემაში წარმოქმნილი რაიმე შეშუოთების შედეგად. სისტემის რეჟიმი შეიძლება იყოს: ნორმალური დამყარებული, ნორმალური გარდამავალი, ავარიული გარდამავალი და ავარიის შემდგომი დამყარებული.

ნორმალური დამყარებული რეჟიმი ხასიათდება დროში ნელა ცვლადი პარამეტრებით, რომლის დროსაც როგორც ქსელის ელემენტების, ასევე, მომხმარებელთა მუშაობა დასაშეებ ფარგლებშია ანუ რეჟიმის მახასიათებელი პარამეტრების ნომინალურიდან გადახრა არ გამოდის წინასწარ დადგენილ ფარგლებს გარეთ.

ნორმალური დამყარებული რეჟიმი ხანგრძლივი რეჟიმი და ამ რეჟიმისადმი წყენებულ ძირითად მოთხოვნას წარმოადგენს მისი ეკონომიკურობა ანუ მინიმალური დანაკარგები ქსელში, მომხმარებელთან მიწოდებული ენერგიის მაღალი ხარისხი, პირველადი ენერგორესურსის მინიმალური ხარჯი, ქსელის ცალკეული ელემენტის მუშაობა მისთვის დასაშეებ რეჟიმში და ა.შ.

ნორმალურ გარდამავალ რეჟიმს ადგილი აქვს ქსელის სქემის შეცვლისას (ქსელის რომელიმე ელემენტის ჩართვა-გამორთვა), დიდი სიმძლავრის მომხმარებლის დატვირთვის რეჟიმის მკვეთრი ცვლილებისას, გენერაცია-მომხმარებლის ჩართვა-გამორთვისას. ამ რეჟიმისადმი წყენებულ ძირითად მოთხოვნას წარმოადგენს ჩასატარებელ ოპერაციათა სწორად წარმართვა, რომლის შედეგად გარდამავალი

პროცესი სწრაფად მთავრდება და გადადის რამდენადმე შეუცლილ, მაგრამ ახალ დამყარებულ რეჟიმში.

აღარიულ გარდამავალ რეჟიმს ადგილი აქვს ქსელში მოკლე შერთებისას, სისტემის სტატიკური მდგრადობის დარღვევისას, დანადგართა დაზიანებისას ან ოპერაციითა არასწორად წარმართვისას (შეცდომით ასინქრონული ჩართვა, ჩამიწებული ხაზის ჩართვა, შეცდომით ქსელის დატვირთული ელემენტის გამორთვა და სხვ.) ამ რეჟიმში რეჟიმის პარამეტრები იცელება სწრაფად და, შედარებით, დიდ ფარგლებში. ამ რეჟიმისადმი წაყენებულ ძირითად მოთხოვნას წარმოადგენს მისი სწრაფი ლიკვიდაცია ანუ ეს რეჟიმი უნდა იყოს ხანმოკლე, რაც უზრუნველყოფს დანადგართა უსაფრთხოებას, გამორიცხავს ავარიის შემდგომ განვითარებას, აამაღლებს მომხმარებელთა ენერგომომარაგების საიმედოობას და შეამცირებს ნორმალურიდან გადახრილი რეჟიმის პარამეტრების ხანგრძლივობას.

ავარიის შემდგომ დამყარებულ რეჟიმს ადგილი აქვს დაზიანებული ელემენტის (ან ელემენტების) ავარიულად გამორთვის შემდეგ. ამ რეჟიმში რეჟიმის მასასიათებელი პარამეტრების სიდიდე ბევრადაა დამოკიდებული ავარიული გარდამავალი რეჟიმის მიმდინარეობის ხასიათზე. ავარიის შემდგომ რეჟიმში ქსელისადმი წაყენებული ძირითადი მოთხოვნაა ნომინალური დამყარებული რეჟიმის აღდგენა უმოკლეს დროში.

ელექტრული სისტემების რეჟიმებისადმი წაყენებულ ძირითად მოთხოვნათა უზრუნველყოფა შესაძლებელია მხოლოდ შესაბამის ტექნიკურ-ეკონომიკურ ამოცანათა ამოსხნის შედეგების ანალიზის საფუძველზე, რომელთა ჩატარება აუცილებელია როგორც ქსელების პროექტირებისას, ასევე მათი ექსპლუატაციის პროცესში, რის საფუძველზეც დაისმება და გაანალიზდება იმ აუცილებელი დამატებითი ღონისძიებების გატარების საკითხი, რაც შექმნის ქსელისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესრულების პირობებს.

სადენში დენის გავლისას იზრდება მისი ტემპერატურა, რომლის დასაშვებზე მეტად ამაღლება იწვევს იზოლაციის დაჩქარებულ ცვეთას, შეერთების ადგილების დაზიანებას, საპაერო ხაზების მექანიკური სიმტკიცის შემცირებას. ყველაფერი ეს ზრდის ქსელის ავარიულობის ალბათობას. ამ გარემოებათა გამო ტარდება სადენებისა და კაბელების გაანგარიშება გახურებაზე, რომლის დროსაც დადგინდება მათი ის მინიმალური განივი კვეთი, რაც უზრუნველყოფს ამ სადენთა თბურ მედეგობას.

ქსელის ავარიულობა შეიძლება გამოიწვიოს, აგრეთვე, მისი ამა თუ იმ ელემენტის მექანიკური სიმტკიცის დარღვევამ. ამიგომ ელექტრული ქსელი უნდა გაანგარიშდეს მექანიკურ სიმტკიცეზე. ეს უფრო ესება სა-

ჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებს და ქვესადგურის მანაწილებელ მოწყობილობას. ამ გაანგარიშებისას დადგინდება საყრდენების, სადენებისა და სხვა ელემენტთა მექანიკური მუშაობის პირობები, მათზე მოქმედი მექანიკური დატვირთვები. გაანგარიშების საფუძველზე შემუშავდება კონსტრუქციული შესრულების სახე და შეირჩევა სათანადო მასალა, რაც უზრუნველყოფს მექანიკურ საიმედოობას.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილისა, ქსელებისთვის უნდა ჩატარდეს აგრეთვე გაანგარიშებები მოკლე შერთვის ღუნების, სისტემის მდგრადობის მარაგის, საპაერო ხაზების შესხედეგობისა და ა.შ. დადგენის თვალსაზრისით.

ელექტრული ქსელის პროექტირება წარმოებს რამდენიმე წლის წინსრებით, რის გამოც ანგარიშებისთვის საჭირო საწყისი ინფორმაციის სიზუსტე დაბალაღბათურია. ამ პირობებში ზუსტი გაანგარიშების ჩატარების მოთხოვნა გამართლებული არ არის. აქ საკმარისია დადგინდეს ის საჭირო სიდიდეები, რაც საშუალებას მოგეცემს გადაეწყვიტოთ ძირითადი საკითხები. კერძოდ, ქსელის კონფიგურაციის შერჩევა, ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვის დადგენა, სადენტო განიკუთვების შერჩევა და ა.შ. დამპროექტებლის ძირითადი ამოცანაა შექმნას ისეთი ქსელი, რაც უზრუნველყოფს მოთხოვნებს სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგების შესახებ, შესაძლებელი იქნება ქსელის ეკონომიკური ექსპლუატაცია და მისი შემდგომი განვითარება.

ექსპლუატაციის პროცესში ქსელის მუშაობის რეჟიმების ანალიზისას აუცილებელია გაანგარიშების მაღალი სიზუსტე. ეს მოთხოვნა შესრულებადია. რადგანაც ანგარიშებისთვის საჭირო საწყისი ინფორმაცია ცნობილია მაღალი სიზუსტით: მომხმარებელთა დატვირთვები, სადენტო განივი კვეთები, ხაზების სიგრძე, გრანსფორმატოროთა რიცხვი და ნომინალური სიმძლავრე და ა.შ.

ქსელის ელექტრული მდგომარეობა უწყვეტად იცვლება, რაც დაკავშირებულია სხვადასხვა მომხმარებელთა ჩართვა-გამორთვასთან და ასევე, მათი მუშაობის რეჟიმების ცვლილებასთან. ელექტრული მდგომარეობის უფრო მკვეთრი ცვლილება შეიძლება მანაწილებელ, განსაკუთრებით, სამრეწველო ქსელებში. ქსელის ჯამური დატვირთვის ზრდასთან ერთად აღნიშნული ცვლილებები ნაკლებად მკვეთრია და უფრო ექვემდებარება პროგნოზს. დატვირთვები იცვლება შედარებით მდორედ და მცირე ფარგლებში. დატვირთვების აღნიშნული სტაბილურობა უფრო შესაძენეია მაღალი ძაბვის მკვებავ ქსელებში. მიუხედავად ამისა, სისტემის ჯამური დატვირთვა მაინც სხვადასხვაა დღელამის სხვადასხვა საათზე. ყველა ეს მნიშვნელობები მოქცეულია გარკვეულ მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობათა შორის. ამიტომ სისტემის მაქსიმალური და მინიმალური დატვირთვების რეჟიმი

შეიძლება საკმარისი აღმოჩნდეს ქსელის მუშაობის რეკიმების დასახასიათებლად.

მაქსიმალური დაგვირთვის რეკიმში ქსელის თითქმის ყველა ელემენტში გადის მაქსიმალური დენი (თუმცა მოსალოდნელია, რომ ამ დროს ცალკეული ელემენტი არ იყოს მაქსიმალურად დაგვირთული). ამ რეკიმში შეიმჩნევა ძაბვათა დიდი ეარდნილობა. მინიმალური დაგვირთვის რეკიმში მომსახრებელთა დაგვირთვები მინიმალურია და ასევე, მინიმალურია ქსელზე მიერთებული (მუშაობაში ჩართული) გენერატორების რიცხიც.

ქსელის დასახასიათებლად განიხილავენ, აგრეთვე, ყველაზე უფრო მძიმე ავარიის შემდგომ რეკიმს, რომელსაც შეიძლება ადვილი ჰქონდეს მაქსიმალური დაგვირთვის რეკიმში ამა თუ იმ მაქსიმალურად დაგვირთული ელემენტის მეყსეულად ამორთვის შემდეგ. ამ შემთხვევაში გარდამავალი პროცესის წარმატებული გავლა ქსელისადმი წაყენებულ მოთხოვნათა შორის ერთერთი პირითადია.

ნორმალური დამყარებული რეკიმების გაანგარიშების ერთერთი პირითად ამოცანას წარმოადგენს ქსელის საკვანძო წერტილებში ძაბვის სათანადო რეკიმის უზრუნველყოფა. მკვება ქსელებში ძაბვის მნიშვნელობები იზღუდება დანადგართა იზოლაციის მუშაობისა და სადაბლებელი გრანსფორმატორების ფოლადის გასურების პირობებით. მანაწილებელ ქსელებში კი ძაბვის მნიშვნელობა დამატებით იზღუდება ელექტრომიმლებთა მუშაობის პირობით.

იზოლაციის მუშაობის პირობით ძაბვის ნომინალურზე ზევით ამაღლება დასაშვებია 20%-მდე 20 კვ (ჩათვლით) ქსლებში, 15%-მდე 35-220 კვ ძაბვის ქსელებში, 10%-მდე 330 კვ ძაბვის ქსელებში და 5%-მდე უფრო მაღალი ძაბვის ქსელებში. უმრავლეს ელექტრომიმლებთათვის დასაშვებია ძაბვის ნომინალურიდან გადახრა $\pm 5\%$ -ის ფარგლებში.

1.6. აქტიური სიმძლავრის ბალანსი და რეზერვი

ელექტროსისტემაში სიმძლავრისა და ენერგიის ბალანსის საფუძველზე განისაზღვრება მაგენერირებელ სიმძლავრეთა სტრუქტურა. ელექტროსადგურის ელექტროგენერატორი და მასთან კომპლექტში მომუშავე დანადგარები და ნაგებობები (ტურბინები, ქვაბდანადგარი, პიდრონაგებობები, თბო- და პიდრომილგაყენილობები და სხვ.), პირველადი ენერგორესურსის მოცულობიდან გამომდინარე, გათვლილია ხანგრძლივი და ეფექტური მუშაობისთვის გარკვეულ სიმძლავრეზე, რომელსაც მოცემული მოწყობილობის (დანადგარის) ნომინალურ სიმძლავრეს უწოდებენ – P_n .

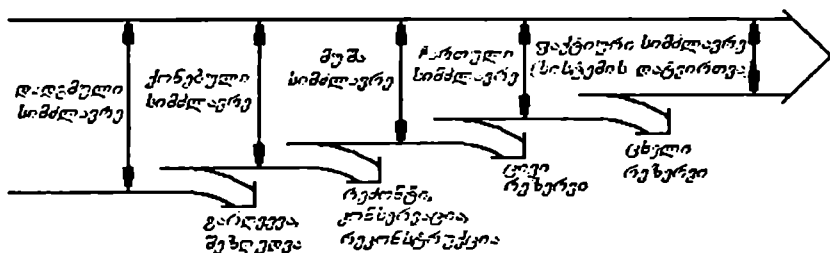
ერთ ელექტროსადგურზე შეიძლება იდგეს ერთი ან რამდენიმე ერთნაირი ან სხვადასხვა ნომინალური სიმძლავრის ელექტროგენერატორი. გენერატორების ამ ნომინალურ სიმძლავრეთა ჯამს სადგურის დაგდმულ სიმძლავრეს უწოდებენ

$$P_{\text{დადგმ.სადგ.}} = \sum P_{\text{გენ.სადგ.}}$$

ენერგოსისტემის მეშაობის დაგეგმვისას დადგენილი უნდა იქნეს სისტემის დადგმული, ქონებული, მუშა, ჩართული და ფაქტიური სიმძლავრეების მნიშვნელობები (ნახ.1.7), რაც საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ სიმძლავრის რეზერვი და, შესაბამისად, სისტემის მეშაობის მდგრადობის დონე.

სისტემის დადგმული სიმძლავრე. ეს არის სისტემის ყველა ელექტროსადგურის დადგმულ სიმძლავრეთა ჯამი ანუ სისტემაში დადგმული ყველა ელექტროგენერატორების ნომინალურ სიმძლავრეთა ჯამი

$$P_{\text{დადგმ.სისტ.}} = \sum P_{\text{დადგმ.სადგ.}} = \sum P_{\text{გენ.სისტ.}}$$



ნახ. 1.7. ელექტროსისტემის აქტიურ სიმძლავრეთა კლასიფიკაცია

სისტემის ქონებული სიმძლავრე. ეს არის დადგმულ სიმძლავრეს მინუს გამოუყენებელი სიმძლავრე, რომელიც შედგება გარღვევისა და შესღუდვის სიმძლავრეებისაგან

$$P_{\text{ქონ.სისტ.}} = P_{\text{დადგმ.სისტ.}} - P_{\text{გამოუყ.}} = P_{\text{დადგმ.სისტ.}} - (P_{\text{გარღ.}} + P_{\text{შეზღ.}})$$

გარღვევის სიმძლავრე ეს ის სიმძლავრეა, რომელიც გამოწვეულია დანადგარის ან სხვა მოწყობილობის ნაწილობრივი დაზიანებით, რის გამოც იძულებული ვართ გარკვეული დროით შევაპცოროთ გენერატორის დატვირთვა. ელექტროსისტემაში გარღვევის სიმძლავრე შეიძლება სხვადასხვა მიზეზით წარმოქმნეს. კერძოდ: გენერატორის ან მასთან ბლოკში მომუშავე ტრანსფორმატორის გაცივების სისტემის გაუმართაობა; წყალგამშვი გეირების ან არხის გამტარუნარიანობის რაიმე მიზეზით შემცირება;

თბოსადგურებში ქვაბდანადგარის ორთქლის ან წყლის მიღებზე მცირე ზომის ნაპრაღის გაჩენა, რის გამოც შეუძლებელია მოცემული ქვაბდანადგარი ვამუშაოთ სრული დატვირთვით და ა.შ. გარღვევის სიმძლავრის აღმოფხვრა შესაძლებელია სადგურის ან სისტემის პერსონალის ზემოქმედებით.

შესლუდვის სიმძლავრე ეს ის სიმძლავრეა, რომელიც გამოწვეულია ობიექტური მიზეზით და მისი აღმოფხვრა სადგურის ან სისტემის პერსონალს არ ძალუძს. სიმძლავრის შესლუდვის მიზეზი შეიძლება იყოს: თბოსადგურზე გამაცივებელი წყლის ტემპერატურის ბუნებრივი აწევა; გარემო ტემპერატურის აწევის გამო ტრანსფორმატორის დტვირთულობის შესლუდება; ქესზე მუშა წნევის შემცირება და ა.შ.

მუშა სიმძლავრე. ეს არის ქონებულ სიმძლავრეს მინუს რემონტის, კონსერვაციისა და რეკონსტრუქციის სიმძლავრე

$$P_{\text{მუშა}} = P_{\text{ქონ.სისტ.}} - P_{\text{რემ.კონს.რეკონს.}}$$

რემონტის, კონსერვაციის და რეკონსტრუქციის სიმძლავრის ქვეს იგულისხმება იმ აგრეგატთა ნომინალურ სიმძლავრეთა ჯამი, რომლებიც მოკლე ან ხანგრძლივი დროით გამოყვანილია მუშაობიდან და უტარდებათ (ან არ უტარდებათ) შესაბამისი სარეკონსტრუქციო სამუშაოები.

ჩართული სიმძლავრე. ეს იმ სადგურების მუშა სიმძლავრეთა ჯამია, რომელთა გენერატორები (ერსი ან რამდენიმე) ჩართულია ელექტრულ ქსელში პარალელური მუშაობისთვის. დანარჩენი გენერატორების მუშა სიმძლავრეთა ჯამი, რომლებიც მუშაობისთვის მზადყოფნაშია, მაგრამ არ არის ჩართული ელექტრულ ქსელში, წარმოადგენს სიმძლავრის ცივ რეზერვს. მაშასადამე,

$$P_{\text{ჩართ.}} = P_{\text{მუშა}} + P_{\text{ცივი რეზერვი.}}$$

ფაქტიური სიმძლავრე მუშაობაში ჩართული გენერატორების ჯამური დატვირთვის ტოლია. სიმძლავრის დანარჩენი ნაწილი სისტემის ცხელ რეზერვს წარმოადგენს

$$P_{\text{ფაქტ.}} = P_{\text{ჩართ.}} + P_{\text{ცხელი რეზერვი.}}$$

სიმძლავრის ცივი და ცხელი რეზერვების ჯამი სისტემის სიმძლავრის რეზერვს წარმოადგენს

$$P_{\text{რეზრვი}} = P_{\text{ცივი რეზერვი}} + P_{\text{ცხელი რეზერვი.}}$$

დანიშნულების მიხედვით სიმძლავრის რეზერვი იყოფა დატვირთვის, ავარიული, მეურნეობისა და რემონტის რეზერვებად

$$P_{\text{რეზრვი}} = P_{\text{დატვ.რეზერვი}} + P_{\text{ავარიული რეზერვი}} + P_{\text{მეურნ. რეზერვი}} + P_{\text{რემ. რეზერვი.}}$$

დატვირთვის რეზერვი საჭიროა იმ დამატებითი დატვირთვის დასაფარავად, რომელსაც შეიძლება პიკონდეს ადგილი დატვირ-

თვის ბიძგური მატების დროს. ეს რეზერვი დადგმული სიმძლავრის $(1\div 3)\%$ -ის ტოლად აიღება.

აგარიული რეზერვის დანიშნულებაა აგარიულად გამოთული მაგენერირებელი დანადგარის შეცვლა. პრაქტიკა გეინვენებს, რომ ელექტროსისტემაში აგარიული რეზერვი სისტემის დადგმული სიმძლავრის დაახლოებით $(10\div 12)\%$ -ს უნდა აღწევდეს.

მეურნეობის რეზერვის დანიშნულებაა იმ დამატებითი დატვირთვის დაფარვა, რომელიც შეიძლება განდეს არაზუსტი დაგეგმვისა და პროგნოზირების შედეგად. ამ სახის რეზერვი აიღება მოსალოდნელი მაქსიმალური დატვირთვის $(1\div 2)\%$ -ის ტოლად.

რეზერვი რემონტზე იყოფა კაპიტალურ რემონტზე და მიმდინარე რემონტზე რეზერვებად. ელექტროსისტემაში კაპიტალური რემონტი იგეგმება საფხელის პერიოდში, როცა სისტემის დატვირთვა დაბალია და დადგმული სიმძლავრის თითქმის $(40\div 50)\%$ გამოთავისუფლებულია. აქედან გამომდინარე სისტემაში რეზერვი კაპიტალური რემონტისთვის, პრაქტიკულად, არ გაითვალისწინება. რაც შეეხება რეზერვს მიმდინარე რემონტზე, იგი აიღება $(3\div 6)\%$ -მდე.

1.7. რეაქტიული სიმძლავრის თავისებურებანი

ცვლადი დენის წრედში მიმდინარე ენერგეტიკული პროცესების ანალზმა (პარ.1.1) გეისვენა, რომ ქსელში აქტიური სიმძლავრის გვერდით “გვაქვს” რეაქტიული სიმძლავრეც. ეს სიმძლავრეები განსხვავებული ხასიათისაა.

აქტიური სიმძლავრე მოიხმარება ელექტრომიმღებების მიერ, სადაც ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება მომხმარებლისთვის სასურველ ენერგიად (მექანიკური, სითბური, სინათლის და ა.შ.). იგი ნაწილობრივ მოიხმარება, აგრეთვე, ქსელის ელემენტების მიერ მათში გამოყოფილი სითბოს სახით. რეაქტიული სიმძლავრე ცვლადი დენის წრედში მიმდინარე ენერგეტიკული პროცესების თანმდევი მოვლენაა და იგი ქსელის ელემენტებსა და გენერატორებს შორის ენერგიის მიმოცვლის ციკლში მონაწილეობს. ამასთან, ენერგიის მიმოცვლის ციკლი სრულდება ცვლადი დენის ყოველ ნახევარ პერიოდში.

აქტიური სიმძლავრის გენერაცია წარმოებს ელექტროსადგურებზე პირველადი ენერგორესურსის ხარჯზე და მოიხმარება ქსელის რეზისტორულ ელემენტებში. რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია მოხმარება პირობითია. კერძოდ, როცა ქსელში ჭარბობს ინდუქციური

ელემენტები $\omega L > \frac{1}{\omega C}$, მაშინ $p_L > p_C$ და, შესაბამისად, ცვლადი დენის ნახევარი პერიოდის რაღაც მონაკვეთზე ინდუქციურ ელემენტში ენერგია შედის როგორც ტევადური ელემენტიდან, ასევე, ელექტროგენერატორიდან. ამ შემთხვევაში ელექტროგენერატორი და ქსელის ტევადური ელემენტი მოგვევლინება როგორც რეაქტიული სიმძლავრის წყარო, ხოლო ქსელის ინდუქციური ელემენტი კი როგორც რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებელი. მაგრამ ცვლადი დენის იმავე ნახევარი პერიოდის დანარჩენ მონაკვეთზე ენერგია ქსელის ინდუქციური ელემენტიდან გამოდის და შედის როგორც გენერატორში, ასევე ქსელის ტევადურ ელემენტში. ამ შემთხვევაში ინდუქციური ელემენტი მოგვევლინება როგორც რეაქტიული სიმძლავრის წყარო, ხოლო ელექტროგენერატორი და ქსელის ტევადური ელემენტი კი როგორც რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებელი. ანალოგიური სურათია, როცა ქსელში ჭარბობს ტევადური ელემენტები $\omega L < \frac{1}{\omega C}$.

მაგრამ ამ დროს ცვლადი დენის ნახევარი პერიოდის ერთ მონაკვეთში ენერგია ტევადური ელემენტიდან შედის როგორც ელექტროგენერატორში, ასევე ინდუქციურ ელემენტში, ხოლო ნახევარი პერიოდის მეორე მონაკვეთში ენერგია ერთდროულად გამოდის ელექტროგენერატორიდან და ინდუქციური ელემენტიდან და შედის ტევადურ ელემენტში.

ამრიგად მივიღეთ, რომ როცა ქსელში $\omega L \neq \frac{1}{\omega C}$, მაშინ ქსელის ელემენტები (ელექტროგენერატორი, ინდუქციულობა და ტევადობა) ცვლადი დენის ნახევარი პერიოდის დროის გარკვეულ ინტერვალში არის რეაქტიული სიმძლავრის წყარო ან მომხმარებელი და იმავე ნახევარი პერიოდის დროის მეორე ინტერვალში პირიქით. იმ შემთხვევაში, როცა ქსელში $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, მაშინ რეაქტიული სიმძლავრის მიმოცვლის პროცესში ელექტროგენერატორი არ მონაწილეობს და ეს მიმოცვლა ხორციელდება მხოლოდ ინდუქციურ და ტევადურ ელემენტებს შორის ყოველ ნახევარ პერიოდში. ამასთან, ცვლადი დენის ნახევარი პერიოდის პირველ ნახევარში ტევადური ელემენტი წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის წყაროს და ინდუქციური ელემენტი კი რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებელს, ხოლო იმავე ნახევარი პერიოდის მეორე ნახევარში ინდუქციური ელემენტი წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის წყაროს და ტევადური ელემენტი კი რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებელს.

ელექტრული ქსელის ელემენტებს შორის რეაქტიული სიმძლავრის მიმოცვლას ყოველთვის თან სდევს აქტიური სიმძლავრის დამატებითი დანაკარგები. აქედან გამომდინარე, რეაქტიული სიმძლავრის

მიმოცემა ელექტროენერგიატორებთან და, ამასთან დიდ მასშტაბებში, ხშირად არაეკონომიკურია. ეს კი მიგვითითებს მასზე, რომ ბევრ შემთხვევაში უფრო ეკონომიკურია ქსელში განვითავდეს რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარები. ამ დანადგართა სიმძლავრე და ქსელში განთავსების ადგილი უნდა შეირჩეს ისე, რომ რეაქტიული სიმძლავრის მიმოცემა ხორციელდებოდეს რაც შეიძლება ქსელის ნაკლები რაოდენობის ელემენტების გადართვით, რათა მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები.

აქტიური სიმძლავრის ბალანსის უზრუნველყოფა ხორციელდება მთელი სისტემის მასშტაბით. რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსი კი ეკონომიკურია სრულდებოდეს სისტემის ცალკეული რეგიონული ქსელებისთვისაც. რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემა ერთი რეგიონული ქსელიდან მეორეში ყოველთვის იწვევს ძაბვათა დიდ სხვადასხვაობას და, ამასთან, ადგილი აქვს აქტიური სიმძლავრის დამატებით დანაკარგებს.

1.8. ელექტროენერგიის მომხმარებლები და ელექტრული დატვირთვის გრაფიკები

ელექტროსადგურებზე გამოქუშავებული ენერგიის მომხმარებლებია მრეწველობა, მშენებლობა, ელექტროფიცირებული ტრანსპორტი, სასოფლო-სამეურნეო საწარმოები, საყოფაცხოვრებო მომსახურების სფეროები და სხვა. ენერგია, რომელიც მოიხმარება მომხმარებლის მიერ, სასარგებლოდ გაცემულ ენერგიას წარმოადგენს. ელექტროსადგურებზე გამოქუშავებული ენერგიის ნაწილი იხარჯება თვითონ ამ სადგურზე ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობისას. ენერგიის ამ ხარჯს ელექტროსადგურის საკუთარ მოხმარებას უწოდებენ. ნაწილი ენერგიისა იხარჯება გადაცემის პროცესში, რომელსაც ენერგიის დანაკარგებს უწოდებენ.

ელექტროსისტემაში დროის ყველა მომენტში უნდა სრულდებოდეს სიმძლავრისა და ენერგიის ბალანსი:

- აქტიური სიმძლავრის ბალანსი

$$\sum P_{\text{მომხმ}} = \sum P_{\text{სადგ.}} - \sum P_{\text{საკმომხმ}} - \sum \Delta P_{\text{ქ.}}$$

რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსი

$$\sum Q_{\text{მომხმ}} = \sum Q_{\text{სადგ.}} - \sum Q_{\text{საკმომხმ}} - \sum \Delta Q_{\text{ქ.}}$$

ელექტროენერგიის ბალანსი

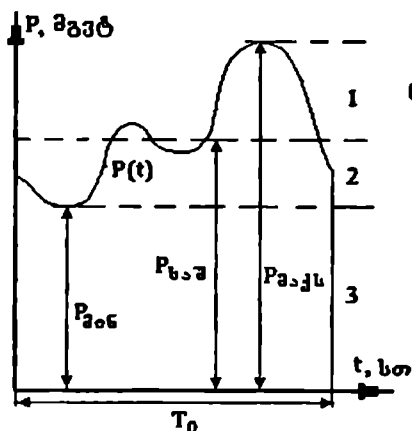
$$\Sigma \Theta_{\text{მოზ}} = \Sigma \Theta_{\text{საღ}} - \Sigma \Theta_{\text{საკმაზი}} - \Sigma \Delta \Theta_{\text{კ}},$$

სადაც: $\Sigma \Theta_{\text{მოზ}}$ - მომხმარებელთა მიერ მოხმარებული ჯამური ენერგია (მარგად გაცემული ენერგია); $\Sigma \Theta_{\text{საღ}}$ - სადგურების მიერ გამო-
მუშავებული ჯამური ენერგია; $\Sigma \Theta_{\text{საკმაზი}}$ - სადგურების საკუთარ
საჭიროებაზე (საკუთარი მოხმარება) დახარჯული ენერგია; $\Sigma \Delta \Theta_{\text{კ}}$ -
ენერგიის დანაკარგები ქსელის ელემენტებში. ანალოგიური
სიდიდეებია წინა შესაბამის გამოსახულებებშიც.

სისტემის ჯამური დატვირთვა დამოკიდებულია მომხმარებელთა
მუშაობის რეჟიმზე. დროის ინტერვალში (დღელამე, კვირა, თვე)
ცალკეული მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე იცვლე-
ბა მისი მუშაობის რეჟიმის შესაბამისად. აქედან გამომდინარე
იცვლება სისტემის ჯამური დატვირთვაც. ეს ცვლილება მოიცემა
დატვირთვის გრაფიკების სახით, სადაც აბსცისათა ღერძზე გადა-
იზომება დრო (სთ, დღე, თვე), ხოლო ორდინატაზე კი დატვირ-
თვის სიმძლავრე. განსახილველი დროის ინტერვალის (დღე, წელი
და სხვა) მიხედვით გვაქვს დღეღამური, წლიური და სხვა დატვირ-
თვის გრაფიკები.

დატვირთვის გრაფიკის ფორმა დამოკიდებულია მომხმარებლის
გეარობაზე (მრეწველობა, მშენებლობა, განათების ქსელი და ა.შ.)
და მათი მუშაობის პირობებზე (ერთ-, ორ-, სამცვლიანი, სეზონური
და სხვა). მიუხედავად იმისა, რომ ცალკეული მომხმარებლების
დატვირთვის გრაფიკი სხვადასხვა ფორმისაა, სისტემის ჯამური
დატვირთვის გრაფიკი გარკვეული კანონზომიერებით ხასიათდება.

სისტემის მუშაობის შესახებ გარკვეული წარმოდგენის მი-
საღებად, ძირითადად, სარგებლობენ დღეღამური დატვირთვის
გრაფიკით. სადაც მკაფიოდ გამოკვეთილია ღამისა და დღის წა-
ვარდნები (მინიმუმი) და დილისა და საღამოს პიკური დატვირთვე-
ბი (მაქსიმუმი) (ნახ.1.8).



ნახ. 1.8. დღელამური დატვირთვის გრაფიკის მახასიათებელი პარამეტრები: 1-პიკური ზონა; 2-ნახევარპიკური ზონა; 3-ბაზისური ზონა.
 $P_{\text{პიკი}}$ -მაქსიმალური დატვირთვა; $P_{\text{საშუალო}}$ -საშუალო დატვირთვა; $P_{\text{მინიმალური}}$ -მინიმალური დატვირთვა.

თუ ენერგოსისტემაში ჭარბობს საყოფაცხოვრებო მომსახურების დატვირთვები, მაშინ საღამოს მაქსიმუმი მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე დღის. ეს სხვაობა განსაკუთრებით შესაშინებია ზაფხულში. ამასთან ზაფხულში საღამოს პიკი უფრო გვიან დგება, ვიდრე ზამთარში. მინიმალური დატვირთვა, რომელიც დღის 3-5 საათის პერიოდში შეიძინევა, მაქსიმალური დატვირთვის დაახლოებით 50-60%-ს შეადგენს. ენერგოსისტემაში, სადაც სამრეწველო დატვირთვების ხვედრითი წილი დიდია, საღამოს და დღის პიკური დატვირთვები თითქმის არ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. ასეთი სისტემის დღელამური დატვირთვის გრაფიკი უფრო თანაბარია - მინიმალური დატვირთვა მაქსიმალურის 70-80%-ს შეადგენს.

დღელამური დატვირთვის გრაფიკის მოხაზულობაზე გავლენას ახდენს დღის ნათების ხანგრძლივობა და გარემოს ტემპერატურა. ნათების შემცირებული ხანგრძლივობისას დატვირთვა იზრდება და დღისა და საღამოს პიკები უფრო ხანგრძლივია. გარემოს დაბალი ტემპერატურისას დატვირთვა შედარებით მეტია, ვიდრე მაღალი ტემპერატურისას. დღელამური დატვირთვის გრაფიკი ხასიათდება შემდეგი მახასიათებლებით:

- მაქსიმალური $P_{\text{პიკი}}$ და მინიმალური $P_{\text{მინიმალური}}$ დატვირთვები;
- საანგარიშო პერიოდი T_0 , რომელიც დატვირთვის დღელამური გრაფიკისთვის შეადგენს $T_0=24$ სთ; ხოლო წლიური გრაფიკისთვის $T_0=8760$ სთ.

- საშუალო დღელამური დატვირთვა $P_{\text{საშუალო}} = \frac{\sum P}{24}$
- $\sum P$ - ელექტროენერგიის დღელამური მოხმარება

$$\Xi_{\text{დღ}} = \int_0^{T_0} P(t) dt$$

დატვირთვის უთანაბრობის კოეფიციენტი

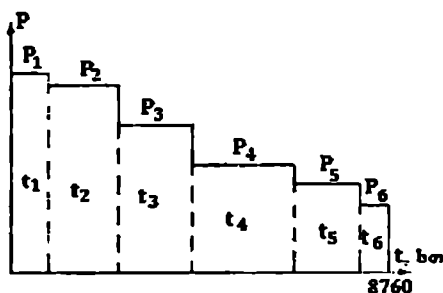
$$\alpha = P_{\text{აგ}} / P_{\text{აქს}};$$

- დატვირთვის შევსების კოეფიციენტი $\beta = P_{\text{აგ}} / P_{\text{აქს}}$.

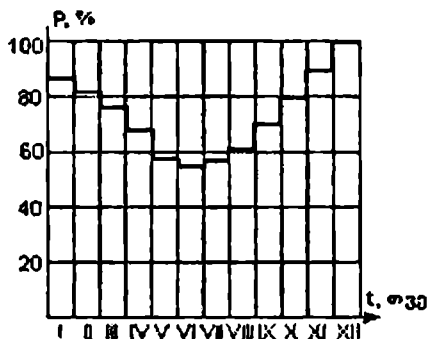
დატვირთვის გრაფიკი პირობითად იყოფა სამ ზონად: პიკური, რომელიც განთავსებულია საშუალო დღეღამური დატვირთვის წრფის ზევით; ნახევარპიკური, რომელიც განთავსებულია მინიმალური და საშუალო დღეღამური დატვირთვების შესაბამის წრფეებს შორის: ბაზისური, რომელიც მოთავსებულია მინიმალური დატვირთვის წრფის ქვემოთ.

დატვირთვის გრაფიკის ერთერთ სახედ განიხილება წლიური დატვირთვის გრაფიკი ხანგრძლივობის მიხედვით (ნახ.1.9), რომელიც წარმოადგენს თანდათანობით კლებად საფეხუროვან გრაფიკს. ყოველი საფეხური უნივერსალურ მოცემული დატვირთვის ხანგრძლივობას წლის განმავლობაში.

ასევე განიხილავენ მაქსიმალური დატვირთვების წლიურ გრაფიკს, სადაც აბსცისაზე გადაზომილია კალენდარული თვეები, ხოლო ორდინატაზე შესაბამისი თვის მაქსიმალური დატვირთვა (ნახ.1.10).



ნახ. 1.9. წლიური დატვირთვის გრაფიკი ხანგრძლივობის მიხედვით



ნახ. 1.10. მაქსიმალური დატვირთვის წლიური გრაფიკი

წლიური დატვირთვის გრაფიკი მოხერხებულია დავახასიათოთ მაქსიმალური დატვირთვის გამოყენების ხანგრძლივობით $T_{\text{აქს}}$. ამ პარამეტრით განისაზღვრება ის დრო, რომლის განმავლობაშიც

მომხმარებელს, რომ ემუშავა მაქსიმალური დატვირთვით, ქსელიდან მიიღებდა იმავე რაოდენობის ენერგიას, რაც ფაქტიური გრაფიკით მუშაობისას. განმარტების თანახმად

$$\Theta_{\text{წლ}} = \int_0^{8760} P(t) dt = P_{\text{აქს}} \cdot T_{\text{აქს}} \dots$$

აქედან

$$T_{\text{აქს}} = \frac{1}{P_{\text{აქს}}} \int_0^{8760} P(t) dt$$

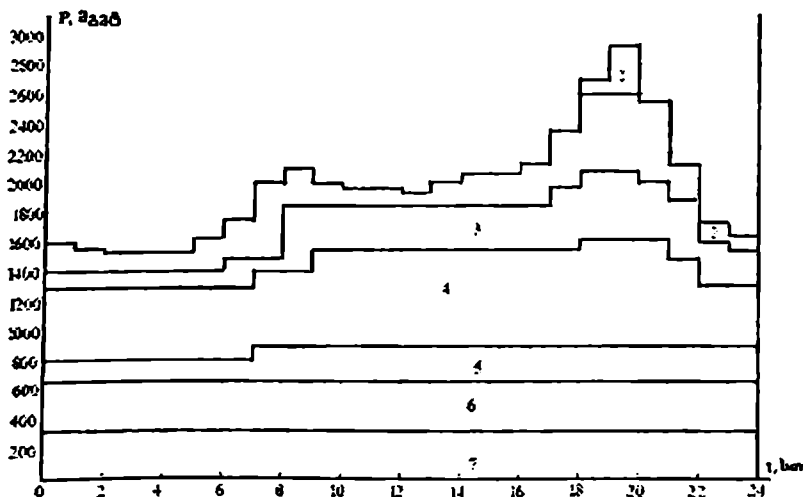
პროექტირებისას მომხმარებელთა მოსალოდნელი აქტიური დატვირთვის გრაფიკი აიღება ტიპური გრაფიკების მიხედვით, რომლებიც მიიღება იმავე ტიპის მოქმედი ელექტრომომცემების დატვირთვების გასომეგების საფუძველზე. გასომეგები შესრულებული უნდა იქნეს დროის სხვადასხვა პერიოდებისთვის, რომლის შემდეგ ტარდება ამ ექსპერიმენტული მონაცემების სტატისტიკური დამუშავება. უშუალოდ გასომეგების საფუძველზე მიღებული შედეგები მით უფრო სანდოა, რაც უფრო მეტი რაოდენობის მომხმარებელთა რეალური დატვირთვის რეჟიმი იქნება გამოკვლეული. ამაკე გზით შეიძლება დადგენილი იქნეს რეაქტიული დატვირთვის გრაფიკებიც. პროექტირებისას რეაქტიული დატვირთვა შეიძლება ავიღოთ მიახლოებით რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტის ($\text{tg}\varphi$) მიხედვით, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა მაქსიმალური და მინიმალური აქტიური დატვირთვის პერიოდებში სხვადასხვაა ($\text{tg}\varphi_{\text{მინ}} > \text{tg}\varphi_{\text{მაქს}}$).

სისტემის დღეღამური დატვირთვის გრაფიკის დაფარვაში მონაწილეობს ელექტროსისტემის ყველა ელექტროსადგური. გრაფიკის დაფარვაში მონაწილეობის თვალსაზრისით განიხილავენ ბაზისურ და პიკურ ელექტროსადგურებს.

ბაზისურ ელექტროსადგურს უწოდებენ იმ სადგურებს, რომლებიც მონაწილეობენ გრაფიკის ბაზისური ნაწილის დაფარვაში და მუშაობის რეჟიმიდან გამომდინარე იღებენ თითქმის მუდმივ დატვირთვას. ასეთ სადგურებს წარმოადგენენ სეზონური ჰიდროსადგურები, თბო და ატომური ელექტროსადგურები. შეზონური ჰიდროსადგურებს შეუძლიათ აიღონ დატვირთვა მხოლოდ მდინარეში წყლის ბუნებრივი ჩამონადენის მიხედვით. თბოელექტროცენტრალების ელექტრული დატვირთვა დამოკიდებულია ამ სადგურის თბომომხმარებლის დატვირთვაზე, ხოლო კონდენსაციური თბოელექტროსადგურებისა და ატომური ელექტროსადგურების ელექტრული დატვირთვა, მათი მუშაობის ეკონომიკურობიდან გამომდინარე, სასურველია იყოს მაქსიმალურად ნაკლებად ცვალებადი.

პიკური სადგურებს უწოდებენ იმ სადგურებს, რომელშიც დატვირთვის გრაფიკის პიკური ნაწილის დაფარვაში მონაწილეობენ. ასეთ სადგურებს წარმოადგენენ წყალსაცავიანი პიდრო-სადგურები და აირტურბინიანი ელექტროსადგურები, რომელთაც გაანინათ მანევრირების ფართო დიაპაზონი და, შესაბამისად, მუშა სიმძლავრის ცვლილების საშუალება.

დატვირთვის გრაფიკის დაფარვას (ნახ. 1.11) დაიწყებენ მისი პიკური ნაწილის დაფარვით, სადაც ჩაისმება წლიური რეგულირების პესი. ამ სადგურის საათური დატვირთვები ისე უნდა შეირჩეს, რომ მან მაქსიმალურად გამოიყენოს მისი დადგმული სიმძლავრე აუცილებელი ცხელი რესურსის გამოკლებით და მთლიანად აითვისოს ენერგიის მოცემული დღეღამური რესურსი. გარდა ამისა, დღის ნებისმიერ საათზე პესის მინიმალური დატვირთვა უნდა ჭარბობდეს იმ აუცილებელ მინიმალურ ზღვარს, რომლის შესაბამისი წყლის ხარჯი პესის ქვედა ბიეფში უსრუნველყოფს დამატებითი მოთხოვნების შესრულებას (ნაოსნობა, მეღორიაცია, სანიტარული ხარჯი და სხვ.). ამასთან, გრაფიკის დარჩენილი ნაწილი შედარებით ნაკლებად ცვალებადი ხასიათის დარჩეს. ანალოგიურად განი-საზღვრება მეორე მარეგულირებელი პესის (თუ ეს ასეთი არის) საათური დატვირთვები.



ნახ. 1.11. დღეღამური დატვირთვის გრაფიკის დაფარვის მაგალითი:

- 1 – აირტურბინული ელექტროსადგური;
2 – მარეგულირებელი პესი-1; 3 - მარეგულირებელი პესი-2;

4 - კონდენსაციური თბოსადგური; 5 - თბოელექტროცენტრალი;
6 - ატომური ელექტროსადგური; 7 - სეზონური ჰესები.

დატვირთვის გრაფიკის ბაზისურ ნაწილში ქვემოდან ერთ-მანეთის მიყოლებით ჩაისმება სეზონური (ჩამოვსებაზე მომუშავე) ჰესები თავიანთი მუშა სიმძლავრით, რომელთა შემდეგ ჩაისმება ატომური ელექტროსადგურები მუდმივი დატვირთვით, თბოცენტრალები თავიანთი მუშა სიმძლავრით (სამრეწველო საწარმოთა მხრიდან ღამის საათებში ნაკლები მოთხოვნაა თბოენერგიაზე, ვიდრე დღე) და შემდეგ კონდენსაციური ელექტროსადგურები.

თუ ელექტროსისტემაში გავგანინია აირტურბინიანი ელექტროსადგურები, მაშინ ეს სადგურები დაფარავენ დატვირთვის გრაფიკის მკვეთრად გამოკეეტილ პიკურ ნაწილს.

1.9. ელექტრული ქსელების დანიშნულება, კლასიფიკაცია, აღნიშვნები, გერმინოლოგია

ელექტრული ქსელი წარმოადგენს იმ დანადგარ-მოწყობილობათა ერთობლიობას, რომელთა დანიშნულებაა ელექტრული ენერგიის გადაცემა კვების წყაროებიდან მომხმარებელამდე. ამ ამოცანის შესრულების სირთულე დაკავშირებულია, ერთი მხრივ, მომხმარებელთა დიდ რაოდენობასთან და, მეორე მხრივ, კვების წყაროებიდან ამ მომხმარებელთა გერიგორიულ დამოკიდებულებასთან.

ელექტრული ქსელები შედგება საპაერო და საკაბელო ელექტროგადაცემის საშუალებებისაგან, ქვესადგურებისაგან, მანაწილებელი და გადამრთველი პუნქტებისაგან. ელექტროგადაცემის საშუალების დანიშნულებაა ელექტრული ენერგიის გადგანა ქსელის ერთი კვანძიდან მეორემდე. მანაწილებელ და გადამრთველ პუნქტებში ხდება მიწოდებული ელექტრული ენერგიის განაწილება სხვადასხვა მომხმარებლებს შორის ძაბვის შეუცვლელად, ხოლო ქვესადგურებში კი წარმოებს მიწოდებული ელექტრული ენერგიის ნომინალური ძაბვის დადაბლება (ან ზოგ შემთხვევაში ამაღლება) და შემდგომი განაწილება მომხმარებლებს შორის.

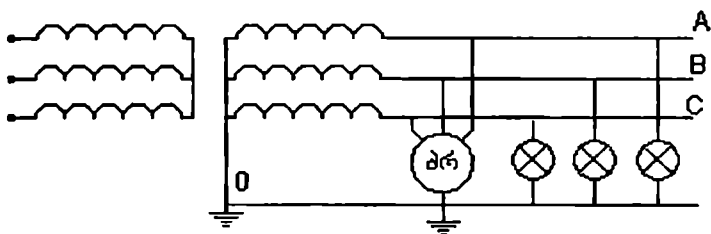
ელექტრული ქსელი შეიძლება იყოს საკმარისად რთული. მის მასშტაბებზე პარამეტრებზე და მუშაობის რეჟიმზე დამოკიდებულია მომხმარებელთან მიწოდებული ელექტრული ენერგიის ხარისხი. ამიტომ, ელექტრული ქსელები გულდასმით უნდა გაანგარიშდეს და დაგეგ-

მარდეს, კვალიფიციურად აიგოს და, ასევე, კვალიფიციურად უნდა ხდებოდეს მათი ექსპლუატაცია.

თანამედროვე ელექტრული სისტემის ელექტრული ქსელები გამოირჩევა საკმარისად რთული კონფიგურაციით და დიდი რაოდენობის სხვადასხვა სახის ელემენტებით. ამ პირობებში ქსელების კლასიფიკაცია და მათი ერიმანეთისაგან გარკვეული გამოიყენება შეიძლება განვახორციელოთ სხვადასხვა თვისებებისა და მაჩვენებლების გამოყენებით. კერძოდ, ქსელების კლასიფიკაცია შეიძლება მოყვასდინოთ დენის გვარობის, ნომინალური ძაბვის სიდიდის, კონსტრუქციული შესრულების, კონფიგურაციის და დანიშნულების მისხედით.

დენის გვარობის მიხედვით გვაქვს ცეღადი და მუღმიეი დენის ქსელები.

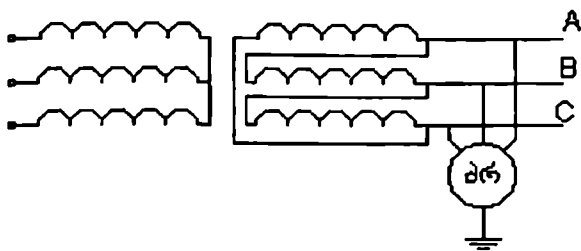
ცეღადი დენის ქსელის ძირითად ნაწილს გააჩნია სამუაზა შესრულება. 380ე ძაბეაზე ფართოდ გავრცელებულია ოთხსადენიანი სამუაზა სისტემა ნეიგრალის ყრუ ჩამიწებით (ნახ.1.12). აქ მეოთხე სადენი ნეიგრალურ სადენს წარმოადგენს. ამ ქსელში გვაქვს 380/220 ე ძაბეა (მრიცხველი გვიჩვენებს ქსელის ხაზურ ძაბევას, მნიშვნელი კი ფაზურს). ამ ქსელებში სამუაზა მომხმარებლები ჩართულია სამივე ფაზაზე, ხოლო ერთფაზა მომხმარებლები კი ფაზასა და ნეიგრალურ სადენს შორის



ნახ. 1.12. ცეღადი დენის ოთხსადენიანი სამუაზა სისტემა ნეიგრალის ყრუ ჩამიწებით

1000 ვოლტზე მეტი ძაბვის დანადგარებს აქეთ მხოლოდ სამუაზა შესრულება. 6-10 კე ძაბვის ქსელში სარგებლობენ ფაზების სამკუთხედური შეერთებით, სადაც ელექტრული ძრავები და ძალოვანი გრანსფორმაგორები მიერთებულია სამივე ფაზაზე (ნახ. 1.13).

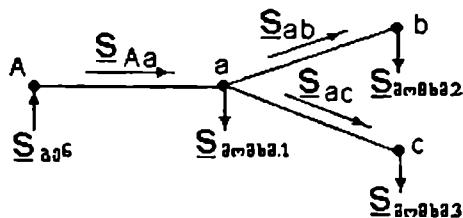
35 კე და მეტი ძაბვის ქსელში სარგებლობენ ფაზების ვარსკეღაური შეერთებით, სადაც ნეიგრალი შეიძლება იყოს იზოლირებული, ყრუდჩამიწებული ან ჩამიწებული ინდექციურობის კოჭის გავლით.



ნახ. 1.13 1000 ვოლტზე მეტი ძაბვის სამფაზა ქსელი

მუდმივი დენის ქსელი გამოიყენება ზოგიერთი სამრეწველო საწარმოს ელექტრომომარაგებისთვის (ელექტროლიზის საამქროები, ალუმინის ქარხნები). ელექტროფიცირებულ რკინიგზაში შეიძლება გამოყენებული იქნეს როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი დენის ქსელი. მაღალი ძაბვის (± 400 ; ± 750 კე) მუდმივი დენის ელექტროგადაცემა პერსპექტიული გადაწყვეტილებაა, რომელსაც ცვლადი დენის ელექტროგადაცემასთან შედარებით გააჩნია ვარკვეული უპირატესობა (ელექტროგადაცემის ხაზის მარტივი კონსტრუქცია, ნაკლები კაპიტალური სარჯები, შედარებით მაღალი საიმედოობა, სისტემებს შორის არასინქრონული კავშირის რეალიზაცია, სიმძლავრის მცირე დანაკარგები გვირგვინზე და სხვა), თუმცა ამასთან ერთად მას გააჩნია მთელი რიგი უარყოფითი მხარეც (ქვესადგურების კონსტრუქციის სირთულე, დიდი რაოდენობის ენგილებისა და სხვა აპარატურის არსებობის გამო ძაბვისა და დენის მრუდის ფორმის დამახინჯება, გადაცემის გაძვირება კონვერტორული ქვესადგურების მიერ შედარებით დიდი რეაქტიული სიმძლავრის მოხმარების გამო და სხვა).

ელექტრული ქსელებისთვის გამოიყენება გრაფიკული აღნიშვნა ცალხაზოვანი სქემის სახით, სადაც ელექტრული ენერგიის გენერაციისა და მოხმარების ადგილებს (კვანძებს) აჩვენებენ გამსხვილებული წერტილებით ან პატარა წრეწირების სახით, ხოლო ენერგიის გადაცემის გზას (ელექტროგადაცემის ხაზები) კომპეტრიული ხაზების სახით (ნახ. 1.14).



ნახ.1.14 მარტივი ელექტრული ქსელის გრაფიკული აღნიშვნა

გენერაციის კვანძებში გენერაცია ნაჩვენებია კვანძისკენ მიმართული ისრით, ხოლო მოსმარების კვანძებში დაგეირთვა ნაჩვენებია კვანძიდან გამომავალი ისრით. ასევე ისრებით აჩვენებენ ენერგიის გადაცემის მიმართულებას. ამასთან, იმ კვანძს, საიდანაც გამოდის ენერგიის გადაცემის მიმართულების აღმნიშვნელი ისარი, ხაზის თავს უწოდებენ, ხოლო კვანძს, რომლისკენაც მიმართულია აღნიშნული ისარი, ხაზის ბოლოს.

სიმძლავრის დანაკარგების გამო სრული სიმძლავრე საზის თავსა და ბილოში სხვადასხვაა და, შესაბამისად, აღნიშნავენ $\underline{S}^I$ და $\underline{S}^{II}$ სიმბოლოებით. მაშასადამე, სიმძლავრის დანაკარგი საზში

$$\Delta S = \underline{S}^I - \underline{S}^{II}$$

ელექტროგადაცემის უბანში ადგილი აქვს ძაბვის ვარდნას

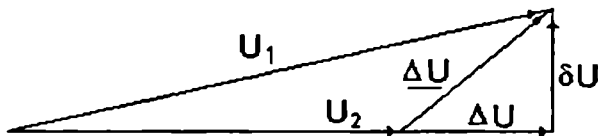
$$\underline{U}_1 - \underline{U}_2 = \Delta U = \Delta U + j\delta U,$$

სადაც: ΔU - ძაბვის ვარდნის გრძივი შემდეგნი, δU - ძაბვის ვარდნის განივი შემდეგნი.

შესაბამისად, უბნის თავისა და ბოლოს ძაბვებს შორის კავშირი ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 + \Delta U + j\delta U. \quad (1.5)$$

ამ გამოსახულების თანახმად ძაბვების დიაგრამას აქვს 1.15 ნახაზზე ნაჩვენები სახე, სადაც $\underline{U}_2$ ძაბვის ვექტორი მიმართულია ნამდვილ რიყზეთა ღერძის გასწვრივ.



ნახ.1.15 ძაბვების დიაგრამა ელექტროგადაცემის უბნისთვის

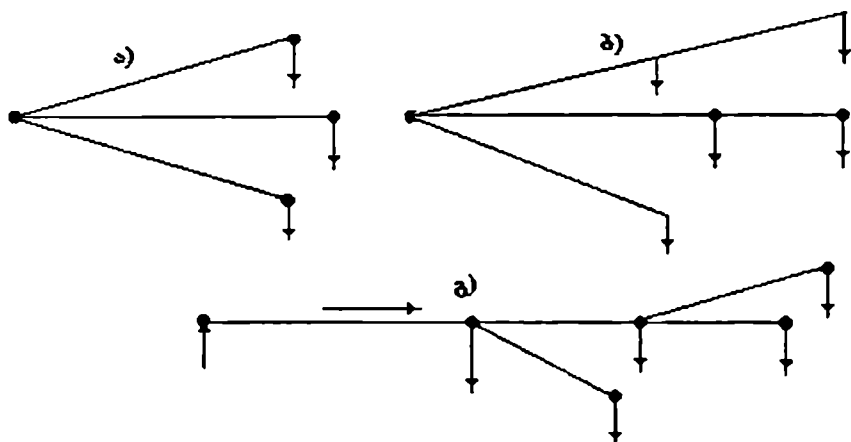
ნომინალური ძაბვის დონის მიხედვით ელექტრული ქსელები პირობითად შეიძლება იყოს: დაბალი (1000 ვ-მდე), საშუალო (3-35 კვ), მაღალი (110-220 კვ) და ზემოდალი (330-1150 კვ) ძაბვის ქსელებად. უნდა აღინიშნოს, რომ ოფიციალურ დოკუმენტებში ქსელების ასეთი კლასიფიკაცია არ აგმოიყენება. არსებულ გერმინოლოგიაში მიღებულია დაბალი (1000-მდე) და მაღალი (1000-ზე მეტი) ძაბვის ქსელებად კლასიფიკაცია.

კონსტრუქციული შესრულების მიხედვით გეაქვს საჰაერო და საკაბელო ქსელები. საჰაერო ქსელი აიგება პრაქტიკულად ყველა ნომინალური

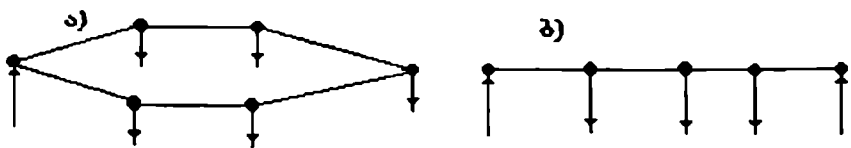
ლურ ძაბვაზე და, შესაბამისად, ძაბვის მიხედვით იცვლება მათი კონსტრუქციული შესრულება. საკაბელო ხაზები ჩადებულია ძირითადად უშუალოდ მიწაში ან მიწაში მოწყობილ საკაბელო არხებსა და გვირაბებში. საკაბელო ხაზები გაცილებით ძვირია, ვიდრე იმავე ნომინალური ძაბვის საჰაერო ხაზები, თუმცა მათი დაზიანების ალბათობა უფრო დაბალია.

კონგიფურაციის მიხედვით ქსელები შეიძლება იყოს ღია და შეკრული. ღია ქსელი ეწოდება ქსელს, სადაც მოხმარებელს შეუძლია კვება მიიღოს მხოლოდ ერთი მხრიდან (ცალმხრივი კვების ქსელი) (ნახ.1.16). შეკრული ქსელი კი ეწოდება ქსელს, სადაც მოხმარებელს შეუძლია კვება მიიღოს არანაკლებ ორი მხრიდან. თავის მხრივ ღია ქსელი შეიძლება იყოს ერთუბნინი რადიალური (ნახ.1.16ა), მრავალუბნინი მაგისტრალურ-რადიალური (ნახ.1.16ბ) და მაგისტრალურ-განშტოებული (ნახ.1.16გ).

შეკრული ქსელების უმარტივეს სახეს წარმოადგენს ყულფური (ნახ.1.17 ა) და ორმხრივი კვების (ნახ.1.17ბ) ქსელები. ელექტრული ენერგიის გადაცემისა და მოხმარებელთა კვების საიმედოობის ამაღლების მიზნით აკებენ რთულ შეკრულ ქსელებს (ნახ.1.18).



ნახ. 1.16. ღია ქსლი: ა)რადიალური; ბ)მაგისტრალური-რადიალური; გ)მაგისტრალურ-განშტოებული.



რაიონულ ქსელებს მიაკუთვნებენ 110-220 კვ ძაბვის ქსელებს, ხოლო ადგილობრივ ქსელებს კი 35 კვ-მდე (ჩათვლით) ძაბვის ქსელებს, რომელთა შორის გამოყოფენ სასოფლო, საქალაქო და სამრეწველო დანიშნულების ქსელებს. 330-500 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემის ხაზები წარმოადგენენ სისტემათაშორის ან შიგა სასისტემო ხაზებს, რომელთა დანიშნულებაა დიდი სიმძლავრის (რამდენიმე ასეული მეგა) დიდ მანძილზე (რამდენიმე ასეული კმ) გადაცემა.

მკეებავი ქსელები, როგორც წესი, შეკრულ ქსელებს წარმოადგენენ. რაიონული ქვესადგურების მაღალი ძაბვა 110-220 კვ-ია, ხოლო დაბალი კი 6, 10 ან 35 კვ. ამ ქვესადგურებზე აყენებენ გრანსფორმატორებს, რომელთაც გააჩნიათ დაგვირთვის ქვეშ ძაბვის რეგულირების საშუალება (РПН). ამ ქვესადგურების დაბალი ძაბვის სალგეები წარმოადგენენ მანაწილებელი (ადგილობრივი) ქსელის კვების ცენტრებს.

1.10. ენერგოსისტემის იერარქიულობა და დისპეტჩერული მართვა

ენერგოსისტემაში ორგანიზებულია ელექტროსადგურების, ელექტრული და თბური ქსელების შეთანხმებული მუშაობა. გამოყოფენ მართვის სამ სახეს – ადმინისტრაციული, ტექნიკური და ოპერატიული. ოპერატიულ მართვას წარმოადგენს დღეღამური დისპეტჩერული მართვა, რაც ხორციელდება სადისპეტჩერო სამსახურის საშუალებით.

დისპეტჩერული მართვა ეს არის ენერგოსისტემის მუშაობის რეჟიმების ცენტრალიზებული მართვა, რომელიც ხორციელდება სისტემის უმაღლესი ოპერატიული ხელმძღვანელის – დისპეტჩერის მიერ. დისპეტჩერული მართვა უწყვეტი პროცესია, რომელშიც ჩართულია მართვის ავტომატური სისტემები.

დისპეტჩერული მართვის ძირითადი ამოცანებია:

- ენერგოსისტემის ისეთი რეჟიმების დამუშავება და წარმართვა, რომელიც უზრუნველყოფს მომხმარებელთა შეუფერხებელ ენერგომომარაგებას;

ენერგოსისტემის მუშაობის მდგრადობის უზრუნველყოფა;

ენერგიის ხარისხის მიმართ წაყენებულ მოთხოვნათა უზრუნველყოფა;

ენერგოსისტემის მუშაობის ეკონომიკურობის უზრუნველყოფა და ენერგორესურსების რაციონალური გამოყენება-მოხმარება;

ენერგიის წარმოების, გადაცემისა და განაწილებისას ავარიებისა ან სხვა ტექნოლოგიური დარღვევების თავიდან აცილება და სწრაფი ლიკვიდაცია.

ყოველ ენერგოსისტემაში ორგანიზებული უნდა იყოს დანადგარ-მოწყობილობათა დღეღამური მართვა, რომლის ამოცანებს შეადგენს: დაგეგმილი რეჟიმით მუშაობა; გადართვები; დანადგართა გაშვება-გაჩერება; ავარიული დარღვევების ლიკვიდაცია და მუშაობის ნორმალური რეჟიმის აღდგენა; სარემოტო სამუშაოების მომზადება.

დისპეტჩერული მართვის ორგანიზაციულ სტრუქტურაში შედის; თვითონ სადიპეტჩერო სამსახური; რეჟიმების დაგეგმვისა და გაანგარიშების სამსახური; დანაკარგების კოორდინაციისა და დაგეგმვის სამსახური; რელეური დაცვისა და ავტომატიკის სამსახური; კაპემირგაბმულობისა და საინფორმაციო ტექნოლოგიების სამსახური.

დისპეტჩერული მართვა ხორციელდება იერარქიული პრინციპით. განიხილება სამი სახის იერარქიული სტრუქტურა: იერერქია სიერცეში, იერარქია დროში და სიტუაციური იერარქია.

იერარქიას სიერცეში გაანინია სხვადასხვა დონე: ენერგოგაერთიანებების სადიპეტჩერო სამსახური; ცალკეული ენერგოსისტემების სადიპეტჩერო სამსახური; რეგიონული სადიპეტჩერო სამსახური; მძლავრი ენერგობიექტების სადიპეტჩერო მართვის სამსახური; ცალკეული დანადგარების მართვის მორიგე პერსონალი.

სიერცული იერარქიის მართვის დონე მით მაღალია, რაც უფრო დიდ ტერიტორიას მოიცავს იგი.

სადისპეტჩერო მართვის თითოეული დონისთვის დადგენილი უნდა იქნეს დანადგარების, მოწყობილობების და ნაგებობების მართვის ორი კატეგორია: ოპერატიული მართვა და ოპერატიული გამგებლობა.

მორიგე დისპეტჩერის ოპერატიულ მართვაშია ის დანადგარ-მოწყობილობები და მართვის ის საშუალებანი, რომლებზედაც ოპრაციების წარმოება მოითხოვს რამდენიმე ობიექტის ოპერატიული პერსონალის შეთანხმებულ მოქმედებას. ოპერაციები ამ დანადგარ-მოწყობილობებსა და მართვის საშუალებებზე წარმოებს მორიგე დისპეტჩერის ხელმძღვანელობით.

მორიგე დისპეტჩერის ოპერატიულ გამგებლობაშია ის დანადგარ-მოწყობილობები და მართვის ის საშუალებანი, რომელთა მდგომარეობა და რეჟიმი გავლენას ახდენს

ელექტროსადგურების და ელექტროსისტემის ქონებულ სიმძლავრესა და რესურსზე, ქსელის მუშაობის რეჟიმსა და საიმედოობასზე, აგრეთვე ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის აწყობასზე. ოპერაციები ამ დანადგარ-მოწყობილობებსა და მართვის საშუალებებზე წარმოებს მორიგე დისპეტჩერის ნებართვით.

იერარქია დროში ითვალისწინებს სისტემის მართვის დროით ინტეგრაციას:

- რეჟიმების დაგეგმვა, რაც მოიცავს რეჟიმების ოპერატიულ დაგეგმვას (დღულამზე, დეკადა), მიმდინარე დაგეგმვას (თვე, კვარტალი, წელი) და პერსპექტიულ დაგეგმვას (მოკლევადიანი 5 წლამდე და გრძელვადიანი 10-20 წლამდე);
- ოპერატიული მართვა, რაც გულისხმობს დაგეგმილი რეჟიმების შესრულებასა და მათ კონტროლს; ავტომატური მართვა, რომელიც ხორციელდება რეჟიმული ავტომატიკის მოწყობილობათა საშუალებით.

სიტუაციური იერარქია განიხილება რეჟიმული სიტუაციების მართვის თვალსაზრისით, რაც მოიცავს ნორმალური, ავარიული და ავარიის შემდგომი რეჟიმების მართვის საკითხებს.

ნორმალურ სიტუაციაში (რეჟიმში) დისპეტჩერული მართვის მთავარი ამოცანაა რეჟიმების დამუშავება და მათი ოპერატიული მართვა. რაც უზრუნველყოფს მომხმარებელთა შეუფერხებელ ენერგომომარაგებას, ენერგიის სათანადო ხარისხს და სისტემის მუშაობის ეკონომიკურობას.

ავარიულ სიტუაციებში (რეჟიმში) მთავარი ყურადღება ექცევა მთლიანად სისტემის და, ასევე, ცალკეული აგრეგატების მუშაობის მდგრადობის უზრუნველყოფას. ამ სიტუაციაში თავიდან უნდა იქნეს აცილებული ცალკეული დანადგარის ან მათი ჯგუფის დაზიანება და ხანგრძლივად მწყრობიდან გამოსვლა.

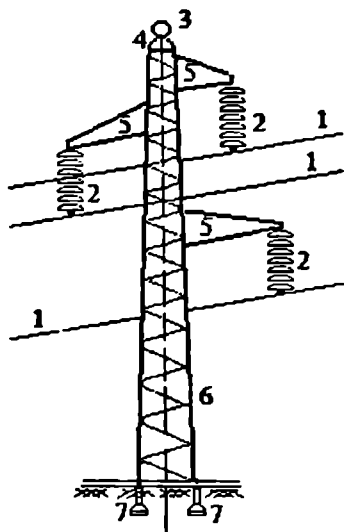
ავარიის შემდგომ სიტუაციაში (რეჟიმში) დისპეტჩერული მართვის მთავარ ამოცანას წარმოადგენს ამ რეჟიმის გადაყვანა შესაბამის ნორმალურ რეჟიმში, როცა უზრუნველყოფილი იქნება მომხმარებელთა კვების სრული აღდგენა მიწოდებული ენერგიის სათანადო ხარისხის დაცვით.

თავი 2. ელექტრული ქსელის ძირითადი ელემენტები

2.1 ელექტროგადაცემის ხაზები. ზოგადი დახასიათება

ელექტროგადაცემის ხაზები თავისი კონსტრუქციული შესრულების მიხედვით იყოფა საჰაერო და საკაბელო ხაზებად.

საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზები ეს არის შიშველი სადენები გაკიდებული სპეციალური კონსტრუქციის მქონე საყრდენებზე იზოლატორების საშუალებით. ხაზის ძირითადი ნაწილებია: სადენი, საყრდენი, იზოლატორი და სახაზო არმაგურა (ნახ.2.1). მთელ რიგ ხაზებზე, აუცილებლობიდან გამომდინარე, გამოიყენება მესხარიდი გვარლი, რომლის დანიშნულებაა ფაზური სადენების დაცვა ატმოსფერული განმუხტვებისგან.



ნახ. 2.1. საჰაერო

ხაზის საყრდენი:

- 1 - სადენი;
- 2 - იზოლატორი;
- 3 - გვარლი;
- 4 - გვარლდამჭერი;
- 5 - ტრავერსა;
- 6 - საყრდენის ტანი;
- 7 - ფუნდამენტი.

საჰაერო ხაზის კონსტრუქციული ნაწილი საერთოდ ხასიათდება მთელი რიგი საანგარიშო პარამეტრებით: l - შუალედური მალი (ან უბრალოდ მალი), რომელიც წარმოადგენს მანძილს ორ მეზობელ საყრდენს შორის, გაზომილს პორიზონტალის გასწვრივ; L_0 - საანგარო მალი - მანძილი ორ მეზობელ ანკერულ საყრდენს შორის; h_g - გაბარიტული მანძილი, რომელიც წარმოადგენს უმოკლეს მანძილს სადენის უდაბლესი წერტილიდან მიწამდე ან რაიმე საინჟინრო ნაგებობამდე; H - საყრდენის სიმაღლე; λ - იზოლატორთა გირლანდის სიგრძე; $H_{\text{იზ}}$ - სადენის დაკიდების მინიმალური სიმაღლე; f - სადენის (გვარლის) ჩაღუნვის ისარი ანუ ევრტიკალური მანძილი სადენის (გვარლის) დაკიდების წერტილსა და მის უდაბლეს წერტილს შორის.

ხაზის ყველა კონსტრუქციული ელემენტი მუშაობს რთულ და დიდ ფარგლებში ცვლად კლიმატურ პირობებში. სადენებზე (იგულისხმება გვარლი) მოქმედებს საკუთარი და ლიპყინულის წონა, ქარის დაწნევა და გარემოს ტემპერატურა. სადენებსა და საყრდენებზე მოქმედი რეზულტური მექანიკური ძალები აღწევს რამდენიმე ასეულ კილონიუტონსა და მეტს. თუ სადენები დაფარულია ლიპყინულით და მოქმედებს ქარიც, მაშინ ხაზი უფრო მძიმე მექანიკურ პირობებში მუშაობს.

სადენზე ლიპყინულის წარმოქმნა მოსალოდნელია გარემოს $(-5 \div -7)^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურისას, თუ ამ დროს ჰაერში იმყოფება გადაცივებული წყლის ნაწილაკები (ნისლი). ამ პირობებში სადენთან ჰაერის შეხებისას ხდება აღნიშნული ნაწილაკების კრისტალიზაცია და წარმოიქმნება ლიპყინული (სადენის ზედაპირი დაიფარება ყინულით). ლიპ-

ყინულის ინგესიეობა ძირითადად დამოკიდებულია ჰაერის ტენშემსეველობაზე და ამიგიომ მისი წარმოქმნა უფრო მოსალოდნელია წყალსაცაეების, გბებისა და ზღვის მახლობლობაში გამაეალ ხაზების სადენებზე. ლიპყინულის კედლის სისქე ზოგჯერ რამდენიმე ათეულ მილიმეტრს აღწევს და მისი წონა ერთ საყრდენზე გადაანგარიშებით შეიძლება რამდენიმე ასეულ კილონიუტონამდე იყოს.

ლიპყინულით დაფარვის შედეგად იზრდება სადენის საანგარიშო გედაპირი და შესაბამისად, იზრდება მასზე ქარის დაწნეეაყ. ქარის შედარებით დაბალი სიჩქარისას (4-8 მ/წმ) სადენები განიცდიან ვიბრაციას, ხოლო უფრო მაღალი სიჩქარისას (10-30 მ/წმ) – კი როკეას.

ვიბრაცია იწვევს სადენის ცალკეული მათეულეების მრეაეალჯერად გადაღუნეას, სადენთა დაღლილობას. რის შედეგად სადენის დაკიდების წერტილებში შეიძლება მოხდეს ამ მათეულეების გადატეხეა, რასაც შემდგომში მოსალოდნელია მოპყეევის სადენის გაწყეეგა. სადენის როკეა ხასიათდება უფრო დაბალი სისშირით, ეიდრე ვიბრაცია, მაგრამ გააჩნია მნიშენელოენად დიდი ამპლიტუდა, თითქმის ჩაღუნეის ისრის გოლი. როკეის დროს სადენის რხეეა მიმდინარეობს თითქმის ვერტიკალურ სიბრტყეში და მას აღგილი აქეის მაშინ, როცა არაპოროზონტალური მიმართულეების ქარი სადენისადმი მიმართულია მახეილი კუთხით.

როკეის დროს შესაძლებელია ხაზის გასწერივ წარმოიქმნას ე.წ. „მორბენალი რკალი“, რაც განპირობებულია სადენების ერთმანეთთან ან გეარლთან მიახლოებით. როკეის შედეგად მოსალოდნელია როგორც სადენების, ასეეე იზოლაგორებისა და, ზოგჯერ, თეით საყრდენის შექანიკური დაზიანეეაყ კი.

სადენის მექანიკური მუშაობის რეკიმზე გაელენას ასდენს ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება, რაც იწვევს მისი სიგრძის შეეულას. დაბალ ტემპერატურაზე სადენის სიგრძის შემცირებისას იზრდება მასში მექანიკური დაძაბულობა, ხოლო მაღალი ტემპერატურისას, სადენის წაგრძელეების გამო, იზრდება ჩაღუნეის ისარი. ორიეე ეს გარემოეეა გასათვალისწინებელია ხაზების მექანიკური რეკიმების ანგარიშისას, რათა არ მოხდეს სადენის გაწყეეგა ან მისი მიწასთან ან რაიშე საინყინრო ნაგეობასთან მიახლოების გაბარიტული მანძილის დარღვეეა.

იმისთეის რომ ელექტროგადაცემის ხაზების მექანიკური მუშაობის პირობების გათვალისწინებით უზრუნეეეეყოფილი იქნეს მომხმარეებლთან მაღალი ხარისხის ელექტროენერგიის მიწოდეა მინიმალური დანახარჯების პირობებში, აუცილებელია სრულდებოდეს ხაზებისადმი წაყენებული შემდეგი მოთხოვნები: 1. სადენებს გააჩნდეს კარგი ელექტრული გამტარობა; 2. ხაზები აგებული იქნეს არადეფიციტური მასალისაგან; 3. ყეეელა კონსტრუქციულ ელემენტს გააჩნდეს მაღალი მექანი-

კური სიმტკიცე და ქიმიური შემოქმედებისა და კოროზიის მიმართ საკმარისი მედეგობა; 4. ხაზი, როგორც საინჟინრო ნაგებობა, იყოს ეკონომიკური.

აგმოსფერული გადამეტებაებისგან დამცავი მესხარიდი გვარლი მაგრდება საყრდენის უმაღლეს წერტილში. ამით ყველა ფაზური სადენი მოთავსებული აღმოჩნდება აგმოსფერული გადამეტებაებისგან დაცვის მონაში. ერთჯაჭვა ხაზებზე, როცა სადენები განლაგებულია სამკუთხედის წვეროებზე და ორჯაჭვა ხაზებზე, როცა სადენტო განლაგება „ნაძისხის“ ან „კასრისებრი“ სახისაა, საკმარისია ერთი მესხარიდი გვარლი, ხოლო სადენტა ერთ პორიზონტალურ სიბრტყეში განლაგების დროს აუცილებელია ორი მესხარიდი გვარლი.

მესხარიდი გვარლი მზადდება ფოლადის მრავალმართულიანი სადენის სახით და გვხვდება გვარლის შემდეგი მარკები: C-35; C-50; C-70 და C-95.

გვარლი ხაზებს არამარტო მესხის პირდაპირი დაცემისგან იცავს, არამედ ხელს უწყობს ხაზის მახლობლობაში აგმოსფერული განმუხტვით სადენებში აღძრული გადამეტებაების ამჟღავნების შემცირებას. გარდა ამისა, ის ამცირებს საპაერო ხაზების უარყოფით გავლენას კაუშირგაბმულობის ხაზებზე და ბოლოს, გვარლი სასარგებლოა იმითაც, რომ სადენტო გაწყვეტის შემთხვევაში ის გარკვეულ წილად იჭერს საყრდენს წაქეუვისგან და ამით ხელს უწყობს მის მექანიკურ მდგრადობას.

საკაბელო ხაზის ძალოვანი კაბელები შედგება ერთი ან რამდენიმე ერთმანეთისგან იზოლირებული სადენისგან. სადენი მზადდება ალუმინისგან (საეკიალურ შემთხვევაში სპილენძისგან) ერთმართულიანი (16 მმ²-მდე განიკეუვისას) ან მრავალმართულიანი. გენის, მკავას და მექანიკური დაზიანებისგან სადენის იზოლაციის დასაცავად კაბელებს უკეთებენ დამცავ გარსს და ფოლადის ჯაქმანს.

საპაერო ხაზებთან შედარებით საკაბელო ხაზები უფრო ძვირია, შრომატევადია მშენებლობისა და მონტაჟის დროს, რემონტისას მოითხოვს უფრო მეტ დროს და უფრო კვალიფიკურ მომსახურე პერსონალს. იმავე სიმძლავრის გადაცემისას საკაბელო ხაზებში ლითონის სარჯი მეტია, ვიდრე საპაერო ხაზებში. აღნიშნულიდან გამომდინარე, საკაბელო ხაზები უპირატესად აიგება იმ ადგილებში, სადაც საპაერო ხაზების აგება გარკვეულ წილად გაძნელებულია ან არამიზანშეწონილია. მაგალითად, დასახლებულ პუნქტებში, სამრეწველო საწარმოთა ტერიტორიაზე და ა.შ. საკაბელო ხაზები ძირითადად გადის მიწაში, მიწაში მოწყობილ საკაბელო არხებსა და გვირაბებში. წყლის ქვეშ, დახურულ შენობებში და, ზოგჯერ, ღია სევერცეში.

საკაბელო ხაზების უპირატესობა მდგომარეობს მასში, რომ აქ გამოირიცხება ატმოსფერული გადატეხილობები, ქარისა და ლიპყინულის მოქმედება. მინიმუმამდეა დაყვანილი უბედური შემთხვევები (მიუწვდომელია გარეშე პირთათვის).

I კემდე ძაბვის ცვლადი დენის ქსელში გამოიყენება ოთხსადენიანი კაბელი, სადაც მეოთხე (ნულოვანი) სადენი უფრო ნაკლები განივი კვეთისაა, ვიდრე დანარჩენი სამი ფაზური სადენი. 6-35 კვ ძაბვის ქსელში სარგებლობენ სამსადენიანი (სამფაზა) კაბელით, ხოლო 110 კვ და მეტი ძაბვისას კი ერთსადენიანი (ერთფაზიანი) კაბელით.

2.2. საჰაერო ხაზების სადენები

ელექტროგადაცემის საჰაერო ხაზების არაიმოღირებული სადენები ძირითადად მზადდება სპილენძის, ალუმინისა და ფოლადისგან. ისინი იმყოფებიან რა ღია სივრცეში, განიცდიან სხვადასხვა სახის მექანიკურ (ქარი, ლიპყინული, გარემოს ტემპერატურა), თუ ქიმიურ (ქიმიური ქარხნების გოგირდოვანი გაზები, ზღვის მარილი და სხვა) ზემოქმედებას და ამიგომ მათ მექანიკური სიმტკიცისა და კოროზიის მიმართ უნდა გააჩნდეს საკმარისად მაღალი მედეგობა.

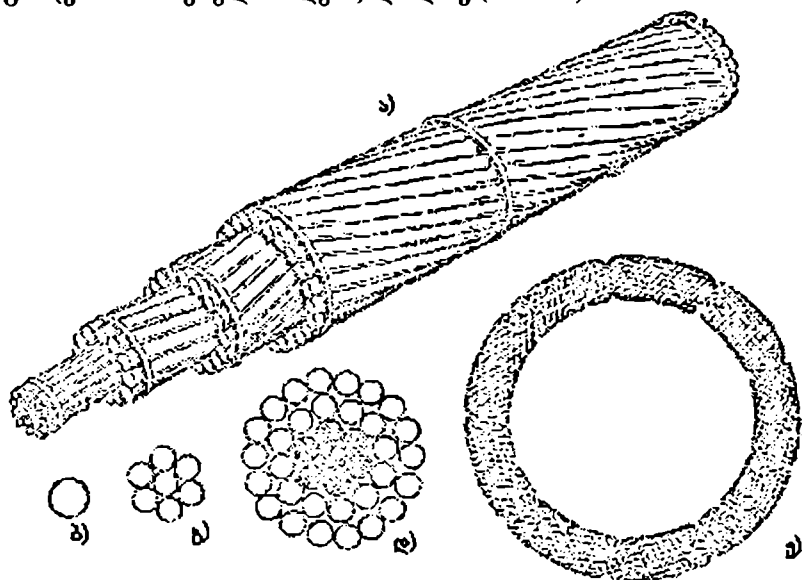
სპილენძს გააჩნია დაბალი ხვედრითი ელექტრული წინააღობა 17,8-18,5 ომი.მმ/კმ 20°C გარემოს ტემპერატურის დროს. მყარობიერი სპილენძის მათეულის დროებითი წინააღობა გაწყვეტაზე შეადგენს 380-400 ნ/მმ²-ს. სპილენძი მოქნილი და არამტკიცადი მასალაა. მისი ჯანგის ფენას გააჩნია მაღალი ქიმიური და მექანიკური მედეგობა და კარგად იცავს სადენს კოროზიისა და ქიმიური ზემოქმედებისგან. სპილენძი ალუმინთან შედარებით ძვირი და დეფიციტური მასალაა, რის გამოც ის საჰაერო ხაზების სადენებად ნაკლებად გამოიყენება.

დღეისთვის სადენებად, ძირითადად, გამოიყენება ალუმინი, ფოლად-ალუმინის სადენები და, ზოგჯერ, ალუმინის სხვა მასალებთან (რკინა, სილიციუმი, მაგნიუმი) შენადნობებისაგან მიღებული სადენები (ალ-დრეი).

ალუმინს, სპილენძთან შედარებით, უფრო დიდი სვედრითი ელექტრული წინააღობა გააჩნია (29,5-31,5 ომი.მმ²/კმ). ალუმინი გარემოს მხრიდან ქიმიური ზემოქმედების მიმართ მედეგია მის ზედაპირზე ალუმინის ჯანგის წარმოქმნის გამო. ალუმინს გააჩნია შედარებით დაბალი მექანიკური სიმტკიცე. მისი დროებითი წინააღობა გაწყვეტაზე 150-180 ნ/მმ²-ს შეადგენს. ამიგომ ალუმინისგან დამზადებული სადენები გამოიყენება 35 კემდე (ჩათვლით) ძაბვის ქსელებში.

ფოლადის სადენი ხასიათდება მაღალი მექანიკური სიმტკიცით. მისი ღროვებითი წინაღობა გაწყვეტაზე შეადგენს 600-700 წმმ²-ს. ფოლადის სადენის დიდ უარყოფით მსარეს შეადგენს ის, რომ ცელადი ღენის მიმართ მისი ელექტრული წინაღობა ალუმინის სადენთან შეადარებით მაღალია და დაშოკიდებულია მასში გაშავალი დაგვირთვის ღენზე. ალუმინულის გამო ფოლადი შეიძლება გამოყენებული იქნეს 10კვ-მდე ძაბვის ქსელებში მეორე სიმძლავრის გადაცემისას, თუკი ამ შემთხვევაში ალუმინის სადენის გამოყენება ეკონომიკურად არაახელსაყრელია.

კონსტრუქციის მიხედვით სადენები არის: ერთმავთულიანი, მრავალმავთულიანი ერთი მასალისაგან; მრავალმავთულიანი ორი მასალისაგან (კომბინირებული სადენი) და ღრუ (ნახ. 2.2).



ნახ. 2.2. - საპაერო ხაზების სადენთა კონსტრუქციები:

ა-მრავალმავთულიანი სადენის საერთო ხედი; ბ- ერთმავთულიანი;
გ- მრავალმავთულიანი ერთი მასალისაგან; დ- მრავალმავთულიანი
ორი მასალისაგან; ე-ღრუ

ერთმავთულიანი სადენი შედგება ერთი მავთულისაგან (ნახ.2.2,ბ). იგი გამოიყენება 1000ვ-მდე ძაბვის ხაზზე. ერთი მასალისაგან დამზადებული მრავალმავთულიანი სადენი (ნახ.2.2,გ) შეიცავს ერთმანეთში ჩახვეულ 2-3 მმ დიამეტრის მქონე რამდენიმე მავთულს. კონსტრუქციუ-

ლად ამ სადენს აქვს ერთი ცენტრალური მავთული, რომლის გარშემო შესრულებულია მავთულების რამდენიმე ნახევეი. პირველი ნახევეი შეიყავს 6 მავთულს, ხოლო ყოველი შემდგომი – 6 მავთულით მეტს, ვიდრე წინა. ამრიგად, ერთი ცენტრალური მავთულის შემდეგ პირველ ნახევეიში არის 6 მავთული, მეორეში 12, მესამეში 18 და ა.შ. მეზობელი ნახევეების დახვევის მიმართულება ურთიერთ საწინააღმდეგოა (ნახ.2.2.ა), რაც საშუალებას იძლევა შეექმნათ შედარებით წრიული ფორმისა და თვითდარღვევის მიმართ მდგრადი სადენი.

ერთმავთულიანთან შედარებით მრავალმავთულიანი სადენი უფრო მოქნილია, რის გამოც იგი უფრო მოხერხებულია მონტაჟისა და გრანსპორტირების დროს. ექსპლუატაციის დროს ქარის ზემოქმედებით სადენები ირსევა, რაც იწვევს დამატებით მექანიკურ ძაბვას და მასალის დაღლილობას. ამ პირობებში ერთმავთულიან სადენთან შედარებით მრავალმავთულიანი მექანიკურად უფრო მედეგია.

ორი მასალისაგან დამზადებული მრავალმავთულიანი სადენის (ნახ. 2.2.დ) შექმნის ძირითადი მიზანია მაღალი მექანიკური სიმტკიცისა და კარგი ელექტრული გამტარობის მქონე კომბინირებული სადენის მიღება. ამ მოთხოვნების დაკმაყოფილება შესაძლებელი გახდა ფოლად-ალუმინის სადენის შექმნის გზით. აქ მაღალი მექანიკური სიმტკიცის მქონე ფოლადის მავთულებს უკავიათ სადენის ცენტრალური ნაწილი, ხოლო გარე შრეებს (ნახევებს) შეადგენს ალუმინის მავთულები. ფოლად-ალუმინის სადენები ფართოდ გამოიყენება 35კვ და უფრო მაღალი ძაბვის საჰაერო ხაზებზე.

იმ საჰაერო ხაზებისთვის, რომლებიც გადის ზღვის, მარილიანი ტბებისა ან ქიმიური საწარმოების მახლობლობაში, ჰაერში არსებული მავნე მინარევების ზემოქმედებისაღმდეგ, განსაკუთრებით კოროზიისაღმდეგ, მედეგობის უნარის ამაღლების მიზნით ფოლადის გულარის ან მთლიანად სადენის მავთულშორის სიერცეს ავსებენ სპეციალური საპოხი მასალით.

ფოლად-ალუმინის სადენებში ალუმინისა და ფოლადის განივი კვეთების ფართობთა ფარდობა $F_{ალ}/F_{ფლ}=4,0-8,5$ ფარგლებში იცვლება. იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა სადენის მექანიკური სიმტკიცის ამაღლება, სადენს ამზადებენ გაძლიერებული ფოლადის გულარით $F_{ალ}/F_{ფლ}=4,0-4,5$, ხოლო როცა მექანიკურ სიმტკიცეს შედარებით დაბალი მოთხოვნა წაყენება, სადენი მზადდება შემსუბუქებული ფოლადის გულარით $F_{ალ}/F_{ფლ}=8,0-8,5$. დანარჩენ შემთხვევებში გვაქვს $F_{ალ}/F_{ფლ}=7,0 - 7,5$.

განსაკუთრებულ შემთხვევაში, როცა საჭიროა მნიშვნელოვნად ამაღლებული სიმტკიცე (ხვეების, განიერი მდინარეების ან სხვა დაბრკოლებების გადაკვეთების დროს), ამზადებენ განსაკუთრებული კონ-

სტრუქციის სადენებს, სადაც ფოლადის განივი კვეთი საგრძნობლად ამაღლებულია.

ფოლად-ალუმინის სადენის ფოლადის გულარას, ფოლადის სადენებსა და გეარებს ამზადებენ მაღალი სიმკაცის მქონე ფოლადისაგან, რომლის ზღერული წინაღობა შეადგენს 1200 ნ/მმ²-ს.

ფოლად-ალუმინის სადენის ელექტრულ გამტარობას ძირითადად განაპირობებს ალუმინის ნაწილი. ეს განპირობებულია იმით, რომ ჯერ ერთი, ალუმინი უკეთესი გამტარია, ვიდრე ფოლადი; მეორე მისი განივი კვეთი მნიშვნელოვნად მეტია ვიდრე ფოლადის; მესამე სადენში ცელადი ღენის განაწილების კანონის (ზედაპირული ეფექტის) თანახმად დენი უფრო მეტად გაედინება სადენის პერიფერიულ ნაწილში, ანუ ალუმინის გავლით. აღნიშნულიდან გამომდინარე ალუმინის მოცემული განივი კვეთის მქონე ფოლად-ალუმინის სადენის გამტარობა პრაქტიკულად ისეთივეა, რაც იმავე განივი კვეთის მქონე ალუმინის სადენისა.

ღრუ სადენები (ნახ.2.2.ე) ძირითადად გამოიყენება 220კვ და უფრო მაღალი ძაბვის ქვესადგურების ღია მანაწილებელი მოწყობილობების მოსალატეისთვის. ეს სადენი მზადდება სპილენძისგან ან ალუმინისგან. ცალკეული სპეციალური კონსტრუქციის მქონე ბრტყელი მათეულები ერთმანეთთან შეერთებული არის შეყრილდრმულებით, რაც უზრუნველყოფს სადენის კონსტრუქციულ მდგრადობას. მოცემული განივი კვეთის ღრუ სადენის გარე დიამეტრი მნიშვნელოვნად დიდია, ვიდრე იმავე განივი კვეთის მქონე სხვა კონსტრუქციის სადენისა. ამის გამო სადენის გარე ზედაპირზე მკვეთრად მცირდება ელექტრული ველის დამაბულობა და, შესაბამისად, სადენის გარე ზედაპირის მიმდებარე სივრცეში გამოირიცხება გვირგვინული განმუხტვის შესაძლებლობა, რაც თავის მხრივ გამოირიცხავს ენერგიის დანაკარგებს გვირგვინზე (პარ.2.4). საპაერო ხაზების სადენების განივი კვეთების ფართობი სახელმწიფო სტანდარტით (სასტი) ნორმირებულია და მოთაესებულია 4-1000მმ² ფარგლებში. სადენტა კონსტრუქციული და საანგარიშო პარამეტრები მოცემულია დ-1 ცხრილში.

გემაღალი ხაზის ელექტროგადაცემის ხაზებზე გვირგვინული განმუხტვის მოუღენის თავიდან აცილების მიზნით ფაზური სადენები შეიცავენ ორ და მეტ ჩეულებრივ ფოლად-ალუმინის სადენს. ასეთ ფაზას გახლეჩილ ფაზას უწოდებენ (ორადგახლეჩილი, სამადგახლეჩილი და ა.შ.). გახლეჩილ ფაზაში სადენები ერთმანეთისგან განცალკევებულია ხისტი განბჯენებით. განბჯენი ძირითადად მზადდება იმავე მასალისაგან, რომლისგანაც თვით სადენია დამზადებული. ფაზაში სადენებს შორის მანძილი 30-40 სმ-ს შეადგენს. ამ მანძილს გახლეჩის ბიჯს უწოდებენ. გახლეჩილი ფაზა, მის გარშემო ელექტრული ველის განაწილების

თვალსაზრისით, დიდი ღიაშენიშნის მქონე ფაზური სადენის ეკევივალენ-ტურია.

სადენების მარკირება სდება სადენის მასალისა და განივი კვეთის ნომინალური ფართობის მისეღვით. დღეისთვის საქართველოში შენარ-ჩუნებულია სადენების მარკირება ყოფილი საბჭოთა კავშირის სტან-დარტების მიხედვით. სპილენძის სადენი აღნიშნება M, ალუმინის A, ფოლად-ალუმინის AC, ალუმინის ღრუსადენი ΠA, სპილენძის ღრუ სა-დენი ΠM ასოებით. ასოითი აღნიშვნის შემდეგ მითითებულია სადენის ნომინალური განივი კვეთის ფართობი მმ²-ში. მაგ: M-50; A-70; AC-185/29 და ა.შ. კომბინირებული სადენის მარკის აღნიშვნაში პირველი რიცხვი მიუთითებს დენგამტარი ნაწილის ანუ ალუმინის ნომინალურ განიკვეთს, ხოლო მეორე კი – ფოლადის ნომინალურ განიკვეთს.

CTC GLOBAL-ის მიერ მაღალი ძაბვის (110 კე და უფრო მაღალი) ელექტროგადაცემის საშეგზე გამოსაყენებლად შექმნილია AC მარკის სადენის ალგერნატიული სადენი ACCC (Aluminium Conductor Composite Core – ალუმინის სადენი კომპოზიციური გულარით) მარკის სადენი, რომელიც AC მარკის სადენთან შედარებით ხასიათდება მთელი რიგი უპირატესობით: ამალღებული მდგრადობა ვიბრაციისა და როკის მიმართ; სიმსუბუქე ($\approx 60\%$ -ით მსუბუქი); სიმტკიცე ($\approx 25\%$ -ით მტკიცე); დაბალი აეროდინამიკური კოეფიციენტი; ნაკლები აქტიური წინაღობა ($\approx 10\text{-}15\%$ -ით ნაკლები); ამალღებული თბომეღევობა (გახურებაზე დასაშეგები დენი $\approx 50\text{-}70\%$ -ით მეტი); ამალღებული კოროზიამეღევობა.

23. გვირგვინული განმუხტეგები ელექტროგადაცემის საჰაერო ხაზებზე

მაღალი და სემაღალი ძაბვის ხაზებზე სადენისა და ფაზის კონსტრუქციული პარამეტრების შერჩევისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს ისეთი მნიშვნელოვანი ფაქტორი, როგორიცაა სადენზე გვირგვინული განმუხტეგის მოვლენა, რომელიც სადენის უშუალო მახლობლობაში მყოფი ჰაერის იონიზაციის პროცესს წარმოად-გენს.

სადენის უშუალო მახლობლობაში ელექტრული ველის დაძაბუ-ლობა მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე მისგან დაშორებულ სიე-რცეში. ამიტომ სადენის ახლოს მყოფი ჰაერის ნაწილი მოღვეუ-ლები განიცდიან იონიზაციას. გარკვეულწილად ჰაერი გამტარი ხდება. ამ მოვლენას გვირგვინულ განმუხტეგას უწოდებენ.

ხაზზე გვირგვინული განმუხტეგა მისთვის ყველაზე უფრო ხელ-საყრელი პირობებისას იწყება მაშინ, როცა სადენის ზედაპირზე

ელექტრული ველის დაძაბულობა 1700-1900 კვ/მ-ს აღწევს. გვირგვინულ განმუხტებას თან ახლავს არასასურველი მოვლენები – რადიოდაბრკოლებები, აკუსტიკური ხმაური, სადენის ზედაპირის დაჟანგვის პროცესის გაძლიერება და ელექტროენერგიის დამატებითი დანაკარგები.

ხაზის მუშა ძაბვის ამადლებიდან, საწყის სტადიაზე, რომელიც წინ უსწრებს საერთო გვირგვინის წარმოქმნას, სადენის ზედაპირზე იწყება მცირე სიმძლავრის ადგილობრივი (ლოკალური) განმუხტვები, რომელთაც არ გააჩნიათ მდგრადი ხასიათი. ძაბვის შემდგომი ამადლებით, გარკვეული მომენტიდან, ადგილი აქვს გვირგვინული განმუხტვის დენის მკვეთრ ზრდას. ეს მიუთითებს მასზე, რომ ადგილობრივი გვირგვინული განმუხტვები თანდათან ვრცელდება მთლიანად სადენის მთელ ზედაპირზე და წარმოიქმნება საერთო გვირგვინი, რის გამოც შეიმჩნევა გვირგვინული განმუხტვის დამახასიათებელი ტკაცუნა და ხმაური, ხოლო ძაბვის შემდგომი ზრდისას კი ადგილი აქვს იისფერ-ცისფერ ნათებას.

პოტენციალთა სხვაობას, რომლის დროსაც იწყება საერთო გვირგვინის (გვირგვინული განმუხტვის) მოვლენა, გვირგვინულ განმუხტვის საწყის ძაბვას უწოდებენ. მისი სიდიდე დამოკიდებულია სადენის ზედაპირის მდგომარეობაზე, გეომეტრიულ ზომებზე და სადენებს შორის მანძილზე. გვირგვინის საწყისი ძაბვა შეიძლება დავადგინოთ სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის საწყისი დაძაბულობის მიხედვით, რომელიც გლუვი, ცილინდრული და ერთიადიმავე რადიუსის მქონე პარალელური სადენების შემთხვევაში განისაზღვრება პიკის ფორმულით [43]

$$E_0 = 3030\delta \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r\delta}} \right) \text{ კვ/მ}, \quad (2.1)$$

სადაც r -სადენის რადიუსი, მ; δ -ჰაერის ფარდობითი სიმკვრივე

$$\delta = \frac{0,3855H}{273 + t}, \quad (2.2)$$

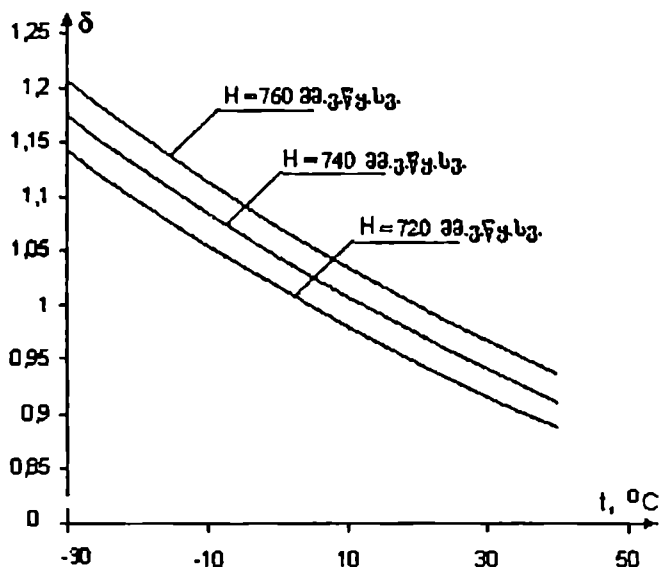
აქ H -ჰაერის წნევა მმ.ვ.წყ.ს; t -ჰაერის ტემპერატურა, °C.

ელექტრული ველის საწყისი დაძაბულობა შეიძლება გამოვთვალოთ აგრეთვე ზალესკის ფორმულით

$$E_0 = 2450\delta \left(1 + \frac{0,0972}{\sqrt{r\delta}} \right)$$

როგორც ვხედავთ, გვირგვინის საწყისი დაძაბულობა თითქმის ჰაერის ფარდობითი სიმკვრივის პროპორციულია, რომელიც დამოკიდებულია ხაზის მდებარეობაზე ზღვის დონიდან და იცელება გარემოს ტემპე-

რაგურის ცვლილებასთან ერთად (ნახ. 2.1). დაბალი გემპერაგურის მქონე რევიონებში გვირგვინის საწყისი დაძაბულობა უფრო მაღალია და გვირგვინული განმუხტვის თავიდან აცილების თავლსაზრისით ამ რევიონებში უფრო ხელსაყრელი პირობები არსებობს.



ნახ. 2.1. ჰაერის ფარდობითი სიმკვრივე გარემოს სხვადასხვა პირობებში

საპერო ხაზებზე მრავალმათულიანი სადენების გამოყენებისას, რომელთა ზედაპირი არაგლუვია, საერთო გვირგვინის საწყისი დაძაბულობის გამოსახულებაში უნდა გავითვალისწინოთ სადენის სიგლუვის კოეფიციენტი m , რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია სადენის გარე შრეში მავთულების რაოდენობაზე და იცვლება 0.80-0.97 ფარგლებში.

ამრიგად, მრავალმათულიანი სადენების შემთხვევაში გვაქვს

$$E_0 = 3030m \left(1 + \frac{0.0298}{\sqrt{r\delta}} \right) \text{ კვ/მ} \quad (2.3)$$

სამუალოდ, როგორც ამას ექსპერიმენტები გვიჩვენებს, შეიძლება მივიღოთ $m=0.9$. უნდა აღინიშნოს, რომ საერთო გვირგვინის საწყისი დაძაბულობა სუთა და ჭეჭყიანი სადენებისთვის ერთნაირი არ არის. ამიტომ, რადგანაც რეალურად საპერო ხაზებზე სადენები შედარებით

უფრო ჰუჭყიანია, პიკის რეკომენდაციით AC მარკის სადენებისთვის მიიღებენ $m=0.82$.

სადენთა განიკვეთების შერჩევის დროს ელექტრული ველის დაძაბულობის დასაშვები მნიშვნელობა გამოითვლება იმ პირობით, რომ კარგ ამინდში ხაზზე საერთო გეირგვინის მოვლენას ადგილი არ ჰქონდეს. ამ პირობის შესასრულებლად ფაზის კონსტრუქცია და სადენების განიკვეთები ისე შეირჩევა, რომ სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის მუშა დაძაბულობა აღწევდეს გეირგვინის საწყისი დაძაბულობის არაუმეტეს 90%-ს, ე.ი.

$$E \leq 0,9E_0. \quad (2.4)$$

როგორც (2.1) და (2.3) გამოსახულებები გვიჩვენებენ, რაც მეტია სადენის რადიუსი, მით ნაკლებია საერთო გეირგვინის წარმოქმნის საწყისი დაძაბულობა.

სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის მუშა დაძაბულობა ამ სადენზე განთავსებული ელექტრობის რაოდენობის წრფივი სიმკერდის პროპორციულია. თავის მხრივ ელექტრობის რაოდენობა კი სადენის მუშა ტევადობის პროპორციულია.

$$E_{\text{შა}} = 1,47 \cdot 10^{-2} \frac{CU}{r} \text{ კვ/მ}, \quad (2.5)$$

სადაც: C-სადენის მუშა ტევადობა, პფ/მ; U-ხაზის მუშა ხაზური ძაბვა, კვ; r - სადენის რადიუსი, მ.

იმისთვის რომ მაღალი ნომინალური ძაბვის ხაზებზე ადგილი არ ჰქონდეს საერთო გეირგვინის მოვლენას, საჭიროა, შევამციროთ სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის მუშა დაძაბულობა. ეს კი მიიღწევა სადენის რადიუსის გაზრდით, ხოლო გემაღალი ძაბვის ხაზებზე კი ფაზათა გახლეჩით (რამდენიმე სადენი ფაზაში).

სადენის მუშა ტევადობა განისაზღვრება მაქსიმალური განტოლებათა სისტემის ამოხსნის გზით და მისი საშუალო მნიშვნელობა სამფაზა ხაზისთვის, როცა შესრულებულია სადენთა გრანსპოზიციის სრული ციკლი, გამოითვლება ფორმულით

$$C_{\text{შა}} = \frac{24,13}{1g \frac{D_{\text{შა}}}{r}} \text{ პფ/მ}, \quad (2.6)$$

სადაც

$$D_{\text{შა}} = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{CA}} \quad (2.7)$$

სადენთა შორის საშუალო გეომეტრიული მანძილია, მ. D_{AB} , D_{AC} და D_{CA} , შესაბამისად, მანძილი A,B და C ფაზურ სადენებს შორის (ცხრ.2.1).

ცხრილი 2.1 სადენებს შორის საშუალო გეომეტრიული

გასაშუალოებული მანძილები

U _{ნ.კე}	35	110	150	220	330	400	500	750
D _{საშ.გ.მ}	3,5	5,0	6,5	8,0	11,0	12,0	14,0	19,5

ფაზური სადენების გოლგერდა სამკუთხედის წვეროებზე განლაგების დროს სადენტო მუშა ტევალობა ერთნაირია, ხოლო მათი პორიზონტალური განლაგების შემთხვევაში კიდურა სადენების მუშა ტევალობა დაახლოებით (5-10)%-ით ნაკლებია, ვიდრე შუა სადენისა. აქედან გამომდინარე, შუა სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის დაძაბულობა თითქმის 5-10%-ით მეტია, ვიდრე კიდურა სადენის ზედაპირზე

$$E_{\text{შუა}} = (1,05 - 1,10) \cdot E_{\text{კიდურა}} \quad (2.8)$$

გახლეჩილი ფაზის სადენტო ზედაპირზე ელექტრული ველის დაძაბულობა არაერთნაირია, რადგანაც მოცემული ფაზის ერთი სადენის ზედაპირის ამა თუ იმ წერტილში ელექტრული ველის დაძაბულობა შექმნილია როგორც თვით ამ სადენის, ასევე ფაზის დანარჩენი სადენების მუხტების მიერ. ელექტრულ ველის მაქსიმალურ დაძაბულობას ადგილი აქვს ფაზის გარე ზედაპირზე იმ წერტილში, რომელიც მდებარეობს ფაზისა და სადენის ცენტრებზე გაშვებულ წრფეზე (ნახ.2.2)

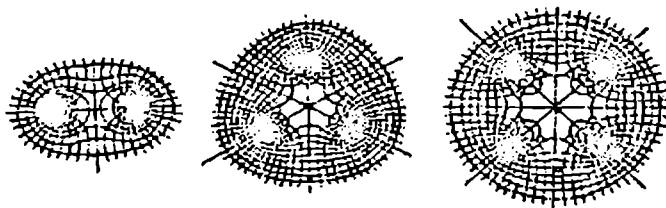
$$E_{\text{გ.გ.}} = K \cdot E_{\text{საშ.}}, \quad (2.9)$$

სადაც K-დაძაბულობის უთანაბრობის კოეფიციენტი.

გახლეჩილი ფაზის სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის დაძაბულობის საშუალო მნიშვნელობა განისაზღვრება (2.5) ფორმულის ანალოგიურად

$$E_{\text{საშ.}} = 1,47 \cdot 10^{-2} \frac{C_{\text{საშ.}} U}{n \cdot r}, \quad \text{კვ/მ} \quad (2.10)$$

სადაც n-სადენტო რაოდენობა გახლეჩილ ფაზაში.



ნახ. 2.2. გახლეჩილ ფაზებზე ელექტრომაგნიტური ველის განაწილების სურათი

გახლეჩილი ფაზის მუშა ტევადობა განისაზღვრება (2.6) ფორმულის ანალოგიურად, სადაც r რადიუსი შეცვლილი უნდა იქნეს გახლეჩილი ფაზის ეკვივალენტური რადიუსით

$$C_{\text{სა}} = \frac{24,13}{\text{tg} \frac{D_{\text{საგ}}}{r_{\text{გ}}}} \quad (2.11)$$

სადაც

$$r_{\text{გ}} = \sqrt[n]{r \cdot \prod_{i=2}^n a_{ii}}, \quad (2.12)$$

გახლეჩილი ფაზის ეკვივალენტური რადიუსია, აქ a_{ii} -ფაზის i -სა და i -ურ სადენებს შორის მანძილი, მ.

კერძო შემთხვევაში. როცა ფაზაში გვაქვს:

ორი სადენი (330კე)

$$r_{\text{გ}} = \sqrt{r \cdot a}; \quad (2.12a)$$

სამი სადენი (500კე)

$$r_{\text{გ}} = \sqrt[3]{r \cdot a^2}; \quad (2.12b)$$

ოთხი სადენი (750კე)

$$r_{\text{გ}} = \sqrt[4]{\sqrt{2r \cdot a^3}}; \quad (2.12c)$$

ხუთი სადენი (750კე)

$$r_{\text{გ}} = \sqrt[5]{2,62r \cdot a^4}, \quad (2.12d)$$

სადაც a - ფაზის გახლეჩის ბიჯი და წარმოადგენს იმ წესიერი მრავალკუთხედის გვერდს, რომლის წვეროებზე განლაგებულია გახლეჩილი ფაზის სადენები.

გახლეჩილი ფაზის სადენის ზედაპირზე დაძაბულობის უთანაბრობის კოეფიციენტი K განისაზღვრება ფორმულით

$$K = 1 + \beta \frac{r}{a}, \quad (2.13)$$

სადაც β კოეფიციენტის სიდიდე (ცხრ.2.2) დამოკიდებულია სადნთა რაოდენობაზე ფაზაში და გამოითვლება ფორმულით

$$\beta = 2(n-1) \sin \frac{\pi}{n}. \quad (2.14)$$

ცხრილი 2.2 β კოეფიციენტის მნიშვნელობები გახლეჩილი

ფაზისთვის.

n	2	3	4	5	6	8	10
β	2,0	3,48	4,24	4,7	5,0	5,36	5,58

(2.10) და (2.11) გამოსახულებების ერთობლივი განსილვით მივიღებთ სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის საშუალო დაძაბულობის საანგარიშო გამოსახულებას გახლეჩილი ფაზისთვის

$$E_{\text{სა}} = \frac{0,3547U}{nr \lg \frac{D_{\text{საგ}}}{r_{\text{გ}}}}, \quad \text{კვ/მ} \quad (2.15)$$

ერთსადენიანი ფაზის შემთხვევაში ესარგებლობთ ამავე ფორმულით, ოღონდ ვიღებთ $n=1$ და $r_{\text{გ}}=r$.

დაძაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა (2.9)

$$E_{\text{მაქ}} = \frac{0,3547U \cdot K}{nr \lg \frac{D_{\text{საგ}}}{r_{\text{გ}}}}, \quad \text{კვ/მ} \quad (2.16)$$

გახლეჩილი ფაზების შემთხვევაში გვირგვინზე სიმძლავრის დანაკარგების გაანგარიშებისას სარგებლობენ ელექტრული ველის ეკვივალენტური მნიშვნელობით

$$E_{\text{გ}} = \frac{1+K}{2} E_{\text{სა}}, \quad (2.17)$$

ანუ

$$E_{\text{გ}} = \frac{(1+K) \cdot 0,1773U}{nr \lg \frac{D_{\text{საგ}}}{r_{\text{გ}}}}, \quad \text{კვ/მ} \quad (2.18)$$

ზემოთმოყვანილი გამოსახულებები საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ კარგ ამინდში ხაზზე გვირგვინის წარმოქმნის $U=S_0$ ძაბვის საწყისი მნიშვნელობა. ამისათვის (3.16) გამოსახულებაში $E_{\text{მაქ}}$ შევცვალოთ E_0 -ით, განსაზღვრული (3.3) გამოსახულების მიხედვით, გვაქვს

$$3030 \text{ მძ} \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r\delta}} \right) = \frac{0,3547U_0 K}{nr \lg \frac{D_{\text{საგ}}}{r_{\text{გ}}}}$$

ანუ

$$U_0 = 8542,2 \frac{m\delta nr}{K} \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r\delta}} \right) \lg \frac{D_{\text{საშ}}}{r_{\text{კო}}}, \text{ კვ.} \quad (2.19)$$

თუ გაითვალისწინებთ, რომ მრავალმავთულიანი სადენისთვის $m=0,82$, მაშინ

$$U_0 = 7004,8 \frac{\delta nr}{K} \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r\delta}} \right) \lg \frac{D_{\text{საშ}}}{r_{\text{კო}}}, \text{ კვ.} \quad (2.20)$$

იმისთვის, რომ მოცემულ ხაზზე საერთო გვირგვინის მოვლენას აღ-
გილი არ ქონდეს, საჭიროა სრულდებოდეს პირობა

$$U_{\text{კო}} < U_0. \quad (2.21)$$

2.4 სიმძლავრისა და ენერგიის დანაკარგები გვირგვინზე

გვირგვინზე ენერგიის დანაკარგების სიდიდე დამოკიდებულია ხაზის გრასის გასწვრივ გარემოს მეტეოროლოგიურ პირობებზე. ამინდის მი-
ხედვით დანაკარგების სიდიდე იცვლება დიდ ფარგლებში. სხვადასხვა
სახის ამინდის პირობებში ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების
საფუძველზე დადგენილია გვირგვინზე დანაკარგების გასაშუალოებუ-
ლი მნიშვნელობები.

ანგარიშების გამარტივების მიზნით განიხილავენ ამინდის ოთხ ძირი-
თად ჯგუფს, რომლებიც სასიათღებთან გვირგვინზე დანაკარგების გარ-
კვეული გასაშუალოებული მნიშვნელობებით:

პირველი - კარგი ამინდი;

მეორე - მშრალი თოვლი; ამ ჯგუფს მიეკუთვნება აგრეთვე ქარ
ბუქი;

მესამე - წვიმა. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება აგრეთვე სველი თოვლი;

მეოთხე - ჭირხლი. აქ განიხილება აგრეთვე ლიპყინული;

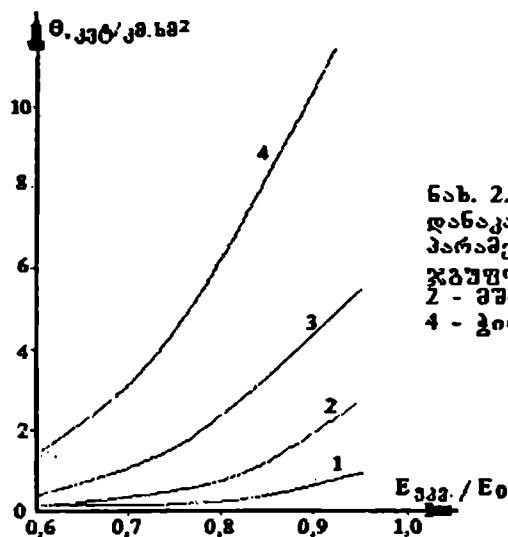
ამინდის სხვა დანარჩენი სახე მიეკუთვნება კარგ ამინდს.

რეგიონისთვის, სადაც გაღის განსახილველი ხაზის გრასა, მეტეორო-
ლოგიური დაკვირვებების საფუძველზე წინასწარ დადგინდება ამინდის
ამა თუ იმ ჯგუფის ხანგრძლივობის ფარდობითი მნიშვნელობა

$$\psi_i = \frac{T_i}{8760}, \text{ სთ} \quad (2.22)$$

სადაც T_i - i -ური ჯგუფის ამინდის ხანგრძლივობა წლის განმავლობაში.

ამინდის თოთოეული i -ური ჯგუფისათვის გვირგვინზე სიმძლავრის
დანაკარგები განისაზღვრება θ_i (კვტ/კმ.სმ²) განზოგადოებული პარამეტ-
რით, რომელიც $E_{\text{კვტ}}/E_0$ ფარდობის ფუნქციას წარმოადგენს (ნახ.2.3).



ნახ. 2.3. გვირგვინზე სიმძლავრის დანაკარგების განზოგადოებული პარამეტრი ამინდის სხვადასხვა ჯგუფისთვის: 1 - კარგი ამინდი; 2 - მშრალი თოვლი; 3 - წვიმა; 4 - ჭირხლი.

გვირგვინზე დანაკარგების გაანგარიშების მეთოდია ემყარება იმ დაშვებას, რომ გვირგვინის კრიტიკული გრადიენტი წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს. ამ დაშვების საფუძველზე გვირგვინზე დანაკარგები უაზარში სადენების რაოდენობისა (n) და ამ სადენის რადიუსის (r) კვადრატის პროპორციულია.

$$\Delta P_i = n r^2 \cdot \theta_i, \quad (2.23)$$

აქ r აიღება სანტიმეტრებში.

უნდა აღინიშნოს რომ წვიმის დროს გვირგვინზე სიმძლავრის დანაკარგები (ნახ.2.3, მრუდი 3) მოცემულია ნალექების 1 მმ/სთ ინტენსიუობისთვის. ამიგომ დანაკარგების გაანგარიშებისას საჭიროა წინასწარ დავადგინოთ ნალექების საშუალო წლიური ინტენსიუობა

$$I = \frac{N}{T}, \quad (2.24)$$

სადაც: N - ნალექების წლიური რაოდენობა, მმ; T - წვიმის საშუალო წლიური ხანგრძლივობა, სთ.

თუ $I \neq 1$ მმ/სთ, მაშინ 2.3 ნახაზის მიხედვით დადგენილი θ_i პარამეტრი უნდა გაეამრავლოთ α კოეფიციენტზე, რომლის მნიშვნელობა მოცემულია 2.4 ნახაზზე.

ვიყიეთ რა, ამინდის ხანგრძლივობის ფარდობითი მნიშვნელობა ψ_i და შესაბამისი განზოგადოებული პარამეტრები, გვირგვინზე სიმ-

ძლავრის დანაკარგების საშუალო წლიური მნიშვნელობა ხაზის სამივე ფაზისთვის განისაზღვრება ფორმულით

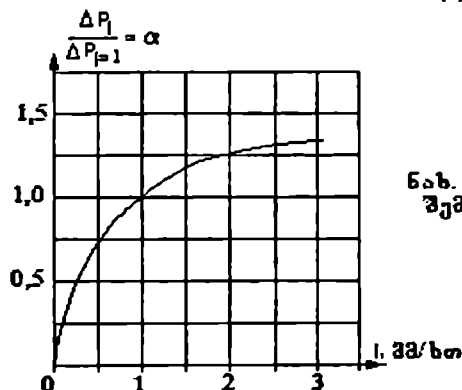
$$\Delta P_{\text{ჯამ}} = 3n r^2 \sum_{i=1}^4 \psi_i \theta_i \quad \text{კვტ/კმ}, \quad (2.25)$$

ხოლო ენერგიის დანაკარგები კი ფორმულით

$$\Delta \mathfrak{E}_{\text{ჯამ}} = \Delta P_{\text{ჯამ}} \cdot 8760 \quad \text{კვტსთ/კმ}; \quad (2.26)$$

ანუ (3.22) და (3.25) გამოსახულებათა გათვალისწინებით გვაქვს

$$\Delta \mathfrak{E}_{\text{ჯამ}} = 3n r^2 \sum_{i=1}^4 T_i \theta_i \quad \text{კვტსთ/კმ} \quad (2.27)$$



ნახ. 2.4. გვირგვინზე დანაკარგების შემასწორებელი კოეფიციენტების მნიშვნელობა ნაღველების ინტენსივობის მიხედვით

დღელამის ინტერვალში გვირგვინულ განმუხტვაზე სიმძლავრის დანაკარგი არათანაბრადაა განაწილებული. იგი მაქსიმალურია ღამის საათებში (22 საათიდან 6-7 საათამდე). დროის ამ ინტერვალზე მოდის დანაკარგების თითქმის 50%, რაც აისახება ღამით მეტეოროლოგიური პირობების გაუარესებით, განსაკუთრებით გაზაფხულისა და შემოდგომის სეზონზე.

ზოგადად, ამინდთა ჯგუფებიდან დიდი ხვედრითი წილი მოდის კარგ ამინდზე (80%-მდე). მიუხედავად ამისა, დანაკარგების ხვედრითი წილი ამ ამინდში არ აღემატება 30-35%-ს (ცხრ.2.3). საერთოდ 330-750 კვ ძაბვის ხაზებზე გვირგვინზე დანაკარგების 50-60% რეგისტრირდება წვიმი-სა და ჭირხლის დროს, თუმცა ასეთი ამინდის ხვედრითი წილი დაახლოებით 8%-ს შეადგენს.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ცუდ ამინდში გვირგვინზე დანაკარგების შემცირების მიზნით შეიძლება ეკონომიკურად მიზანშეწონილი აღმოჩნდეს ძაბვის შესაბამისი რეგულირება. 2.4 ცხრილში ნაჩვენებია ხაზის სამივე ფაზაზე გვირგვინზე დანაკარგების მნიშვნელობები სხვადასხვა მუშა ძაბვის დროს ყველაზე უფრო გავრცელებული მეტეოროლოგიური პირობებისთვის.

ცხრილი 2.3. გვირგვინზე სიმძლავრის დანაკარგების სტრუქტურა, %

ელექტროგადამცემის ხაზის ძაბვა და სადენი	გვირგვინზე დანაკარგების შემადგენელი, %			
	კარგი ამინდი $\psi_1 = 0,826$	მშრალი თოვლი $\psi_2 = 0,091$	წვიმა $\psi_3 = 0,057$	ჭირბოლი $\psi_4 = 0,026$
330 კვ. 2XAC - 300/29	29,3	13,0	28,6	29,1
500 კვ. 2XAC - 400/51	29,2	12,4	28,1	30,3
750 კვ. 2XAC - 600/72	35,2	12,1	26,6	26,1

ცხრილი 2.4. გვირგვინზე სიმძლავრის დანაკარგები
(კვტ/კმ/%) სხვადასხვა მუშა ძაბვის დროს

სადენის მარკა	ძაბვა, კვ / %				
	297/90	310/94	330/100	350/106	363/110
2XAC -240/39	2,0/60,1	2,7/81,82	3,3/100	5,5/166,7	6,9/209,1
2XAC -300/39	1,9/56,7	2,3/68,7	3,35/100	4,6/137,3	5,8/173,1
სადენის მარკა	ძაბვა, კვ / %				
	475/95	490/98	500/100	510/102	525/105
3XAC -330/43	4,25/73,3	5,1/87,9	5,8/100	6,42/110,7	7,5/129,3
3XAC -400/51	3,5/72,9	4,24/88,3	4,8/100	5,35/111,5	6,2/129,2
სადენის მარკა	ძაბვა, კვ / %				
	715/95	730/97	750/100	770/103	787/105
4XAC -500/64	10,4/75,6	11,36/82,6	13,75/100	15,7/114,2	18,0/130,9
5XAC -240/27	9,25/75,2	10,12/82,3	13,3/100	14,0/113,8	15,85/128,9

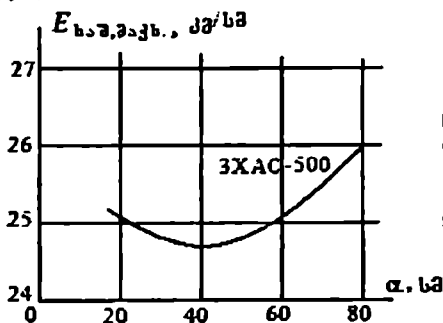
ხაზზე საერთო გვირგვინისა და სხვა არასასურველი მოვლენების თავიდან აცილების მიზნით სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის დაძაბულობა არ უნდა აღემატებოდეს საერთო გვირგვინის წარმოქმნის საწყის დაძაბულობას. (2.15) გამოსახულების თანახმად მოცემული ნომინალური ძაბვის შემთხვევაში სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის დაძაბულობა მცირდება ფაზათაშორისი მანძილისა და სადენის რადიუსის გაზრდით და დამოკიდებულია გახლეჩილ ფაზაში სადენების რაოდენობაზე. ამასთან, ფაზათაშორისი მანძილი უმნიშვნელო გაეღუწას ახდენს ველის დაძაბულობის სიდიდეზე (ლოგარითმული კაეშირის გამო), ხოლო სადენის რადიუსთან და ფაზაში სადენების რაოდენობასთან იგი უკუპროპორციულ დამოკიდებულებას აქვს.

35 კვ ძაბვის ხაზებზე სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის დაძაბულობა საერთო გვირგვინის წარმოქმნის საწყის მნიშვნელობასთან

შედარებით მნიშვნელოვნად დაბალია და ამიტომ ამ ძაბვის ხაზებზე საერთო გვირგვინის თაეიდან აცილების მიზნით სადენთა განიკვეთების შერჩევის დროს რაიმე შეზღუდვა არ არის.

110 და 220 კე ძაბვის ხაზებზე საერთო გვირგვინის თაეიდან აცილების საჭიროა სადენის განიკვეთით შევარჩიოთ გარკვეულ მინიმალურ მნიშვნელობაზე მეტი. ზემალაღი ძაბვის შემთხვევაში კი ეკონომიკურად უფრო მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ფაზათა გახლეჩის მეთოდი.

გახლეჩილი ფაზის ჯამური განიკვეთის მუდმიუობის პირობებში, სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის დაძაბულობა მცირდება ფაზაში სადენთა რაოდენობის გაზრდით და დაშოკილებულია გახლეჩის ბიჯზე. მუშა დაძაბულობის ზრდასთან ერთად ფაზის გახლეჩა კიდევ უფრო არსებით პრაქტიკულ მნიშვნელობას იძენს. 2.5 ნახაზზე ნაჩვენებია 500 კე ძაბვის ხაზის გახლეჩილი ფაზის სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის დაძაბულობის ცვლილება, გამოწვეული ფაზის გახლეჩის ბიჯის შეცვლით.



ნახ. 2.5. 500 კე ძაბვის ხაზზე ფაზის გახლეჩის ბიჯის ხაზის ზედაპირზე ელექტრული ველის დაშოკილებულების გრაფიკი

გვირგვინზე დანაკარგების შემცირების მიზნით ნორმალური ძაბვების მიხედვით ფაზაში რეკომენდირებულია სადენთა შემდეგი მინიმალური განიკვეთები: 110 კე - AC-70/11; 220 კე - AC-240/32; 330 კე - 2XAC-240/32; 500 კე - 3XAC-330/43; 750 კე - 4XAC-400/93.

2.5. საპაერო ელექტროგადაცემის ხაზების ელექტრული პარამეტრები

2.5.1. საპაერო ხაზის აქტიური წინაღობა

ელექტროსადენს მუდმივი და ცვლადი დენის მიმართ განსხვავებული წინააღობები გააჩნია. მუდმივი დენის მიმართ წინააღობას ომურს უწო-

დებენ $R_{\text{ოპ}}$, ხოლო ცვლადი დენის მიმართ წინააღობას კი აქტიურს $R_{\text{აქ}}$, აქტიური წინააღობა ომურზე მეტია, რადგანაც გამტარში ცვლადი დენის გაელისას აღვილი აქვს ზედაპირულ ეფექტს, რაც ნიშნავს დენის გადა-
ნაწილებას სადენის განიკვეთის ცენტრიდან პერიფერიისკენ. ეს გამოწ-
ვეულია სადენის შიგნით აღძრული ელექტრომაგნიტური ტალღის
მოქმედებით. როგორც ელექტროტექნიკიდანაა ცნობილი სადენის ინ-
დუქციური წინააღობა თვითინდუქციის ელექტრომაგნიტ-რადიო ტალღის
პროპორციულია $X \equiv E$, რომელიც თავის მხრივ მაგნიტური ნაკა-
დის პროპორციულია $E \equiv \Phi$. ამრიგად, რაც მეტია მაგნიტური ნაკადი,
მით მეტია ინდუქციური წინააღობა.

სადენის განიკვეთის ცენტრიდან ახლოს მდებარე ელემენტარული
გამტარი ნაწილი შემოფარგლულია უფრო დიდი მაგნიტური ნაკადით,
ვიდრე სადენის ზედაპირთან ახლო მდებარე ელემენტარული გამტარი
ნაწილი. აქედან გამომდინარე, სადენის ცენტრალურ ნაწილში ინდუქ-
ციური წინააღობა მეტია, ვიდრე განიკვეთის პერიფერიულ ნაწილში. ეს
კი განაპირობებს დენის გადანაწილებას ცენტრიდან პერიფერიისკენ.
შედეგად დენი სადენის ცენტრალურ ნაწილში ნაკლებია, ვიდრე ზედა-
პირის მახლობლობაში. დენის სიმკვრივე მინიმალურია სადენის ღერ-
ძზე, ხოლო მაქსიმალურია სადენის ზედაპირთან. სიმკვრივეთა შორის
განსხვავება მით მეტია, რაც მეტია დენის სიხშირე, სადენის რადიუსი,
მისი გამტარობა და მაგნიტური შეღწევადობა. შესაბამისად, ცვლადი
დენისას, ზედაპირული ეფექტის არსებობის გამო სადენის განიკვეთი
სრულად არ არის გამოყენებული.

ელექტროგადაცემის ხაზებში, რომელთა? სადენები დამზადებულია
ფერადი ლითონებისგან (ალუმინი, სპილენძი) და რომელშიც გადის
სამრეწველო სიხშირის დენი, ზედაპირული ეფექტი არც ისე დიდია. ამი-
გომ ამ სადენთა აქტიური წინააღობა მცირედ განსხვავდება ომური წი-
ნააღობისაგან. ეს განსხვავება იზრდება სადენის განიკვეთის ზრდასთან
ერთად. $F \leq 150$ მმ² განიკვეთის სადენების აქტიური წინააღობა ომურს
აღემაგება არაუმეტეს 1%-ით, ხოლო $F=500$ მმ² განიკვეთის სადენის
აქტიური წინააღობა ომურს აღემაგება 5%-ით.

სადენის ომური წინააღობა უშუალოდ გაიზომება საქარსნო პირობებ-
ში $+20^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს. ამიგომ $t \neq +20^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურისას
სადენის საანგარიშო კუთრი წინააღობა გაზომივლება ფორმულით

$$\rho = \rho_{20} [1 + \alpha(t - 20)] \frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{კმ}} \quad (2.28)$$

სადაც: ρ_{20} - სადენის კუთრი ომური წინაღობა $+20^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს; $\alpha = 0,004$ გრად $^{-1}$ - მასალის წინააღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი.

1 კმ სიგრძის სადენის წინააღობა (ცხრ.დ2; დ3; დ4) განისაზღვრება ფორმულით

$$r_0 = \rho / F \text{ ომი/კმ} , \quad (2.29)$$

სადაც: F - სადენის გამგარი ნაწილის განიკეეთი, მმ 2 .

საპაეო ელექტროგადაცემის ხაზებზე სადენებად გამოიყენება ალუმინი და მყარმიღული სპილენძი, რომელთათვის

$$\rho_{\text{ალ}} = 29,5 \frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{კმ}} \quad \text{და} \quad \rho_{\text{სპ}} = 18,0 \frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{კმ}} .$$

განგარიშებისას კუთრი წინააღობების ეს მნიშვნელობები უნდა გაიზარდოს შემდეგი მოსაზრებების გამო:

1. მრავალმავეთულიანი სადენის სიგრძე მათელთა დახევის გამო მეტია, ეიდრე თვით სადენის სიგრძე;
2. ხაზის აქტიური წინააღობის განგარიშება წარმოებს სადენის სტანდარტული განიკეეთის მიხედვით. სინამდვილეში, უმეტეს შემთხვევაში, სადენის საანგარიშო განიკეეთი სტანდარტულზე ნაკლებია;
3. ჩადუნის ისრის გამო სადენის სიგრძე მეტია, ეიდრე ხაზის სიგრძე, რომლის მიხედვითაც გამოითვლება ხაზის აქტიური წინააღობა;
4. ზედაპირული ეფექტის გამო სადენის განიკეეთის გამოყენების ეფექტურობა ცეღადი დენისას უფრო დაბალია, ეიდრე მუღმი ეი დენისას.

აღნიშნულ მოსაზრებათა გამო საანგარიშო კუთრი წინააღობა აიღე-ბა

$$\rho_{\text{ალ}} = 31,5 \frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{კმ}} \quad \text{და} \quad \rho_{\text{სპ}} = 18,8 \frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{კმ}} \quad (2.30)$$

ფოღადის სადენში, მასალის მაღალი მაგნიტური მეღწეეღობის გამო, მაღალია ზედაპირული ეფექტის ხარისხი. ამიგომ, ფოღადის სადენის აქტიური წინააღობა დამოკიდებულია დაგვირთვის დენის სიდიღეზე და იგი ომურ წინააღობასთან მეღარებით მნიშვნელოვნად დიღია. ამასთან, მრავალმავეთულიანი სადენის აქტიური წინააღობა უფრო ნაკლებია, ეიდრე ერთმავეთულიანისა.

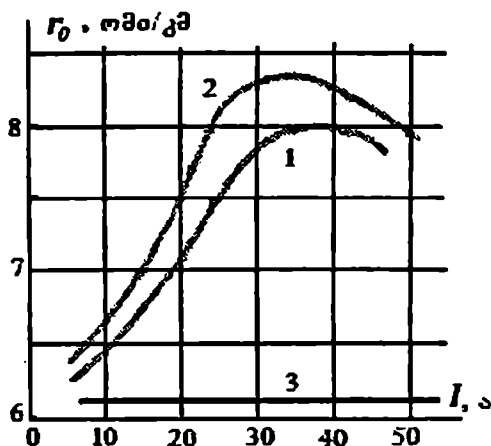
ფოღადის სადენში გამეღალი ცეღადი დენი, გარდა ზედაპირული ეფექტისა, იწევეს აგრეთვე მის მუღმიე გაღამეგნიტებას (ჰისტერეზისი) და გრიგალური დენების წარმოქმნას, რომლებიც თავის მხრიე იწევეენ

აქტიური ენერგიის დამატებით დანაკარგებს. ეს დანაკარგები ზედაპირულ ეფექტთან ერთად გათვალისწინებული უნდა იქნეს ფოლადის სადენის აქტიური წინააღობის დამატებითი შემდეგნის სახით

$$r_{0,ღა} = r_{0,მუდგ} + r_{0,პიკ} + r_{0,კრო} \quad \text{ომი/კმ} \quad (2.31)$$

ამრიგად, ცელადი დენის მიმართ ფოლადის სადენის აქტიური წინააღობა მნიშვნელოვნად იზრდება დატვირთვის დენის ზრდასთან ერთად (ნახ.2.7)

$$r_0 = r_{0,მუდგ} + r_{0,ღა} \quad \text{ომი/კმ} \quad (2.32)$$



ნახ. 2.6 ფოლადის სადენის აქტიური წინააღობა: 1-მრავალმავთულიანი; 2-ერთმავთულიანი; 3-მუდმივი დენის მიმართ.

ხაზის აქტიური წინააღობა ზოგადად იანგარიშება ფორმულით

$$R = r_0 \ell = \rho \frac{\ell}{F} \quad \text{ომი} \quad (2.33)$$

აქ: ℓ - ხაზის სიგრძე, კმ; r_0 - 1 კმ სიგრძის ხაზის წინააღობა, ომი/კმ, რომელიც ფერადი ლითონისგან დამზადებული სადენისთვის იანგარიშება (2.29) გამოსახულების მიხედვით, ხოლო ფოლადის სადენებისთვის კი აიღება 2.6 ნახაზის მიხედვით.

2.5.2 საპაერო ხაზის რეაქტიული წინააღობა

სადენში გამავალი ცელადი დენი ქმნის ცელად მაგნიტურ ელს, რომელიც მასში აინდუქციებს თვითინდუქციის ელექტრომაგნიტურ ძალას. ამ ძალის გავლენით დენს სადენში ექმნება დამატებითი წინააღობა, რომელსაც ინდუქციურ რეაქტიულ წინააღობას უწოდებენ.

სამუაზა ხაზის მეზობელი სადენები, რომლებიც განსახილველი სადენის ღენისთვის ეკუსადენებს წარმოადგენენ, თავის მხრივ, ამ სადენში აინდუქციონებს ურთიერთინდუქციის ელექტრომაგნიტურად ებეზრებულ ძალას, რომელიც რამდენადმე ამცირებს თვითინდუქციის ელექტრომაგნიტურად ებეზრებულ ძალას და, შესაბამისად, სადენის რეაქტიულ წინააღმდეგობას.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, რაც უფრო ახლოსაა ერთმანეთთან სამუაზა ხაზის სადენები, მით მეტია მეზობელი სადენების ურთიერთგავლენა და, შესაბამისად, ნაკლებია სადენის რეაქტიული წინააღმდეგობა. თუ წარმოვიდგენთ, რომ სამივე ფაზა ერთ გეომეტრიულ ღებზე გადის, მაშინ თვით და ურთიერთინდუქციის ელექტრომაგნიტურად ებეზრებული ძალების გავლენით სადენის ინდუქციური რეაქტიული წინააღმდეგობა ნულის ტოლი გახდება, რადგანაც ამ შემთხვევაში ფაზურ სადენებში გამავალი დენების მიერ შექმნილი მაგნიტური ველები ურთიერთკომპენსირდება.

ინდუქციურ რეაქტიულ წინააღმდეგობაზე გავლენას ახდენს აგრეთვე სადენის დიამეტრი, სადენის მასალის მაგნიტური შეღწევალობა და ცვლადი დენის სიხშირე.

საპაერო საზღვრის ერთი ფაზის სადენის ინდუქციური რეაქტიული წინააღმდეგობა იანგარიშება ფორმულით

$$x_0 = 2\pi f L_0 = \omega L_0 \text{ ომი/კმ,} \quad (2.34)$$

სადაც: f - ცვლადი დენის სიხშირე, ჰერცი; L_0 - სადენის ინდუქციურობის კოეფიციენტი, რომელიც $f=50$ ჰერცის ცვლადი დენის დროს გამოითვლება ფორმულით

$$L_0 = \left(4.61g \frac{D_{\text{საფ}}}{r} + 0.5\mu \right) \cdot 10^{-4} \text{ ჰენრი/კმ.} \quad (2.35)$$

აქ: $D_{\text{საფ}}$ - ფაზებს შორის საშუალო გეომეტრიული მანძილი; r - სადენის რადიუსი; μ - სადენის მასალის ფარდობითი მანიტური შეღწევალობა.

$f=50$ ჰერცი სიხშირის ცვლადი დენის შემთხვევაში 1კმ ხაზის ფაზური სადენის ინდუქციური რეაქტიული წინააღმდეგობის საანარიშო გამოსახულებას, (2.34) და (2.35) გამოსახულებათა გათვალისწინებით, აქვს სახე

$$x_0 = 0.1441g \frac{D_{\text{საფ}}}{r} + 0.016\mu \text{ ომი/კმ.} \quad (2.36)$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ სადენის რეაქტიული წინააღმდეგობა შეიცავს ორ შემდგენს, რომელთაგანაც:

პირველი - გარე რეაქტიული წინააღმდეგობა

$$x'_0 = 0.1441g \frac{D_{\text{საფ}}}{r} \quad (2.37)$$

განპირობებულია სადენის გარე მაგნიტური ელთ და დამოკიდებულია მხოლოდ მის გეომეტრიულ მომენტზე;

მეორე -შიგა რეაქტიული წინალობა

$$x_0'' = 0,016\mu \quad (2.38)$$

განპირობებულია სადენის შიგა მაგნიტური ელთ და დამოკიდებულია სადენის მასალის მაგნიტურ თვისებებზე ანუ სადენის შიგნით შექმნილ მაგნიტური ელთის დაძაბულობაზე, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია სადენში გამავალ დენზე.

ფერადი ლითონებისთვის $\mu = 1$ და ამიგომ ამ მასალისაგან დამზადებული სადენებისთვის გვაქვს

$$x_0 = 0,144I_g \frac{D_{\text{საშ}}}{r} + 0,016 \text{ ომი/კმ} \quad (2.39)$$

რეაქტიული წინალობის პირველი შემდგენი სადენის გეომეტრიულ მომენტთან ლოგარითმულ კავშირშია და იგი ამ ზომების ცვლილებისას უმნიშვნელოდ იცვლება. მეორე შემდგენი კი წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს. აღნიშნულის გამო ფერადი ლითონისგან დამზადებული სადენების შემთხვევაში საჭიერო ხაზის რეაქტიული წინალობა მცირე ფარგლებში იცვლება (ცხრ. დ2; დ3)

$$x_0 = (0,36 \div 0,44) \text{ ომი/კმ} \quad (2.40)$$

ფაზებს შორის მანძილი ხაზის ნომინალური ძაბვის ზრდასთან ერთად იზრდება. ასევე იზრდება სადენის რადიუსიც, მაგრამ უფრო ნაკლები ხარისხით. ამიგომ უფრო მაღალი ძაბვის ხაზების სადენის რეაქტიული წინალობა მეტია, ვიდრე უფრო დაბალი ძაბვის ხაზების სადენებისა.

ფოლადისთვის $\mu \gg 1$ და დამოკიდებულია მასში გამავალი დენის სიდიდებზე. ამიგომ ამ სადენებისთვის შიგა რეაქტიული წინალობა მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე ფერადი ლითონებისგან დამზადებული სადენებისა. ამასთან ერთმანეთულიანი სადენის წინალობა უფრო მეტია ვიდრე მრავალმანეთულიანისა (ნახ.2.7).

როგორც ვხედავთ, ფოლადის სადენის რეაქტიული წინალობა, მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე ფერადი ლითონისგან დამზადებული სადენებისა. ამ გარემოებათა გამო ელექტრულ ქსელებში ენერგიის გადამცემისთვის ფოლადი არ გამოიყენება.

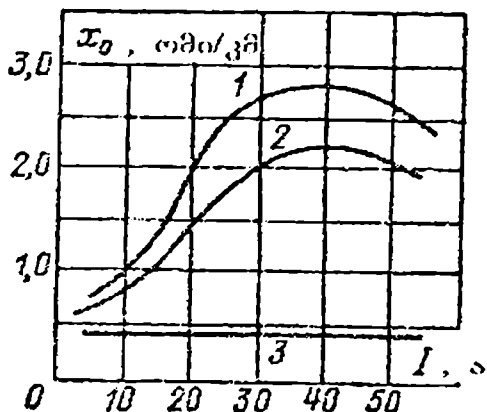
2.8 ნახაზზე ნაჩვენებია ფერადი ლითონისგან დამზადებული საჭიერო ხაზების აქტიური და რეაქტიული წინალობების ცვლილების გრაფიკები სადენის განიკვეთისგან დამოკიდებულებაში.

როგორც ცნობილია 330 კვ და უფრო მეტი ძაბვის ელექტროგადამცემის ხაზებზე, გვირგვინზე აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების მიზნით, ახდენენ ფაზის გახლეჩას რამდენიმე სადენად. ასეთ შემ-

თხევებაში 1 კმ ხაზის აქტიური წინაღობა (2.29) იანგარიშება ფაზის სადენების გამტარი ნაწილის ჯამური განიკვეთის მიხედვით, ხოლო რეაქტიული წინაღობა კი ფორმულით

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{\text{საშ}}}{r_{\text{გა}}} + \frac{0,016}{n} \text{ ომი/კმ, } \checkmark \quad (2.41)$$

სადაც n - გახლეჩილ ფაზაში სადენების რაოდენობა; $r_{\text{გა}}$ -გახლეჩილი ფაზის ეკვივალენტური რადიუსი (2.12).



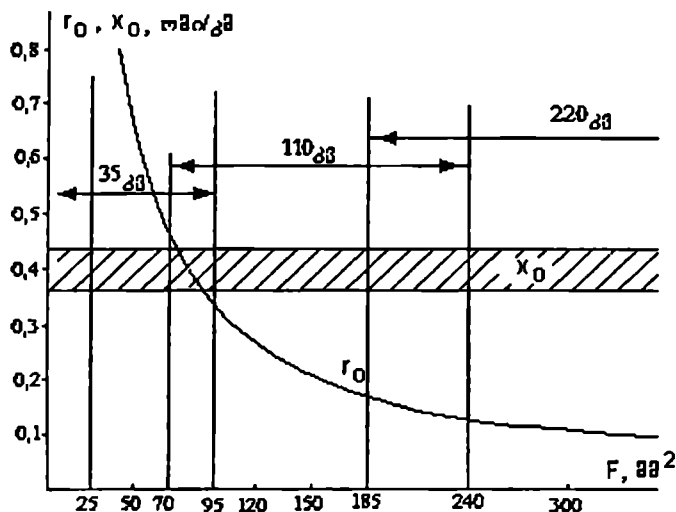
ნახ. 2.7. ფოლადის და ალუმინის სადენების ინდუქტიური რეაქტიული წინაღობები: 1-ერთმაფთულიანი ფოლადის სადენი; 2-მრავალმაფთულიანი ფოლადის სადენი; 3-ალუმინის სადენი.

გახლეჩილი ფაზის რეაქტიული წინაღობა უფრო მცირეა, ვიდრე ერთსადენიანი ფაზისა. კერძოდ ფაზის ორად გახლეჩის შემთხვევაში (330კვ) $x_0=0,32 \pm 0,33$ ომი/კმ; სამად გახლეჩის შემთხვევაში (500კვ) $x_0=0,30 \pm 0,31$ ომი/კმ; ოთხად გახლეჩის შემთხვევაში (750კვ) $x_0=0,29 \pm 0,30$ ომი/კმ და რვად გახლეჩის შემთხვევაში (1150კვ) $x_0=0,26 \pm 0,27$ ომი/კმ.

გამოთვლით რა 1კმ სიგრძის რეაქტიულ წინაღობას, შეგვიძლია განესაზღვროთ ხაზის რეაქტიული წინაღობა ფორმულით

$$X = x_0 \cdot l. \quad \text{ომი} \quad (2.42)$$

საპაერო ხაზის საყრდენებზე სადენთა ურთიერთ არასიმეტრიული განლაგების გამო მათი რეაქტიული წინაღობები არაერთნაირია. კერძოდ, ფაზათა პორობონგალური განლაგების დროს, რომელსაც პრაქტიკულად ადგილი აქვს 220კვ და მეტი ძაბვის ხაზების შემთხვევაში, შუა ფაზის წინაღობა კიდურა ფაზების წინაღობაზე ნაკლებია. წინაღობათა არაერთნაირობა იწვევს ხაზის რეკიმის პარამეტრების არასიმეტრიულობას, რომლის თავიდან აცილების მიზნით ამ ძაბვის ხაზებზე შეიძლება განვახორციელოთ სადენთა გრანსპოზიციის სრული ციკლი, როცა ხაზის სიგრძე აღემატება 100კმ-ს.



ნახ. 2.8. ფოლად-ალუმინის და ალუმინის სადენის აქტიური და რეაქტიული წინაღობის სადენის განიკვეთზე დამოკიდებულების გრაფიკები

2.5.3. საპაერო ხაზის აქტიური გამტარობა

ხაზის აქტიური გამტარობა განპირობებულია იზოლატორებში გაქონვის დენებით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებითა და დანაკარგებით გვირგვინზე.

დღეისთვის სახაზო იზოლატორები საკმარისად მაღალსარისხოვანი და სრულყოფილია. ამიტომ, მათში გაქონვის დენები ძალიან მცირეა და შესაბამისად, ამ დენებით გამოწვეული სიმძლავრის დანაკარგები შეიძლება უგულებელვყოთ.

გვირგვინზე აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები რიგ შემთხვევაში აღწევს მნიშვნელოვან სიდიდეს, განსაკუთრებით ზემაღალი ძაბვის ხაზებზე (§2.4). ამ დანაკარგების მიხედვით გამოვთვლით 1კმ სიგრძის ხაზის აქტიურ გამტარობას

$$g_0 = \frac{\Delta P_{\text{აქ}}}{U_c^2} 10^{-3} \text{ სიმ/კმ}, \quad (2.43)$$

სადაც: $\Delta P_{\text{აქ}}$ - ხაზის სამივე ფაზაზე გვირგვინზე აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები, კვტ/კმ (2.25); U_c - ხაზის ნომინალური ხაზური ძაბვა, კვ.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ საპაერო ხაზების სადენების შედაპირ-ზე ელექტრული ველის დაძაბულობის შემცირების ღონისძიებები განხორციელებულია იმგვარად, რომ კარგ ამინდში გვირგვინზე სიმძლავრის დანაკარგებს ადგილი არ აქვს (§2.4), ხოლო დანარჩენ ამინდში კი ეს დანაკარგები ძალიან მცირეა, მაშინ შეგვიძლია ჩავთვალოთ $G=0$, რაც განსაკუთრებით დამახასიათებელია 110კვ და უფრო დაბალი ძაბვის ხაზებისთვის.

იმ შემთხვევაში, როცა $G \neq 0$, ხაზის აქტიური გამტარობა გამოითვლება ფორმულით

$$G = g_0 \cdot \ell \quad \text{სიმ}, \quad (2.44)$$

აქ: ℓ - ხაზის სიგრძე, კმ.

2.5.4 რეაქტიული გამტარობა

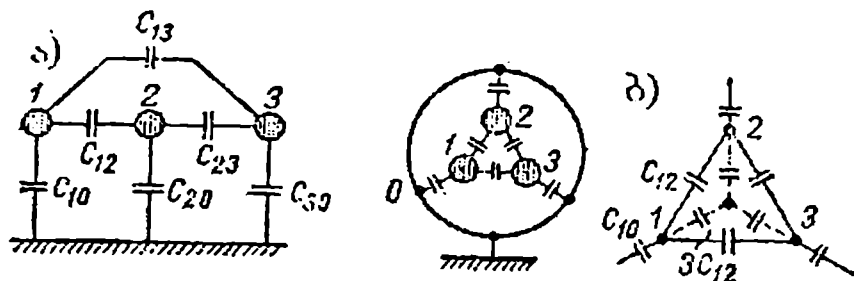
საპაერო ხაზის ნებისმიერი წყვილი სადენი და სადენი და მიწა შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც კონდენსატორი შესაბამისი გეეადობით. ხაზის მუშა გეეადობა შედგება ფაზა-ფაზა და ფაზა-მიწა გეეადობებისგან (ნახ.2.9.ა). საპაერო ხაზის მუშა გეეადობას ანგარიშობენ იმ დაშვებით, რომ ხაზზე განხორციელებულია სადენთა გრანსპოზიციის სრული ციკლი. ამ შემთხვევაში $C_{12}=C_{13}=C_{23}=C$ და ფაზის მუშა გეეადობა განისაზღვრება 2.9.ბ ნახაზის მისეღვით

$$C_1 = 3C + C_{1,0}.$$

1 კმ ხაზის სიგრძის მუშა გეეადობა დამოკიდებულია სადენის რადიუსზე, სადენთა ურთიერთგანლაგების საშუალო გეომეტრიულ მანძილზე და განისაზღვრება ფორმულით

$$C_0 = \frac{0,02413}{\lg \frac{D_{\text{საშ}}}{r}} \cdot 10^{-6} \quad \text{ფ/კმ}. \quad (2.45)$$

ამ ფორმულაში უგულებელყოფილია გვარლისა და პარალელური ხაზის სადენების გაუღენა, რაც ანგარიშებში იწვევს 5%-მდე ცდომილებას, რომელიც დასაშვებად მიიჩნევა.



ნახ. 2.9. ელექტროგადაცემის სამფაზა ხაზის ტევადობები:
ა-ტევადობების ჩართვის სქემა;
ბ-ერთი ფაზის ტევადობის საანგარიშო სქემა

გახლეჩილ სადენიანი ფაზის მუშა ტევადობა განისაზღვრება ფორმულით

$$C_0 = \frac{0,02413}{\lg \frac{D_{\text{საფ}}}{r_{\text{ფ}}}} \cdot 10^{-6} \text{ ფ/კმ} . \quad (2.46)$$

ფაზის რეაქტიული ტევადური გამტარობა განისაზღვრება ფორმულით

$$b_0 = \omega C_0 = 2\pi f C_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D}{r}} \cdot 10^{-6} \text{ სიმ/კმ} . \quad (2.47)$$

გახლეჩილი ფაზის შემთხვევაში r უნდა შეიცვალოს $r_{\text{კეფ}}$ -ით (2.12).
ხაზის ტევადურ გამტარობას გამოთვლიან ფორმულით

$$B = b_0 \ell \text{ სიმ} , \quad (2.48)$$

ℓ - ხაზის სიგრძე, კმ.

1კმ ხაზის ტევადური გამტარობა ერთსადენიანი ფაზების შემთხვევაში იცვლება $(2,5-2,9) \cdot 10^{-6}$ ფარგლებში, ხოლო გახლეჩილი ფაზების შემთხვევაში იცვლება $3,4 \cdot 10^{-6}$ -დან (330კე) $4,4 \cdot 10^{-6}$ -მდე (1150კე) ფარგლებში.

35-500 კე ძაბვის ხაზებზე გამოყენებულ სადენტო საანგარიშო ელექტრული პარამეტრები მოცემულია დ-2 და დ-3 ცხრილებში

2.6. საკაბელო ხაზების ელექტრული პარამეტრები

საპაერო ხაზების მსგავსად, საკაბელო ხაზებს გააჩნიათ საანგარიშო ელექტრული პარამეტრები R , X , G და B . ამასთან R , X და B გამოითვლება როგორც საპაერო ხაზებისთვის, ხოლო აქტიური გამტარობა G , რომელიც განპირობებულია სიმძლავრის დანაკარგებით საკაბელო იზოლაციაში, გამოითვლება ცნობილი რეაქტიული გამტარობითა და დანაკარგების კუთხის ტანგენსით

$$G = B \tan \delta,$$

სადაც დანაკარგების კუთხის ტანგენსი მოიცემა ქარხანა-დამამზადებლის მიერ და მოთაესებულია ფარგლებში

$$\tan \delta = 0.003 \div 0.006.$$

საკაბელო ხაზებში ფაზებს შორის მანძილი გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე საპაერო ხაზებში და, აქედან ამომდინარე, საკაბელო ხაზების რეაქტიული წინაღობა შედარებით მცირეა (ცხრ. 4.4)

$$x_0 = (0.08 - 0.12) \text{ ომი/კმ}$$

10 კე-მდე (ჩათვლით) ძაბვის საკაბელო ქსელის რეჟიმების გაანგარიშებისას საკაბელო ხაზების რეაქტიული წინააღობები აქტიურთან შედარებით, მათი სიმცირის გამო, შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ.

ფაზათა შორის საშუალო გეომეტრიული მანძილის სიმცირის გამო, საპაერო ხაზებთან შედარებით საკაბელო ხაზების რეაქტიული გამტარობა რამდენჯერმე მეტია (ცხრ. 4.4)

$$b_0 = (60 \div 185) \cdot 10^{-6} \text{ სიმ/კმ.}$$

2.7. ელექტროგადაცემის ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე

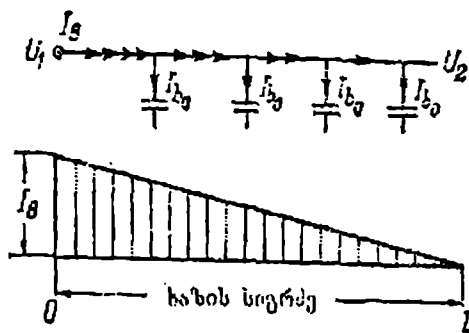
ხაზზე მოდებული ცელადი მუშა ძაბვის მოქმედებით მის ტევადური გამტარობაში აღიძვრება ცელადი ელექტრული ეელი და ადგილი აქვს ელექტრული მუხტების წანაცვლებას ანუ ხაზის ყოველ ერთეულოვან სიგრძეზე წარმოიქმნება რეაქტიული ტევადური დენი

$$I_{c0} = U_0 b_0 = \frac{U}{\sqrt{3}} b_0, \text{ ა/კმ}$$

აქ U -ხაზის ხაზური მუშა ძაბვა, ვ.

როგორც 2.10 ნახაზიდან ჩანს, როცა ხაზი ჩართულია ერთ ბოლოდან, მაშინ ტევადური დენის სიდიდე იზრდება ხაზის ბოლოდან თავისკენ გადაადგილებასთან ერთად. ხაზის თავში ტევადური დენი აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას

$$I_c = I_{c0} \cdot \ell = \frac{U}{\sqrt{3}} b_0 \ell = \frac{U}{\sqrt{3}} B \text{ ა.}$$



ნახ. 2.10 ხაზის გასწვრივ გვერდური ღენის განაწილება

გვერდური ღენის სიდიდე ხაზის სიგრძისა და მუშა ძაბვის პირდაპირპროპორციულია. ამიტომ 35 კე და უფრო დაბალი ძაბვის ხაზებისთვის ის ძალიან მცირეა და მას გაანგარიშებებში პრაქტიკულად არ ითვალისწინებენ, სოლო 110 კე და უფრო მაღალი ძაბვის ხაზების შემთხვევაში კი გვერდური ღენები მნიშვნელოვნად ღიძია და, ზოგჯერ, დაგვირთვის რეაქტიული ინდუქტიური ღენის თანამოხაზად. ამიტომ იგი გაანგარიშებებში გათვალისწინებული უნდა იქნეს.

ხაზში გვერდური ღენის არსებობა განიხილება როგორც რეაქტიული გვერდური დაგვირთვა

$$\Delta Q_C = \sqrt{3} U I_C = U^2 B_0 \ell = U^2 B, \text{ მგვარ} \quad (2.49)$$

აქ ძაბვა აიღება კე-ებში.

ამ დაგვირთვას აქვს ინდუქტიური დაგვირთვის საწინააღმდეგო ნიშანი, ამიტომ ის განიხილება როგორც ხაზის მიერ გენერირებული ინდუქტიური რეაქტიული სიმძლავრე. 2.5 ცხრილში მოცემულია სხვადასხვა ძაბვის ხაზების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელობები. ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ 35 კე და უფრო დაბალი ძაბვის ხაზების შემთხვევაში გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე პრაქტიკულად უმნიშვნელოა, სოლო ძაბვის ზრდასთან ერთად იზრდება და 750 კე ძაბვის შემთხვევაში აღწევს ეკონომიკური დაგვირთვის თითქმის 40%-ს.

საკაბელო ხაზების რეაქტიული გამტარობა მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე საჰაერო ხაზების და, შესაბამისად, ღიძია გვერდური ღენი და რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია. მაგალითად, 110 კე ძაბვის 1 კმ სიგრძის საჰაერო ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე დაახლოებით 0,033 მგვარ-ს შეადგენს, მაშინ როცა იმავე ძაბვისა და სიგრძის საკაბელო ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე 1,2 მგვარ-ს აღწევს. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ქსელის რეკიშის გაანგარიშებისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული 10 კე და უფრო მაღალი ძაბვის საკაბელო ხაზების რეაქტიული გამტარობები.

**ცხრილი 2.5 ელექტროგადაცემის ხაზის გამგარობა და
გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე**

ნომინალური ძაბვა, კვ	ხაზის სიგრძე კმ	სადენის მარ- კა	ეკონომიკური დატვირ- თვა 1.1ა/მმ ² დენის სიმ- კვრივისას დროს, აგ/კმ	ბეველური გამგარობა B·10 ³ , სიმ	გენერირებული რეაქტი- ული სიმძლავრე, ΔQ _ც , მგვარ	ფარდობა $\frac{\Delta Q_c}{S_u} \cdot 100, \%$
5	25	AC-70/11	4,7	67,5	0,83	1,6
110	70	AC-150/24	31,4	192	2,32	7,4
220	150	AC-300/39	125,6	396	19,2	15,3
330	250	2xAC-300/39	377,0	853	92,9	24,6
500	350	3xAC-400/51	1142,0	1267	316,8	27,7
750	500	5xAC-400/51	2855,0	2065	1162	40,7

2.8. ხაზის ნატურალური სიმძლავრე

მოცემული ნომინალური ძაბვის ხაზის გამგარუნარიანობა განისაზღ-
ვრება სამი პირობით: 1. გადაცემის ეკონომიკურობა, რომელიც დამო-
კიდებულია ხაზში ენერგიის დანაკარგების სიდიდეზე და შეფასდება
ხაზის მარჯი ქმედების კოეფიციენტის სიდიდის მიხედვით (ცხრ.1.2);
2. ძაბვის დონე ელექტროგადაცემის ბოლოებში, რომელიც დამოკიდე-
ბულია ხაზში ძაბვის ვარდნის სიდიდეზე და შეფასდება ძაბვის დანა-
კარგის დასაშვები სიდიდის მიხედვით (ცხრ.1.2); 3. მკეებავე ელექტრო-
სადგურების გენერატორების პარალელური მუშაობის მდგრადობა.

გემოთქმულიდან გამომდინარეობს, რომ გადაცემის სიგრძის
გაზრდით ხაზის გამგარუნარიანობა მცირდება, რაც გამოწვეულია ხა-
ზის მუშაობის მ.ქ. კოეფიციენტის შემცირებით, ძაბვის ზღვრული დანა-
კარგით, ან გადამცემი და მიმღები ბოლოების ძაბვის ვექტორებს შო-
რის ძვრის კუთხის ზღვრული მნიშვნელობის გაზრდით.

ელექტროენერგიის მომხმარებლები აქტიური სიმძლავრის მოხმარე-
ბასთან ერთად მოიხმარენ რეაქტიულ სიმძლავრესაც, რომელიც შეიძ-
ლება ელექტროგადაცემის ხაზების საშუალებით გადაცემული იქნეს
მკეებავე ელექტროსადგურების გენერატორებიდან, ან გენერირებული

იქნეს აღვილზე სინქრონული კომპენსატორების ან კონდენსატორთა ბატარეების მიერ.

რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემა ზრდის საზღვარს და გაცივრებას და იწვევს როგორც ძაბვის, ასევე ენერგიის დანაკარგებს მასში. ამოცანა იმის შესახებ თუ რა რაოდენობის რეაქტიული სიმძლავრე გადაეცემა ელექტროგადამცემის ხაზით და რა რაოდენობის გამოვიმუშაოთ აღვილზე, ამოსსნილი უნდა იქნეს როგორც ხაზის მუშაობის ეკონომიკურობის, ასევე ძაბვის დასაშვები დანაკარგის გათვალისწინებით.

ელექტროგადამცემის ხაზში გამავალი რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდეზე გავლენას ახდენს ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე. როგორც (2.49) გამოსახულება გვიჩვენებს გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული ხაზის დაგვირგნამზე, მაშინ როცა ხაზის რეაქტიულ წინააღობაში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგი დაგვირგნვის დენის კვადრატის პროპორციულია

$$\Delta Q_x = 3I^2 X \approx 3I^2 x_0 \cdot l.$$

გადასაცემი სიმძლავრის გარკვეულ მნიშვნელობისას შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ რეაქტიულ წინააღობაში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები კომპენსირდება ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრით

$$\Delta Q_x = \Delta Q_c$$

ანუ

$$3I^2 x_0 = 3U_{\varphi}^2 \cdot b_0. \quad (2.50)$$

თუ ამ დროს ხაზით გადაეცემა მხოლოდ აქტიური სიმძლავრე ($\cos\varphi=1$)

$$P = 3U_{\varphi} \cdot I, \quad (2.51)$$

მაშინ ხაზში იქნება აქტიური სიმძლავრის მინიმალური დანაკარგები. მუშაობის ამ რეჟიმში გადაეცემულ აქტიურ სიმძლავრეს ხაზის ნაგურაულ სიმძლავრეს უწოდებენ $P=P_{\text{ნაგ.}}$

(2.50)-დან განესაზღვროთ დენი I და შევიტანოთ (2.51)-ში. ამასთან გავითვალისწინოთ, რომ $x_0 = \omega L_0$, $b_0 = \omega C_0$ და გვექნება

$$P_{\text{ნაგ.}} = \frac{3U_{\varphi}^2}{\sqrt{L_0/C_0}} = \frac{U^2}{Z_c} \quad \text{მვტ,} \quad (2.52)$$

აქ: U - ხაზური ძაბვა, კვ;

$$Z_c = \sqrt{x_0/b_0} = \sqrt{L_0/C_0} \quad \text{ომი,} \quad (2.53)$$

ხაზის ტალღური წინააღობა.

(2.35) და (2.45) გამოსახულებების გათვალისწინებით ფერადი ლითონებისგან ღამზადებული სადენების მქონე ხაზებისთვის ელემენტობა

$$Z_c = 45,8 \lg \frac{D_{\text{ლაფ.}}}{r_{\text{ამ}}} \sqrt{9,05 + 1/n \lg \frac{D_{\text{ლაფ.}}}{r_{\text{ამ}}}}, \quad (2.54)$$

სხედასსება ნომინალური ძაბვის ზოგიერთი საპაერო ხაზის მახასიათებელი პარამეტრები მოცემულია 2.6 ცხრილში.

ცხრილი 2.6. ზოგიერთი საპაერო ხაზის მახასიათებელი პარამეტრები

ნომინალური ძაბვა, კვ	110	220	330	500	750
სადენების რაოდენობა ჟაზაში	1	1	2	3	4
ჟაზებს მორის საშუალო გეომეტრიული მანძილი, D _{საშ.გ.}	5,0	8,0	11,0	14,0	19,5
სადენის მარკა	AC-70/11	AC-240/32	AC-300/39	AC-330/43	AC-400/93
სადენის რადიუსი r, სმ	0,57	1,08	1,2	1,26	1,46
ვასლეჩილი ჟაზის ეკვივალენტური რადიუსი, როცა α=40სმ	-	-	6,93	12,63	19,04
1კმ ხაზის ელ.პარამეტრები:					
r ₀ , ომ/კმ	0,457	0,133	0,053	0,032	0,020
x ₀ , ომ/კმ	0,426	0,413	0,317	0,294	0,289
გ ₀ ·10 ⁻⁶ სიმ/კმ	-	-	0,031	0,023	0,024
ხ ₀ ·10 ⁻⁶ სიმ/კმ	2,59	2,64	3,44	3,71	3,77
ტალღური წინაღობა, Z _c , ომი	413,0	403,0	307,0	284,3	278,7
ნატურალური სიმძლავრე P _{საგ.} მგვრ	29,3	120,1	354,7	879,4	2018,3

საკაბელო ხაზების ტალღური წინაღობა 3,5-4 ჯერ ნაკლებია, ვიდრე საპაერო ხაზებისა და ამიტომ მათი ნატურალური სიმძლავრე ამდენჯერე მეტია.

ელექტროგადაცემის ხაზით ნატურალურ სიმძლავრეზე მეტი სიმძლავრის გადაცემისას იზრდება ხაზში აქტიური სიმძლავრისა და ენერგიის დანაკარგები, მცირდება ძაბვის სიდიდე მიმღებ ქვესადგურზე. ეკონომიკური მოსაზრებებით მიჩნეულია, რომ 110-220 კვ-მდ (ჩათვლით) და შედარებით მოკლე სიგრძის 330 კვ ძაბვის ხაზები მუშაობდეს ნატურალურ სიმძლავრეზე მეტი სიმძლავრის რეჟიმში, ხოლო უფრო მაღალი ძაბვის ხაზები კი ნატურალური სიმძლავრის რეჟიმში.

2.9. ხაზის ჩანაცვლების სქემა

ხაზის ელექტრული პარამეტრები R , X , G და B თანაბრად განაწილებულია მთელ მის სიგრძეზე, რომლის მუსტი გათვალისწინება შესაძლებელია მხოლოდ გრძელი ხაზების განგოლებების გამოყენების გზით (§7.2). 300 კმ-მდე სიგრძის ხაზებისთვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს უფრო გამარტივებული მოდელი, რომლის თანახმად ხაზის პარამეტრები განიხილება როგორც შეყურსული პარამეტრები.

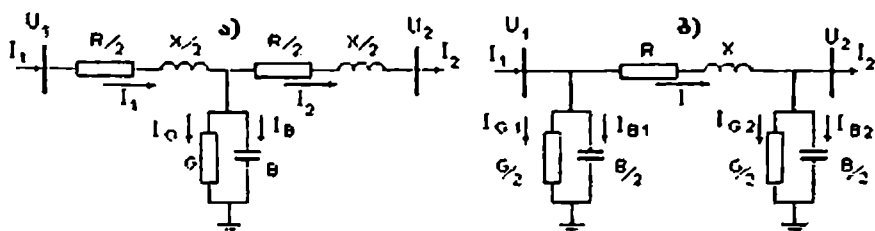
35 კე-მდე (ჩათვლით) საპაერო ხაზები ხასიათდებიან გადაცემის მცირე სიგრძით. მათი დაბალი ნომინალური ძაბვისა და მცირე სიგრძის გამო განივი გამგარობის დენი ძალიან მცირეა და იგი ხაზის მუშაობის რეჟიმის პარამეტრებზე პრაქტიკულად გავლენას ვერ ახდენს. ამიტომ ამ ძაბვის ხაზებში ანგარიშების დროს განივ პარამეტრებს (G , B) მხედველობაში არ ღებულობენ და ხაზის მათემატიკურ მოდელს (ჩანაცვლების სქემა) წარმოადგენენ მხოლოდ აქტიური R და რეაქტიული X წინაღობებით (ნახ. 2.11). ასეთი ჩანაცვლების სქემით შეგვიძლია ვისარგებლოთ 10 კე-ზე უფრო დაბალი ძაბვის საკაბელო ხაზების შემთხვევაში.



ნახ. 2.11. 35 კე-მდე (ჩათვლით) ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის ჩანაცვლების სქემა

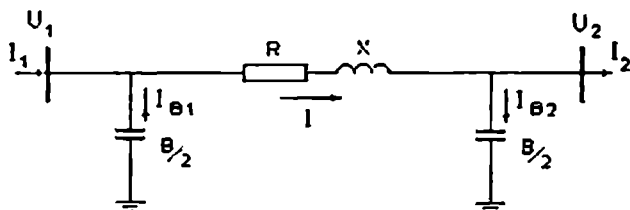
110 კე და უფრო მაღალი ძაბვის ხაზების სიგრძე საკმარისად დიდია. მაღალი ნომინალური ძაბვისა და ხაზის დიდი სიგრძის გამო გამგარობის დენი ხაზში დიდია, განსაკუთრებით 330 კე და უფრო მაღალი ძაბვის დროს. მათი გავლენა რეჟიმის პარამეტრებზე უნიშვნელოვანია. აღნიშნულის გამო, მაღალი და გემალაღი ძაბვის ხაზების მუშაობის რეჟიმის პარამეტრების ანგარიშების დროს G , B გამგარობების მხედველობაში მიღება აუცილებელია.

გემოთქმულიდან გამომდინარე 300 კმ-მდე სიგრძის ხაზებისთვის საანგარიშო მათემატიკური მოდელი შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს T -სებრი (ნახ.2.12,ა) ან Π -სებრი (ნახ.2.12,ბ) ჩანაცვლების სქემის სახით, ხოლო უფრო გრძელი ხაზებისთვის კი აუცილებელია ვისარგებლოთ გრძელი ხაზის განგოლებებით (თავი 7).



ნახ. 2.12. $\ell < 300$ კმ სიგრძის 110 კვ და მეტი ძაბვის ელექტროგადამცემის ხაზის ჩანაცვლების სქემა: ა) T-სებრი; ბ) Π -სებრი

T სქემის დროს ხაზის გამგარობა შეყურსული სახით ჩართულია სქემის შუაში, ხოლო Π სქემის დროს კი ნახევარ-ნახევარი თავსა და ბოლოში. უფრო მოსერსებულია და, შესაბამისად, ხაზებისთვის მიღებულია Π -სებრი ჩანაცვლების სქემა. იმ შემთხვევაში, როცა ხაზზე სადენთა განიკეთები და უაზის კონსტრუქცია შერჩეულია ისეთნაირად, რომ საერთო გვირგვინის მოვლენას აღვილი არ აქვს, მაშინ ხაზის აქტიური გამგარობა რეაქტიულ გამგარობასთან შედარებით მნიშვნელოვნად მცირეა $G \ll B$. ეს თანაფარდობა საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ $G=0$ და ხაზის ჩანაცვლების Π -სებრი სქემას ექნება 2.13 ნახაზზე ნაჩვენები სახე.

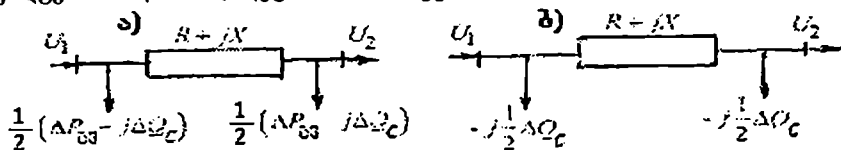


ნახ. 2.13 Π -სებრი ჩანაცვლების გამარტივებული სქემა, როცა $G=0$

გამგარობის დენის სიდიდე დამოკიდებულია მუშა ძაბვის მნიშვნელობაზე, მაგრამ პრაქტიკული გაანგარიშების დროს სარგებლობენ ნომინალური ძაბვის მნიშვნელობით. ამ დაშვების საფუძველზე ხაზის აქტიური გამგარობა შეგვიძლია შევეცადოთ გვირგვინზე სიმძლავრის დანაკარგებით, ხოლო რეაქტიული გამგარობა კი ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრით

$$\Delta P_{\Sigma} = U^2 G \quad \text{და} \quad \Delta Q_C = U^2 B.$$

ასეთი გამარტივების შემდეგ Π -სებრი ჩანაცვლების სქემა მიიღებს 2.14.ა ნასაზმზე ნაჩვენებ სახეს. თუ გვეაღურ გამგარობას შევეცლით გუნერიებული რეაქტიული სიმძლავრით, მაშინ Π -სებრი ჩანაცვლების სქემა კიდე უურო გამარტივება და მიიღებს 2.14.ბ-ნასაზმზე ნაჩვენებ სახეს. აქ გამგარობის ღენი შეიყავს მსოლოდ გვეაღურ რეაქტიულ შემღგენს, რომელსაც დაგვირთვის ღენის ინლუქტიური რეაქტიული შემღგენის საწინააღმდეგო ნიშანი აქვს.



ნახ. 2.14 ხაზის ჩანაცვლების სქემა : ა) $\Delta p_{გვ} \neq 0$, ბ) $\Delta p_{გვ} = 0$.

უნდა აღინიშნოს, რომ ჩანაცვლების სქემაზე დაგვირთვის ღენის დინების მიმართულების თვალსაზრისით R და X წინაღობებს ხაზის გრძივ პარამეტრებს უწოდებენ, ხოლო G და B გამგარობებს კი განივ პარამეტრებს.

ხაზის გრძივ და განივ პარამეტრებს ჩაწერენ კომპლექსურ სახეში:

- გრძივი პარამეტრები (გრძივი წინაღობა) $Z = R + jX$;
- განივი პარამეტრები (განივი გამგარობა) $Y = G + jB$.

2.10. არაიზოლირებული სადენებისა და კაბელების თბური მახასიათებლები

სადენებსა და კაბელებში გამავალი ღენი იწვევს მათში სითბოს გამოყოფას, რაც ამავე სადენებში (კაბელებში) დაკარგული აქტიური ენერგიის ეკვივალენტურია. ხანგრძლივად გამავალი ღენისას სადენის დამყარებული ტემპერატურა შეიძლება დადგენილი იქნეს თბური ბალანსის საფუძველზე

$$I^2 R = K S (\theta_{საღ} - \theta_{გარ}), \quad (2.55)$$

სადაც: I - დაგვირთვის ღენი, ა; R - I მეგრი სიგრძის სადენის წინაღობა, ომი; S - ამავე სადენის ცილინდრული ზედაპირის ფართობი (გაცივების ზედაპირი, მ²); $\theta_{საღ}$ - სადენის ტემპერატურა, °C; $\theta_{გარ}$ - გარემოს ტემპერატურა, °C; K - თბოგაცემის კოეფიციენტი, რომელიც რიცხობრივად სადენის 1 მ^2 ზედაპირის ფართობიდან 1 წამში გაცემული სითბოს (ვტ) ტოლია ვტ/წმ.მ² და მისი რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია

სადენის განიკვეთზე. კერძოდ, AC-70 მარკის სადენისთვის $K=15,38 \cdot 10^{-3}$ და AC-700 სადენისთვის $K=9,51 \cdot 10^{-3}$.

როგორც არაიზოლირებული სადენებისთვის, ასევე კაბელებისთვის დადგენილია მაქსიმალური დასაშვები ტემპერატურა, რომელიც ითვალისწინებს მათი თბური მდგრადობის პირობებს. ტემპერატურის ამაღლებით სადენების შეერთების ადგილებში (შემავრთებლებში) იწყება დაჟანგვის პროცესის გააქტიურება და შედეგად იზრდება შეერთების ელექტრული წინაღობა, რაც კიდევ უფრო ზრდის გამოყოფილი სითბოს რაოდენობას. შეერთების ადგილის გადახურებამ შეიძლება გამოიწვიოს სადენის მექანიკური სიმტკიცის დარღვევა. აღნიშნულის გამო მიღებულია, რომ მუშაობისას სადენის ტემპერატურამ არ გადააჭარბოს $+70^{\circ}\text{C}$ -ს. სწორედ ეს ტემპერატურაა მიღებული გახურების დასაშვებ ტემპერატურად არაიზოლირებული სადენებისთვის (საპაერო ხაზებისთვის). იზოლირებული სადენებისთვის იზოლაციის შენარჩუნების პირობიდან გამომდინარე, გახურების დასაშვებ ტემპერატურად მიღებულია $+65^{\circ}\text{C}$.

სხედასხვა ძაბვის კაბელებისთვის გახურების დასაშვები ტემპერატურა სხედასხვაა და იცელება $(80-50)^{\circ}\text{C}$ ფარგლებში (ცხრ.2.7).

ცხრილი 2.7. დასაშვები ტემპერატურა კაბელებისთვის, $^{\circ}\text{C}$

ხაზური ძაბვა, კე	1კმ-მდე	3	6	10	20	35
ტყეიისა და ალუმინის გარსის მქონე კაბელები	80	80	65	60	50	50

გახურების დასაშვები ტემპერატურის მიხედვით შეიძლება განესაზღვროთ არაიზოლირებული სადენებისთვის და კაბელებისთვის ზღვრული დასაშვები დენის მნიშვნელობა. (2.55) გამოსახულებიდან გვაქვს

$$I_{\text{დაშ}} = \sqrt{\frac{KS(\theta_{\text{დაშ}} - \theta_{\text{გარ.}})}{R}}. \quad (2.56)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ერთეულოვანი სიგრძის არაიზოლირებული ერთმავთულიანი სადენის შედაპირის ფართობი $S=2\pi r_{\text{სად}}$ და აქტიური წინაღობა კი $\rho/\pi r^2$, გვაქვს

$$I_{\text{დაშ}} = \pi r_{\text{სად}} \sqrt{\frac{2Kr_{\text{სად}}(\theta_{\text{დაშ}} - \theta_{\text{გარ.}})}{\rho}}. \quad (2.57)$$

AC მარკის სადენისთვის კი

$$I_{\text{დრ}} = \sqrt{\frac{K \cdot 2\pi_{\text{საღ}} (\theta_{\text{დას.}} - \theta_{\text{კარ.}}) \cdot F}{\rho}} \quad (2.58)$$

ამ გამოსახულებებში: $r_{\text{საღ}}$ – სადენის გარე რადიუსი (მ); F -მუშა განიკეთი (მ²).

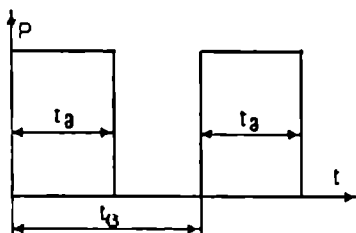
მიღებულ გამოსახულებათა ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გახურებაზე დასაშვები დენის მნიშვნელობა დამოკიდებულია სადენის კონსტრუქციულ ზომებსა და მასალაზე, გარემოს ტემპერატურაზე და თბოგაცემის კოეფიციენტზე (გაცივების პირობებზე). ამავე პირობებით განისაზღვრება გახურებაზე დასაშვები დენი კაბელებისთვისაც.

პრაქტიკაში სადენებისა და კაბელების ზღვრული დასაშვები დენების განსაზღვრისთვის სარგებლობენ ცხრილების (დ-7-1; დ-7-2; დ-7-3; დ-7-4) მონაცემებით, სადაც შიშველი (არაიზოლირებული) სადენებისთვის და ჰაერში გაკიდებული კაბელებისთვის გარემოს ტემპერატურად მიღებულია +25°C, სოლო მიწაში (ან წყალში) ჩადებული კაბელებისთვის კი +15°C. თუ გარემოს ტემპერატურა საანგარიშოსგან განსხვავებულია, მაშინ დასაშვები დენის მნიშვნელობის გამოთვლა წარმოებს შემასწორებელი კოეფიციენტების მიხედვით, რომელთა მნიშვნელობები მოცემულია შესაბამის ცხრილში (ცხრილი დ-8).

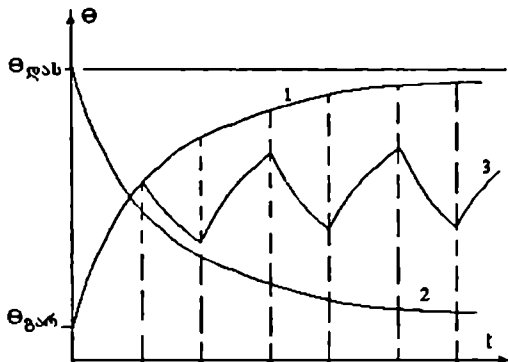
როცა გრანშეაში ან საკაბელო არსებში ჩაწყობილია რამდენიმე კაბელი, გაცივების პირობების გაუარესების გამო ერთი კაბელისთვის დასაშვები დენის მნიშვნელობა მცირდება და ამ შემცირების ჯერადობა დამოკიდებულია კაბელების რიცხვზე და მათ შორის მანძილზე. შესაბამისი შემასწორებელი კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში (ცხრ. დ-9).

არის შემთხვევები, როცა ელექტრომიმღებთა ნაწილი მუშაობს ხანმოკლე-განმეორებითი დატვირთვის რეჟიმში. ეს რეჟიმი ხასიათდება ხანმოკლე ჩართვა-გამორთვებით (ნახ.2.15).

სადენები (კაბელები), რომელთა საშუალებით ენერგია გადაეცემა აღნიშნულ რეჟიმში მომუშავე ელექტრომიმღებს, მუშაობს გახურება-გაცივების განსხვავებულ პირობებში. მუშა და არამუშა პერიოდების მონაცვლეობა რიგ შემთხვევაში იძლევა გახურებაზე დასაშვები დენის გაზრდის შესაძლებლობას. ეს დაკავშირებულია მასთან, რომ არამუშა რეჟიმში სადენი ცივდება (ნახ.2.16) და მუშაობის მთელ ციკლში გაცივების პირობები უმჯობესდება.



ნახ. 2.15. ელექტრომიმღების ხანმოკლე - განმეორებითი დატვირთვის გრაფიკი.



ნახ. 2.16 სადენის გემპერატურის ცვლილების გრაფიკები:
1-გახურების მრული ხანგრძლივად გამავალი ღენისას;
2-გახურებული სადენის გაცივების მრული დატვირთვის ღენის
გამორთვის შემდეგ; 3-გახურება-გაცივების მრული
ხანმოკლე-განმეორებითი დატვირთვის რეჟიმში

„ელექტროდანადგართა მოწყობის წესების“ თანახმად ხანმოკლე განმეორებითი დატვირთვის რეჟიმში მომუშავე სადენებისთვის (კაბულებისთვის) გახურებაზე დასაშვები ღენის გადაანგარიშება წარმოებს მაშინ, თუ მუშაობის მთელი ციკლის ხანგრძლივობა აღემატება $t_{\Sigma} \approx 10$ წუთს, ხოლო მუშა პერიოდის ხანგრძლივობა კი არ აღემატება $t_{\Sigma} = 4$ წუთს. გადაანგარიშების საანგარიშო გამოსახულებას, 10 მმ^2 და მეტი განიეკეთის მქონე სპილენძის და 16 მმ^2 და მეტი განიეკეთის მქონე ალუმინის სადენებისთვის, აქვს შემდეგი სახე

$$I'_{\Sigma} = I_{\Sigma} \cdot \frac{0,875}{\sqrt{t_{\Sigma}^*}}, \quad (2.59)$$

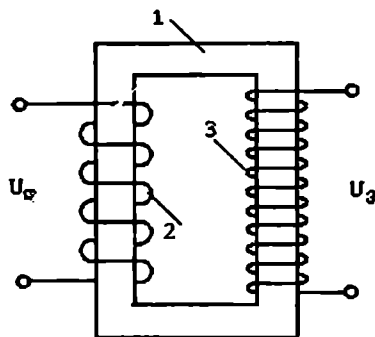
სადაც: I_{Σ} - გახურებაზე დასაშვები ღენი ხანგრძლივი დატვირთვისას;
 t_{Σ}^* - მუშა პერიოდის ხანგრძლივობის ფარდობითი მნიშვნელობა $t_{\Sigma}^* = t_{\Sigma}/t_{\Sigma}$.

2.11. გრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები

2.11.1. ზოგადი ცნობები

ელექტრულ სადგურებსა და ქვესადგურებზე აყენებენ ძაბვის სამად-
ლებელ და სადაბლებელ გრანსფორმატორებს, რომელთა საშუალებით
ცვლადი ღენის ერთი საფეხურის ძაბვა გარდაიქმნება იმავე სიხშირის
მეორე საფეხურის ძაბვად. გრანსფორმატორის მუშაობის პრინციპი ემ-
ყარება ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენას. კერძოდ, ჩაკეტილი
კონტურით შემოსაზღვრულ ფართში გაშვებული ცვლადი მაგნიტური ნა-
კადი ამავე კონტურში აღძრავს ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელ
ძალას.

გრანსფორმატორის აქტიურ ნაწილს წარმოადგენს ფოლადის გუ-
ლარა, რომელსაც მაგნიტოგამტარს უწოდებენ, და მასზე დახეული
სპილენძის გრაგნილი (ნახ.2.17).



ნახ. 2.17. ორგრაგნილიანი გრანსფორ-
მატორის პრინციპული სქემა:

- 1 - ფოლადის გულარა;
- 2 - დაბალი ძაბვის გრაგნილი;
- 3 - მაღალი ძაბვის გრაგნილი

ფოლადის გულარა სპილენძის გრაგნილებთან ერთად მოთავსე-
ბულია საგრანსფორმატორო მეთით სავსე საეციალურ ავზში. საგრან-
სფორმატორო მეთის დანიშნულებაა, ერთის მხრივ, გრაგნილებსა და
კორპუსს შორის, და გრაგნილთა ხეივებს შორის საიზოლაციო გარემოს
შექმნა და, მეორეს მხრივ, გრანსფორმატორის გაცივება.

გრანსფორმატორის გრაგნილი შესრულებულია მართკუთხა ან
წრიული განიკეთის მქონე სპილენძისგან, ზოგჯერ ალუმინისგან.
გრაგნილები შესრულების მიხედვით შეიძლება იყოს ცილინდრული ან
დისკოსებრი. ცილინდრული გრაგნილები მაგნიტოგამტარის ღეროებზე
განლაგებულია კონცენტრულად. ამასთან დაბალი ძაბვის გრაგნილი
უშუალოდ ღეროსთანაა განთავსებული, ხოლო მაღალი ძაბვის გრაგნი-
ლი კი ქმნის შემდგომ ფენას. დისკოსებრი შესრულების შემთხვევაში
მაღალი და დაბალი ძაბვის გრაგნილები ღეროზე განლაგებულია მო-

ნაცვლეობით. გრაგნილები იზოლირებულია გულარასგან, ერთმანეთისგან და აუზის კედლისგან. გრანსფორმატორის აუზი ოვალური ფორმისაა და მზადდება ფურცლოვანი ფოლადისგან. სიხისტის გაზრდის მიზნით მასზე მიდებულია სიხისტის წიბოები.

ცელადი ღენის სიდიდისა და მიმართულების შედმივად ცვლილების გამო მაგნიტოგამტარში აღვილი აქვს ფოლადის დამაგნიტება-გადამაგნიტებას, რომელსაც თან სდევს მისი გახურება. ანუ გრანსფორმატორის ფოლადში აღვილი აქვს ენერგიის დანაკარგებს. ამ ენერგიის სიმძლავრე ფოლადის ერთეული მასის მიმართ წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მახასიათებელს მაგნიტოგამტარის ფოლადისთვის და მას ფოლადში ხვედრითი დანაკარგები ეწოდება.

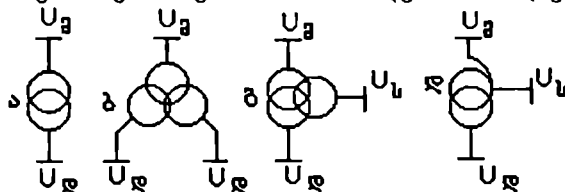
ელექტრულ ქსელში ფართოდ გამოიყენება სამუშაო ან ერთუბაზა ორ-გრაგნილიანი და სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები. როცა საჭირო ხდება ენერგიის გაყემა ძაბვის ორ სხვადასხვა საფეხურზე, მაშინ ეკონომიკურად ხელსაყრელია გამოვიყენოთ სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორი, ეიღრე ორი ორგრაგნილიანი. ამ შემთხვევაში დაიზოგება მიწის ფართობი, მაგტრიალური და კაპიტალური ხარჯები და მყირდება ენერგიის დანაკარგები. ასევე ეკონომიკურია სამუშაო გრანსფორმატორების გამოყენება ერთუბაზასთან შედარებით, თუმცა ზემაღალი ძაბვის შემთხვევებში ღიდი სიმძლავრეების გრანსფორმატორების გრანსპორტირების გაადვილების მიზნით უპირატესობა ენიჭება ერთუბაზა ავტოტრანსფორმატორებს.

რიგ შემთხვევებში ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორების დაბალი ძაბვის გრაგნილი შეიცავს ერთმანეთისგან იზოლირებულ ორ (ან მეტ) პარალელურ შტოს. ასეთ გრანსფორმატორებს გახლეჩილ გრაგნილიან გრანსფორმატორებს უწოდებენ. გრანსფორმატორთა ასეთი შესრულების შემთხვევაში მნიშვნელოვნად მყირდება შოკლე შერთვის ღენები და, შესაბამისად, შემსუბუქდება ამ ძაბვის შემკრები სალტეები და აპარატურა.

გრანსფორმატორთა პირობითი აღნიშვნა ნაჩენებია 2.18 ნახაზზე.

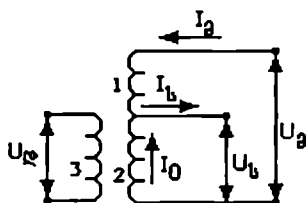
გრანსფორმატორთა ძირითად სახასიათო პარამეტრთა შორის განიხილება გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრე და ძაბვა, რომელთა მნიშვნელობა დადგენილია სასტ-ით (სასელმწიფო სტანდარტი). ორ-გრაგნილიანი გრანსფორმატორის ორივე გრაგნილის ნომინალური სიმძლავრე ერთნაირია და გრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრის გოლია. ორად გახლეჩილი გრაგნილის შემთხვევაში თოთოეული გახლეჩილი გრაგნილის სიმძლავრე გრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრის ნახევრის გოლია. სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორები გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრეების მიხედვით შეიძლება იყოს შემდეგი შესრულების: 100/100/100%; 100/100/66.7% და 100/66.7/66.7%, სა-

დაც თითოეული რიკები, შესაბამისად, გვიჩვენებს მაღალი, საშუალო და დაბალი ძაბვის გრადნილთა ნომინალური სიმძლავრის პროცენტულ მნიშვნელობას ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრის მიმართ.



ნახ.2.18 ტრანსფორმატორთა პირობითი აღნიშვნები:
ა-ორგრადნილიანი; ბ-ორგრადნილიანი გახლეჩილი გრადნილით;
გ-სამგრადნილიანი; დ-ავტოტრანსფორმატორი

სხვადასხვა მაღალი ნომინალური ძაბვის ქსელების დასაკავშირებლად ძირითადად გამოიყენება ავტოტრანსფორმატორები. განსხვავებით ტრანსფორმატორებისგან ავტოტრანსფორმატორების გრადნილებს შორის, გარდა მაგნიტური კავშირისა, არის აგრეთვე ელექტრული კავშირიც. ავტოტრანსფორმატორი შეიქმნა მიმდევრობით 1, საერთო 2 და დაბალი ძაბვის 3 გრადნილებს (ნახ. 2.19). მიმდევრობითი და საერთო გრადნილი ერთმანეთთან კავშირშია როგორც ელექტრულად, ასევე მაგნიტურად. დაბალი ძაბვის გრადნილი დანარჩენ ორთან მხოლოდ მაგნიტურ კავშირშია.



ნახ.2.19 ავტოტრანსფორმატორის ერთი ფაზის ელექტრული სქემა

ავტოტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრე ეს ის ზღვრული სიმძლავრეა, რომელიც შეიძლება გადაეცეთ მაღალი ძაბვის მხრიდან საშუალო ძაბვის მხარეს:

$$S_6 = \sqrt{3}U_{\text{მ}} \cdot I_{\text{მ}} = \sqrt{3}U_{\text{ს}} \cdot I_{\text{ს}}$$

გარდა ნომინალური სიმძლავრისა, ავტოტრანსფორმატორები ხასიათდებიან აგრეთვე გიჟური სიმძლავრით, რომელიც მაგნიტური გზით გადევნა მიმდევრობითი გრადნილიდან საერთო გრადნილს და რომელზედაც გათვლილია ეს გრადნილები:

$$S_{\text{გო1}} = S_{\text{გო6}} = \sqrt{3} I_{\text{მდ}} (U_{\text{მდ}} - U_{\text{მგ}}) = \sqrt{3} I_{\text{მდ}} U_{\text{მდ}} \left(1 - \frac{U_{\text{მგ}}}{U_{\text{მდ}}}\right) = S_{\text{ე}} (1 - K_{\text{გ}}) = \alpha S_{\text{ე}}$$

სადაც $\alpha = 1 - K_{\text{გ}} < 1$ წარმოადგენს ავტოგრანსფორმატორის ხელსაყრლობის კოეფიციენტს. რადგანაც $\alpha < 1$, ელებულოთ $S_{\text{გო1}} < S_{\text{ე}}$.

გრანსფორმატორების მაგნიტოგაძტარის გაანგარიშება ხდება მაგნიტური გზით გადატეული სიმძლავრის მიხედვით. აქედან გამომდინარე, ავტოგრანსფორმატორების მიმდევრობითი და საერთო გრანგნილები გაანგარიშდება ნომინალურზე ნაკლები სიმძლავრის ან ტიპური სიმძლავრის მიხედვით. ასევე, ტიპური სიმძლავრის მიხედვით გაანგარიშდება დაბალი ძაბვის გრანგნილიც.

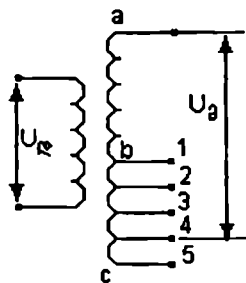
რადგანაც ავტოგრანსფორმატორის მაგნიტოგაძტარის გაანგარიშება ხდება $S_{\text{გო1}} < S_{\text{ე}}$ სიმძლავრის მიხედვით, მისი აქტიური ნაწილის ზომები ნაკლებია იმავე ნომინალური სიმძლავრის მქონე ორგრანგნილად გრანსფორმატორების აქტიური ნაწილის ზომებთან შედარებით. აქედან გამომდინარე, ნაკლებია ავტოგრანსფორმატორის წონა, ზეთის მოცულობა, სპილენძისა და ფოლადის ხარჯი, გაბარიტები, ნაკლებია დანაკარგები გრიგალურ დენებზე და სხვა, რაც მიუთითებს ავტოგრანსფორმატორების უპირატესობაზე იმავე სიმძლავრის ორგრანგნილიან გრანსფორმატორებთან შედარებით.

ეს უპირატესობა დამოკიდებულია ავტოგრანსფორმატორის ხელსაყრელობის კოეფიციენტზე და იგი მით მეტი ხარისხით გამოვლინდება, რაც უფრო ახლოსაა ერთმანეთთან ურთიერთ დასაკეშირებელი ნომინალური ძაბვები. აღნიშნულის გამო ავტოგრანსფორმატორები ხელსაყრელია გამოვიყენოთ შემდეგი ნომინალური ძაბვების მქონე ელექტრული ქსელების დასაკეშირებლად: 220/110; 330/220; 500/220; 750/330; 1150/500; 1150/750 კვ. სხვა შემთხვევაში ავტოგრანსფორმატორთა ტექნიკურ-ეკონომიკური უპირატესობა უმნიშვნელოა.

გრანგნილებს შორის ელექტრული კავშირის გამო ავტოგრანსფორმატორთა უარყოფით მხარეს წარმოადგენს: 1. შედარებით გართულებულია რელეული დაცვისა და ძაბვის რეგულირების საკითხები; 2. მაღალი ძაბვის ქსელში ერთფაზა დამიწების შემთხვევაში შესაძლებელია საშუალო ძაბვის ქსელი აღმოჩნდეს მაღალი ძაბვის ქვეშ, რომლის თავიდან აცილებისთვის აუცილებელია ნეიტრალის ყრუდ ჩამიწება; 3. ნეიტრალის ყრუდ ჩამიწება თავის მხრივ განაპირობებს მოკლე შერთვის დენების ზრდას.

მომსმარებელთან მიწოდებული ელექტრული ენერგიის ხარისხის ერთერთი დამახასიათებელი პარამეტრია ძაბვა, რომლის საჭირო დონის უზრუნველყოფა, სხვა არსებული საშუალებების გარდა, შესაძლე-

ბელია გრანსფორმაგოროთა გრანსფორმაციის კოეფიციენტის შეცვლით. ეს ხორციელდება გრანსფორმაციის მუშა ხეიების რაოდენობის შეცვლის გზით. ამ მიზნით გრანსფორმაგოროს მაღალი ძაბვის გრანსფორმაგოროს (ნახ.2.20). რეგულირებადი (აგ) და რეგულირებადი (ბგ) ნაწილებისგან (ნახ.2.20). რეგულირებადი ნაწილზე განსორციელებულია რამდენიმე გამომყვანი, რომელთა საშუალებით ხდება გრანსფორმაციის კოეფიციენტის შეცვლა.



ნახ.2.20 გრანსფორმაგოროს გრანსფორმაციის კოეფიციენტის ცვლილების პრინციპული სქემა

გამომყვანიდან გამომყვანზე გადართვის შესაბამისი მექანიზმის კონსტრუქციის მიხედვით გვაქვს ძაბვის რეგულირების ორი ხერხი. პირველი – გადართვა, როცა გრანსფორმაგორო ამორთულია ქსელიდან (ძაბვა მოხსნილია) და, მეორე – გადართვა დატვირთვის ქვეშ. პირველ შემთხვევაში გვაქვს $\Pi\Phi\Phi$ გრანსფორმაგოროები, ხოლო მეორე შემთხვევაში კი $P\Pi\Pi$ გრანსფორმაგოროები. $\Pi\Phi\Phi$ გრანსფორმაგოროებს აქვთ ძაბვის რეგულირების შედარებით მცირე დიაპაზონი მცირე რაოდენობის საფეხურებით $\pm 2 \times 2.5\%$, ან $\pm 1 \times 5\%$, ხოლო $P\Pi\Pi$ გრანსფორმაგოროებს გააჩნიათ რეგულირების უფრო დიდი დიაპაზონი უფრო მუსტი რეგულირებით $\pm 8 \times 1.5\%$, $\pm 9 \times 1.78\%$.

გრანსფორმაგოროებისა და გრანსფორმაგოროების საშუალებით ძაბვის რეგულირების საკითხები განხილულია მე-1 თავში.

მუშაობის პროცესში გრანსფორმაგოროების ფოლადსა და სპილენძში ენერგიის დანაკარგები გარდაიქმნება სითბოდ და იწვევს გრანსფორმაგოროს ნაწილების გახურებას. გახურების ზღერული მნიშვნელობა შეზღუდულია იზოლაციით, რომლის სამსახურის ეადა დამოკიდებულია გადახურების ტემპერატურაზე.

გრანსფორმაგოროს გაცივების სისტემა ემყარება ზედაპირული გაცივების პრინციპს, რომლის დროსაც გახურებული სხეულის (გრანსფორმაგორო, ფოლადი) ზედაპირებიდან სითბოს ართმევა ხდება გამაცივებელ საშუალების გზით. გრანსფორმაგოროებში გამაცივებელ საშუალებას წარმოადგენს ჰაერი ან ზეთი. შესაბამისად გვაქვს მშრალი და ზეთიანი გრანსფორმაგოროები.

მშრალ გრანსფორმაგორებში გრაგნილისა და ფოლადის ზედაპირებიდან სითბოს ართმევა ხდება ჰაერის ბუნებრივი ცირკულაციის საშუალებით. გაცივების ეს სისტემა საკმარის ეფექტს იძლევა მხოლოდ მცირე სიმაღლის მქონე გრანსფორმაგორებისთვის. ამიგომ, ითვალისწინებენ რა სიძნელეებს იზოლაციის შესრულებაში, მშრალი გრანსფორმაგორები მზადდება მხოლოდ 10 კმ-ზე დაბრისა და 750 კვა სიმაღლაკრემდე. ზეთის არ არსებობის გამო მშრალი გრანსფორმაგორები ხანძარუსაფრთხოა.

ზეთიანი გრანსფორმაგორების გაცივების პრინციპი სორციელდება სითბოს ართმევით გრანსფორმაგორის ან სპეციალურად ამ მიზნებისთვის დაყენებული გამაცივებელი მოწყობილობის ზედაპირებიდან (რადიაგორები).

ზეთის გასურებული ჟენა მოძრაობს ავზის სახურავისკენ და მის ადგილს იკავებს ავზის კედლებითა და რადიაგორის მილებში გაცივებული ზეთის ახალი ჟენები. რომლებიც გრანსფორმაგორის გაცხელებული ნაწილებიდან ღებულობენ სითბოს ახალ ულუფას. ამ გზით ხდება ზეთის ბუნებრივი ცირკულაცია. გაცივების ეს სქემა საფუძვლად უდევს გრანსფორმაგორის გაცივების ყველა სისტემას, რომელიც პრაქტიკაშია გამოყენებული. მათ რიცხვს მიეკუთვნება: ზეთის ბუნებრივი ცირკულაცია – პირობითი სახელწოდებით M სისტემა; ზეთის ბუნებრივი ცირკულაცია და შებერვა – II სისტემა; ზეთის იძულებითი ცირკულაცია და შებერვა – III სისტემა; ზეთისა და წყლის იძულებითი ცირკულაცია - IV სისტემა.

გაცივების ეფექტურობის გაზრდის მიზნით ზეთგამაცივებელი რადიაგორის ზეთის შემავალი და გამოძავალი მილები მიერთებულია გრანსფორმაგორის დიაგონალურ წერტილებში.

გრანსფორმაგორების გრაგნილები შეიძლება შეერთებული იქნეს ეარსკელავად ან სამკუთხედად. გრაგნილთა შეერთებას შეესაბამება ძაბვების ვარკეული ეექტორული დიაგრამა. პირველადი და მეორეული მხარის ერთი და იგივე ჟაზის ძაბვის ეექტორებს შორის ძვრის კუთხით განისაზღვრება გრაგნილთა შეერთების ჯგუფი, ამასთან საწყისად მიიღება პირველადი (მაღალი) მხარის ძაბვების ეექტორული დიაგრამა. გრაგნილთა შეერთების სხეადასხვა სქემის შესაბამისად მოვიღებთ შეერთების სხეადასხვა ჯგუფს, მათ შორის გამოყოფენ შეერთების ძირითად ჯგუფებს:

ორგრაგნილიანი გრანსფორმაგორები:

ლუწი ჯგუფები $\lambda/\lambda_0 - 0$; $\Delta/\Delta - 0$;

კენტი ჯგუფები $\Delta/\lambda_0 - 11$; $\lambda/\Delta - 11$;

სამგრაგნილიანი გრანსფორმაგორები და ავტოგრანსფორმაგორები:

ლუწი ჯგუფები $\Delta/\Delta/\Delta-0-0$;

კენტი ჯგუფები $\lambda_0/\Delta/\Delta-11-11$; $\lambda_0/\lambda_0/\Delta-0-11$.

გრაგნილთა ვარსკვლავად შეერთების დროს ნეიგრალური წერტილი (ნეიგრალი) შეიძლება იყოს მიწიდან იზოლირებული, ყრუდ ჩამიწებული ან ჩამიწებული ინდუქტიურობის კოჭის გავლით. 0,66, 6 და 10 კვ ნომინალური ძაბვის შემთხვევაში გრანსფორმატორის გრაგნილები, როგორც წესი, შეერთებულია სამკუთხედად და ამ ძაბვის ქსელები წარმოადგენს იზოლირებულ ნეიგრალიან ქსელებს.

„ელექტროდანადგართა მოწყობის წესების“ თანახმად 1000 ვოლტამდე ძაბვის ქსელებში ნეიგრალი შეიძლება იყოს ყრუდ ჩამიწებული ან იზოლირებული. 380 ვ ძაბვის ქსელებში ნეიგრალის ყრუდ ჩამიწების აუცილებლობა ნაკარნახევია მომსახურე პერსონალის უსაფრთხოების თვალსაზრისით. ამ ქსელებში ელექტრომოწყობილობათა კორპუსი მეტალურ კავშირშია ყრუდ ჩამიწებულ ნეიგრალთან ნულოვანი სადენის მეშვეობით. ამ დროს ნებისმიერი ფაზის კორპუსთან ან მიწასთან შეხება იწვევს მოკლე შერთვის დიდ ღენებს, რაც საკმარისია დაზიანებული ფაზის მტველის გადაწვისთვის, რის შემდეგ ქსელი აგრძელებს მუშაობას არასრულფაზა რეჟიმში. საღი ფაზების ძაბვა მიწის მიმართ იგივე რჩება და არ აღემატება ფაზურს.

იზოლირებულ ნეიგრალიან სისტემაში ერთი ფაზის მიწასთან შეხება (ერთფაზა დამიწება) არ იწვევს მოკლე შერთვასა და დაზიანებული ფაზის ამორთვას. ქსელი აგრძელებს მუშაობას სრულფაზა რეჟიმში, მაგრამ ამ დროს საღი ფაზების ძაბვა მიწის მიმართ იზრდება ხაზურამდე, რაც სასიფათოა მომსახურე პერსონალისთვის. ამავე ქსელში სხვა რომელიმე ფაზის მიწასთან შეხება უკვე ორფაზა მოკლე შერთვას და გამოიწვევს ქსელის ამორთვას, რომ არაფერი ეთქვათ დანადგარის მოსალოდნელ დაზიანებაზე. ამიგომ იზოლირებულ ნეიგრალიან სისტემაში უნდა სორციელდებოდეს იზოლაციის კონტროლი. კერძოდ, პირველივე ფაზის დაზიანება სწრაფად უნდა იქნეს აღმოჩენილი და ლიკვიდირებული, სოლო უსაფრთხოებისადმი ამაღლებული მოთხოვნების პირობებში კი უნდა ხდებოდეს ქსელის დაზიანებული უბნის ავგომავური ამორთვა.

1000 ვოლტზე მეტი ძაბვის იზოლირებულ ნეიგრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწებისას ჩამიწების წერტილში გამავალი გვევადური ღენი დამოკიდებულია მიწის მიმართ ფაზათა გვევადობაზე, ნომინალური ძაბვის სიდიდეზე და მით მეტია, რაც მეტია ქსელის ხაზების ჯამური სიგრძე. 1 კმ საპაერო ხაზების გვევადური ღენების მნიშვნელობები 6კვ ძაბვაზე შეადგენს 0,015, 10 კვ-ზე 0,025 და 35 კვ ძაბვაზე კი 0,10 ამპერს.

მიწასთან ფაზური სადენის არალითონური შეერთების დროს დამიწების წერტილში აღიძვრება არამდგრადი რკალი, რომელიც შე-

რიოდულად ქრება და ინთება. ამ დროს ქსელში წარმოიქმნება მაღალი სიხშირის თავისუფალი ელექტრული რხევები, რასაც თან სდევს გადამეტებადები, რომელთა ამპლიტუდამ შეიძლება მიაღწიოს 32.0 სკ სალ ფაზებზე და 22.0 სკ დაზიანებულ ფაზაზე. ასეთი სიდიდის გადამეტებადები დანადგართა იზოლაციისთვის არ არის საშიში ხანმოკლე დროით. მაგრამ სანგრძლივმა გადამეტებამ შეიძლება გამოიწვიოს იზოლაციის იონიზაცია და მისი გარღვევა. გარდა ამისა, რკალმა შეიძლება ერთფაზა დამიწება გადაზარდოს ორ ან სამფაზა მოკლე შერთვაში.

იზოლირებულ ნეიგრალიან 6-35 კვ ძაბვის საპაერო ქსელებში გვეადური დენების ის ზღვრული მნიშვნელობები, რომლის დროსაც ჯერ კიდევ უზრუნველყოფილია რკალის თვითჩაქრობა შეადგენს 10 ამპერს.

შემოთმოყვანილი მონაცემებიდან გამომდინარე ვასკენით, რომ თუ 35 კვ ძაბვის საპაერო ქსელის ხაზების ჯამური სიგრძე გადაჭარბებს 100 კმ-ს, საჭირო ხდება გვეადური დენების შემცირება (კომპენსაცია). ეს შესაძლებელია ნეიგრალში ინდუქციური კოჭის ჩართვით.

ინდუქციურობის კოჭის სათანადო შერჩევით შეგვიძლია მივაღწიოთ დამიწების დენის ნულოვან მნიშვნელობას (სრული კომპენსაცია) და შესაბამისად დამიწების წერტილში წარმოქმნილი რკალი ჩაქრება. როგორც გამოკვლევები გვიჩვენებს, უძაბესია, ადგილი ჰქონდეს ჭარბ კომპენსაციას ($L > 31C$), ვიდრე არასრულ კომპენსაციას. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში მოსალოდნელია გადამეტებადები.

110 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის ქსელებში გვეადური დენები მნიშვნელოვნად დიდია, ვიდრე 35 კვ ძაბვის ქსელებში. აქ ერთი ფაზის დამიწების დროს (თუ ნეიგრალი იზოლირებულია) მოსალოდნელია მაღალი ამპლიტუდის გადამეტებადები, რომელთა თავიდან აცილების მიზნით ამ ძაბვის ქსელებში გრანსფორმაგორების გრანგნილები შეერთებულია მსოლოდ ვარსკვლავად და მისი ნეიგრალი მუდამ ჩამიწებულია ყრუდ.

ყველა ან დიდი ნაწილი გრანსფორმაგორის ნეიგრალების ჩამიწება იწვევს ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის მნიშვნელოვან ზრდას. ამიტომ 110 კვ ძაბვის ქსელებში დასაშვებია ნაწილი გრანსფორმაგორების ნეიგრალების განმიწება. მაგრამ მთლიანად ქსელი ამ შემთხვევაში არ უნდა აღმოჩნდეს ნეიგრალის ჩამიწების გარეშე.

110 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის გრანსფორმაგორები გათვლილია ნეიგრალის ეუქეტური ჩამიწების პირობებში მუშაობისთვის და ამიტომ მათი ნეიგრალის იზოლაცია არასრულია. გრანსფორმაგორები უნდა მუშაობდნენ ყრუდ ჩამიწებული ნეიგრალით. ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის შემცირების მიზნით, ნაწილი გრანსფორმაგორების იზო-

ღირებულ ნეიგრალიან რეჟიმში გადაყვანა დასაშვებია, თუ მათი ნეიგრალი ამ დროს დაცული იქნება ვენტილური მცდელებით.

დასაშვებია გრანსფორმაგორების ნეიგრალის ჩამიწება სპეციალური რეაქტორების საშუალებით.

ჩამიწების ნეიგრალის მქონე დანადგარები და ელექტრული ქსელი მნიშვნელოვნად იაფია, განსაკუთრებით 110 კე და უფრო მაღალი ძაბვის შემთხვევაში. ნეიგრალის ჩამიწების შემთხვევაში იზრდება ექსპლუატაციის უსაფრთხოება, რადგანაც უზრუნველყოფილია რელეური დაცვის ზუსტი და საიმედო მოქმედება და დაზიანებული ადგილის სწრაფი ლოკალიზაცია.

2.11.4 გრანსფორმაგორებისა და ავტოგრანსფორმაგორების საპასპორტო მონაცემები

გრანსფორმაგორებისა და ავტოგრანსფორმაგორების საპასპორტო მონაცემებს მიეკუთვნება ნომინალური სიმძლავრე S_n , გრადნილთა ნომინალური ძაბვები $U_{\text{ფ.}} U_{\text{ს.ფ.}} U_{\text{ღ.ფ.}}$ აგრეთვე უქმი სვლისა და მოკლე შერთვის ცდების მონაცემები (უქმი სვლის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები $\Delta P_{\text{კ.}}$ და უქმი სვლის დენი $I_{\text{კ.}}\%$, მოკლე შერთვის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები $\Delta P_{\text{გ.ფ.}}$ და მოკლე შერთვის ძაბვა $U_{\text{გ.ფ.}}\%$). ამ მონაცემების საფუძველზე განისაზღვრება გრანსფორმაგორის ელექტრული პარამეტრები (გრანსფორმაგორის განივი გამტარობა G , B და ვრძივი წინაღობა R , X).

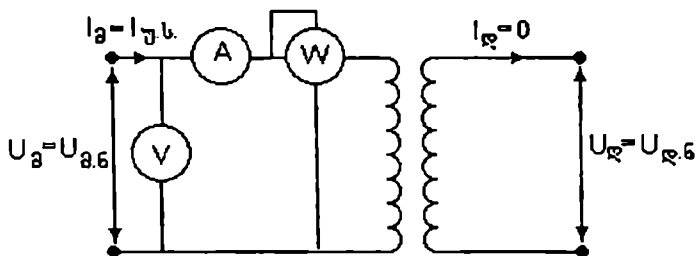
100 კეა და მეტი სიმძლავრის გრანსფორმაგორებისთვის (ავტოგრანსფორმაგორებისთვის) უქმი სვლისა და მოკლე შერთვის მონაცემების განსაზღვრა წარმოებს გრანსფორმაგორის ექსპლუატაციაში შეყვანადე ქარსანა-დამამზადებლის მიერ და ექსპლუატაციის პერიოდში კაპიტალური რემონტებისას და რემონტათაშორის შუალედებში.

უქმი სვლის ცდისას მაღალი ძაბვის გრადნილზე მოდებულია ნომინალური ძაბვა, ხოლო დაბალი ძაბვის გრადნილი (და საშუალო ძაბვის გრადნილი სამგრადნილიანი გრანსფორმაგორებისა და ავტოგრანსფორმაგორების შემთხვევაში) გახსნილია (ნახ.2.21).

სქემაში ჩართული A ამპერმეტრი გვიჩვენებს უქმი სვლის დენის მნიშვნელობას $I_{\text{კ.}}$, რომელსაც გამოსახვენ პროცენტობით გრანსფორმაგორის ნომინალური დენის მიმართ

$$I_{\text{კ.}} \% = \frac{I_{\text{კ.}}}{I_n} \cdot 100 \quad (2.60)$$

ეს დენი გრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემს წარმოადგენს.



ნახ. 2.21. ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორის ერთი ფაზის უქმი სელის ცდის სქემა

უქმი სელის დენი ქმნის ფოლადის დამამაგნიტებელ სიმძლავრეს, რაც აუცილებელია მაგნიტური ნაკადის მისაღებად, რომლის გარეშე გრანსფორმატორის მუშაობა შეუძლებელია.

უქმი სელის დენის საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ უქმი სელისას გრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგები

$$\Delta S_{\text{უკ}} = \sqrt{3} U_{\text{გ}} \cdot I_{\text{უკ}}$$

ანუ (2.60)-ის გათვალისწინებით, გვაქვს

$$\Delta S_{\text{უკ}} = S_{\text{გ}} \cdot I_{\text{უკ}} \% \cdot 10^{-2} \quad (2.61)$$

$\Delta S_{\text{უკ}}$ შეიცავს როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებს

$$\Delta S_{\text{უკ}} = \sqrt{\Delta P_{\text{უკ}}^2 + \Delta Q_{\text{უკ}}^2}$$

გრანსფორმატორში უქმი სელის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები $\Delta P_{\text{უკ}}$, რომელიც გრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებს წარმოადგენს, გაიზომება სქემაში ჩართული W ეაგმეტრის საშუალებით და, შესაბამისად, უქმი სელის რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები იქნება

$$\Delta Q_{\text{უკ}} = \sqrt{\Delta S_{\text{უკ}}^2 - \Delta P_{\text{უკ}}^2} \quad (2.62)$$

1 მგვა და მეტი სიმძლავრის გრანსფორმატორებისთვის სახასიათოა უტოლობა $\Delta P_{\text{უკ}} \ll \Delta S_{\text{უკ}}$. და, შესაბამისად, 2.61-ის გათვალისწინებით შეგვიძლია ეწეროს

$$\Delta Q_{\text{უკ}} = S_{\text{გ}} \cdot I_{\text{უკ}} \% \cdot 10^{-2} \quad (2.63)$$

უქმი სელის დენის მნიშვნელობა ნომინალური დენის მნიშვნელობის რამდენიმე ერთეულ პროცენტს შეადგენს. ამიტომ უქმი სელის რეჟიმში გრანსფორმატორის გრაგნილში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები

უმნიშვნელოა და არ აღემატება რამდენიმე ათეულ ვაგს. სქემაში ჩართული ვაგმეტრის ჩვენების მიხედვით კი გრანსფორმატორის უქმი სელისას აქტიური სიმძლავრის ხარჯი (უქმი სელის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები) აღწევს რამდენიმე ათეულ თუ ასეულ კილოვატს. ეს მიუთითებს მასზე, რომ უქმი სელის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები, პრაქტიკულად, მთლიანად იხარჯება გრანსფორმატორის ფოლადის გახურებაზე. კერძოდ, გრანსფორმატორის დამაგნიტება-გადამაგნიტებაზე (პისტერეზისის მოუღენა) დახარჯული ენერგიისა და გრიგალური (ფუკოს) დენებით გამოწვეული სითბური ენერგიის სახით.

მოკლე შერთვის ცდისას ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის გრაგნილი მოკლედ შერთულია, ხოლო მაღალი ძაბვის გრაგნილზე მოდებულია იმ სიდიდის ძაბვა, რომელიც საკმარისია ორივე ამ გრაგნილში ნომინალური დენის შესაქმნელად (ნახ.2.22). ძაბვის ამ მნიშვნელობას, რომელიც სქემაში ჩართული V ვოლტმეტრით გაიზომება, გრანსფორმატორის მოკლე შერთვის ძაბვას უწოდებენ $U_{\text{კ}}$. მას გამოსახავენ პროცენტობით გრანსფორმატორის ნომინალური ძაბვის მიმართ

$$U_{\text{კ}} \% = \frac{U_{\text{კ}}}{U_{\text{გ}}} \cdot 100 \quad (2.64)$$

და იგი გრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემს წარმოადგენს.

მოკლე შერთვის ძაბვის საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ მოკლე შერთვისას გრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგები

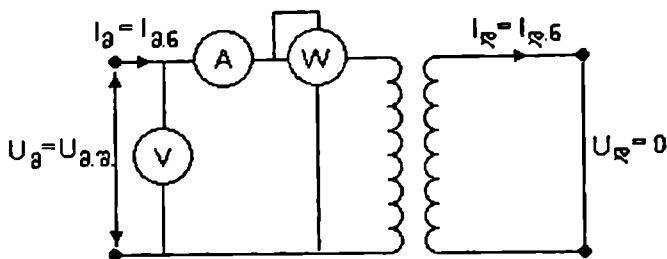
$$\Delta S_{\text{კ}} = \sqrt{3} U_{\text{კ}} \cdot I_{\text{გ}}$$

ანუ (2.64)-ის გათვალისწინებით, გვაქვს

$$\Delta S_{\text{კ}} = S_{\text{გ}} \cdot U_{\text{კ}} \% \cdot 10^{-2}. \quad (2.65)$$

მოკლე შერთვის ცდისას გრანსფორმატორში აქტიური სიმძლავრის ხარჯი (მოკლე შერთვის დანაკარგები $\Delta P_{\text{კ}}$), რომელიც გრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემს წარმოადგენს, გაიზომება სქემაში ჩართული W ვაგმეტრის საშუალებით და, შესაბამისად, მოკლე შერთვისას გრანსფორმატორში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები

$$\Delta Q_{\text{კ}} = \sqrt{\Delta S_{\text{კ}}^2 - \Delta P_{\text{კ}}^2}. \quad (2.66)$$



ნახ. 2.22 ორგრანულიანი გრანსფორმატორის ერთი ფაზის მოკლე შერთვის ცდის სქემა

მძლავრი (1 მგვა და მეტი) გრანსფორმატორებისთვის სახასიათო უტოლობა $\Delta P_{აა.} \ll \Delta S_{აა.}$ და შეგვიძლია ვწეროთ

$$\Delta Q_{აა.} \approx S_{\Sigma} \cdot U_{აა.} \% \cdot 10^{-2} \quad (2.67)$$

მოკლე შერთვის ძაბვის მნიშვნელობა გრანსფორმატორის ნომინალური ძაბვის (8-12)%-ს შეადგენს. აქედან გამომდინარე მოკლე შერთვისას გრანსფორმატორის ფოლადში სიმძლავრის დანაკარგები უმნიშვნელოა და რამდენიმე ათეულ ან ასეულ ვატს (ვარ-ს) აღწევს. ცდი-სეულ სქემაში ჩართული ეაგმეტრის ჩვენება კი რამდენიმე ასეულ კილოვატს შეადგენს. ეს მიუთითებს მასზე, რომ მოკლე შერთვის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები მთლიანად იხარჯება გრანსფორმატორის გრაგნილის გასურებაზე, ხოლო მოკლე შერთვის რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები კი მთლიანად იხარჯება ფანტვის შავნიტური ნაკადის შექმნაზე.

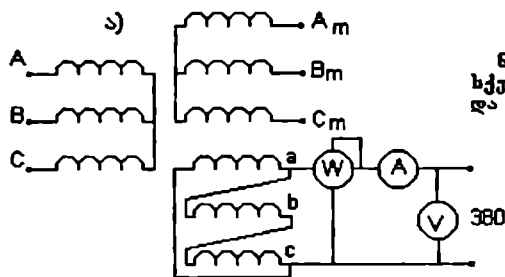
სამგრავნილიანი გრანსფორმატორებისთვის და აეგოტრანსფორმატორებისთვის უქმი სელის დენის და უქმი სელის სიმძლავრის დანაკარგები ფოლადში გაიზომება იმავე პრინციპით, რაც ორგრავნილა გრანსფორმატორის შემთხვევაში. ამასთან ცდის ჩატარებისას დაბალი და საშუალო ძაბვის გრავნილები გახსნილია (ნახ. 2.23 და 2.24).

სამგრავნილიანი გრანსფორმატორებისთვის და აეგოტრანსფორმატორებისთვის მოკლე შერთვის ცდა გარდება ყოველი წყვილი გრავნილისთვის ცალ-ცალკე, რომლის დროსაც გაიზომება შემდეგი სიდიდეები:

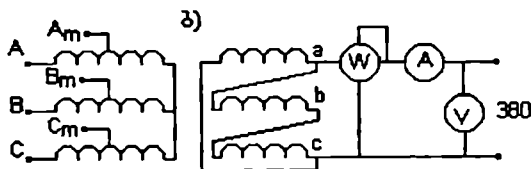
$\Delta P_{აა.(მ-ს)}$ და $S_{აა.(მ-ს)}\%$ - მოკლე შერთვის ცდა მაღალი და საშუალო ძაბეების გრავნილთა მიმართ (მ-ს);

$\Delta P_{აა.(მ-დ)}$ და $S_{აა.(მ-დ)}\%$ - მოკლე შერთვის ცდა მაღალი და დაბალი ძაბეების გრავნილთა მიმართ (მ-დ);

$\Delta P_{აა.(ს-დ)}$ და $S_{აა.(ს-დ)}\%$ - მოკლე შერთვის ცდა საშუალო და დაბალი ძაბეების გრავნილთა მიმართ (ს-დ).



ნახ. 2.23. უქმი ხელის ცდის
სქემები ტრანსფორმატორებისა (ა)
და ავტოტრანსფორმატორების (ბ)
შემთხვევებში



აღრე გამოშვებული სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორებისთვის, რომელთაც გრაგნილთა სხეუდასხვა ნომინალური სიმძლავრე ($S_{გრ.ე}$) გააჩნიათ (100/100/100%, 100/100/66,7% ან 100/66,7/66,7). მოკლე შერთვის ცდის საპასპორტო მონაცემები მიყვანილი უნდა იქნეს გრანსფორმატორის ნომინალურ სიმძლავრეზე ($S_{გრ.ე}$). მოკლე შერთვის ძაბვის მიყვანა წარმოებს ($S_{გრ.ე}/S_{გრ.ე}$) ფარდობის პროპორციულად, ხოლო მოკლე შერთვის სიმძლავრის მიყვანა კი ამ ფარდობის კუადრატის პროპორციულად.

ავტოტრანსფორმატორებისთვის $\Delta P_{გ.ე(მ.ა)}$ და $S_{გ.ე(მ.ა)}\%$ მიყვანილია ავტოტრანსფორმატორის ნომინალურ სიმძლავრეზე, ხოლო $\Delta P_{გ.ე(მ.დ)}$, $\Delta P_{გ.ე(ს.ლ)}$, $S_{გ.ე(მ.დ)}\%$ და $S_{გ.ე(ს.ლ)}\%$ კი მიყვანილია ავტოტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის გრაგნილის ნომინალურ სიმძლავრეზე.

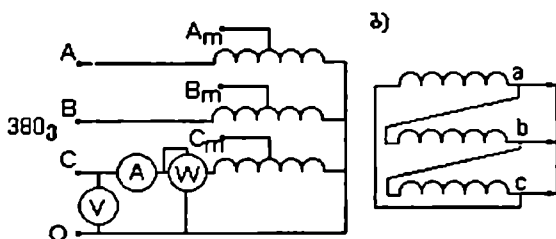
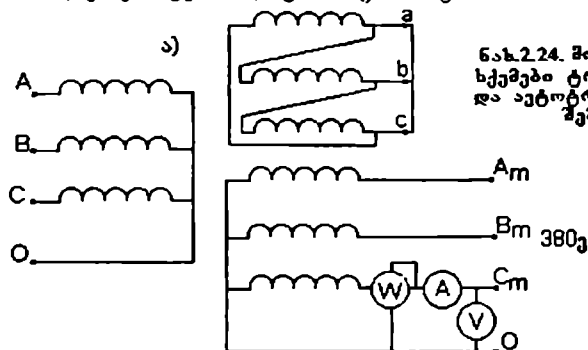
საპასპორტო პარამეტრების ჩაწერის აღნიშნული თავისებურება გამოწვეულია მოკლე შერთვის ცდის ჩატარების პირობებით. კერძოდ, მ-დ მოკლე შერთვისას მაღალი ძაბვის გრაგნილზე მოდებული ძაბვა აიღება ისეთი მნიშვნელობის, რომლის დროსაც მოკლედ შერთული დაბალი ძაბვის გრაგნილში გამავალი დენი შეესაბამება ამავე გრაგნილის ნომინალურ სიმძლავრეს და არა გრანსფორმატორის (ავტოტრანსფორმატორის) ნომინალურ სიმძლავრეს.

მოკლე შერთვის ცდის ჩატარების სქემიდან გამომდინარე, გვაქვს:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{გ.ე(მ.ა)} &= \Delta P_{გ.ე(მ)} + \Delta P_{გ.ე(ს)} \\ \Delta P_{გ.ე(მ.დ)} &= \Delta P_{გ.ე(მ)} + \Delta P_{გ.ე(დ)} \\ \Delta P_{გ.ე(ს.ლ)} &= \Delta P_{გ.ე(ს)} + \Delta P_{გ.ე(ლ)} \end{aligned} \right\} \quad (2.68)$$

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{გ.გ(ა-ბ)}}\% &= S_{\text{გ.გ(ა)}}\% + S_{\text{გ.გ(ბ)}}\% \\ S_{\text{გ.გ(ა-ღ)}}\% &= S_{\text{გ.გ(ა)}}\% + S_{\text{გ.გ(ღ)}}\% \\ S_{\text{გ.გ(ბ-ღ)}}\% &= S_{\text{გ.გ(ბ)}}\% + S_{\text{გ.გ(ღ)}}\% \end{aligned} \right\} \quad (2.69)$$

სადაც $\Delta P_{\text{გ.გ(ი)}}$ და $S_{\text{გ.გ(ი)}}\%$ - i -ური გრანვილის მოკლე შერთვის ძაბვა და სიმძლავრე მიყვანილი გრანსფორმატორის ნომინალურ სიმძლავრეზე.



2.113 გრანსფორმატორთა პარალელური მუშაობა

მომხმარებელთა ელექტრომომარაგების საიმედოობის ამაღლების მიზნით, ძაბვის სადაბლებელ ქეესადგურებზე აყენებენ ორ ან მეტ გრანსფორმატორს, რომელთაც, რიგ შემთხვევებში, ჩართავენ პარალელურად. თუ პარალელურად მომუშავე გრანსფორმატორების პარამეტრები იდენტურია, მაშინ ისინი თანაბარი დატვირთვის რეჟიმში მუშაობენ. წინააღმდეგ შემთხვევაში აღგილი აქვს ერთერთი მათგანის გადატვირთვას. დატვირთვითა უთანაბრობა მით უფრო მეკეთრ ხასიათს ატარებს, რაც უფრო მეტად განსხვავდება გრანსფორმატორთა სახასიათო პარამეტრები.

პარალელური მუშაობის დროს აუცილებელია გრანსფორმატორები აკმაყოფილებდნენ შემდეგ პირობებს:

- მაღალი და დაბალი ნომინალური ძაბვები უნდა იყოს ერთნაირი. დასაშვებია გრანსფორმაციის კოეფიციენტებს შორის განსხვავება 0.5%-მდე;

გრაგნილთა შეერთების ჯგუფები უნდა იყოს ერთნაირი;

მოკლე შერთვის ძაბვები უნდა იყოს ერთნაირი. დასაშვებია $\pm 10\%$ -მდე გადახრა მათი საშუალო მნიშვნელობიდან.

არარეკომენდირებულია გრანსფორმატორთა პარალელური მუშაობა, თუ მათი ნომინალურ სიმძლავრეთა თანაფარდობა აღემატება სამს.

გრანსფორმატორთა გრანსფორმაციის კოეფიციენტებს შორის განსხვავება დამატებით იწვევს მათანაბრებელი დენის გაელას, რომელიც ძირითადად ინდუქციური ხასიათისაა და გრანსფორმატორებში დამატებით გადის რეაქტიული სიმძლავრე.

მათანაბრებელი დენი (სიმძლავრე) გამოიწვევს დანაკარგების ზრდას. რიგ შემთხვევაში შეიძლება ადგილი ჰქონდეს გრანსფორმატორის გადაციხვას. ასეთ რეჟიმში გრანსფორმატორების მუშაობა დაუშვებელია. დასაშვებია მხოლოდ იმ დროით, რაც საკმარისია ერთი გრანსფორმატორიდან მეორეზე გადასასვლელად ან გრანსფორმატორის კოეფიციენტების შეცვლის ოპერაციის ჩასატარებლად.

გრაგნილთა სხვადასხვა შეერთების ჯგუფების მქონე გრანსფორმატორების პარალელურად ჩართვის დროს, ძაბვის ვექტორებს შორის ძვრის კუთხე უკეთეს შემთხვევაში იქნება 30° , რაც გამოიწვევს გრანსფორმატორებში დამატებით რეაქტიული დენის გასვლას, რომელიც რამდენჯერმე ჭარბობს ნომინალურ დენს

$$I_{\text{აპ}} \approx \frac{26}{U_{\text{გვ.}\%}} \cdot I_{\text{გ}}$$

აქედან გამომდინარე, გრაგნილთა სხვადასხვა შეერთების ჯგუფების მქონე გრანსფორმატორების პარალელური ჩართვა დაუშვებელია.

როცა გრანსფორმატორთა მოკლე შერთვის ძაბვები სხვადასხვაა, მაშინ მათ შორის დატვირთვის განაწილება მოხდება შემდეგი თანაფარდობით:

$$\frac{S_{\text{დ1}}}{S_{\text{დ2}}} \approx \frac{U_{\text{აბ.2}} \% \cdot S_{\text{გ1}}}{U_{\text{აბ.1}} \% \cdot S_{\text{გ2}}};$$

ცხადია, რომ გრანსფორმატორთა ნომინალურ სიმძლავრეებს შორის განსხვავება დამატებით მოქმედებს მათ შორის დატვირთვის განაწილებაზე. მცირე ნომინალური სიმძლავრის მქონე გრანსფორმა-

გორი, რომლის მოკლე შერთვის ძაბვა მცირეა, მეორე პარალელურად მომუშავე გრანსფორმატორთან შედარებით უფრო მეტად დაიგვირთება პროცენტულად.

მამასადამე, თუ სხედასხვა პარამტრების (ნომინალური სიმძლავრე, გრანსფორმაციის კოეფიციენტი, გრაგნილთა შეერთების ჯგუფი, მოკლე შერთვის ძაბუები) მქონე გრანსფორმატორები ჩართულია პარალელურად, მაშინ მათ შორის ადგილი აქვს სიმძლავრეთა გადანაწილებას, რაც უფრო საგრძნობია მცირე სიმძლავრის გრანსფორმატორებისთვის.

2.11.4. ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორების ჩანაცვლების სქემა და ელექტრული პარამეტრები

ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორების საანგარიშო მათემატიკური მოდელი შეიძლება წარმოედგინოთ Γ -სებრი ჩანაცვლების სქემის სახით (ნახ. 2.25), რომლის გრძივი ნაწილი შეიცავს აქტიურ R_g და რეაქტიულ X_g წინაღობებს, ხოლო განივი ნაწილი კი აქტიურ G_g და რეაქტიულ B_g გამტარობებს, მიყვანილს მაღალი ნომინალური ძაბვის საუბხურზე.

გრანსფორმატორის განივი გამტარობები შეგვიძლია განესაზღვროთ უქმი სელისას გრანსფორმატორში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებით.

$$G_g = \Delta P_{\text{კ}} / U_g^2 \quad \text{და} \quad B_g = \Delta Q_{\text{კ}} / U_g^2$$

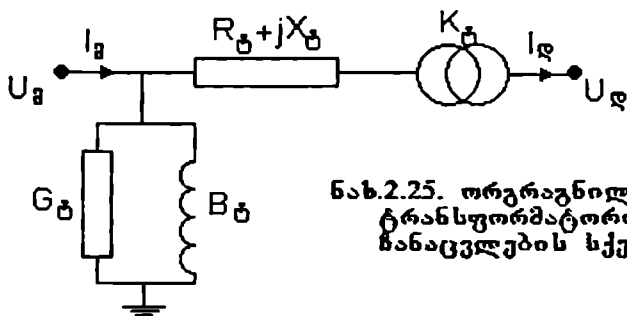
თუ სიმძლავრის დანაკარგებსა და ძაბვას ჩავსევამთ კილო ერთეულებში, მივიღებთ

$$G_g = \frac{\Delta P_{\text{კ}}}{U_g^2} \cdot 10^{-3} \quad \text{სიმ} \quad (2.70)$$

და

$$B_g = \frac{\Delta Q_{\text{კ}}}{U_g^2} \cdot 10^{-3} \quad \text{სიმ}, \quad (2.71)$$

სადაც $\Delta P_{\text{კ}}$ აიღება გრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემიდან, ხოლო $\Delta Q_{\text{კ}}$ განისაზღვრება (2.62) ან (2.63) გამოსახულებების მიხედვით.



ნახ.2.25. ორგრაგნილიანი
ტრანსფორმატორის
ჩანაცვლების სქემა

მძლავრი გრანსფორმატორების შემთხვევაში, (2.63) გამოსახულების თანახმად, რეაქტიული გამტარობის საანგარიშო გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$B_{\phi} = \frac{I_{\%} \cdot S_{\phi}}{U_{\phi}^2} \cdot 10^{-3} \quad \text{სიმ} \quad (2.72)$$

სადაც $I_{\%}$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.

გრანსფორმატორის ფოლადში სიმძლავრის დანაკარგები არ არის დამოკიდებული დატვირთვის დენზე (სიმძლავრეზე). იგი ძირითადად განისაზღვრება მუშა ძაბვის მნიშვნელობით და განიხილება როგორც მუდმივი სიდიდე. აქედან გამომდინარე, ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორების ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა შეიძლება გაემაჩვიოს, სადაც განივი გამტარობის ნაცვლად ვუჩვენებთ სიმძლავრის დანაკარგებს ტრანსფორმატორის ფოლადში (ნახ.2.26).

გრანსფორმატორის აქტიური წინაღობა, რომელიც წარმოადგენს მაღალი ძაბვის გრაგნილისა და მაღალი ძაბვის საფეხურზე მიყვანილი დაბალი ძაბვის გრაგნილის წინაღობათა ჯამს, განისაზღვრება გრანსფორმატორის მოკლე შერთვის სიმძლავრის მიხედვით

$$\Delta P_{აა} = 3I_{\phi}^2 R_{\phi} = \frac{S_{\phi}^2}{U_{\phi}^2} R_{\phi},$$

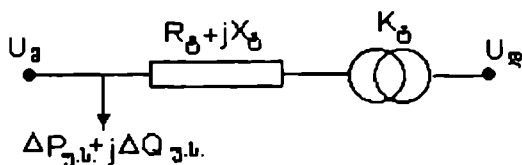
აქედან

$$R_{\phi} = \frac{\Delta P_{აა} \cdot U_{\phi}^2}{S_{\phi}^2}.$$

თუ ამ გამოსახულებაში შემაველ სიდიდეებს ჩავსევამთ კილო ვრთეულებში (კვტ, კვ, კვა), მაშინ გვაქვს

$$R_{\phi} = \frac{\Delta P_{აა} \cdot U_{\phi}^2}{S_{\phi}^2} \cdot 10^3 \quad \text{ომი}, \quad (2.73)$$

სადაც $\Delta P_{აა}$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.



ნახ. 2.26 ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორის ჩანაცვლების გამარტივებული სქემა

ანალოგიურად განისაზღვრება გრანსფორმატორის რეაქტიული წინაღობა

$$X_{\text{გ}} = \frac{\Delta Q_{\text{გ.ს.}} \cdot U_{\text{გ}}^2}{S_{\text{გ}}^2} \cdot 10^3 \quad \text{ომი,} \quad (2.74)$$

სადაც $\Delta Q_{\text{გ.ს.}}$ დადგინდება (2.66) ან (2.67) გამოსახულებების მიხედვით.

მძლავრი გრანსფორმატორების შემთხვევაში, (2.67) გამოსახულების თანახმად, გრანსფორმატორის რეაქტიული წინააღობის საანგარიშო გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს

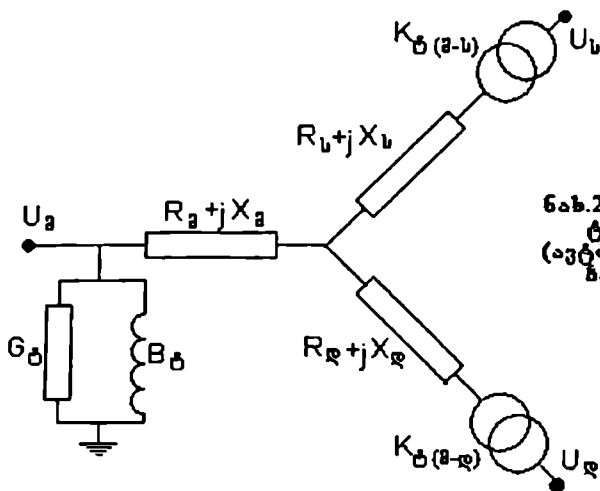
$$X_{\text{გ}} = \frac{U_{\text{გ.ს.}} \% \cdot U_{\text{გ}}^2 \cdot 10}{S_{\text{გ}}}, \quad (2.75)$$

სადაც $U_{\text{გ.ს.}} \%$ აიღება გრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.

ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორების საპასპორტო მონაცემები და ელექტრული პარამეტრები მოცემულია დ-5.1 და დ-5.2 ცხრილებში.

2.115 სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორების და ავტოგრანსფორმატორების ჩანაცვლების სქემა და ელექტრული პარამეტრები

სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორების და ავტოგრანსფორმატორების საანგარიშო მათემატიკურ მოდელს წარმოადგენენ სამსხივიანი Γ -სებრი ჩანაცვლების სქემის სახით (ნახ. 2.27), სადაც ნაჩვენებია განივი გამტარობები და ცალკეული გრაგნილის (სხივის) აქტიური და რეაქტიული წინააღობები, მიყვანილი მაღალი ძაბვის საფეხურზე.



ნახ.2.27. სამგრაგნილიანი ტრანსფორმატორის (ავტოტრანსფორმატორის) ხანაცვლების სქემა

განივი გამტარობანი ($G_{\text{ბ}}$, $B_{\text{ბ}}$) განისაზღვრება იმავე გამოსახულებებით, როგორც ორგრაგნილიანი ტრანსფორმატორების შემთხვევაში. სხივების (გრაგნილების) აქტიური წინაღობების დასადგენად ჯერ (2.68) გამოსახულებიდან განესაზღვროთ მოკლე შერთვის დანაკარგების ცალკეული გრაგნილისთვის:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\text{აზ(თ)}} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{\text{აზ(ფ-ს)}} + \Delta P_{\text{აზ(ფ-ღ)}} - \Delta P_{\text{აზ(ს-ღ)}}); \\ \Delta P_{\text{აზ(ს)}} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{\text{აზ(ფ-ს)}} + \Delta P_{\text{აზ(ს-ღ)}} - \Delta P_{\text{აზ(ფ-ღ)}}); \\ \Delta P_{\text{აზ(ღ)}} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{\text{აზ(ფ-ღ)}} + \Delta P_{\text{აზ(ს-ღ)}} - \Delta P_{\text{აზ(ფ-ს)}}). \end{aligned} \right\} \quad (2.76)$$

და შემდეგ (2.73) გამოსახულების შესაბამისად, ეპოულობთ:

$$\left. \begin{aligned} R_{\text{ფ,ა}} &= \frac{\Delta P_{\text{აზ(თ)}} \cdot U_{\text{ფ}}^2}{S_{\text{ფ}}^2} \cdot 10^3 \\ R_{\text{ფ,ს}} &= \frac{\Delta P_{\text{აზ(ს)}} \cdot U_{\text{ფ}}^2}{S_{\text{ფ}}^2} \cdot 10^3 \\ R_{\text{ფ,ღ}} &= \frac{\Delta P_{\text{აზ(ღ)}} \cdot U_{\text{ფ}}^2}{S_{\text{ფ}}^2} \cdot 10^3 \end{aligned} \right\} \quad (2.77)$$

სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორებისთვის ქარსანა-დამამზადებელი სშირად იძლევა მოკლე შერთვის სიმძლავრის მხოლოდ ერთ მნიშვნელობას, რომელიც შეესაბამება მოკლე შერთვის ცდის-ყველაზე უფრო მძიმე რეჟიმს ანუ, როცა მოკლე შერთვის სიმძლავრე მაქსიმალურია. ამ შემთხვევაში გრაგნილთა აქტიური წინააღობების დასდგენად უნდა ვისარგებლოთ იმ პირობით, რომ გრაგნილთა აქტიური წინააღობები ამ გრაგნილების ნომინალურ სიმძლავრეთა უკუპროპორციულია. კერძოდ, როცა გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრეები ერთნაირია (100/100/100) მაშინ ჩანაცულების სქემის სხივების (გრაგნილების) აქტიური წინააღობები, მიყვანილი მაღალი ძაბვის საფეხურზე, ერთნაირია

$$R_{\text{ა(შ)}} = R_{\text{ა(ს)}} = R_{\text{ა(დ)}} = R_{\text{ა}}, \quad (2.78)$$

ხოლო როცა გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრე სხვადასხვაა (100/100/66,7 ან 100/66,7/66,7), მაშინ მათი აქტიური წინააღობები შემდეგ თანაფრდობაშია

$$\frac{R_{66,7}}{R_{100}} = \frac{100}{66,7} = 1,5 \quad (2.79)$$

იმ შემთხვევაში, როცა გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრეები ერთნაირია, და ამიტომ (2.68) გამოსახულების თანახმად

$$\Delta P_{\text{აშ(შ-ს)}} = 3I_{\text{ვ}}^2 (R_{\text{ა(შ)}} + R_{\text{ა(ს)}}) = \frac{S_{\text{ვ}}^2}{U_{\text{ვ}}^2} \cdot 2R_{\text{ა}} \cdot 10^{-3} \text{ კვტ.}$$

აქედან

$$R_{\text{ა(შ)}} = R_{\text{ა(ს)}} = R_{\text{ა(დ)}} = \frac{\Delta P_{\text{აშ}} \cdot U_{\text{ვ}}^2}{2S_{\text{ვ}}^2} \cdot 10^3 \text{ ომი.} \quad (2.80)$$

იმ შემთხვევაში, როცა გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრეებია 100/100/66,7, მაშინ

$$R_{\text{ა(შ)}} = R_{\text{ა(ს)}} = \frac{\Delta P_{\text{აშ}} \cdot U_{\text{ვ}}^2}{2S_{\text{ვ}}^2} \cdot 10^3 \quad (2.81)$$

და (2.79) გამოსახულების თანახმად

$$R_{\text{ა(დ)}} = 1,5R_{\text{ა(შ)}} \quad (2.82)$$

თუ გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრეებია 100/66,7/66,7, მაშინ

$$\left. \begin{aligned} R_{\text{ა(შ)}} &= \frac{\Delta P_{\text{აშ}} \cdot U_{\text{ვ}}^2}{1,83S_{\text{ვ}}^2} \cdot 10^3 \text{ ომი} \\ R_{\text{ა(ს)}} &= R_{\text{ა(დ)}} = 1,5R_{\text{ა(შ)}} \end{aligned} \right\} \quad (2.83)$$

და

ავტოგრანსფორმატორების მაღალი და საშუალო ძაბვის გრავნილები ერთნაირი სიმძლავრისაა და ავტოგრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრის გოლია, ხოლო დაბალი ძაბვის გრავნილის ნომინალური სიმძლავრე ავტოგრანსფორმატორის ტიპური სიმძლავრის გოლია ან მასზე ნაკლებია.

როცა ავტოგრანსფორმატორის მოკლე შერთვის სიმძლავრე მოცემულია ყოველი წყვილი გრავნილისთვის და ეს სიდიდეები მიყვანილია ავტოგრანსფორმატორის ნომინალურ სიმძლავრეზე, მაშინ გრავნილთა აქტიური წინააღობების განსაზღვრისას ვისარგებლებთ (2.76) და (2.77) გამოსახულებებით. თუ მოკლე შერთვის სიმძლავრე მოცემულია ერთი სიდიდით ($\Delta P_{აგ(ვ-ს)}$) მაშინ (2.81) გამოსახულების შესაბამისად

$$R_{ა(თ)} = R_{ა(ს)} = \frac{\Delta P_{აგ(ვ-ს)} \cdot U_{\epsilon}^2}{2S_{\epsilon}^2} \cdot 10^3 \quad \text{ომი} \quad (2.84)$$

და (2.79)-ის შესაბამისად

$$R_{ა(ლ)} = R_{ა(თ)} \cdot \frac{S_{გრან}}{S_{აბან}} \quad (2.85)$$

სამგრავნილიანი ტრანსფორმატორებისა და ავტოგრანსფორმატორების გრავნილთა რეაქტიულ წინააღობათა დასადგენად ჯერ (2.69) გამოსახულებათა საფუძველზე განესაზღვრაეთ ცალკეული გრავნილის მოკლე შერთვის ძაბვებს:

$$\left. \begin{aligned} U_{ა(თ)} \% &= \frac{1}{2} (U_{აგ(ვ-ს)} \% + U_{აგ(ვ-ლ)} \% - U_{აგ(ს-ლ)} \%); \\ U_{ა(ს)} \% &= \frac{1}{2} (U_{აგ(ვ-ს)} \% + U_{აგ(ს-ლ)} \% - U_{აგ(ვ-ლ)} \%); \\ U_{ა(ლ)} \% &= \frac{1}{2} (U_{აგ(ვ-ლ)} \% + U_{აგ(ს-ლ)} \% - U_{აგ(ვ-ს)} \%). \end{aligned} \right\} \quad (2.86)$$

რომლის შემდეგ (2.75) გამოსახულების ანალოგიურად გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} X_{ა(თ)} &= \frac{U_{ა(თ)} \% \cdot U_{\epsilon}^2}{S_{\epsilon}} \cdot 10; \\ X_{ა(ს)} &= \frac{U_{ა(ს)} \% \cdot U_{\epsilon}^2}{S_{\epsilon}} \cdot 10; \\ X_{ა(ლ)} &= \frac{U_{ა(ლ)} \% \cdot U_{\epsilon}^2}{S_{\epsilon}} \cdot 10. \end{aligned} \right\} \quad (2.87)$$

ერთერთი სხივის (გრაგნილის) რეაქტიული წინაღობა მიიღება ნულთან ახლო მნიშვნელობის და მას ნულის გოლად მიიჩნევენ.

სამგრაგნილიანი გრანსფორმაგორებისა და ავტოგრანსფორმაგორების ჩანაცვლების გამარტივებულ საანგარიშო სქემას წარმოადგენენ 2.20 ნახაზზე ნაჩვენები სქემის ანალოგიურად, სადაც განივი გამგარობები შეცვლილი იქნება უქმი სელის დანაკარგებით.

სამგრაგნილიანი გრანსფორმაგორებისა და ავტოგრანსფორმაგორების საპასპორტო მონაცემები და ელექტრული პარამეტრები მოცემულია დ-6.1 და დ-6.2 ცხრილებში.

2.12. საკომუტაციო აპარატები

ელექტრულ სქემაში ჩართვა-გამორთვის პროცედურის ჩასატარებლად გამოიყენება სპეციალური საკომუტაციო აპარატები, რომელთა გამართულ მუშაობაზე დამოკიდებულია როგორც ცალკეული მანქანების ქსელის, ასევე მთელი სისტემის საიმედო მუშაობა. მუშაობის პირობებიდან გამომდინარე, საკომუტაციო აპარატები იყოფა დაბალი (1000 ე-მდე ჩათვლით) და მაღალი (1000 ე-ზე მეტი) ძაბვის აპარატებად. მაღალი ძაბვის საკომუტაციო აპარატს განეკუთვნება გამთიშელები, ამომრთველები, დაგვირთვის ამომრთველები, ავტომატები, სახაზო რეგულატორები და სხვა.

გამთიშველი წარმოადგენს საკომუტაციო აპარატს, რომლის დანიშნულებაა უდნო წრედების ამორთვა-ჩართვა და ხილული გაწყვეტის აღცილის შექმნა. გამთიშველი ელექტრულ წრედს წყვეტს უშუალოდ პაერში რაიმე რკალმქრობი მოწყობილობის გამოყენების გარეშე.

ამომრთველების დანიშნულებაა დენიანი წრედების ამორთვა-ჩართვა. მათ უხდებათ როგორც დაგვირთვის, ასევე მოკლე შერთვის დენების გაწყვეტა. ამისთვის ისინი აღჭურვილნი არიან სპეციალური რკალმქრობი მოწყობილობით. ამომრთველთა კონსტრუქციული შესრულება და მათი საექსპლუატაციო მახასიათებლები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ამომრთველში გამოყენებული რკალმქრობი საშუალების სახეობაზე, რომლის მიხედვითაც გვაქვს ზეთიანი, საპაერო, ელუგაზური და ა.შ. ამომრთველები.

დაგვირთვის ამომრთველების დანიშნულებაა მუშა მნიშვნელობის დენებისას ელექტრული წრედის გამორთვა-ჩართვა. მოკლე შერთვისას ასეთი წრედების ამოსართაყად დაგვირთვის ამომრთველებთან მიმდევრობით აყენებენ დნობად მცველებს. უფრო ეფექტური აღმოჩნდა ჩვეულებრივი გამთიშველის შეთავსება მარტივი კონსტრუქციის რკალმქრობ კამერასთან. ამ სახის აპარატმა მიიღო დაგვირთვის ამომრთვე-

ლის სახელწოდება. დაგვირთვის ამომრთველები გამოიყენება ქვესადგურების 6-10 კვ ძაბვაზე მცირე სიმძლავრის წრეების ამორთვა-ჩართვისას.

ავტომატები გამოიყენება ელექტრული წრეების ხელით ან ავტომატურად ამორთვა-ჩართვისთვის. ისინი აღჭურვილნი არიან მარტივი რკალქრობი მოწყობილობით. მათი დასმარებით უზრუნველყოფილია ელექტრული წრეების დასვა გადაგვირთვისა და მოკლე შერთვის დენებისგან, რაც ხორციელდება შესაბამისი რეგულებით.

სახაზო რეგულატორები (ვოლტსამაგი გრანსფორმატორები) – ეს არის დამოუკიდებელი სტაგაციური ელექტრული აპარატი, რომელიც გამოიყენება ძაბვის სარეგულირებლად ქვესადგურებზე. როცა ეს აპარატი გრანსფორმატორთან მიმდევრობითაა ჩართული, მაშინ მას ვოლტსამაგ გრანსფორმატორებს უწოდებენ, ხოლო თუ აღნიშნული აპარატი ხაზში ჩართულია მიმდევრობით, მაშინ მას სახაზო რეგულატორს უწოდებენ.

2.13 რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარები

რეაქტიული სიმძლავრე პრაქტიკულად მოხერხებული ფორმაა ცვლადი დენის წრედში გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის ანალიზის თვალსაზრისით.

ელექტროსისტემებში რეაქტიული სიმძლავრის ძირითად მომხმარებლებს წარმოადგენენ სინქრონული ძრავები, ენგილური გარდასახვები, ინდუქტიური ელექტროღუმელები, გრანსფორმატორები, საპაერო ხაზები და სხვა. ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგი ჯამური რეაქტიული დაგვირთვის თითქმის 50%-ს აღწევს. ამასთან, დანაკარგების 70-75% მოდის გრანსფორმატორებში დანაკარგებზე. სამრეწველო საწარმოებში რეაქტიული სიმძლავრის ძირითადი მომხმარებლებია ასინქრონული ძრავები, რომლებზედაც მოდის საწარმოს მიერ მოთხოვნილი ჯამური რეაქტიული სიმძლავრის 65-70%.

ელექტრულ სისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის ძირითად წყაროს წარმოადგენს ელექტროსადგურების სინქრონული გენერატორები. ნომინალური დაგვირთვის პირობებში გენერატორები იძლევიან ქსელის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული დაგვირთვის დაახლოებით 60%-ს. საზების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე დამოკიდებულია გადაცემის ქსელის ნომინალური ძაბვის სიდიდეზე და შეიძლება იყოს (20-50)%-მდე. მომხმარებლებამდე ამ სიმძლავრეთა გადაცემა როგორც გეჰნიკურად, ასევე ეკონომიკურადაც ყოველთვის მიზანშეწონილი არ

არის. აქედან გამომდინარე, ხშირ შემთხვევაში საჭირო ხდება ქსელში დაეყენოთ რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარები.

რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია, როგორც გეჟნიკური ღონისძიება, შეიძლება გამოყენებული იქნეს სხვადასხვა მიზნისთვის. კემოდ, ჯერ-ერთი, რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია აუცილებელია რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის პირობიდან გამომდინარე, მეორე – მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენება ხონრციელდება ქსელში აქტიური სიმძლავრისა და ენერგიის დანაკარგების შემცირებისთვის და, მესამე – მაკომპენსირებელი დანადგარების საშუალებით შეგვიძლია ვარეგულიროთ ძაბვა მომხმარებელთა საღკეებზე.

რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია ეს არის მაკომპენსირებელი დანადგარის მიერ რეაქტიული სიმძლავრის მიზნობრივი გენერაცია ან მოხმარება.

ელექტრულ ქსელებში მაკომპენსირებელ დანადგარებს წარმოადგენენ სინქრონული კომპენსატორები, კონდენსატორთა ბაგარეა, რეაქტორები და რეაქტიული სიმძლავრის სტაგაკური წყაროები. მაკომპენსირებელი დანადგარები პირობითად შეიძლება დავყოთ ორ ჯგუფად: 1. დანადგარები, რომელთა დანიშნულებაა მომხმარებელთა და ქსელის ელემენტების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია – სინქრონული კომპენსატორები და განივად ჩართული კონდენსატორთა ბაგარეა; 2. დანადგარები, რომელთა დანიშნულებაა ხაზების რეაქტიული ელექტრული პარამეტრების კომპენსაცია – გრძივად ჩართული კონდენსატორთა ბაგარეა და განივად ჩართული რეაქტორები.

სინქრონული კომპენსატორები წარმოადგენს უკმ სელაზე მომუშავე შემსუბუქებული კონსტრუქციის მქონე სინქრონულ ძრავას. ჭარბი აგზნების რეჟიმში მუშაობისას კომპენსატორი წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის გენერატორს, სოლო უკმარისი აგზნების რეჟიმში მუშაობისას კი – რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებელს. აგზნების დენის ცელილება, როგორც წესი, ხორციელდება ავტომატურად.

უდიდესი სიმძლავრე, რომელიც შეიძლება კომპენსატორმა განავითაროს ჭარბი აგზნების რეჟიმში, მის ნომინალურ სიმძლავრეს წარმოადგენს. მუშაობისას კომპენსატორი ქსელიდან მოითხოვს აქტიურ სიმძლავრეს, რომელიც მათი ნომინალური სიმძლავრის 2-4%-ს შეადგენს და განისილება როგორც დანაკარგები კომპენსატორში. კონსტრუქციის თავისებურების გამო უკმარისი აგზნების რეჟიმში კომპენსატორი ქსელიდან იღებს $Q = 0,5Q_c$ სიმძლავრეს.

სინქრონული კომპენსატორი მზადდება რამდენიმე ათეული მგვარ სიმძლავრით.

სინქრონული კომპენსატორის დადებით თვისებას შეადგენს: ა) გენერირებული ან მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრის მღორე და აუ-

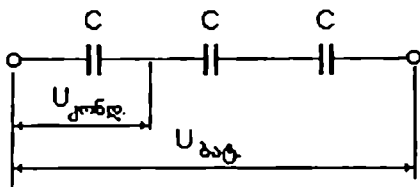
გომავალი რეგულირება; ბ) ქსელში ძაბვის ვარდნისას იზრდება კომპენსატორის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე ავტომატური რეგულირების პირობებში კი, სოლო ძაბვის ავტომატისას კი პირიქით მცირდება გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე. კომპენსატორის ეს თვისება ძაბვის რეგულირების თვალსაზრისით დადებით მარეგულირებელ ეფექტს წარმოადგენს;

კომპენსატორის უარყოფით მხარეს შეადგენს: ა) შეიძლება დაყენებული იქნეს მხოლოდ 6 ან 10 კვ ძაბვის ქსელში; ბ) ექსპლუატაციისა და მონტაჟის შედარებითი სირთულე; გ) აქტიური სიმძლავრის შედარებით დიდი დანაკარგები.

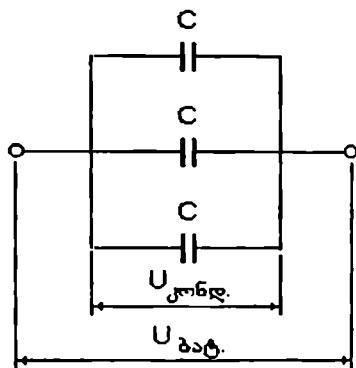
კონდენსატორთა ბატარეა. კონდენსატორთა ბატარეა გამოყენება: ა) ქსელის კვანძებში რეაქტიული სიმძლავრის გენერირებისთვის (განვივი კომპენსაცია) და ბ) ხაზის რეაქტიული წინააღობის კომპენსაციისთვის (გრძივი კომპენსაცია).

კონდენსატორთა ბატარეა კომპლექტდება მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებული ცალკეული კონდენსატორებისგან (ნახ. 2.28), რომლებიც დამზადებულია 0,22-10 კვ ძაბვაზე 10-125 კვარ ეროთელოვანი სიმძლავრით.

ა)



ბ)



ნახ. 2.28. კონდენსატორთა ჩართვა:

ა) მიმდევრობითი; ბ) პარალელური

სამუშაო ქსელში კონდენსატორთა ბატარეა ჩაირთება სამკუთხედად (ნახ. 2.29, ა) ან ვარსკვლავად (ნახ. 2.29, ბ). სამკუთხედად შეერთებისას ბატარეის სიმძლავრე 3-ჯერ მეტია, ვიდრე ვარსკვლავად შეერთებისას. I კემდე ძაბვის ქსელში შეერთება ხდება სამკუთხედად, ხოლო უფრო მაღალი ძაბვის შემთხვევაში კი ვარსკვლავად. ბატარეა შეიძლება იყოს რეგულირებადი და არარეგულირებადი. არარეგულირებად ბატარეაში კონდენსატორთა რიცხვი უცვლელია და ბატარეის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე დამოკიდებულია მოცემულ კვანძში ქსელის მუშა ძაბვის სიდიდეზე და იგი არ უნდა აღემატებოდეს

კვანძის უმცირეს რეაქტიულ დატვირთვას. რეგულირებად ბატარეაში კონდენსატორთა რიყსეი ქსელის რეეიმიზგან დამოკიდებულებაში იყ-
ვლება ხელით ან ავტომატურად, რაც საშუალებას გვაძლევს ვარეგუ-
ლიროთ ბატარეის მიერ რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია. ამასთან
რეგულირება წარმოებს საფეხუროვნად.

მეშაობისას კონდენსატორთა ბატარეა ქსელიდან იღებს აქტიურ
სიმძლავრეს, რომელიც მისი ნომინალური სიმძლავრის 0,3-0,4%-ს
შეადგენს და, რომელიც იხარჯება კონდენსატორის დიელექტრიკულ და
კორპუსში დანაკარგებზე.

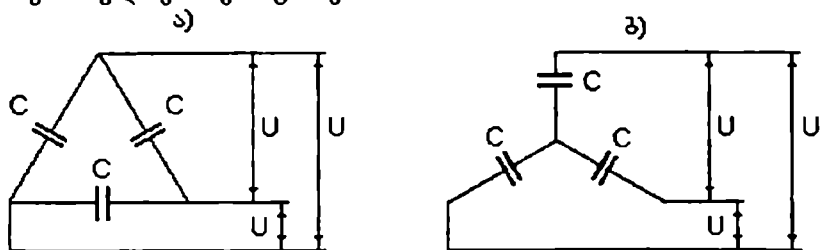
სინქრონულ კომპენსატორთან შედარებით კონდენსატორთა ბა-
ტარეის უპირატესობა შემდეგში მდგომარეობს:

- შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს როგორც დაბალ (0,38 კვ),
ასევე შედარებით უფრო მაღალი (6-10 კვ) ძაბვაზე;
- აქტიური სიმძლავრის შედარებით მცირე დანაკარგები;
- ექსპლუატაციისა და მონტაჟის სიმარტივე.

ბატარეის უარყოფითი მხარეა:

- გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის ძაბვისგან კვადრა-
ტულპროპორციული დამოკიდებულება რეგულირების უარყო-
ფითი ეფექტით;
- რეაქტიული სიმძლავრის მხოლოდ გენერირების შესაძლებლობა;
- გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის საფეხუროვანი რე-
გულირება, ან საერთოდ რეგულირების გარეშე;
- სამსახურის შედარებით მოკლე ეადა (8-10 წელი).

მიუხედავად გარკვეული უარყოფითი მხარეებისა, კონდენსატორთა
ბატარეა უფრო ფართოდ გამოიყენება მანაწილებელ ქსელებში, ეიდრე
სინქრონული კონპენსატორები.



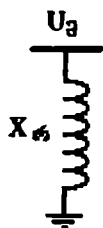
ნახ. 229. კონდენსატორთა ბატარეის ჩართვა:

ა) სამკუთხედად; ბ) ვარსკვლავად

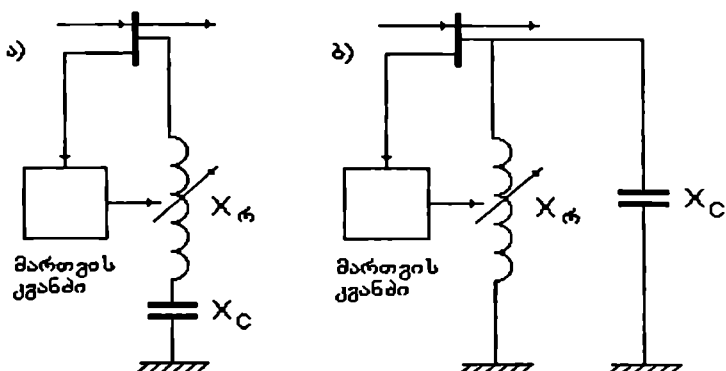
კონდენსატორთა ბატარეა შეიძლება დაყენებული იქნეს: უშუა-
ლოდ მომხმარებელთან (ინდივიდუალური კომპენსაცია); მანაწილებელ

ქსელებში (ჯგუფური კომპენსაცია); ქვესადგურის დაბალი ძაბვის (0,38; 6; 10 კვ) სალგეებზე (ცენტრალიზებული კომპენსაცია).

მაკომპენსირებელ მოწყობილობას მიეკუთვნება ავრეთეე მაშუნგებელი რეაქტორი (ნახ. 2.30) და რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური წყაროები (ნახ. 2.31, ა, ბ).



ნახ. 2.30. მაშუნგებელი რეაქტორი



ნახ. 2.31. რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური წყაროები:
ა) მიმდევრობითი ჩართვა; ბ) პარალელური ჩართვა

მაშუნგებელი რეაქტორი გამოიყენება ძირითადად ზემაღალი ძაბვის (330 კვ და უფრო მაღალი) ქსელში, როგორც საზღვრის მიერ გენერირებული ჭარბი რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებელი. მოსმარებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე მოცემული კვანძის მუშა ძაბვის კვადრატის პროპორციულია. მაშუნგებელი რეაქტორი შეიძლება იყოს რეგულირებადი და არარეგულირებადი.

ქვესადგურის სალგეებზე ძაბვის დასაშვები გადახრის პირობებში რეგულირებადი მაშუნგებელი რეაქტორის მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე იცვლება $(0,8-1,1)U_c^2 / X_r$ ფარგლებში, სადაც X_r – რეაქტორის რეაქტიული წინაღობა.

რეაქტიული სიმძლავრის სტაგნიკური წყაროების დანიშნულებაა რეაქტიული სიმძლავრის გენერაციის ან მოხმარების მდორე რეგულირება, რაც მიიღწევა არარეგულირებად კონდენსატორთა ბაგარეასთან მიმდევრობით (ნახ. 2.31 ა) ან პარალელურად (ნახ. 2.31 ბ) რეგულირებადი მამუნგებელი რეაქტორის ჩართვით. სიმძლავრის რეგულირება მიიღწევა მართვის ეკანდის გამოყენებით.

2.14 მე-2 თავის რიცხვითი მაგალითები

მაგალითი 2.1. განესაზღვროთ 110 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზზე გვირგვინის წარმოაქმნის შესაძლებლობა, თუ ხაზის სადენის მარკაა AC-70/11, ფაზათაშორისი საშუალო გეომეტრიული მანძილი $D=4,0$ მ, პაერის ტემპერატურა $t=20^{\circ}\text{C}$, წნევა $H=760$ მმ.ვ.ვ.ს. სადენის სიგლუვის კოეფიციენტი $m=0.9$.

ამოხსნა. დ.1 ცხრილიდან ეიღებთ $r=5,7 \cdot 10^{-3}$ მ.

ფაზის საშუალო ტევალობა (გამოსახულება 2.6)

$$C_{\text{სა}} = \frac{24,13}{\lg \frac{4,0}{5,1 \cdot 10^{-3}}} = 8,478 \text{ კვ/მ.}$$

სადენის მედაპირზე ელექტრული ეელის დაძაბულობის საშუალო მნიშვნელობა (გამოსახულება 2.10)

$$E_{\text{სა}} = 1,47 \cdot 10^{-2} \frac{8,478 \cdot 110}{5,7 \cdot 10^{-3}} = 2405,7 \text{ კვ/მ.}$$

პაერის სიმკერივე (გამოსახულება 2.2)

$$\delta = \frac{0,3855 \cdot 760}{270 + 20} = 1,0.$$

საერთო გვირგვინის წარმოქმნის საწყისი დაძაბულობა (გამოსახულება 2.3)

$$E_0 = 3030 \cdot 0,82 \cdot 1,0 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{5,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0}} \right) = 2841,55 \text{ კვ/მ.}$$

საშუალო დაძაბულობის ფარდობითი მნიშვნელობა

$$\frac{E_{\text{სა}}}{E_0} = \frac{2405,7}{2841,55} = 0,85 < 0,9,$$

ე.ი. მოცემულ ნახაზზე საერთო გვირგვინის ადგილის არ აქვს.

მუშა ძაბვა, რომელის შემდეგ მოცემულ ხაზზე დაიწყება საერთო გვირგვინის მოელენა (გამოსახულება 2.20)

$$U_0 = 7004,8 \cdot \frac{1,0 \cdot 1,0 \cdot 5,7 \cdot 10^{-3}}{1,0} \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{1,0 \cdot 5,7 \cdot 10^{-3}}} \right) \times \\ \times \lg \frac{4,0}{5,7 \cdot 10^{-3}} = 158,5 \text{ კვ.}$$

მაგალითი 2.2. განესაზღვროთ 500 კვ ძაბვის საზღვე გვირგვინის წარმოქმნის შესაძლებლობა, თუ ფაზაში გვაქვს 3xAC-330/43 სადენები, რომელთათვის გახლეჩის ბიჯი $a=30$ სმ, სოლო ფაზები განლაგებულია პორიზონტალურად და მათ შორის მანძილი $D=12$ სმ, ჰაერის ტემპერატურა $t=15^{\circ}\text{C}$, წნევა $H=750$ მმ ვ.წყსვ.

ამოხსნა. დ.1 ცხრილიდან ვიღებთ $r=12,6 \cdot 10^{-3}$ მ.

ფაზებს შორის საშუალოგეომეტრიული მანძილი (გამოსახულება 2.7)

$$D_{\text{სა}} = \sqrt[3]{12 \cdot 12 \cdot 24} = 15,12 \text{ მ.}$$

გახლეჩილი ფაზის ეკვივალენტური რადიუსი (გამოსახულება 2.12 ბ)

$$r_{\text{გს}} = \sqrt[3]{12,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3^2} = 0,10432 \text{ მ.}$$

ფაზის ელექტრული ველის საშუალო დაძაბულობა (გამოსახულება 2.15)

$$E_{\text{სა}} = \frac{0,3457 \cdot 500}{3 \cdot 12,6 \cdot 10^{-3} \cdot \lg \frac{15,12}{0,1043}} = 2170,9 \text{ კვ/მ.}$$

ბ კოეფიციენტი ავიღოთ 2.2. ცხრილიდან

$$\beta=3,48.$$

დაძაბულობის უთანაბრობის კოეფიციენტი (გამოსახულება 2.13)

$$K = 1 + 3,48 \cdot \frac{12,6 \cdot 10^{-3}}{0,3} = 1,146.$$

დაძაბულობის ეკვივალენტური მნიშვნელობა (გამოსახულება 2.17)

$$E_{\text{აა}} = \frac{1 + 1,146 \cdot 2170,9}{2} = 2329,4 \text{ კვ/მ.}$$

ჰაერის სიმკვრივე (გამოსახულება 2.2)

$$\delta = \frac{0,3855 \cdot 750}{273 + 15} = 1,0039.$$

საერთო გვირგვინის წარმოქმნის საწყისი დაძაბულობა (გამოსახულება 2.3)

$$E_0 = 3030 \cdot 0,82 \cdot 1,0039 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{12,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0039}} \right) = 3155 \text{ კვ/მ.}$$

ეკვივალენტური დაძაბულობის ფარდობითი მნიშვნელობა

$$\frac{E_{\text{სა}}}{E_0} = \frac{2329,4}{3155} = 0,74 < 0,9.$$

ამრიგად, მოცემულ ხაზზე საერთო გეირგეინის მოუღენას ადგილი არ აქვს.

ძაბვის მინიმალური მნიშვნელობა, რომლის შემდეგ მოცემულ ხაზზე დაიწყება საერთო გეირგეინი (გამოსახულება 2.20)

$$U_0 = 70004,8 \cdot \frac{1,0039 \cdot 3 \cdot 12,6 \cdot 10^{-3}}{1,146} \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{12,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0039}} \right) \times$$

$$\times \lg \frac{15,12}{0,1043} = 634,4 \text{ კვ.}$$

$U_0 > U_{\text{კვკ}},$ საერთო გეირგეინს ადგილი არ აქვს.

მაგალითი 2.3. განესაზღვროთ სიმძლავრისა და ენერგიის დანაკარგები 2.1. და 2.2. მაგალითებში განხილულ ხაზებზე. თუ განსახილველი ხაზების გრასა გადის იმ რეგიონში, რომელიც ხასიათდება 2.3. ცხრილში ნაჩვენები ამინდის ფარდობითი ხანგრძლივობით.

ამოხსნა. 1. $U_0 = 110 \text{ კვ};$ სადენი AC-70/11; $r = 0,57 \text{ სმ}$

$$F_{\text{სა}}/E_0 = 24,05/28,42 = 0,85$$

აქედან გამომდინარე 2.4 ნახაზიდან $\theta_1 = 0,15; \theta_2 = 0,50; \theta_3 = 1,5; \theta_4 = 8,0.$

სიმძლავრის დანაკარგები (გამოსახულება 2.25)

$$\Delta P_{\text{გკ}} = 3 \cdot 1 \cdot 0,57^2 (0,826 \cdot 0,15 + 0,091 \cdot 0,5 + 0,057 \cdot 1,5 + 0,026 \cdot 8,0) = 0,407 \text{ კვტ/კმ}$$

ენერგიის დანაკარგები (გამოსახულება 2.26)

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{გკ}} = 0,407 \cdot 8760 = 3565,32 \text{ კვტ.სთ/კმ.}$$

2. $U_0 = 500 \text{ კვ};$ სადენი 3xAC-330/43; $r = 1,26 \text{ სმ}; E_{\text{სა}} = 21,71 \text{ კვ/სმ}; K = 1,146; E_0 = 31,55 \text{ კვ/სმ.}$

განესაზღვროთ ელექტრული ველის ეკვივალენტური დაძაბულობა (გამოსახულება 2.17)

$$E_{\text{სა}} = \frac{1 + 1,146}{2} \cdot 21,71 = 23,29 \text{ კვ/სმ}$$

ფარდობა

$$E_{\text{სა}} / E_0 = \frac{23,29}{31,55} = 0,74.$$

2.4. ნახაზიდან $\theta_1 = 0,13; \theta_2 = 0,45; \theta_3 = 1,5; \theta_4 = 4,3.$

სიმძლავრის დანაკარგები (გამოსახულება 2.25)

$$\Delta P_{\text{აბ}} = 3 \cdot 3 \cdot 1,26^2 (0,826 \cdot 0,13 + 0,091 \cdot 0,45 + 0,057 \cdot 1,5 + 0,026 \cdot 4,3) = 4,9 \text{ კეც.სი/კმ}$$

ენერგიის დანაკარგები (გამოსახულება 2.26)

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{აბ}} = 4,9 \cdot 8760 = 42924 \text{ კეც.სი/კმ.}$$

მაგალითი 2.4. განესაზღვროთ 35 კე ძაბვის ხაზის ელექტრული პარამეტრები. სადენის მარკა AC-50/8; ხაზის სიგრძე $\ell = 20$ კმ; უაზებს შორის საშუალო გეომეტრიული მანძილი $D_{\text{საშ.}} = 2,5$ მ. გარემოს ტემპერატურა $+10^\circ\text{C}$. ატმოსფერული წნევა $H = 760$ მმ.ვწყ.სე.

ამოხსნა. 1. აქტიური წინაღობა:

სადენის კუთრი საანგარიშო წინაღობა (გამოსახულება 2.28)

$$\rho = 32[1 + 0,004(10 - 20)] = 30,72 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{კმ}}.$$

ხაზის აქტიური წინაღობა (გამოსახულება 2.33)

$$R = 30,72 \cdot \frac{20}{50} = 12,29 \text{ ომი}$$

2. რეაქტიული წინაღობა:

დ.1 ცხრილიდან სადენის რადიუსი $r = 4,8$ მმ.

1 კმ სიგრძის რეაქტიული წინაღობა (3.39)

$$x_0 = 0,1441 \text{ გ} \frac{2500}{4,8} + 0,016 = 0,408 \text{ ომი/კმ}$$

ხაზის რეაქტიული წინაღობა (გამოსახულება 3.42)

$$X = 0,408 \cdot 20 = 8,14 \text{ ომი}$$

3. აქტიური გამგარობა:

ჰაერის სიმკვრივე (გამოსახულება 2.2)

$$\delta = \frac{0,3855 \cdot 760}{273 + 10} = 1,035$$

სადენის ზედაპირზე ელექტრული ველის დაძაბულობის საშუალო მნიშვნელობა (გამოსახულება 2.15)

$$E_{\text{საშ}} = \frac{0,3547 \cdot 35}{1 \cdot 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ გ} \frac{2500}{4,8}} = 952,4. \text{ კვ/მ}$$

რადგანაც $952,4 < 1700 \div 1900$ (§2.1), მოცემულ ხაზზე გვირგვინზე სიმძლავრის დანაკარგს აღვილი არ აქვს და $\Delta P_{\text{აბ}} = 0$. მაშასადამე ხაზის

აქტიური გამგარობა (გამოსახულება 2.43) $g_0 = 0$.

4. რეაქტიული გამგარობა:

1 კმ სიგრძის ხაზის რეაქტიული გამტარობა (2.47)

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{2500}{4,8}} \cdot 10^{-6} = 2,79 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ/კმ}$$

ხაზის გამტარობა (გამოსახულება 2.48)

$$B = 2,79 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 55,8 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ}$$

5. ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე (გამოსახულება 2.49)

$$\Delta Q_c = 35^2 \cdot 55,8 \cdot 10^{-6} = 0,0688 \text{ გეკვარ} = 68 \text{ კეკვარ.}$$

6. ხაზის ეკონომიკური დატვირთვა 1,1 ა/მ² ღენის სიმკერძის დროს

$$S_{\text{კ}} = \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 50 \cdot 1,1 = 3330 \text{ კეკვარ} = 3,33 \text{ გეკვარ.}$$

7. გენერირებული სიმძლავრის ფარდობითი მნიშვნელობა

$$\frac{\Delta Q_c}{S_{\text{კ}}} = \frac{68}{3300} = 0,0205 \text{ ანუ } 2,05\%$$

8. ხაზის ტალღური წინაღობა (გამოსახულება 2.53)

$$Z_c = \sqrt{0,408 / 2,79 \cdot 10^{-6}} = 382,4 \text{ ომი}$$

9. ხაზის გამტარუნარიანობა (გამოსახულება 3.52)

$$P_{\text{კვ}} = \frac{35^2}{382,4} = 3,2 \text{ მგვტ}$$

მაგალითი 2.5. განესაზღვროთ 220 კვ ძაბვის ხაზის ელექტრული პარამეტრები. სადენის მარკა AC-400/93, ხაზის სიგრძე $\ell = 100$ კმ; ფაზებს შორის საშუალოგეომეტრიული მანძილი $D_{\text{საშ.კ}} = 6,0$ მ. გარემოს ტემპერატურა $t = +30^\circ\text{C}$. ატმოსფერული წნევა $H = 760$ მმ.ვ.წყ.სვ.

ამოხსნა. 1. აქტიური წინაღობა:

$$R = 32 [1 + 0,004(30 - 20)] = 33,28 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{კმ}}$$

ხაზის აქტიური წინაღობა (გამოსახულება 2.33)

$$R = 33,28 \cdot \frac{100}{400} = 8,32 \text{ ომი}$$

2. რეაქტიული წინაღობა:

დ.1 ცხრილიდან სადენის რადიუსი $r = 14,55$ მმ.

1 კმ სიგრძის ხაზის რეაქტიული წინაღობა (გამოსახულება 2.39)

$$x_0 = 0,1441 \lg \frac{6000}{14,55} + 0,016 = 0,393 \text{ ომი/კმ}$$

ხაზის რეაქტიული წინაღობა (გამოსახულება 2.42)

$$X=0,393 \cdot 100=39,3 \text{ ომი}$$

3. აქტიური გამტარობა:

პაერის სიმკვრივე გამოსახულება (2.2)

$$\delta = \frac{0,3855 \cdot 760}{273 + 30} = 0,967$$

სადენის ზედაპირზე ელექტრული ეელის დაძაბულობის საშუალო მნიშვნელობა (გამოსახულება 2.15)

$$E_{\text{სა}} = \frac{0,3547 \cdot 220}{1 \cdot 14,55 \cdot 10^{-3} \lg \frac{6000}{14,55}} = 2050,7 \text{ კვ/მ}$$

საერთო გეირგეინის წარმოქმნის საწყისი დაძაბულობა (გამოსახულება 2.3)

$$E_0 = 3030 \cdot 0,82 \cdot 0,967 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{14,55 \cdot 10^{-3} \cdot 0,967}} \right) = 3006,2 \text{ კვ/მ}$$

ფარდობა

$$\frac{E_{\text{სა}}}{E_0} = \frac{2050,7}{3006,2} = 0,68$$

ამინდის ჯგუფების ფარდობითი მნიშვნელობები ავიღოთ 2.3 ცხრილის მიხედვით: $\Psi_1 = 0,826$; $\Psi_2 = 0,091$; $\Psi_3 = 0,057$; $\Psi_4 = 0,026$.

გეირგეინზე დანაკარგების განზოგადოებული პარამეტრი θ_i დაეადგინოთ 2.4 ნახაზზე მოცემული მრუდეების მიხედვით:

$$\theta_1=0,08; \theta_2=0,25; \theta_3=1,0; \theta_4=3,0 \frac{\text{კმბ}}{\text{კმ.სმ}^2}$$

გეირგეინზე სიმძლავრის დანაკარგები (გამოსახულება 2.25)

$$\Delta P_{\text{სა}} = 3 \cdot 1 \cdot 1,455^2 (0,826 \cdot 0,08 + 0,091 \cdot 0,25 + 0,057 \cdot 1,0 + 0,026 \cdot 3,0) = 1,42 \text{ კვტ/კმ.}$$

ხაზში გეირგეინზე ჯამური დანაკარგები

$$\Delta P_{\text{ჯ}} = 1,42 \cdot 100 = 142 \text{ კვტ} = 0,142 \text{ მვტ/კმ}$$

1 კმ ხაზის აქტიური გამტარობა (გამოსახულება 2.43)

$$g_0 = \frac{1,42 \cdot 10^{-3}}{220^2} = 0,294 \cdot 10^{-7} \text{ სიმ/კმ}$$

ხაზის აქტიური გამტარობა (გამოსახულება 2.44)

$$G=0,294 \cdot 10^{-7} \cdot 100=2,94 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ.}$$

4. რეაქტიული გამტარობა:

1 კმ სიგრძის ხაზის რეაქტიული გამტარობა (გამოსახულება 2.47)

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{6000}{14,55}} \cdot 10^{-6} = 2,9 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ/კმ.}$$

ხაზის რეაქტიული გამტარობა (გამოსახულება 2.48)

$$B = 2,9 \cdot 10^6 = 290 \cdot 10^6 \text{ სიმ.}$$

5. ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე (გამოსახულება 2.49)

$$\Delta Q_C = 220^2 \cdot 290 \cdot 10^{-6} = 14,04 \text{ მგვარ.}$$

6. ხაზის ეკონომიკური დატვირთვა 1,1 ა/მ² ღენის სიმკვრივის დროს

$$S_{\text{კ}} = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 400 \cdot 1,1 = 167464 \text{ კვარ} = 167,46 \text{ მგვ.}$$

7. გენერირებული სიმძლავრის ფარდობითი მნიშვნელობა

$$\frac{\Delta Q_C}{S_{\text{კ}}} = \frac{14,04}{167,46} = 0,0838 \text{ ანუ } 8,38\%.$$

8. ხაზის ტალღური წინაღობა (2.53)

$$Z_C = \sqrt{0,393 / 2,9 \cdot 10^{-6}} = 368,1 \text{ ომი}$$

9. ხაზის ნატურალური სიმძლავრე (გამოსახულება 2.52)

$$P_{\text{ნკ}} = \frac{220^2}{368,1} = 131,5 \text{ მგვტ.}$$

მაგალითი 2.6. ვისარგებლოთ 2.2 და 2.3 მაგალითების მონაცემებითა და მიღებული შედეგებით და განვსაზღვროთ 500 კვ ძაბვის ხაზის ელექტრული პარამეტრები. სადენის მარკა 3xAC-330/43; ხაზის სიგრძე $\ell = 600$ კმ; სადენის რადიუსი $r = 12,6 \cdot 10^{-3}$ მ, ფაზის გახლეჩის ბიჯი $a = 30$ სმ; გარემოს ტემპერატურა $+15^\circ\text{C}$. აგმოსუფრული წნევა $H = 750$ მმ.ვ.ყ.სვ. ფაზები განლაგებულია ჰორიზონტალურად და ფაზათაშორისი საშუალო გეომეტრიული მანძილი $D_{\text{საშ}} = 15,12$ მ.

ამოხსნა. 1. აქტიური წინაღობა:

$$p = 32[1 + 0,004(15 - 20)] = 31,36 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{კმ}}.$$

ხაზის აქტიური წინაღობა (გამოსახულება 2.33)

$$R = 31,36 \cdot \frac{600}{3 \cdot 330} = 19,02 \text{ ომი}$$

2. რეაქტიული წინაღობა:

ფაზის ეკვივალენტური რადიუსი (გამოსახულება 2.12 ბ)

$$r_{\text{აბ}} = \sqrt[3]{1,26 \cdot 30^2} = 10,43 \text{ სმ}$$

1 კმ სიგრძის რეაქტიული წინაღობა (გამოსახულება 3.41)

$$x_0 = 0,1441 \text{ გ} \frac{1512}{10,43} + \frac{0,016}{3} = 0,316 \text{ ომი/კმ}$$

ხაზის რეაქტიული წინაღობა (გამოსახულება 2.42)

$$X = 0,316 \cdot 600 = 186,8 \text{ ომი}$$

3. აქტიური გამტარობა:

2.3. მაგალითის მიხედვით მივიღეთ, რომ $\Delta P_{\text{აბ}} = 4,9$ კეჯ/კმ.

ხაზში სიმძლავრის ჯამური დანაკარგები

$$\Delta P_{\text{აბ}} = 4,9 \cdot 600 = 2940 \text{ კეჯ} = 2,49 \text{ მგვტ}$$

1 კმ ხაზის აქტიური გამტარობა (გამოსახულება 2.43)

$$g_0 = \frac{4,9 \cdot 10^{-3}}{500^2} = 0,196 \cdot 10^{-7} \text{ სიმ/კმ}$$

ხაზის აქტიური გამტარობა (გამოსახულება 2.44)

$$G = 0,196 \cdot 10^{-7} \cdot 600 = 11,80 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ.}$$

4. რეაქტიული გამტარობა:

1 კმ სიგრძის ხაზის რეაქტიული გამტარობა (გამოსახულება 2.47)

$$b_0 = \frac{7,58}{1512} \cdot 10^{-6} = 3,507 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ/კმ.}$$

$$\text{lg} \frac{1512}{10,43}$$

ხაზის რეაქტიული გამტარობა (გამოსახულება 2.48)

$$B = 3,507 \cdot 10^{-6} \cdot 600 = 2104,3 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ.}$$

5. ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე (გამოსახულება 2.49)

$$\Delta Q_c = 500^2 \cdot 2104,3 \cdot 10^{-6} = 526,08 \text{ მგვტარ.}$$

6. ხაზის ეკონომიკური დატვირთვა $1,1$ ა/მმ² დენის სიმკერძის დროს

$$S_{\text{აბ}} = \sqrt{3} \cdot 500 \cdot (3 \cdot 330) \cdot 1,1 = 941985 \text{ კვარ} = 941,99 \text{ მგვტა.}$$

7. გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის ფარდობითი მნიშვნელობა

$$\frac{\Delta Q_c}{S_{\text{აბ}}} = \frac{526,08}{941,99} = 0,558 \text{ ანუ } 55,8\%.$$

8. ხაზის ტალღური წინაღობა (გამოსახულება 2.53)

$$Z_c = \sqrt{0,316 / 3,507 \cdot 10^{-6}} = 300,2 \text{ ომი}$$

9. ხაზის ნატურალური სიმძლავრე (გამოსახულება 2.52)

$$P_{\text{ზგ}} = \frac{500^2}{300,2} = 832,8 \text{ მვტ.}$$

მაგალითი 2.7. გამოთვალეთ ТРДН-40000/110 ორგრაფილიანი გრანსფორმატორის საანგარიშო ელექტრული პარამეტრები.

ამოხსნა. ღ-5.2 ცხრილიდან ავიღოთ მოცემული გრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები:

$$S_{\text{გ}}=40000 \text{ კვა; } U_{\text{ფ.}}=115 \text{ კვ; } U_{\text{ღ.}}=10,5 \text{ კვ; } U_{\text{გ.}}\%=10,5;$$

$$\Delta P_{\text{გ.}}=172 \text{ კვტ; } \Delta P_{\text{კ.}}=36 \text{ კვტ; } I_{\text{კ.}}\%=0,65.$$

(2.63) გამოსახულების თანახმად

$$\Delta Q_{\text{კ.}}=40000 \cdot 0,65 \cdot 10^{-2}=260 \text{ კვარ.}$$

ანალოგიურად (გამოსახულება (2.67))

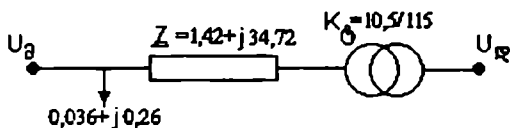
$$\Delta Q_{\text{გ.}}=40000 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2}=4200 \text{ კვარ.}$$

მაშასადამე (2.70), (2.71), (2.73) და (2.74) გამოსახულებების მიხედვით, გვაქვს

$$G_{\delta} = \frac{36}{115^2} \cdot 10^{-3} = 2,72 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ; } B_{\delta} = \frac{260}{115^2} \cdot 10^{-3} = 19,66 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ;}$$

$$R_{\delta} = \frac{172 \cdot 115^2}{40000^2} \cdot 10^{-3} = 1,42 \text{ ომი; } X_{\delta} = \frac{4200 \cdot 115^2}{40000^2} \cdot 10^{-3} = 34,72 \text{ ომი;}$$

(2.26) ნახაზის შესაბამისად შევადგინოთ ჩანაცულების გამარტივებული საანგარიშო სქემა (ნახ.2.32).



ნახ. 2.32.

მაგალითი 2.8. გამოთვალეთ ТДТН-25000/110 სამგრაფილიანი გრანსფორმატორის საანგარიშო ელექტრული პარამეტრები.

ამოხსნა. ღ-6-1 ცხრილიდან ავიღოთ მოცემული გრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები:

$$S_{\text{გ}}=25000 \text{ კვა; } U_{\text{ფ.}}=115 \text{ კვ; } U_{\text{სკ.}}=38,5 \text{ კვ; } U_{\text{ღ.}}=11 \text{ კვ;}$$

$$U_{\text{გ.}}(\text{გ.ს.})\%=10,5; U_{\text{გ.}}(\text{გ.ღ.})\%=17,0; U_{\text{გ.}}(\text{ს.ღ.})\%=6,0;$$

$$\Delta P_{\text{გ.}}=140 \text{ კვტ; } \Delta P_{\text{კ.}}=31 \text{ კვტ; } I_{\text{კ.}}\%=0,7.$$

(2.63) გამოსახულების თანახმად

$$\Delta Q_{\text{კ.}}=25000 \cdot 0,7 \cdot 10^{-2}=175 \text{ კვარ.}$$

(2.80) გამოსახულების მიხედვით

$$R_{\text{გთ}} = R_{\text{სს}} = R_{\text{მლ}} = \frac{140 \cdot 115^2}{2 \cdot 25000^2} \cdot 10^3 = 1,5 \text{ ომი}$$

(2.86) გამოსახულების მიხედვით

$$U_{\text{მთ}} \% = \frac{1}{2} (10,5 + 17,5 - 6,5) = 10,75$$

$$U_{\text{სს}} \% = \frac{1}{2} (10,5 + 6,5 - 17,5) = -0,25 = 0$$

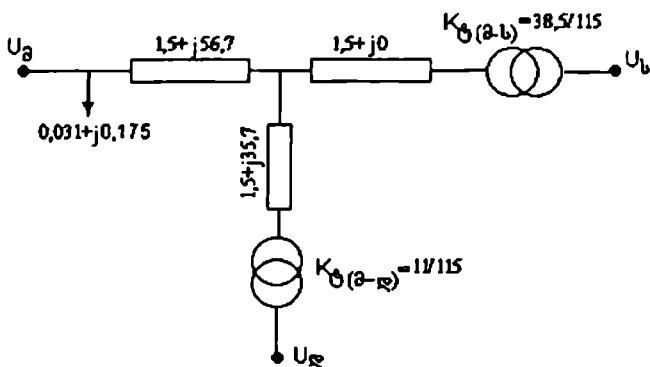
$$U_{\text{მლ}} \% = \frac{1}{2} (17,5 + 6,5 - 10,5) = 6,75$$

შესაბამისად, (2.87) გამოსახულების მიხედვით გვაქვს

$$X_{\text{გ}} = \frac{10,75 \cdot 115^2}{25000} \cdot 10 = 56,68 \text{ ომი}, \quad X_1 = 0,$$

$$X_{\text{მ}} = \frac{6,75 \cdot 115^2}{25000} \cdot 10 = 35,71 \text{ ომი}$$

2.27 ნახაზის შესაბამისად შეუადგინოთ ჩანაცვლების გამარტივებული საანგარიშო სქემა (ნახ. 2.33).



ნახ. 2.33

მაგალითი 2.9. გამოთვალეთ АТДЦТН-125000/220/110 ავტოტრანსფორმატორის საანგარიშო ელექტრული პარამეტრები.

ამოხსნა. დ-6.2 ცხრილიდან ავიღოთ მოცემული ავტოტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები:

$$S_{\text{გ}} = S_{\text{ს}} = 125000 \text{ კვა}; \quad S_{\text{დ}} = 62500 \text{ კვა};$$

$$U_{\text{გ}} = 230 \text{ კვ}; \quad U_{\text{ს}} = 121 \text{ კვ}; \quad U_{\text{დ}} = 11 \text{ კვ};$$

$$U_{\text{გ(ს)}} \% = 11; \quad U_{\text{გ(დ)}} \% = 31; \quad U_{\text{ს(დ)}} \% = 19.$$

$$\Delta P_{\text{გ(ს)}} = 290 \text{ კვტ}; \quad \Delta P_{\text{ს}} = 85 \text{ კვტ}; \quad I_{\text{კ}} \% = 0,5.$$

(2.65) გამოსახულების თანახმად

$$\Delta Q_{\text{ეს}} = 125000 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2} = 625 \text{ კვარ.}$$

(2.84) და (2.85) გამოსახულებათა შესაბამისად გვაქვს

$$R_{\text{მთ}} = R_{\text{მს}} = \frac{290 \cdot 230^2}{2 \cdot 125000^2} \cdot 10^3 = 0,5 \text{ ომი}$$

$$R_{\text{მლ}} = 0,05 \cdot \frac{125000}{62500} = 1,0 \text{ ომი}$$

(2.86) გამოსახულების მიხედვით

$$U_{\text{მთ}} \% = \frac{1}{2} (11 + 31 - 19) = 11,5;$$

$$U_{\text{მლ}} \% = \frac{1}{2} (11 + 19 - 31) = -0,5 = 0;$$

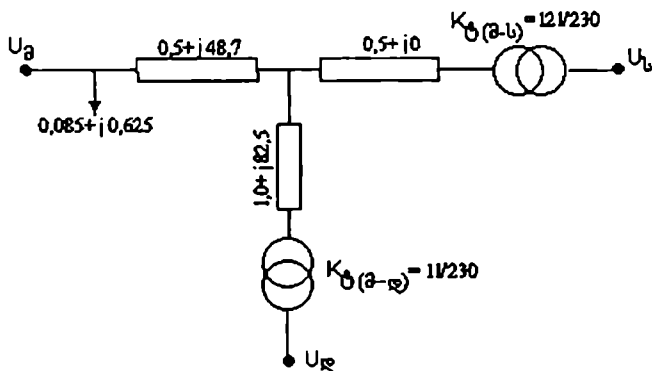
$$U_{\text{მლ}} \% = \frac{1}{2} (31 + 19 - 11) = 19,5.$$

შესაბამისად (2.87) გამოსახულების მიხედვით გვაქვს

$$X_a = \frac{11,5 \cdot 230^2}{125000} \cdot 10 = 48,7 \text{ ომი, } X_l = 0$$

$$X_{\text{ლ}} = \frac{19,5 \cdot 230^2}{125000} \cdot 10 = 82,5 \text{ ომი}$$

2.27 ნახაზის შესაბამისად შეუდგინოთ ჩანაცულების გამარტივებული სანგარიშო სქემა (ნახ. 2.34).



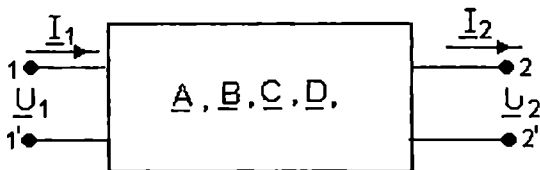
ნახ. 2.34

თავი 3. ელექტროგადაცემის უბნის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება

3.1. ელექტროგადაცემის ხაზი როგორც ოთხპოლუსა

მრავალ ელექტროტექნიკურ მოწყობილობას, რომელიც ემსახურება სიგნალის ან ენერგიის გადაცემას, გააჩნია ორი შესავალი და ორი გამოსავალი მომჭერი. ასეთ მოწყობილობას ოთხპოლუსას უწოდებენ. ამასთან თუ ოთხპოლუსას გააჩნია ენერგიის შიგა წყარო, მაშინ ის აქტიური ოთხპოლუსას წარმოადგენს. წინააღმდეგ შემთხვევაში გვაქვს პასიური ოთხპოლუსა.

ელექტროგადაცემის ხაზი პასიურ ოთხპოლუსას მიეკუთვნება, რომელსაც გააჩნია 1,1' შესავალი და 2,2' გამოსავალი მომჭერი (ნახ.3.1.) შემავალ პარამეტრებს წარმოადგენს $\underline{U}_1$ ძაბვა და $\underline{I}_1$ დენი, გამომავალ პარამეტრებს კი $\underline{U}_2$ ძაბვა და $\underline{I}_2$ დენი. ეს პარამეტრები ზოგადად კომპლექსური სიდიდეებია. კომპლექსურ სიდიდეებს წარმოადგენს, აგრეთვე, თვით ოთხპოლუსას შიგა ელექტრული პარამეტრებიც: წინააღობა $\underline{Z}$ და გამტარობა $\underline{Y}$.



ნახ. 3.1 ელექტროგადაცემის ხაზი, როგორც პასიური ოთხპოლუსა.

დენების მიმართულებები შევირჩიოთ ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 3.1. ნახაზზე. ამასთან შესავალ მომჭერებზე ენერგიის ნაკადის დადებითი მიმართულებაა ენერგიის წყაროდან ოთხპოლუსასკენ, ხოლო გამოსავალ მომჭერებზე – ოთხპოლუსაიდან მიმდებარისკენ. მიმართულებათა ასეთი შერჩევა მიზანშეწონილია, რადგანაც ოთხპოლუსა განიხილება როგორც ენერგიის გადაცემის მოწყობილობა.

ოთხპოლუსა ზოგადად შედგება რამდენიმე დამოუკიდებელი კონტურისაგან. პირველი კონტური მოიცავს ენერგიის წყაროს და 1,1' შესავალ მომჭერებს, მეორე კონტური 2,2' მომჭერებსა და მიმდებარის. დანარჩენი დამოუკიდებელი კონტურები მოთავსებულია შიგნით ოთხპოლუსაში. შესავალი მომჭერზე ძაბვა $\underline{U}_1$ განიხილება როგორც $\underline{I}_1$ დენის აღმქმრელი.

განგოლებათა სისტემა, რომელიც კავშირს ამყარებს ოთხპოლუსას შემავალ $\underline{U}_1$, $\underline{I}_1$ და გამომავალ $\underline{U}_2$, $\underline{I}_2$ სიდიდეებს შორის, ოთხპოლუსას

განტოლებებს უწოდებენ. ამ განტოლებათა სისტემის ჩაწერის ყველაზე უფრო გაერყელებული ფორმაა შემდეგი:

$$\underline{U}_1 = \underline{A}\underline{U}_2 + \sqrt{3}\underline{B}\underline{I}_2 \quad (3.1)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{C}\frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} + \underline{D}\underline{I}_2, \quad (3.2)$$

სადაც: $\underline{U}_1$ და $\underline{U}_2$ – ხაზური ძაბვები თავსა და ბოლოში, კე; $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$ – ფაზური დენები; $\underline{A}$, $\underline{B}$, $\underline{C}$, $\underline{D}$ – ოთხპოლუსას განზოგადოებული მუდმივები. $\underline{A}$ და $\underline{D}$ მუდმივებს არ გააჩნიათ განზომილება, ხოლო $\underline{B}$ -ს აქვს წინააღობის განზომილება და $\underline{C}$ –ს კი გამტარობის.

ნებისმიერი ოთხპოლუსას შემთხვევაში, ადგილი აქვს ტოლობას

$$\underline{A}\underline{D} - \underline{B}\underline{C} = 1. \quad (3.3)$$

სიმეტრიული ოთხპოლუსას შემთხვევაში ადგილი აქვს ტოლობას

$$\underline{A} = \underline{D}. \quad (3.4)$$

ელექტროგადაცემის ხაზის, როგორც ოთხპოლუსას, განზოგადოებული მუდმივები განისაზღვრება $\underline{Z}$ და $\underline{Y}$ პარამეტრებით.

ელექტროგადაცემის განზოგადოებული მუდმივების დასადგენად განვიხილოთ ხაზის მუშაობის უქმი სელისა და მოკლე შერთვის რეჟიმები.

უქმი სელის რეჟიმში (ნახ. 3.2,ა) $\underline{I}_2 = 0$, მაშინ (3.1)-დან გვაქვს

$$\underline{A} = \frac{\underline{U}_{1\text{კ.ს.}}}{\underline{U}_{2\text{კ.ს.}}} \quad (3.5)$$

მაშასადამე, განზოგადოებული მუდმივა $\underline{A}$ ხაზის თავსა და ბოლოში ძაბვათა ფარდობის ტოლია მისი უქმი სელის რეჟიმის დროს.

ამ რეჟიმში (3.2)-დან

$$\underline{C} = \frac{\underline{I}_{1\text{კ.ს.}}}{\underline{U}_{2\text{კ.ს.}}/\sqrt{3}}. \quad (3.6)$$

ე.ი. განზოგადოებული მუდმივა $\underline{C}$ ხაზის თავში დენისა და ბოლოში ძაბვის ფაზურ მნიშვნელობათა ფარდობის ტოლია უქმი სელის რეჟიმის დროს.

უქმი სელის რეჟიმში ხაზის ბოლოში ჩართულ გამტარობაში გამავალი გამტარობის დენი $\underline{I}_{Y2} = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\underline{Y}}{2}$. ხოლო ამ დენით გამოწვეული ძაბ-

ვის ვარდნა ხაზში და, შესაბამისად, ძაბვა ხაზის თავში

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 + \sqrt{3}\underline{I}_{Y2} \cdot \underline{Z} = \underline{U}_2(1 + \frac{\underline{ZY}}{2})$$

მაშასადამე, (3.5)-ის თანახმად

$$\underline{A} = 1 + \frac{\underline{ZY}}{2} \quad (3.7)$$

ვიციტ რა ძაბვა ხაზი თავში, განვსაზღვროთ $\underline{I}_{Y1}$

$$\underline{I}_{Y1} = \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{Y}{2} \text{ ანუ } \underline{I}_{Y1} = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{Y}{2} \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)$$

და ღენი ხაზის თავში

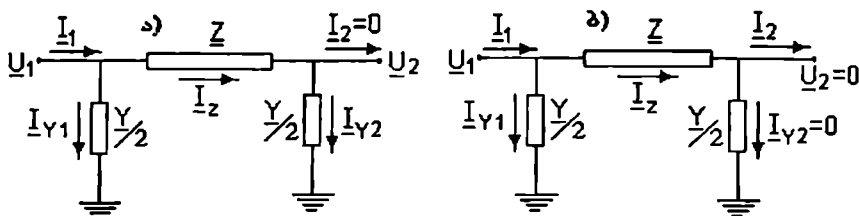
$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{Y1} + \underline{I}_{Y2} = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{Y}{2} \left(2 + \frac{ZY}{2}\right)$$

ანუ

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right).$$

მაშასადამე, (3.6)-ის თანახმად

$$\underline{C} = Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right). \quad (3.8)$$



ნახ. 3.2 ხაზის A და C განზოგადოებული მუდმივების (ა) და B და D განზოგადოებული მუდმივების (ბ) განსაზღვრისთვის

მოკლე შერთვის რეჟიმში (ნახ.3.2,ბ) $\underline{U}_2 = 0$, ამიტომ (3.1)-დან გვაქვს

$$\underline{B} = \frac{\underline{U}_{1,კ} / \sqrt{3}}{\underline{I}_2} \quad (3.9)$$

ამრიგად, განზოგადოებული მუდმივა B ხაზის თავში ფაზური ძაბვისა და ხაზის ბოლოში ღენის მნიშვნელობათა ფარდობის გოლია მისი მოკლე შერთვის რეჟიმის დროს.

ამავე რეჟიმში (3.2)-დან

$$\underline{D} = \frac{\underline{I}_{1,კ}}{\underline{I}_{2,კ}} \quad (3.10)$$

ე.ი. განზოგადოებული მუდმივა D ხაზის თავსა და ბოლოში ღენების მნიშვნელობათა ფარდობის გოლია.

რადგანაც $\underline{U}_2 = 0$, ხაზის ბოლოში ჩართულ გამგარობაში გაშვებული ღენი ნულის გოლია და ხაზის Z წინააღობაში გაიეღის მხოლოდ $\underline{I}_2 = \underline{I}_{2კ}$

დენი, რომელიც გამოიწვევს ძაბვის ვარდნას ხაზის $\underline{Z}$ წინააღმდეგობაში და, შესაბამისად, ხაზის თავში ძაბვა

$$\underline{U}_{1\text{თ}} = \sqrt{3} I_2 \underline{Z}.$$

მამასაღამე (3.9)-ის თანახმად

$$\underline{B} = \underline{Z}. \quad (3.11)$$

$\underline{U}_{1\text{თ}}$ ძაბვით გამოწვეული დენი ხაზის თავში ჩართულ გამტარობაში

$$I_{V1} = \frac{\underline{U}_{1\text{თ}}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{Y}{2} = I_2 \frac{\underline{ZY}}{2}$$

და, შესაბამისად, დენი ხაზის თავში

$$I_{1\text{თ}} = I_{2\text{თ}} + I_{V1} \frac{\underline{ZY}}{2} = I_{2\text{თ}} \left(1 + \frac{\underline{ZY}}{2}\right).$$

მამასაღამე, (3.10)-ის თანახმად

$$\underline{D} = 1 + \frac{\underline{ZY}}{2}. \quad (3.12)$$

220 კვ-მდე (ჩათვლით) ძაბვის ხაზებისთვის, რომელთა სიგრძე არ აღემატება 150 კმ-ს, შეგვიძლია მივიღოთ

$$\left. \begin{aligned} \underline{A} &= \underline{D} = 1 \\ \underline{B} &= \underline{Z} \\ \underline{C} &= \underline{Y} \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

ამ შემთხვევაში ანგარიშებში ცდომილება არ აღემატება 1%-ს.

3.2 ხაზის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების

ამოცანები

ოთხპოლუსას (3.1) და (3.2) განტოლებათა სისტემა შეიცავს ხაზის მუშაობის რეჟიმის ოთხ პარამეტრს $\underline{U}_1$, I_1 , $\underline{U}_2$ და I_2 , ხოლო განტოლებათა რიცხვი კი ორია. ე.ი. ამ სისტემას ცალსახა ამონახსნი რომ გააჩნდეს, საჭიროა რეჟიმის ამ ოთხი პარამეტრიდან ცნობილი (მოცემული) იყოს რომელიმე ორი. იმისდა მიხედვით, თუ რეჟიმის რომელი ორი პარამეტრი იქნება მოცემული, გვექნება ხაზის მუშაობის რეჟიმის გაანგარიშების შემდეგი ოთხი ამოცანა:

1) ცნობილია ძაბვა და დენი ხაზის ბოლოში $\underline{U}_2$ და I_2 . უნდა განისაზღვროს ძაბვა და დენი შესაეალზე ანუ ხაზის თავში $\underline{U}_1$ და I_1 ;

2) ცნობილია ძაბვა და დენი ხაზის თავში $\underline{U}_1$ და I_1 . უნდა განისაზღვროს ძაბვა და დენი ხაზის ბოლოში $\underline{U}_2$ და I_2 ;

3) ცნობილია დენი ხაზის თავში I_1 და ძაბვა ბოლოში $\underline{U}_2$. უნდა განისაზღვროს ძაბვა თავში $\underline{U}_1$ და დენი ბოლოში I_2 ;

4) ცნობილია დენი ხაზის ბოლოში $\underline{I}_2$ და ძაბვა ხაზის თავში $\underline{U}_1$. უნდა განვსაზღვროთ ძაბვა ხაზის ბოლოში $\underline{U}_2$ და დენი თავში $\underline{I}_1$.

ყველა ეს ამოცანა ელექტროგადაცემისთვის პრაქტიკულად დამახასიათებელია. გაანგარიშების პირველ ამოცანას უწოდებენ „რეკიმის გაანგარიშება ბოლოს მონაცემებით“, ხოლო მეორე ამოცანას - „რეკიმის გაანგარიშება თავის მონაცემებით“. მესამე და მეოთხე შერეული მონაცემების ამოცანებია.

პირველი ამოცანის ამოხსნისთვის მოცემულია (3.1) და (3.2) განტოლებათა სისტემის სახით.

მეორე ამოცანის ამოხსნისთვის (3.1) განტოლება გავამრავლოთ $\underline{D}$ -ზე, ხოლო (3.2) განტოლება კი $\sqrt{3}\underline{B}$ -ზე, გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} \underline{D}\underline{U}_1 &= \underline{A}\underline{D}\underline{U}_2 + \sqrt{3}\underline{D}\underline{B}\underline{I}_2 \\ \sqrt{3}\underline{B}\underline{I}_1 &= \underline{B}\underline{C}\underline{U}_2 + \sqrt{3}\underline{D}\underline{B}\underline{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

პირველს გამოვაკლოთ მეორე და გავითვალისწინოთ (3.3) მივიღებთ

$$\underline{U}_2 = \underline{D}\underline{U}_1 - \sqrt{3}\underline{B}\underline{I}_1. \quad (3.15)$$

შევიტანოთ ეს (3.1)-ში, გვექნება

$$\underline{U}_1 = \underline{A}\underline{D}\underline{U}_1 - \sqrt{3}\underline{A}\underline{B}\underline{I}_1 + \sqrt{3}\underline{B}\underline{I}_2.$$

ანუ

$$\sqrt{3}\underline{B}\underline{I}_2 = \underline{U}_1(1 - \underline{A}\underline{D}) + \sqrt{3}\underline{B}\underline{A}\underline{I}_1.$$

(3.3)-ის გათვალისწინებით გვაქვს

$$\sqrt{3}\underline{B}\underline{I}_2 = -\underline{B}\underline{C}\underline{U}_1 + \sqrt{3}\underline{B}\underline{A}\underline{I}_1.$$

აქედან

$$\underline{I}_2 = \underline{A}\underline{I}_1 - \underline{C} \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3}} \quad (3.16)$$

(3.15) და (3.16) გვაძლევს მეორე ამოცანის ამოხსნას.

მესამე ამოცანის ამოხსნისთვის ანალოგიური ანგარიშებით ელემენტობა

$$\underline{I}_2 = \frac{1}{\underline{D}} \left(\underline{I}_1 - \underline{C} \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} \right) \quad (3.17)$$

$$\underline{U}_1 = \frac{1}{\underline{D}} (\underline{U}_2 + \sqrt{3}\underline{B}\underline{I}_1) \quad (3.18)$$

მეოთხე ამოცანის ამოხსნისთვის გვაქვს

$$\underline{U}_2 = \frac{1}{\underline{A}} (\underline{U}_1 - \sqrt{3}\underline{B}\underline{I}_2) \quad (3.19)$$

$$\underline{I}_1 = \frac{1}{\underline{A}} \left(\underline{C} \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3}} + \underline{I}_2 \right) \quad (3.20)$$

ეიციტ რა ოთხპოლუსას შესავეალსა და გამოსავეალზე ძაბეები და დენები, განესაზღვრავთ სიმძლავერეს ხაზის თავესა და ბოლოში და სიმძლავერის დანაკარგებს ხაზში:

სიმძლავერე ხაზის თავში

$$\underline{S}_1 = \sqrt{3} \underline{U}_1 \underline{I}_1^* \quad (321)$$

სიმძლავერე ხაზის ბოლოში

$$\underline{S}_2 = \sqrt{3} \underline{U}_2 \underline{I}_2^* \quad (322)$$

სიმძლავერის ჯამური დანაკარგი ხაზში

$$\Delta \underline{S} = \underline{S}_1 - \underline{S}_2, \quad (323)$$

ანუ

$$\Delta P = P_1 - P_2, \text{ და } \Delta Q = Q_1 - Q_2. \quad (324)$$

ელექტროგადაცემა, როგორც უიზიკური მოწყობილობა, ხასიათდება მუშაობის მარგი ქმედების კოეფიციენტით

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100. \quad (325)$$

3.3. ელექტროგადაცემის რეჟიმის გაანგარიშება დატვირთვის დენის მიხედვით

ელექტროგადაცემის რეჟიმის ვექტორული დიაგრამის აგება და ანალიზი ჩავატაროთ რეჟიმის გაანგარიშების პირველი ამოცანის მიხედვით ანუ როცა ცნობილია ხაზის ბოლოს მონაცემები $\underline{U}_2$ და $\underline{I}_2$ და უნდა განისაზღვროს თავის მონაცემები $\underline{U}_1$ და $\underline{I}_1$.

ზოგალობისთვის ჩავთვალოთ, რომ ხაზს გააჩნია როგორც გრძივი R, X , ასევე განივი ელექტრული პარამეტრები G, B და ხაზის ჩანაცვლების სქემას აქვს 3.3. ნახაზზე წარმოდგენილი სახე, სადაც ნაჩვენებია დენების განაწილის სურათი.

ხაზის ბოლოში $\underline{U}_2$ ძაბვის ვექტორი მიემართოთ ნამდვილ რიცხვთა ღერძის გასწვრივ, მაშინ $\underline{U}_2 = U_2$. დატვირთვის $\underline{I}_2$ დენის ვექტორი $\underline{U}_2$ ვექტორს ჩამორჩება φ_2 კუთხით (იგულისხმება, რომ $\underline{I}_2$ დატვირთვის დენის რეაქტიული შემდგენი ინდუქტიური ხასიათისაა). $\underline{U}_2$ ძაბვით ვიპოვიოთ ხაზის ბოლოში ჩართულ გამტარობაში გამავალ გამტარობის დენს

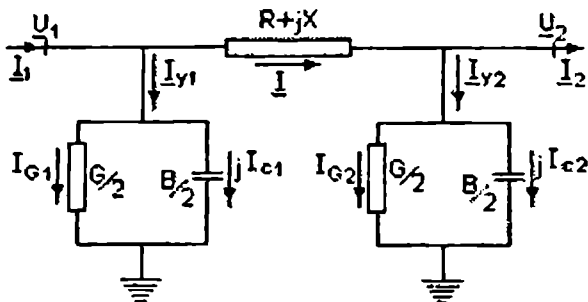
$$\underline{I}_{V2} = \underline{I}_{G2} + j \underline{I}_{C2} = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{G + jB}{2},$$

სადაც:

$$\underline{I}_{G2} = \frac{\underline{U}_2}{2\sqrt{3}} \cdot G - \text{გამტარობის დენის აქტიური შემდგენი};$$

$$I_{C2} = \frac{U_2}{2\sqrt{3}} \cdot B - \text{გამგარობის ღენის რეაქტიული ტეეადური მეგ-}$$

ღენი.



ნახ. 3.3 ელექტროგადაცემის ხაზში ღენების განაწილების სურათი

I_{G2} ჭაბით ემთხვევა U_2 ძაბვას, ხოლო I_{C2} წინ უსწრებს მას 90° -ით (ნახ. 3.4).

ხაზში გამავალი ღენი

$$I = I_2 + I_{Y2} = I_2 + I_{G2} + jI_{C2}.$$

როგორც დიაგრამიდან ჩანს ხაზის გამგარობის ღენის ტეეადური შემღგენი გარკვეულწილად აკომპენსირებს დატეირთვის ღენის რეაქტიულ ინდუქტიურ შემღგენს

$$I_G = I_{G2} - I_{C2}.$$

კომპენსაციის შემღგე, რიგ შემთხვევაში, ხაზში ღენი შეიძლება დატეირთვის ღენზე უფრო ნაკლები აღმოჩნდეს. ამას, განსაკუთრებით, აღგილი აქვს მაღალი და შემადალი ძაბვის ხაზებში. იმ შემთხვევებში, როცა ხაზის აქტიური გამგარობა ნულის გოლია, ხაზში ღენი მოღულოთ ყოველთვის დატეირთვის ღენზე ნაკლებია.

ხაზში გამავალი ღენის თოთოეული შემღგენი (დატეირთვის და გამგარობის ღენი) იწვევს ხაზის R და X წინაღობებში ძაბვის ვარდნას

$$\Delta U = \sqrt{3} I Z = \sqrt{3} I_2 Z + \sqrt{3} I_Y Z$$

აქტიურ წინაღობაში ძაბვის ვარდნის ეექტორი მიმართულებით ემთხვევა შესაბამისი ღენის ეექტორს, ხოლო რეაქტიულ წინაღობაში კი წინ უსწრებს მას 90° -ით. ძაბვის ვარდნის ცალკეულ ეექტორია სიდიდე გამოითვლება ცნობილი ფორმულებით:

$$\sqrt{3} I_2 R; \sqrt{3} I_2 X; \sqrt{3} I_{G2} R; \sqrt{3} I_{G2} X; \sqrt{3} I_{C2} R; \text{ და } \sqrt{3} I_{C2} X.$$

გადავზომოთ ეს ეექტორები A წერტილიდან (ნახ.3.4) თანმიმდევრობით მათი მიმართულებების გათვალისწინებით. ამ ეექტორების ჯამი

გვაძლევს $\overline{AD}$ ვექტორს, რომელიც წარმოადგენს ძაბვის ეარდნას ხაზში. იგი შეიძლება გრძივ და განივ შემდგენს

$$\overline{AD} = \overline{AF} + \overline{FD}$$

ანუ

$$\Delta \underline{U} = \Delta U + j\delta U,$$

სადაც $\Delta U = |\overline{AF}|$ - ძაბვის ეარდნის გრძივი შემდგენი;

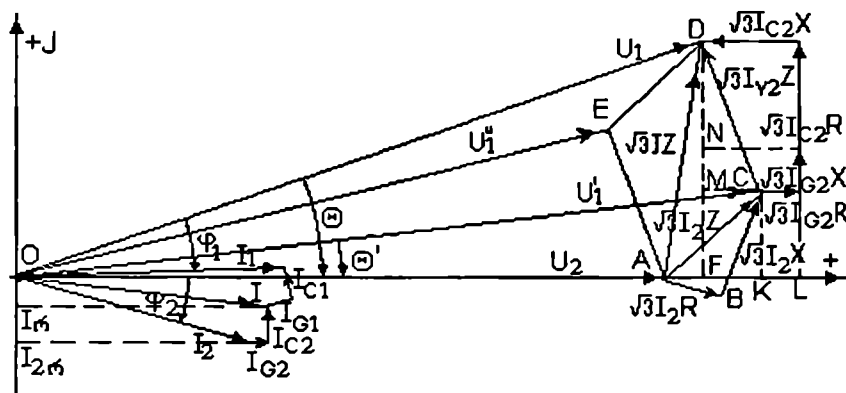
$\delta U = |\overline{FD}|$ - ძაბვის ეარდნის განივი შემდგენი.

ამრიგად, ხაზის თავში $\underline{U}_1$ ძაბვისთვის გვაქვს

$$\underline{U}_1 = U_2 + \Delta \underline{U} \quad (3.26)$$

ანუ

$$\underline{U}_1 = U_2 + \Delta U + j\delta U \quad (3.27)$$



ნახ. 3.4 ელექტროგადაცემის ვექტორული დიაგრამა

$\underline{U}_1$ ძაბვის მოდული განისაზღვრება ფორმულით

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + \delta U^2}, \quad (3.28)$$

რომლის საშუალებით განესაზღვრავთ I_{Y1} გამტარობის დენს, გამავალს ხაზის თავში ჩართულ გამტარობაში,

$$I_{Y1} = I_{G1} + jI_{C1} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{G + jB}{2}$$

სადაც:

$$I_{G1} = \frac{U_1}{2\sqrt{3}} \cdot G - \text{გამტარობის ღენის აქტიური შემდგენი;}$$

$$I_{C1} = \frac{U_1}{2\sqrt{3}} \cdot B - \text{გამტარობის ღენის რეაქტიული შემდგენი.}$$

I_{G1} უაზით ემთხვევა $\underline{U}_1$ ძაბვის ვექტორს, ხოლო I_{C1} წინ უსწრებს მას 90° -ით (ნახ.3.4).

ხაზის თავში ღენი

$$\underline{I}_1 = \underline{I} + \underline{I}_{Y1} = \underline{I} + I_{G1} + jI_{C1}. \quad (3.29)$$

ვექტორული დიაგრამის შესაბამის მასშტაბში აგების გზით ვიპოვით ყველა საძიებელ სიდიდეს, მათ შორის ძაბვასა და ღენს ხაზის თავში $\underline{U}_1, \underline{I}_1$ და მათ შორის ძერის ფი კუთხეს.

სიმძლავრე ხაზის თავსა და ბოლოში და სიმძლავრის დანაკარგები ხაზში განისაზღვრება (4.21)-(4.24) ფორმულებით.

ვექტორული დიაგრამის დახმარებით ხაზის რეჟიმის პარამეტრების ანგარიში მოითხოვს ზუსტ გრაფიკულ აგებებს, რაც დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ცდომილებებთან და იგი პრაქტიკულად მოუხერხებელია, მაგრამ მის საფუძველზე ხაზის რეჟიმის პარამეტრების მიმართ შეგვიძლია გაუაკეთოთ მნიშვნელოვანი დასკვნები.

ხაზში ძაბვის ვარდნის $\overline{AD}$ ვექტორი წარმოადგენს $\overline{AC}$ და $\overline{CD}$ ვექტორების ჯამს, რომელთაგანაც $\overline{AC}$ არის ხაზში ძაბვის ვარდნა, გამოწვეული დაგვირთვის I_2 ღენით, ხოლო $\overline{CD}$ - ძაბვის ვარდნა გამოწვეული I_{Y2} გამტარობის ღენით (ნახ.3.4)

$$\overline{AC} = \sqrt{3} I_2 Z \quad \text{და} \quad \overline{CD} = \sqrt{3} I_{Y2} Z.$$

დაგვირთვის ღენის სიდიდე დამოკიდებულია მომსმარებლის მუშაობის რეჟიმზე და იგი შეიძლება იცვლებოდეს 0-დან (უქმი სელის რეჟიმი) მაქსიმუმამდე (მაქსიმალური დაგვირთვის რეჟიმი). გამტარობის ღენი კი დამოკიდებულია მუშა ძაბვასა და ხაზის გამტარობაზე, რომელიც 35 კე-მდე (ჩათვლით) ძაბვის საზღვრებში თითქმის ნულის ტოლია, ხოლო უფრო მაღალი ძაბვის საზღვრებში აღწევს საკმარისად დიდ მნიშვნელობას. ამასთან, თუ ხაზზე გვირგვინის მოვლენას ადგილი არ აქვს, მაშინ გამტარობის ღენი შეიცავს მხოლოდ რეაქტიულ (ტევადურ) შემდგენს.

დიაგრამიდან ჩანს, რომ თუ ხაზს არ გააჩნია განივი (განსაკუთრებით ტევადური) გამტარობა, მაშინ ხაზის თავში ძაბვა U'_1 მეტია, ვიდრე იგივე ძაბვა განივი გამტარობის არსებობისას $|U'_1| > |U_1|$. ე.ი. ხაზის

ტევადური გამტარობის (აქტიური გამტარობა უმნიშვნელოა) არსებობისას იმავე სიმძლავრის გადაცემისთვის საკმარისია ხაზის თავში დაეიჭიროთ შედარებით დაბალი ძაბვა, ვიდრე ეს საჭიროა ტევადური გამტარობის არ არსებობისას.

ტევადური გამტარობის არსებობის შემთხვევაში ხაზის თავსა და ბოლოს ძაბვების ექვტორებს შორის ძერის კუთხე იზრდება ($\theta > \theta'$), რადგანაც ტევადური გამტარობის ღენი ამცირებს ხაზში ძაბვის ვარდნის გრძივ შემდგენს FL სიდიდით და ზრდის განივ შემდგენს ND სიდიდით (ნახ. 3.4). KL და MN მონაკვეთები განპირობებულია გამტარობის ღენის აქტიური შემდგენით.

დატვირთვის ღენის შემცირებისას ძაბვის ვარდნის ABC სამკუთხედი იკუმშება A წეროსკენ, $\overline{CD}$ გადაადგილდება თავისი თავის პარალელურად ისე, რომ D წერტილი მიისწრაფვის E წერტილისკენ და ძაბვა ხაზის თავში მცირდება თავის მინიმალურ მნიშვნელობამდე U_1'' , რომლის დროს გვაქვს ხაზის უქმი სელის რეჟიმი ($I_2=0$).

დიაგრამიდან ჩანს, რომ უქმი სელის რეჟიმში ძაბვა ხაზის თავში უფრო ნაკლებია, ვიდრე ბოლოში, რაც განპირობებულია გამტარობის ღენის ტევადური შემდგენის არსებობით.

3.4 ელექტროგადაცემის რეჟიმის გაანგარიშება დატვირთვის სიმძლავრის მიხედვით

ხაზის ბოლოში მომხმარებლის დატვირთვას წარმოადგენენ $S_2=P_2+jQ_2$ სახით, სადაც P_2 აქტიური, ხოლო Q_2 ინდუქტიური რეაქტიული გეირთია. გადაცემის რეჟიმის გაანგარიშების დროს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს შემდეგ ორ შემთხვევას: 1) მოცემულია ძაბვა ხაზის ბოლოში U_2 ან 2) მოცემულია ძაბვა ხაზის თავში U_1 .

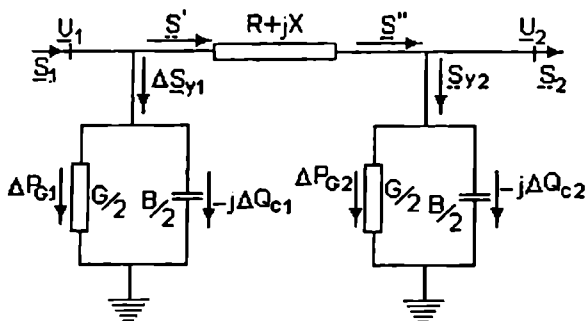
განვიხილოთ პირველი შემთხვევა. იგი უაქტიურად წარმოადგენს რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების პირველ ამოცანას (§2.2). ვისარგებლოთ ხაზის ჩანაცვლების Π -სებრი სქემით (ნახ. 3.5).

U_2 ძაბვა ხაზის ბოლოში ჩართულ გამტარობაში გამოიწვევს სიმძლავრის დანაკარგებს

$$\Delta S_{\gamma 2} = \Delta P_{G2} - j\Delta Q_{C2} = \sqrt{3}U_2 I_{\gamma 2}^* = U_2^2 \frac{(G - jB)}{2} = U_2^2 \frac{G}{2} - jU_2^2 \frac{B}{2}$$

ანუ

$$\Delta P_{G2} = \frac{U_2^2 G}{2} \quad \text{და} \quad \Delta Q_{C2} = \frac{U_2^2 B}{2}. \quad (3.30)$$



ნახ. 3.5 ელექტროგადამცემის ხაზში სიმძლავრეთა განაწილების სურათი

შესაბამისად, ხაზის Z წინაღობიდან გამავალი სიმძლავრე

$$\Delta S'' = P'' + jQ'' = S_2 + \Delta S_{Y2} = P_2 + \Delta P_{G2} + j(Q_2 - \Delta Q_{C2}),$$

ე.ი.

$$P'' = P_2 + \Delta P_{G2} \text{ და } Q'' = Q_2 - \Delta Q_{C2} \quad (3.31)$$

ეს სიმძლავრე Z წინაღობაში გამოიწვევს სიმძლავრის დანაკარგებსა და ძაბვის ეარდნას:

$$\Delta S_Z = \Delta P_R + j\Delta Q_X = 3I^2 Z = 3 \cdot \left(\frac{S''}{\sqrt{3}U_2} \right)^2 Z = \frac{(S'')^2}{U_2^2} (R + jX), \quad (3.32)$$

ანუ

$$\Delta P_R = \frac{(P'')^2 + (Q'')^2}{U_2^2} R \quad (3.33)$$

და

$$\Delta Q_X = \frac{(P'')^2 + (Q'')^2}{U_2^2} X. \quad (3.34)$$

ძაბვის ეარდნა

$$\Delta \underline{U} = \sqrt{3} I \underline{Z} = \sqrt{3} \cdot \frac{(S'')^*}{\sqrt{3} \underline{U}_2} \underline{Z} = \frac{(P'' - jQ'')(R + jX)}{U_2},$$

ანუ

$$\Delta \underline{U} = \frac{P'' R + Q'' X}{U_2} + j \frac{P'' X - Q'' R}{U_2}, \quad (3.35)$$

სადაც

$$\Delta U = \frac{P''R + Q''X}{U_2} \quad (3.36)$$

წარმოადგენს ძაბვის ეარდნის გრძივ შემდგენს და

$$\delta U = \frac{P''X - Q''R}{U_2} \quad (3.37)$$

წარმოადგენს ძაბვის ეარდნის განივ შემდგენს.

ამრიგად, ხაზის $\underline{Z}$ წინააღობაში შემავალი სიმძლავრე

$$\Delta \underline{S}' = P' + jQ' = \underline{S}' + \Delta \underline{S}_Z$$

ანუ

$$\underline{S}' = P'' + \frac{(P'')^2 + (Q'')^2}{U_1^2} R + j \left[Q'' + \frac{(P'')^2 + (Q'')^2}{U_1^2} X \right]$$

ე.ი.

$$P' = P'' + \Delta P_R \quad \text{და} \quad Q' = Q'' + \Delta Q_X \quad (3.38)$$

ხოლო ძაბვა ხაზის თავში (გამოსახულება 3.27)

$$\underline{U}_1 = (U_2 + \Delta U) + j\delta U \quad (3.39)$$

ანუ

$$\underline{U}_1 = U_2 + \frac{P''R + Q''X}{U_2} + j \frac{P''R - Q''X}{U_2} \quad (3.40)$$

U_1 ძაბვის მოდული (გამოსახულება 3.28)

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + (\delta U)^2}. \quad (3.41)$$

განვსაზღვროთ სიმძლავრის დანაკარგები ხაზის თავში ჩართულ გამტარობაში

$$\Delta \underline{S}_{Y1} = \sqrt{3} \underline{U}_1 \underline{I}_{Y1}^* = U_1^2 \frac{G}{2} - jU_1^2 \frac{B}{2}$$

ანუ

$$\Delta P_{G1} = \frac{U_1^2 G}{2} \quad \text{და} \quad \Delta Q_{C1} = \frac{U_1^2 B}{2} \quad (3.42)$$

და, შესაბამისად, სიმძლავრე ხაზის თავში

$$\underline{S}_1 = \underline{S}' + \Delta \underline{S}_{Y1} = P' + \Delta P_{G1} + j(Q' - \Delta Q_{C1}) \quad (3.43)$$

სიმძლავრის ჯამური დანაკარგი ხაზში (გამოსახულება 3.23)

$$\Delta \underline{S} = \underline{S}_1 - \underline{S}_2 = P' + \Delta P_{G1} + j(Q' - \Delta Q_{C1}) - P_2 - jQ_2,$$

ანუ (3.38) და (3.31)-ის გათვალისწინებით გვაქვს

$$\Delta P = \Delta P_R + \Delta P_{G1} + \Delta P_{G2} \quad (3.44)$$

და

$$\Delta Q = \Delta Q_X - (\Delta Q_{C1} + \Delta Q_{C2}). \quad (3.45)$$

U_2 ძაბვა მიემართოთ ნამდვილ რიცხვთა ღერძის გასწვრივ და (3.39) გამოსახულების მიხედვით ავაგოთ ძაბვების დიაგრამა (ნახ.3.6,ა). ძაბვების დიაგრამიდან ჩანს, რომ ხაზში ძაბვის დანაკარგი AD მონაკვეთის გოლია

$$U_{\Delta} = AC = \underline{U}_1 - \underline{U}_2 \quad (3.46)$$

ანუ

$$U_{\Delta} = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + \delta U^2} - U_2. \quad (3.47)$$

220 კმ-მდე (ჩათვლით) ძაბვის ხაზებისთვის შეგვიძლია ვისარგებლოთ ფესვის მიახლოებითი მნიშვნელობით და გვაქვს

$$U_{\Delta} = \left(U_2 + \Delta U + \frac{(\delta U)^2}{2(U_2 + \Delta U)} \right) - U_2$$

ანუ

$$U_{\Delta} = \Delta U + \frac{(\delta U)^2}{2(U_2 + \Delta U)}. \quad (3.48)$$

110კვ-მდე (ჩათვლით) ძაბვის ხაზებში θ კუთხე იმდენად მცირეა, რომ შეგვიძლია ხაზში ძაბვის დანაკარგი ძაბვის ვარდნის გრძივი შემდეგნის გოლად მივიღოთ

$$U_{\Delta} = \Delta U. \quad (3.49)$$

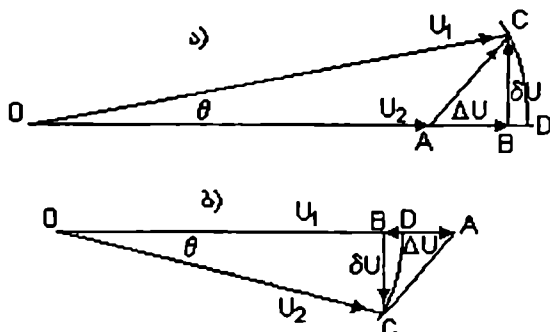
განვიხილოთ მეორე შემთხვევა. ეს შემთხვევა თავისი შინაარსით მეოთხე ამოცანას წარმოადგებს იმ განსხვავებით, რომ აქ I_2 დენის ზუსტი მნიშვნელობის დადგენა არ ხერხდება, რადგანაც უცნობია $\underline{U}_2$ ძაბვა. აქ ანგარიშები უნდა ჩავატაროთ ორ ეტაპად. პირველ ეტაპზე საჭიროა დავადგინოთ $\underline{U}_2$ ძაბვის საანგარიშო მნიშვნელობა, რომლის შემდეგ ანგარიშების მეორე ეტაპი ჩატარდება პირველი შემთხვევის ანალოგიურად.

ანგარიშის პირველი ეტაპი ჩავატაროთ შემდეგი მიმდევრობით. (3.30) ფორმულით, რომელშიც $\underline{U}_2$ ძაბვას შევუცვლით ნომინალური ძაბვით, გამოვთვალოთ სიმძლავრის დანაკარგები ხაზის ბოლოში ჩართულ გამტარობაში

$$\Delta P_{G2} = \frac{U_G^2}{2} \quad \text{და} \quad \Delta Q_{C2} = \frac{U_G^2 B}{2}, \quad (3.50)$$

რომელთა გათვალისწინებით გამოვთვლით P'' და Q'' (4.31). ამის შემდეგ განვსაზღვროთ სიმძლავრის დანაკარგები ხაზის $\underline{Z}$ წინააღობაში (3.33) და (3.34) ფორმულებით, სადაც ასევე U_2 ძაბვის ნაცვლად გამოვი-

ყენოთ ნომინალური ძაბვა. შემდეგ (338) ფორმულებით გამოეთვალოთ P' და Q' .



3.6 ელექტროგადაცემის ძაბვების დიაგრამა:
ა) მოცემულია S_2 ; ბ) მოცემულია S_1 .

აღნიშნული გამოთვლების შემდეგ ვისარგებლოთ (336) და (337) ფორმულებით, სადაც S_2 -ის ნაცვლად ავიღოთ S_1 და P'', Q'' -ის ნაცვლად კი - P', Q' :

$$\Delta U = \frac{P'R + Q'X}{U_1} \text{ და } \delta \Delta = \frac{P'X - Q'R}{U_1}, \quad (351)$$

რომელთა საშუალებით დაეადგენთ S_2 ძაბვას (327)

$$\underline{U}_2 = U_1 - \Delta U - j\delta U \quad (352)$$

ანუ

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U)^2 + \delta U^2} \quad (353)$$

დაეადგენო რა S_2 ძაბვის მნიშვნელობას ჩაეაგარებოთ გაანგარიშების მეორე ეტაპს ამ პარაგრაფში განხილული პირველი შემთხვევის მიხედვით..

როგორც ესედავთ გამოთვლების მეორე შემთხვევის დროს გაანგარიშებები ჩატარდა ორ ეტაპად. სადაც პირველ ეტაპზე ვადგენთ S_2 ძაბვის მნიშვნელობას. თუ რამდენად ზუსტია S_2 ძაბვის მიღებული მნიშვნელობა, დადგინდება მეორე ეტაპის გამოთვლების ჩატარების შემდეგ, როცა განისაზღვრება S_1 ძაბვა, რომელიც უნდა ემთხვეოდეს მის მოცემულ მნიშვნელობას.

როგორც პრაქტიკული გაანგარიშებები გვიჩვენებს, ანგარიშების ეს ორი ეტაპი საკმარისია იმ თვალსაზრისით, რომ ცდომილება არ აღემატებოდეს საინჟინრო გაანგარიშებებისთვის დასაშვებ სიდიდეს.

იმ შემთხვევაში, როცა გამოთვლებით მიღებული U_1 ძლიერ განსხვავდება მოცემულისგან ($U_{1\text{მზ}} - U_{1\text{მდ}}$), საკმარისია ეს სხვაობა ალგებრულად დაეუმაგოთ პირველ ეტაპზე მიღებულ U_2 -ის მნიშვნელობას და გამოთვლების მეორე ეტაპი ჩავატაროთ U_2 ძაბვის ამ ახალი მნიშვნელობის მიხედვით.

ამ მეორე შემთხვევისთვის ძაბვების დიაგრამას აქვს 3.6,ბ ნახაზზე ნაჩვენები სახე.

ძაბვის დანაკარგი ხაზში იანგარიშება ფორმულით

$$U_{\Delta} = \Delta U - \frac{\delta U^2}{2(U_1 - \Delta U)}. \quad (3.54)$$

3.5 ელექტროგადაცემის რეჟიმის გაანგარიშება გადასაცემი სიმძლავრის მიხედვით

გადასაცემი სიმძლავრე წარმოადგინოთ $S_1 = P_1 + jQ_1$ სახით (ნახ.3.5). რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშებისას შეიძლება გვექონდეს ორი შემთხვევა: 1) მოცემულია ძაბვა ხაზის თავში; 2) მოცემულია ძაბვა ხაზის ბოლოში.

განვიხილოთ პირველი შემთხვევა. იგი თავისი შინაარსით წარმოადგენს რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების მეორე ამოცანას (§3.2). გამოთვლების მიმდევრობა ჩავატაროთ 3.5 ნახაზის შესაბამისად.

ხაზის თავში ჩართულ გამტარობაში U_1 ძაბვით განპირობებული სიმძლავრის დანაკარგები გამოითვლება (3.42) ფორმულებით

$$\Delta P_{G1} = U_1^2 \frac{G}{2} \quad \text{და} \quad \Delta Q_{C1} = U_1^2 \frac{B}{2}. \quad (3.55)$$

შესაბამისად, ხაზის $\underline{Z}$ წინააღობაში შემავალი სიმძლავრე

$$\underline{S}' = \underline{S}_1 - \Delta \underline{S}_{G1} = P_1 - \Delta P_{G1} + j(Q_1 - (-\Delta Q_{C1})),$$

ანუ

$$P' = P_1 - \Delta P_{G1} \quad \text{და} \quad Q' = Q_1 + \Delta Q_{C1}, \quad (3.56)$$

რომელიც $\underline{Z}$ წინააღობაში გამოიწვევს სიმძლავრის დანაკარგებს და ძაბვის ვარდნას:

სიმძლავრის დანაკარგი

$$\Delta \underline{S}_Z = \Delta P_R + j\Delta Q_X = \frac{(S')^2}{U_1^2} \cdot \underline{Z} = \frac{(S')^2}{U_1^2} (R + jX), \quad (3.57)$$

ანუ

$$\Delta P_R = \frac{(P')^2 + (Q')^2}{U_1^2} \cdot R \quad (3.58)$$

და

$$\Delta Q_X = \frac{(P')^2 + (Q')^2}{U_1^2} \cdot X; \quad (3.59)$$

ძაბვის ეარდნა (3.51)

$$\Delta U = \frac{P'R + Q'X}{U_1}$$

და

$$\delta U = \frac{P'X - Q'R}{U_1}$$

ძაბვა ხაზის ბოლოში

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U)^2 + \delta U^2},$$

ხოლო ძაბვის დანაკარგის მიახლოებითი მნიშვნელობა (3.54)

$$U_\Delta = \Delta U - \frac{\delta U^2}{2(U_1 - \Delta U)}.$$

ხაზის $\underline{Z}$ წინაღობიდან გამავალი სიმძლავრე (ნახ.3.6)

$$\underline{S}'' = \underline{S}' - \Delta \underline{S}_Z = P' - \Delta P_R + j(Q' - \Delta Q_X)$$

ანუ

$$P'' = P' - \Delta P_R \quad \text{და} \quad Q'' = Q' - \Delta Q_X. \quad (3.60)$$

ხაზის ბოლოში ჩართულ გამტრობაში U_2 ძაბვით განპირობებული სიმძლავრის დანაკარგები ვიანგარიშით (3.30) ფორმულებით

$$\Delta P_{G2} = \frac{U_2^2 G}{2} \quad \text{და} \quad \Delta Q_2 = \frac{U_2^2 B}{2}. \quad (3.61)$$

შესაბამისად, ხაზის ბოლოში სიმძლავრე

$$S_2 = S'' - \Delta S_{G2} = P'' - \Delta P_{G2} + j(Q'' - (-\Delta Q_{C2}))$$

ანუ

$$P_2 = P'' - \Delta P_{G2} \quad \text{და} \quad Q_2 = Q'' + \Delta Q_{C2} \quad (3.62)$$

სიმძლავრის ჯამური დანაკარგი ხაზში გამოითვლება (3.44) და (3.45) ფორმულებით.

განვიხილოთ მეორე შემთხვევა. ეს შემთხვევა თავისი შინაარსით წარმოადგენს რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების მესამე ამოცანას (§3.2) იმ განსხვავებით, რომ აქ I_1 დენის ზუსტი მნიშვნელობა არ ვი-

ცით, რადგანაც U_1 ძაბვა საძიებელი სიდიდეა. ამიტომ ანგარიშებს ეტარებთ ორ ეტაპად ქვემოთ ნაჩვენები მიმდევრობით.

პირველი ეტაპი. ნომინალური ძაბვის მიხედვით გამოთვალეთ

$$\Delta P_{C1} = \frac{U_6^2 G}{2} \quad \text{და} \quad \Delta Q_{C1} = \frac{U_6^2 B}{2}. \quad (3.63)$$

შემდეგ გამოთვალეთ

$$P' = P_1 - \Delta G_1 \quad \text{და} \quad Q' = Q_1 + \Delta Q_{C1}, \quad (3.64)$$

ხოლო ამის შემდეგ (3.51) ფორმულით, რომელშიც U_1 -ს შევცვლით U_6 -ით, გამოთვალეთ ძაბვის ვარდნა

$$\Delta U = \frac{P'R + Q'X}{U_6} \quad \text{და} \quad \delta U = \frac{P'X - Q'R}{U_6} \quad (3.65)$$

ამ გამოთვლების ჩატარების შემდეგ (3.41) ფორმულით ვიპოვით U_1 ძაბვას და გადავდივართ მეორე ეტაპზე, სადაც გამოთვლებს ჩაეატარებთ პირველი შემთხვევის ანალოგიურად.

მეორე ეტაპის დამთავრების შემდეგ თუ $U_{2\text{პლ}} - U_{2\text{პლ}}$ სხვაობა აღემატება საინჟინრო გაანგარიშებისთვის დასაშვებ ცდომილებას, მაშინ ეს სხვაობა ალგებრულად დაეუმაგოთ პირველ ეტაპზე მიღებულ U_1 ძაბვის მნიშვნელობას და მეორე ეტაპის გამოთვლები ჩაეატაროთ U_1 ძაბვის ამ ახალი მნიშვნელობით.

3.6 ელექტროგადაცემის რეჟიმის გაანგარიშება იგერაციული მეთოდის გამოყენებით

როგორც წინა პარაგრაფში აღვნიშნეთ ელექტროგადაცემის რეჟიმის გაანგარიშების იმ ამოცანათა ამოხსნა, როცა დატვირთვის სიმძლავრე მოცემულია ხაზის ერთ ბოლოში, ხოლო ძაბვა კი მეორე ბოლოში, გარდება ორ ეტაპად. რეჟიმის პარამეტრების ანგარიშის ამ მეთოდს თან ახლავს გარკვეული ცდომილება, რომლის დასაშვებ ფარგლებში დაყვანისთვის შეიძლება მოგვესდეს გამოთვლების რამდენჯერმე განმეორება.

შედარებით ნაკლებად შრომატევადი გამოთვლების პირობებში მნიშვნელოვნად უფრო მაღალი სიმკესტე მიიღწევა, თუ აღნიშნული სახის საწყისი ინფორმაციის ამოცანას ამოვხსნით იგერაციული მეთოდის გამოყენებით.

(3.1), (3.2) და (3.15), (3.16) გადაცემის განტოლებებში ღენები შევცვალოთ შესაბამისი სიმძლავრით

$$I_1 = \frac{S_1^*}{\sqrt{3}U_1^*} \text{ და } I_2 = \frac{S_2^*}{\sqrt{3}U_2^*},$$

გვაქვს

$$U_1 = AU_2 + \frac{BS_2^*}{U_2^*}, \quad (3.66)$$

$$\frac{S_1}{U_1} = C^*U_2^* + D^* \frac{S_2}{U_2} \quad (3.67)$$

და

$$U_2 = DU_1 - \frac{BS_1^*}{U_1^*}, \quad (3.68)$$

$$\frac{S_2}{U_2} = A^* \frac{S_1}{U_1} - C^*U_1^* \quad (3.69)$$

რეკემის პარამეტრების გაანგარიშების მეოთხე სახის ამოცანის ამოსახსნელად (მოცემულია S_2 და U_1) (3.66)-დან დაეადგინოთ U_2 ძაბვა იტერაციული მეთოდის გამოყენებით, გვაქვს

$$U_2^{(i)} = \frac{1}{A} \left(U_1 - \frac{BS_2^*}{(U_2^{(i-1)})^*} \right) \quad (3.70)$$

U_2 ძაბვის ნულოვან მიახლოებად მივიღოთ $U_2 = U_0$ და გამოვთვალოთ $U_2^{(1)}, U_2^{(2)} \dots$ იტერაციული მნიშვნელობები. იტერაციული პროცესი გაეგზავნოს წინასწარ მოცემული სიზუსტის მიღწევამდე.

ვიცით რა U_2 , (3.67)-დან განვსაზღვრაეთ S_1 -ს

$$S_1 = C^*U_1U_2^* + D^*S_2 \frac{U_1}{U_2}. \quad (3.71)$$

მესამე სახის ამოცანის (მოცემულია S_1 და U_2) ამოსახსნელად (3.68)-ის თანახმად ეწერთ

$$U_1^{(i)} = \frac{1}{D} \left(U_2 + \frac{BS_1^*}{(U_1^{(i-1)})^*} \right) \quad (3.72)$$

U_1 ძაბვის ნულოვან მიახლოებად მივიღოთ $U_1 = U_0$ და გამოთვლები ჩავატაროთ იტერაციის გზით, რომლის დასრულების შემდეგ (3.69)-დან განვსაზღვრაეთ S_2 -ს

$$S_2 = A^*S_1 \frac{U_2}{U_1} - C^*U_1^*U_2 \quad (3.73)$$

3.7 თანაბარგანაწილებული დაგვირთვის მქონე უბნის რეჟიმის გაანგარიშება

10 კვ და უფრო დაბალი ძაბვის ზოგიერთი ქსელი ხასიათდება ერთმანეთთან ახლო მდებარე და თითქმის ერთნაირი სიდიდის დაგვირთვის მქონე სამომხმარებლო კვანძებით. ასეთი შემთხვევა უფრო ხშირად შეიმჩნევა დასახელებული პუნქტებისა და ქალაქების საყოფაცხოვრებო მომსახურების მაგისტრალურ ქსელებში, რომელთა ჯამური დაგვირთვა შეიძლება განვიხილოთ როგორც თანაბრად განაწილებული მთელი მაგისტრალის გასწვრივ.

დავუშვათ, რომ თანაბარგანაწილებულ დაგვირთვას ადგილი აქვს მაგისტრალური უბნის მხოლოდ გარკვეულ მონაკვეთზე (ნახ.3.6,ა), მაშინ ამ მონაკვეთის ერთეულოვან სიგრძეზე მოსული დაგვირთვაა

$$P_0 + jQ_0 = \frac{P + jQ}{\ell},$$

ხოლო ამავე ერთეულოვანი სიგრძის უბნის წინააღობაა $Z_0 = r_0 + jx_0$.

მაგისტრალური უბნის ℓ_0 სიგრძის სათავე უბანზე ვაედინება ჯამური $P + jQ$ დაგვირთვა და ცხადია, რომ ამ უბანზე სიმძლავრის დანაკარგისთვის გვაქვს

$$\Delta P_{\ell_0} = \frac{P^2 + Q^2}{U_6^2} r_0 \ell_0$$

და

$$\Delta Q_{\ell_0} = \frac{P^2 + Q^2}{U_6^2} x_0 \ell_0.$$

თანაბარგანაწილებული სამუაზა დაგვირთვის მქონე ℓ სიგრძის უბანზე აქტიური სიმძლავრის დანაკარგი შეგვიძლია გამოვთვალოთ შემდეგი ფორმულით

$$\Delta P = 3 \int_0^{\ell} \left[\left(\frac{P}{\ell} (\ell - x) \right)^2 + \left(\frac{Q}{\ell} (\ell - x) \right)^2 \right] \frac{r_0 dx}{U_6^2},$$

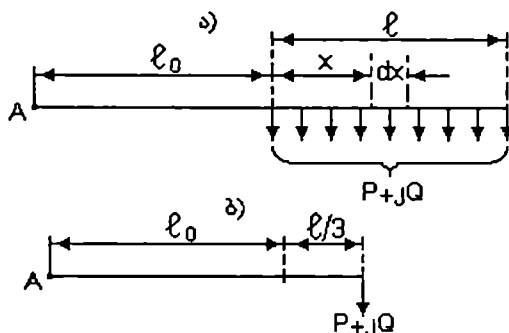
სადაც x - მანძილი თანაბარგანაწილებული უბნის სათავიდან ამ უბნის dx ელემენტამდე (ნახ.3.8,ა).

ინტეგრირების ჩატარების შემდეგ ედებულობთ

$$\Delta P_{\ell} = \frac{1}{3} \frac{P^2 + Q^2}{U_6^2} r_0 \ell.$$

ანალოგიურად

$$\Delta Q_t = \frac{1}{3} \frac{p^2 + Q^2}{U_6^2} x_0 \ell.$$



3.6 სიმძლავრის დანაკარგის ანგარიშისთვის თანაბარგანაწილებული დატვირთვის მქონე უბანში: ა-საწყისი სქემა; ბ-ეკვივალენტური სქემა.

ე.ი. მივიღეთ, რომ დატვირთვის თანაბარგანაწილებულობის შემთხვევაში, უბანზე სიმძლავრის დანაკარგები სამჯერ ნაკლებია, ვიდრე როცა იგივე ჯამური დატვირთვა მოღებულია ამავე უბნის ბოლოში.

მთლიანად მაგისტრალისთვის გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= \frac{p^2 + Q^2}{U_6^2} \left(\ell_0 + \frac{\ell}{3} \right) \cdot r_0 \\ \Delta Q &= \frac{p^2 + Q^2}{U_6^2} \left(\ell_0 + \frac{\ell}{3} \right) \cdot x_0 \end{aligned} \right\} \quad (3.74)$$

მამასადამე, სიმძლავრის დანაკარგების გამოსათვლელად, საჭიროა თანაბარგანაწილებული დატვირთვა მოვდოთ ამ უბნის ერთ მესამედ სიგრძეზე (ნახ.36.ბ).

ამავე თანაბარგანაწილებული დატვირთვის მქონე უბანზე ძაბვის დანაკარგები (ძაბვის ეარდნის გრძივი შემდგენი) შეგვიძლია გამოეთვალოთ შემდეგი ფორმულით

$$\Delta U_t = \int_0^{\ell} \left[\frac{p}{\ell} (\ell - x) r_0 + \frac{Q}{\ell} (\ell - x) x_0 \right] dx$$

ანუ

$$\Delta U_t = \frac{Pr_0 + Qx_0}{U_6} \cdot \frac{\ell}{2}.$$

ე.ი. მივიღეთ, რომ უბანზე დატვირთვის თანაბარგანაწილებულობის შემთხვევაში ძაბვის დანაკარგი ორჯერ ნაკლებია, ვიდრე იმ შემთხვევაში, როცა იგივე ჯამური დატვირთვა მოდებულია შეყურსულად უბნის ბოლოში. მამასადამე, მთელი მაგისტრალისთვის გვაქვს

$$\Delta U = \Delta U_{\text{თ}} + \Delta U_{\text{ე}} = \frac{Pr_0 + Qx_0}{U_{\text{ე}}} \left(\ell_0 + \frac{\ell}{2} \right). \quad (3.75)$$

3.8 გრანსფორმატორული უბნის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება

ქსელის გრანსფორმატორულ უბანს ელექტროგადაცემის (ხაზის) უბანთან შედარებით დამატებით გააჩნია გრანსფორმაციის კოეფიციენტი. სადაბლებელი გრანსფორმატორის შემთხვევაში უბნის ბოლოდ განიხილება დაბალი ნომინალური ძაბვის კვანძი, ხოლო სამაღლებელი გრანსფორმატორის შემთხვევაში კი მაღალი ნომინალური ძაბვის კვანძი (ნახ.3.7,ა.ბ.). როგორც ვიცი, გრანსფორმატორთა ელექტრული პარამეტრები მიყვანილია მაღალი ძაბვის საფეხურზე. აქედან გამომდინარე, უბნის რეჟიმის გაანგარიშების ნებისმიერი ამოცანა (§3.2) მოითხოვს დაბალი ძაბვის მუშა მნიშვნელობის მიყვანას მაღალი ძაბვის საფეხურზე

$$U'_{\text{ე}} = U_{\text{ე}} / K_{\text{გ}},$$

სადაც $K_{\text{გ}}$ - გრანსფორმატორის კოეფიციენტი

$$K_{\text{გ}} = U_{\text{ღგრ}} / U_{\text{გამომყ.}}$$

აქ: $U_{\text{ღგრ}}$ - გრანსფორმატორის დაბალი ნომინალური ძაბვა;

$U_{\text{გამომყ.}}$ - მაღალი ძაბვის გრანსფორმაციის გამოყვანის ძაბვა

$$U_{\text{გამომყ.}} = U_{\text{ღგრ}} \left(1 + \frac{n\alpha\%}{100} \right);$$

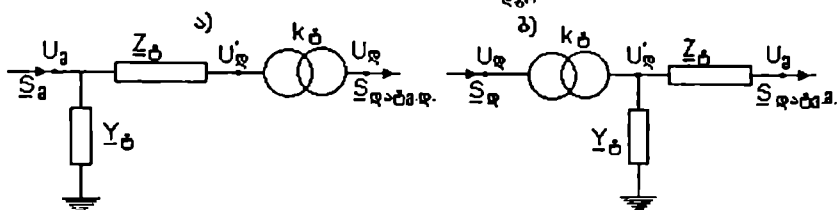
$U_{\text{ღგრ}}$ - გრანსფორმატორის მაღალი ნომინალური ძაბვა;

n - გამოყვანის ნომერი;

$\alpha\%$ - მაღალი ძაბვის გრანსფორმაციის ხიფების ცვლილების პროცენტული მნიშვნელობა.

ამრიგად

$$U'_\varepsilon = U_\varepsilon \cdot \frac{U_{\text{ზორ}} \left(1 + \frac{n\alpha\%}{100}\right)}{U_{\text{ზორ}}} \quad (3.76)$$



3.7. ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა: ა) სადაბლებელი; ბ) სამალლებელი

რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება U_ε და U'_ε ძაბვების მქონე კეანძებს შორის წარმოებს იმავე პრინციპითა და მიმდევრობით, როგორც ელექტროგალაცემის ხაზის შემთხვევაში.

გრანსფორმატორული უბნის გაანგარიშებისას უმრავლეს შემთხვევაში ცნობილია მაღალი ძაბვის მუშა მნიშვნელობა, რადგანაც ის განპირობებულია სისტემის მუშაობის რეჟიმით. აქედან გამომდინარე, სადაბლებელი გრანსფორმატორების შემთხვევაში გვაქვს რეჟიმის გაანგარიშების მეოთხე ამოცანა (§3.4), ხოლო სამალლებელი გრანსფორმატორების შემთხვევაში კი მესამე ამოცანა (§3.5).

გამოთვლების შემდეგ დაეადგენთ U'_ε ძაბვას და შემდეგ, ცნობილი n გამოყენების ნომრის პირობებში, (3.76) გამოსახულების საშუალებით განვსაზღვრავთ U_ε ძაბვის მნიშვნელობას. თუ იგი არ აკმაყოფილებს მისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს, ის შეიძლება შეეცვალოს გრანსფორმაციის კოეფიციენტის შეცვლის გზით ანუ შესაბამისი გამოყენების შერჩევით.

უმრავლეს შემთხვევაში გრანსფორმატორული უბნის რეჟიმის გაანგარიშებას ატარებენ არა რომელიმე კეანძის (თავის ან ბოლოს) ცნობილი (მოცემული) ძაბვის მიხედვით, არამედ გრანსფორმატორის ნომინალური ძაბვის მიხედვით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე 3.7 ნახაზზე წარმოდგენილი სქემის შესაბამისად გრანსფორმატორის ვრგნილში სიმძლავრის დანაკარგებისთვის ეწერო (გამოსახულებები (3.33) და (3.34))

$$\Delta S_{\text{გრ}} = \frac{S_{\text{გაბ}}^2}{U_\varepsilon^2} (R_\varepsilon + jX_\varepsilon)$$

ანუ (2.73) და (2.74) გამოსახულებათა გათვალისწინებით

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\delta} &= \Delta P_{\text{მ}} \left(\frac{S_{\text{ლაგლ}}}{S_{\delta}} \right)^2, \\ \Delta Q_{\delta} &= \Delta Q_{\text{მ}} \left(\frac{S_{\text{ლაგლ}}}{S_{\delta}} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (3.77)$$

გრანსფორმატორის ფოლადში დანაკარგები

$$\Delta P_{\text{ჟ}} = U_{\delta}^2 G \quad \text{და} \quad \Delta Q_{\text{ჟ}} = U_{\delta}^2 B$$

ანუ (2.70) და (2.71) გამოსახულებათა გათვალისწინებით

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\text{ჟ}} &= \Delta P_{\text{ჟ}}, \\ \Delta Q_{\text{ჟ}} &= \Delta Q_{\text{ჟ}}, \end{aligned} \right\} \quad (3.78)$$

მაშასადამე, გრანსფორმატორში სიმძლავრის ჯამური დანაკარგი

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\delta} &= \Delta P_{\text{ჟ}} + \Delta P_{\text{მ}} \left(\frac{S_{\text{ლაგლ}}}{S_{\delta}} \right)^2, \\ \Delta Q_{\delta} &= \Delta Q_{\text{ჟ}} + \Delta Q_{\text{მ}} \left(\frac{S_{\text{ლაგლ}}}{S_{\delta}} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (3.79)$$

ვიცით რა დანაკარგები, გამოთვლით $\underline{S}_{\text{ლაგლ.}}$ სადაბლებელი გრანსფორმატორის შემთხვევაში (ნახ.3.7,ა)

$$\underline{S}_{\text{ლაგლ.}} = \underline{S}_{\text{ლაგლ.}} + (\Delta P_{\delta} + j\Delta Q_{\delta}); \quad (3.80)$$

სამაღლებელი გრანსფორმატორის შემთხვევაში (ნახ.3.7,ბ)

$$\underline{S}_{\text{ლაგლ.}} = \underline{S}_{\text{ლაგლ.}} - (\Delta P_{\delta} + j\Delta Q_{\delta}). \quad (3.81)$$

ძაბვის ვარდნის შემდგენელი გრანსფორმატორში:

სადაბლებელი გრანსფორმატორის შემთხვევაში (ნახ.3.7,ა)

$$\left. \begin{aligned} \Delta U &= \frac{P_{\text{ლაგლ.}} \cdot R + Q_{\text{ლაგლ.}} \cdot X}{U_{\delta}}; \\ \delta U &= \frac{P_{\text{ლაგლ.}} \cdot X - Q_{\text{ლაგლ.}} \cdot R}{U_{\delta}} \end{aligned} \right\} \quad (3.82)$$

შესაბამისად, ძაბვის დანაკარგი გრანსფორმატორში

$$U_{\delta} = \Delta U - \frac{\delta U^2}{2(U_{\delta} - \Delta U)} \quad (3.83)$$

და ძაბვა გრანსფორმატორის (ქვესადგურის) დაბალი ძაბვის სალტეზე

$$U_{\delta} = K_{\delta} (U_{\delta} - U_{\delta}); \quad (3.84)$$

სამაღლებელი გრანსფორმატორის შემთხვევაში (ნახ.3.8,ბ)

$$\left. \begin{aligned} \Delta U &= \frac{P_{\text{ლაგა}} \cdot R + Q_{\text{ლაგა}} \cdot X}{U_6}; \\ \delta U &= \frac{P_{\text{ლაგა}} \cdot X - Q_{\text{ლაგა}} \cdot R}{U_6}. \end{aligned} \right\} \quad (3.85)$$

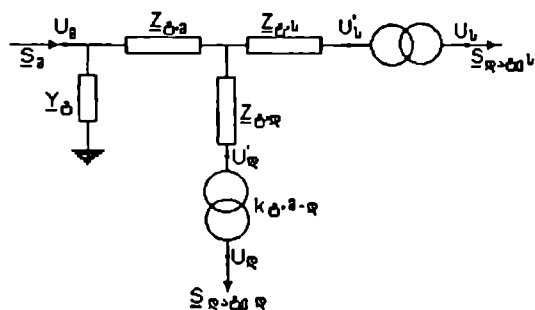
შესაბამისად, ძაბვის დანაკარგი გრანსფორმატორში

$$U_{\Delta} = \Delta U - \frac{\delta U^2}{2(U_6 + \Delta U)} \quad (3.86)$$

და ძაბვის გრანსფორმატორის (სადგურის) დაბალი ძაბვის სალტებზე

$$U_{\Sigma} = K_{\Sigma} (U_{\Sigma} + U_{\Delta}). \quad (3.87)$$

სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორის ან აეგოგრანსფორმატორის შემთხვევაში ჩანაცულების საანგარიშო სქემას აქვს 3.8 ნახაზზე ნაჩვენები სახე (სადაბლებელი გრანსფორმატორის შემთხვევა).



3.8. სამგრაგნილა სადაბლებელი გრანსფორმატორის რევიმის პარამეტრების გაანგარიშების ჩანაცულების სქემა

სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორის ან აეგოგრანსფორმატორის რევიმის პარამეტრების გაანგარიშება გარდბა ცალკეული გრაგნილის (უბნების) მიხედვით. ამასთან, დაბალი და საშუალო ძაბვის გრაგნილთა პარამეტრები იანგარიშება როგორც გრანსფორმატორული უბნებისთვის, ხოლო მაღალი გრაგნილის უბანი კი – როგორც ჩვეულებრივი ელექტროგადამცემის უბანი (გრანსფორმაციის კოეფიციენტების გარეშე). უნდა აღინიშნოს, რომ ამ გაანგარიშებისას $K_{\Sigma, \text{კ.გ.}}$ და $K_{\Sigma, \text{მ.გ.}}$ უნდა იყოს გრაგნილთა გამოყენების შესაბამისობაში.

ქვესადგურებზე, საიდანაც ელექტრულ კეებას ღებულობს I და II კატეგორიის მომხმარებლები და, აგრეთვე, ელექტროსისტემის რაიონულ ქვესადგურებზე, კეების საიმედოობის დონის ამაღლების მიზნით აყენებენ ორ და მეტ გრანსფორმატორს. ამასთან შესაძლებელია მათი განცალკევებული ან პარალელური მუშაობა.

განცალკევებული მუშაობისას ყოველი გრანსფორმატორი მიერთებულია სალტების გამოყოფილ სექციასთან. ასეთი სქემისას მცირდება

დაბალი ძაბვის ქსელში მოკლე შერთვის დენები, რაც ამსუბუქებს მოწყობილობათა და საკომუტაციო აპარატურის მუშაობას. მაგრამ გრანსფორმატორია ასეთი რეჟიმი პარალელურ მუშაობასთან შედარებით არაეკონომიკურია, რადგანაც გრანსფორმატორები, უმეტეს შემთხვევაში, დატვირთული იქნება ნომინალურ სიმძლავრეთა არაპროპორციულად.

ერთიდაიგივე ტიპის გრანსფორმატორთა პარალელური მუშაობისას ქვესადგურის ჯამური S დატვირთვა ნაწილდება მათ შორის თანაბრად და, ამ შემთხვევაში, ერთ გრანსფორმატორში სიმძლავრის დანაკარგები (3.79 გამოსახულების თანახმად) იქნება

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\Sigma} &= \Delta P_{\Sigma} + \Delta P_{\Sigma} \left(\frac{S/n}{S_c} \right)^2 \\ \Delta Q_{\Sigma} &= \Delta Q_{\Sigma} + \Delta Q_{\Sigma} \left(\frac{S/n}{S_c} \right)^2 \end{aligned} \right\}$$

ხოლო n გრანსფორმატორში

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\Sigma n} &= n \cdot \Delta P_{\Sigma} = n \cdot \Delta P_{\Sigma} + \frac{1}{n} \Delta P_{\Sigma} \left(\frac{S}{S_c} \right)^2 \\ \Delta Q_{\Sigma n} &= n \cdot \Delta Q_{\Sigma} = n \cdot \Delta Q_{\Sigma} + \frac{1}{n} \Delta Q_{\Sigma} \left(\frac{S}{S_c} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (3.88)$$

3.9 მე-3 თავის რიცხვითი მაგალითები

მაგალითი 3.1. განესაზღვროთ (2.5) მაგალითში განხილული 220 კვ ძაბვის ხაზის რეჟიმის პარამეტრები, თუ ცნობილია $U_1=225$ კვ და $I_2=0.40-j0.25$ კა (მეოთხე ამოცანა).

ამოხსნა. მოცემული ხაზის ელექტრული პარამეტრებია (მაგალითი 2.5)

$$Z=8.32+j39.3 \text{ ომი და } Y=(2.94+j290) \cdot 10^{-6} \text{ სიმ.}$$

ოთხპოლუსას განზოგადოებული მუდმივები:

(3.7) და (3.12) გამოსახულებათა თანახმად

$$\underline{A} = \underline{D} = 1 + \frac{(8.32 + j39.3)(2.94 + j290) \cdot 10^{-6}}{2} = 0.9943 + j0.0013;$$

(3.11) გამოსახულების თანახმად

$$\underline{B}=8,32+j39,3 \text{ ომი};$$

(3.8) გამოსახულების თანახმად

$$\underline{C} = (2,94 + j290) \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 + \frac{(8,32 + j39,3)(2,94 + j290) \cdot 10^{-6}}{2} \right) =$$

$$= (2,749 + j289,19) \cdot 10^{-6} \text{ სიმ.}$$

(3.19) და (3.20) გამოსახულებათა შესაბამისად

$$\underline{U}_2 = \frac{1}{0,9943 + j0,0013} (225 - 1,73(8,32 + j39,3)(0,40 - j0,25)) =$$

$$= 203,336 - j23,365 \text{ კვ};$$

$$\underline{I}_2 = \frac{1}{0,9943 + j0,0013} \left((2,749 + j289,19) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{225}{\sqrt{3}} + 0,40 - j0,25 \right) =$$

$$= 0,3999 - j0,2189 \text{ კა};$$

სიმძლავრე ხაზის თავსა და ბოლოში (3.21) და (3.22):

$$\underline{S}_1 = \sqrt{3} \cdot 225(0,3999 + j0,2189) = 155,66 + j85,21 \text{ მგვა};$$

$$\underline{S}_2 = \sqrt{3} \cdot (203,336 - j23,365)(0,40 + j0,25) = 150,83 + j81,44 \text{ მგვა.}$$

სიმძლავრის დანაკარგი ხაზში (3.24)

$$\Delta P = 155,66 - 150,83 = 4,83 \text{ მგვტ};$$

$$\Delta Q = 85,21 - 81,14 = 4,07 \text{ მგვარ.}$$

გადაცემის მ.ქ. კოეფიციენტი (3.25)

$$\eta\% = \frac{150,83}{155,66} \cdot 100 = 96,9.$$

მაგალითი 3.2 განესაზღვროთ 330 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის რეჟიმის პარამეტრები თუ $\underline{Z}=10+j45$ ომი; $\underline{Y}=j500 \cdot 10^{-6}$ სიმ; $\underline{S}_2=400+j180$ მგვა და $\underline{U}_2=300$ კვ.

ამოხსნა. სიმძლავრის დანაკარგები ხაზის ბოლოში ჩართულ გამტარობაში (გამოსახულება 3.30)

$$\Delta P_{G2} = 0; \quad \Delta Q_{C2} = \frac{300^2 \cdot 500 \cdot 10^{-6}}{2} = 22,5 \text{ მგვარ.}$$

ამრიგად, (3.31)-ის მიხედვით, გვაქვს

$$P'' + jQ'' = 400 + j180 - j22,5 = 400 + j157,5 \text{ მგვა.}$$

სიმძლავრის დანაკარგი ხაზის $\underline{Z}$ წინაღობაში (3.33), (3.34)

$$\Delta P_R = \frac{400^2 + 157,5^2}{300^2} \cdot 10 = 20,53 \text{ მგვტ},$$

$$\Delta Q_R = \frac{400^2 + 157,5^2}{300^2} \cdot 45 = 92,4 \text{ მგვარ.}$$

მაშასადამე (3.38)-ის შესაბამისად

$$P' = 400 + 20,53 = 420,53 \text{ მგვტ,}$$

$$Q' = 157,5 + 92,4 = 249,9 \text{ მგვარ.}$$

ძაბვის ვარდნა ხაზში:

გრძივი შემდგენი (3.36)

$$\Delta U = \frac{400 \cdot 10 + 157,5 \cdot 45}{300} = 36,96 \text{ კვ}$$

განივი შემდგენი (3.37)

$$\delta U = \frac{400 \cdot 45 - 157,5 \cdot 15}{300} = 54,75 \text{ კვ}$$

ძაბვა ხაზის თავში (3.39)

$$U_1 = 300 + 36,96 + j54,75 = 336,96 + j54,75 \text{ კვ}$$

U_1 ძაბვის მოდული (3.41)

$$U_1 = \sqrt{336,96^2 + 54,75^2} = 341,38 \text{ კვ.}$$

ძაბვის დანაკარგი ხაზში (3.46)

$$U_\Delta = 341,38 - 300 = 41,38 \text{ კვ.}$$

იგივე (3.48) ფორმულით

$$U_\Delta = 36,96 + \frac{54,75^2}{2 \cdot 336,96} = 41,41 \text{ კვ.}$$

სიმძლავრის დანაკარგები ხაზის თავში ჩართულ გამტარობაში (გამოსახულება 3.42)

$$\Delta P_{G1} = 0; \quad \Delta Q_{G1} = \frac{341,38^2 \cdot 500 \cdot 10^{-6}}{2} = 29,14 \text{ მგვარ.}$$

სიმძლავრე ხაზის თავში (3.43)

$$S_1 = 420,53 + j(249,9 - 29,14) = 420,53 + j220,76 \text{ მგვტ.}$$

სიმძლავრის ჯამური დანაკარგები ხაზში (3.44), (3.45)

$$\Delta P = 20,53 \text{ მგვტ; } \Delta Q = 92,4 - (29,14 + 22,5) = 40,76 \text{ მგვარ.}$$

ხაზის მ.ქ.კ. კოეფიციენტი (3.25)

$$\eta\% = \frac{400}{420,53} \cdot 100 = 95,11.$$

მაგალითი 3.3. განვსაზღვროთ 110კვ ძაბვის ელექტროგადამცემის ხაზის რეჟიმის პარამეტრები, თუ $Z=8+j20$ ომი; $Y=j130 \cdot 10^{-6}$ სიმ; $S_1=40+j30$ მგვტა და $U_1=115$ კვ.

ამოხსნა. ხაზის თავში ჩართულ გამტარობაში სიმძლავრის დანაკარგები (გამოსახულება 3.55)

$$\Delta P_{G1}=0; \Delta Q_{C2} = 115^2 \cdot \frac{130}{2} \cdot 10^{-6} = 0,86 \text{ მგვარ.}$$

ℤ წინაღობაში შემავალი სიმძლავრე (3.56)

$$P'=40 \text{ მგვტ; } Q' = 30 - (-0,86) = 30,86 \text{ მგვარ.}$$

სიმძლავრის დანაკარგი ხაზის ℤ წინაღობაში (3.58); (3.59)

$$\Delta P_R = \frac{40^2 + 30,86^2}{115^2} \cdot 8 = 1,54 \text{ მგვტ;}$$

$$\Delta Q_R = \frac{40^2 + 30,86^2}{115^2} \cdot 20 = 3,85 \text{ მგვარ.}$$

ℤ წინაღობიდან გამავალი სიმძლავრე (3.60)

$$P'' = 40 - 1,54 = 38,46 \text{ მგვტ,}$$

$$Q'' = 30,86 - 3,85 = 27,01 \text{ მგვარ.}$$

ძაბვის ეარდნა ხაზში (3.51)

$$\Delta U = \frac{40 \cdot 8 + 30,86 \cdot 20}{115} = 8,14 \text{ კვ}$$

$$\delta U = \frac{40 \cdot 20 - 30,86 \cdot 8}{115} = 4,81 \text{ კვ}$$

ძაბვა ხაზის ბოლოში (3.52)

$$U_2 = 115 - 8,14 - 4,81 = 106,84 - 4,81 \text{ კვ}$$

$$U_2 = \sqrt{(115 - 8,14)^2 + 4,81^2} = 106,97 \text{ კვ.}$$

სიმძლავრის დანაკარგი ხაზის ბოლოში ჩართულ გამტარობაში (გამოსახულება 3.61)

$$\Delta P_{G2} = 0; \Delta Q_{C2} = 106,97^2 \cdot \frac{130}{2} \cdot 10^{-6} = 0,74 \text{ მგვარ.}$$

სიმძლავრე ხაზის ბოლოში (3.62)

$$P_2 = 38,46 \text{ მგვტ; } Q_2 = 27,01 - (-0,74) = 27,75 \text{ მგვარ.}$$

სიმძლავრის ჯამური დანაკარგი ხაზში (4.24)

$$\Delta P = 40 - 38,46 = 1,54 \text{ მგვტ. } \Delta Q = 30 - 27,75 = 2,25 \text{ მგვარ.}$$

ხაზის მ.ქ.კოეფიციენტი (3.25)

$$\eta\% = \frac{38,46}{40} \cdot 100 = 96,15.$$

მაგალითი 3.4. განვსაზღვროთ 330 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემის ხაზის რეკიმის პარამეტრები იგერაციული მეთოდის გამოყენებით

(§3.6), თუ $Z=10+j45$ ომი; $Y=j500 \cdot 10^{-6}$ სიმ; $S_2=400+j180$ მგვა; $U_1=336,96+j54,75$ კვ (მაგალითი 3.2).

ამოხსნა. გამოვთვალოთ ხაზის განზოგადოებული მუდმივები (გამოსახულებები 3.7; 3.8; 3.11; 3.12):

$$\underline{A} = \underline{D} = 1 + \frac{(10 + j45) \cdot j500 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,989 + j0,0025;$$

$$\underline{B} = 10 + j45;$$

$$\underline{C} = j500 \cdot 10^{-6} \left(1 + \frac{(10 + j45) \cdot j500 \cdot 10^{-6}}{4} \right) = (-0,625 + j497,2) \cdot 10^{-6}.$$

მივიღოთ $U_2^{(0)} = 330$ კვ და (3.70) გამოსახულების მიხედვით გამოვთვალოთ $\underline{U}_2$ -ს იტერაციული მნიშვნელობები. შედეგები წარმოვადგინოთ ცხრილის სახით.

იტერაციის ნომერი	0	1	2	3
$\underline{U}_2$, კვ	330	303,63+j4,95	301,3+j0,21	300,09+j0,04

(3.71) გამოსახულების მიხედვით განვსაზღვროთ S_1

$$\begin{aligned} S_1 &= (-0,625 - j497,2) \cdot 10^{-6} (336,96 + j54,75) \cdot (300,09 + j0,235) + \\ &+ (0,989 - j0,0025) \cdot (400 + j180) \cdot \frac{336,96 + j54,75}{300,09 + j0,04} = 420,69 + j220,59 \text{ მგვა} \end{aligned}$$

როგორც ვხედავთ ანგარიშით მიღებული შედეგები მაღალი სიზუსტით ემთხვევა 3.2 მაგალითში მიღებულ შედეგებს.

მაგალითი 3.5. განვსაზღვროთ 110 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემის ხაზის რეჟიმის პარამეტრები იტერაციული მეთოდის გამოყენებით, თუ $Z=8+j20$ ომი; $Y=j130 \cdot 10^{-6}$ სიმ; $S_1=40+j30$ მგვა; $\underline{U}_2=106,84-j4,81$ კვ (მაგალითი 3.3).

ამოხსნა. განვსაზღვროთ ხაზის განზოგადოებული მუდმივები:

$$\underline{A} = \underline{D} = 1 + \frac{(8 + j20) \cdot j130 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,9987 + j0,00025;$$

$$\underline{B} = 8 + j20;$$

$$\underline{C} = j130 \cdot 10^{-6} \left(1 + \frac{(8 + j20) \cdot j130 \cdot 10^{-6}}{4} \right) = (-0,034 + j129,92) \cdot 10^{-6}.$$

მივიღოთ $U_1^{(0)} = 110$ კვ და (4.72)-ის მიხედვით გამოვთვალოთ $\underline{U}_1$ -ს იტერაციული მნიშვნელობები. შედეგები წარმოვადგინოთ ცხრილის სახით.

იგერაციის ნომერი	0	1	2	3
$\underline{U}_i$, კვ	110	115,204+j0,22	115,182-j0,025	115,17-j0,006

(3.73)-ის მიხედვით

$$\underline{S}_2 = (0,9987 - j0,00052)(40 + j30) \cdot \frac{106,84 - j4,81}{115,17 - j0,006} - (-j130 \cdot 10^{-6}) \cdot (115,17 + j0,006) \cdot (106,84 - j4,81) = 38,62 + j27,77 \text{ მგვა.}$$

როგორც ვხედავთ ამ ანგარიშით მიღებული შედეგები მაღალი სიზუსტით ემთხვევა 3.3 მაგალითში მიღებულ შედეგებს.

ამავე ელექტროგადამცემის ხაზის რეჟიმის პარამეტრები განვსაზღვროთ (3.13) დაშვების პირობებში, რომლის თანახმად

$$\underline{A}=\underline{D}=1; \quad \underline{B}=8+j20 \quad \text{და} \quad \underline{C}=j130 \cdot 10^{-6}.$$

(3.72)-ის მიხედვით გამოთვალეთ $\underline{U}_1$ ძაბვის იგერაციული მნიშვნელობები და შედეგები ჩაეწეროთ ცხრილში

იგერაციის ნომერი	0	1	2	3
$\underline{U}_i$, კვ	110	115,201+j0,28	114,88+j0,032	114,9+j0,064

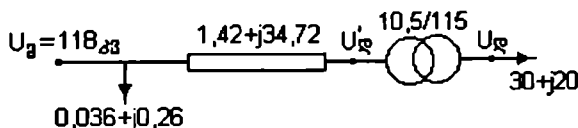
(3.73)-ის მიხედვით

$$\underline{S}_2 = (40 + j30) \cdot \frac{106,84 - j4,81}{114,90 + j0,064} + j130 \cdot 10^{-6} \cdot (114,90 - j0,064) \cdot (106,84 - j4,81) = 38,53 + j27,82 \text{ მგვა.}$$

მიღებული შედეგები გვიჩვენებენ, რომ 110 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემის ხაზის შემთხვევაში (3.13) სახის დამუშავების გამოთვლების შედეგებში იდომილება უმნიშვნელოა.

მაგალითი 3.6. გამოთვალეთ 2.7 მაგალითში განხილული გრანსფორმატორის რეჟიმის პარამეტრები, თუ $\underline{S}_g=118$ კვ და $\underline{Z}_{\text{დაკად}}=30+j20$ მგვა.

ამოხსნა. ჩანაცვლების საანგარიშო სქემას აქვს სახე (ნახ.3.10)



ნახ. 3.10

სიმძლავრის დანაკარგები გრანსფორმატორში (გამოსახულება 3.79)

$$\Delta P_{\phi} = 0,036 + 0,172 \left(\frac{30^2 + 20^2}{40^2} \right) = 0,146 \text{ მგვტ}$$

$$\Delta Q_{\phi} = 0,026 + 4,2 \left(\frac{30^2 + 20^2}{40^2} \right) = 3,673 \text{ მგვარ}$$

$$\Sigma_{\text{ჯამ}} = 30 + j20 + 0,176 + j3,673 = 30,176 + j23,673 \text{ მგვა}$$

ძაბვის ვარდნის შემდგენები (გამოსახულება 3.82)

$$\Delta U = \frac{30 \cdot 1,42 + 20 \cdot 34,72}{110} = 6,7 \text{ კვ}, \quad \delta U = \frac{30 \cdot 34,72 - 20 \cdot 1,42}{110} = 9,2 \text{ კვ}$$

ძაბვის დანაკარგი ტრანსფორმატორში (გამოსახულება 2.83)

$$U_{\Delta} = 6,7 - \frac{9,2^2}{2(110 - 6,7)} = 6,3 \text{ კვ}$$

ძაბვა ტრანსფორმატორის (ქვესადგურის) დაბალი ძაბვის სალტეზე (გამოსახულება 3.84)

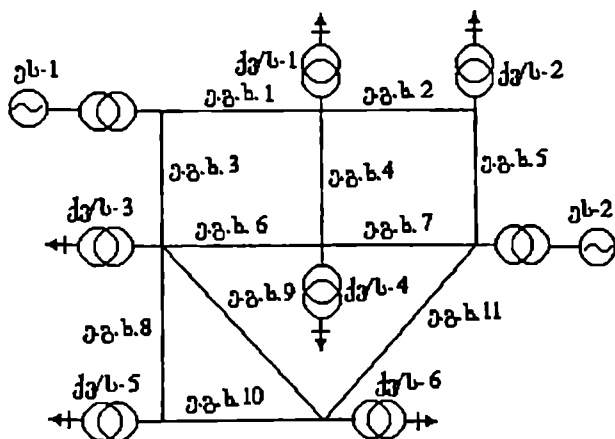
$$U_{\epsilon} = \frac{10,5}{115} (118 - 6,3) = 10,2 \text{ კვ}$$

თავი 4. ელექტრული ქსელის რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშება

4.1. ქსელის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემები

ელექტრული ქსელების ექსპლუატაციისას საჭიროა წინასწარ შეფასებული იქნეს ის პირობები, რომელშიც მოუწიეთ მუშაობა მომხმარებლებსა და ქსელის მოწყობილობა-დანადგარებს. ასეთი შეფასებები საშუალებას გაძლევს დაესაბოთ შესაბამისი ღონისძიებები, რაც უზრუნველყოფს მომხმარებელთან მიწოდებული ელექტრული ენერგიის ხარისხს და ქსელის მოწყობილობა-დანადგარების მუშაობის დასაშვებ რეჟიმს. ამ მიმართულებით ჩატარებული გაანგარიშებები, გარდა აღნიშნულისა, საშუალებას იძლევა დაეადგინოთ საჭირო რაოდენობის ელექტროენერგიის წარმოება-გადაცემის ოპტიმალური პირობები, ანუ განვახორციელოთ ელექტრული ქსელის და მთლიანად ენერგოსისტემის რეჟიმების ოპტიმიზაცია.

ქსელის რეჟიმის გაანგარიშების ამოცანას წარმოადგენს რეჟიმის პარამეტრების დადგენა. ამ ამოცანის საწყის ინფორმაციას შეადგენს: ელექტრული ქსელის შეერთების სქემა (ნახ.4.1); ამ სქემის ელემენტების მახასიათებელი პარამეტრები; მომხმარებელთა დატვირთვები; გენერაციის კეანძების საანგარიშო სიმძლავრე ან ელექტრული სადგურის მუშაობის დისპეტჩერული გრაფიკი; ქსელის ცალკეულ კეანძებში ძაბვის საკონტროლო მნიშვნელობები და სხვა.



ნახ. 4.1 ელექტრული ქსელის შეერთების სქემა

რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება წარმოებს მისი ჩანაცვლების საანგარიშო სქემის მიხედვით. იგი წარმოადგენს ქსელის ცალკეული ელემენტების ჩანაცვლების სქემების ერთობლიობას, შეერთებულს იმავე მიმდევრობით, რა მიმდევრობითაც შეერთებულია ეს ელემენტები ქსელის შეერთების სქემაში.

ჩანაცვლების საანგარიშო სქემაზე 35 კე და უფრო დაბალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზები წარმოდგენილი იქნება მათი აქტიური და რეაქტიული წინაღობების სახით, ხოლო უფრო მაღალი ძაბვის (110 კე და უფრო მაღალი) ხაზები კი II-სებრი ჩანაცვლების სქემის სახით.

220 კე-მდე (ჩათვლით) ძაბვის ქსელებში დასაშვებია ჩანაცვლების საანგარიშო სქემის გამარტივება. კერძოდ: 1) ელექტროგადაცემის ხაზების განივი გამგარობანი შეეცვალოთ მათში სიმძლავრის დანაკარგებით; 2) სადაბლებელი ქვესადგურები შეეცვალოთ ქვესადგურის საანგარიშო დატვირთვებით; 3) ელექტროსადგურები შეეცვალოთ სადგურის საანგარიშო სიმძლავრით.

ხაზის განივ გამგარობაში სიმძლავრის დანაკარგები განისაზღვრება ნომინალური ძაბვის მიხედვით

$$\Delta S_{\gamma, \delta} = U_{\gamma}^2 Y_{\delta}^* = \Delta P_{\gamma \delta} - j \Delta Q_{\gamma, \delta},$$

სადაც: $\Delta P_{\gamma \delta} = U_{\gamma}^2 G_{\delta}$ - ხაზში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები გვირგვინზე; $\Delta Q_{\gamma, \delta} = U_{\gamma}^2 B_{\delta}$ - ხაზის ტევადურ გამგარობაში რეაქტიული (ტევადური) სიმძლავრის დანაკარგები.

ქვესადგურის საანგარიშო დატვირთვა წარმოადგენს ქვესადგურის დატვირთვისა და ამ ქვესადგურის გრანსფორმატორების ფოლადსა და სპილენძში დანაკარგების ჯამს

$$\underline{S}_{\text{საანგ. ქს.}} = \underline{S}_{\text{ლაგ.}} + \underline{\Delta S}_{\text{ჯლ}} + \underline{\Delta S}_{\text{სა}} = \underline{S}_{\text{ლაგ.}} + \underline{\Delta S}_{\text{გ}} \quad (4.1)$$

გრანსფორმატორებში დანაკარგების ანგარიში ჩატარდება (3.77) და (3.78) ფორმულებით:

$$\underline{\Delta S}_{\text{ჯლ}} = \underline{\Delta S}_{\text{კლ}} = \Delta P_{\text{კლ}} + j \Delta Q_{\text{კლ}} \quad \text{და} \quad \underline{\Delta S}_{\text{გრაფ.}} = (\Delta P_{\text{გრაფ.}} + j \Delta Q_{\text{გრაფ.}}) \left(\frac{S_{\text{ლაგ.}}}{S_{\text{გ}}} \right)^2$$

როცა ქვესადგურზე დგას n რაოდენობის ერთნაირი ორგრაფილია გრანსფორმატორი, მაშინ მათში სიმძლავრის ჯამური დანაკარგები გამოითვლება ფორმულებით (§3.8):

დანაკარგები ფოლადში

$$\underline{\Delta S}_{\text{ჯლ}} = n (\Delta P_{\text{კლ}} + j \Delta Q_{\text{კლ}}) \quad (4.2)$$

დანაკარგები გრაფილებში

$$\underline{\Delta S}_{\text{გრაფ}} = \frac{1}{n} (\Delta P_{\text{გ}} + j \Delta Q_{\text{გ}}) \left(\frac{S_{\text{ლგ}}}{S_c} \right)^2, \quad (4.3)$$

აქ: $S_{\text{ლგ}}$ - გრანსფორმატორების (ქვესადგურის) ჯამური დატვირთვა; S_c - ერთი გრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრე.

თუ ქვესადგურზე დგას n რაოდენობის ერთნაირი სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორი, მაშინ ფოლადში დანაკარგები გამოითვლება (4.2) გამოსახულებით, ხოლო გრაგნილებში დანაკარგები კი შემდეგი გამო-

$$\underline{\Delta S}_{\text{გრაგ}} = \frac{1}{n S_c^2} [S_g^2 (R_g + j X_g) + S_l^2 (R_l + j X_l) + S_e^2 (R_e + j X_e)] \quad (4.4)$$

სადაც: S_g , S_l , S_e - გრანსფორმატორის მაღალი, საშუალო და დაბალი ძაბვის გრაგნილებში გამავალი ჯამური სიმძლავრე; R_g , R_l , R_e და X_g , X_l , X_e - ამ გრაგნილთა აქტიური და რეაქტიული წინააღობები.

(4.1) გამოსახულების თანახმად ქვესადგურის საანგარიშო დატვირთვა:

ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორებიან ქვესადგურზე

$$\underline{S}_{\text{სადგურ}} = P_{\text{ლგ}} + n \Delta P_{\text{გ}} + \frac{1}{n} \Delta P_{\text{გ}} \left(\frac{S_{\text{ლგ}}}{S_c} \right)^2 + j \left(Q_{\text{ლგ}} + n \Delta Q_{\text{გ}} + \frac{1}{n} \Delta Q_{\text{გ}} \left(\frac{S_{\text{ლგ}}}{S_c} \right) \right)^2 \quad (4.5.ა)$$

სამგრაგნილიანი გრანსფორმატორებიან ქვესადგურზე

$$\begin{aligned} \underline{S}_{\text{სადგურ}} = & P_{\text{ლგ}} + n \Delta P_{\text{გ}} + \frac{1}{n S_c^2} [S_g^2 R_g + S_l^2 R_l + S_e^2 R_e] + \\ & + j \left(Q_{\text{ლგ}} + n \Delta Q_{\text{გ}} + \frac{1}{n S_c^2} [S_g^2 X_g + S_l^2 X_l + S_e^2 X_e] \right) \end{aligned} \quad (4.5.ბ)$$

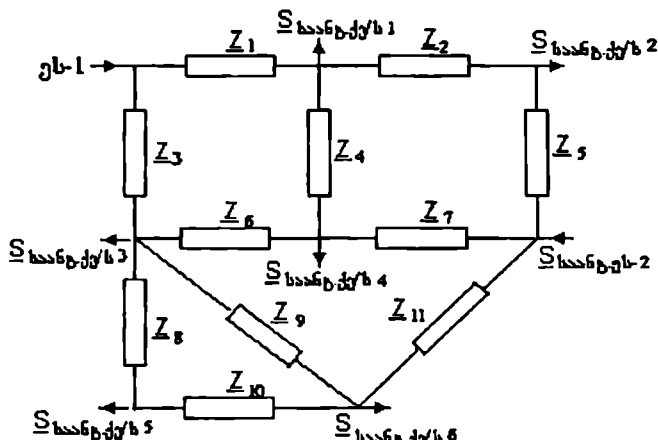
სადგურის საანგარიშო სიმძლავრე წარმოადგენს სადგურის მიერ განვითარებულ სიმძლავრეს გამოკლებული სადგურის საკუთარი მოხმარების სარჯისა და სამაღლებელ გრანსფორმატორებში დანაკარგების ჯამი

$$\underline{S}_{\text{სადგურ}} = \underline{S}_{\text{სადგ}} - \underline{S}_{\text{სგ}} - \underline{\Delta S}_{\text{გ}}. \quad (4.6)$$

აღნიშნული გაანგარიშებების შესრულების შემდეგ შეგვიძლია შევადგინოთ ქსელის ჩანაცვლების გამარტივებული საანგარიშო სქემა, სადაც ქვესადგურები შეცვლილია ამ ქვესადგურების საანგარიშო დატვირთვებით, ხოლო ელექტროსადგურები კი ამ სადგურების საანგარიშო სიმძლავრეებით.

ჩანაცვლების სქემის შემდეგი გამარტივება შესაძლებელია, თუ ქსელის კეანძებს წარმოვადგენთ კეანძის საანგარიშო დატვირთვებისა და

საანგარიშო სიმძლავრეთა სახით (ნახ.4.2). საანგარიშო სქემაზე კვების ერთი წყარო განიხილება როგორც მბაბლანსებელი სადგური.



ნახ. 4.2 ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა

კვანძის საანგარიშო დატვირთვა ეს არის ამ კვანძში მიერთებული ქვესადგურის საანგარიშო დატვირთვას მინუს კვანძში მიერთებული ყველა ელექტროგადამცემის ხაზების მიერ გენერირებულ რეაქტიულ სიმძლავრეთა ნახევარჯამი. კვანძის საანგარიშო სიმძლავრე კი ეს არის ამ კვანძში მიერთებული ელექტრული სადგურის საანგარიშო სიმძლავრეს პლუს კვანძში მიერთებული ყველა ელექტროგადამცემის ხაზების მიერ გენერირებულ რეაქტიულ სიმძლავრეთა ნახევარჯამი (ხაზში გვირგვინზე დანაკარგები უგულებელყოფილია). ე.ი. გვაქვს:

ქვესადგურის შემთხვევაში

$$S_{\text{სარეკტ}} = S_{\text{სარეკტს}} - j \frac{1}{2} \sum \Delta Q_C, \quad (4.7)$$

რომლის დადებითი მნიშვნელობა გულისხმობს კვანძიდან გამოძალად სიმძლავრეს;

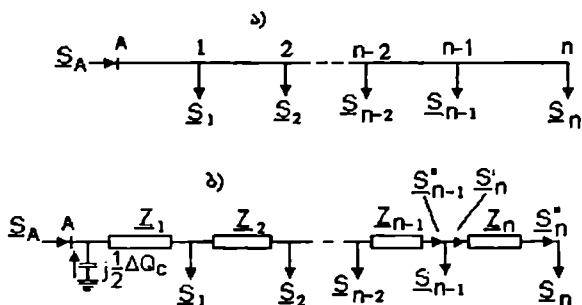
სადგურის კვანძის შემთხვევაში

$$S_{\text{სარეკტ}} = S_{\text{სარეკტს}} + j \frac{1}{2} \sum \Delta Q_C, \quad (4.8)$$

რომლის დადებითი მნიშვნელობა გულისხმობს კვანძში შეშავალ სიმძლავრეს.

4.2 ღია ქსელის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება

ღია ქსელი შეიძლება იყოს მაგისტრალურ-რადიალური ან მაგისტრალურ-განშტოებული. ღია მაგისტრალურ-რადიალურ ქსელში მომხმარებლები განთავსებულნი არიან ერთმანეთის მიყოლებით ერთი რადიალური ხაზის გასწვრივ (ნახ.4.3ა). ამ ქსელის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა წარმოდგენილია კეანძების საანგარიშო დაგვირთების ბაზაზე (ნახ. 4.3ბ)



ნახ. 4.3 მაგისტრალურ-რადიალური ქსელი: ა) შეერთების სქემა;
ბ) ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა

მოცემული ქსელის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების თანმიმდევრობა განვიხილოთ ორი სახასიათო შემთხვევისთვის: 1) როცა მოცემულია ძაბვა ქსელის ბოლო კეანძში U_n („რეჟიმის გაანგარიშება ბოლოს მონაცემებით“) და 2) როცა მოცემულია კეების წყაროს ძაბვა U_A („რეჟიმის გაანგარიშება თავის მონაცემებით“).

პირველ საანგარიშო შემთხვევაში ძაბვის საწყის ექვტორად აიღება U_n ძაბვა და სიმძლავრე ქსელის ყოველი უბნის თავსა და ბოლოში და ძაბვა ყოველ კეანძში ცალსახად განისაზღვრება ერთდროივე სახის თანამიმდევრობითი გაანგარიშებების ჩატარების გზით ბოლოდან თავისკენ. კერძოდ, $U_n'' = U_n$ დაგვირთვისა და U_n ძაბვის საფუძველზე განესაზღვრავთ Z_n წინააღობაში სიმძლავრის დანაკარგებსა და ძაბვის ვარდნას:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_n &= \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2} \cdot R_n; & \Delta Q_n &= \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2} \cdot X_n; \\ \Delta U_n &= \frac{P_n R_n + Q_n X_n}{U_n}; & \delta U_n &= \frac{P_n X_n - Q_n R_n}{U_n}; \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

მესაბამისად

$$\underline{S}'_n = P'_n + jQ'_n = P_n + \Delta P_n + j(Q_n + \Delta Q_n)$$

და

$$\underline{U}_{n-1} = U_n + \Delta U_n + j\delta U_n$$

ანუ

$$U_{n-1} = \sqrt{(U_n + \Delta U_n)^2 + \delta U_n^2} \approx U_n + \Delta U_n + \frac{\delta U_n^2}{2(U_n + \Delta U_n)} \quad (4.10)$$

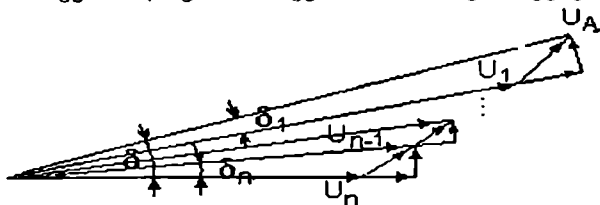
$n-1$ კვანძისთვის დაწვეროთ კირსპოვის პირველი კანონი და განესაზღვროთ სიმძლავრე $n-1$ უბნის ბოლოში

$$\underline{S}''_{n-1} = \underline{S}'_{n-1} + \underline{S}_{n-1} = P'_n + P_{n-1} + j(Q'_n + Q_{n-1}) \quad (4.11)$$

ამ სიმძლავრითა და U_{n-1} ძაბვით განესაზღვრავთ სიმძლავრის და ნაკარგებსა და ძაბვის ვარდნას $n-1$ უბანზე, რაც n უბანზე ჩატარებული გაანგარიშებების ანალოგიურად საშუალებას მოგვცემს დავადგინოთ $\underline{U}_{n-1}$ და $\underline{S}''_{n-2}$. ანალოგიურ გაანგარიშებებს ჩაეატარებთ მომდევნო უბნებზე. მივიღებთ მოცემული ქსელის რეჟიმის სრულ სურათს. ამასთან კვების წყაროს დატვირთვა

$$\underline{S}_A = \underline{S}'_1 - j\frac{1}{2}\Delta Q_{C1} \quad (4.12)$$

ძაბვა $\underline{U}_A$ ზოგადად განსხვავდება U_n ძაბვისგან როგორც სიდიდით, ასევე ფაზით. ჩატარებულ გაანგარიშებებში ძაბვა ყოველი უბნის ბოლოში განიხილებოდა როგორც საწყისი ვექტორი. ამიტომ მოცემულ შემთხვევაში ძაბვების დიაგრამას აქვს 4.4 ნახაზზე ნაჩვენები სახე.



ნახ.4.4 ძაბვების დიაგრამა მაგისტრალურ-რადიალური ქსელისთვის (რეჟიმის გაანგარიშება ბოლოს მონაცემებით)

ძერის კუთხე $\underline{U}_A$ და U_n ძაბვათა ვექტორებს შორის

$$\delta = \sum_{i=1}^n \delta_i.$$

35 კვ და უფრო დაბალი ძაბვის ქსელებისთვის, საინჟინრო გაანგარიშებებისთვის საკმარისი სიზუსტით, შეგვიძლია ვწეროთ

$$\delta \approx \arctg \frac{\sum_{i=1}^n \delta U_i}{U_n + \sum_{i=1}^n \Delta U_i}. \quad (4.13)$$

მეორე საანგარიშო შემოხვევაში, როცა ცნობილია ძაბვა კეების წყაროს სალტეზე $\underline{U}_A$, გაანგარიშებები უნდა ჩატარდეს ორ ეტაპად.

პირველ ეტაპზე განისაზღვრება მხოლოდ სიმძლავრის დანაკარგები უბნებზე თანმიმდევრობით ბოლოდან თავისკენ ნომინალური ძაბვის მიხედვით. კერძოდ, გამოვთვლით სიმძლავრის დანაკარგებს n უბანზე

$$\underline{\Delta S}_n = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2} (R_n + jX_n). \quad (4.14)$$

რის მიხედვითაც დაეადგენთ $\underline{S}'_n$ სიმძლავრეს ამ უბნის თავში. შემდეგ (4.11) გამოსახულების საფუძველზე $n-1$ კვანძისთვის დაწერილი სიმძლავრის ბალანსის განტოლებიდან დაეადგენთ $\underline{S}''_{n-1}$ სიმძლავრეს და ა.შ. ყველა დანარჩენ უბნებზე იმავე მიმდევრობით, როგორც პირველ შემთხვევაში.

მეორე ეტაპზე განისაზღვრება ძაბვის დანაკარგები თავიდან ბოლოსკენ $\underline{U}_A$ ცნობილი ძაბვისა და პირველ ეტაპზე განსაზღვრული უბნის თავში გაშვებული სიმძლავრის მიხედვით.

$\underline{U}_A$ ძაბვის ეექტორი მიემართოთ ნამდვილ რიცხვითა ღერძის გასწვრივ და ეწეროთ

$$\Delta \underline{U}_1 = \Delta U_1 + j\delta U_1 = \frac{P'_1 R_1 + Q'_1 X_1}{U_A} + j \frac{P'_1 X_1 - Q'_1 R_1}{U_A} \quad (4.15)$$

და

$$\underline{U}_1 = U_A - \Delta U_1 - j\delta U_1,$$

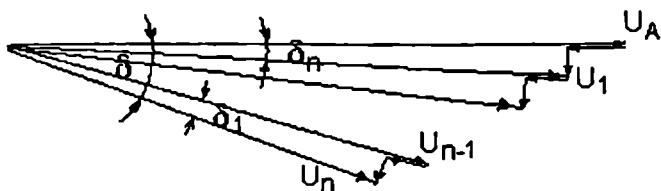
ანუ

$$\underline{U}_1 \approx U_A - \Delta U_1 + \frac{\delta U_1^2}{2(U_A - \Delta U_1)}. \quad (4.16)$$

შემდეგ გადავდივართ მე-2 უბანზე, სადაც საწყის ვექტორად ავიღებთ $\underline{U}_1$ ძაბვის ვექტორს და ა.შ.

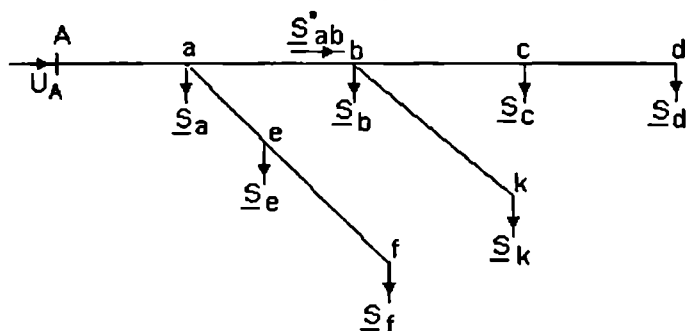
ამ საანგარიშო შემთხვევაში ძაბვების დიაგრამას აქვს 4.5 ნახაზზე ნაჩვენები სახე.

$U_{\leq 35}$ კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელებისთვის თითქმის ყოველთვის ცნობილია კეების წყაროს ძაბვა U_A და ამიგომ პარამეტრების გაანგარიშებისთვის ესარგებლობთ მეორე შემთხვევაში ჩამოყალიბებული მიმდევრობით.



ნახ.4.5 ძაბვების დიაგრამა მაგისტრალურ-რადიალური ქსელისთვის (რეჟიმის გაანგარიშება ცნობილი U_A ძაბვის მიხედვით)

ქსელის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელიც ჩამოყალიბებულია ზემოთ, შეიძლება გამოვიყენოთ მაგისტრალურ-განშტოებული ქსელის (ნახ. 4.6) რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშებისთვისაც. აქ უფრო მოხერხებულია გაანგარიშებები ჩავაგროთ „თავის მონაცემებით“ ანუ ცნობილი U_A ძაბვის მიხედვით.



ნახ.4.6 მაგისტრალურ-განშტოებული ქსელი

პირველ ეტაპზე სიმძლავრის დანაკარგების გამოთვლას ვიწყებთ რომელიმე ბოლო უბნიდან, ვთქვათ cd უბნიდან. გამოთვლებს ვახდენთ იმავე მიმდევრობით, როგორც მაგისტრალურ-რადიალურ ქსელში, ოღონდ პირველ (სვლის მიხედვით) განშტოებაზე – b კვანძამდე. ანალოგიურ გამოთვლებს ჩავაგრობთ ამ კვანძთან მიერთებულ განშტოებაში (განშტოება bk).

განშტოების კვანძისთვის დაწერილი კირსპოფის პირველი კანონის მიხედვით დაეადგენთ კვების წყაროს მხრიდან ამ კვანძში შემოშვალ სიმძლავრეს - S''_{ab} (ნახ.4.6) და გამოთვლებს გაეგარძელებთ ანალოგიურად კვების ცენტრამდე ყველა არსებული განშტოებების გათვალისწინებით.

მეორე ეტაპზე განისაზღვრება ძაბვის დანაკარგები მიმდევრობით თაეიდან ბოლოსკენ და, შესაბამისად, ძაბვათა მნიშვნელობები კეანბებში.

უნდა აღინიშნოს, რომ $U_{\Sigma 35}$ კე ძაბვის მანაწილებელ ქსელებში იყუნებენ შედარებით უფრო დაბალი განიკეეთის სადენებს, რომელთა აქტიური წინაღობა თითქმის რეაქტიული წინაღობის თანაზომადია, ზოგჯერ, მეტიც. ვარდა ამისა, ეს ქსელები ხასიათდება რეაქტიური სიმძლავრის დაბალი კოეფიციენტით. ორივე ეს გარემოება განაპირობს ძაბვის ვარდნის განივი შემდგენის შედარებით მკირე მნიშვნელობას, რაც საშუალებას გვაძლევს უგულებელვყოთ იგი და ქსელის კეანბებში ძაბეები განესაზღვროთ მსოლოდ ძაბვის ვარდნის გრძივი შემდგენის გათვალისწინებით

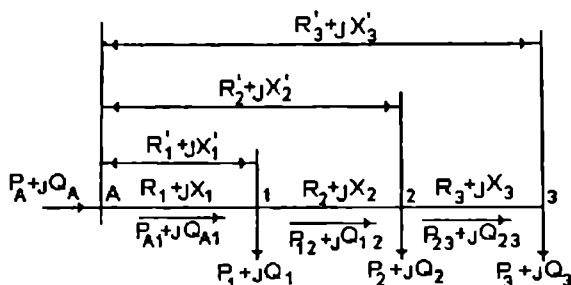
$$U_{\text{ზოლო}} = U_{\text{თავი}} - \Delta U_{\text{ჯამი}}.$$

4.3 მანაწილებელი ქსელების რეკიშების გაანგარიშების კერძო შემთხვევები

საშუალო და დაბალი ძაბვის, განსაკუთრებით $U_{\Sigma 10}$ კე, ქსელებში შეიშიწნევა ძაბვის უმნიშვნელო დანაკარგები. აღნიშნულის გამო ზმირად გაანგარიშებების პირველ ეტაპზე გამოთვლებს აგარებენ იმ დამეებით, რომ ქსელის ყიელა კეანბში ძაბეა ერთნაირია და ნომინალურის გოლია. ე. ი. მსედველობაში არ ღებულობენ ძაბვის კარგეებს ქსელში. ძაბვის დანაკარგის გაუთვალისწინებლობა სიმძლავრის დანაკარგის გაუთვალისწინებლობის გოლფასია. ამ დამეების პირობებში მაგისგრაღური ქსელის ნებისმიერ უბანში გამაეალი სიმძლავრე ამ უბნის შემდგომ (ქსელის შეერთების სქემის მიხედვით) მდებარე კეანბების დაგეირთეების ჯამის გოლია (ნახ.4.7).

წარმოდგენილ ნახაზზე კეანბური დაგეირთეები ჩაწერილია შესაბამისი კეანბის ნომრით (ინდექსით), ზოლო უბანში გამაეალი სიმძლავრე უბნის თავისა და ბოლოს ნომრებით. სიმძლავრის დანაკარგების გაუთვალისწინებლობის გამო გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} P_{A1} + jQ_{A1} &= (P_1 + P_2 + P_3) + j(Q_1 + Q_2 + Q_3), \\ P_{12} + jQ_{12} &= (P_2 + P_3) + j(Q_2 + Q_3), \\ P_{23} + jQ_{23} &= P_3 + jQ_3. \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$



ნახ.4.7 ძაბვის დანაკარგის დასადგენად მაგისტრალურ ქსელში

ამავე ნახაზზე კვების ცენტრიდან ნებისმიერ კვანძამდე ჯამური წინაღობები აღნიშნულია R'_i , X'_i სიმბოლოებით და გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} R'_1 + jX'_1 &= R_1 + jX_1, \\ R'_2 + jX'_2 &= (R_1 + R_2) + j(X_1 + X_2), \\ R'_3 + jX'_3 &= (R_1 + R_2 + R_3) + j(X_1 + X_2 + X_3) \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

ჩაეწეროთ ძაბვის ჯამური დანაკარგი მთელი ქსელისთვის

$$\begin{aligned} \Delta U &= \Delta U_{A1} + \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = \\ &= \frac{P_{A1} \cdot R_1 + Q_{A1} X_1}{U_n} + \frac{P_{12} \cdot R_2 + Q_{12} X_2}{U_n} + \frac{P_{23} \cdot R_3 + Q_{23} X_3}{U_n} \end{aligned}$$

(4.17) და (4.18) გამოსახულებათა გათვალისწინებით, დაგვირთვის საში კვანძის მქონე მაგისტრალური ქსელისთვის, ვღებულობთ

$$\Delta U = \frac{1}{U_n} (P_1 R'_1 + Q_1 X'_1 + P_2 R'_2 + Q_2 X'_2 + P_3 R'_3 + Q_3 X'_3)$$

ანუ, ზოგადად, დაგვირთვის n კვანძის მქონე მაგისტრალური ქსელისთვის გვაქვს

$$\Delta U = \frac{1}{U_n} \left(\sum_{i=1}^n P_i R'_i + \sum_{i=1}^n Q_i X'_i \right) \quad (4.19)$$

როცა n საკმარისად დიდია, (რასაც ადგილი $U_n \leq 10$ კვ ძაბვის მაგისტრალურ ქსელებში) (4.19) გამოსახულება მნიშვნელოვნად ამარტივებს რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების პროცესს. გარდა ამისა, აღნიშნული გამოსახულება საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ მაგისტრალურ ქსელში სადენთა განიკვეთების საანგარიშო გამოსახულება გამარტივებულ ფორმაში.

მაგისტრალურ-განშტოებულ ქსელში ძაბვის დანაკარგი კვების ცენტრიდან რომელიმე ბოლო კვანძამდე წარმოადგენს კვების ცენტრიდან

განმტოვებამდე და განმტოვებიდან მის ბოლომდე ძაბვის დანაკარგების ჯამს. მაგალითად, 4.6. ნახაზზე წარმოდგენილი ქსელისთვის გვაქვს

$$\Delta U_r = \Delta U_{\Sigma} + \Delta U_{nr}. \quad (4.20)$$

ზემოთ აღნიშნული დაშვებისას სიმძლავრის დანაკარგები ქსელში შეგვიძლია ვიანგარიშოთ შემდეგი, შედარებით მარტივი, გამოსახულებით

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= \frac{1}{U_n^2} \sum_{k=1}^n (P_k^2 + Q_k^2) \cdot R_k, \\ \Delta Q &= \frac{1}{U_n^2} \sum_{k=1}^n (P_k^2 + Q_k^2) \cdot X_k, \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

სადაც: k – ქსელის უბნის ნომერი; m – უბანთა საერთო რაოდენობა; P_k , Q_k – k უბანზე გაშვებული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრე, რომელთა დადგენა შესრულებულია (4.17) გამოსახულების მიხედვით; R_k , X_k – ამავე უბნის წინააღობები.

გარდა ზემოთ აღნიშნული დაშვებისა (ძაბვა ქსელის ყველა კვანძში თითქმის ერთნაირია და ნომინალურის ტოლია) მაგისტრალურ-რადიალურ მანაწილებელ ქსელებში შეიძლება განვიხილოთ რეკების პარამეტრების გაანგარიშების შემდეგი კერძო შემთხვევები:

1. მაგისტრალის ყველა უბანზე გვაქვს სადენტა ერთდარიგივე განიკვეთი და საყრდენებზე მათი განლაგება ერთნაირია. ამ შემთხვევაში ყველა უბანი ხასიათდება ერთდარიგივე r_0 და ერთდარიგივე x_0 წინააღობებით. შესაბამისად (4.19) გამოსახულება მიიღებს სახე

$$\Delta U = \frac{1}{U_n^2} \left(r_0 \sum_{i=1}^n P_i \ell'_i + x_0 \sum_{i=1}^n Q_i \ell'_i \right). \quad (4.22)$$

სადაც ℓ_i – i -ური კვანძის დაშორება კვების ცენტრიდან (კმ).

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ქსელის კვანძებში რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტები თითქმის ერთნაირია

$$\frac{Q_i}{P_i} = \operatorname{tg} \varphi_i = \operatorname{idem},$$

გვაქვს

$$\Delta U = \frac{1}{U_n^2} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \cdot \sum_{i=1}^n P_i \ell'_i. \quad (4.23)$$

2. დაგვირთვა სამომხმარებლო კვანძებში სუფთა აქტიურია. ამ შემთხვევაში რეაქტიული დაგვირთვები ნულის ტოლია და (4.19) გამოსახულების თანახმად გვაქვს

$$\Delta U = \frac{1}{U_6} \sum_{i=1}^n P_i R'_i \quad (4.24)$$

თუ მაგისტრალური ქსელი შესრულებულია ერთდარიგვე განიკვეთის სადენებით და საყრდენებზე მათი განლაგებაჲ ერთნაირია, მაშინ (4.22) გამოსახულების თანახმად გვაქვს

$$\Delta U = \frac{r_0}{U_6} \sum_{i=1}^n P_i \ell'_i \quad (4.25)$$

ანუ

$$\Delta U = \frac{\rho}{FU_6} \sum_{i=1}^n P_i \ell'_i, \quad (4.26)$$

სადაც: ρ -სადენის კუთრი წინაღობა, $\frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{კმ}}$; F -სადენის გამგარი ნა-

წილის განივი კვეთი, მმ^2 .

3. უბნების რეაქტიული წინაღობა შედარებით მცირეა. ცვლადი დენის ნებისმიერი ხაზი ხასიათდება რეაქტიული წინააღობით, რომლის მნიშვნელობა საპაერო ხაზებისთვის იცვლება 0,36-0,44 ომი/კმ ფარგლებში, ხოლო საკაბელო ხაზებისთვის კი 0,08-0,12 ომი/კმ ფარგლებში. დაბალი ძაბვის მანაწილებელ ქსელებში, სადენთა დაბალი განიკვეთების ($F \leq 50 \text{მმ}^2$) პირობებში, ხაზის აქტიური წინააღობა რამდენჯერმე მეტია რეაქტიულთან შედარებით. ეს განსხვავება კიდევ უფრო დიდია საკაბელო ხაზებისთვის.

თუ ამ პირობებში სიმძლავრის კოეფიციენტი ($\cos \varphi$) მაღალია, მაშინ ძაბვის დანაკარგის საანგარიშო გამოსახულებაში (4.23) $r_0 \gg x_0$ და ქსელში ძაბვის დანაკარგი შეგვიძლია ვიანგარიშოთ (4.25) გამოსახულებით. ამ შემთხვევაში გაანგარიშებებში ცდომილება არ აღემატება 10% თუ:

ა) დაბალი ძაბვის საპაერო ხაზებში, როცა $\cos \varphi = 0,9$, ალუმინის სადენის განიკვეთი $F_{\text{ალ}} \leq 16 \text{მმ}^2$ და სპილენძის სადენის განიკვეთი $F_{\text{სპ}} \leq 10 \text{მმ}^2$, ხოლო თუ $\cos \varphi = 0,8$, შესაბამისად გვაქვს $F_{\text{ალ}} \leq 10 \text{მმ}^2$ და $F_{\text{სპ}} \leq 6 \text{მმ}^2$;

ბ) დაბალი ძაბვის საკაბელო ხაზებში, როცა $\cos \varphi = 0,9$, ალუმინის სადენის განიკვეთი $F_{\text{ალ}} \leq 70 \text{მმ}^2$ და სპილენძის სადენის განიკვეთი $F_{\text{სპ}} \leq 50 \text{მმ}^2$, ხოლო თუ $\cos \varphi = 0,8$, შესაბამისად, გვაქვს $F_{\text{ალ}} \leq 50 \text{მმ}^2$ და $F_{\text{სპ}} \leq 35 \text{მმ}^2$.

4.4 მარტივი შეკრული ქსელების რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშება

4.4.1 შესავალი

როგორც ვიციტ შეკრული ქსელი ეწოდება ქსელს, სადაც მომხმარებელს შეუძლია კება მიიღოს არანაკლებ ორი მხრიდან. შეკრული ქსელების რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება საკმარისად რთულია, ვიდრე ღია ქსელის. ღია ქსელის უბნებში გამავალი სიმძლავრე შეიძლება მოიძებნოს შესაბამის მომხმარებელთა დაგვირთვებისა და, ასევე, შესაბამის უბნებზე სიმძლავრის დანაკარგების უბრალო აჯამების გზით. შეკრული ქსელების რომელიმე უბანზე გამავალი სიმძლავრე კი დამოკიდებულია შეკრული ქსელის სხვა უბანთა ელექტრულ პარამეტრებზე და ქსელის ყველა კვანძის ელექტრულ დაგვირთვაზე. იგი უნდა განისაზღვროს საეციალური გამოთვლებით. კერძოდ, კირხჰოფისა და ომის კანონების მიხედვით დაწერილ განტოლებათა სისტემის ამოხსნის გზით. მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნულ განტოლებათა სისტემა შეიძლება შედგენილი იქნეს ცნობილი მეთოდების გამოყენებით, ქსელის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება მაინც საკმარისად რთულ ამოცანას წარმოადგენს. ეს სირთულე დაკავშირებულია მასთან, რომ დაგვირთვის მოცემული სიმძლავრის მიხედვით დაგვირთვის დენის განსაზღვრა შესაძლებელია ამ დაგვირთვის მიერთების კვანძში არსებული მუშა ძაბვის საშუალებით

$$I_i = S_i^* / \sqrt{3} U_i^* \quad (4.27)$$

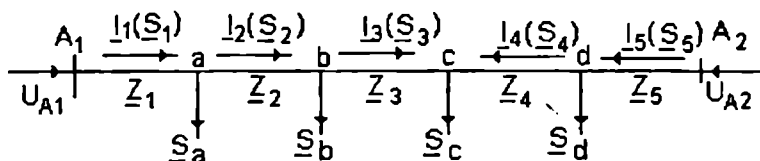
ქსელის კვანძებში კი ძაბვები გაანგარიშების საწყის ეტაპზე უცნობია.

ამ პირობებში უფრო მოხერხებული აღმოჩნდა გაანგარიშების თანდათანობითი მიახლოების (იტერაციული) მეთოდი, რომელიც ქსელების ელექტრული რეჟიმების გაანგარიშების ძირითად მეთოდად განიხილება.

თანდათანობითი მიახლოების (იტერაციული) მეთოდი გულისხმობს ნაკლებად მუსტი ამონახსნიდან უფრო მუსტი ამონახსნზე გადასვლას. ამ დროს პირველი იტერაცია მიიღება შერჩევის გზით. კერძოდ, საძიებელი სიდიდეების მნიშვნელობებად აიღება მათი შესაძლო მნიშვნელობათა შორის რომელიმე ერთი.

4.4.2 სიმძლავრეთა განაწილება ორმხრივი კვების ქსელში

ორმხრივი კვების ქსელის უმარტივესი შეკრული ქსელია (ნახ.1.8). ამ ქსელის კვება შეიძლება ხორციელდებოდეს ერთი კვების წყაროდან (ყულური ქსელი) (ნახ.1.8ა) ან ორი სხვადასხვა კვების წყაროდან (ორმხრივი კვების ქსელი) (ნახ.1.8ბ). უბნები, რომლებიც მიერთებული არიან კვების წყაროს საღებუბთან სათავე უბნებს წარმოადგენენ. ნებისმიერი ყულური ქსელი წარმოდგენით შეიძლება გაეჭრათ კვების ცენტრში და მივიღებთ ორმხრივი კვების ქსელს. ამ ქსელის გაანგარიშებისას შეგვიძლია დავუშვათ, რომ კვების ცენტრებში ძაბვები, ზოგადად სხვადასხვა როგორც მოდულით, ასევე ფაზით $\underline{U}_{A1} \neq \underline{U}_{A2}$ (ნახ.4.8).



ნახ. 4.8 სიმძლავრეთა განაწილებისთვის ორმხრივი კვების ქსელში

აღნიშნული ქსელის კვანძების დაგვირგთების ქვეშ იგულისხმება კვანძის საანგარიშო დაგვირგთა (§4.1), რომელშიც გათვალისწინებულია კვანძში მიერთებულ გრანსფორმატორებში ნომინალური ძაბვის მიხედვით გამოთვლილი სიმძლავრის დანაკარგები და ამავე კვანძში მიერთებული საზღვრის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე.

რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება გარდება ორ ეტაპად. პირველ ეტაპზე ახდენენ სიმძლავრეთა განაწილებას დანაკარგების გათვალისწინების გარეშე. ე.ი. მიიღებენ, რომ ქსელის ყველა კვანძში ძაბვა ნომინალურის ტოლია. ამ დამუშავების პირობებში შევადგინოთ კირსპოვის მეორე კანონის შესაბამისი განტოლება: A_1 და A_2 კვების ცენტრებს შორის უბნებზე ძაბვის ვარდნათა ალგებრული ჯამი ამ ცენტრების ძაბვითა სხვაობის ტოლია (ნახ.4.8)

$$\sqrt{3}(I_1 Z_1 + I_2 Z_2 + I_3 Z_3 - I_4 Z_4 - I_5 Z_5) = \underline{U}_{A1} - \underline{U}_{A2}. \quad (4.28)$$

თუ უბნებში გამაჟალ დენებს შევცვლით შესაბამისი საშუალო სიმძლავრეებით

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U_c}.$$

მივიღებთ

$$S_1^* Z_1 + S_2^* Z_2 + S_3^* Z_3 - S_4^* Z_4 - S_5^* Z_5 = (\underline{U}_{A1} - \underline{U}_{A2}) \cdot U_c. \quad (4.29)$$

უბნებში გამავალი სიმძლავრეები გამოვსახოთ პირველ სათავე უბანში გამავალი სიმძლავრისა და კევანძების საანგარიშო დატვირთვებით (კირხჰოფის პირველი კანონი):

$$\left. \begin{aligned} \underline{S}_2 &= \underline{S}_1 - \underline{S}_3; & \underline{S}_3 &= \underline{S}_1 - \underline{S}_2 - \underline{S}_5; \\ \underline{S}_4 &= \underline{S}_3 + \underline{S}_5 + \underline{S}_6 - \underline{S}_1; & \underline{S}_5 &= \underline{S}_3 + \underline{S}_5 + \underline{S}_6 + \underline{S}_4 - \underline{S}_1; \end{aligned} \right\} \quad (4.30)$$

სიმძლავრეთა ეს მნიშვნელობები ჩავსვით (4.29)-ში და განვსაზღვროთ პირველ სათავე უბანზე გამავალი სიმძლავრე, მივიღებთ

$$\underline{S}_1 = \frac{(\underline{U}_{A1} - \underline{U}_{A2}) \underline{U}_6}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5} + \frac{\underline{S}_3 (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5)}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5} + \frac{\underline{S}_5 (\underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5) + \underline{S}_6 (\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5) + \underline{S}_4 \underline{Z}_5}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5};$$

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5 = \underline{Z}_{A1,A2}$ - ორმხრივი კვების ქსელის უბანთა

ჯამური წინაღობა;

$\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5 = \underline{Z}_{2,A2}$ - მეორე კევანძიდან მეორე კვების ცენტრამდე უბანთა წინააღობების ჯამი;

$\underline{Z}_1 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5 = \underline{Z}_{3,A2}$ - მესამე კევანძიდან მეორე კვების ცენტრამდე უბანთა წინააღობების ჯამი და ა.შ.

ზოგადად, $\sum_{j=m}^n \underline{Z}_j = \underline{Z}_{m,A2}$ - m კევანძიდან მეორე კვების ცენტრამდე

უბანთა წინააღობების ჯამი, აქ j-უბნის ნომერი; m-კევანძის ნომერი.

ამრიგად, პირველ სათავე უბანზე გამავალი სიმძლავრის საანგარიშო გამოსახულებას აქვს სახე

$$\underline{S}_1 = \frac{(\underline{U}_{A1} - \underline{U}_{A2}) \underline{U}_6}{\underline{Z}_{A1,A2}} + \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \underline{Z}_{m,A2}}{\underline{Z}_{A1,A2}} \quad (4.31)$$

თუ ქსელის რომელიმე კევანძში გვაქვს ფიქსირებული დატვირთვის მქონე კვების წყარო, მაშინ (4.31) გამოსახულებაში ამ წყაროს დატვირთვა აიღება „—“ ნიშნით.

(4.31) გამოსახულება გვიჩვენებს, რომ ორმხრივი კვების უბნებში გამავალი სიმძლავრე შეიცავს ორ შემდგენს. პირველი მათგანი გამოწვეულია კვების ცენტრების ძაბვათა სხვადასხვაობით და მას მათანაბრებელ სიმძლავრეს უწოდებენ

$$\underline{S}_{\text{აბ}} = \frac{(\underline{U}_{A1} - \underline{U}_{A2}) \underline{U}_6}{\underline{Z}_{A1,A2}}; \quad (4.32)$$

მეორე შემდგენი კი გამოწვეულია კევანძური დატვირთვებით.

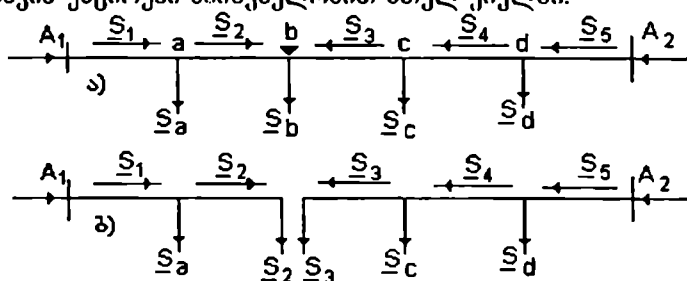
იმ შემთხვევაში, თუ კვების ცენტრების ძაბვები ეროვნაირია $\underline{U}_{A1} = \underline{U}_{A2}$, მაშინ ქსელში მათანაბრებელი სიმძლავრე ნულის ტოლია და სათავე უბანში გამავალი $\underline{S}_1$ სიმძლავრე გამოითვლება ფორმულით

$$\underline{S}_1 = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \underline{Z}_{m,A2}^*}{\underline{Z}_{A1,A2}^*} \quad (4.33)$$

ვიყიო, რა სათავე უბანზე გამავალი სიმძლავრე, (6.30) გამოსახულებათა საშუალებით, დაეადგენთ ქსელის დანარჩენ უბნებზე გამავალ სიმძლავრეებს. ამით მთავრდება ორმხრივი კვების ქსელის რეჟიმის გაანგარიშების პირველი ეტაპი. მეორე ეტაპზე დადგინდება სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგები ქსელში, ანუ ქსელის რეჟიმის პარამეტრები.

4.4.3 რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება ორმხრივი კვების ქსელში

დავუშვათ, რომ ორმხრივი კვების ქსელში გაანგარიშების პირველი ეტაპის შედეგების მისეღვით სიმძლავრეთა განაწილებამ მიიღო 4.9ა ნახაზზე ნაჩვენები სახე, სადაც b კვანძში სიმძლავრე შემოდის ორივე მხრიდან. ქსელის ასეთ კვანძს სიმძლავრეთა გამყოფი (დენგამყოფი) კვანძს უწოდებენ და აღნიშნავენ ∇ სიმბოლოთი. ეს კვანძი ხასიათდება ძაბვის უმცირესი მნიშვნელობით მთელ ქსელში.

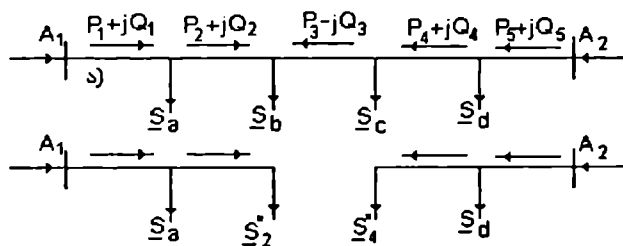


ნახ. 4.9 რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშებისთვის ორმხრივი კვების ქსელში

რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშებისთვის ორმხრივი კვების ქსელი შეგვიძლია პირობითად გავჭრათ სიმძლავრეთა გამყოფი კვანძში. შედეგად მივიღებთ ორ ღია ქსელს. მიღებული ღია ქსელების ბოლო კვანძების დატვირთვები, რომლებიც უაქტიურად ერთი და იგივე კვან-

ძია, აიღება ამ კვანძთან მიმდებარე შესაბამის უბნებში გამავალ სიმძლავრეთა გოლად (ნახ.4.9ბ). ცხადია, რომ აღნიშნული ოპერაცია არ შეცვლის სიმძლავრეთა განაწილების სურათს ქსელში. გაყოფის შედეგად მიღებული ღია ქსელების რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება ჩატარდება 6.2 პარაგრაფში გადმოცემული მეთოდით. ამასთან, იმ შემთხვევაში, როცა ცნობილია კვების ცენტრების ძაბვები, გაანგარიშებებს ეასდენთ „თავის მონაცემების“ მიხედვით. იმ შემთხვევაში კი როცა ეს ძაბვები მოცემული არ არის, მაშინ ვირჩევთ ძაბვის დასაშვებ მნიშვნელობას სიმძლავრეთა გამყოფი კვანძში და გაანგარიშებას ვახდენთ „ბოლოს მონაცემების“ მიხედვით

რიგ შემთხვევაში, გაანგარიშების პირველი ეტაპის შემდეგ, შეიძლება მივიღოთ სიმძლავრეთა ორი გამყოფი კვანძი. ერთი მათგანი აქტიურ სიმძლავრეთა გამყოფი და მეორე კი რეაქტიულ სიმძლავრეთა გამყოფი (ნახ.4.10ა).



ნახ. 4.10 ორმხრივი კვების ქსელი ორი გამყოფი კვანძით

ამ შემთხვევაში, გაანგარიშების მეორე ეტაპზე, პირველ რიგში გამოვთვალოთ სიმძლავრის დანაკარგებს გამყოფი კვანძებს შორის განთავსებულ უბნებზე. 4.10,ა ნახაზის მიხედვით გვაქვს

$$\Delta P_3 = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_6^2} R;$$

$$\Delta Q_3 = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_6^2} X.$$

შესაბამისად

$$S_2'' = P_2'' + jQ_2'' = P_2 + j(Q_2 + \Delta Q_3)$$

და

$$S_4'' = P_4'' + jQ_4'' = P_4 + \Delta P_3 + jQ_4.$$

ამ დაგვირგთებს მოვდებთ შესაბამისად „ბ“ და „ც“ კვანძებში (ნახ. 4.10,ბ) და რეჟიმის პარამეტრების შემდგომი გაანგარიშება შესრულდება ორივე ღია ქსელისთვის ცალკეაღკე.

4.4.4 სხვადასხვა ნომინალური ძაბვის მარტივი შეკრული ქსელის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება

როცა შეკრული ქსელი შეიცავს სხვადასხვა ნომინალური ძაბვის ელემენტებს (ნახ.4.11,ა), მაშინ რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება რამდენადმე გართულებულია. ამ შემთხვევაში, პირველ რიგში, საჭიროა ქსელის ყველა ელემენტის ელექტრული პარამეტრები დაეიყვანოთ ერთ ბაზისურ ძაბვაზე შემდეგი ფორმულების გამოყენებით:

$$\left. \begin{aligned} \underline{Y}' &= \underline{Y} \left(\frac{U_{\text{ნომ}}}{U_{\text{ბაზ}}} \right)^2 \\ \underline{Z}' &= \underline{Z} \left(\frac{U_{\text{ბაზ}}}{U_{\text{ნომ}}} \right)^2 :: \\ \underline{U}' &= \underline{U} \left(\frac{U_{\text{ბაზ}}}{U_{\text{ნომ}}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (4.34)$$

სადაც $\underline{Z}, \underline{Y}, \underline{U}$ - პარამეტრთა მნიშვნელობები ნომინალურ ძაბვაზე; $\underline{Z}', \underline{Y}', \underline{U}'$ - იგივე ბაზისურ ძაბვაზე; $U_{\text{ბაზ}}$ - ბაზისური ძაბვა; $U_{\text{ნომ}}$ - ნომინალური ძაბვა.

პრაქტიკულად, ბაზისურ ძაბვად ირჩევენ ქსელის ერთერთ ნომინალურ ძაბვას, ეთქვას $U_{\text{ნომ.ღა.}}$, მაშინ დაყვანის ფორმულები მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned} \underline{Z}' &= \underline{Z} \cdot K_{\circ}^2 \\ \underline{Y}' &= \underline{Y} / K_{\circ}^2 \\ \underline{U}' &= \underline{U} / K_{\circ} \end{aligned}$$

სადაც, $K_{\circ} = \frac{U_{\text{ნომ.ღა.}}}{U_{\text{ნომ.აღ.}}}$ - ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი.

იმ შემთხვევაში, როცა ორივე სადაბლებელ ქვესადგურზე ტრანსფორმატორთა ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები ერთნაირია, მაშინ ქსელში სიმძლავრეთა განაწილებისას ესარგებლობთ (4.33) გამოსახულებით. ხოლო როცა $K_{\circ 1} \neq K_{\circ 2}$, მაშინ ქსელში დამატებით გაივლის მათანაბრებელი სიმძლავრე

$$S_{\text{აბ.}} = \frac{\Delta E}{Z_{\text{კონდ}}} \cdot U_{\text{ც}},$$

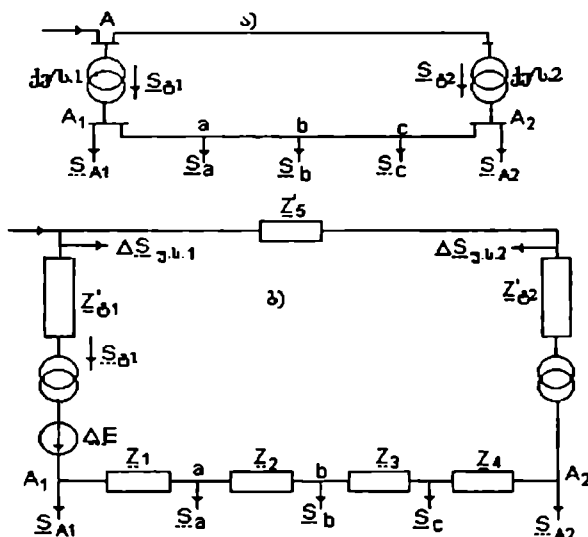
სადაც: $Z_{კონტ}$ - შეკრული კონტურის ჯამური წინაღობა; ΔE - ეს ის დამატებითი ელექტრომამოძრავებელი ძალა, რომელიც განპირობებულია გრანსფორმატორთა გრანსფორმაციის კოეფიციენტების სხვადასხვაობით (ნახ.4.11,ბ)

$$\Delta E = U_{წოდლა} \left(1 - \frac{K_{\phi 2}}{K_{\phi 1}} \right) \quad (4.35)$$

მაშასადამე მათანაბრებელი სიმძლავრე

$$\Delta S_{წოდლა} = \frac{U_{წოდლა}^2}{Z_{კონტ}} \left(1 - \frac{K_{\phi 2}}{K_{\phi 1}} \right), \quad (4.36)$$

რომელიც დაბალი ძაბვის ქსელში გ1 გრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის სალტებიდან მიედინება გ2 გრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის სალტებისკენ.



ნახ. 4.11 სხვადასხვა ნომინალური ძაბვის მარტივი შეკრული ქსელი

(4.31) გამოსახულების გათვალისწინებით, მოცემული ქსელის პირველ სათავე უბანზე (ჩვენს შემთხვევაში გ1 გრანსფორმატორის უბანი) გამავალი სიმძლავრე იქნება

$$\underline{S}_{11} = \frac{U^2}{\underline{Z}_{\text{კბტ}}} \left(1 - \frac{K_{\text{კბ}}}{K_{\text{კმ}}} \right) + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{კონტ}}} \left[\begin{aligned} & \underline{S}_{A1}(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5' + \underline{Z}_5'') + \\ & + \underline{S}_{A2}(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5' + \underline{Z}_5'') + \\ & + \underline{S}_{A3}(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5' + \underline{Z}_5'') + \underline{S}_C(\underline{Z}_4 + \\ & + \underline{Z}_5' + \underline{Z}_5'') + \underline{S}_{A2}(\underline{Z}_5' + \underline{Z}_5'') + \\ & + \underline{S}_{A3,2} \cdot \underline{Z}_5' \end{aligned} \right] \quad (4.37)$$

ამით გაანგარიშების პირველი ეტაპი დამთავრებულია.

მეორე ეტაპის გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს დაყვანილი ჩანაცვლების სქემის მიხედვით, ან ჩანაცვლების იმ სქემის მიხედვით, სადაც ყველა ელემენტის ელექტრული პარამეტრი მოცემულია თავიანთ ნომინალურ ძაბვაზე.

როგორც ვხედავთ, გრანსფორმატორთა გრანსფორმაციის კოეფიციენტების შეცვლით შეგვიძლია შევეცვალოთ სიმძლავრეთა განაწილება ქსელში. საჭიროების მიხედვით შეგვიძლია დაგვიერთოთ მაღალი ძაბვის ქსელი და განვცვიროთ დაბალი ძაბვის ქსელი, ან პირიქით. ამით შესაძლებლობა გვაქვს ვცვალოთ სიმძლავრის დანაკარგები ქსელში. ამრიგად, K_{A1} და K_{A2} კოეფიციენტების სათანადო შერჩევით შეგვიძლია სიმძლავრის დანაკარგები დავიყვანოთ მინიმუმამდე. შეკრულ ქსელში სიმძლავრეთა იმ განაწილებას, რომლის დროსაც ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები მინიმალურია, სიმძლავრეთა ეკონომიკური განაწილება ეწოდება. ხოლო სიმძლავრეთა იმ განაწილებას, რომელიც თავისთავად დამყარდება ქსელში გარედან ჩარევის გარეშე, სიმძლავრეთა ბუნებრივი განაწილება ეწოდება.

უნდა აღვნიშნოს, რომ გრანსფორმაციის კოეფიციენტი შეიძლება განვიხილოთ როგორც კომპლექსური სიდიდე, რაც ნიშნავს მას, რომ შეკრულ კონტურში ჩართულია როგორც გრძივი, ასევე განივი დამატებითი ე.მ. ძალა.

4.4.5. ორმხრივი კვების ქსელში სიმძლავრეთა განაწილების კერძო შემთხვევები

სეკ35 კვ ძაბვის ორმხრივი კვების ქსელში სიმძლავრეთა განაწილებისთვის შეიძლება ვისარგებლოთ სხვადასხვა სახის დაშვებებით, რომელთა გამოყენების შედეგად რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშებაში ცდომილებები არ აღემატება დასაშვებ მნიშვნელობებს. ამა თუ იმ დაშვების შედეგად მნიშვნელოვნად მარტივდება სიმძლავრეთა განაწილების საანგარიშო გამოსახულება და მცირდება გამოთვლების მოცულობა.

1. ერთგვაროვანი ქსელი. ერთგვაროვანი ეწოდება ქსელს, რომლის ყველა უბნისთვის რეაქტიულ და აქტიურ წინაღობათა ჯარღობა პრაქტიკულად ერთნაირია

$$\frac{X_i}{R_i} = \alpha = \text{idem}, \text{ ანუ } X_i = \alpha R_i \quad (4.38)$$

თუ ამ გოლობას გავითვალისწინებთ (6.33) გამოსახულებაში, გვექნება

$$\underline{S}_1 = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \underline{Z}_{m,A2}^*}{\underline{Z}_{A1A2}^*} = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m (1 - j\alpha) R_{m,A2}}{(1 - j\alpha) R_{A1A2}}$$

ანუ

$$\underline{S}_1 = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m R_{m,A2}}{R_{A1A2}} = \frac{\sum_{m=1}^n P_m R_{m,A2}}{R_{A1A2}} + j \frac{\sum_{m=1}^n Q_m R_{m,A2}}{R_{A1A2}} \quad (4.39)$$

ამრიგად, ერთგვაროვან ქსელში სიმძლავრეთა განაწილება შეიძლება გამოეთვალათ ხაშების მხოლოდ აქტიური (ან რეაქტიული) წინაღობების საშუალებით.

თუ ქსელის ყოველ უბანზე სადენთა განიკვეთი ერთდამიგვიეა, მაშინ ამ უბნებისთვის ერთნაირია ერთეულოვანი სიგრძის ხაშის აქტიური წინაღობა r_0 და შესაბამისად (6.39) გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$\underline{S}_1 = \frac{\sum_{m=1}^n P_m r_0 \ell_{mA2}}{r_0 \ell_{A1A2}} + j \frac{\sum_{m=1}^n Q_m r_0 \ell_{mA2}}{r_0 \ell_{A1A2}}$$

ანუ

$$\underline{S}_1 = \frac{\sum_{m=1}^n P_m \ell_{mA2}}{\ell_{A1A2}} + j \frac{\sum_{m=1}^n Q_m \ell_{mA2}}{\ell_{A1A2}} \quad (4.40)$$

მამასადამე, როცა ერთგვაროვანი ქსელის ყველა უბანი შესრულებულია ერთდამიგვიე განიკვეთის სადენებით, მაშინ სიმძლავრეთა განაწილება შეიძლება გამოეთვალათ უბანთა სიგრძეების საშუალებით. მიღებული გამოსახულებები გვიჩვენებენ, რომ ერთგვაროვან ქსელებში აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა განაწილება ერთმანეთზე დამოკიდებული არ არის. თითქოსდა საქმე გვაქვს ორ დამოუკიდებელ ქსელთან, რომელთაგანაც ერთი დაგვირთულია მხოლოდ აქტიური გვირთებით, ხოლო მეორე კი რეაქტიული გვირთებით. ასეთი მიღვომა მნიშვნელოვნად ამარტივებს გამოთვლებს, რადგანაც ფაქტიურად საქმე გვაქვს ნამდვილ და არა კომპლექსურ სიდიდეებთან.

თუ ყველა კვანძის დატვირთვას გააჩნია სიმძლავრის ერთდამოკიდებულება კოფიციენტი $\cos \varphi = 1$, მაშინ განსაზღვრავენ მხოლოდ აქტიურ სიმძლავრეთა განაწილებას და შემდეგ დაეადგენთ რეაქტიულ სიმძლავრეთა განაწილებასაც

$$Q_i = P_i \cdot \tan \varphi$$

და, შესაბამისად, i -ურ უბანზე გამავალი სრული სიმძლავრე

$$S_i = P_i + jQ_i.$$

2. უბნების რეაქტიული წინაღობები შედარებით მცირეა. საშუალო და დაბალი ძაბვის ქსელებში (განსაკუთრებით საკაბელო ქსელებში), სადაც გამოიყენება შედარებით მცირე განიკვეთის სადენები, უბანთა აქტიური წინაღობები მეტია, ვიდრე რეაქტიული. ამიტომ შეიძლება სიმძლავრეთა განაწილება გამოეთვალათ რეაქტიულ წინააღმდეგობათა გათვალისწინების გარეშე. ამ შემთხვევაში (4.33) გამოსახულება, რომელშიც გათვალისწინებთ $X=0$, მიიღებს შემდეგ სახეს

$$S_i = \frac{\sum_{m=1}^n S_m R_{m,A1A2}}{R_{A1A2}} = \frac{\sum_{m=1}^n P_m R_{m,A1A2}}{R_{A1A2}} + j \frac{\sum_{m=1}^n Q_m R_{m,A1A2}}{R_{A1A2}} \quad (4.41)$$

(4.39) და (4.41) გამოსახულებათა შედარებით ვასკენით, თუ ქსელის უბანთა რეაქტიულ წინააღმდეგობებს მსხველპლობაში არ მივიღებთ, ასეთი ქსელი შეიძლება განვიხილოთ როგორც ერთგვაროვანი.

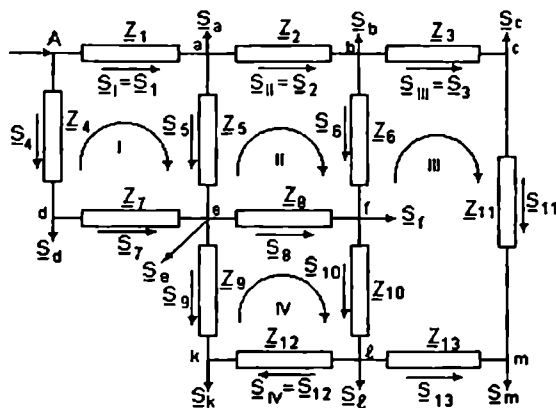
4.5 რთული შეკრული ქსელის რეჟიმების გაანგარიშება კონტურულ განტოლებათა მეთოდით

4.5.1 კონტურულ განტოლებათა სისტემა

რთული შეკრული ქსელებისთვის დაწერილ კონტურულ განტოლებათა სისტემაში შემავალი განტოლებების რაოდენობა დამოუკიდებელ კონტურთა რაოდენობის ტოლია, რომელიც შეიძლება დადგინდეს იქნეს ჩანაცვლების სქემის კვანძებისა და შტოების რაოდენობის მიხედვით. ჩანაცვლების სქემაში კვანძს უწოდებენ გენერაციისა და დატვირთვის მიერთების წერტილებს, ქსელის განშტოების წერტილს და, ასევე წერტილს, სადაც გვსურს ძაბვის კონტროლი. შტო ეწოდება უბანს, რომელიც ერთმანეთთან აერთებს ორ რომელიმე კვანძს. ვიცით რა ქსელის კვანძებისა და შტოების რაოდენობა, დამოუკიდებელ კონტურთა რაოდენობა შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით

$$n_{\text{კონგ}} = n_{\text{გო}} - n_{\text{კ}} + n_{\text{გაკ.კ}},$$

სადაც: $n_{\text{კონგ}}$ - ჩანაცულების ქსელში დამოუკიდებელ კონტურთა რიცხვი; $n_{\text{გო}}$ - შტოების რაოდენობა სქემაში; $n_{\text{კ}}$ - კვანძების საერთო რაოდენობა; $n_{\text{გაკ.კ}}$ - მბაბალანსებული კვანძების რაოდენობა.



ნახ. 4.12 რთული შეკრული ქსელი

4.12 ნახაზზე ნაჩვენებ ქსელში გვაქვს ერთი მბაბალანსებული კვანძი და დატვირთვის ცხრა კვანძი, ანუ $n_{\text{კ}}=10$ და $n_{\text{გაკ.კ}}=1$, შტოების რაოდენობა - $n_{\text{გო}}=13$. მაშასადამე დამოუკიდებელ კონტურთა რაოდენობაა

$$n_{\text{კონგ}} = 13 - 10 + 1 = 4.$$

იმისთვის, რომ კონტურულ განტოლებათა სისტემაში მიიღოს კანონიკური ფორმა, საჭიროა შევასრულოთ შემდეგი მოთხოვნები: 1) კონტურთა შემოვლის მიმართულებები იყოს ერთიადიგივე; 2) თითოეულ კონტურში საძიებელი კონტურული სიმძლავრე მოენიშნოს ამ კონტურის რომელიმე საკუთარ უბანზე (უბანი, რომელიც არ ეკუთვნის სხვა კონტურს); 3) კონტურული სიმძლავრის მიმართულება ემთხვეოდეს კონტურის შემოვლის მიმართულებას (ნახ.4.12).

დანარჩენ უბნებზე გავაყალიბოთ სიმძლავრეთა მიმართულებები ავიღოთ ნებისმიერად და მათი მნიშვნელობები გამოვსახოთ საძიებელი და დატვირთვის სიმძლავრეების მიხედვით კირხჰოფის I კანონის საფუძველზე დაწერილი განტოლებიდან. ამ ოპერაციითაა შესრულების შემდეგ განსახილველი ელექტრული ქსელის უბნებისთვის ეწერ:

$$\left. \begin{aligned}
 \underline{S}_1 &= \underline{S}_1; \\
 \underline{S}_2 &= \underline{S}_2; \\
 \underline{S}_3 &= \underline{S}_3; \\
 \underline{S}_4 &= \underline{S}_a + \underline{S}_b + \underline{S}_c + \underline{S}_d + \underline{S}_e + \underline{S}_f + \underline{S}_k + \underline{S}_l + \underline{S}_m - \underline{S}_1; \\
 \underline{S}_5 &= \underline{S}_1 - \underline{S}_2 - \underline{S}_4; \\
 \underline{S}_6 &= \underline{S}_2 - \underline{S}_3 - \underline{S}_4; \\
 \underline{S}_7 &= \underline{S}_a + \underline{S}_b + \underline{S}_c + \underline{S}_e + \underline{S}_f + \underline{S}_k + \underline{S}_l + \underline{S}_m - \underline{S}_1; \\
 \underline{S}_8 &= \underline{S}_b + \underline{S}_c + \underline{S}_f + \underline{S}_l + \underline{S}_m - \underline{S}_2 + \underline{S}_{IV}; \\
 \underline{S}_9 &= \underline{S}_k - \underline{S}_{IV}; \\
 \underline{S}_{10} &= \underline{S}_l + \underline{S}_c + \underline{S}_m - \underline{S}_3 + \underline{S}_{IV}; \\
 \underline{S}_{11} &= \underline{S}_3 - \underline{S}_c; \\
 \underline{S}_{12} &= \underline{S}_{IV}; \\
 \underline{S}_{13} &= \underline{S}_c + \underline{S}_m - \underline{S}_3;
 \end{aligned} \right\} (4.42)$$

განსახილველი ქსელის არცერთ კონტურში არ არის ჩართული გრძივი ელექტრომაგნიტური ძალა და ამიტომ დანაკარგების გათვალისწინების გარეშე, (4.29) გამოსახულების ანალოგიურად, კირხჰოფის II კანონის საფუძველზე შედგენილი განტოლებები თითოეული კონტურისთვის ჩაიწერება სახეში

$$\left. \begin{aligned}
 \underline{S}_1 \underline{Z}'_1 + \underline{S}_2 \underline{Z}'_2 - \underline{S}_7 \underline{Z}'_7 - \underline{S}_4 \underline{Z}'_4 &= 0, \\
 \underline{S}_2 \underline{Z}'_2 + \underline{S}_6 \underline{Z}'_6 - \underline{S}_8 \underline{Z}'_8 - \underline{S}_3 \underline{Z}'_3 &= 0, \\
 \underline{S}_3 \underline{Z}'_3 + \underline{S}_{11} \underline{Z}'_{11} - \underline{S}_{13} \underline{Z}'_{13} - \underline{S}_{10} \underline{Z}'_{10} - \underline{S}_6 \underline{Z}'_6 &= 0, \\
 \underline{S}_4 \underline{Z}'_4 + \underline{S}_{10} \underline{Z}'_{10} + \underline{S}_{12} \underline{Z}'_{12} - \underline{S}_9 \underline{Z}'_9 &= 0.
 \end{aligned} \right\}$$

განტოლებათა ამ სისტემაში შევიტანოთ უბნებზე გამავალი სიმძლავრეთა მნიშვნელობები, განსაზღვრული (4.42) გამოსახულებებით. გარდაქმნების შემდეგ ვღებულობთ:

$$\begin{aligned} & \underline{S}_1(\underline{Z}'_1 + \underline{Z}'_2 + \underline{Z}'_3 + \underline{Z}'_4) - \underline{S}_2 \underline{Z}'_5 - \underline{S}_3(\underline{Z}'_4 + \underline{Z}'_5 + \underline{Z}'_6) - \underline{S}_6(\underline{Z}'_4 + \underline{Z}'_5) - \\ & - \underline{S}_7(\underline{Z}'_4 + \underline{Z}'_5) - \underline{S}_8 \cdot \underline{Z}'_6 - \underline{S}_9(\underline{Z}'_4 + \underline{Z}'_5) - \underline{S}_{10}(\underline{Z}'_4 + \underline{Z}'_5) - \underline{S}_{11}(\underline{Z}'_4 + \underline{Z}'_5) - \\ & - \underline{S}_{12}(\underline{Z}'_4 + \underline{Z}'_5) - \underline{S}_{13}(\underline{Z}'_4 + \underline{Z}'_5) = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - \underline{S}_{14} \cdot \underline{Z}'_5 + \underline{S}_{15}(\underline{Z}'_2 + \underline{Z}'_6 + \underline{Z}'_8 + \underline{Z}'_5) - \underline{S}_{16} \underline{Z}'_6 - \underline{S}_{17} \underline{Z}'_8 + \underline{S}_{18} \underline{Z}'_5 - \\ & - \underline{S}_{19}(\underline{Z}'_8 + \underline{Z}'_6) - \underline{S}_{20} \underline{Z}'_8 - \underline{S}_{21} \underline{Z}'_8 - \underline{S}_{22} \underline{Z}'_8 - \underline{S}_{23} \underline{Z}'_8 = 0; \\ & - \underline{S}_{24} \cdot \underline{Z}'_6 + \underline{S}_{25}(\underline{Z}'_3 + \underline{Z}'_{11} + \underline{Z}'_{13} + \underline{Z}'_{10} + \underline{Z}'_6) - \underline{S}_{26} \underline{Z}'_{10} + \underline{S}_{27} \underline{Z}'_6 - \\ & - \underline{S}_{28}(\underline{Z}'_{10} + \underline{Z}'_{13} + \underline{Z}'_{11}) - \underline{S}_{29} \underline{Z}'_{10} - \underline{S}_{30}(\underline{Z}'_{10} + \underline{Z}'_{13}) = 0; \\ & - \underline{S}_{31} \cdot \underline{Z}'_6 - \underline{S}_{32} \underline{Z}'_{10} + \underline{S}_{33}(\underline{Z}'_{12} + \underline{Z}'_9 + \underline{Z}'_5 + \underline{Z}'_{10}) + \underline{S}_{34} \underline{Z}'_8 + \underline{S}_{35}(\underline{Z}'_8 + \underline{Z}'_{10}) + \\ & + \underline{S}_{36} \underline{Z}'_9 - \underline{S}_{37} \underline{Z}'_9 + \underline{S}_{38}(\underline{Z}'_8 + \underline{Z}'_{10}) + \underline{S}_{39}(\underline{Z}'_8 + \underline{Z}'_{10}) = 0. \end{aligned}$$

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 = \underline{Z}_{I,1}$ - პირველი კონტურის საკუთარი წინაღობა, რომელიც წარმოადგენს ამ კონტურის უბანთა წინაღობების ჯამს;
 $\underline{Z}_7 + \underline{Z}_6 + \underline{Z}_8 + \underline{Z}_5 = \underline{Z}_{II,11}$ - მეორე კონტურის საკუთარი წინაღობა.

ასევე:

$\underline{Z}_{III,III} = \underline{Z}_3 + \underline{Z}_{11} + \underline{Z}_{13} + \underline{Z}_{10} + \underline{Z}_6$ - მესამე კონტურის საკუთარი წინაღობა;

$\underline{Z}_{IV,IV} = \underline{Z}_{12} + \underline{Z}_9 + \underline{Z}_8 + \underline{Z}_{10}$ - მეოთხე კონტურის საკუთარი წინაღობა;

$\underline{Z}_{I,II} = \underline{Z}_{II,I}$ - პირველი და მეორე კონტურების ურთიერთ წინაღობა, რომელიც წარმოადგენს ამ კონტურთა საერთო წინაღობას (საზღვრის წინაღობა). ჩვენს შემთხვევაში

$$\underline{Z}_{I,II} = \underline{Z}_{II,I} = \underline{Z}_5;$$

$\underline{Z}_{I,III} = \underline{Z}_{III,I}$ - პირველი და მესამე კონტურების ურთიერთ წინაღობა, რომელიც განსაზღვრავს მეშვიშევაში ნულის ტოლია

$$\underline{Z}_{I,III} = \underline{Z}_{III,I} = 0,$$

რადგანაც I და III კონტურს არ გააჩნიათ საერთო საზღვარი.

ასევე:

$$\underline{Z}_{I,IV} = \underline{Z}_{IV,I} = 0;$$

$$\underline{Z}_{II,III} = \underline{Z}_{III,II} = \underline{Z}_6;$$

$$\underline{Z}_{II,IV} = \underline{Z}_{IV,II} = \underline{Z}_8;$$

$$\underline{Z}_{III,IV} = \underline{Z}_{IV,III} = \underline{Z}_{10}.$$

ამრიგად, კონტურულ განტოლებათა სისტემას აქვს ზოგადი სახე

$$\begin{aligned}
& S_I \dot{Z}_{I,I} - S_{II} \dot{Z}_{I,II} - S_{III} \dot{Z}_{I,III} - S_{IV} \dot{Z}_{I,IV} - S_5 (\dot{Z}_4 + \dot{Z}_7 + \dot{Z}_5) - \\
& - S_6 (\dot{Z}_4 + \dot{Z}_7) - S_7 (\dot{Z}_4 + \dot{Z}_7) - S_8 \dot{Z}_4 - S_9 (\dot{Z}_4 + \dot{Z}_7) - \\
& - S_{10} (\dot{Z}_4 + \dot{Z}_7) - S_{11} (\dot{Z}_4 + \dot{Z}_7) - S_{12} (\dot{Z}_4 + \dot{Z}_7) - S_{13} (\dot{Z}_4 + \dot{Z}_7) = 0; \\
& - S_I \dot{Z}_{II,I} + S_{II} \dot{Z}_{II,II} - S_{III} \dot{Z}_{II,III} - S_{IV} \dot{Z}_{II,IV} + S_5 \dot{Z}_5 - S_6 (\dot{Z}_8 + \dot{Z}_6) - \\
& - S_7 \dot{Z}_8 - S_8 \dot{Z}_8 - S_9 \dot{Z}_8 - S_{10} \dot{Z}_8 = 0; \\
& - S_I \dot{Z}_{III,I} - S_{II} \dot{Z}_{III,II} + S_{III} \dot{Z}_{III,III} - S_{IV} \dot{Z}_{III,IV} + S_6 \dot{Z}_6 - \\
& - S_7 (\dot{Z}_{10} + \dot{Z}_{13} + \dot{Z}_{11}) - S_8 \dot{Z}_{10} - S_{10} (\dot{Z}_{10} + \dot{Z}_{13}) = 0; \\
& - S_I \dot{Z}_{IV,I} - S_{II} \dot{Z}_{IV,II} - S_{III} \dot{Z}_{IV,III} + S_{IV} \dot{Z}_{IV,IV} + S_6 \dot{Z}_8 + S_7 (\dot{Z}_8 + \dot{Z}_{10}) + \\
& + S_8 \dot{Z}_8 - S_9 \dot{Z}_9 + S_{10} (\dot{Z}_8 + \dot{Z}_{10}) + S_{11} (\dot{Z}_8 + \dot{Z}_{10}) = 0.
\end{aligned} \tag{4.43}$$

მიღებულ კონტურულ განტოლებათა სისტემის კანონიკური ფორმის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ შეკრული ქსელისთვის აღნიშნულ განტოლებათა სისტემის ჩაწერა შეიძლება ყოველგვარი მათემატიკური გარდაქმნების გარეშე, თუ ქსელის დამოუკიდებელ კონტურებში კონტურულ სიმძლავრეთა წინასწარი მონიშვნა მოხდება ამ პარაგრაფში აღნიშნული მოთხოვნების დაცვით. ამ შემთხვევაში კონტურულ განტოლებათა სისტემის კანონიკურ ფორმას აქვს შემდეგი სტრუქტურა: 1) განტოლებათა სისტემაში პირველი კონტურის განტოლებას უჭირავს პირველი სტრიქონი. მეორე კონტურის განტოლებას მეორე სტრიქონი და ა.შ. 2) განტოლებათა სისტემის პირველ სვეტში ჩაიწერება პირველი კონტურის კონტურული სიმძლავრე $\dot{Z}_I$, მეორე სვეტში მეორე კონტურის კონტურული სიმძლავრე $\dot{Z}_{II}$ და ა.შ. ამრიგად, თითოეული კონტურის კონტურული სიმძლავრე ჩაწერილია განტოლებათა სისტემის დიაგონალზე; 3) კონტურის განტოლებაში კონტურული სიმძლავრე მრავლდება ამავე კონტურის საკუთარ შეუღლებულ წინალობაზე და ნამრავლი აიღება „+“ ნიშნით, ხოლო სხვა კონტურთა კონტურული სიმძლავრე მრავლდება შესაბამის ურთიერთ შეუღლებულ წინალობაზე და ნამრავლი აიღება „-“ ნიშნით; 4) ცალკეულ კვანძურ დატვირთვებს „ეკრძალებათ“ გაიაროს იმ უბნებზე, რომლებზედაც მონიშნულია კონტურული სიმძლავრეები; 5) თითოეული კონტურის კონტურული განტოლების თავისუფალი წევრი წარმოადგენს პოლინომს, რომლის წევრებია თითოეული კვანძური დატვირთვები ცალ-ცალკე გამრავლებული ამავე კონტურის იმ უბნების შეუღლებულ წინალობათა ჯამზე, რომლებსაც გაივლის მოცემული კვანძური დატვირთვა მახალანსებელი კვანძიდან მისი მოდების კვანძამდე „აკრძალვის“ გათვალისწინებით. ამასთან, ამ წევრს

აქვს „+“ ნიშანი, თუ აღნიშნულ უბნებში გამავალი კვანძური დატვირთვის მიმართულება ემთხვევა კონტურის შემოვლის მიმართულებას და პირიქით.

4.52 კონტურულ განტოლებათა სისტემის ამოხსნა

კონტურულ განტოლებათა სისტემა (4.43) წარმოადგენს წრფივ განტოლებათა სისტემას, რომლის ამოხსნისთვის შეიძლება გამოვიყენოთ წრფივ განტოლებათა სისტემის ამოხსნის ესა თუ ის მეთოდი. მათ შორის გაუსის მეთოდი.

რადგანაც საქმე გვაქვს კომპლექსურ ცვლადებიან და კომპლექსურ კოეფიციენტებიან განტოლებათა სისტემასთან, ამოხსნის პროცედურა საკმარისად ბევრ გამოთვლით ოპერაციებს მოითხოვს.

ამოხსნის პროცედურა შესაძლებელია რამდენადღე გამარტივდეს თუ კომპლექსურ სიდიდეებს შევიცვლით შესაბამისი ნამდვილი და წარმო-
სახვითი შემდგენლებით: $\underline{I}_I = P_I + jQ_I$, $\underline{I}_{II} = P_{II} + jQ_{II}$, $\underline{A}_I = \underline{A}'_I + j\underline{A}''_I$,

$\underline{A}_2 = \underline{A}'_2 + j\underline{A}''_2$ ამ შემთხვევაში n-განტოლებიანი სისტემის ნაცულად მივიღებთ 2n-განტოლებიან სისტემას 2n საძიებელი ცვლადებით P_I, Q_I, P_{II}, Q_{II} და თავისუფალი (მარჯვენა) წევრებით.

როცა დამოუკიდებელ კონტურთა რაოდენობა აღემატება 4-5-ს, მაშინ გამოთვლები საკმარისად რთულდება, რაც ბევრ შრომასა და დროს მოითხოვს. ამ შემთხვევაში სარგებლობენ კონტურულ განტოლებათა სისტემის მიახლოებითი ამოხსნის მეთოდით, რომელიც შედარებით მარტივ გამოთვლებს მოითხოვს.

n დამოუკიდებელი კონტურის მქონე შეკრული ქსელისთვის კონტურულ განტოლებათა სისტემა ჩაეწეროს ზოგად სახეში:

$$\left. \begin{aligned} \underline{S}_I \underline{Z}_{I,I} - \underline{S}_{II} \underline{Z}_{I,II} - \underline{S}_{III} \underline{Z}_{I,III} - \dots - \underline{S}_n \underline{Z}_{I,n} + \underline{A}_I &= 0 \\ -\underline{S}_I \underline{Z}_{II,I} + \underline{S}_{II} \underline{Z}_{II,II} - \underline{S}_{III} \underline{Z}_{II,III} - \dots - \underline{S}_n \underline{Z}_{II,n} + \underline{A}_{II} &= 0 \\ \dots\dots\dots \\ -\underline{S}_I \underline{Z}_{n,I} - \underline{S}_{II} \underline{Z}_{n,II} - \underline{S}_{III} \underline{Z}_{n,III} - \dots\dots\dots + \underline{S}_n \underline{Z}_{n,n} + \underline{A}_n &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.44)$$

საძიებელ სიდიდეთა ამონახსნი შეიძლება მივიღოთ ერთიდაიგივე მიმდევრობის გამოთვლების მრავალჯერადი შესრულების შედეგად (იტერაციული პროცესი). ამოხსნის პირდაპირი მეთოდებისაგან განსხვავებით აქ შესაძლებელია ამონახსნი მივიღოთ წინასწარ შერჩეუ-

ლი სიზუსტით. ამასთან გაანგარიშებებისადმი ამაღლებული სიზუსტის მოთხოვნა მოითხოვს იტერაციითა რაოდენობის გაზრდას.

(4.44) განგოლებათა სისტემის პირველი განგოლებიდან განესაზღვროთ $\underline{S}_1$, მეორედან - $\underline{S}_2$ და ა.შ.

$$\left. \begin{aligned} \underline{S}_1 &= \frac{-\underline{A}_1}{\underline{Z}_{1,1}} + \frac{\underline{Z}_{1,2}}{\underline{Z}_{1,1}} \underline{S}_2 + \frac{\underline{Z}_{1,3}}{\underline{Z}_{1,1}} \underline{S}_3 + \dots + \frac{\underline{Z}_{1,n}}{\underline{Z}_{1,1}} \underline{S}_n; \\ \underline{S}_2 &= \frac{-\underline{A}_2}{\underline{Z}_{2,2}} + \frac{\underline{Z}_{2,1}}{\underline{Z}_{2,2}} \underline{S}_1 + \frac{\underline{Z}_{2,3}}{\underline{Z}_{2,2}} \underline{S}_3 + \dots + \frac{\underline{Z}_{2,n}}{\underline{Z}_{2,2}} \underline{S}_n; \\ &\dots\dots\dots \\ \underline{S}_n &= \frac{-\underline{A}_n}{\underline{Z}_{n,n}} + \frac{\underline{Z}_{n,1}}{\underline{Z}_{n,n}} \underline{S}_1 + \frac{\underline{Z}_{n,2}}{\underline{Z}_{n,n}} \underline{S}_2 + \dots + \frac{\underline{Z}_{n,n-1}}{\underline{Z}_{n,n}} \underline{S}_{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (4.45)$$

საძიებელ სიდიდეთა დადგენა შეიძლება შევასრულოთ მარტივი იტერაციული მეთოდით ან ზეიდელის მეთოდით.

მარტივი იტერაციული მეთოდით (4.45) განგოლებათა სისტემა ამოიხსნება შემდეგნაირად:

1) საძიებელ სიდიდეებს მიეცეთ ნებისმიერი რიცხვითი მნიშვნელობები (იტერაციის პირველ ბიჯზე ავიღოთ $\underline{S}_1 = \underline{S}_2 = \dots = \underline{S}_n = 0$) - ნულოვანი მიახლოება;

2) ეს მნიშვნელობები ჩავსვათ (4.45) განგოლებათა სისტემის მარჯვენა მხარეებში და გამოვთვალოთ საძიებელ სიდიდეთა პირველი მიახლოება;

3) საძიებელ სიდიდეთა პირველი მიახლოების იმავე განგოლებათა სისტემაში ჩასმით მივიღებთ მეორე მიახლოებას და ა.შ.

ამრიგად, იტერაციული პროცესის k -ურ ბიჯზე (4.45) განგოლებათა სისტემა ჩაიწერება შემდეგ სახეში

$$\left. \begin{aligned} \underline{S}_1^{(k)} &= \frac{-\underline{A}_1}{\underline{Z}_{1,1}} + \frac{\underline{Z}_{1,2}}{\underline{Z}_{1,1}} \underline{S}_2^{(k-1)} + \frac{\underline{Z}_{1,3}}{\underline{Z}_{1,1}} \underline{S}_3^{(k-1)} + \dots + \frac{\underline{Z}_{1,n}}{\underline{Z}_{1,1}} \underline{S}_n^{(k-1)}, \\ \underline{S}_2^{(k)} &= \frac{-\underline{A}_2}{\underline{Z}_{2,2}} + \frac{\underline{Z}_{2,1}}{\underline{Z}_{2,2}} \underline{S}_1^{(k-1)} + \frac{\underline{Z}_{2,3}}{\underline{Z}_{2,2}} \underline{S}_3^{(k-1)} + \dots + \frac{\underline{Z}_{2,n}}{\underline{Z}_{2,2}} \underline{S}_n^{(k-1)}, \\ &\dots\dots\dots \\ \underline{S}_n^{(k)} &= \frac{-\underline{A}_n}{\underline{Z}_{n,n}} + \frac{\underline{Z}_{n,1}}{\underline{Z}_{n,n}} \underline{S}_1^{(k-1)} + \frac{\underline{Z}_{n,2}}{\underline{Z}_{n,n}} \underline{S}_2^{(k-1)} + \dots + \frac{\underline{Z}_{n,n-1}}{\underline{Z}_{n,n}} \underline{S}_{n-1}^{(k-1)} \end{aligned} \right\} \quad (4.46)$$

იგერაციული პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ ნებისმიერი საძიებელი სიდიდისთვის ბოლო ორი იგერაციით მიღებულ მნიშვნელობებს შორის სხვაობა არ აღმოჩნდება წინასწარ შერჩეულ მცირე მნიშვნელობაზე ნაკლები

$$|S_i^{(K+1)} - S_i^{(K)}| < \epsilon, \quad i = I, II, \dots, n \quad (4.47)$$

ანუ

$$\lim_{K \rightarrow \infty} S_i^{(K)} = S_i \quad (4.48)$$

სადაც S_i - საძიებელი სიდიდის ზუსტი მნიშვნელობა.

თუ ყველა საძიებელი სიდიდისთვის (4.48) პირობა სრულდება, მაშინ იგერაციულ პროცესს უწოდებენ კრებადს, წინააღმდეგ შემთხვევაში გვაქვს განშლადი იგერაციული პროცესი.

გეიდელის იგერაციული მეთოდი მარტივი მეთოდისაგან იმით განსხვავდება, რომ იგერაციული პროცესის k ბიჯზე ნებისმიერი l -ური საძიებელი ცვლადის გამოსათვლელად ესარგებლობთ $j \geq 1$ საძიებელ ცვლადთა მნიშვნელობებით, რომლებიც გამოთვლილია იგერაციის $k-1$ ბიჯზე და მიმდინარე k -ბიჯზე გამოთვლილი $j < l$ ცვლადთა მნიშვნელობებით. ამ შემთხვევაში (4.46) განტოლებათა სისტემა იგერაციული პროცესის k ბიჯზე ჩაიწერება სახეში.

$$\left. \begin{aligned} S_I^{(K)} &= \frac{-A_I}{Z_{I,I}} + \frac{Z_{I,II}}{Z_{I,I}} S_{II}^{(K-1)} + \frac{Z_{I,III}}{Z_{I,I}} S_{III}^{(K-1)} + \dots + \frac{Z_{I,n}}{Z_{I,I}} S_n^{(K-1)}, \\ S_{II}^{(K)} &= \frac{-A_{II}}{Z_{II,II}} + \frac{Z_{II,I}}{Z_{II,II}} S_I^{(K)} + \frac{Z_{II,III}}{Z_{II,II}} S_{III}^{(K-1)} + \dots + \frac{Z_{II,n}}{Z_{II,II}} S_n^{(K-1)}, \\ \dots \dots \dots \\ S_n^{(K)} &= \frac{-A_n}{Z_{n,n}} + \frac{Z_{n,I}}{Z_{n,n}} S_I^{(K)} + \frac{Z_{n,II}}{Z_{n,n}} S_{II}^{(K)} + \dots + \frac{Z_{n,n-1}}{Z_{n,n}} S_{n-1}^{(K)} \end{aligned} \right\} \quad (4.49)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ იგერაციული პროცესი გეიდელის მეთოდით უფრო სწრაფად კრებადია, ვიდრე მარტივი იგერაციული პროცესი. ე.ი. გეიდელის მეთოდის გამოყენებისას იმავე შედეგის მისაღწევად გეჰყირდება იგერაციათა ნაკლები რაოდენობა.

კონტურულ განტოლებათა სისტემის ამოხსნა შესაძლებელია, აგრეთვე, თანდათანობითი მიახლოების მეთოდით, რომლის დროსაც ესარ-

გებლობით კონტურითა ე.წ. „გაუწონასწორებელი ე.მ. ძალის“ პროპორციული სიდიდეებით.

შეკრულ ქსელში სიმძლავრეთა განაწილებისას $\Sigma_I, \Sigma_{II}, \Sigma_{III}$ და ა.შ. საბიებელ კონტურულ სიმძლავრეთა ნაცვლად შევირჩიოთ მათი რაიმე რიყხებითი მნიშვნელობები $\Sigma_I^{(0)}, \Sigma_{II}^{(0)}, \Sigma_{III}^{(0)}$ და ა.შ. ისე, რომ ქსელის ყველა კეანბისთვის სრულდებოდეს კინრხპოჟის I კანონი. კონტურულ სიმძლავრეთა ეს მნიშვნელობები ნულოვან მიახლოებას წარმოადგენენ და განსხვავდებიან მუსტი მნიშვნელობებისგან. კირხპოჟის II კანონის მიხედვით კონტურთა შემოვლისას თითოეული კონტურისთვის მივიღებთ გაუწონასწორებელი ე.მ. ძალის პროპორციულ სიდიდეს:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma_I^{(0)} Z_{I,1}^* - \Sigma_{II}^{(0)} Z_{I,II}^* - \Sigma_{III}^{(0)} Z_{I,III}^* \dots \Sigma_n^{(0)} Z_{I,n}^* + \underline{A}_I &= \underline{\Delta E}_I; \\ -\Sigma_I^{(0)} Z_{II,1}^* + \Sigma_{II}^{(0)} Z_{II,II}^* - \Sigma_{III}^{(0)} Z_{II,III}^* \dots - \Sigma_n^{(0)} Z_{II,n}^* \underline{A}_{II} &= \underline{\Delta E}_2; \\ \dots\dots\dots \\ -\Sigma_I^{(0)} Z_{n,1}^* - \Sigma_{II}^{(0)} Z_{n,II}^* - \Sigma_{III}^{(0)} Z_{n,III}^* \dots \dots + \Sigma_n^{(0)} Z_{n,n}^* + \underline{A}_n &= \underline{\Delta E}_n; \end{aligned} \right\} \quad (4.50)$$

(4.50)-ს გამოვაკლოთ (4.44), მივიღებთ

$$\left. \begin{aligned} \underline{\Delta S}_I Z_{I,1}^* - \underline{\Delta S}_{II} Z_{I,II}^* - \underline{\Delta S}_{III} Z_{I,III}^* \dots \dots \dots - \underline{\Delta S}_n Z_{I,n}^* &= \underline{\Delta E}_I; \\ -\underline{\Delta S}_I Z_{II,1}^* + \underline{\Delta S}_{II} Z_{II,II}^* - \underline{\Delta S}_{III} Z_{II,III}^* \dots \dots \dots - \underline{\Delta S}_n Z_{II,n}^* &= \underline{\Delta E}_2; \\ \dots\dots\dots \\ -\underline{\Delta S}_I Z_{n,1}^* - \underline{\Delta S}_{II} Z_{n,II}^* - \underline{\Delta S}_{III} Z_{n,III}^* \dots \dots \dots + \underline{\Delta S}_n Z_{n,n}^* &= \underline{\Delta E}_n; \end{aligned} \right\} \quad (4.51)$$

სადაც $\underline{\Delta S}_I = \Sigma_I^{(0)} - \Sigma_I$, $\underline{\Delta S}_{II} = \Sigma_{II}^{(0)} - \Sigma_{II}$, $\underline{\Delta S}_{III} = \Sigma_{III}^{(0)} - \Sigma_{III}$ და ა.შ. წარმოადგენს იმ ცდომილებებს, რომელიც დაევშვით კონტურულ სიმძლავრეთა რიყხებითი მნიშვნელობების შერჩევისას. მათ შემასწორებელ სიმძლავრეებს უწოდებენ.

ამრიგად, კონტურულ სიმძლავრეთა ჭეშმარიტი მნიშვნელობები იქნება:

$$\Sigma_I = \Sigma_I^{(0)} - \underline{\Delta S}_I; \quad \Sigma_{II} = \Sigma_{II}^{(0)} - \underline{\Delta S}_{II}; \quad \Sigma_{III} = \Sigma_{III}^{(0)} - \underline{\Delta S}_{III}; \quad \text{და ა.შ.}$$

(4.51) სისტემის პირველი განტოლებიდან განესაზღვრავთ $\underline{\Delta S}_I$, მეორე განტოლებიდან $\underline{\Delta S}_{II}$ და ა.შ. მე- n განტოლებიდან $\underline{\Delta S}_n$. გვაქვს:

$$\left. \begin{aligned} \Delta S_1 &= \frac{\Delta E_1}{Z_{1,1}} + \frac{Z_{1,2}}{Z_{1,1}} \Delta S_2 + \frac{Z_{1,3}}{Z_{1,1}} \Delta S_3 + \dots + \frac{Z_{1,n}}{Z_{1,1}} \Delta S_n; \\ \Delta S_2 &= \frac{\Delta E_2}{Z_{2,2}} + \frac{Z_{2,1}}{Z_{2,2}} \Delta S_1 + \frac{Z_{2,3}}{Z_{2,2}} \Delta S_3 + \dots + \frac{Z_{2,n}}{Z_{2,2}} \Delta S_n; \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta S_n &= \frac{\Delta E_n}{Z_{n,n}} + \frac{Z_{n,1}}{Z_{n,n}} \Delta S_1 + \frac{Z_{n,2}}{Z_{n,n}} \Delta S_2 + \dots + \frac{Z_{n,n-1}}{Z_{n,n}} \Delta S_{n-1}. \end{aligned} \right\} (4.52)$$

საწყის ეტაპზე დაეუშვათ, რომ $\Delta S_1 = \Delta S_2 = \dots = \Delta S_n = 0$, მაშინ (4.52) სისტემის პირველი განტოლებიდან ვღებულობთ ΔS_1 შემასწორებელი სიმძლავრის პირველ მიახლოებას

$$\Delta S_1^{(1)} = \frac{\Delta E_1}{Z_{1,1}}$$

შევიტანოთ ეს მნიშვნელობა (4.52) სისტემის მეორე განტოლებაში და მივიღებთ ΔS_2 შემასწორებელი სიმძლავრის პირველ მიახლოებას

$$\Delta S_2^{(1)} = \frac{\Delta E_2}{Z_{2,2}} + \frac{Z_{2,1}}{Z_{2,2}} \Delta S_1^{(1)}.$$

ასევე შეგვიძლია გამოეთვალოთ $\Delta S_3^{(1)}$

$$\Delta S_3^{(1)} = \frac{\Delta E_3}{Z_{3,3}} + \frac{Z_{3,1}}{Z_{3,3}} \Delta S_1^{(1)} + \frac{Z_{3,2}}{Z_{3,3}} \Delta S_2^{(1)}$$

და ა.შ.

$$\Delta S_n^{(1)} = \frac{\Delta E_n}{Z_{n,n}} + \frac{Z_{n,1}}{Z_{n,n}} \Delta S_1^{(1)} + \dots + \frac{Z_{n,n-1}}{Z_{n,n}} \Delta S_{n-1}^{(1)}.$$

შემასწორებელ სიმძლავრეთა პირველი მიახლოების მნიშვნელობები შევიტანოთ (4.52) განტოლებათა სისტემის პირველ განტოლებაში. მივიღებთ ΔS_1 -ის მეორე მიახლოებას

$$\Delta S_1^{(2)} = \frac{\Delta E_1}{Z_{1,1}} + \frac{Z_{1,2}}{Z_{1,1}} \Delta S_2^{(1)} + \frac{Z_{1,3}}{Z_{1,1}} \Delta S_3^{(1)} + \dots + \frac{Z_{1,n}}{Z_{1,1}} \Delta S_n^{(1)}.$$

ანალოგიური გამოთვლებით დაებადგენთ დანარჩენ შემასწორებელ სიმძლავრეთა მეორე მიახლოებას და ა.შ.

გამოთვლები გაგრძელდება მანამ, სანამ ყველა კონტურისთვის შემასწორებელ სიმძლავრეთა ბოლო ორი მიახლოების მნიშვნელობათა შორის სხვაობა არ დააკმაყოფილებს პირობას

$$|\Delta S_K^{(m)} - \Delta S_K^{(m-1)}| < \varepsilon,$$

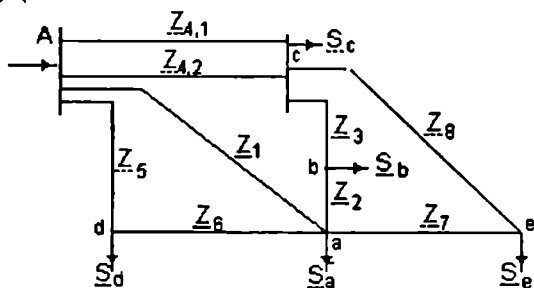
სადაც ε - გამოთვლების სიზუსტე, რომელიც წინასწარ იქნება შერჩეული.

უნდა აღინიშნოს აქ ზეილელის მეთოდის გამოყენება კიდევ უფრო დააჩქარებს იტერაციულ პროცესს.

4.5.3 რთულ შეკრულ ქსელებში სიმბლავრეთა განაწილების გამარტივების ხერხები

რთულ შეკრულ ქსელში სიმბლავრეთა განაწილებისთვის, მათემატიკურ ოპერაციითაა მოცულობის შემცირების მიზნით, რიგ შემთხვევებში, უფრო ეფექტურია ვისარგებლოთ სხვადასხვა სახის გამარტივებებით. მათ რიცხვს მიეკუთვნება: ქსელის წარმოდგენითი გავრა მაბალანსებული კვების ცენტრში; დატვირთვათა გადატანა; უბნების პარალელური მიმღევრობითი შეკრება; სამკუთხედის გარდაქმნა ვარსკელადად, ან პირიქით.

4.13 ნახაზზე წარმოდგენილია ოთხი დამოუკიდებელი კონტურის შემცველი ქსელი.

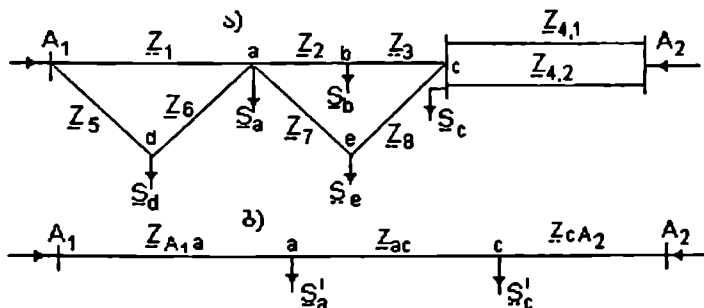


ნახ. 4.13 რთული შეკრული ქსელის შეერთების სქემა

აღნიშნულ ქსელში სიმბლავრეთა განაწილებისთვის უნდა ამოიხსნას კომპლექსური ცვლადებისა და კომპლექსური კოეფიციენტების შემცველი ოთხგანგოლებიანი სისტემა. გამარტივების ხერხების გამოყენებით განსახილველი რთული შეკრული ქსელი შეიძლება დავიყვანოთ ორმხრივი კვების ქსელად.

მოცემული ქსელი წარმოდგენით გავვრათ კვების ცენტრში. მივიღებთ ორმხრივი კვების ქსელს, რომელიც თავის მხრივ შეიცავს კიდევ დამოუკიდებელ კონტურებს (ნახ.4.14,ა). ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ ქსელის A_1 და a პუნქტებს შორის არის ელექტრული ენერგიის გადაცემის

ორი გზა, რომელთაგანაც ერთ გზაზე არის შუალედური კვანძური დაგვირთვა Σ_d , a და c პუნქტებს შორის არის ასევე ორი გზა და ორივე გზაზე შუალედური კვანძური დაგვირთვები Σ_b და Σ_c . c და A_2 პუნქტებს შორის გვაქვს ენერგიის გადაცემის ორი გზა, რომლებიც თავისუფალნი არიან შუალედური კვანძური დაგვირთვებისგან. შევასრულოთ ქსელის სქემის შესაძლო გამარტივება.



ნახ. 4.14 ორმხრივი კვების ქსელი:
ა) გამარტივებამდე; ბ) გამარტივების შემდეგ

გამარტივების ერთერთი ხერხი ეს არის უბანთა პარალელური შეკრება. ამ ხერხის გამოყენება შესაძლებელია ქსელის იმ პარალელური უბნების მიმართ, რომლებიც თავისუფალნი არიან შუალედური კვანძური დაგვირთვებისგან. კერძოდ cA_2 უბანი, რომლის ეკვივალენტური წინაღობა, პარალელური შეკრების წესის თანახმად, იქნება

$$Z_{cA_2} = \frac{Z_{4,1} \cdot Z_{4,2}}{Z_{4,1} + Z_{4,2}}, \quad (4.53)$$

უბნების წინააღობათა ასეთი პარალელური შეკრება შეიძლება შევასრულოთ A_1 და a (ასევე a და c) პუნქტებს შორის, მაგრამ ამას ხელს უშლის შუალედური კვანძური დაგვირთვები. იმისთვის, რომ შეგვეძლოს პარალელური შეკრების ხერხის გამოყენება, საჭიროა წინასწარ გამოვიყენოთ გამარტივების ის ხერხი, რომელსაც დაგვირთვების გადატანის ხერხს უწოდებენ. ამ ხერხის იდეა მდგომარეობს შემდეგში: უბნის შუალედური დაგვირთვა გადავიტანოთ მის ბოლოებში ისე, რომ ამ ბოლო კვანძებში ძაბვათა მნიშვნელობები დაგვირთვის გადატანამდე და გადატანის შემდეგ უცვლელი დარჩეს.

ეთქვათ, Σ_d დაგვირთვის გადატანამდე A_1d უბანში გადის S_d სიმძლავრე, ხოლო გადატანის შემდეგ კი S'_d . ორივე ამ შემთხვევისთვის გამოვთვალოთ ძაბვის ვარდნა A_1d უბანზე (გამოსახულება 4.29):

გადატანამდე

$$\Delta U_{A1d} = \frac{1}{U_6} (\underline{S}_3' Z_3 + (\underline{S}_3 - \underline{S}_4') Z_6)$$

გადატანის შემდეგ

$$\Delta U_{A1d} = \frac{1}{U_6} \underline{S}_3' \cdot (Z_3 + Z_6)$$

ამ გოლობათა მარჯვენა მხარეების გატოლების შემდეგ ვღებულობთ

$$\underline{S}_{d \rightarrow A_1} = \underline{S}_3 - \underline{S}_4' = \underline{S}_4 \cdot \frac{\underline{Z}_6}{\underline{Z}_3 + \underline{Z}_6} \quad (4.54)$$

სადაც $\underline{S}_{d \rightarrow A_1}$ - ეს ის სიმძლავრეა, რომელიც d პუნქტიდან გადადის A_1 პუნქტში. შესაბამისად

$$\underline{S}_{d \rightarrow a} = \underline{S}_4 - \underline{S}_{d \rightarrow A_1} = \underline{S}_4 \cdot \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_3 + \underline{Z}_6} \quad (4.55)$$

ამრიგად, უბნის შუალედური კვანძიდან მის ბოლოებში დატვირთვის გადატანა უნდა შესრულდეს უბნის შემადგენელი ნაწილების შეუღლებულ წინააღობათა უკუპროპორციულად.

$\underline{S}_d$ დატვირთვის გადატანის შემდეგ ჩაებატარებთ მიმდევრობით-პარალელურ წინააღობათა შეკრებას.

ანალოგიურად გაემატარებთ a და c პუნქტებს შორის არსებულ ქსელს.

ჩატარებული გამარტივებები შემდეგ მოცემული ორმხრივი კვების ქსელში მიიღებს 4.14,ბ ნახაზზე ნაჩვენებ სახეს, სადაც:

$$\underline{Z}_{A1a} = \frac{\underline{Z}_1 \cdot (\underline{Z}_3 + \underline{Z}_6)}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_6}; \quad \underline{Z}_x = \frac{(\underline{Z}_2 + \underline{Z}_1)(\underline{Z}_7 + \underline{Z}_8)}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_7 + \underline{Z}_8};$$

$$\underline{S}_a' = \underline{S}_a + \underline{S}_{d \rightarrow a} + \underline{S}_{b \rightarrow a} + \underline{S}_{c \rightarrow a}; \quad \underline{S}_c' = \underline{S}_c + \underline{S}_{b \rightarrow c} + \underline{S}_{c \rightarrow c}.$$

თავის მხრივ

$$\underline{S}_{b \rightarrow a} = \underline{S}_b \cdot \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3}; \quad \underline{S}_{c \rightarrow a} = \underline{S}_c \cdot \frac{\underline{Z}_8}{\underline{Z}_7 + \underline{Z}_8};$$

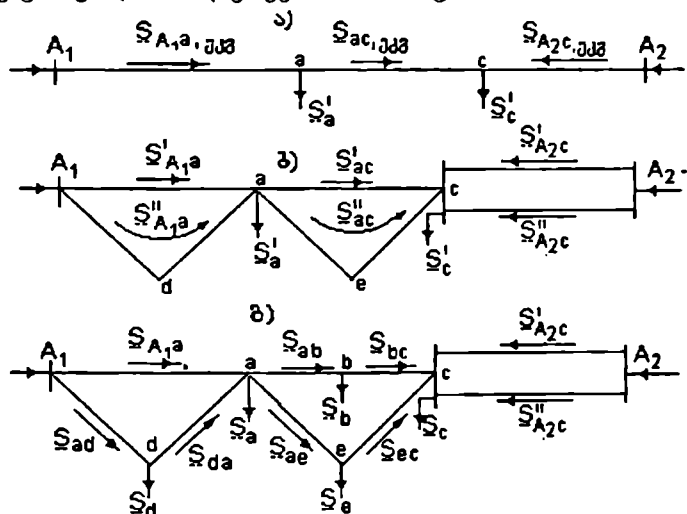
$$\underline{S}_{b \rightarrow c} = \underline{S}_b \cdot \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3}; \quad \underline{S}_{c \rightarrow c} = \underline{S}_c \cdot \frac{\underline{Z}_7}{\underline{Z}_7 + \underline{Z}_8}.$$

(4.33) ფორმულის გამოყენებით დაეადგენთ მიღებული ორმხრივი ქსელის უბნებში გამავალ სიმძლავრეთა მნიშვნელობებს $\underline{S}_{A1a,ab}$, $\underline{S}_{x,ab}$, $\underline{S}_{Ac,ac}$, რომელთაც გადაეანაწილებთ შესაბამის პარალელურ შტოებს შორის მათი შეუღლებული წინააღობების უკუპროპორციულად (ნახ.4.15):

$$S'_{A1a} = S_{A1a, \text{კმ}} = \frac{Z_5 + Z_6}{Z_1 + Z_5 + Z_6}; \quad S''_{A1a} = S_{A1a, \text{კმ}} \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_5 + Z_6};$$

$$S_{\Sigma} = S_{\Sigma, \text{კმ}} \cdot \frac{Z_7 + Z_8}{Z_2 + Z_3 + Z_7 + Z_8}; \quad S''_{\Sigma} = S_{\Sigma, \text{კმ}} \cdot \frac{Z_2 + Z_3}{Z_2 + Z_3 + Z_7 + Z_8};$$

ამ ოპერაციათა ჩატარების შემდეგ საჭიროა გადაგანილი დაგვირთვები დაეპარუნოთ თავიანთ კვანძებში და მივიღებთ საწყისი სქემის უბნებზე გამავალ სიმძლავრეებს (ნახ. 4.15გ).



ნახ. 4.15 სიმძლავრეთა განაწილება ორმხრივი კვების ქსელში:
ა,ბ – გამარტივებული სქემები; გ-საწყისი სქემა

გადაგნილ დაგვირთვათა თავიანთ კვანძებში დაბრუნების შემდეგ უბნებში გამავალი სიმძლავრეები იქნება:

$$S_{A1a} = S'_{A1a}; \quad S_{A1d} = S''_{A1a} + S_{d \rightarrow A1}; \quad S_{da} = S''_{A1a} - S_{d \rightarrow a};$$

$$S_{ab} = S'_{\Sigma} + S_{b \rightarrow a}; \quad S_{bc} = S'_{\Sigma} - S_{b \rightarrow c}; \quad S_{\Sigma} = S''_{\Sigma} + S_{c \rightarrow \Sigma};$$

$$S_{cc} = S''_{\Sigma} - S_{c \rightarrow c}.$$

რთული შეკრული ქსელების გასამარტივებლად შეიძლება გამოვიყენოთ აგრეთვე, ელექტროტექნიკიდან კარგად ცნობილი მეთოდი – სამკუთხედის გარდაქმნა ვარსკვლავად, ან პირიქით.

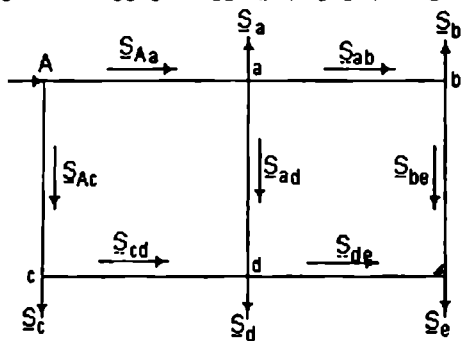
გარდა აღნიშნულისა, შეიძლება ვისარგებლოთ ქსელის ერთგვაროვნობის პირობით (თუ ეს პირობა სრულდება), რომლის დროსაც ქსელში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების განაწილება შესაძლებელია

დაუადგინოთ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად ქსელის უბანთა მხოლოდ აქტიური წინააღობების გათვალისწინებით. ასევე, თუ ქსელის ყველა უბანი შესრულებულია ერთიდაიგივე განიკვეთის სადენებით, მაშინ სიმძლავრეთა განაწილების კონტურულ განგოლებათა სისტემაში უბანთა წინააღობების ნაცვლად შეგვიძლია ჩავსვათ მათი სიგრძეები (§4.4.5).

4.5.4 რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება კონტურული სიმძლავრეების მიხედვით

რთულ შეკრულ ქსელში რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება გარდება იმავე პრინციპით, როგორც ორმხრივი კვების ქსელში (§4.4.3). კერძოდ, სიმძლავრეთა განაწილებისას დადგინდება დენგამყოფი კვანძი, რომელთა რაოდენობა რთულ შეკრულ ქსელში შეიძლება რამდენიმე იყოს. არ არის გამორიცხული, რომ აქტიური სიმძლავრის გამყოფი კვანძი არ დაემთხვეს რეაქტიული სიმძლავრის გამყოფ კვანძს.

განვიხილოთ რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების მიმდევრობა ქვემოთ ნაჩვენები შეკრული ქსელი მაგალითზე (ნახ. 4.16).



ნახ. 4.16 შეკრულ ქსელში რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშებისთვის

როგორც ნახაზიდან ჩანს დენგამყოფი კვანძია e , რომელშიც ქსელის გაჭრის შემდეგ მივიღებთ ორ ღია ქსელს abe და de . მათ ბოლოებში მიერთებული დატვირთვები უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას $\underline{S}_{e1} + \underline{S}_{e2} = \underline{S}_e$. ამასთან $\underline{S}_{e1} = \underline{S}_{be}'' = \underline{S}_{be}$ და $\underline{S}_{e2} = \underline{S}_{de}'' = \underline{S}_{de}$.

თუ რეჟიმი პარამეტრების გაანგარიშებას ეატარებთ „თავის მონაცემებით“ (ცნობილია ძაბვა U_A), მაშინ ნომინალური ძაბვის მიხედვით გა-

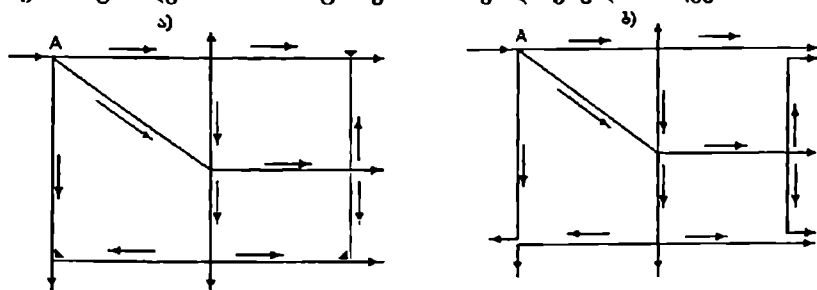
ნისაზღერება მხოლოდ სიმძლავრის დანაკარგები უბნებში მიმდევრობით ბოლოდან თავისკენ (ჩვენს შემთხვევაში a და d კვანძებისკენ).

იმ შემთხვევაში, როცა გაანგარიშებებს ვატარებთ „ბოლოს მონაცემებით“, მაშინ ღენგამყოფ კვანძში ვირჩევთ ძაბვის მუშა მნიშვნელობას და განესაზღვრავთ ღია ქსელების უბნებში სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგებს მიმდევრობით ბოლოდან (ღენგამყოფი კვანძიდან) თავისკენ.

შეკრული ქსელის რეჟიმების გაანგარიშებების სპეციფიურობა გამოიხატება მასში, რომ ქსელის ღია ნაწილის თავი კვანძი კვების ცენტრთან დაკავშირებულია მინიმუმ ორი გზით.

მას შემდეგ, რაც პირობით ღია ქსელებში დადგენილი იქნება რეჟიმის პარამეტრები, შეკრულ ნაწილში რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების შემდგომი გაგრძელება უნდა შევასრულოთ ამ ნაწილის ღენგამყოფ კვანძიდან. ამასთან ამ კვანძში შემომაველ სიმძლავრეებს, პროპორციული განაწილების პრინციპით, უნდა დაემატოს სიმძლავრის დანაკარგები ქსელის იმ ღია ნაწილში, რომელიც ამ კვანძთანაა მიერთებული. ჩვენს შემთხვევაში ასეთი კვანძია d . აქაც მოვახდენთ ქსელის პირობით გაჭრას და მივიღებთ ორ ღია ქსელს Ac_d და ad . გაანგარიშების შემდგომი მიმდევრობა ღია ქსელების რეჟიმების გაანგარიშების ანალოგიურია.

იმ შემთხვევაში, როცა შეკრულ ქსელში სიმძლავრეთა განაწილებისას მივიღებთ რამდენიმე ღენგამყოფ კვანძს (ნახ.4.17ა), მაშინ ამ კვანძებში ქსელის გაჭრისას გვექნება ღია მაგისტრალურ-განშტოებული ქსელიც (ნახ.4.17ბ), რომლისთვისაც რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება ჩატარდება 4.2 პარაგრაფში ჩამოყალიბებული მიმდევრობით.



4.17 რთული შეკრული ქსელის სქემა რამდენიმე ღენგამყოფი კვანძით:

ა) საწყისი; ბ) ღენგამყოფი კვანძებში გაყოფის შემდეგ

4.6 რთული შეკრული ქსელის რეჟიმის გაანგარიშება კვანძური ძაბვების მეთოდით

4.6.1 კვანძური ძაბვების განგოლებათა სისტემა

კონტურულ განგოლებათა მეთოდის გამოყენებისას ენახეთ, რომ ქსელის რეჟიმის პარამეტრების დასაღგენად გაანგარიშებები გარღება ორ ეგაჲად. კერძოდ, პირველ ეგაჲზე წარმოებს ქსელის უბნებში გამა-ეალ სიმძლავრეთა დაღგენა სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგების მხედველობაში მიღების გარეშე და მეორე ეგაჲზე ხდება სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგების გაანგარიშება უბნებზე გამაეალ სიმძლავრე-თა შემდგომი დაზუსტებით.

გარდა ამისა, კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენების პირობებში კონტურულ განგოლებათა მეთოდმა ჟართო გავრცელება ვერ ჰყოა სხეადასხეა მიზეზით. კერძოდ: დამოუკიდებელ კონტურთა გამოყოფის პროცედურის სირთულე და არაყალსახობა; რეჟიმული შემდღეებისა და ტრანსფორმატორთა ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის ცელილების გათეალისწინების სირთულე; გაანგარიშებებისას ქსელის კონფიგურა-ციის მოსალოდნელ ცელილებასთან დაკავშირებული სიძნელებები.

ჩვეულებრივ ელექტრულ ქსელში უბანთა რაოდენობა (m) კვანძების რაოდენობაზე (n) მეტია. ამის გამო m რაოდენობის უბნების შემცველი ქსელისთვის კირსპოფის I და II კანონების საჟუძეელზე შედგენილ გან-გოლებათა სისტემის ამოხსნასა და რეჟიმის პარამეტრების შემდგომ გაანგარიშებასთან შედარებით უჟრო ეფექტური აღმოჩნდა $n < m$ რაო-დენობის კვანძებისთვის ომისა და კირსპოფის I კანონის საჟუძეელზე დაწერილი კვანძური ძაბვების განგოლებათა სისტემის ამოხსნა და რეჟიმის პარამეტრების შემდგომი გაანგარიშება.

ცნობილი კვანძური ძაბვების მისედვით ჩატარებული შესაბამისი გა-მოთელების საშუალებით შეგვიძლია დაეადგინოთ ყალკეული უბნები-სა და, მთლიანად, ქსელის რეჟიმის პარამეტრები, სადაც უკვე გათეა-ლისწინებული იქნება სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგებიც.

დავუშვათ, რომ ელექტრული ქსელი შეიყავს $F=0,1,2,...,n$ კვანძს. მათ შორის $F=0$ კვანძი მიჩნეულია მაბალანსებელ კვანძად და ამავე კვანძის ძაბვა U_0 აღებულია საყრდენ ძაბვად (ე.ი. მაბალანსებელი და საყრდენი ძაბვის კვანძები შეთავსებულია). დანარჩენი კვანძების ძაბვები წარმო-ადგენენ საძიებელ სიდიდეებს.

კვანძური ძაბვების განგოლებათა სისტემის შედგენისას;

1) კვანძებს შორის ელექტრულ კავშირს მათემატიკურ მოდელში წარმოადგენენ გრძივი გამგარობის სახით, რომელიც უბნის გრძივი წინაღობის მებრუნებული სიდიდეა

$$\underline{Y}_{ir} = \underline{Z}_{ir}^{-1} \quad (4.56)$$

და მას ამ კვანძების ურთიერთგამგარობას უწოდებენ.

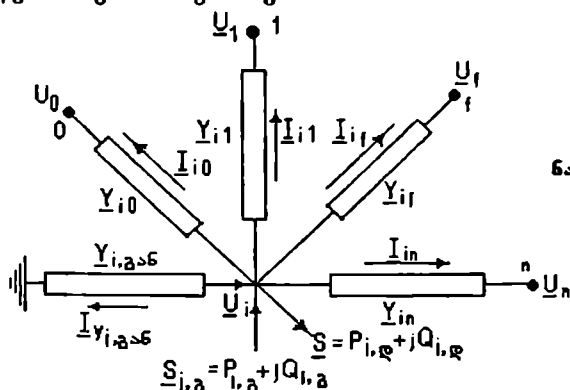
2) კვანძში არსებული გრანსფორმატორების Γ -სებრი ჩანაცვლების სქემისა და კვანძთა მიერთებული ელექტროგადამცემის ხაზების Π -სებრი ჩანაცვლების სიმეტრიული სქემის შესაბამისად კვანძში გვაქვს განივი გამტარობა

$$\underline{Y}_{i,გა} = \frac{1}{2} \sum_{r=0}^n \underline{Y}_{ir,გა} + \underline{Y}_{i,გა,გა} \quad (4.57)$$

3) კვანძის სიმძლავრე განიხილება როგორც კვანძში არსებული გენერაციისა და დატვირთვის სხვაობა

$$\underline{S}_i = \underline{S}_{i,გ} - \underline{S}_{i,დ} \quad (4.58)$$

ჩავთვალოთ, რომ ქსელის ყველა კვანძი ერთმანეთთან ურთიერთ ელექტრულ კავშირშია (ნახ. 4.18) და ქსელის 1-ური კვანძისთვის დავწეროთ კირსპოვის I კანონი.



ნახ. 4.18. კვანძური
ძაბვების
განტოლებათა
ხისტემის
შედგენისთვის

დენების დადებით მიმართულებად ავიღოთ 1 კვანძიდან გამავალი მიმართულება და გვექნება

$$\sum_{r=0}^n \underline{I}_{ir} + \underline{I}_{Y_{i,გა}} = \underline{I}_i, \quad f \neq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4.59)$$

სადაც: $\underline{I}_i$ — 1f უბანში გამავალი დენი

$$\underline{I}_{ir} = \frac{1}{\sqrt{3}} (\underline{U}_i - \underline{U}_r) \cdot \underline{Y}_{ir} \quad \text{კა;} \quad (4.60)$$

$$\underline{I}_{Y_{i,გა}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{U}_i \cdot \underline{Y}_{i,გა} \quad \text{კა;} \quad (4.61)$$

$$\underline{I}_i = \frac{\underline{S}_{i,გ} - \underline{S}_{i,დ}}{\sqrt{3} \underline{U}_i^*} \quad \text{კა.} \quad (4.61)$$

ამრიგად, (4.59) ჩაიწერება ასე

$$\underline{U}_i \left(\sum_{r=0}^n \underline{Y}_{i,r} + Y_{i,0} \right) - \sum_{\substack{r=0 \\ r \neq i}}^n \underline{U}_r \underline{Y}_{i,r,0} = \frac{\underline{S}_i}{\underline{U}_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.63)$$

სიდიდეს
$$\underline{Y}_i = \sum_{r=0}^n \underline{Y}_{i,r} + Y_{i,0} \quad (4.64)$$

უწოდებენ i -ური კვანძის საკუთარ გამტარობას.

მაშასადამე, კვანძური ძაბვების განტოლებათა სისტემას აქვს შემდეგი სახე.

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 \underline{Y}_{11} - \underline{U}_2 \underline{Y}_{12} - \underline{U}_3 \underline{Y}_{13} - \dots - \underline{U}_n \underline{Y}_{1n} &= \frac{\underline{S}_1}{\underline{U}_1} + U_0 \underline{Y}_{10}; \\ -\underline{U}_1 \underline{Y}_{21} + \underline{U}_2 \underline{Y}_{22} - \underline{U}_3 \underline{Y}_{23} - \dots - \underline{U}_n \underline{Y}_{2n} &= \frac{\underline{S}_2}{\underline{U}_2} + U_0 \underline{Y}_{20}; \\ -\underline{U}_1 \underline{Y}_{31} - \underline{U}_2 \underline{Y}_{32} + \underline{U}_3 \underline{Y}_{33} - \dots - \underline{U}_n \underline{Y}_{3n} &= \frac{\underline{S}_3}{\underline{U}_3} + U_0 \underline{Y}_{30}; \\ &\vdots \\ -\underline{U}_1 \underline{Y}_{n1} - \underline{U}_2 \underline{Y}_{n2} - \underline{U}_3 \underline{Y}_{n3} - \dots + \underline{U}_n \underline{Y}_{nn} &= \frac{\underline{S}_n}{\underline{U}_n} + U_0 \underline{Y}_{n0}. \end{aligned} \right\} \quad (4.65)$$

ამ განტოლებათა სისტემის სტრუქტურის ანალიზი გვიჩვენებს:

1) პირველი კვანძის განტოლებას განტოლებათა სისტემაში უჭირავს პირველი სტრიქონი, მეორე კვანძის განტოლებას მეორე სტრიქონი და ა.შ;

2) პირველ სვეტში ჩაწერილია პირველი კვანძის ძაბვა $\underline{U}_1$, მეორე სვეტში მეორე კვანძის ძაბვა $\underline{U}_2$ და ა.შ;

3) კვანძის განტოლებაში კვანძის ძაბვა მრავლდება კვანძის საკუთარ გამტარობაზე და აიღება „პლუს“ ნიშნით, ხოლო სხვა კვანძის ძაბვა მრავლდება შესაბამის ურთიერთ გამტარობაზე და აიღება „მინუს“ ნიშნით;

4) ყოველი განტოლების მარჯვენა მხარე შეიცავს ორ შესატყვისს, რომელთაგანაც ერთი ამ კვანძის შეუღლებული სიმძლავრის შეუღლებულ ძაბვასთან ჭარბობის გოლია, ხოლო მეორე კი ბაზისური (საყრდენი) ძაბვისა და მოცემული კვანძისა და ბაზისური ძაბვის კვანძის ურთიერთ გამტარობის ნამრაველია. უნდა აღინიშნოს, რომ თუ რომელიმე f და i კვანძებს შორის პირდაპირი ელექტრული კავშირი არ არის, მაშინ $\underline{Y}_{fi} = 0$.

აღნიშნულ განტოლებათა სისტემა შეიძლება შემოკლებით ჩაეწეროს მატრიცულ ფორმაში

$$\|Y_{\alpha}\| \cdot \|U_i\| = \left\| \frac{S_i}{U_i} \right\| + \|Y_{\alpha}\| U_{\alpha},$$

სადაც: $\|Y_{\alpha}\|$ - ქსელის კევანძების საკუთარ და ურთიერთგამგარობათა მაგრიცა Y_{α} ელემენტებით;

$\|U_i\|$ - კევანძების ხაზური ძაბვების სვეტი-მაგრიცა;

$\left\| \frac{S_i}{U_i} \right\|$ - კევანძების უაზური დენების სვეტი-მაგრიცა გადიდებული

$\sqrt{3}$ -ჯერ;

$\|Y_{\alpha}\|$ - ქსელის 1-ური კევანძისა და მახალანსებული კევანძის ურთიერთგამგარობათა სვეტი-მაგრიცა;

U_{α} - მახალანსებული კევანძის ძაბვა (საყრდენი ძაბვა).

კევანძების საკუთარ და ურთიერთ გამგარობათა მაგრიცა $\|Y_{\alpha}\|$ - მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ელექტრული სისგემის დამყარებული რეეიშების გაანგარიშებებში, რომლის საწყის მონაცემებს, როგორც წესი, წარმოადგენს ქსელის მგოების (უზნების) გრძივი წინაღობები, განივი გამგარობები და, აგრეთვე, სქემის გოპოლოგია. ამ მაგრიცის ელემენტების გამოთვლა მაგრიცია კომპიუტერის დახმარებით. ეს მაგრიცა სიმეგრიული მაგრიცაა $Y_{\alpha} = Y_{\alpha}$. მისი მნიშვნელოვანი თვისებაა ის, რომ იგი პრაქტიკულად შეიცავს ძალიან ბევრ ნულოვან ელემენტს. ანუ მაგრიცა არასრულად შეესებული მაგრიცაა. კერძოდ, მაგრიცის რომელიმე 1-ური სგრიქონი შეიცავს იმდენ არადიაგონალურ ელემენტს, რამდენ კევანძთანაც პირდაპირ ელექტრულ კავშირშია 1 კევანძი. მაგალითად, თუ ქსელის კევანძების საერთო რაოდენობაა 100 და 1 კევანძს პირდაპირი ელექტრული კავშირი აქვს მხოლოდ 10 კევანძთან, მაშინ 1-ურ განგოლებაში დიაგონალური წვერი იქნება 1, არადიაგონალური არანულოვანი წვერების რაოდენობა იქნება 10, ხოლო დანარჩენი 89 არადიაგონალური წვერი იქნება ნულის გოლი.

4.6.2 კევანძური ძაბვების განგოლებათა სისგემის ამოხსნა

კევანძური ძაბვების განგოლებათა სისგემა (4.65) არაწრფივ განგოლებათა სისგემას წარმოადგენს, რომლის ამოხსნის ზოგადი მეთოდი

არ არსებობს*. ამიგომ ამ განგოლებათა სისტემის ამოსახსნელად ვსარგებლობთ იტერაციული მეთოდებით.

გაწრფივების მეთოდი. იმისთვის, რომ შეეძლოთ გაუსის მეთოდის გამოყენება საჭიროა განგოლებათა სისტემის გაწრფივება. ამ მიზნით (4.65) განგოლებათა სისტემის მარჯვენა მხარეში კეანძურ ძაბვებს ვანიჭებთ ნებისმიერ საწყის (დასაშვების ფარგლებში) მნიშვნელობებს $U_1^{(0)}, U_2^{(0)} \dots U_n^{(0)}$, რითაც მივიღებთ წრფივ განგოლებათა სისტემას და ამოვხსნით მას გაუსის მეთოდით (პირველი იტერაცია). მივიღებთ კეანძური ძაბვების პირველ მიახლოებას $U_1^{(1)}, U_2^{(1)} \dots U_n^{(1)}$. ძაბვითა ამ მნიშვნელობებს ჩავსვამთ (4.65) განგოლებათა სისტემის მარჯვენა მხარეში და ისევ გაუსის მეთოდის გამოყენებით მივიღებთ $U_1^{(2)}, U_2^{(2)} \dots U_n^{(2)}$, (მეორე იტერაცია) და ა.შ. გამოთვლების ამ პროცედურას ვაუაგრძელებთ მანამ, სანამ ყველა კეანძისთვის იტერაციის რომელიმე ბიჯზე არ შესრულდება პირობა

$$|U_i^{(K-1)} - U_i^{(K)}| < \varepsilon. \quad (4.66)$$

აქ ε - გაანგარიშების სიზუსტე, რომელიც წინასწარ შეირჩევა.

მარტივი იტერაციული მეთოდი. ვითვალისწინებთ, რომ $\|Y_{\Sigma}\|$ მატრიცის დიაგონალური ელემენტები $Y_{ii} \neq 0$ და (4.65) განგოლებათა სისტემის პირველი განგოლებიდან განვსაზღვრავთ U_1 , მეორედან - U_2 და ა.შ., გვაქვს:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{1}{Y_{11}} \left(\frac{S_1}{U_1} + U_0 Y_{10} + U_2 Y_{12} + U_3 Y_{13} + \dots + U_n Y_{1n} \right); \\ U_2 &= \frac{1}{Y_{22}} \left(\frac{S_2}{U_2} + U_0 Y_{20} + U_1 Y_{21} + U_3 Y_{23} + \dots + U_n Y_{2n} \right); \\ &\dots\dots\dots \\ U_n &= \frac{1}{Y_{nn}} \left(\frac{S_n}{U_n} + U_0 Y_{n0} + U_1 Y_{n1} + U_2 Y_{n2} + \dots + U_{n-1} Y_{n,n-1} \right) \end{aligned} \right\} \quad (4.67)$$

ანუ, მოგადად

$$U_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left(\frac{S_i}{U_i} + \sum_{j=0}^n U_j Y_{ij} \right) \quad i \neq L \quad (4.68)$$

* შენიშვნა: თუ კეანძის სიმძლავრე ჩანაცვლების სქემაზე წარმოდგენილი იქნება უცუელი სიდიდის დენით, მაშინ (4.65) განგოლებათა სისტემა წრფივია.

(4.67) განგოლებათა სისტემის მარჯვენა მხარეში შემავალ კვანძურ ძაბვებს მივყეთ საწყისი მნიშვნელობები $U_1^{(0)}, U_2^{(0)} \dots U_n^{(0)}$ და გამოთვალოთ ამავე ძაბვების პირველი მიახლოება $U_1^{(1)}, U_2^{(1)}, U_3^{(1)} \dots U_n^{(1)}$. ეს სიდიდეები ისევ ჩავსვათ იმავე სისტემის მარჯვენა მხარეში და გამოთვალოთ იმავე ძაბვების მეორე მიახლოება $U_1^{(2)}, U_2^{(2)}, U_3^{(2)} \dots U_n^{(2)}$. ეს იტერაციული პროცესი გავაგრძელოთ მანამ, სანამ არ შესრულდება (4.66) პირობა.

ზეიდელის მეთოდი. ზეიდელის იტერაციული მეთოდი წარმოადგენს მარტივი იტერაციის გარკვეულ მოდიფიკაციას, რომლის იდეა გულისხმობს მას, რომ იტერაციის k ბიჯზე $\underline{U}_i$ ცვლადის გამოსათვლელად გამოიყენება $f \geq 1$ ცვლადთა მნიშვნელობები, რომლებიც გამოთვლილია იტერაციის $k-1$ ბიჯზე და $f < 1$ ცვლადთა მნიშვნელობები, რომლებიც გამოთვლილია მიმდინარე k ბიჯზე. ამრიგად, გვაქვს:

$$\underline{U}_i^{(k)} = \frac{1}{Y_u} \left(\frac{S_i}{(\underline{U}_i)^{f-1}} + \sum_{r=0}^{f-1} \underline{U}_r^{(k)} Y_r + \sum_{r=1}^n \underline{U}_r^{(k-1)} Y_r \right) \quad (4.69)$$

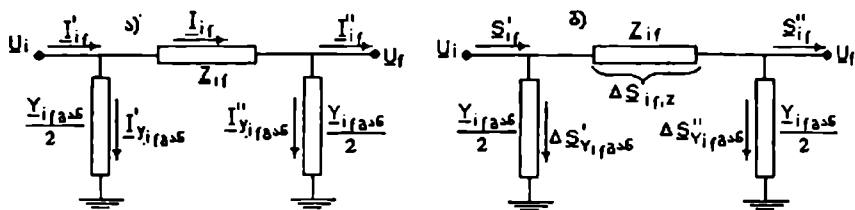
კვანძური ძაბვების განგოლებათა სისტემის ამოხსნისას საჭიროა მათემატიკური გამოთვლების მაღალი სიზუსტე (10^{-5} - 10^{-6} რიგის), ამიტომ აუცილებელია გამოთვლები ჩატარდეს კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით.

უნდა აღნიშნოს, რომ ზეიდელის მეთოდის უარყოფითი მხარეა იტერაციული პროცესის ნელა კრებადობა, ან ზოგჯერ განშლადობაც კი იმ შემთხვევაში: როცა ელექტრულ ქსელში გვაქვს გრძივი კომპენსაციის მოწყობილობა; სამგრაგნილა გრანსფორმატორები, რომელთა საშუალო ძაბვის გრაგნილის წინაღობა ძალიან მცირეა; აგრეთვე, დამძიმებული და მდგრადობის მღვართან მიახლოებული რეჟიმების გაანგარიშებისას.

4.6.3 რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება კვანძური ძაბვების საშუალებით

კვანძური ძაბვების მეთოდით რთული შეკრული ქსელების დამყარებული რეჟიმების გაანგარიშება მოიცავს თვითონ კვანძების ძაბვების განსაზღვრას ისეთი მათემატიკური მოდელით, რომელიც ამ ძაბვების დადგენასთან ერთად ადგენს ქსელის ცალკეულ უბნებზე და, მთლიანად ქსელში, დენებისა და სიმძლავრეების ნაკადებს და სიმძლავრისა და ძაბვების მოსალოდნელ დანაკარგებს. ამ თვალსაზრისით, შეიძლება ითქვას, რომ კვანძური ძაბვების მეთოდი ქსელის რეჟიმის გაანგარიშე-

ბის უნივერსალური მეთოდია. გაანგარიშების ეს პროცედურა განვიხილოთ 4.19 ნახაზის მაგალითზე.



ნახ. 4.19 დენების (ა) და სიმძლავრეთა (ბ) ნაკადების განსაზღვრა შტოებში

დენებისა და სიმძლავრეთა ნაკადების განსაზღვრა უზნის ბოლოების ცნობილი ძაბვების მიხედვით. ხაზის გრძივ წინააღობაში გაშვებული ჟამური დენი I_{if} , ომის კანონის თანახმად, განისაზღვრება (4.60) გამოსახულებით. I'_{if} (ნახ.4.19,ა), რომელიც I კეანძიდან შედის if ხაზში, კირხოფის I კანონის მიხედვით იქნება

$$I'_{if} = I_{if} + I'_{ifაა} = \frac{1}{\sqrt{3}} (\underline{U}_i - \underline{U}_f) \underline{Y}_{if} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \underline{U}_i \underline{Y}_{ifაა}, \quad (4.70)$$

ხოლო დენი I''_{if} , რომელიც if ხაზიდან შედის f კეანძში

$$I''_{if} = I_{if} - I''_{ifაბ} = \frac{1}{\sqrt{3}} (\underline{U}_i - \underline{U}_f) \underline{Y}_{if} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \underline{U}_f \underline{Y}_{ifაბ}, \quad (4.71)$$

სადაც: $\underline{U}_i, \underline{U}_f$ - I და f კეანძების ხაზური ძაბვები, რომელთა მნიშვნელობები დადგენილი იქნება გაანგარიშების პირველ ეტაპზე: $\underline{Y}_{if} = \frac{1}{\underline{Z}_{if}}$

$\underline{Y}_{ifაა}$ - ხაზის განივი გამტარობა; $\underline{Z}_{if} = R_{if} + jX_{if}$ - ხაზის გრძივი წინააღობა; $\underline{Y}_{ifაბ}$ - ხაზის განივი გამტარობა.

I კეანძიდან if ხაზში შეშვებული სამუშაო სიმძლავრე, ანუ სიმძლავრე ხაზის თავში (ნახ.4.19,ბ)

$$S'_{if} = \sqrt{3} \underline{U}_i (I'_{if})^* = \underline{U}_i^* \underline{Y}_{if}^* - \underline{U}_i \underline{U}_f^* \underline{Y}_{if}^* + \frac{1}{2} \underline{U}_i^* \underline{Y}_{ifაა}^*,$$

ანუ

$$S'_{if} = (\underline{U}_i^* - \underline{U}_i \underline{U}_f^*) \underline{Y}_{if}^* + \frac{1}{2} \underline{U}_i^* \underline{Y}_{ifაა}^* \quad (4.72)$$

if ხაზიდან f კეანძში შეშვებული სამუშაო სიმძლავრე, ანუ სიმძლავრე ხაზის ბოლოში

$$\underline{S}_r'' = \sqrt{3} \underline{U}_r (\underline{U}_r'') = \underline{U}_r' \underline{U}_r \underline{Y}_r' - \underline{U}_r^2 \underline{Y}_r' - \frac{1}{2} \underline{U}_r^2 \underline{Y}_{r\phi}' \quad (4.73)$$

ანუ

$$\underline{S}_r'' = (\underline{U}_r' \underline{U}_r - \underline{U}_r^2) \underline{Y}_r' - \frac{1}{2} \underline{U}_r^2 \underline{Y}_{r\phi}' \quad (6.74)$$

სიმძლავრის დანაკარგი ხაზში, რომელიც წარმოადგენს ხაზის თავსა და ბოლოში გამავალ სიმძლავრეთა სხვაობას

$$\Delta S_r = \underline{S}_r' - \underline{S}_r'' \quad (4.75)$$

შეიყავს დანაკარგებს როგორც ხაზის გრძივ წინაღობაში, ასევე მის განივ გამტარობაში. (4.72) და (4.74) გამოსახულებათა მიხედვით, გვაქვს

$$\Delta S_r = (\underline{U}_r^2 - \underline{U}_r \underline{U}_r' - \underline{U}_r' \underline{U}_r + \underline{U}_r^2) \underline{Y}_r' + \frac{1}{2} (\underline{U}_r^2 + \underline{U}_r^2) \underline{Y}_{r\phi}' \quad (4.76)$$

მათ შორის, დანაკარგები ხაზის გრძივ წინაღობაში

$$\Delta S_r = (\underline{U}_r^2 - \underline{U}_r \underline{U}_r' - \underline{U}_r' \underline{U}_r + \underline{U}_r^2) \underline{Y}_r' \quad (4.77)$$

და განივ გამტარობაში

$$\Delta S_{r,Y_{r\phi}} = \frac{1}{2} (\underline{U}_r^2 + \underline{U}_r^2) \underline{Y}_{r\phi}' \quad (4.78)$$

თუ (4.77) გამოსახულებათა შედეგებს აეჯამავთ სისტემის ყველა 1^ე უბნისთვის, მივიღებთ ქსელის ელექტროვადიუმიან ხაზებში სიმძლავრეთა ჯამურ დანაკარგებს.

კევანძებში სიმძლავრეთა ბალანსის თეალსაზრისით გამოთვლილი უნდა იქნეს ამ კევანძებში მიერთებული გრანსფორმატორების (რეაქტორების) განივ პარამეტრებშიც დანაკარგებიც

$$\Delta S_{r,Y_{r\phi}} = \underline{U}_r^2 \cdot \underline{Y}_{r\phi}' \quad (4.79)$$

4.6.4 კევანძური ძაბვების განგოლებათა სისტემა გრანსფორმატორული უბნების შემთხვევაში

4.6.1 პარაგრაფში მიღებული კევანძური ძაბვების განგოლებათა სისტემა შედგენილი და ჩაწერილია (გამოსახულება 4.6.5) იმ ქსელისთვის, რომელსაც გააჩნია ნომინალური ძაბვის მხოლოდ ერთი საფეხური (ან მისი ყოველი ელემენტის ელექტრული პარამეტრები მიყვანილია ერთი ნომინალური ძაბვის საფეხურზე). პრაქტიკულად, ელექტრული ქსელი შეიყავს რამდენიმე ნომინალური ძაბვის უბნებს, რომლებიც ერთმანეთს უკავშირდებიან გრანსფორმატორებითა და ავტოგრანსფორმატორებით.

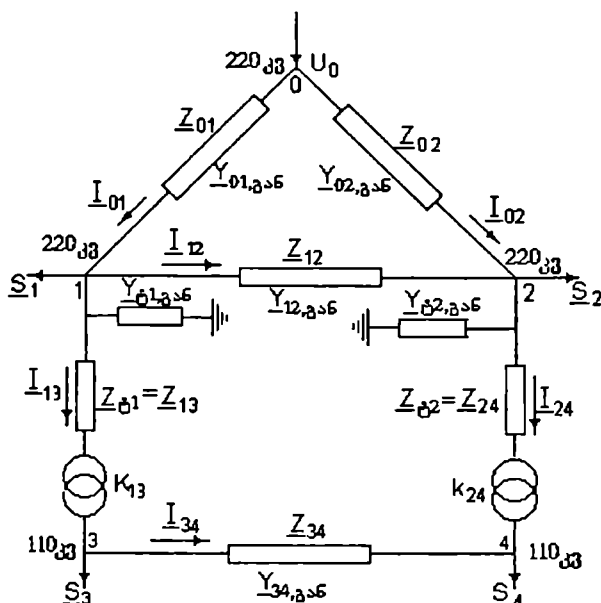
გრანსფორმატორების ელექტრული პარამეტრები, როგორც წესი, მიყვანილია მისი მაღალი ნომინალური ძაბვის საფეხურზე. გრანსფორმატორთა ერთერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელი პარამეტრია გრანსფორმაციის კოეფიციენტი, რომელსაც დაბალი ძაბვის მაღალ ძაბვასთან ფარდობის სახით წარმოადგენენ

$$K_{ij} = \frac{U_j}{U_i} < 1,$$

სადაც: i და j , შესაბამისად, ქსელის მაღალი და დაბალი ძაბვის კვანძები, რომელთაც ერომანეთთან აკავშირებს გრანსფორმატორი ან ავტოგრანსფორმატორი; U_i -მაღალი ძაბვა; U_j -დაბალი ძაბვა.

გრანსფორმატორული უბანი ქსელის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემაში ჩართულია Γ -სებრი ჩანაცვლები სქემით და მისი განივი გაზომვა მიერთებულია მაღალი ძაბვის კვანძთან.

შევადგინოთ 4.20 ნახაზზე ნაჩვენები ელექტრული ქსელისთვის კვანძური ძაბვების განგოლებათა სისტემა.



ნახ. 4.20 სხვადასხვა ნომინალური ძაბვის ქსელის ჩანაცვლების სქემა

ამ ქსელის ტრანსფორმატორული უბნებისთვის გვაქვს:

$$K_{13} = \frac{U_1}{U_1} \text{ და } K_{24} = \frac{U_4}{U_2}.$$

ელექტროგადაცემის ხაზების Π -სებრი ჩანაცვლების სქემის შესაბამისად კვანძებში ჩართული ჯამური განივი გამტარობები იქნება:

$$\underline{Y}_{1,გ} = \frac{1}{2}(\underline{Y}_{01,გ} + \underline{Y}_{12,გ}) + \underline{Y}_{61,გ};$$

$$\underline{Y}_{2,გ} = \frac{1}{2}(\underline{Y}_{02,გ} + \underline{Y}_{12,გ}) + \underline{Y}_{62,გ};$$

$$\underline{Y}_{3,გ} = \underline{Y}_{4,გ} = \frac{1}{2}\underline{Y}_{34,გ}.$$

შევიჩიოთ უბნებში გამავალი დენების მიმართულებები და კვანძებისთვის შევადგინოთ კირხჰოფის I კანონი:

$$\text{კვანძი „1“} \quad \underline{I}_{01} - \underline{I}_{12} - \underline{I}_{13} - \underline{I}_{1,გ} = \underline{I}_1;$$

$$\text{კვანძი „2“} \quad \underline{I}_{02} + \underline{I}_{12} - \underline{I}_{24} - \underline{I}_{2,გ} = \underline{I}_2;$$

$$\text{კვანძი „3“} \quad \frac{\underline{I}_{13}}{K_{13}} - \underline{I}_{34} - \underline{I}_{3,გ} = \underline{I}_3;$$

$$\text{კვანძი „4“} \quad \frac{\underline{I}_{24}}{K_{24}} + \underline{I}_{34} - \underline{I}_{4,გ} = \underline{I}_4.$$

ანუ

$$\frac{\underline{U}_0 - \underline{U}_1}{\sqrt{3}\underline{Z}_{01}} - \frac{\underline{U}_1 - \underline{U}_2}{\sqrt{3}\underline{Z}_{12}} - \frac{\underline{U}_1 - \frac{\underline{U}_3}{K_{13}}}{\sqrt{3}\underline{Z}_{13}} - \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3}} \cdot \underline{Y}_{1,გ} = \frac{\underline{S}_1}{\sqrt{3}\underline{U}_1},$$

$$\frac{\underline{U}_0 - \underline{U}_2}{\sqrt{3}\underline{Z}_{02}} + \frac{\underline{U}_1 - \underline{U}_2}{\sqrt{3}\underline{Z}_{12}} - \frac{\underline{U}_2 - \frac{\underline{U}_4}{K_{24}}}{\sqrt{3}\underline{Z}_{24}} - \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} \cdot \underline{Y}_{2,გ} = \frac{\underline{S}_2}{\sqrt{3}\underline{U}_2},$$

$$\frac{1}{K_{13}} \cdot \frac{\underline{U}_1 - \frac{\underline{U}_3}{K_{13}}}{\sqrt{3}\underline{Z}_{13}} - \frac{\underline{U}_3 - \underline{U}_4}{\sqrt{3}\underline{Z}_{34}} - \frac{\underline{U}_3}{\sqrt{3}} \underline{Y}_{3,გ} = \frac{\underline{S}_3}{\sqrt{3}\underline{U}_3};$$

$$\frac{1}{K_{24}} \cdot \frac{\underline{U}_2 - \frac{\underline{U}_4}{K_{24}}}{\sqrt{3}\underline{Z}_{24}} + \frac{\underline{U}_3 - \underline{U}_4}{\sqrt{3}\underline{Z}_{34}} - \frac{\underline{U}_4}{\sqrt{3}} \underline{Y}_{4,გ} = \frac{\underline{S}_4}{\sqrt{3}\underline{U}_4}$$

გარდაქმნების შემდეგ ელემენტობა კვანძური ძაბვების განგოლებათა სისტემას (4.80), სადაც გათვალისწინებულია ქსელის გრანსფორმატორული უბნების არსებობა.

$$\left. \begin{aligned} & \underline{U}_1(\underline{Y}_{01,გა} + \underline{Y}_{12,გა} + \underline{Y}_{13,გა} + \underline{Y}_{1,გა}) - \underline{U}_2 \underline{Y}_{12,გა} - \frac{1}{K_{13}} \underline{U}_3 \underline{Y}_{13,გა} = \\ & = -\frac{\underline{S}_1^*}{\underline{U}_1} + \underline{U}_0 \underline{Y}_{01,გა}; \\ & -\underline{U}_1 \underline{Y}_{12,გა} + \underline{U}_2(\underline{Y}_{02,გა} + \underline{Y}_{12,გა} + \underline{Y}_{24,გა} + \underline{Y}_{2,გა}) - \frac{1}{K_{24}} \underline{U}_4 \underline{Y}_{24,გა} = -\frac{\underline{S}_2^*}{\underline{U}_2} + \underline{U}_0 \underline{Y}_{02,გა}; \\ & -\frac{1}{K_{13}} \underline{U}_1 \underline{Y}_{13,გა} + \underline{U}_3 \left(\frac{1}{K_{13}^2} \underline{Y}_{13,გა} + \underline{Y}_{34,გა} + \underline{Y}_{3,გა} \right) - \underline{U}_4 \underline{Y}_{34,გა} = -\frac{\underline{S}_3^*}{\underline{U}_3}; \\ & -\frac{1}{K_{24}} \underline{U}_2 \underline{Y}_{24,გა} - \underline{U}_3 \underline{Y}_{34,გა} + \underline{U}_4 \left(\frac{1}{K_{24}^2} \underline{Y}_{24,გა} + \underline{Y}_{43,გა} + \underline{Y}_{4,გა} \right) = -\frac{\underline{S}_4^*}{\underline{U}_4} \end{aligned} \right\} \quad (4.80)$$

ამ განგოლებათა სისტემის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ განგოლებებში გრანსფორმატორული უბნები შეყვანილი უნდა იქნეს შემდეგი პრინციპით:

1. გრანსფორმატორული უბნის თავი და ბოლო კვანძების ურთიერთგამტარობა გამტარობათა მაგრიკაში ჩაიწერება როგორც გრანსფორმატორის გრძივი გამტარობა შემცირებული გრანსფორმატორის გრანსფორმატიის კოეფიციენტჯერ. ჩვენ შემთხვევაში

$$\underline{Y}_{13} = \underline{Y}_{31} = \frac{\underline{Y}_{13,გა}}{K_{13}} \quad \text{და} \quad \underline{Y}_{24} = \underline{Y}_{42} = \frac{\underline{Y}_{24,გა}}{K_{24}};$$

2. თუ კვანძთან გრანსფორმატორი მიერთებულია მაღალი ძაბვის მხრიდან, მაშინ კვანძის საკუთარი გამტარობის საანგარიშო გამოსახულებაში (4.64) გრანსფორმატორის გრძივი გამტარობა შედის უკვლელად. ჩვენს შემთხვევაში

$$\underline{Y}_{11} = \underline{Y}_{01,გა} + \underline{Y}_{12,გა} + \underline{Y}_{13,გა} + \underline{Y}_{1,გა}$$

და

$$\underline{Y}_{22} = \underline{Y}_{02,გა} + \underline{Y}_{12,გა} + \underline{Y}_{24,გა} + \underline{Y}_{2,გა};$$

3. თუ კვანძთან გრანსფორმატორი მიერთებულია დაბალი ძაბვის მხრიდან, მაშინ კვანძის საკუთარი გამტარობის საანგარიშო გამო-

სახელებში გრანსფორმატორის გრძივი გამტარობა შედის გრანსფორმატიის კოეფიციენტის კეადრაგჯერ შემცირებული. ჩვენ შემთხვევაში

$$\underline{Y}_{33} = \frac{1}{K_{13}^2} \underline{Y}_{13,კრძ} + \underline{Y}_{34,კრძ} + \underline{Y}_{3,კრძ}$$

და

$$\underline{Y}_{44} = \frac{1}{K_{24}^2} \underline{Y}_{24,კრძ} + \underline{Y}_{34,კრძ} + \underline{Y}_{4,კრძ}$$

4.7. ელექტრული ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინაღობები და სიმძლავრის დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულებები

ელექტრული წრედის ნებისმიერ უბანზე გამაჟალი დენის სიდიდე შეიძლება დადგენილი იქნეს კირხჟოჟის კანონების მიხედვით ჩაწერილ წრფივ განტოლებათა სისტემის ამოსხნის გმით. წრედის ნებისმიერი k კვანძის $\underline{I}_k$ კვანძური დენის მიერ გამოწეული ამავე წრედის ნებისმიერ i -ურ უბანში გამაჟალი $\underline{I}_{ik}$ დენი $\underline{I}_k$ დენის პროპორციულია

$$\underline{I}_{ik} = \underline{\alpha}_{ik} \cdot \underline{I}_k \quad (4.81)$$

აქ იგულისხმება, რომ ქსელის ყველა კვანძში კვანძური დენი მიმართულია კვანძისკენ. შესაბამისად, გენერაციის კვანძის შემთხვევაში კვანძური დენის რიცხვითი მნიშვნელობა აიღება “პლუს” (“+”) ნიშნით, ხოლო დატვირთვის კვანძის შემთხვევაში “მინუს” (“-”) ნიშნით. ამ შეთანხმებიდან გამომდინარე ქსელის მახალანსებელ “0” კვანძსა და რომელიმე f კვანძს შორის ძაბვის ვარდნის დადებითი მნიშვნელობა $\Delta \underline{U} = \underline{U}_f - \underline{U}_0$.

პროპორციულობის კოეფიციენტი $\underline{\alpha}_{ik} = \alpha'_{ik} + j\alpha''_{ik}$ გვიჩვენებს $\underline{I}_k$ დენის რა ნაწილი გადის i -ურ უბანში. ის ქსელის მოცემული კონფიგურაციისა და მისი ელემენტების ცნობილი ელექტრული პარამეტრების პირობებში მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს. მას განაწილების კოეფიციენტებს უწოდებენ.

მაშასადამე, წრედის i -ურ უბანში გამაჟალი დენი

$$\underline{I}_i = \sum_{k=1}^n \underline{\alpha}_{ik} \cdot \underline{I}_k = \sum_{k=1}^n (\alpha'_{ik} + j\alpha''_{ik}) \cdot \underline{I}_k$$

ამავე უბანზე ძაბვის ვარდნის ფაზური მნიშვნელობა

$$\Delta \underline{U}_i = \underline{I}_i \cdot \underline{Z}_i = \sum_{k=1}^n (\alpha'_{ik} + j \alpha''_{ik}) \cdot (R_i + jX_i) \underline{I}_k$$

$$\text{ანუ } \Delta \underline{U}_i = \sum_{k=1}^n [(\alpha'_{ik} R_i - \alpha''_{ik} X_i) + j(\alpha'_{ik} X_i + \alpha''_{ik} R_i)] \underline{I}_k$$

შევასრულებთ რა აჯამებას ნებისმიერი 0-f გზით, მივიღებთ ძაბვის ვარდნას მახალანსებელ კეანბიდან f კეანბამდე

$$\Delta \underline{U}_f = \sum_{i=0}^f \sum_{k=1}^n [(\alpha'_{ik} R_i - \alpha''_{ik} X_i) + j(\alpha'_{ik} X_i + \alpha''_{ik} R_i)] \underline{I}_k$$

ანუ

$$\Delta \underline{U}_f = \sum_{k=1}^n \underline{I}_k \cdot \underline{Z}_{fk} \quad (4.82)$$

$$\text{სადაც } \underline{Z}_{fk} = R_{fk} + jX_{fk} = \sum_{i=1}^n [(\alpha'_{ik} R_i - \alpha''_{ik} X_i) + j(\alpha'_{ik} X_i + \alpha''_{ik} R_i)],$$

წარმოადგენს გავლენის წინალობას, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა (ომებში) გვიჩვენებს რა სიდიდით შეიცვლება f კეანბში ძაბვის ფაზური მნიშვნელობა (ვოლტებში), როცა k კეანბში კეანბური დენი შეიცვლება 1 ამპერით. ამ წინალობას f და k კეანბების ურთიერთ წინალობას უწოდებენ. როცა k=f, მაშინ გვაქვს f კეანბის საკუთარი წინალობა $\underline{Z}_{ff}$.

მარტივად შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ $\underline{Z}_{ff} = \underline{Z}_{ff}$. აქედან გამომდინარე, ქსელის კეანბების საკუთარი და ურთიერთ წინალობათა მატრიცა სიმეტრიულ მატრიცას წარმოადგენს.

ქსელის კეანბების საკუთარი და ურთიერთ წინალობათა რიცხვითი მნიშვნელობების განსაზღვრა დაფუძნებულია ერთეულოვანი დენის მეთოდზე. კერძოდ,

$$\underline{Z}_{ff} = \underline{U}_f - U_0 \text{ და } \underline{Z}_{fk} = \underline{U}_k - U_0,$$

როცა $\underline{I}_k = 1 \text{ ამპ.}$ $\underline{I}_k = 0$, $k=1, 2, \dots, n$, $k \neq f$.

გამოთვლების გამარტივების მიზნით იღებენ $U_0=0$ და გვაქვს

$$\underline{Z}_{ff} = \underline{U}_f \text{ და } \underline{Z}_{fk} = \underline{U}_k, \quad (4.83)$$

როცა $\underline{I}_k = 1 \text{ ამპ.}$ $\underline{I}_k = 0$, $k=1, 2, \dots, n$, $k \neq f$.

ამ პირობებში კეანბების საკუთარი და ურთიერთ წინალობათა რიცხვითი მნიშვნელობების განსაზღვრა შესაძლებელია ქვემოთ ნაჩვენებ სახეში ჩაწერილი კეანბური ძაბვების განტოლებათა სისტემის

ამოხსნის გზით (განგოლებათა სისტემა შედგენილია f კვანძის მიმართ).

$$\underline{U}_1 \underline{Y}_{1-1} - \underline{U}_2 \underline{Y}_{1-2} \cdot \quad - \underline{U}_f \underline{Y}_{1-f} \quad - \underline{U}_n \underline{Y}_{1-n} = 0$$

$$\cdot \underline{U}_1 \underline{Y}_{f-1} - \underline{U}_2 \underline{Y}_{f-2} \cdot \quad + \underline{U}_f \underline{Y}_{f-f} \quad - \underline{U}_n \underline{Y}_{f-n} = 1$$

$$\cdot \underline{U}_1 \underline{Y}_{n-1} - \underline{U}_2 \underline{Y}_{n-2} \cdot \quad - \underline{U}_f \underline{Y}_{n-f} \quad + \underline{U}_n \underline{Y}_{n-n} = 0,$$

სადაც: $\underline{Y}_{i-j} = \sum_{j=0}^n \underline{Y}_{i-j}$, $j \neq i$ და $\underline{Y}_{i-j} = 1/\underline{Z}_{i-j}$, წარმოადგენს კვანძების

საკუთარ და ურთიერთ გამგარობებს. თავის მხრივ $\underline{Z}_{i-j}$ $i-j$ უბნის კომპლექსური წინაღობა, ომი.

ასეთი სახის განგოლებათა სისტემა უნდა დაიწეროს ყველა $f=1, 2,$

n კვანძის მიმართ ცალკეაღკე. ამოხსნის შედეგები (კვანძური ძაბვების მნიშვნელობები) რიცხობრივად კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინაღობათა გოლია. კერძოდ, $\underline{U}_1 = \underline{Z}_{11}$, $\underline{U}_2 = \underline{Z}_{22}$ და ა.შ.

ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინაღობათა რიცხვითი მნიშვნელობების განსაზღვრა შესაძლებელია, ასევე, ამავე კვანძების საკუთარი და ურთიერთ გამგარობათა მაგრიცის შებრუნების გზით.

ელექტრული ქსელის რევიმების ოპტიმიზაციის ამოცანათა ამოხსნისას უფრო მოხერხებულია ქსელის გრძივ წინაღობებში სიმძლავრის დანაკარგები ჩაიწეროს კვანძების გენერაცია-დაგვირთვების საშუალებით [32]. ქსელში სიმძლავრის ბალანსიდან გამომდინარე

$$\Delta \underline{S} = \sum_{f=0}^n \underline{S} = 3 \sum_{f=0}^n \underline{U}_f \cdot \underline{I}_f,$$

აქ $\underline{S}_f$ f კვანძის გენერაცია/დატვირთვა.

თავის მხრივ ძაბვა $\underline{U}_f = \underline{U}_0 + \Delta \underline{U}_f$ და, შესაბამისად,

$$\Delta \underline{S} = 3 \sum_{f=0}^n (\underline{U}_0 + \Delta \underline{U}_f) \cdot \underline{I}_f = 3 \underline{U}_0 \cdot \sum_{f=0}^n \underline{I}_f + 3 \sum_{f=0}^n \Delta \underline{U}_f \cdot \underline{I}_f$$

ამ გამოსახულებაში $\sum_{f=0}^n \underline{I}_f$, კირხჰოფის I კანონის თანახმად, ნულის

გოლია და გვაქვს

$$\Delta \underline{S} = 3 \sum_{f=1}^n \Delta \underline{U}_f \cdot I'_f$$

რადგანაც $\Delta \underline{U}_{f=0}=0$, გვაქვს

$$\Delta \underline{S} = 3 \sum_{f=1}^n \Delta \underline{U}_f \cdot I'_f$$

რომელშიც (4.82)-ის ჩასმის შემდეგ ვღებულობთ

$$\Delta \underline{S} = 3 \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \underline{I}_k \cdot \underline{Z}_{fk} I'_f = 3 \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \underline{I}_k \cdot (R_{fk} + jX_{fk}) I'_f$$

მიღებულ გამოსახულებაში კვანძური დენები შევცვალოთ კვანძური სიმძლავრეებით და ამასთან ჩავთვალოთ, რომ $\underline{U}_f = \underline{U}_k = U$ (U ქსელის მოცემულ რეჟიმში ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა), მაშინ ელექტრულ ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$\Delta P = \frac{1}{U^2} \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n (P_f P_k + Q_f Q_k) \cdot R_{fk} \quad (4.84)$$

ანალოგიურად

$$\Delta Q = \frac{1}{U^2} \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n (P_f P_k + Q_f Q_k) \cdot X_{fk} \quad (4.85)$$

ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები შეიძლება ჩაეწეროს ორი შესაკრების სახით, რომელთაგანაც პირველია აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები გამოწვეული კვანძების აქტიური სიმძლავრეებით, ხოლო მეორე კი დანაკარგები, გამოწვეული კვანძების რეაქტიული სიმძლავრეებით

$$\Delta P = \Delta P_P + \Delta P_Q = \frac{1}{U^2} \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n P_f P_k \cdot R_{fk} + \frac{1}{U^2} \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n Q_f Q_k \cdot R_{fk}$$

ანუ

$$\Delta P_P = \frac{1}{U^2} \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n P_f P_k \cdot R_{fk} \quad (4.86)$$

და

$$\Delta P_Q = \frac{1}{U^2} \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n Q_f Q_k \cdot R_{fk} \quad (4.87)$$

ანალოგიური გამოსახულებები ჩაიწერება რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგების მიმართაც.

მიღებული გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ კევანური სიმძლავრის შეყვლა იწვევს ქსელში დანაკარგები ცვლილებას და ამ ცვლილების სიდიდე დამოკიდებულია როგორც ქსელის კევანურ სიმძლავრეებზე, ასევე, ამ კევანების საკუთარ და ურთიერთ წინააღმდეგობებზე

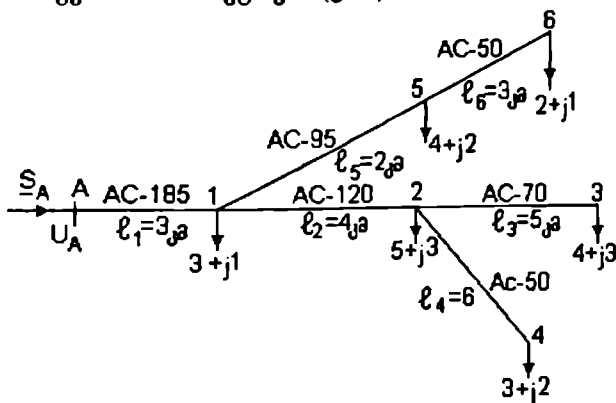
$$\sigma_{P_f} = \frac{\partial \Delta P}{\partial P_f} = \frac{2}{U^2} \sum_{k=1}^i P_k \cdot R_{fk} \quad (4.88)$$

$$\sigma_{Q_f} = \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_f} = \frac{2}{U^2} \sum_{k=1}^i Q_k \cdot R_{fk} \quad (4.89)$$

σ_{P_f} ეს არის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდი მოცემულა i კევანის მიმართ, რომელიც რიცხობრივად გოლია ქსელში დანაკარგების იმ ცვლილებისა, რაც გამოიწვია ამ კევანის აქტიური სიმძლავრის ერთი ერთეულით შეყვლა. ასევე, σ_{Q_f} ეს არის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდი მოცემულა i კევანის მიმართ, რომელიც რიცხობრივად გოლია ქსელში დანაკარგების იმ ცვლილებისა, რაც გამოიწვია ამ კევანის რეაქტიული სიმძლავრის ერთი ერთეულით შეყვლა.

4.8. მე-4 თავის რიცხვითი მაგალითები

მაგალითი 4.1 განესაზღვროთ 4.21 ნახაზზე მოცემული ელექტრული ქსელის რეჟიმის პარამეტრები (§4.2).



ნახ. 4.21

ამოხსნა. ეიპოვოთ ქსელის უბანთა გრძივი ელექტრული პარამეტრები ფორმულებით

$$R = \frac{32}{F} \ell; \quad X = 0,4 \cdot \ell.$$

გვაქვს:

$$\begin{aligned} Z_1 &= 0,52 + j1,2; & Z_2 &= 1,07 + j1,6 \\ Z_3 &= 2,29 + j2,0; & Z_4 &= 3,84 + j2,4 \\ Z_5 &= 0,67 + j0,80 & Z_6 &= 1,92 + j0,6 \end{aligned}$$

ცნობილია კვების ცენტრის ძაბვა $U_A = 36$ კვ.

რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება ჩავატაროთ ორ ეტაპად. პირველ ეტაპზე განესაზღვროთ სიმძლავრეთა დანაკარგები უბნებზე ნომინალური ძაბვის მიხედვით და დაედგინოთ სიმძლავრეთა ნაკადები.

დავიწყოთ ნებისმიერი ბოლო უბნიდან. ვთქვათ 2-3 უბანი:

$$S_{23}'' = 4 + j3;$$

$$\Delta S_{23} = \frac{4^2 + 3^2}{35^2} (2,29 + j2,0) = 0,05 + j0,04;$$

$$S_{23}' = 4,05 + j3,04.$$

უბანი 2-4

$$S_{24}'' = 3 + j2;$$

$$\Delta S_{24} = \frac{3^2 + 2^2}{35^2} (3,84 + j2,4) = 0,04 + j0,03;$$

$$S_{24}' = 3,04 + j2,03.$$

მე-2 კვანძისთვის დაეწეროთ კირხჰოფის პირველი კანონი და განესაზღვროთ S_{12}'' , გვაქვს

$$S_{12}'' = 5 + j3 + 4,05 + j3,04 + 3,04 + j2,03 = 12,09 + j8,07$$

$$\Delta S_{12} = \frac{12,09^2 + 8,07^2}{35^2} (1,07 + j1,6) = 0,18 + j0,28$$

$$S_{12}' = 12,27 + j8,35$$

უბანი 5-6

$$\underline{S}_{36}'' = 2 + j1$$

$$\underline{\Delta S}_{36} = \frac{2^2 + 1^2}{35^2} (1,92 + j0,6) = 0,01 + j0,0$$

$$\underline{S}_{36}' = 2,01 + j1,0$$

მე-5 კვანძისთვის დაწერილი კირხჰოფის პირველი კანონის მიხედვით გვაქვს:

$$\underline{S}_{15}'' = 6,01 + j3,0.$$

შესაბამისად,

$$\underline{\Delta S}_{15} = \frac{6,01^2 + 3^2}{35^2} (0,67 + j0,8) = 0,02 + j0,03 \text{ და } \underline{S}_{15}' = 6,03 + j3,03.$$

A-1 უბნისთვის:

$$\underline{S}_{A1}'' = 3 + j1 + 12,27 + j8,35 + 6,03 + j3,03 = 21,3 + j12,38;$$

$$\underline{\Delta S}_{A1} = \frac{21,3^2 + 12,38^2}{35^2} (0,52 + j1,2) = 0,26 + j0,59;$$

$$\underline{S}_A = \underline{S}_{A1}' = 21,56 + j12,97$$

მეორე ეტაპზე, კვების ცენტრის ცნობილი ძაბვის მიხედვით $U_A=36$ კვ, დაეადგინოთ ძაბვები კვანძებში. გამოთვალეთ მხოლოდ ძაბვის ვარდნის გრძივი შემდგენი

$$\Delta U_{A1} = \frac{21,56 \cdot 0,52 + 12,97 \cdot 1,2}{36} = 0,72 \text{ კვ};$$

$$U_1 = 36 - 0,72 = 35,28 \text{ კვ};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{12,27 \cdot 1,07 + 8,35 \cdot 1,6}{35,28} = 0,75 \text{ კვ};$$

$$U_2 = 35,28 - 0,75 = 34,53 \text{ კვ};$$

$$\Delta U_{23} = \frac{4,05 \cdot 2,29 + 3,04 \cdot 2}{34,53} = 0,44 \text{ კვ};$$

$$U_3 = 34,53 - 0,44 = 34,09 \text{ კვ};$$

$$\Delta U_{24} = \frac{3,04 \cdot 3,84 + 2,03 \cdot 2,6}{34,53} = 0,48 \text{ კვ};$$

$$U_4 = 34,53 - 0,48 = 34,05 \text{ კვ};$$

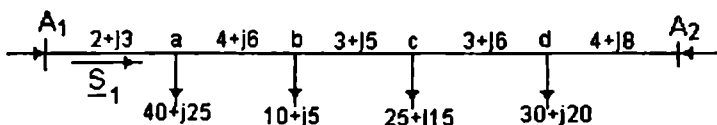
$$\Delta U_{15} = \frac{6,03 \cdot 0,67 + 3,03 \cdot 0,8}{35,28} = 0,18 \text{ კვ};$$

$$U_s = 35,28 - 0,18 = 35,10 \text{ კვ};$$

$$\Delta U_{s6} = \frac{2,01 \cdot 1,92 + 1 \cdot 0,6}{35,1} = 0,13 \text{ კვ};$$

$$U_6 = 35,10 - 0,13 = 34,97 \text{ კვ}.$$

მაგალითი 4.2 განესაზღვროთ 4.22 ნახაზზე წარმოდგენილი ორმსრივი კეების ქსელის რეკიმის პარამეტრები.

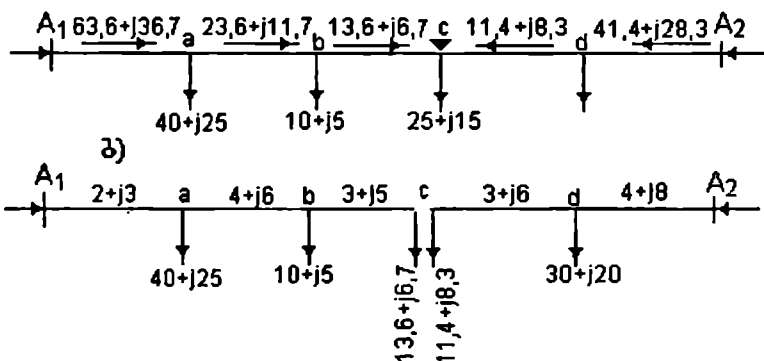


ნახ. 4.22

ამოხსნა. A_1, a სათავე უბანზე გამავალი სიმძლავრე (გამოსახელება 4.33)

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{1}{Z_{A_1 A_2}} \sum_{m=1}^n S_m Z_{m A_2}^* = \frac{1}{16 - j28} [(40 + j25)(14 - j25) + (10 + j5) + \\ &+ (10 - j19) + (25 + j15)(7 - j14) + (30 + j20)(4 - j8)] = \\ &= 63,63 + j36,67 \text{ მვა} \end{aligned}$$

ქსელში სიმძლავრეთა განაწილება ნაჩვენებია 4.23, ა ნახაზზე



ნახ. 4.23

როგორც ეხედავთ სიმძლავრეთა გაშყოფი კევანძია c . გაეხსნათ ქსელი ამ კევანძში. მივიღებთ ორ ღია ქსელს (ნახ.4.23,ბ), რომლის ბოლოებში დატვირთვა შესაბამისად იქნება

$$\underline{S}_{C1} = \underline{S}_{bc} = 13,63 + j6,67$$

და

$$\underline{S}_{C2} = \underline{S}_{dc} = 11,37 + j8,33$$

შევირჩიოთ ძაბვა c კვანძში - $U_c = 110$ კვ და რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება ჩავატაროთ „ბოლოს მონაცემებით“. სიმძლავრე bc უბნის ბოლოში

$$\underline{S}_{bc}'' = \underline{S}_{C1} = 13,63 + j6,67 \text{ მგვა.}$$

სიმძლავრის დანაკარგები ამ უბანში

$$\underline{\Delta S}_{bc} = \frac{13,63^2 + 6,67^2}{110^2} (3 + j5) = 0,06 + j0,1 \text{ მგვა.}$$

ძაბვის ვარდნა ამავე უბანში

$$\underline{\Delta U}_{bc} = \frac{13,63 \cdot 3 + 6,67 \cdot 5}{110} + j \frac{13,63 \cdot 5 - 6,67 \cdot 3}{110} = 0,67 + j0,44 \text{ კვ.}$$

სიმძლავრე bc უბნის ბოლოში

$$\underline{S}_{bc}' = 13,63 + j6,67 + 0,06 + j0,1 = 13,69 + j6,77.$$

ძაბვა b კვანძში

$$\underline{U}_b = 110 + 0,67 + j0,44 = 110,67 + j0,44$$

$$U_b = \sqrt{110,67^2 + 0,44^2} = 110,67 + \frac{0,44^2}{2 \cdot 110,67} = 110,67 \text{ კვ}$$

სიმძლავრე ab უბნის ბოლოში

$$\underline{S}_{ab}'' = \underline{S}_b + \underline{S}_{bc}' = 23,69 + j11,77 \text{ მგვა.}$$

სიმძლავრის დანაკარგები ამ უბანში

$$\underline{\Delta S}_{ab} = \frac{23,69^2 + 11,77^2}{110,67^2} (4 + j6) = 0,23 + j0,34 \text{ მგვა.}$$

ძაბვის ვარდნა ამავე უბანში

$$\underline{\Delta U}_{ab} = \frac{23,69 \cdot 4 + 11,77 \cdot 6}{110,67} + j \frac{23,69 \cdot 6 - 11,77 \cdot 4}{110,67} = 1,49 + j0,86 \text{ კვ}$$

ძაბვა a კვანძში

$$\underline{U}_a = 110,67 + 1,49 + j0,86 = 112,16 + j0,86$$

ძაბვის მოდული

$$U_a = \sqrt{112,16^2 + 0,86^2} = 112,16 + \frac{0,86^2}{2 \cdot 112,86} = 112,16 \text{ კვ}$$

სიმძლავრე ab უბნის თავში

$$\underline{S}_{ab}' = 23,69 + j11,77 + 0,23 + j0,34 = 23,92 + j12,11 \text{ მგვა}$$

სიმძლავრე A_1 ა უბნის ბოლოში

$$\underline{S}'_{A_1a} = 23,92 + j12,11 + 40 + j25 = 63,92 + j37,11.$$

სიმძლავრის დანაკარგები ამ უბანში

$$\underline{\Delta S}_{A_1a} = \frac{63,92^2 + 37,11^2}{112,16^2} (2 + j3) = 0,87 + j1,30 \text{ მგვა}.$$

ძაბვის ვარდნა ამავე უბანზე

$$\underline{\Delta U}_{A_1a} = \frac{63,92 \cdot 2 + 37,11 \cdot 3}{112,16} + j \frac{63,92 \cdot 3 - 37,11 \cdot 2}{112,16} = 2,13 + j1,05 \text{ კვ}.$$

სიმძლავრე A_1 ა უბნის თავში

$$\underline{S}'_{A_1a} = 63,92 + j37,11 + 0,87 + j1,30 = 64,79 + j38,41 \text{ მგვა}.$$

ძაბვა A_1 კვების წუნგრში

$$\underline{U}_{A_1} = 112,16 + 1,13 + j2,13 + j1,05 = 114,29 + j1,05 \text{ კვ}$$

ძაბვის მოდული

$$U_{A_1} = \sqrt{114,29^2 + 1,05^2} = 114,29 + \frac{1,05^2}{2 \cdot 114,29} = 114,29 \text{ კვ}$$

ვიანგარიშით მარჯვენა ღია ქსელის (ნახ.4.23,ბ) რეკიშის პარამეტრები. სიმძლავრე d უბნის ბოლოში

$$\underline{S}''_{dc} = \underline{S}_{c2} = 11,37 + j8,33 \text{ მგვა}$$

სიმძლავრის დანაკარგები ამ უბანში

$$\underline{\Delta S}_{dc} = \frac{11,37^2 + 8,33^2}{110^2} (3 + j6) = 0,05 + j0,10 \text{ მგვა}$$

ძაბვის ვარდნა ამავე უბანში

$$\underline{\Delta U}_{dc} = \frac{11,37 \cdot 3 + 8,33 \cdot 6}{110} + j \frac{11,37 \cdot 6 - 8,33 \cdot 3}{110} = 0,76 + j0,39 \text{ კვ}$$

სიმძლავრე d უბნის თავში

$$\underline{S}'_{dc} = 11,37 + j8,33 + 0,05 + j0,1 = 11,42 + j8,43 \text{ მგვა}$$

ძაბვა d კვანძში

$$\underline{U}_d = 110 + 0,76 + j0,39 = 110,76 + j0,09$$

ძაბვის მოდული

$$U_d = \sqrt{110,76^2 + 0,39^2} = 110,76 \text{ კვ}$$

სიმძლავრე A_2 d უბნის ბოლოში

$$\underline{S}''_{A_2d} = 11,42 + j8,43 + 30 + j20 = 41,42 + j28,43 \text{ მგვა}$$

სიმძლავრის დანაკარგი ამ უბანში

$$\underline{\Delta S}_{A_{2d}} = \frac{41,42^2 + 28,43^2}{110,76^2} (4 + j8) = 0,82 + j1,65 \text{ მგვა}$$

ძაბვის ვარდნა ამავე უბანში

$$\underline{\Delta U}_{A_{2d}} = \frac{41,42 \cdot 4 + 28,43 \cdot 8}{110,76} + j \frac{41,42 \cdot 8 - 28,43 \cdot 4}{110,76} = 3,55 + j1,97 \text{ კვ}$$

სიმძლავრე A_{1d} უბნის თავში

$$\underline{S}'_{A_{2d}} = 41,42 + j28,43 + 0,82 + j1,65 = 42,24 + j30,08 \text{ მგვა}$$

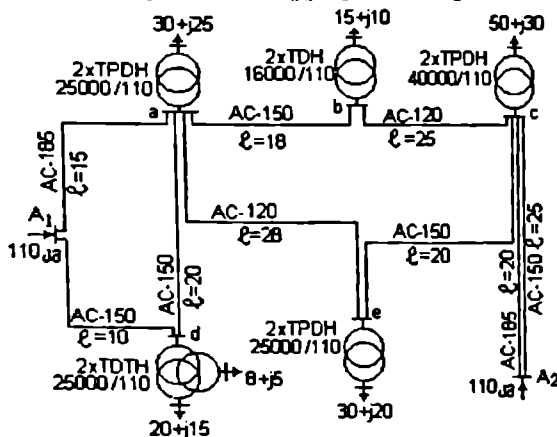
ძაბვა A_2 კეების ცენტრში

$$\underline{U}_{A_2} = 110,76 + 3,55 + j1,97 = 114,31 + j1,97 \text{ კვ}$$

ძაბვის მოდული

$$U_{A_2} = \sqrt{114,31^2 + 1,97^2} = 114,31 + \frac{1,97^2}{2 \cdot 114,91} = 114,33 \text{ კვ}$$

მაგალითი 4.3. 4.24 ნახაზზე მოცემული 110 კვ ძაბვის ორმხრივი ქევის ქსელისთვის შევადგინოთ ჩანაცულების საანგარიშო სქემა.



ნახ. 4.24

ამოხსნა. 1. განვსაზღვროთ ქსელის ელემენტთა ელექტრული პარამეტრები:

ა) ელექტროგადაცემის ხაზები. დ-2 ცხრილიდან სადენის მარკის მიხედვით ამოვიწეროთ 1კმ სიგრძის ხაზის ელექტრული პარამეტრები r_0, X_0, b_0 და გამოვთვალოთ თითოეული ხაზის აქტიური და რეაქტიული წინააღობები და ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე

რე შემდეგი ფორმულებით: $R = r_0 \cdot \ell$; $X = x_0 \ell$; $\Delta Q_c = U_n^2 b_0 \ell$. გამოთვლების შედეგი წარმოადგინოთ ცხრილის სახით (ცხრ.4.1).

ბ) გრანსფორმატორები. დ-52 და დ-6.1 ცხრილებიდან ამოვიწეროთ გრანსფორმატორთა ელექტრული პარამეტრები და გამოვთვალოთ პარალელურად ჩართული გრანსფორმატორების ეკვივალენტური პარამეტრები თითოეული ქვესადგურის მიხედვით. გამოთვლების შედეგი წარმოადგინოთ ცხრილის სახით (ცხრ.4.2).

ცხრ.1.

ხაზის დასახელება	სადენის მარკა	ხაზის სიგრძე კმ	1კმ სიგრძის ხაზის პარამეტრები, როცა $D_{\text{საშ.}} = 4,58$			ხაზის პარამეტრები		
			r_0 ომ/კმ	x_0 ომ/კმ	$b_0 \cdot 10^{-6}$ სიმ/კმ	R ომი	X ომი	ΔQ_c მგვარ
A ₁ a	AC-185	15	0,16	0,402	2,84	2,4	6,03	0,52
A ₁ d	AC-150	10	0,2	0,409	2,79	2,0	4,09	0,34
da	AC-150	20	0,2	0,409	2,79	4,0	8,18	0,68
ab	AC-150	18	0,2	0,409	2,79	3,6	7,36	0,61
ae	AC-120	28	0,25	0,416	2,74	7,0	11,65	0,93
bc	AC-120	25	0,25	0,416	2,74	6,3	10,4	0,83
ec	AC-150	20	0,2	0,409	2,79	4,0	8,18	0,68
(A ₂ c) ₁	AC-185	20	0,16	0,402	2,84	3,2	8,04	0,69
(A ₂ c) ₂	AC-150	25	0,2	0,409	2,79	5,0	10,23	0,84

ცხრ.4.2

ქვესადგური	გრ-რის რაოდ. და ტიპი	ერთი გრ-რის ელექტრული პარამეტრები				ეკვივალენტური პარამეტრები			
		R, ომი	X, ომი	$\Delta P_{\text{კს}}$ კვტ	$\Delta Q_{\text{კს}}$ კვარ	R, ომი	X, ომი	$\Delta P_{\text{კს}}$ კვტ	$\Delta Q_{\text{კს}}$ კვარ
a	2ХТРДН-25000/110	2,54	55,9	27	175	1,27	28,0	54	350
b	2ХТДН-16000/110	4,38	86,7	19	112	2,19	43,4	38	224
c	2ХТРДН-40000/110	1,4	34,7	36	260	0,7	17,4	72	520
d	2ХТДН-25000/110	1,5	54	36	250	0,75	27	72	500
e	2ХТРДН-25000/110	1,5	0	27	175	0,75	0	54	350
		1,5	33			0,75	16,5		
		2,54	55,9			1,27	28,0		

განვსაზღვროთ ქვესაღგურთა საანგარიშო დატვირთვები, რისთვისაც პირველ რიგში გამოეთვალეთ ქვესაღგურის გრანსფორმატორებში სიმძლავრის დანაკარგები ნომინალური ძაბვის მიხედვით (გამოსახულება (4.1) – (4.3)).

ქვესაღგური a

$$\Delta P = 0,054 + \frac{30^2 + 25^2}{110^2} \cdot 1,27 = 0,21 \text{ მგვტ}$$

$$\Delta Q = 0,35 + \frac{30^2 + 25^2}{110^2} \cdot 28,0 = 3,88 \text{ მგვარ}$$

$$S_{\text{საანგ.ქვ. a}} = 30 + j25 + 0,21 + j3,88 = 30,21 + j28,88 \text{ მგვა}$$

ქვესაღგური b

$$\Delta P = 0,038 + \frac{15^2 + 10^2}{110^2} \cdot 2,19 = 0,1 \text{ მგვტ}$$

$$\Delta Q = 0,224 + \frac{15^2 + 10^2}{110^2} \cdot 43,4 = 1,39 \text{ მგვარ}$$

$$S_{\text{საანგ.ქვ. b}} = 15 + j10 + 0,1 + j1,39 = 15,1 + j1,39 \text{ მგვა}$$

ქვესაღგური c

$$\Delta P = 0,072 + \frac{50^2 + 30^2}{110^2} \cdot 0,7 = 0,27 \text{ მგვტ}$$

$$\Delta Q = 0,52 + \frac{50^2 + 30^2}{110^2} \cdot 17,4 = 5,41 \text{ მგვარ}$$

$$S_{\text{საანგ.ქვ. c}} = 50 + j30 + 0,27 + j5,41 = 50,27 + j35,41 \text{ მგვა}$$

ქვესაღგური d

$$\Delta P = 0,072 + \frac{28^2 + 20^2}{110^2} \cdot 0,75 + \frac{8^2 + 5^2}{110^2} \cdot 0,75 + \frac{20^2 + 15^2}{110^2} \cdot 0,75 = 0,19 \text{ მგვტ}$$

$$\Delta Q = 0,5 + \frac{28^2 + 20^2}{110^2} \cdot 27 + \frac{8^2 + 5^2}{110^2} \cdot 0 + \frac{20^2 + 15^2}{110^2} \cdot 16,5 = 3,99 \text{ მგვარ}$$

$$S_{\text{საანგ.ქვ. d}} = 28 + j20 + 0,9 + j3,99 = 28,19 + j23,99 \text{ მგვა}$$

ქვესაღგური e

$$\Delta P = 0,054 + \frac{30^2 + 20^2}{110^2} \cdot 1,27 = 0,19 \text{ მგვტ}$$

$$\Delta Q = 0,35 + \frac{30^2 + 20^2}{110^2} \cdot 28 = 3,36 \text{ მგვარ}$$

$\underline{S}_{\text{სარგ.ე}} = 30 + j20 + 0,19 + j3,36 = 30,19 + j23,36 \text{ მვტა}$
 გამოთვალეთ კვანძების საანგარიშო დატვირთვები (გამოსახულება 4.7).

კვანძი A_1

$$\underline{S}_{\text{სარგ.ე } A_1} = -j\frac{1}{2}(0,52 + 0,34) = -j0,43$$

კვანძი a

$$\underline{S}_{\text{სარგ.ე } a} = 30,21 + j28,88 - j\frac{1}{2}(0,52 + 0,68 + 0,61 + 0,93) = 30,21 + j27,51$$

კვანძი b

$$\underline{S}_{\text{სარგ.ე } b} = 15,1 + j11,39 - j\frac{1}{2}(0,61 + 0,83) = 15,1 + j10,67$$

კვანძი c

$$\underline{S}_{\text{სარგ.ე } c} = 50,27 + j35,41 - j\frac{1}{2}(0,83 + 0,68 + 0,69 + 0,84) = 50,27 + j33,89$$

კვანძი d

$$\underline{S}_{\text{სარგ.ე } d} = 28,19 + j23,99 - j\frac{1}{2}(0,34 + 0,68) = 28,19 + j23,48$$

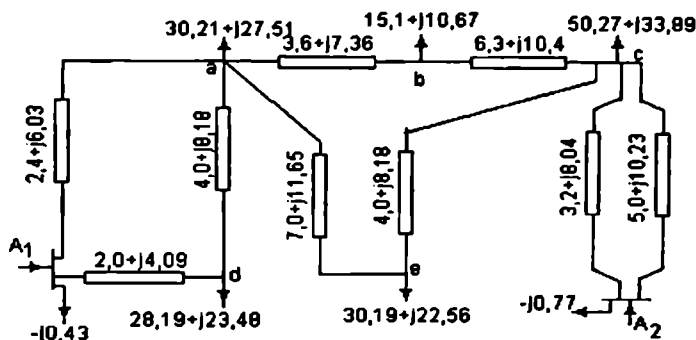
კვანძი e

$$\underline{S}_{\text{სარგ.ე } e} = 30,19 + j23,36 - j\frac{1}{2}(0,93 + 0,68) = 30,19 + j22,56$$

კვანძი A_2

$$\underline{S}_{\text{სარგ.ე } A_2} = -j\frac{1}{2}(0,69 + 0,84) = -j0,77 \text{ მვტარ.}$$

ჩატარებული გამოთვლების საფუძველზე შევადგინოთ ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა (ნახ.4.25)



ნახ. 4.25

მაგალითი 4.4. 4.25 ნახაზზე ნაჩვენებ ორმხრივი კეების ქსელში განესაზღვროთ სიმძლავრეთა განაწილება გამარტივების ხერხების გამოყენებით.

ამოხსნა. მოვასდინოთ პარალელური უბნების შუალედური კვანძური დატვირთვების გადაგანა უბნის ბოლოებში (გამოსახულება 4.54; 4.55)

$$\underline{S}_{d \rightarrow A_1} = (28.19 + j23.48) \cdot \frac{4.0 - j8.18}{6.0 - j12.27} = 19.46 + j15.65;$$

$$\underline{S}_{d \rightarrow e} = (28.19 + j23.48) - (19.46 + j15.65) = 8.71 + j7.83;$$

$$\underline{S}_{b \rightarrow a} = (15.1 + j10.67) \cdot \frac{6.3 - j10.4}{9.9 - j17.77} = 9.24 + j6.32;$$

$$\underline{S}_{b \rightarrow c} = (15.1 + j10.67) - (9.24 + j6.32) = 5.86 + j4.35;$$

$$\underline{S}_{e \rightarrow a} = (30.19 + j22.56) \cdot \frac{4.0 - j8.18}{11.0 - j19.83} = 11.64 + j9.67;$$

$$\underline{S}_{e \rightarrow c} = (30.19 + j22.56) - (11.64 + j9.67) = 18.55 + j12.89.$$

რეზულტიური დატვირთვები დარჩენილ კვანძებში:

$$\underline{S}_{A_1, \text{რეზ}} = 19.46 + j15.65 - j0.43 = 19.46 + j15.22;$$

$$\begin{aligned} \underline{S}_{a, \text{რეზ}} &= (30.21 + j27.51) + (8.71 + j7.83) + (9.24 + j6.32) + \\ &+ (11.64 + j9.67) = 59.8 + j51.33; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{S}_{c, \text{რეზ}} &= (50.27 + j33.89) + (5.86 + j4.35) + (18.55 + j12.89) = \\ &= 74.68 + j51.13; \end{aligned}$$

$$\underline{S}_{A_2, \text{რეზ}} = -j0.77.$$

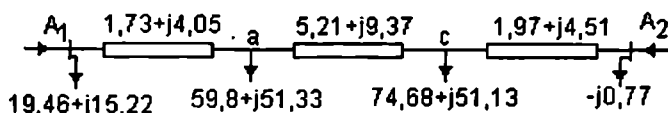
გამოთვალთ პარალელური უბნების ეკვივალენტური წინაღობები:

$$Z_{A1, a, 33} = \frac{(2,4 + j6,03)(6,0 + j12,27)}{8,4 + j18,30} = 1,73 + j4,05;$$

$$Z_{ac, 33} = \frac{(9,9 + j17,76)(11,0 + j19,83)}{20,9 + j37,59} = 5,21 + j9,37;$$

$$Z_{ca2, 33} = \frac{(3,2 + j8,04)(5,0 + j10,23)}{8,2 + j18,27} = 1,97 + j4,51.$$

გამარტივების შემდეგ გვაქვს შემდეგი სახის ჩანაცვლების ეკვივალენტური სქემა (ნახ. 4.26).

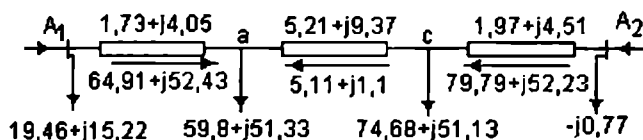


ნახ. 4.26

ამ ქსელის მარცხენა სათავე უბანზე გამავალი სიმძლავრე (გამოსახულება 4.33)

$$S_{A1a} = \frac{1}{8,91 - j17,93} [(59,8 + j51,33)(7,18 - j13,88) + (74,68 + j51,13)(1,97 - j4,51)] = 64,91 + j52,43 \text{ მგვა}$$

მაშასადამე, ეკვივალენტურ ჩანაცვლების სქემაზე სიმძლავრეთა განაწილებას აქვს შემდეგი სახე (ნახ.4.27)



ნახ. 4.27

ეკვივალენტურ უბნებში გამავალი სიმძლავრე გავანაწილოთ შესაბამისი პარალელური მტოების შეუღლებულ წინააღობათა უკუპროპორციულად:

$$S'_{A1a} = (64,91 + j52,43) \cdot \frac{6,0 - j12,27}{8,4 - j18,30} = 43,15 + j36,63;$$

$$S'_{a1d} = (64,91 + j52,43) - (43,15 + j36,63) = 21,76 + j15,8;$$

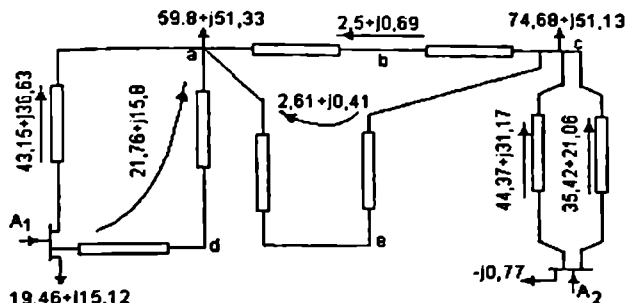
$$S'_c = (5,11 + j1,1) \cdot \frac{(11,0 - j19,83)}{20,9 - j37,59} = 2,5 + j0,69;$$

$$S'_e = (5,11 + j1,1) - (2,5 + j0,69) = 2,61 + j0,41;$$

$$\underline{S}_{(A2c)_1} = (79,79 + j52,23) \cdot \frac{5,0 - j10,23}{8,2 - j18,27} = 44,37 + j31,17;$$

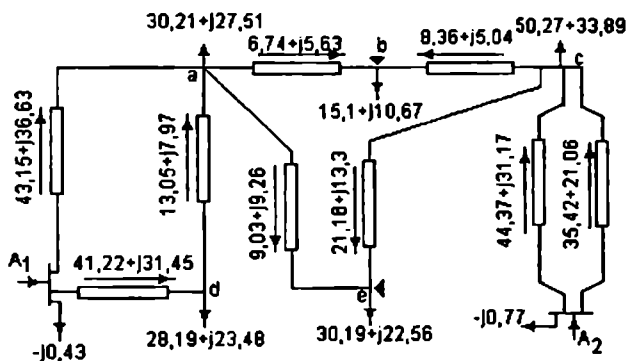
$$\underline{S}_{(A2c)_2} = (79,79 + j52,23) - (44,37 + j31,17) = 35,42 + j21,06.$$

ამ გამოთვლების საფუძველზე ელბულობით სიმძლავრეთა განაწილების შუალედურ სახეს (ნახ.4.28).



ნახ. 4.28

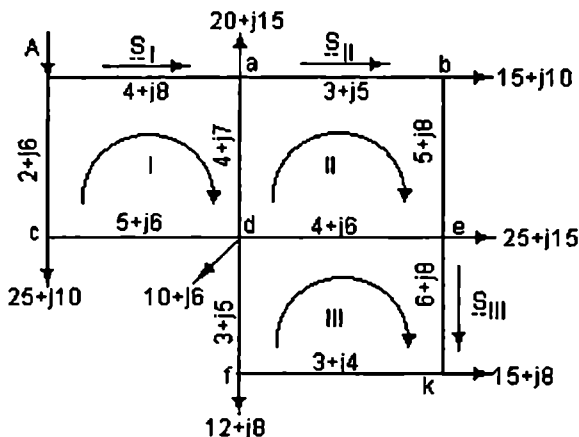
შუალედური კვანძებიდან გადგანილი დაგვირთვების უკან დაბრუნების შემდეგ მივიღებთ სიმძლავრეთა განაწილებას საწყისი ქსელისთვის (ნახ.4.29).



ნახ. 4.29.

მაგალითი 4.5. განესაზღვროთ სიმძლავრეთა განაწილება 110 კე ძაბვის შეერულ ქსელში (ნახ.4.30). კვანძური დაგვირთვები მოცემულია მუგავოლტამპერებში, ხოლო უბანთა წინაღობები ომებში.

ამოცანა ამოცხნათ ორი გზით, კონტურულ განგოლებათა სისტემის გამოყენებით და ჩანაცვლების სქემის გამარტივების ხერხების გამოყენებით.



ნახ. 4.30

კონტურულ განგოლებათა სისტემის ამოხსნა. კონტურულ განგოლებათა სისტემა შევადგინოთ 4.5.1 პარაგრაფში ჩამოყალიბებული სქემის მიხედვით. დამოუკიდებელ კონტურებში მოვნიშნოთ კონტურული სიმძლავრეები (ნახ.4.30) და გვაქვს:

$$\begin{aligned} & \underline{S}_I(15-j27) - \underline{S}_{II}(4-j7) - (25+j10)(2-j6) - (10+j6)(7-j12) - \\ & - (20+j15)(11-j19) - (12+j8)(7-j12) - (15+j8)(7-j12) - \\ & - (25+j15)(7-j12) - (15+j10)(7-j12) = 0; \\ & -\underline{S}_I(4-j7) + \underline{S}_{II}(16-j26) - \underline{S}_{III}(4-j6) + (20+j15)(4-j7) - \\ & - (25+j15)(4-j6) - (15+j10)(9-j14) = 0; \\ & -\underline{S}_{II}(4-j6) + \underline{S}_{III}(16-j23) - (12+j8)(3-j5) - (15+j8)(6-j9) + \\ & + (25+j15)(4-j6) + (15+j10)(4-j6) = 0. \end{aligned}$$

ანუ

$$\left. \begin{aligned} & \underline{S}_I(15-j27) - \underline{S}_{II}(4-j7) - 1718 + j940 = 0 \\ & -\underline{S}_I(4-j7) + \underline{S}_{II}(16-j26) - \underline{S}_{III}(4-j6) - 280 + j130 = 0 \\ & -\underline{S}_{II}(4-j6) + \underline{S}_{III}(16-j23) + 72 - j17 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.81)$$

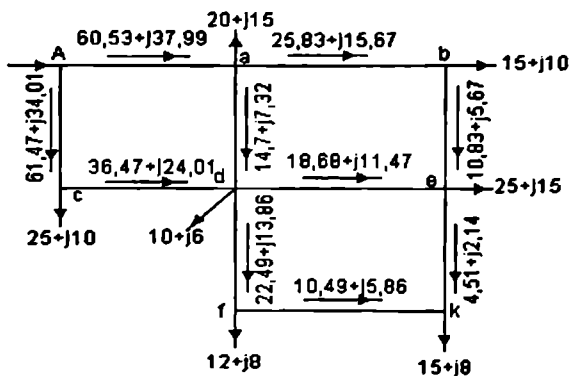
ამ განგოლებათა სისტემის პირდაპირი ამოხსნით ეღებულობთ

$$\underline{S}_I = 60,53 + j37,99$$

$$\underline{S}_{II} = 25,83 + j15,67$$

$$\underline{S}_{III} = 4,51 + j2,14$$

ამრიგად, სიმბლერეთა განაწილებას აქვს 4.31 ნახაზზე ნაჩვენები სახე.



ნახ. 4.31

მეიღელის მეთოდის გამოყენებისას (4.81) კონტურულ გარტოლებათა სისტემა ჩაიწერება შემდეგ სახეში

$$\begin{aligned} S_I &= \frac{1718 - j940}{15 - j27} + \frac{4 - j7}{15 - j27} S_{II}, \\ S_{II} &= \frac{280 - j130}{16 - j26} + \frac{4 - j7}{16 - j26} S_I + \frac{4 - j6}{16 - j26} S_{III}, \\ S_{III} &= \frac{-72 + j17}{16 - j23} + \frac{4 - j6}{16 - j23} S_{II}. \end{aligned}$$

ნულოვან მიახლოებად ავიღოთ $S_{II} = S_{III} = 0$, მაშინ პირველ ბიჯზე

$$S_I^{(1)} = 53,62 + j33,84;$$

$$S_{II}^{(1)} = 8,43 + j5,58 + (0,26 + j0,002)(53,62 + j33,84) = 22,52 + j14,40;$$

$$S_{III}^{(1)} = -1,97 - j1,76 + (0,257 - j0,005)(23,04 + j14,4) = 3,02 + j1,82.$$

მეორე ბიჯზე

$$S_I^{(2)} = 53,62 + j33,84 + (0,261 + j0,003)(22,52 + j14,41) = 59,49 + j37,67$$

$$\begin{aligned} S_{II}^{(2)} &= 8,43 + j5,58 + (0,264 + j0,002)(59,49 + j37,67) + \\ &+ (0,236 + j0,009) \cdot (3,02 + j1,82) = 24,84 + j16,10 \end{aligned}$$

$$S_{III}^{(2)} = -1,97 - j1,76 + (0,257 - j0,005)(24,4 + j16,10) = 4,33 + j2,26.$$

მესამე ბიჯზე მივიღოთ

$$S_I^{(3)} = 60,05 + j38,12$$

$$\underline{S}_{II}^{(3)} = 25,2 + j16,33$$

$$\underline{S}_{III}^{(3)} = 4,59 + j2,31$$

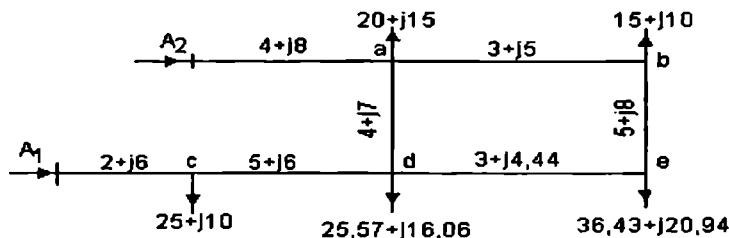
მეოთხე ბიჯზე

$$\underline{S}_I^{(4)} = 60,15 + j38,18$$

$$\underline{S}_{II}^{(4)} = 25,29 + j16,37$$

$$\underline{S}_{III}^{(4)} = 4,61 + j2,32$$

ჩანაცულების სქემის გამარტივება. გაეჭრათ ქსელი კეების A ცენ-
ტრში (ნახ.4.32).



ნახ. 4.32

ჩ და კ კვანძების დატვირთვები გადავიტანოთ d და e კვანძებში (გა-
მოსახულება 4.54; 4.55):

$$\underline{S}_{r \rightarrow d} = (12 + j8) \cdot \frac{9 - j12}{12 - j17} = 8,48 + j6,01$$

$$\underline{S}_{r \rightarrow e} = (12 + j8) - (8,48 + j6,01) = 3,52 + j1,99$$

$$\underline{S}_{k \rightarrow d} = (15 + j8) \cdot \frac{6 - j8}{12 - j17} = 7,09 + j4,05$$

$$\underline{S}_{k \rightarrow e} = (15 + j8) - (7,09 + j4,05) = 7,91 + j3,95$$

შევეკრიბოთ პარალელურად dfke და de უბანთა წინაღობები

$$\underline{Z}_{de,კმ} = \frac{(12 + j17)(4 + j6)}{16 + j23} = 3,0 + j4,44$$

ამ გამარტივები შემდეგ ჩანაცულების სქემას ექნება 4.33 ნახაზზე
ნაჩვენები სახე.

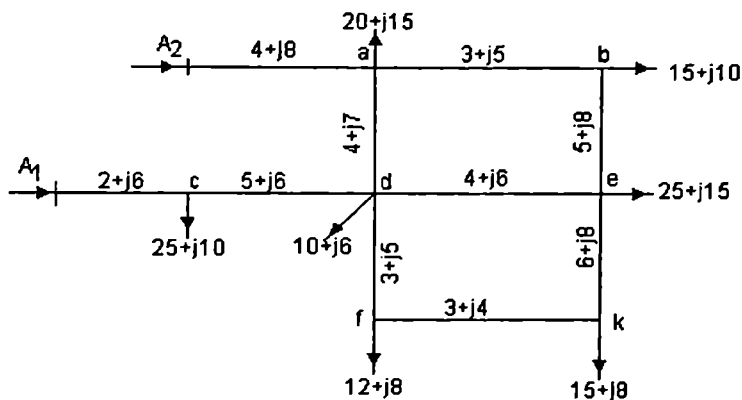
ე და ხ კვანძების დატვირთვები გადავიტანოთ d და a კვანძებში

$$\underline{S}_{e \rightarrow d} = (36,43 + j20,94) \cdot \frac{8 - j13}{11 - j17,44} = 27,16 + j15,14$$

$$\underline{S}_{e \rightarrow a} = (36,43 + j20,94) - (27,16 + j15,14) = 9,27 + j5,80$$

$$S_{b \rightarrow d} = (15 + j10) \cdot \frac{3 - j5}{11 - j17,44} = 4,3 + j2,73$$

$$S_{b \rightarrow a} = (15 + j10) - (4,3 + j2,73) = 10,7 + j7,27$$

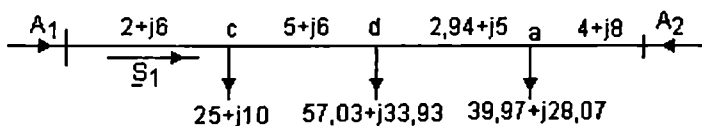


ნახ. 4.33

პარალელურად შეეკრიბოთ deba და da უბნების წინააღობები

$$Z_{da,ab} = \frac{(4 + j7)(11 + j17,44)}{15 + j24,44} = 2,94 + j5,0$$

გამარტივებული ჩანაცვლების სქემა მიიღებს სახეს (4.34)



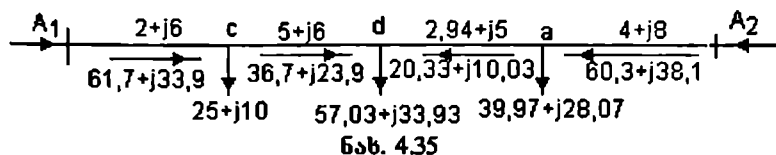
ნახ. 4.34

განესაზღვროთ A_1 -ს სათავე უბანში გამავალი სიმძლავრე (გამოსახულება 4.33)

$$S_1 = \frac{1}{13,94 - j25} \left[(25 + j10)(11,94 - j19) + (57,03 + j33,93) \cdot (6,94 - j13) + (39,97 + j28,07)(4 - j8) \right] = 61,70 + j33,90$$

სიმძლავრეთა განაწილებას აქვს სახე (6.35)

განგარიშების შემდეგი ეტაპი ითვალისწინებს ჩანაცვლების სქემის საწყის სახეში დაბრუნებას, რაც უნდა განხორციელდეს გამარტივების პროცესის უკუ მიმდევრობით.

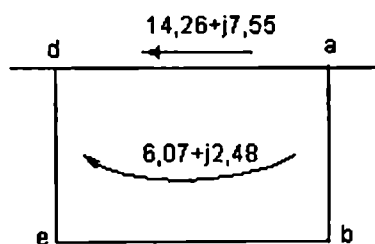


მოცემულ სქემაზე (ნახ.4.35) ეკვივალენტირებულია მხოლოდ ad უბანი, რომელშიც გადის $\underline{S}_{ad, ე.ი.} = 20,33 + j10,03$ მგვა. ეს სიმძლავრე გადავანაწილოთ $\underline{Z}'_{ad} = 4 - j7$ და $\underline{Z}'_{acd} = 11 - j17,44$ შეუღლებულ წინაღობათა უკუპროპორციულად

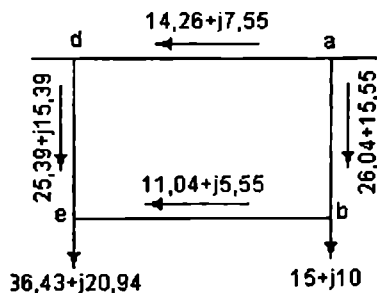
$$\underline{S}_{ad} = (20,33 + j10,03) \frac{11 - j17,44}{15 - j24,44} = 14,26 + j7,55$$

$$\underline{S}_{acd} = (20,33 + j10,03) - 14,26 + j7,55 = 6,07 + j2,48$$

a და d პუნქტებს შორის მივიღეთ სიმძლავრეთა შემდეგი განაწილება (ნახ.4.36)



ნახ. 4.36



ნახ. 4.37

e და b კვანძებიდან გადაგანილი სიმძლავრეები დავაბრუნოთ უკან. მივიღებთ (ნახ.4.37):

$$\underline{S}_{de} = (27,16 + j15,14) + (4,3 + j2,73) - (6,07 + j2,48) = 25,39 + j15,39$$

4.37 ნახაზზე ეკვივალენტირებულია de უბანი, რომელშიც გადის $\underline{S}_{de, ე.ი.} = 25,39 + j15,39$ სიმძლავრე. იგი უნდა გადავანაწილოთ $\underline{Z}'_{de} = 4 - j6$ და $\underline{Z}'_{dke} = 12 - j17$ შეუღლებული წინაღობების უკუპროპორციულად

ჩატარებული გაანგარიშებების შედეგები წარმოედგინოთ ცხრილის სახით (ცხრ.4.3). როგორც ამ ცხრილის მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს სამივე მეთოდით მიღებული შედეგები არაპარაქტიკულად ერთნაირია.

ცხრ.4.3.

უბნის დასახელება	გაანგარიშების მეთოდი		
	კონტურულ განტოლებათა სისტემის პირდაპირი ამოხსნა	კონტურულ განტოლებათა სისტემის ამოხსნა ზეიღელის მეთოდით (მეთოხე მიახლოება)	ჩანაცვლების სქემის გამარტივების ხერხების გამოყენება
Aa	60,53+j37,99	60,15+j38,18	60,30+j38,10
Ac	61,47+j34,01	61,86+j33,83	61,70+j33,90
ab	25,83+j15,67	25,29+j16,37	26,04+j15,55
ad	14,7+j7,32	14,86+j6,80	14,26+j7,55
be	10,83+j5,67	10,29+j6,37	11,04+j5,55
cd	36,47+j24,01	36,86+j23,83	36,70+j23,90
de	18,68+j11,97	19,33+j10,95	18,78+j11,56
df	22,49+j13,86	22,39+j13,68	22,18+j13,89
ek	4,51+j2,14	4,61+j2,32	4,82+j2,11
fk	10,49+j5,86	10,39+j5,68	10,18+j5,83

მაგალითი 4.6. განესაზღვროთ 4.5 მაგალითში წარმოდგენილი ქსელის რეჟიმის პარამეტრები, როცა ცნობილია კვების ცენტრის ძაბვა - $U_A=118$ კვ.

ამოხსნა. სიმძლავრეთა განაწილების შედეგად დადგინდა, რომ ქსელში ღენგამყოფი კვანძია k (ნახ.4.40). ამ კვანძში ქსელის გაჭრით მივიღებთ ek და dkf ღია ქსელებს.

გამოვიყვალთ სიმძლავრის დანაკარგები ek უბანში:

$$S''_{\Sigma} = 4,51 + j2,14$$

$$\Delta S_{\Sigma} = \frac{4,51^2 + 2,14^2}{110^2} \cdot (6 + j8) = 0,01 + j0,02$$

$$S'_{\Sigma} = 4,51 + j2,14 + j0,01 + j0,02 = 4,52 + j2,16.$$

რადგანაც e კვანძში სიმძლავრე შემოდის ორი მხრიდან (de და be უბნები), ამიტომ ek უბანზე სიმძლავრის დანაკარგები

$\underline{\Delta S}_{dc} = 0,01 + j0,02$ გადაენაწილოთ $\underline{S}_{dc}$ და $\underline{S}_{bc}$ სიმძლავრეთა პროპორციულად (მიახლოებით): აქედან გამოვძინარე

$$\underline{S}_{bc}'' = 10,83 + j5,67 + 0,00 + j0,01 = 10,83 + j5,68$$

და

$$\underline{S}_{dc}'' = 18,68 + j11,47 + 0,01 + j0,01 = 18,69 + j11,48.$$

განვსაზღვროთ სიმძლავრის დანაკარგები dfk მაგისტრალში .

$$\underline{S}_{dk}'' = 10,49 + j5,86$$

$$\underline{\Delta S}_{dk} = \frac{10,49^2 + 5,86^2}{110^2} (3 + j4) = 0,04 + j0,05$$

$$\underline{S}_{dk}' = 10,49 + j5,86 + 0,04 + j0,05 = 10,53 + j5,91$$

$$\underline{S}_{df}'' = 12 + j8 + 10,53 + j5,91 = 22,53 + j13,91$$

$$\underline{\Delta S}_{df} = \frac{22,53^2 + 13,91^2}{110^2} \cdot (3 + j5) = 0,17 + j0,29$$

$$\underline{S}_{df}' = 22,53 + j13,91 + 0,17 + j0,29 = 20,70 + j14,20$$

ამ გამოთვლების ჩატარების შემდეგ ქსელის დენგამყოფ კვანძად განიხილება e კვანძი. გამოვითვალოთ სიმძლავრის დანაკარგები abc და de უბნებში:

$$\underline{\Delta S}_{be} = \frac{10,83^2 + 5,68^2}{110^2} \cdot (5 + j8) = 0,06 + j0,10$$

$$\underline{S}_{be}' = 10,83 + j5,68 + 0,06 + j0,10 = 10,89 + j5,78$$

სიმძლავრე ab უბნის ბოლოში

$$\underline{S}_{ab}'' = 15 + j10 + 10,89 + j5,78 = 25,89 + j15,78$$

$$\underline{\Delta S}_{ab} = \frac{25,89^2 + 15,78^2}{110^2} \cdot (3 + j5) = 0,23 + j0,38$$

$$\underline{S}_{ab}' = 25,89 + j15,78 + 0,23 + j0,38 = 26,12 + j16,16$$

სიმძლავრის დანაკარგი de უბანში

$$\underline{\Delta S}_{de} = \frac{18,69^2 + 11,48^2}{110^2} \cdot (4 + j6) = 0,16 + j0,24$$

$$\underline{S}_{de}' = 18,69 + j11,48 + 0,16 + j0,24 = 18,85 + j11,72$$

ამ გამოთვლების ჩატარების შემდეგ დენგამყოფ კვანძად განიხილება d კვანძი. ამ კვანძში სიმძლავრე შემოდის ორი მხრიდან (cd და ad უბნები). ამიგომ de და dfk უბნებზე სიმძლავრის ჯამური დანაკარგე-

ბი $0,16+j0,24+0,17+j0,29+0,04+j0,05=0,37+j0,58$ გადაენაწილოთ $\underline{S}_{cd}$ და $\underline{S}_{cd}$ სიმძლავრეთა პროპორციულად (მიახლოებით). ამ სიმძლავრეთა მიახლოებითი თანაფარდობა გვიჩვენებს, რომ გადაენაწილება შეიძლება ჩაეგაბროთ 3:1 თანაფარდობით:

$$\underline{S}_{cd}'' = 36,47 + j24,01 + 0,27 + j0,44 = 36,74 + j24,45$$

$$\underline{S}_{cd}' = 14,7 + j7,32 + 0,09 + j0,14 = 14,79 + j7,46$$

გამოვთვალოთ სიმძლავრის დანაკარგები A_{cd} უბნებში:

$$\underline{\Delta S}_{cd} = \frac{36,74^2 + 24,45^2}{110^2} \cdot (5 + j6) = 0,81 + j0,97$$

$$\underline{S}_{cd}' = 36,74 + j24,45 + 0,81 + j0,97 = 37,55 + j25,42$$

სიმძლავრე A_c უბნის ბოლოში

$$\underline{S}_{Ac}'' = 25 + j10 + 37,55 + j25,42 = 62,55 + j35,42$$

$$\underline{\Delta S}_{Ac} = \frac{62,55^2 + 35,42^2}{110^2} \cdot (2 + j6) = 0,86 + j2,58$$

$$\underline{S}_{Ac}' = 62,55 + j35,42 + 0,86 + j2,58 = 63,41 + j38,00$$

სიმძლავრის დანაკარგები ad უბანში

$$\underline{\Delta S}_{ad} = \frac{14,79^2 + 7,46^2}{110^2} \cdot (4 + j7) = 0,09 + j0,16$$

$$\underline{S}_{ad}' = 14,79 + j7,46 + 0,09 + j0,16 = 14,88 + j7,62$$

სიმძლავრე A_a უბნის ბოლოში

$$\underline{S}_{Aa}'' = 20 + j15 + 26,12 + j16,16 + 14,88 + j7,62 = 61,0 + j38,78$$

$$\underline{\Delta S}_{Aa} = \frac{61,0^2 + 38,78^2}{110^2} \cdot (4 + j8) = 1,73 + j3,46$$

$$\underline{S}_{Aa}' = 61 + j38,78 + 1,73 + j3,46 = 62,73 + j42,24$$

გამოვთვალოთ მუშა ძაბვათა მნიშვნელობები კვანძებში ცნობილი $U_A=118$ კვ ძაბვის დროს.

ძაბვის ვარდნა A_c უბანში

$$\underline{\Delta U} = \frac{63,41 \cdot 2 + 38,00 \cdot 6}{118} + j \frac{63,41 \cdot 6 - 38,00 \cdot 2}{118} = 3,03 + j2,58$$

ძაბვა c კვანძში (გამოსახულება 6.16)

$$U_c = 118 - 3,03 + \frac{2,58^2}{2(118 - 3,03)} = 115,00$$

როგორც ამ გამოთვლების ანალიზი გვიჩვენებს ძაბვის ეარდნის გრძივი შემდგენი შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ. ძაბვის დანაკარგი cd უბანში

$$\Delta U = \frac{37,55 \cdot 5 + 25,42 \cdot 6}{115,00} = 2,96$$

ძაბვა d კუანძში

$$U_d = 115,00 - 2,96 = 112,04$$

ძაბის დანაკარგი df უბანში

$$\Delta U_{df} = \frac{20,70 \cdot 3 + 14,20 \cdot 5}{112,04} = 1,19$$

ძაბვა f კუანძში

$$U_f = 112,04 - 1,19 = 110,85$$

ძაბვის დანაკარგი fk უბანში

$$\Delta U_{fk} = \frac{10,53 \cdot 3 + 5,91 \cdot 4}{110,85} = 0,50$$

ძაბვა k კუანძში

$$U_k = 110,85 - 0,5 = 110,35$$

ძაბვის დანაკარგი Aa უბანში

$$\Delta U_{Aa} = \frac{62,73 \cdot 4 + 42,24 \cdot 8}{118} = 4,99$$

ძაბვა a კუანძში

$$U_a = 118 - 4,99 = 113,01$$

ძაბვის დანაკარგი ab უბანში

$$\Delta U_{ab} = \frac{26,12 \cdot 3 + 16,16 \cdot 5}{113,01} = 1,42$$

ძაბვა b კუანძში

$$U_b = 113,01 - 1,41 = 111,60$$

ძაბვის დანაკარგი be უბანში

$$\Delta U_{be} = \frac{10,89 \cdot 5 + 5,78 \cdot 8}{111,60} = 0,90$$

ძაბვა e კუანძში

$$U_e = 111,6 - 0,90 = 110,7$$

ძაბვის დანაკარგი ek უბანში

$$\Delta U_{ek} = \frac{4,52 \cdot 6 + 2,14 \cdot 8}{110,7} = 0,40$$

ძაბვა k კვანძში

$$U_k = 110,7 - 0,40 = 110,4.$$

ორი სხვადასხვა მხრიდან (Acdfk და Aabek) გაანგარიშების შედეგად ძაბვა k კვანძში, პრაქტიკულად, ერთიდაიგივეა. ეს მიუთითებს მასზე, რომ კონკრეტულ განგოლებათა სისტემის პირდაპირი ამოხსნის რეზულტატები სარწმუნოა.

მაგალითი 4.7. კვანძური ძაბვების განგოლებათა სისტემის ამოხსნის შედეგის მეთოდით განვსაზღვროთ 4.41 ნახაზზე ნაჩვენები ელექტრულ ქსელში რეჟიმის პარამეტრები. მოცემულია მახალანსებელი კვანძის ძაბვა $U_A = U_0$ (კვ), სამომხმარებლო კვანძების დატვირთვები (მგვა) და უბნების წინაღობები (ომი).

ამოხსნა. განვსაზღვროთ კვანძების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობები (გამოსახულებები 4.64 და 4.56)

$$\underline{Y}_{Aa} = \frac{1}{4 + j8} = 0,05 - j0,1$$

$$\underline{Y}_{ac} = \frac{1}{4 + j7} = 0,061538 - j0,107692$$

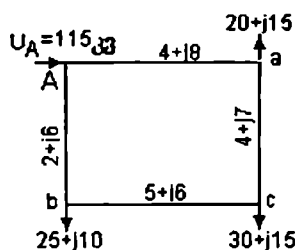
$$\underline{Y}_{bc} = \frac{1}{5 + j6} = 0,081967 - j0,098361$$

$$\underline{Y}_{Ab} = \frac{1}{2 + j6} = 0,05 - j0,15$$

$$\underline{Y}_{aa} = 0,111538 - j0,207692$$

$$\underline{Y}_{bb} = 0,131967 - j0,248361$$

$$\underline{Y}_{cc} = 0,143505 - j0,206053$$



ნახ. 4.41

იგერაციული მეთოდის შესაბამისად ჩაეწეროთ კვანძურ ძაბვათა საანგარიშო გამოსახულებები (გამოსახულება 4.68)

$$\underline{U}_a = \frac{1}{0,111538 - j0,207692} \left[\frac{-20 + j15}{\underline{U}_a^*} + 115(0,05 - j0,1) + \right. \\ \left. + \underline{U}_c (0,061538 - j0,107692) \right]$$

$$\underline{U}_b = \frac{1}{0,131967 - j0,248361} \left[\frac{-25 + j101}{\underline{U}_b^*} + 115(0,05 - j0,15) + \right. \\ \left. + \underline{U}_c (0,081967 - j0,098361) \right]$$

$$\underline{U}_c = \frac{1}{0,143505 - j0,206053} \left[\frac{-30 + j15}{\underline{U}_c^*} + \underline{U}_a (0,061538 - j0,107692) + \right. \\ \left. + \underline{U}_b (0,081967 - j0,098361) \right]$$

ანუ

$$\underline{U}_a = (2,006924 + j3,737040) \left[\frac{-20 + j15}{\underline{U}_a^*} + 5,75 - j11,5 + \right. \\ \left. + \underline{U}_c (0,061538 - j0,107692) \right]$$

$$\underline{U}_b = (1,668392 + j3,139903) \left[\frac{-25 + j10}{\underline{U}_b^*} + 5,75 - j17,25 + \right. \\ \left. + \underline{U}_c (0,081967 - j0,098361) \right]$$

$$\underline{U}_c = (2,276000 + j3,268016) \left[\frac{-30 + j15}{\underline{U}_c^*} + \underline{U}_a (0,061538 - j0,107692) + \right. \\ \left. + \underline{U}_b (0,081967 - j0,098361) \right]$$

შევირჩიოთ საძიებელ სიდიდეთა საწყისი მნიშვნელობები (ნულოვანი მიახლოება)

$$\underline{U}_a^{(0)} = \underline{U}_b^{(0)} = \underline{U}_c^{(0)} = 110 \text{ კვ.}$$

შევასრულოთ პირველი, მეორე და ა.შ. მიახლოებების გამოთვლა ზეიდელის მეთოდით (გამოსახულება 4.69) და გაანგარიშებების შედეგები წარმოვადგინოთ ცხრილის სახით (ცხრ.4.4).

გამოეთვალეთ სიმძლავრეთა მნიშვნელობები უბნების თავსა და ბოლოში (გამოსახულება 4.72 და 4.74):

უბანი Aa

$$\underline{S}'_{Aa} = (\underline{U}_A^2 - \underline{U}_A \underline{U}_a^*) \underline{Y}_{Aa}^* = (115^2 - 115(112,4473 + j1,6159)) \cdot \\ \cdot (0,05 + j0,1) = 33,2609 + j20,0646$$

$$\underline{S}_{\Lambda}'' = (\underline{U}_{\Lambda}^* \cdot \underline{U}_{\Lambda} - \underline{U}_{\Lambda}^2) \underline{U}_{\Lambda}^* = (115 \cdot (112,4473 - j1,6159) - 112,4589^2) \cdot (0,05 + j0,1) = 32,8047 + j19,1521$$

ანალოგიურად, დანარჩენ უბნებზე გვაქვს:

$$\underline{S}_{\Lambda b}' = 42,7979 + j22,2370$$

$$\underline{S}_{\Lambda b}'' = 42,4457 + j21,1805$$

$$\underline{S}_{\Lambda c}' = 12,7942 + j4,116$$

$$\underline{S}_{\Lambda c}'' = 12,7364 + j4,0147$$

$$\underline{S}_{bc}' = 17,4290 + j11,1497$$

$$\underline{S}_{bc}'' = 17,2609 + j11,0070$$

თუ კვანძებში შევამოწმებთ სიმძლავრეთა ბალანსს, შევამჩნევთ, რომ აღგილი აქვს გარკვეულ უბალანსობას. ეს მიუთითებს მასზე, რომ ჩვენს მიერ გამოყენებული იგერაციათა რაოდენობა (9 იგერაცია) არასაკმარისია.

ცხრ.4.4. ძაბვები კვანძებში (მაგ.4.7)

იგერაციის ნომერი	კვანძების დასახელება			
	A	a	b	c
0	115	110	110	110
1	115	111,4959-j0,4750	112,1076-j1,0283	110,7649-j1,3101
2	115	111,9835-j1,1474	112,5777-j1,5239	111,2256-j1,8460
-	-	-	-	-
7	115	112,4296-j1,6136	113,0801-j1,8469	111,7199-j2,2543
8	115	112,4451-j1,6157	113,0936-j1,8463	111,7238-j2,2549
9	115	112,4473-j1,6159	113,0955-j1,8462	111,7268-j2,2556
ძაბვის მოდული	115	112,4589	113,1106	111,7496

მაგალითი 4.8. 220 კე ძაბვის ელექტრული ქსელის (ნახ.4.42) კვანძებისთვის გამოთვალეთ საკუთარი და ურთიერთ წინაღობები და ეიპოვოთ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები ქსელში. უბანთა აქტიური წინაღობები ნაჩვენებია შესაბამის უბნებზე. მაბალანსებელ სადგურს წარმოადგენს ეს-3 კონდესაციური ელექტროსადგური.

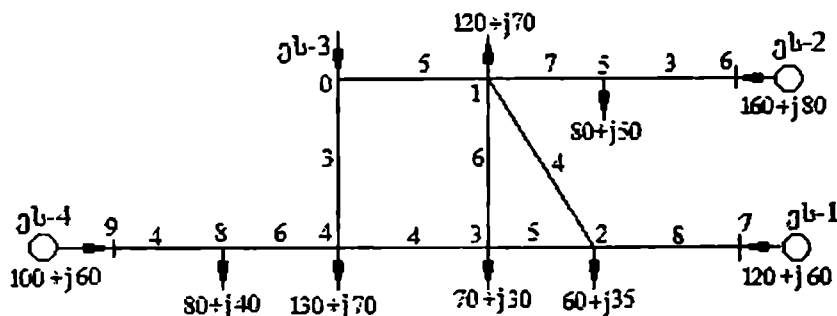
ამოხსნა. გამოთვალეთ კვანძების საკუთარი და ურთიერთ გამგარობები: $Y_{0-1}=1/5=0.2$; $Y_{0-4}=1/3=0.3333$; $Y_{1-2}=1/4=0.25$; $Y_{1-3}=1/6=0.1667$; $Y_{1-5}=1/7=0.1429$; $Y_{2-3}=1/5=0.2$; $Y_{2-7}=1/8=0.125$; $Y_{3-4}=1/4=0.25$; $Y_{4-8}=1/6=0.1667$; $Y_{5-6}=1/3=0.3333$; $Y_{8-9}=1/4=0.25$;

$Y_{1-1}=0.7595$; $Y_{2-2}=0.575$; $Y_{3-3}=0.6167$; $Y_{4-4}=0.750$; $Y_{5-5}=0.4762$;
 $Y_{6-6}=0.3333$; $Y_{7-7}=0.125$; $Y_{8-8}=0.4167$; $Y_{9-9}=0.25$.

შევადგინოთ კვანძური ძაბვების განტოლებათა სისტემა 1 კვანძის მიმართ (§4.7).

$$\begin{aligned} &0.7595 \underline{U}_1 - 0.25 \underline{U}_2 - 0.1667 \underline{U}_3 - 0.1429 \underline{U}_5 = 1 \\ &-0.25 \underline{U}_1 + 0.575 \underline{U}_2 - 0.2 \underline{U}_3 - 0.125 \underline{U}_7 = 0, \\ &-0.1667 \underline{U}_1 - 0.2 \underline{U}_2 + 0.6167 \underline{U}_3 - 0.25 \underline{U}_4 = 0, \\ &-0.25 \underline{U}_3 + 0.75 \underline{U}_4 - 0.1667 \underline{U}_8 = 0, \\ &-0.1429 \underline{U}_1 + 0.4762 \underline{U}_5 - 0.3333 \underline{U}_6 = 0, \\ &-0.3333 \underline{U}_5 + 0.3333 \underline{U}_6 = 0, \\ &-0.125 \underline{U}_2 + 0.125 \underline{U}_7 = 0, \\ &-0.1667 \underline{U}_4 + 0.4267 \underline{U}_8 - 0.25 \underline{U}_9 = 0, \\ &-0.25 \underline{U}_8 + 0.25 \underline{U}_9 = 0. \end{aligned}$$

ამ განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შედეგები ნაჩვენებია 4.5 ცხრილში (სტრიქონი 1).



ნახ.4.42.

მე-2 კვანძის მიმართ ჩაიწერება იგივე განტოლებათა სისტემა იმ განსხვავებით, რომ პირველი განტოლების მარჯვენა მხარეში ჩაისმება „0“, ხოლო მე-2 განტოლების მარჯვენა მხარეში კი „1“. ამ სისტემის ამოხსნის შედეგები ნაჩვენებია 4.5 ცხრილში (სტრიქონი 2). ანალოგიური პროცედურა ჩაებატაროთ ქსელის დანარჩენი კვანძებისთვისაც და შედეგები შევიგანოთ იმავე ცხრილის შესაბამის სტრიქონებში.

ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების დასადგენად ვისარგებლოთ (4.88) და (4.89) გამოსახულებებით

$$\sigma_{P_f} = \frac{\partial \Delta P}{\partial P_f} = \frac{2}{U^2} \sum_{k=1}^i P_k \cdot R_{fk}$$

$$\sigma_{Q_f} = \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_f} = \frac{2}{U^2} \sum_{k=1}^i Q_k \cdot R_{fk}$$

გამოთვლები ჩაებატაროთ შემდეგი ალგორითმით:

4.5 ცხრილის სვეტების თითოეული წვერი გაეამრავლოთ სტრიქონის შესაბამისი კეანძი სიმძლავრეზე. ამასთან გავითვალისწინოთ, რომ გენერაციის კეანძის შემთხვევაში კეანძის სიმძლავრე უნდა ავიღოთ „+“ ნიშნით და დატვირთვის კეანძის შემთხვევაში კი „-“ ნიშნით. შედეგები შევიტანოთ 4.6 ცხრილის (ΔP_p შესაკრების გამოთვლისას) და 4.7 ცხრილის (ΔP_q შესაკრების გამოთვლისას) შესაბამის უჯრედებში. გამოეთვალეთ სვეტის ჯამი, რომელიც გაეამრავლოთ სვეტის შესაბამისი კეანძი სიმძლავრეზე და გაეყოთ ძაბვის კვადრატზე. მე-10 სტრიქონის ჯამი შეადგენს დანაკარგებს.

ცხრ.4.5

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3,399	2,886	2,245	0,962	3,399	3,399	2,886	0,962	0,962
2	2,886	5,142	2,962	1,270	2,886	2,886	5,142	1,270	1,270
3	2,245	2,962	3,860	1,654	2,245	2,245	2,962	1,654	1,654
4	0,962	1,270	1,654	2,423	0,962	0,962	1,270	2,423	2,423
5	3,399	2,886	2,245	0,962	10,397	10,397	2,886	0,962	0,962
6	3,399	2,886	2,245	0,962	10,397	13,397	2,886	0,962	0,962
7	2,886	5,142	2,962	1,270	2,886	2,886	13,142	1,270	1,270
8	0,962	1,270	1,654	2,423	0,962	0,962	1,270	8,422	8,422
9	0,962	1,270	1,654	2,423	0,962	0,962	1,270	8,422	12,422

ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების დასადგენად ვისარგებლოთ (4.88) და (4.89) გამოსახულებებით

$$\sigma_{P_f} = \frac{\partial \Delta P}{\partial P_f} = \frac{2}{U^2} \sum_{k=1}^i P_k \cdot R_{fk}$$

$$\sigma_{Q_f} = \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_f} = \frac{2}{U^2} \sum_{k=1}^i Q_k \cdot R_{fk}$$

გამოთვლები ჩაებატაროთ შემდეგი ალგორითმით:

4.5 ცხრილის სვეტების თითოეული წვერი გაეამრავლოთ სტრიქონის შესაბამისი კვანძი სიმძლავრეზე. ამასთან გაითვალისწინოთ, რომ გენერაციის კვანძის შემთხვევაში კვანძის სიმძლავრე უნდა ავიდეთ „+“ ნიშნით და დატვირთვის კვანძის შემთხვევაში კი „-“ ნიშნით. შედეგები შევიტანოთ 4.6 ცხრილის (ΔP_p შესაკრების გამოთვლისას) და 4.7 ცხრილის (ΔP_q შესაკრების გამოთვლისას) შესაბამის უჯრედებში. გამოვთვალოთ სვეტის ჯამი, რომელიც გაეამრავლოთ სვეტის შესაბამისი კვანძი სიმძლავრეზე და გავყოთ ძაბვის კვადრატზე. მე-10 სტრიქონის ჯამი შეადგენს დანაკარგებს.

ცხრ.4.6. ΔP_p

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-408	-346	-269	-115	-408	-408	-346	-115	-115
2	-173	-309	-178	-76	-173	-173	-309	-76	-76
3	-157	-207	-270	-116	-157	-157	-207	-116	-116
4	-125	-165	-215	-315	-125	-125	-165	-315	-315
5	-272	-231	-180	-77	-832	-832	-231	-77	-77
6	544	462	359	154	1664	2144	462	154	154
7	346	617	355	152	346	346	1577	152	152
8	-77	-102	-133	-194	-77	-77	-102	-674	-674
9	96	127	165	242	96	96	127	842	1242
10	0,56	0,19	0,53	0,927	-0,55	2,69	1,99	0,37	0,36
ჯამი	7,067								

ცხრ.4.7. ΔP_q

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-238	-202	-157	-67	-238	-238	-202	-67	-67
2	-101	-180	-104	-44	-101	-101	-180	-44	-44
3	-67	-89	-116	-50	-67	-67	-89	-50	-50
4	-67	-89	-116	-170	-67	-67	-89	-170	-170
5	-170	-144	-112	-48	-520	-520	-144	-48	-48
6	272	231	180	77	832	1072	231	77	77
7	173	307	178	76	173	173	7887	76	76
8	-38	-51	-66	-97	-38	-38	-51	-337	-337
9	58	76	99	145	58	58	76	505	745
10	0,257	0,101	0,133	0,257	-0,033	0,45	0,424	0,048	0,226
ჯამი	1,863								

მივიღეთ, რომ ქსელში აქტიური სიმძლავრის ჯამური დანაკარგები

$$\Delta P = \Delta P_p + \Delta P_q = 7,067 + 1,863 = 8,93 \text{ მგვტ.}$$

თავი 5. ელექტრული ენერგიის ხარისხი და მისი უზრუნველყოფა

5.1. ელექტრული ენერგიის ხარისხის მაჩვენებლები

ტექნიკური და ეკონომიკური თვალსაზრისით ელექტრომომხმარებელთა მუშაობა მიმანშეწონილია შესაბამისი ნომინალური პარამეტრების პირობებში (U_6, I_6, f_6). ელექტროენერგეტიკის განვითარების პირველ ეტაპზე ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლებად განიხილებოდა სიხშირე ქსელში და ძაბვის დონე ქსელის კვანძებში. მას შემდეგ, რაც ელექტრომომხმარებელთა შორის გაჩნდა არასიმეტრიული, არასინუსოიდალური და მკვეთრად ცვალებადი დატვირთვების მქონე მომხმარებლები, გამმართიველი დანადგარები, ელექტროფიცირებული რკინიგზა, საჭირო გახდა ელექტროენერგიის ხარისხის შეფასებისას მხედველობაში მივიღოთ დამატებითი მაჩვენებლები. კერძოდ, ძაბვათა სამუშაო სისტემის არასიმეტრიულობა, ძაბვის არასინუსოიდულობა და ძაბვისა და სიხშირის რხევა.

დამყარებულ რეჟიმში დროის მოცემულ მომენტში მთლიანად სისტემაში სიხშირე ერთნაირია, რადგანაც იგი განისაზღვრება სინქრონულად მბრუნავი გენერატორების ბრუნვის სიხშირით. აქედან გამომდინარე სიხშირე ელექტროენერგიის ხარისხის საერთო სასისტემო მაჩვენებელია. ძაბვა კი ქსელის სხვადასხვა წერტილში ზოგადად სხვადასხვაა და, აქედან გამომდინარე, იგი უფრო ადგილობრივი ხასიათის მაჩვენებელია.

ქსელში სიხშირის შეფასებისას სარგებლობენ მისი ნომინალურიდან გადახრის მნიშვნელობით

$$\Delta f = f - f_6. \quad (5.1)$$

თანამედროვე მძლავრ ენერგოსისტემაში, რომლებიც ალკურვითია სიხშირის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობებით, სიხშირის გადახრა დასაშვებია ± 0.1 პერცის ფარგლებში. ხანმოკლე დროით დასაშვებია ენერგოსისტემის მუშაობა სიხშირის ± 0.2 პერცით გადახრის ფარგლებში.

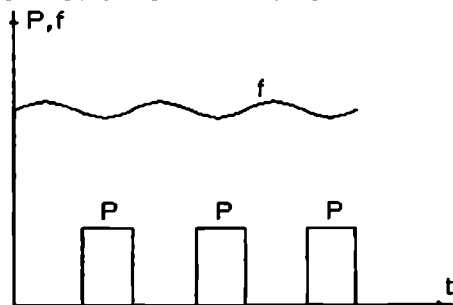
დასაშვები გადახრის ასეთი მცირე ფარგლები აიხსნება იმით, რომ სიხშირის შეცვლა მნიშვნელოვნად მოქმედებს ელექტრომომხმარებლების მუშაობის ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე. გარდა ამისა სიხშირე მთელ სისტემაში რეგულირდება ერთდროულად და რეგულირების თანამედროვე მოწყობილობა საშუალებას გვაძლევს ვარეგულიროთ იგი ნომინალურიდან მცირე გადახრის ფარგლებში.

სიხშირის სწრაფი ცვლილებისას ($0,1\%/წმ$ და მეტი სიჩქარით) განიხილავენ სიხშირის რხევის ცნებას, რომელიც რაოდენობრივად განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\Delta f_{\text{რ.}} \% = \frac{f_{\text{მაქს.}} - f_{\text{მინ.}}}{f_0} \cdot 100.$$

სიხშირის რხევის წარმოქმნის ერთ-ერთ მიზეზს წარმოადგენს დიდი შეშუოთიებები ელექტროსისტემაში, რაც დაკავშირებულია მოკლე შერთვებით გამოწვეულ მიმდინარე გარდამავალ პროცესებთან. ეს რხევები შედარებით იშვიათია და იგი ელექტრომიმღებთა საერთო მუშაობაზე არსებით გავლენას თითქმის ვერ ახდენს.

ელექტრომიმღებების მუშაობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სიხშირის პერიოდული რხევა, რომელიც გამოწვეულია დიდი სიმძლავრის მომხმარებლის პერიოდული ჩართვა-გამორთვით. ასეთ მომხმარებლებს წარმოადგენს საგლინაეი ჩარხები, რომელიც მოძრაობაში მოდის მძლავრი სინქრონული ძრავების საშუალებით. ამ ძრავების დატვირთვის მკვეთრი და თითქმის პერიოდული ცვლილება იწვევს მათი ბრუნვის სიხშირის პერიოდულ ცვლილებას (ნახ. 5.1). თუ აღნიშნული ძრავის სიმძლავრე სისტემის გენერატორის თანაზომადია, მაშინ წარმოიქმნება თვით გენერატორის რყევა.



ნახ. 5.1. მსხვილი მომხმარებლის ჩართვა-გამორთვისას სიხშირის ცვლილების გრაფიკი

ქსელში მიერთებული სხვა მომხმარებელთა ელექტრული ძრავების რყევები მოსალოდნელია მაშინ, თუ ისინი ელექტრულად ასლოსაიმ სინქრონულ მანქანასთან, რომელსაც გააჩნია ბრუნვის ცვლადი სიხშირე. ამის მიზეზია ის, რომ ეს ძრავები იმყოფებიან კეების ორი წყაროს ზემოქმედების ქვეშ, რომელთაგანაც ერთს გააჩნია ბრუნვის მუდმივი, ხოლო მეორეს კი ცვლადი სიხშირე. პირველს წარმოადგენს სისტემის ეკვივალენტური გენერატორი, მეორეს კი სინქრონული ძრავა

ბრუნვის ცვლადი სიჩქარით. ელექტრულად რაც უფრო ახლოსაა ცვლადი სიჩქარით მბრუნავ მანქანასთან სხვა მომხმარებელთა ძრავები, მით უფრო ჩქარა და შესამჩნევად გამოვლინდება მათი ბრუნვის რსევა.

სიხშირის რხევა ნორმირებულია და იგი არ უნდა აღემატებოდეს ± 0.2 პერცს. სიხშირის რხევა წარმოადგენს ელექტროენერგიის ხარისხის ადგილობრივ მაჩვენებელს. აქედან გამომდინარე ადგილობრივი იქნება ის ღონისძიება, რომლის მიზანია ამ რხევების შემცირება-ჩაქრობა. კერძოდ, დადგენილია, რომ რხევა მნიშვნელოვნად მცირდება ცვლადი დატვირთვის სინქრონული მანქანის აგზნების დენის ავტომატური რეგულირების გზით.

სიხშირის შემცირებისას მნიშვნელოვნად მცირდება ელექტრული ძრავების ბრუნვის სიჩქარე და, შესაბამისად, მასთან მიერთებული მექანიზმის მწარმოებლობა.

სიხშირის ავარიული გადახრა იზღუდება, როგორც თვითონ ელექტროსადგურების ძირითადი და დამხმარე მოწყობილობათა მუშაობის პირობებით, ასევე მთელი რიგი მომხმარებლის შესაბამისი მოთხოვნებით.

სიხშირის შემცირებისას ეცემა ელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მწარმოებლობა. გარდა ამისა, სიხშირის ღრმა და ხანგრძლივი შემცირება სამიშია ტურბინის ფრთებისთვის რეზონანსული მოვლენების წარმოქმნის შედეგად მათი მოსალოდნელი დაზიანების გამო.

სიხშირის შემცირებისას ადგილი აქვს დატვირთვის რეაქტიული სიმძლავრის გაზრდას, რაც იწვევს ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის ნაკადების ზრდას. შედეგად ერთი მხრივ იზრდება აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები ქსელში, რაც ელექტროსადგურებზე პირველადი ენერგორესურსის არაწარმოო ხარჯებს ზრდის და, მეორე მხრივ, მცირდება ძაბვა სამომხმარებლო კვანძებში, რამაც თავის მხრივ შეიძლება გამოიწვიოს მომხმარებელთა მასიური გამორთვები.

ელექტრული სისტემის დამყარებულ რეჟიმში მომხმარებელთა დატვირთვა ნელა და მდორედ იცვლება და შედეგად, ასევე, ნელა და მდორედ იცვლება ძაბვის სიდიდე ქსელის საკვანძო წერტილებში. ძაბვის გადახრას გამოსაზავენ პროცენტობით ნომინალურის მიმართ:

$$V_i \% = \frac{U_i - U_c}{U_c} \cdot 100, \quad (5.2)$$

სადაც, U_i – ძაბვა ქსელის i კვანძში, ხოლო U_c – ამავე კვანძის ნომინალური ძაბვა.

ელექტრომიმღებთა მუშაობის ეფექტურობის თვალსაზრისით სახელმწიფო სტანდარტის (სასტის) მიხედვით დადგენილია ძაბვის გადახრის ტექნიკურად დასაშვები მნიშვნელობები:

ა) სამრეწველო საწარმოებში და სამოგადოებრივ შენობებში დაყენებული განათების ხელსაწყოთა მომჭერებზე და გარე განათების პროექტორულ განათებებში $(-2,5 \div +5)\%$ -ის ფარგლებში;

ბ) ელექტრული ძრავების, მათი გამეებისა და მართვის აპარატის მომჭერებზე $(-5 \div +10)\%$ -ის ფარგლებში;

გ) დანარჩენ ელექტრომიმღებების მომჭერებზე $\pm 5\%$ -ის ფარგლებში;

დ) აეარისშემდგომ რეჟიმში დასაშვებია ძაბვის შემდგომი შემცირება კიდევ 5% -ით.

უნდა აღინიშნოს, რომ დასაშვებ ფარგლებს გარეთ ძაბვის გადახრისას ელექტრომიმღებები აგრძელებენ მუშაობას, მაგრამ ამ დროს წარმოიქმნება მათი მუშაობის არანორმალური პირობები და აღვილი აქვს მუშაობის ეფექტურობის შემცირებას. ამრიგად, ძაბვის გადახრის ტექნიკურად დასაშვები მნიშვნელობები განისაზღვრება მომხმარებელთა მუშაობის ეკონომიკურობით.

პრაქტიკაში ყოველთვის არ ხერხდება ელექტრომიმღებთა მომჭერებზე უზრუნველყოთ ძაბვის სათანადო მნიშვნელობა და ზოგჯერ მყიფე ჯგუფის მომხმარებლებს უწევთ ტექნიკურად დასაშვებზე მეტად გადახრილი ძაბვის პირობებში მუშაობა.

ასეთი არანორმალური ძაბვის რეჟიმი სასტის მიხედვით დასაშვებია, მაგრამ ამ რეჟიმში ელექტრომომხმარებლის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია არ უნდა აღემატებოდეს საერთოდ მოხმარებული ენერგიის 5% -ს.

ძაბვის ზღერული გადახრის მნიშვნელობები ნორმირებულია აგრეთვე თვით ელექტროდანადგარებისთვისაც:

ა) გრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების შემყვან მომჭერებზე ძაბვის გადახრა დასაშვებია მათი მუშა მარეგულირებელი გამომყვანის ნომინალური ძაბვის არაუმეტეს 5% -ისა;

ბ) გენერატორებსა და სინქრონულ კომპენსატორებს შეუძლიათ განავითარონ ნომინალური სიმძლავრე ძაბვის ნომინალურისაგან $\pm 5\%$ -ით გადახრის პირობებში. ქონებული სიმძლავრის შემცირებისას დასაშვებია ძაბვის კიდევ უფრო მეტად გადახრა, მაგრამ არაუმეტეს ნომინალურის 10% -ისა;

გ) ელექტრული იზოლაციის ნორმალური მუშაობის პირობების უზრუნველყოფის თვალსაზრისით ნორმირებულია ძაბვის ნომინალურიდან ამაღლების დასაშვები მნიშვნელობები: 20 კვ-მდე ნომინალური

ძაბვისას არაუმეტეს 20%-ისა; 35÷220 კე ძაბვისა 15%-მდე; 330 კე ძაბვისას 10%-მდე; 500 კე და მეტი ძაბვისას 5%-მდე.

ძაბვის ხშირი გადახრისას (1%/წმ და მეტი სიჩქარით) განიხილვენ ძაბვის რხევის ცნებას, რომელიც წარმოადგენს ძაბვის უდიდეს და უმცირეს სიდიდეთა შორის სხვაობას პროცენტებში:

$$V_r \% = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_0} \cdot 100.$$

ძაბვის რხევა უფრო ხშირად გამოწვეულია ელექტრული ძრავების გაშვებით, შეძლული აპარატის მუშაობით, წვეის ცელადი დატვირთვით და ა.შ. ძაბვის რხევა ყველაზე უფრო მეტ გავლენას ახდენს განათების ქსელის ელექტრომომღებებზე, სადაც ადგილი აქვს ნათურების სინათლის ნაკადის მკვეთრ ცვლილებას, რაც უარყოფითად მოქმედებს ადამიანთა მხედველობით აღქმაზე. ამის გამო ძაბვის რხევა ნორმირდება მხოლოდ განათების დანადგარებისთვის და რადიოხელსაწყოებისთვის, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი თანაფარდობით:

$$V_r \% = 1 + \frac{6}{n} = 1 + \frac{\Delta I}{10},$$

სადაც: n — რხევების რიცხვი ერთ საათში; ΔI — ერთ საათში ყოველ მომდევნო რხევებს შორის საშუალო ინტერვალი, (წთ).

ელექტრულ ქსელში ძაბვის ცვლილება არასასურველ მოვლენებს იწვევს. კერძოდ, ძაბვის შემცირებისას მცირდება ვარეარების ნათურების სინათლის ნაკადი და შესაბამისად მათი მ.ქ.კ., გაზრდისას კი მცირდება მათი სამსახურის ვადა. ასევე, ძაბვის შემცირებისას უარესდება ასინქრონული ძრავების მუშაობის პირობები, მცირდება მ.ქ.კ. და გრაგნილში გამავალი დატვირთვის დენის გაზრდის გამო ადგილი აქვს იზოლატიის დაძველების პროცესის დაჩქარებას. ძაბვის გაზრდისას მნიშვნელოვნად იზრდება ასინქრონული ძრავების დამაგნიტების დენი, რაც ხშირად იწვევს სტაგორის გრაგნილის გადატვირთვას. იმავედროულად შეიძლება მნიშვნელოვნად გაიზარდოს ძრავის მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე. ძაბვის შემცირებით ელექტროსაცხოვ დაანადგარებში იზრდება ტექნოლოგიური პროცესის ხანგრძლივობა და შესაბამისად მცირდება მწარმოებლობა.

გრანსფორმატორებისთვის უფრო სახიფათოა ძაბვის ამაღლება. ამ დროს მნიშვნელოვნად იზრდება დამაგნიტების დენი, რაც გრანსფორმატორის დამაგნიტების არაწრფივ უბანზე მუშაობით აიხსნება. შედეგად მახინჯდება დამაგნიტების დენის მრუდი და წარმოიქმნება მაღალი რიგის ჰარმონიკები, რაც გამოიწვევს გრაგნილის დამაგებით გახურებას და აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ზრდას.

ძაბვათა სამუშაო სისტემის არასიმეტრიულობას ადგილი აქვს მაშინ, როცა ელექტრულ ქსელში ძაბვათა პირდაპირი მიმდევრობის სისტემასთან ერთად შეიმჩნევა უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვათა სისტემის არსებობა, რომელთა მნიშვნელობები შეღარებით მცირეა, ვიდრე პირდაპირი მიმდევრობის ძაბვა.

ძაბვათა არასიმეტრიულობა ხასიათდება უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვათა პროცენტული მნიშვნელობით ნომინალური ძაბვის მიმართ:

$$U_1 \% = \frac{U_1}{U_0} \cdot 100; \quad U_0 \% = \frac{U_0}{U_0} \cdot 100; \quad (53)$$

სადაც, $U_1 = \sqrt{3}(\underline{U}_A + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_B + \underline{a} \cdot \underline{U}_C)$ - უკუ მიმდევრობის ძაბვა.

$U_0 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C)$ - ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვა.

$\underline{a} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ - ფაზის ცვლილების ოპერატორი.

$\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C - A, B, C$, ფაზების ძაბვების კომპლექსური მნიშვნელობები.

არასიმეტრიის დასაშვები მნიშვნელობები არ უნდა აღემატებოდეს $(2 \div 3)\%$ -ს.

ქსელში არასიმეტრიის წარმოქმნის ძირითად მიზეზს წარმოადგენს არასიმეტრიული დატვირთვის მქონე ელექტრომიმდებლების არსებობა (განსაკუთრებით მძლავრი ერთფაზა მომხმარებლები) და რიგ შემთხვევაში, თვითონ ქსელის ელემენტების პარამეტრთა არასიმეტრიულობა (გრძელი ხაზი სადენთა გრანსპოზიციის გარეშე ან გრანსპოზიციის გრძელი ციკლით).

ყველა სამუშაო მოწყობილობა - დანადგარებისთვის ნორმალური რეჟიმი გულისხმობს მის მომჭერებზე მიყვანილი სამუშაო ძაბვის სიმეტრიულობას. სიმეტრიის დარღვევა აუარესებს მომხმარებლის მუშაობის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

სამუშაო ასინქრონული და სინქრონული ძრავების მუშა პროცესი დაკავშირებულია სტაგორის გრაფიკში გამავალი დენების მიერ შექმნილი მბრუნავი მაგნიტური ველის არსებობასთან. ამ დენების არასიმეტრიის დროს მაგნიტური ველი განიხილება, როგორც ორი სხვადასხვა მიმართულებით მბრუნავი ველების ჯამი, რომელთაგანაც ერთი მოძრაობს როგორც ბრუნვის მიმართულებით (პირდაპირი მიმდევრობის ველი), ხოლო მეორე მოძრაობს იმავე სიჩქარით, ოღონდ როგორც ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით (უკუ მიმდევრობის ველი), ეს მეორე მდგენელი სიმეტრიულ რეჟიმში არ არსებობს.

უკუ მიმდევრობის მაგნიტური ველი წარმოადგენს პრაქტიკის მუშაობის მახასიათებლის ცელილების მიზეზს. კერძოდ, რამდენადმე იცვლება მანქანის მბრუნავი მომენტი, ადგილი აქვს გრაგნილისა და როტორის ფოლადის დამატებით გახურებას, რიგ შემთხვევაში წარმოიქმნება ეიბრაქია. ყველაზე მნიშვნელოვანს წარმოადგენს დამატებითი გახურება, რაც აჩქარებს იზოლაციის დაძველებას. დამატებითი გახურება აიხსნება იმით, რომ უკუ მიმდევრობის მაგნიტური ველი როტორის მიმართ ბრუნავს თითქმის ორმაგი სინქრონული სიჩქარით და, შესაბამისად, შეკრულ კონტურებში (გრაგნილი და როტორის ფოლადი) აღიძვრება ცვლადი დენები, რომლებსაც გააჩნიათ თითქმის ორმაგი ნომინალური სიხშირე.

არასიმეტრიულ რეჟიმში მოსალოდნელია აგრეთვე გრანსფორმატორების დამატებითი გახურება და, შესაბამისად, გრანსფორმატორის გრაგნილების მეშვეობით სიმძლავრის გადაცემის შესაძლებლობა მცირდება.

ძაბვის არასინუსოიდულობა ნიშნავს, რომ მუშა ძაბვა ძირითადი სიხშირის ($f_1 = 50$ ჰერცი) შემდგენის გარდა შეიცავს აგრეთვე უფრო მაღალი (ძირითადი სიხშირის ჯერადი) სიხშირის შემდგენებსაც. ძაბვის და დენის არასინუსოიდულობის მიზეზს წარმოადგენს ქსელში ცალკეული არაწრფივი ელემენტების არსებობა, რომელთა შორის ყველაზე მეტი გავლენით ხასიათდება ვენტილური მოწყობილობები – გამმართიელები.

სამუშაო ქსელებში ჩვეულებრივ წარმოიქმნება კენტი რიგის პარმონიკები, რომელთაგანაც თავისი მოქმედი სიდიდით მნიშვნელოვანი შეიძლება იყოს $\gamma = 3 + 13$ რიგის პარმონიკები:

დღეისთვის ძაბვის არასინუსოიდულობის ნორმირებული დასაშვები მნიშვნელობა არ არსებობს, მაგრამ მიახლოებით იგი შეიძლება შეფასებული იქნეს პირობით:

$$K_{\text{არსინ.}} \% = \frac{\sqrt{\sum_{\gamma=3}^{\infty} U_{\gamma}^2}}{U_6} \cdot 100 \leq 5. \quad (5.4)$$

მომხმარებელბთან ძაბვის მაღალი რიგის პარმონიკები იწვევს ძაბვის დამატებით გადახრას, რაც, ზოგადად, სხვადასხვა ფაზისათვის სხვადასხვაა და ამიგომ მისი რეგულირება ჩვეულებრივი მეთოდებით არ ხერხდება.

ელექტროძრავებში აღნიშნული პარმონიკები იწვევს როტორის მასიური ნაწილის დამატებით გახურებას და შესაბამისად, გვაქვს აქტიური სიმძლავრის დამატებითი კარგვები.

საერთოდ, ძაბვისა და ღენის მაღალი რიგის პარამონიკები აუარესებს ელექტრომომარაგების სისტემის მუშაობის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს. როგორც ელექტრომიმღებებში, ასევე ელექტრულ ქსელებში იმრდება აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები.

5.2. დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე იცვლება როგორც დროში და, ასევე, რეჟიმის პარამეტრების, კერძოდ, ძაბვისა და სიხშირის ცვლილებისას. მომხმარებელთა დატვირთვის შეცვლა იწვევს ქსელში სიმძლავრეთა ნაკადის ცვლილებას. შესაბამისად, იცვლება რეჟიმის პარამეტრებიც. მაშასადამე, ქსელის რეჟიმის პარამეტრები და მომხმარებელთა დატვირთვა ურთიერთკავშირშია. აქედან გამომდინარე, ქსელის რეჟიმების გაანგარიშებისას არსებითი მნიშვნელობა აქვს დატვირთვის მახასიათებლების გათვალისწინებას.

ნორმალურ დამყარებულ რეჟიმში დატვირთვა დროში მდორედ და ნელა იცვლება და ამიგომ ამ რეჟიმებში მიგანმეწონილია განვიხილოთ დატვირთვის სტატიკური მახასიათებელი:

$$P = P(U, f) \text{ და } Q = Q(U, f). \quad (5.5)$$

განსხვავებით სტატიკურიდან, დატვირთვის დინამიკური მახასიათებლები დამატებით დროის ფუნქციას წარმოადგენს:

$$P = P\left(U; f; \frac{dU}{dt}; \frac{df}{dt}; \frac{d^2U}{dt^2}; \frac{d^2f}{dt^2} \dots\right)$$

და

$$Q = Q\left(U; f; \frac{dU}{dt}; \frac{df}{dt}; \frac{d^2U}{dt^2}; \frac{d^2f}{dt^2} \dots\right)$$

რეჟიმის პარამეტრების მდორე და მცირე ცვლილებისას დატვირთვის ცვლილება შეიძლება გამოვსახოთ გამოსახულებებით:

$$\left. \begin{aligned} dP &= \frac{\partial P}{\partial U} \cdot dU + \frac{\partial P}{\partial f} \cdot df \\ dQ &= \frac{\partial Q}{\partial U} \cdot dU + \frac{\partial Q}{\partial f} \cdot df \end{aligned} \right\} \quad (5.6)$$

სიდიდეები: $\frac{\partial P}{\partial U}$, $\frac{\partial Q}{\partial U}$ და $\frac{\partial P}{\partial f}$, $\frac{\partial Q}{\partial f}$ წარმოადგენენ დატვირთვის

მარეგულირებელ ეუექტს. ამასთან, პრიველი და მეორე დატვირთვის მარეგულირებელი ეუექტია ძაბვის მიხედვით, ხოლო მესამე და მეოთხე კი იგივე სიხშირის მიხედვით.

რიცხობრივად მოცემული პარამეტრის მიხედვით მარეგულირებელი ეუექტი დატვირთვის ცვლილების ტოლია, როცა მოცემული პარა-

მეტრი იცვლება ერთი ერთეულით, სოლო მეორე პარამეტრი კი უცვლელია. მაგალითად:

$$\frac{\partial P}{\partial U} = dP, \text{ როცა } dU=1 \text{ და } df=0$$

ან

$$\frac{\partial P}{\partial f} = dP, \text{ როცა } df=1 \text{ და } dU=0$$

ელექტრული ქსელის მომხმარებელთა შორის არის სხვადასხვა სახის მომხმარებლები, რომელთა დაგვირთვის სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლები ასევე სხვადასხვა სახისაა. ქსელის რეჟიმის გაანგარიშებისას ინგერესს წარმოადგენს არა ცალკეული მომხმარებლების დაგვირთვის მახასიათებლები, არამედ ე.წ. განზოგადოებული მახასიათებელი, რომელიც განისაზღვრება საკმარისად დიდი ენერგორაიონის მომხმარებელთა მახასიათებლების მიხედვით.

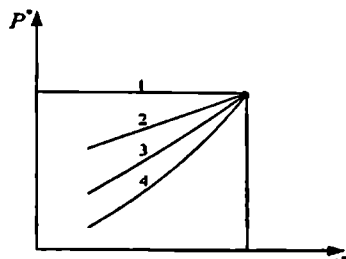
სხვადასხვა ენერგორაიონების მომხმარებელთა დაგვირთვის სტატიკური განზოგადოებული მახასიათებლები პრაქტიკულად ერთმანეთის მსგავსია, რაც განპირობებულია იმით, რომ მომხმარებელთა შორის დიდი ხვედრითი წილი აქვს სინქრონულ ძრავებსა და ეარეარების ნათურებს. ამიგომ ქსელის დაგვირთვის განზოგადოებული სტატიკური მახასიათებლის ფორმაზე განმსაზღვრელ გავლენას ახდენს სწორედ აღნიშნული მომხმარებლების სტატიკური მახასიათებლების ფორმა.

ვარვარების ნათურების, ელექტროღუმელებისა და მეტალურგიული ობიექტების (წინაღობის ღუმელები, რკალური ღუმელები) მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე არ არის დამოკიდებული სიხშირეზე, ხოლო ძაბვის შეცვლისას მათი აქტიური დაგვირთვა იცვლება $\approx 1,8$ ხარისხის პროპორციულად. რეაქტიულ სიმძლავრეს ეს მომხმარებლები არ მოითხოვენ.

ლუმინესცენსური ნათურების მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე სიხშირის 1%-ით შეცვლისას იცვლება (0,5-0,8)%-ით, ხოლო ძაბვის 1%-ით შეცვლისას კი უფრო ნაკლები პროცენტით.

სინქრონული ძარების სტატიკური მახასიათებლები, ზოგადად სხვადასხვაა და განისაზღვრება იმ მექანიზმებით, რომლებიც მოძრაობაში მოდის ამ ძრავების მეშვეობით. ამ მანქანა-მოწყობილობების დიდი ნაწილის აქტიური დაგვირთვა უმნიშვნელოდაა დამოკიდებული ძაბვის ცვლილებაზე, ხოლო სიხშირის შეცვლისას კი თითქმის პირდაპირპროპორციულად იცვლება (ნახ.5.2, წირი 3). რეაქტიული დაგვირთვა დამოკიდებულია, როგორც ძაბვაზე, ასევე სიხშირეზე.

ცენტრიდანული გუმბოებისა და ვენტილატორების ელექტროამპრაჟების მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე სიხშირის თითქმის მესამე ხარისხის პროპორციულად იცვლება (ნახ.5.2, წირი 4).



ნახ. 5.2. მომხმარებელთა აქტიური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები სიხშირის მიხედვით: 1-ვარვარების ნათურები, წინაღობის ღუმელები, რკალური ღუმელები; 2-ლუმინესცენური ნათურები; 3-დგუმიანი გუმბოები, კომპრესორები, ბურთულებიანი წისქვილები; სამსხვრეველები; ლითონის საჭრელი ჩარხები; ამწე და საგრანპოორგო მეაქნიშვები; 4-ცენტრიდანული გუმბოები და ვენტილატორები.

მომხმარებელთა დატვირთვის ტიპური განზოგადოებული სტატიკური მახასიათებლები მოცემულია 5.3 და 5.4 ნახაზებზე. ეს მახასიათებლები მიღებულია ელექტროსისტემის მომხმარებელთა შემდეგი პროცენტული შემადგენლობისას:

მცირე სიმძლავრის ასინქრონული ძრავები — 34

დიდი სიმძლავრის ასინქრონული ძრავები — 14

განათება — 25

გამმართელები, ღუმელები და გამათბობელი ხელსაწყოები—10

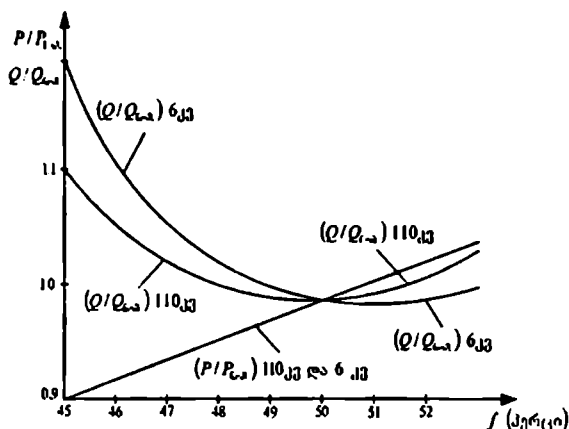
სინქრონული ძრავები—10

დანაკარგები ქსელში — 7

როგორც 5.3 ნახაზზე წარმოადგენილი მახასიათებლიდან ჩანს, აქტიური დატვირთვის ცელილება სიხშირისგან პრაქტიკულად წრფივ დამოკიდებულებაშია. მისი დახრილობა განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$K_{\epsilon} = \frac{\Delta P_{\epsilon} / P_{\epsilon}}{\Delta f / f_{\epsilon}}, \quad (5.7)$$

სადაც ΔP_{ϵ} - მომხმარებელთა აქტიური სიმძლავრის ჯამური ცელილება სისტემაში სიხშირის Δf სიდიდით შეცვლისას; P_{ϵ} - სისტემის ჯამური დატვირთვა f_{ϵ} სიხშირის დროს.



ნახ. 5.3. აქტიური და რეაქტიული დატვირთვის ტიპური განზოგადოებული სტატიკური მახასიათებლები სიხშირის მიხედვით ($U=\text{const}$)

(5.7) გამოსახულების თანახმად ეწერთ:

$$\Delta P_{\epsilon} = K_{\epsilon} \cdot P_{\epsilon} \cdot \frac{\Delta f}{f} \quad (5.8)$$

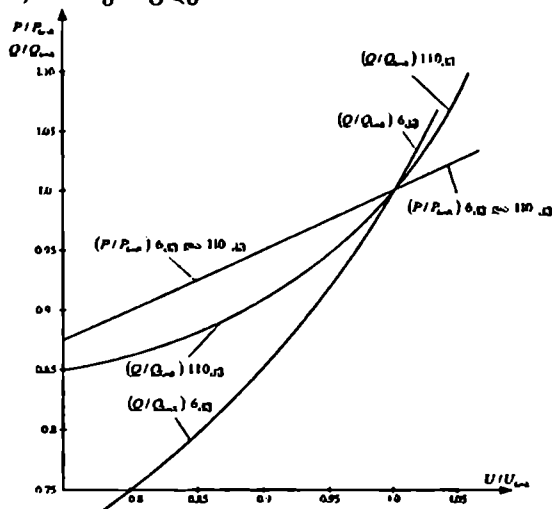
ანუ

$$\Delta f = \frac{\Delta P_{\epsilon} \cdot f}{K_{\epsilon} \cdot P_{\epsilon}} \quad (5.9)$$

ენერგოსისტემებისთვის $K_{\epsilon} \approx (1-3)$, რაც მიუთითებს მასშედ, რომ სიხშირის 1%-ით შეცვლისას სისტემის ჯამური აქტიური დატვირთვა იცვლება (1-3)%-ით.

ამავე ნასაზის მიხედვით გვაქვს, რომ სიხშირის შემცირება იწვევს რეაქტიული დატვირთვის ზრდას, რაც ძირითადად განპირობებულია ანიქრონულ ძრავებსა და გრანსფორმატორებში მაგნიტური ინდუქციის გაზრდით და გაყენების შედეგად მათი დამაგნიტების დენის მნიშვნელოვანი ზრდით. სიხშირის შემცირებით მცირდება ხაზების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე, რაც სისტემის ჯამური რეაქტიული სიმძლავრის მოხმარების გაზრდის გოლფასია. აღნიშნული ზრდა რამდენადმე კომპენსირდება ხაზების, გრანსფორმატორებისა და ასინქრონული ძრავების ფანჯვის რეაქტიულ წინააღობაში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების ხარჯზე. მთლიანად ენერგო-

სისტემისთვის სიხშირის 1%-ით შემცირებისას რეაქტიული დაგვირთვა იზრდება (1-1.5)%-ის ფარგლებში.



ნახ. 5.4. აქტიური და რეაქტიული დაგვირთვის გიჟიური განზოგადოებული მახასიათებლები ძაბვის მიხედვით ($f = \text{const}$)

5.4 ნახაზზე წარმოდგენილი მახასიათებლების მიხედვით ჩანს, რომ აქტიური დაგვირთვა ძაბვისგან თითქმის წრფივად დამოკიდებულია. ამასთან მისი დახრილობა მით მეტია, რაც მეტია ვარეარების ნატურების, გათბობისა და რკალური ღუმელების ხვედრითი წილი საერთო დაგვირთვაში. მთლიანად სისტემისთვის ძაბვის 1%-ით შემცირებისას აქტიური დაგვირთვა მცირდება (0.6-2)%-ის ფარგლებში. უნდა აღინიშნოს, რომ სინქრონული ძრავების დაგვირთვის სიმძლავრე მცირედ იცვლება, ხოლო გემოთ აღნიშნული საყოფაცხოვრებო მომხმარებელთა და რკალური ღუმელების დაგვირთვა ძაბვის 1%-ით შემცირებისას მცირდება (1.6-2)%-ის ფარგლებში. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ძაბვის 1%-ით შემცირებისას ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები იზრდება დაახლოებით 2%-ით.

რეაქტიული დაგვირთვა ძაბვისგან მრუდწირულად დამოკიდებულია. ასინქრონული ძრავებისა და გრანსფორმატორების დამაგნიტების რეაქტიული სიმძლავრე ძაბვის შემცირებისას მკვეთრად მცირდება (დაახლოებით 2-3%-ით ძაბვის 1%-ით შემცირებისას). ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები, რომელთა ხვედრითი წილი ნომინალურ რეჟიმში ჯამური რეაქტიული დაგვირთვის (30-40)%-ს შეადგენს, ძაბვის

1%-ით შემცირებისას 2%-ით იზრდება. ამასთან ამ დატვირთვის ხვედრითი წილი ძაბვის შემცირებით იზრდება.

გარდა აღნიშნულისა, ძაბვის შემცირებისას ხაზების გვეადური სიმძლავრე კვადრატულპროპორციულად მცირდება, რაც გარკვეულწილად ზრდის რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტს.

ძაბვის გარკვეულ მნიშვნელობამდე შემცირებისას სისტემის რეაქტიული დატვირთვა მცირდება რაღაც მინიმალურ მნიშვნელობამდე და ძაბვის შემდგომი შემცირებისას კი იწყებს ზრდას. ენერგოსისტემისთვის რეაქტიული დატვირთვის ეს მინიმალური სიდიდე შეიძლება დამყარდეს ძაბვის (75-85)%-ის მნიშვნელობისას.

ზემოთ ჩაგარებული ანალიზი საშუალებას გვაძლევს ენერგოსისტემის მუშაობის პირობების შესახებ გავაკეთოთ გარკვეული დასკვნები. კერძოდ, სისტემაში სიმძლავრის საწყისი ბალანსის დარღვევა იწვევს სისტემის ახალ დამყარებულ რეჟიმში გადასვლას, სადაც გენერაცია და მოხმარება ისევ დაბალანსებულია ელექტროენერგიის სარისხის განსხვავებული მაჩვენებლების პირობებში.

5.3 და 5.4 ნახაზებზე რეაქტიული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები წარმოდგენილია ძაბვის ორი საფეხურის (110 და 6 კვ) მიმართ. განსხვავება მათ შორის განპირობებულია გრანსფორმატორებში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებისა და ამ დანაკარგებზე სიხშირისა და ძაბვის ცვლილების გავლენით.

5.3. გურბინის ბრუნვის სიხშირის რეგულატორი

ელექტროსისტემაში ცვლადი დენის სიხშირე დამოკიდებულია გენერატორის ბრუნვის სიხშირეზე:

$$f = \frac{N \cdot n}{60}, \quad (5.10)$$

სადაც: N – გენერატორის წყვილპოლუსთა რიცხვი, n – ბრუნვის სიხშირე (ბრ/წთ).

მუშაობისას გენერატორზე გურბინის მხრიდან მოქმედებს მბრუნავი მამოძრავებელი მომენტი M_g , ხოლო ელექტრული დატვირთვის მხრიდან კი მამუხრუჭებელი მომენტი M_e დამყარებულ რეჟიმში, როცა სრულდება აქტიური სიმძლავრის ბალანსი $P_g = P_e$ ადვილი აქვს გოლობა $M_g = M_e$ ამ პირობებში მუდმივია აგრეგატის ბრუნვის სიჩქარე და, შესაბამისად, მუდმივია სიხშირე სისტემაში.

ნორმალურ რეჟიმში დატვირთვა P_e მდორედ, მაგრამ მაინც იცვლება, რაც განპირობებულია მომხმარებელთა მუშაობის რეჟიმით. იმისთვის, რომ სისტემაში მომუშავე გენერატორების სინქრონული

ბრუნთა რიცხვი შეესაბამებოდა სისხმირის ნომინალურ მნიშვნელობას, აუცილებელია ჯამური P_{Σ} დაგვირთვის შეცვლასთან ერთად შეთანხმებულად იცვლებოდეს გენერატორების მიერ გენერირებული ჯამური აქტიური სიმძლავრეც. წინააღმდეგ შემთხვევაში აღგილი ექნება სისხმირის გადახრას ნომინალურიდან. მაგალითად, აქტიური დაგვირთვის გაზრდისას გაიზრდება აგრეგატზე მოქმედი მამუხრუჭებელი მომენტი და იმავე გენერაციის პირობებში (უცვლელი მამოძრავებელი მომენტი) შეუძლებელი იქნება შევინარჩუნოთ ბრუნვის აღრინდელი სიჩქარე და გენერატორები დაიწყებენ დამუხრუჭებას, რაც გამოიწვევს სისხმირის შემცირებას.

5.5 ნახაზზე ნაჩვენებია დაგვირთვის შეცვლისას სისტემაში სისხმირის ცვლილების დიაპაზონი არარეგულირებადი (წირი 1) და რეგულირებადი (წირი 2) ტურბინის შემთხვევაში.

დამყარებულ რეჟიმში, როცა $P_g = P_{g0}$ სისტემაში გვაქვს ნომინალური სისხმირე. თუ არარეგულირებადი ტურბინის შემთხვევაში დაგვირვთვა შეიცვლება $\pm \Delta P_i$ ფარგლებში, მაშინ სისხმირე შეიცვლება $f_1 \div f_2$ ფარგლებში.

როგორც ზემოთ აღენიშნეთ დაგვირთვის სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი აღწევს (1-3)-ს, ანუ დაგვირთვის (1-3)%-იანი ცვლილებისას სისხმირე შეიცვლება 1%-ით. მაგალითად, $P_{g0} = 2000$ მგვტ და $\Delta P_g = \pm 200$ მგვტ შემთხვევაში, თუ $K_g = 2$, ვლუბლობთ (გამოსახულება 3.93) $\Delta f = \pm 2.5$ პერც. სისხმირის ასეთი ღრმა გადახრა დაუშვებელია და ამიგომ ქსელში დაგვირთვის შეცვლისას საჭიროა შეთანხმებულად შეიცვალოს ტურბინაში მიწოდებული პირველადი ენერგორესურსის ხარჯი, რასაც მოპყვება გენერატორის მიერ გენერირებული აქტიური სიმძლავრის შეცვლა. ეს შესაძლებელი იქნება თუ ტურბინა აღჭურვილია საეციალური მოწყობილობით, რომელიც სისტემაში სისხმირის შეცვლისას უზრუნველყოფს პირველადი ენერგორესურსის ხარჯის შეცვლას (რეგულირებადი ტურბინა). ასეთ მოწყობილობას ტურბინის ბრუნვის სიჩქარის რეგულატორს უწოდებენ.

რეგულატორის მოქმედების პრინციპი ისეთი უნდა იყოს, რომ სისხმირის ამაღლებისას იგი ამცირებდეს ტურბინაში მიწოდებული ენერგომემცველის ხარჯს, ხოლო შემცირებისას კი პირიქით ზრდიდეს. ამ დამოკიდებულებას რეგულატორის სტატიკურ მახასიათებელს უწოდებენ (ნახ. 5.5 წირი 2).

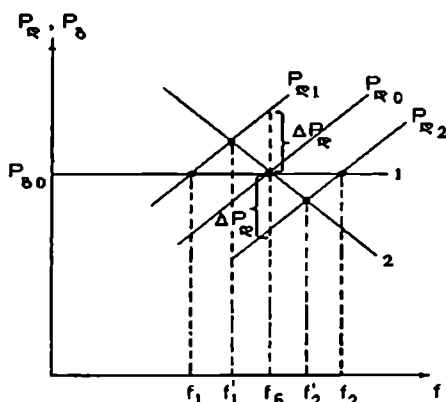
იმისთვის, რომ სისტემაში წარმოქნილი უბალანსობისას სისხმირე იცვლებოდეს რაც შეიძლება ვიწრო ფარგლებში, საჭიროა რეგულატორის სტატიკური მახასიათებლის დახრილობა იყოს საკმარისად დიდი. 5.52 ნახაზიდან ჩანს, რომ რაც უფრო დახრილია სტატიკური მახასია-

ათებული (წირი 2), მით უფრო ვიწროა $f_1 \div f_2$ შუალედი. ამავე ნახაზიდან ჩანს, რომ დამყარებულ რეკიმებში ნებისმიერი სიხშირისას გენერატორის მიერ გენერირებული სიმძლავრე მომხმარებელთა დატვირთვის ტოლია. ამასთან დაბალი სიხშირე მიუთითებს მას, რომ სისტემაში აღვილი აქვს აქტიური სიმძლავრის დეფიციტს, სოლო მაღალი სიხშირე კი მიუთითებს გენერაციის სიჭარბეს. აქედან გამომდინარე სიხშირის გადახრას სისტემაში აღვილი შეიძლება პქონდეს, როცა:

ა) ელექტრომომხმარებელთა უცვლელი შემადგენლობისას იცვლება ელექტროსადგურების ჯამური გენერაცია;

ბ) უცვლელი გენერაციის პირობებში იცვლება მომხმარებელთა ჯამური დატვირთვა;

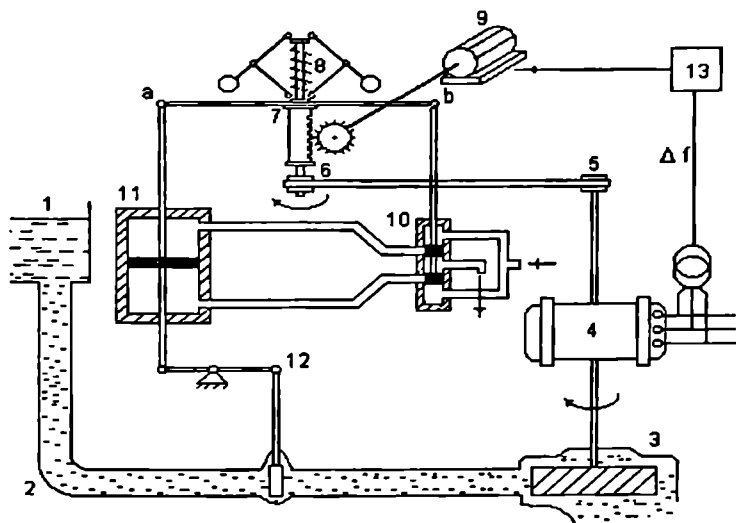
გ) გენერაცია და დატვირთვა იცვლება არაშეთანხმებულად.



ნახ. 5.5. სისტემაში სიხშირის ცვლილების ფარგლებში არარეგულირებადი (1) და რეგულირებადი (2) ტურბინის პირობებში

ტურბინის ბრუნვის სიჩქარის რეგულატორის პრინციპული სქემა მოცემულია 5.6 ნახაზზე, სადაც პირველადი ენერგორესურსის წყაროს წარმოადგენს წყლის სადაწნო რემერეუარი 1, რომელიც მილსადენით 2 დაკავშირებულია ტურბინასთან 3. თბოსადგურებზე პირველადი ენერგორესურსის წყაროს წარმოადგენს ორთქლის ქვაბი, რომელიც იმავე ფუნქციას ასრულებს, რასაც სადაწნო რემერეუარი. ტურბინას ბრუნვით მოძრაობაში მოჰყავს გენერატორი 4 და გადაცემის 5 საშუალებით ტურბინის სიჩქარის რეგულატორის მქნეარა 6. მქნეარა წარმოადგენს სახსრულად შეერთებულ ოთხგვერდას, რომლის მეღა ბოლო ლილვის მიმართ უძრავია. ქეღა ბოლოზე დამაგრებულია ლილვზე თა-

ვისუფლად მოძრაეი ქურო 7, ხოლო გვერდით წვეროებზე მიმაგრებულია გვირთები. მქნევიარას ლილვის ბრუნვის სიჩქარე გურბინის ბრუნვის სიჩქარის პროპორციულია. ქუროს 7 მდებარეობა განისაზღვრება, ერთის მხრივ, მქნევიარას მოძრაეი ელემენტებზე მოქმედი სიმძიმისა და ცენტრიდანული ძალებით და მეორე მხრივ, ზამბარის 8 შეკუმშულობით. მანქანის ბრუნვის სიჩქარის ყოველ მნიშვნელობას შეესაბამება ქუროს გარკვეული განსაზღვრული მდებარეობა. ამ დროს მკვეთარას 10 მიერ სერეოძრაეთან 11 მიერთებული მილსადენები გადაკეტილია და სერეოძრაეი უძრავ მდგომარეობაშია, რადგანაც მის ღვეშზე ორივე მხრიდან მოქმედებს ზეთი ერთნაირი წნეეით.



ნახ. 5.6. გურბინის ბრუნვის სიჩქარის რეგულატორი
 1 – სადწნეო რემერეუარი; 2 – მილსადენი; 3 – გურბინა;
 4 – გენერატორი; 5 – ბრუნვითი მოძრაობის გადაცემის
 მოწყობილობა; 6 – მქნევიარა; 7 – მოძრაეი ქურო; 8 – ზამბარა;
 9 – დანაყენის ძრავა; 10 – მკვეთარა; 11 – სერეოძრაეი;
 12 – მარეგულირებელი სარქველი; 13 – გადამწოდი.

გურბინის ბრუნვის სიხშირის შეცვლისას შეიცვლება მქნევიარას მოძრაეი ელემენტებზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალები და შედეგად ქურო 7 შეიცვლის მდებარეობას, რასაც მოჰყვება მკვეთარას ფანჯრების გაღება. ზეთი წნეეით შევა ზედა ფანჯრიდან (სიხშირის შემცირებისას) სერეოძრაეის ზედა კამერაში ან ქვედა ფანჯრიდან (სიხშირის ამაღლებისას) ქვედა კამერაში, რაც გამოიწვევს ღვეშის შესაბამის გა-

დაადგილებას. შესაბამისად შეიცვლება მარეგულირებელი სარქველის 12 მდებარეობა და გურბინაში მიწოდებული პირველადი ენერგორესურსის ხარჯი.

პირველადი ენერგორესურსის ხარჯის მეცვლით შეიცვლება სიმძლავრე და შესაბამისად აგრეგატის ბრუნვის სიჩქარე პირვანდელი ცვლილების საწინააღმდეგოდ. ეს ცვლილება გაგრძელდება მანამ, სანამ მკვეთარა არ დაუბრუნდება თავის საწყის მდგომარეობას, რომლის დროსაც სერვომძრავთან მიერთებული მილსადენების ფანჯრები ისევ გადაიკეცება. შედეგად სერვომძრავის დგუშის მოძრაობა შეწყდება და დაიკავებს მეცვლილ პოზიციას. რადგანაც b წერტილი იმავე მდგომარეობაშია და a -ს კი მეცვლილი მდგომარეობა უკირავს, ამიტომ ქურო 7 არ დაუბრუნდა საწყის მდგომარეობას და შესაბამისად, გენერატორის ბრუნვის სიხშირე განსხვავებული იქნება პირვანდელი მნიშვნელობიდან.

ამრიგად, სისტემაში აქტიური სიმძლავრის ნებისმიერი სახის უბალანსობისას (დეფიციტი, სიჭარბე), გურბინის ბრუნვის სიჩქარის რეგულატორი თავისი მოქმედებით ხელს უწყობს ამ უბალანსობის აღმოფხვრას. კერძოდ, სიმძლავრის დეფიციტისას, რომლის დროსაც სისტემაში იწყება სიხშირის შემცირება, რეგულატორის მოქმედებით გენერატორის მიერ გენერირებული აქტიური სიმძლავრე იზრდება სიხშირის შემცირების პროპორციულად, ხოლო სიჭარბისას, რომლის დროსაც იწყება სიხშირის ზრდა, იმავე რეგულატორის მოქმედებით გენერირებული აქტიური სიმძლავრე მცირდება. მაშასადამე რეგულატორის მოქმედება აკმაყოფილებს იმ მოთხოვნას, რაც აღინიშნა 5.5 ნახაზის მისევლით ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე. ამ რეგულატორის სტატიკური მახასიათებელი ხასიათდება დახრილობის კოეფიციენტით, რომელიც წარმოადგენს გენერატორის მიერ გენერირებული აქტიური სიმძლავრის ცვლილების ფარდობითი მნიშვნელობის ფარდობას სიხშირის ცვლილების ფარდობით მნიშვნელობასთან:

$$K_{\delta} = - \frac{\Delta P_{\delta} / P_{\delta 0}}{\Delta f / f_0}, \quad (5.11)$$

სადაც: $P_{\delta 0}$ – გენერატორის ნომინალური სიმძლავრე. აქ „მინუსი“ მიუთითებს მას, რომ როცა $\Delta f > 0$, მაშინ $\Delta P_{\delta} < 0$ და პირიქით.

5.11-დან

$$\Delta P_{\delta} = -K_{\delta} \cdot P_{\delta 0} \cdot \frac{\Delta f}{f_0}. \quad (5.12)$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ სიხშირის მეცვლისას, რაც გამოწვეულია აქტიური სიმძლავრის უბალანსობით, მოცემული გენერა-

გორი ამ უბალანსოების აღმოფხვრაში მით უფრო აქტიურ მონაწილეობას მიიღებს, რაც მეტია, ერთი მხრივ, მისი ნომინალური სიმძლავრე და, მეორე მხრივ, რეგულატორის სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი.

მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია, ერთი მხრივ, ქუროს 7 მიმართ ab მხრეულის მხრების ურთიერთთანაფარდობაზე და, მეორე მხრივ, მარეგულირებელი სარქველის 12 მხრეულის მხრების ურთიერთთანაფარდობაზე საყრდენის წერტილის მიმართ (ნახ. 5.6). გურბოგენერატორებისთვის $K_g = 15 \div 20$, ხოლო პიდროგენერატორებისათვის $K_g = 25 \div 50$.

მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტის შებრუნებულ მნიშვნელობას პროცენტებში რეგულატორის სტატიკურ უწოდებენ

$$S_g \% = \frac{100}{K_g}. \quad (5.13)$$

მაშასადამე, სტატიკურ გურბოგენერატორებისთვის (5-6)%-ის, ხოლო პიდროგენერატორებისთვის (2-4)%-ის გოლია.

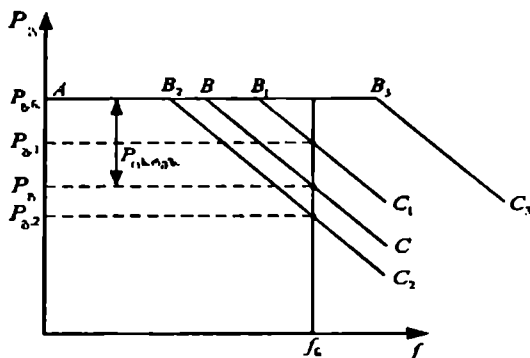
გენერატორმა სისხირის რეგულირებაში მონაწილეობის მიღება რომ შეძლოს, აუცილებელია იგი მუშაობდეს სტატიკური მახასიათებლის დახრილ BC უბანზე (ნახ. 5.7).

ამ დროს გენერატორს გააჩნია სიმძლავრის ცხელი რეზერვი და მას შესაძლებლობა აქვს შეცვალოს გენერირებული სიმძლავრე ორივე მიმართულებით (გაზრდა ან შემცირება). თუ გენერატორი მაქსიმალურადა დატვირთული $P_g = P_{g\phi}$ და არ გააჩნია სიმძლავრის ცხელი რეზერვი, მაშინ იგი სიმძლავრის დეფიციტის აღმოფხვრაში მონაწილეობას ვერ მიიღებს. ამ დროს გენერატორი მუშაობს სტატიკური მახასიათებლის პორიზონტალურ უბანზე (უბანი AB_g), სადაც $K_g = 0$. ამ შემთხვევაში გურბინა არარეგულირებადია.

როგორც 5.1 ნახაზიდან ჩანს, სისტემაში სიმძლავრის უბალანსობისას, მართალია გენერატორმა მახასიათებლის დახრილ უბანზე მუშაობისას მოახდინა აღეკვადური რეაგირება, მაგრამ სიხშირე სისტემაში მაინც დარჩა დაურეგულირებელი. სიხშირის რეგულირების შემთხვევაში პაროცესს სიხშირის პირველადი რეგულირება ეწოდება.

ნებისმიერი დატვირთვისას სიხშირე სისტემაში უნდა იყოს სტაბილური და ნორმალურად დასაშვებ ფარგლებში. ამისთვის გურბინის სიჩქარის რეგულატორი აღჭურვილია დამატებითი მოწყობილობით, რომელიც შეიცავს შემსრულებელ ორგანოს 9 და გადაშვოლს 3. ამ მასგაბილიზებელი მოწყობილობის მოქმედების შედეგად გენერატორს შე-

უძლია სხვადასხვა დატვირთვის პირობებში დაიჭიროს ბრუნვის ერთი-
დაიგივე სიჩქარე. ამ მოქმედებას შეესაბამება მახასიათებლის დახრი-
ლი უბნის გადაადგილება BC მდგომარეობიდან B_1C_1 (გენერატორის
დატვირთვის გაზრდა) ან B_2C_2 (დატვირთვის შემცირება) მდგომარეო-
ბაში (ნახ. 5.7). ამ პროცესში ხდება სისხმირის დაურეგულირებელი ნაწი-
ლის დარეგულირება. მახასიათებლის წანაცვლება ხდება ან ავტომატუ-
რად, ან ხელით მორიგე პრესონალის მიერ. სისხმირის რეგულირების
ამ პროცესს სისხმირის მეორეული რეგულირება ეწოდება.



ნახ. 5.7. რეგულირებადი ტურბინის ბრუნვის სიჩქარის
სტატიკური მახასიათებელი

როცა სისტემაში პარალელურად მუშაობს n რაოდენობის სხვა-
დასხვა ნომინალური სიმძლავრის გენერატორი, რომელთაც გააჩნიათ
სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის სხვადასხვა კოეფიციენტი, მა-
შინ სისტემაში სისხმირის გადახრისას თითოეული გენერატორი შეუ-
ვლის თავის გენერაციას (5.12) გამოსახულების შესაბამისად

$$\Delta P_{\delta,1} = -K_{\delta,1} \cdot P_{\delta,0} \cdot \frac{\Delta f}{f_0}, \quad \Delta P_{\delta,2} = -K_{\delta,2} \cdot P_{\delta,0} \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \text{ და ა.შ.}$$

დამატებითი ჯამური გენერაცია:

$$\Delta P_{\delta} = \Delta P_{\delta,1} + \Delta P_{\delta,2} + \dots = -\left(\sum_{i=1}^n K_{\delta,i} \cdot P_{\delta,0,i}\right) \cdot \frac{\Delta f}{f_0}$$

ანუ

$$\Delta P_{\delta} = -K_{\delta,0} \cdot P_{\delta,0} \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \quad (5.14)$$

სადაც:

$$P_{\Sigma, \text{ს.}} = \sum_{i=1}^n P_{\Sigma, \text{ს.}i} \quad (5.15)$$

სისტემაში პარალელურად მომუშავე გენერატორების ნომინალურ სიმძლავრეთა ჯამი;

$$K_{\Sigma, \text{ს.}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\Sigma, \text{ს.}i} \cdot P_{\Sigma, \text{ს.}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\Sigma, \text{ს.}i}} \quad (5.16)$$

სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის საშუალო მეწონილი კოეფიციენტი მთელი სისტემისთვის.

5.4. სიხშირის პირველადი რეგულირება

ენერგოსისტემაში რეჟიმის მართვის ამოცანათა შორის სიხშირის რეგულირება ერთერთი ყველაზე საპასუხისმგებლო და მნიშვნელოვანი ამოცანაა. ნორმალურ დამყარებულ რეჟიმში, სადაც გენერაცია და მოხმარება ურთიერთდაბალანსებულია, სიხშირე სისტემაში ნორმალურის ტოლია. ამ წონასწორულ მდგომარეობას P, f სიბრტყეზე შეესაბამება A წერტილი (ნახ. 5.8).

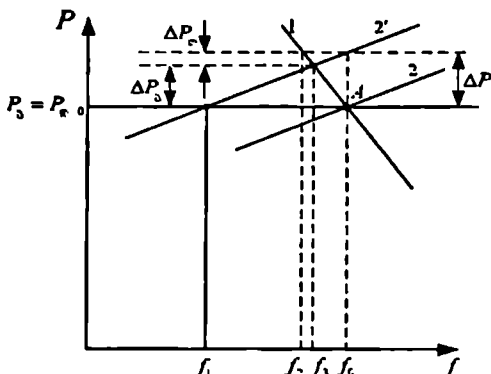
ამ ნახაზზე წირი 1 წარმოადგენს სისტემის ყველა გენერატორის ტურბინის ბრუნვის სიჩქარის რეგულატორების საშუალომეწონილ სტატიკურ მახასიათებელს, ხოლო წირი 2 სისტემის ჯამური დაგვირთვის სტატიკურ მახასიათებელს.

დაეუქმეთ, რომ მოცემულ რეჟიმში ჯამური დაგვირთვა გაიზარდა ΔP სიდიდით, მაშინ სისტემის ახალი ჯამური დაგვირთვის სტატიკური მახასიათებელი დაიკაევებს 2' მდებარეობს.

თუ ჩავთვლით, რომ სისტემის არც ერთ გენერატორს არ გააჩნია სიჩქარის რეგულატორი, მაშინ სიხშირე სისტემაში შემცირდება f_1 მნიშვნელობამდე. ხოლო, თუ მივიჩნევთ, რომ დაგვირთვა არ არის დამოკიდებული სიხშირეზე (ვარეარების ნათურები, ელექტროდუმელები), მაშინ სიხშირე შემცირდება f_2 მნიშვნელობამდე. სინამდვილეში კი არსებობს ორივე სტატიკური მახასიათებელი და ამიტომ სიხშირე სისტემაში ფაქტიურად შემცირდება f_3 მნიშვნელობამდე. ამ შემთხვევაში ΔP უბალანსოების აღმოფხვრა ხორციელდება გენერატორების მიერ ჯამური

გენერაციის ΔP_g სიდიდით გაზრდისა და ლაგვირთვის ΔP_l სიდიდით შემცირების ხარჯზე

$$\Delta P = \Delta P_g - \Delta P_l \quad (5.17)$$



ნახ. 5.8. ენერგოსისტემაში სიხშირის პირველადი რეგულირების გრაფიკული გამოსახვა

ამ გამოსახულების მაჯვენა მხარის მეორე წერის წინ ნიშანი „მინუსი“ შემოყვანილია იმიტომ, რომ როცა $\Delta f < 0$, მაშინ $\Delta P_g > 0$ და $\Delta P_l < 0$.

ანალიზის გამარტივების მიზნით ჩაეთვალოთ, რომ ტურბინის სიჩქარის რეგულატორს, როგორც ფიზიკურ მექანიზმს, ინერცია არ გააჩნია. ე.ი. სისტემაში სიხშირის გადახრისთანავე იგი მოდის მოქმედებაში და პირველადი ენერგორესურსის ხარჯი იცვლება რეგულატორის სტატიკური მახასიათებლის შესაბამისად.

(5.8) და (5.14) გამოსახულებათა გათვალისწინებით (5.17) ჩაიწერება ასე:

$$\Delta P = -(K_{g.s} \cdot P_{g.s} + K_l \cdot P_l) \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \quad (5.18)$$

ამ გამოსახულებაში P_l -ს ქვეშ იგულისხმება სისტემის ახალი ჯამური ლაგვირთვა

$$P_l = P_{l0} + \Delta P_l$$

შემოვიღოთ სიმბლავრის რეზერვის კოეფიციენტი:

$$\rho = \frac{P_{g.s}}{P_l} \quad (5.19)$$

მაშინ (5.18) მიიღებს სახეს:

$$\Delta P = -(\rho \cdot K_{\text{გ.ს.}} \cdot P_{\text{გ.ს.}} + K_{\text{ღ.}}) \cdot P_{\text{ღ.}} \cdot \frac{\Delta f}{f_{\text{გ.}}}$$

აქედან

$$\Delta f = -\frac{\Delta P}{P_{\text{ღ.}}} \cdot \frac{f_{\text{გ.}}}{\rho \cdot K_{\text{გ.ს.}} + K_{\text{ღ.}}} \quad (5.20)$$

ანუ

$$\frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta P}{P_{\text{ღ.}}(\rho \cdot K_{\text{გ.ს.}} + K_{\text{ღ.}})} = 0 \quad (5.21)$$

ამრიგად, სისტემაში სიმძლავრის უბალანსოებისას სიხშირის გადახრა მით მეტია, რაც მეტია უბალანსოების ფარდობითი მნიშვნელობა და რაც ნაკლებია სიმძლავრის რეზერვისა და სტატიკური მახასიათებლების დახრილობის კოეფიციენტი. (5.21) გამოსახულებას სიხშირის სტატიკური რეგულირების კანონს უწოდებენ.

უნდა აღინიშნოს, რომ სიხშირის რეგულირებაში უფრო აქტიურად (მეტი ხედრითი წილით) მონაწილეობს დიდი ნომინალური სიმძლავრის გენერატორი, რომელსაც გააჩნია სიმძლავრის ცხელი რეზერვი და რომელიც აღჭურვილია მაღალი დახრილობის მქონე ბრუნთა რიცხვის რეგულატორით (5.12).

როცა მუშაობაში ჩართული გენერატორები დაგვირთული არიან თავიანთ ზღვრულ მნიშვნელობამდე (არ გააჩნიათ სიმძლავრის ცხელი რეზერვი), მაშინ თითოეული მათგანისთვის $K_{\text{გ.ს.}}=0$ და, აქედან გამომდინარე, $K_{\text{გ.ს.}}=0$. ამ შემთხვევაში სიმძლავრის დეფიციტისას სიხშირის გადახრა განისაზღვრება მხოლოდ დაგვირთვის მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტის მიხედვით:

$$\Delta f = -\frac{\Delta P}{P_{\text{ღ.}}} \cdot \frac{f_{\text{გ.}}}{K_{\text{ღ.}}} \quad (5.22)$$

ხოლო სიმძლავრის სიჭარბისას კი (5.20) გამოსახულებით, სადაც $K_{\text{გ.ს.}} \neq 0$.

მაშასადამე $K_{\text{გ.ს.}}$ კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია ΔP და მაგებითი დაგვირთვის ნიშანზე ანუ სიხშირის ცვლილების ნიშანზე. დაგვირთვის შემცირებისას (ანუ სიხშირის გაზრდისას) $K_{\text{გ.ს.}}$ მნიშვნელოვნად დიდია და სიხშირის მნიშვნელოვანი ამაღლება ნაკლებად მოსალოდნელია, რადგანაც ამას ეწინააღმდეგება სისტემის ყველა გენერატორი ერთდროულად (თუ მათი სიჩქარის რეგულატორები მოქმედებენ). დაგვირთვის გაზრდისას (ანუ სიხშირის შემცირებისას) $K_{\text{გ.ს.}}$ მცო-

რეა და იგი მით უფრო მცირე ხდება, რაც უფრო მეტი გენერატორები ამოწურავს თავისი გენერაციის გაზრდის შესაძლებლობას სიხშირის რეგულირების პროცესში (ცხელი რეზერვის უკმარისობა).

5.5. ენერგოსისტემაში სიხშირის პირველადი რეგულირება სიმძლავრის ცხელი (მზრუნავი) რეზერვის უკმარისობის პირობებში

ენერგოსისტემაში სიხშირის პირველადი რეგულირება მიმდინარეობს სტატიკური რეგულირების კანონით (5.21) და ამასთან გენერატორებს შორის სიმძლავრის დეფიციტის გადანაწილება წარმოებს მათი ნომინალური სიმძლავრისა და რეგულატორის მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტის ნამრავლის პროპორციულად (გამოსახულება 5.12). ამ გამოსახულების თანახმად i -ური გენერატორის ცხელი რეზერვი ამოიწურება სიხშირის Δf_i სიდიდით შემცირებისას:

$$\Delta f_i = - \frac{P_{\text{გ.იხ.რეზ.}} \cdot f_{\text{ნ}}}{K_{\text{გ.}} \cdot P_{\text{გ.ნ}}} \quad (5.23)$$

იმ შემთხვევაში, როცა გენერატორებს გააჩნიათ მცირე სიდიდის ცხელი რეზერვი, სიმძლავრის დეფიციტის გაზრდასთან ერთად, ისინი თანმიმდევრობით ამოწურავენ თავიანთ შესაძლებლობებს და ერთმანეთის მიყოლებით გამოეთიშებიან სიხშირის პირველადი რეგულირების პროცესს. ეს, (5.16)-ის თანახმად, გამოიწვევს $K_{\text{გ.}}$ კოეფიციენტის შემცირებას ანუ ენერგოსისტემის ეკვივალენტური რეგულატორის სტატიკური მახასიათებლის შემობრუნებას საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

დაეუშვათ, რომ სისტემაში არის ოთხი გენერატორი, რომელთა ცხელი რეზერვი ამოწურვის ზღვარზეა. ამ შემთხვევაში სისტემის ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებელი იქნება $OO_1O_2O_3O_4$ ტეხილი წირის სახით (ნახ. 5.9), რადგანაც დატვირთვის $P_{\text{დ.}}$ მნიშვნელობამდე გაზრდისას ამოიწურება გ1 გენერატორის ცხელი რეზერვი, $P_{\text{დ.2}}$ მნიშვნელობამდე გაზრდისას ამოიწურება გ2 გენერატორის ცხელი რეზერვი და ა.შ.

თუ გენერატორებს შორის სისტემის ჯამურ ცხელ რეზერვს გაეანაწილებთ ისე, რომ სიხშირის შემცირებისას ყველა გენერატორის ცხელი რეზერვი ერთდროულად ამოიწურება, მაშინ ჯამური ცხელი რეზერვის ამოწურვამდე, ეკვივალენტური მახასიათებელი შეინარჩუნებს

რეზე იმოქმედებს სისტემის რომელიმე გენერატორის ტექნოლოგიური დაცვა. მაშინ ღეფიციტი კიდევ უფრო გაღრმავდება და შეიძლება სისტემა ნაწილობრივ (გაყოფის შემდეგ) ან მთლიანად ჩაქრეს.

ამრიგად, ენერგოსისტემაში სიმძლავრის ცხელი რეზერვის უკმარისობის პირობებში ავარიის განვითარების ლიკვიდაციის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ღონისძიებას წარმოადგენს სისტემის გენერატორებს შორის ჯამური ცხელი რეზერვის (5.24) პროპორციით განაწილება.

5.6. სიხშირის მეორეული რეგულირება

სიხშირის პირველადი რეგულირების ეფექტურობა დამოკიდებულია რეგულატორის მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტზე. რეალურ სისტემაში გურბინის სიჩქარის რეგულატორებს არ შეუძლია აღადგინონ სიხშირის საწყისი (ნომინალური) მნიშვნელობა გადახრის დასაშვები სიზუსტის ფარგლებში. ეს დასკვნა აშკარად ჩანს (5.20) განტოლებიდან, სადაც თუ $K_{\Sigma} \neq 0$, მაშინ $\Delta f \neq 0$.

სიხშირის პირველადი რეგულირების შემდეგ ყოველთვის საჭირო ხდება სიხშირის დამატებითი კორექტირება, რომელსაც სიხშირის მეორეულ რეგულირებას უწოდებენ.

სიხშირის მეორეული რეგულირება ითვალისწინებს სიმძლავრის მიღწეული ბალანსის (რაც მიღწეული იქნა პირველადი რეგულირებით) შესაბამისი დომით დარღვევას სასურველი მიმართულებით. ეს გულისხმობს გენერატორის მიერ განვითარებული სიმძლავრის შეცვლას, რაც განხორციელდება რეგულატორის მასტაბილიზებული მოწყობილობით (9 და 13 5.6 ნახაზზე).

სიხშირის მეორეულ რეგულირებაში სისტემის ყველა გენერატორის ერთდროული მონაწილეობა არ იძლევა სასურველ შედეგს, რადგანაც არაშეთანხმებული მოქმედების გამო სშირად აღგილი აქვს გადარეგულირების შემთხვევებს. შეუთანხმებელი მოქმედების თავიდან აცილების მიზნით სისტემაში გამოყოფენ სიხშირის მარეგულირებელ სადგურს, რომელსაც სიხშირის წამყვან სადგურს უწოდებენ. მაშინ სისტემის დანარჩენი სადგურები განისილება როგორც მიმყოფი სადგურები. სიხშირის წამყვანი სადგურის (გენერატორის) სიჩქარის რეგულატორის მასტაბილიზებული მოწყობილობა შეყვანილია მოქმედებაში, ხოლო მიმყოფი თფეკეუიში (გენერატორების) კი – გამოყვანილი. აღნიშნულიდან გამომდინარე სიხშირის პირველად რეგულირებაში მონაწილეობას მიიღებს სისტემის ყველა გენერატორი, თუ მათი ბრუნვის სიჩქარის რეგულატორები გამართულ მდგომარეობაშია, ხოლო მეორეულ რეგულირებას კი ასდენს სიხშირის წამყვანი სადგური, რომელიც თავისთავზე აიღებს სიმძლავრის იმ უბალანსობას, რომელმაც გა-

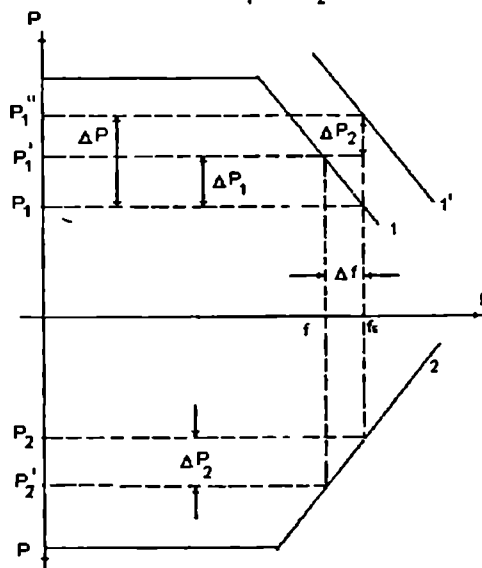
მოიწვია სიხშირის შეცვლა. მეორეული რეგულირებისას სისტემის დანარჩენი სადგურები, რომელთაც პირველადი რეგულირებისას საჭიროების მიხედვით შეცვალეს თავიანთი გენერაცია, დაუბრუნდებიან საწყის რეჟიმს.

სისტემაში სიხშირის პირველადი და მეორეული რეგულირების პრინციპი სქემატურად ნაჩვენებია 5.10 ნახაზზე.

აქ სიხშირის წამყვანი სადგური (გენერატორი) წარმოდგენილია სტატიკური მახასიათებლით 1, ხოლო მიმყოლი სადგურები ეკვივალენტური მახასიათებლით 2.

ნორმალურ რეჟიმში, როცა სისტემაში სიხშირე ნომინალურია, სადგურების დატვირთვაა შესაბამისად P_1 და P_2 . დაუშვათ, რომ გაიზარდა სისტემის დატვირთვა რაიმე ΔP სიდიდით, რასაც მოჰყვება სიხშირის შემცირება f მნიშვნელობამდე და ყველა გენერატორი თავიანთი მახასიათებლის დახრილობის მიხედვით დამატებით აიღებენ ΔP_1 და ΔP_2 დატვირთვას (ნახ. 5.10)

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2.$$



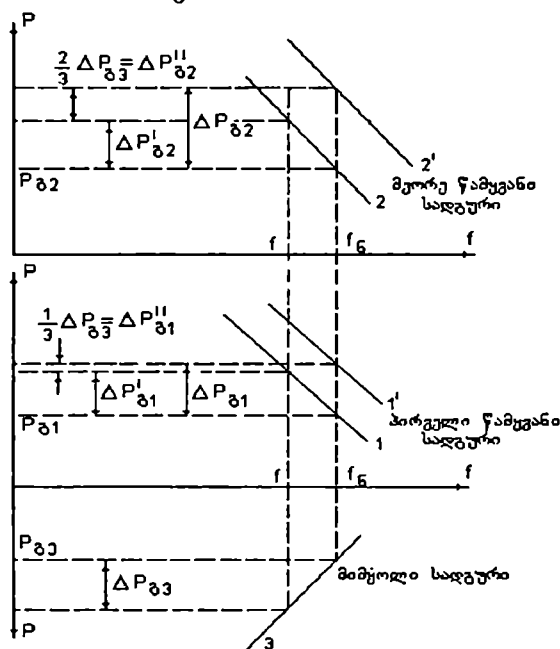
ნახ. 5.10. სიხშირის მეორეული რეგულირება ერთი წამყვანი სადგურის შემთხვევაში

ეს ეტაპი არის სიხშირის პირველადი რეგულირება. ამის შემდეგ სიხშირის წამყვანი სადგური 1 დააფიქსირებს, რა სიხშირის გაღახრას, ავტომატურად ან მორიგე პერსონალის მიერ ხელით, მოქმედებაში მო-

დის სიხშირის რეგულატორის დამატებითი მოწყობილობა და ამ სადგურის დაგვირთვა იწვევს ზრდას, მანამ, სანამ სიხშირე სისტემაში არ დაუბრუნდება თავის ნომინალურ მნიშვნელობას (ტერბინის ბრუნვის სინქარის რეგულატორის სტატიკური მახასიათებელი გადადის 1' მდებარეობაში). ამ დროს მიმყოფი სადგურების მიერ სიხშირის პირველადი რეგულირებისას აღებული დამატებითი დაგვირთვა მთლიანად გადაწილდება წამყვან სადგურებზე. ამ პროცესის შემდეგ აღსდგება ნომინალური სიხშირე. წამყვანი სადგურის მიერ მთლიანად აღებული იქნება ის უბალანსობა, რამაც გამოიწვია სიხშირის შეცვლა და მისი დაგვირთვა გახდება:

$$P_1'' = P_1 + \Delta P_1 + \Delta P_2 = P_1 + \Delta P$$

იმ შემთხვევაში, როცა სიხშირის წამყვანი სადგურის გენერატორის რეგულირების დიაპაზონი უფრო ნაკლებია, ვიდრე მოსალოდნელი უბალანსობა (დეფიციტი), მაშინ სიხშირის მეორეული რეგულირებისთვის მზადყოფნაში იქნება კიდევ ერთი სადგური (გენერატორი). ამ პირობებში სისტემაში სიხშირის რეგულირების პრინციპი სქემატურად წარმოდგენილია 5.11 ნახაზზე.



ნახ. 5.11. სიხშირის მეორეული რეგულირება ორი წამყვანი სადგურის შემთხვევაში

სიმძლავრის ბალანსის დარღვევებზე სისტემის დაგეირთვა:

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} + P_{\Sigma 3}$$

ბალანსის დარღვევის შემდეგ სისტემის დაგეირთვა გახდა $P'_{\Sigma} = P_{\Sigma} + \Delta P$, რამაც გამოიწვია სიხშირის შემცირება f მნიშვნელობამდე.

5.11 ნახაზიდან ჩანს, რომ სიხშირის პირველად რეგულირებაში მონაწილეობს ყველა ელექტროსადგური (გენერატორი), რომლებიც (5.12) გამოსახულების თანახმად თავიანთ თავზე იღებენ სიმძლავრის დეფიციტის გარკვეულ სიდიდეს:

$$\Delta P = P'_{\Sigma 1} + P'_{\Sigma 2} + \Delta P_{\Sigma 3}$$

სიხშირის მეორეულ რეგულირებაში მონაწილეობს მხოლოდ წამყვანი სადგურები (გენერატორები), რომელთა სტატიკური მახასიათებლები ხელით ან ავტომატურად გადაადგილებიან თავისი თავის პარალელურად ისე, რომ სისტემაში სიხშირე გახდეს ნომინალური.

ნახაზზე წარმოდგენილ კონკრეტულ შემთხვევაში

$$(K_{\Sigma 1} \cdot P_{\Sigma 6.1}) : (K_{\Sigma 6.2} \cdot P_{\Sigma 6.2}) = 1:2$$

და ამიტომ მიმყოფი სადგურების (გენერატორების) მიერ აღებული $\Delta P_{\Sigma 3}$ დამატებითი დაგეირთვა სიხშირის წამყვან სადგურებს შორის გადანაწილდება აღნიშნული პროპორციით:

$$\Delta P_{\Sigma 1}^* = \frac{1}{3} \cdot \Delta P_{\Sigma 3}, \quad \Delta P_{\Sigma 2}^* = \frac{2}{3} \cdot \Delta P_{\Sigma 3}$$

წამყვანი სადგურების (გენერატორების) ჯამური დამატებითი დაგეირთვა იქნება:

$$\Delta P_{\Sigma 1}' = \Delta P_{\Sigma 1}' + \Delta P_{\Sigma 1}^* = \Delta P_{\Sigma 1}' + \frac{1}{3} \cdot \Delta P_{\Sigma 3}$$

და

$$\Delta P_{\Sigma 2}' = \Delta P_{\Sigma 2}' + \Delta P_{\Sigma 2}^* = \Delta P_{\Sigma 2}' + \frac{2}{3} \cdot \Delta P_{\Sigma 3}$$

ანუ

$$\Delta P_{\Sigma 1.2}' = \Delta P_{\Sigma 1}' + \Delta P_{\Sigma 2}' = \Delta P_{\Sigma 2}' + \Delta P_{\Sigma 3} = \Delta P$$

შედეგად მიმყოფი სადგურები (გენერატორები) დაუბრუნდებიან საწყის რეჟიმს.

5.7. სიხშირული ავტომატური განგებობა

ენერგოსისტემის ჯამური სიმძლავრის ზრდასთან ერთად მცირდება სიხშირის ღრმა შემცირების ალბათობა, მაშინაც კი როცა ავარიულად ამოირთვება ყველაზე უფრო მძლავრი ენერგობლოკი.

დიდი ენერგოგაერთიანებები წარმოიქმნება შედარებით მცირე ენერგოსისტემების ბაზაზე სისტემათაშორისი დამაკავშირებელი ელექტროგადაცემის ხაზების საშუალებით. ასეთი ხაზის ავარიული გამორთვისას არ გამოირიცხება სიმძლავრის ღრმა ადგილობრივი დეფიციტი რომელიმე ერთ-ერთ შედარებით ნაკლებად მძლავრ სისტემაში. ასეთივე შედეგი შეიძლება გამოიწვიოს ენერგოსისტემის შიგა სასისტემო ხაზის გამორთვამ, რომლის გამოც სისტემა გაიყოფა არასინქრონულად მომუშავე ნაწილებად. ეს მდგომარეობა კიდევ უფრო მძიმდება, როცა ადგილი აქვს მნიშვნელოვნად დატვირთული ხაზის ავარიულ ამორთვას.

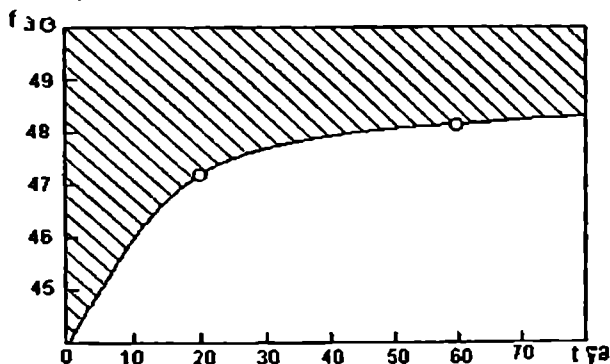
ენერგოსისტემაში სიმძლავრის დეფიციტის წარმოქმნის ადგილსა და მისი ჭარბობითი მნიშვნელობის განსაზღვრა, აგრეთვე რეზერვის მობილიზაციის შესაძლებლობის დადგენა საკმარისად რთული და მრავალფეროვანია ამოცანაა. ასევე რთულ ხასიათს ატარებს სისტემაში მიმდინარე გარდამავალი პროცესი ქსელის კონფიგურაციისა და გენერაცია-მოხმარების ურთიერთგანლაგებისგან დამოკიდებულებაში. თუ პროცესის ლოკალიზება სწრაფად არ მოხერხდა, შეიძლება მან გამოიწვიოს გაუთვალისწინებელი დამატებითი ავარიული სიტუაციები (გადატვირთვისგან რომელიმე ხაზის ამორთვა, ასინქრონული რეჟიმი, აგრეგატის სიმძლავრის შემცირება და ა.შ.), რაც კიდევ უფრო გააღრმავებს ავარიის სიმძიმეს და ხელს შეუწყობს მის განვითარებას.

ენერგოსისტემაში სიხშირის დაცემის შედეგად წარმოქმნილი ავარიული სიტუაციებისა და მისი განვითარების თავისებურებათა გათვალისწინებით ელექტროსადგურებისა და მომხმარებელთა მუშაობის პირობების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ავარიის წარმატებული ლიკვიდაციის მიზნით საჭიროა სისტემაში განხორციელდეს მოწყობილობა, რომელიც უზრუნველყოფს ნაწილი დატვირთვის გამორთვას გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობის დაყოვნებისა და, საბოლოო შედეგში, შეწყვეტის მიზნით. ასეთ მოწყობილობას სიხშირული ავარიული განგებობის (საგი) მოწყობილობას უწოდებენ.

საგის მოქმედება ორიენტირებული უნდა იყოს ავარიის წარმოქმნისა და მისი განვითარების ალბათურ ხასიათზე. მისი დანაყენი, მოცულობა და ქსელში განლაგება არ უნდა იყოს ენერგოსისტემის ისეთი პარამეტრების ფუნქცია, როგორიცაა მექანიკური ინერციის მუდმივა და დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი. ორივე ეს პარამეტრი დამოკი-

დებულება დატვირთვისა და ენერგოაგრეგატების შემადგენლობაზე და დროში სისიგემის რეკიუმის მისეღვით იცელება. საგმა უნდა შეძლოს აეაროის წარმატებული ლიკეიდაცია ამ პარამეტრების სხეადასხეა მოსალოდნელი მნიშვნელობების შემთხვეეაშიც კი.

სისშირის შემეცირების შედეგად ეალკეული აგრეგატების, კეანძეების და მთლიანად ენერგოსისგემის რეაქცია ელინდება არა მყისურად, არამედ გარკვეული დროის შემდეგ. საგის მოქმედება ორიენტირებული უნდა იყოს მასზე, რომ აეაროისას არ უნდა მოხდეს სისშირის გარკვეულ მნიშვნელობაზე დაბლა დაცემა იმ დროზე მეტად, რაც დასაშეებადა მიჩნეული (ნახ. 5.12).



ნახ. 5.12. ენერგომიმღების მუშაობის ზღვრული დასაშეები სისშირულ-დროითი ზონა

ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ დაუშეებელია ხანმოკლე მუშაობაც კი 45 პერცზე უფრო დაბალ სისშირისას. 47 პერცზე უფრო დაბალი სისშირით მუშაობის ხანგრძლიეობა არ უნდა აღემატებოდეს 20 წამს, ხოლო 48 პერცზე უფრო დაბალი სისშირით მუშაობა კი – 60 წამს.

როგორც ცნობილია სისშირის დაცემისას თბოსადგურების ცხელი რეზერვი საკმარისად სწრაფად რეალიზდება. ამიგომ საგის მოქმედებას ადგილი უნდა ჰქონდეს მას შემდეგ, როცა მთლიანად თუ არა, ნაწილობრიე მაინც რეალიზებული იქნება თბოსადგურების რეზერვი. ეს საშუალებას მოგეცემს შეეამციროთ საგის მიერ ამორთული მომხმარებლების რაოდენობა და გავზარდოთ ენერგოსისგემის ნორმალური ფუნქციონირების მასშტაბები. იმ შემთხვეეაში, როცა არ გვაქვს სიმძლავრის ცხელი რეზერვი, ან არ ხერხდება მისი მობილიმაცია, მაშინ საგის მიერ ამორთული მომხმარებლების საერთო მოცულობა არ უნდა აღემატებოდეს დეფიციტს. ამასთან ამორთვის შედეგად ენერგიის მიუწოდებლობით გამოიშეეული გარალი უნდა იყოს მინიმალური. ეს კი შე-

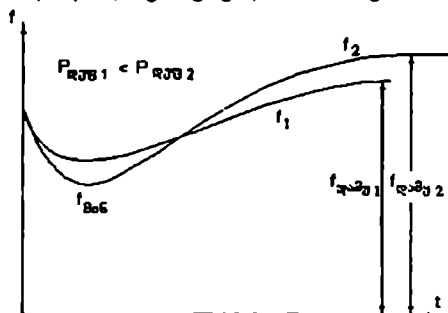
საძლებელია, თუ პირველ რიგში ამოვრთათ ნაკლებად საპასუხისმგებლო მომხმარებელს.

თბოსადგურების ცხელი რეზერვი, პრაქტიკულად არ აღემატება 50%-ს, ან უმრავლეს შემთხვევაში მასზე ნაკლებია. ორთქლის გურბონის ბრუნთა რიცხვის რეგულატორის სტაგიაში (4÷5)%-ის ფარგლებშია. აქედან გამომდინარე სიხშირის 2%-ით შემცირებისას ანუ, როცა სიხშირე შემცირდება 49 პერცამდე, თბოაგრეგატს უკვე ამოწურული აქვს მისი ცხელი რეზერვი. მამასადაშე საგის პირველი საფეხურების მოქმედება მიმანშეწონილია მაშინ, როცა სიხშირე დაეცემა 49 პერცამდე და უფრო დაბლა.

საგის მოქმედების ძირითადი პრინციპია საფეხურების დიდი რაოდენობა სიხშირის დანაყენების პატარა ინტერვალებით (0.1 პერცია ან უფრო მცირე). ამ შემთხვევაში განტვირთვის სისტემა მოქმედებს უფრო მოქნილად და უახლოვდება ავტომატური რეგულირების პრინციპს, რაც გარკვეულ წილად უზრუნველყოფს დეფიციტის შესაბამისი მოცულობის დატვირთვის ამორთვას.

უნდა აღინიშნოს, რომ სიხშირული განტვირთვის მთელი სისტემა (საგის მოწყობილობა და ამომრთველი) გარკვეული სარისხით ინერციულია. ამიტომ დატვირთვის ფაქტიური ამორთევა ხდება სიგნალის გაგზავნიდან გარკვეული დროის შემდეგ. თუ ამ მუალედში დეფიციტი ჯერ კიდევ არ არის აღმოფხერილი, მაშინ სიხშირე განაგრძობს დაცემას და საგის შემდგომი საფეხურების შესაბამისად კიდევ გამოირთევა ნაწილი მომხმარებლებისა.

ამრიგად, დატვირთვის ფაქტიური ამორთვის დაყოვნება განაპირობებს ჭარბ ამორთევებს და შედეგად სისტემაში სიხშირის ცვლილების ხასიათს აქვს 5.13 ნახაზზე ნაჩვენები სახე. რაც უფრო დიდია დეფიციტი, მით უფრო მაღალი დამყარებული სიხშირეა მოსალოდნელი.

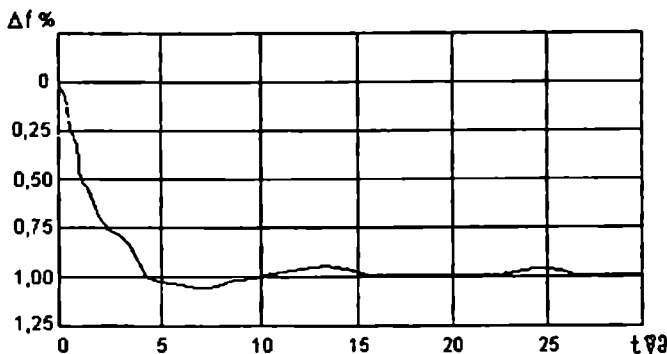


ნახ. 5.13. სისტემაში სიხშირის ცვლილება საგის მოწყობილობის მოქმედების პროცესში

5.8. დინამიკური პროცესი და სიხშირის მართვა

სიხშირის რეგულირების პროცესის განხილვისას მიჩნეული იყო, რომ სიმძლავრის დეფიციტის წარმოქმნისთანავე მოქმედებაში მოდის ტურბინის ბრუნვის სიჩქარის რეგულატორი. რეალურად იმ მომენტამდე, როცა მოქმედებას დაიწყებს სიჩქარის რეგულატორი (0.2-0.3 წმ), სიხშირის ცვლილება თითქმის არ არის დამოკიდებული სისტემის მბრუნავ (ცხელ) რეზერვზე და იგი ძირითადად განისაზღვრება სიმძლავრის დეფიციტითა და ენერგოსისტემაში მბრუნავი ელემენტების (გენერატორები, ტურბინები, ძრავები) ინერციულობით. ამასთან ანალიზისას გათვალისწინებული იყო რეგულირების მარტივი სისტემა. პრაქტიკაში გამოყენებული რეგულირების სისტემები მნიშვნელოვნად რთულია. კერძოდ, პიდროაგრეგატებზე რეგულირების სისტემაში გამოიყენება მოქნილი უარყოფითი უკუკავშირი (იმოდრომული მექანიზმი), რომელიც გარდამავალ პროცესებში რხევების ჩაქრობას უწყობს ხელს. მუალედური გადახურების თანამედროვე მძლავრ ორთქლის ტურბინებში რეზერვის რეალიზაცია უფრო რთულად მიმდინარეობს.

სიმძლავრის მბრუნავი რეზერვის პირობებში სიხშირის ცვლილების ოსცილოგრაფა (ნატურალური ექსპერიმენტი) მოცემულია 5.14 ნახაზზე. როგორც ნახაზიდან ჩანს, სიხშირის სწრაფად დასეშის შემდეგ რამდენიმე წამში, როცა მთლიანად ამოქმედდება აგრეგატთა სიჩქარის რეგულატორები, დამყარდება რეჟიმი შემცირებული სიხშირეზე.



ნახ. 5.14. სიხშირის ცვლილების ოსცილოგრაფა
(ნატურალური ექსპერიმენტი)

სისტემაში მიმდინარე დინამიური პროცესის ხასიათი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული სისტემის ჯამური დატვირთვის სიდიდეზე.

მაგალითად, ენერგოსისტემაში, რომლის ჯამური დატვირთვა შეადგენს 20000 მგვტ-ს სისხირის რეგულირების ეფექტით $K_{\text{დ}}=2$, ერთი 300 მგვტ-იანი დატვირთვის მქონე აგრეგატის აეარიული ამორთეა, იმ პირობებშიც კი, როცა არ გვაქვს სიჩქარის რეგულატორები ($K_{\text{გ.ს}}=0$), იწვევს სისხირის შემცირებას სიდიდით (გამოსახულება 5.20)

$$\Delta f = \frac{-300 \cdot 50}{20000 \cdot 2} = -0.375 \text{ ჰერცი,}$$

ხოლო იმავე აეარიისას 1500 მგვტ ჯამური დატვირთვის მქონე სისტემაში კი სისხირე შემცირდება სიდიდით:

$$\Delta f = \frac{-300 \cdot 50}{1500 \cdot 2} = -5.05 \text{ ჰერცი}$$

მოგადად უბალანსობისას სისხირის რეგულირების შესაძლებლობა და მისი ეფექტი ბევრადაა დამოკიდებული უბალანსობის სიდიდეზე. სისხირის ვარდნის სიჩქარე აიწერება დიფერენციალური განტოლებით

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{ბ}} - M_{\text{დ}} \quad (5.25)$$

სადაც, $M_{\text{ბ}}$ – ტურბინის ბრუნვის მომენტი; $M_{\text{დ}}$ – დატვირთვის წინაღობის მომენტი; ω – ტურბინის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე; J – მთელი სისტემის მბრუნავი მასის ინერციის მომენტი.

გარდამავალ პროცესში სისხირის დროზე დამოკიდებულება შეიძლება მივიღოთ (5.25) დიფერენციალური განტოლების ამოხსნით, თუ კი მასში $M_{\text{ბ}}$ და $M_{\text{დ}}$ მომენტებს გამოესახავთ, როგორც სისხირის ფუნქციას. ამ დამოკიდებულების გამარტივებულ ფორმაში წარმოდგენისას, თუ არ გავითვალისწინებთ ტურბინის რეგულატორის მოქმედებას, ვღებულობთ

$$f = f_0 \left[1 - \frac{\Delta P}{P_{\text{დ.0}} \cdot K_{\text{დ}}} \cdot (1 - e^{-t/\tau_f}) \right] \quad (5.26)$$

სადაც, τ_f წარმოადგენს სისხირის ცვლილების დროის მუდმივას.

ამ გამოსახულების თანახმად დამყარებულ რეჟიმში ($t \rightarrow \infty$) სისხირე იქნება:

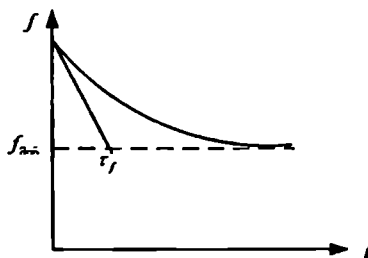
$$K_{\text{ა.დ.}} = f_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta P}{P_{\text{დ.0}} \cdot K_{\text{დ}}} \right)$$

ანუ

$$K_{\text{ზღ}} = f_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta P_*}{K_{\text{ღ}}} \right) \quad (527)$$

სადაც, ΔP_* – სიმძლავრის დეფიციტის უარდობითი მნიშვნელობა $P_{\text{ღ0}}$ - ს მიმართ.

(526) წარმოადგენს ენერგოსისტემის დინამიკურ მახასიათებელს სიხშირის მიხედვით (ნახ. 5.15). ამ ნახაზის მიხედვით შეიძლება დავადგინოთ სიხშირის ცვლილების დროის მუდმივას ფიზიკური არსი. იგი დროის იმ შუალედის ტოლია, რომლის განმავლობაშიც სიხშირე შემცირდება მინიმალურ მნიშვნელობამდე, თუ დატვირთვის წინააღობა მუდმივი სიდიდეა, ანუ დატვირთვა არ არის სიხშირეზე დამოკიდებული.



ნახ. 5.15. სიხშირის მიხედვით სისტემის დინამიური მახასიათებელი, როცა არ არსებობს სიმძლავრის მბრუნავი რეზერვი

თუ უბალანსობის წარმოქმნის შემდეგ მიმდინარე პროცესისას ადგილი აქვს ნაწილი მომხმარებლის ავტომატურ ამორთვას ($\Delta P_{\text{გოგზ}}$), მაშინ

$$\tau_f = \tau_J \cdot \left(1 - \frac{P_{\text{ღ0}} - \Delta P}{(P_{\text{ღ0}} - \Delta P_{\text{გოგზ}}) \cdot K_{\text{ღ}}} \right) \quad (528)$$

სადაც, τ_J – სისტემის (ტურბინა-გენერატორი-დატვირთვა) მექანიკური ინერციის მუდმივაა

$$\tau_J = \tau_{\text{ტ-გ}} + \tau_{\text{ღ}}$$

აქ პირველი წევრი $\tau_{\text{ტ-გ}}$ (ტურბინა-გენერატორის მექანიკური ინერციის მუდმივა) ჩვეულებრივ საგრძნობლად მეტია, ვიდრე მეორე $\tau_{\text{ღ}}$ (დატვირთვის მექანიკური ინერციის მუდმივა) წევრი.

სიხშირული ავტომატური განტვირთვის (საგი) მოწყობილობის შემდეგ დამყარებული სიხშირის მნიშვნელობა უფრო მაღალია

$$f_{\text{მ.ნ.}} = f_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta P - P_{\text{მ.ზ.}}}{(P_{\text{დ.0}} - \Delta P_{\text{მ.ზ.}}) \cdot K_{\text{დ}}} \right) \quad (529)$$

ანუ

$$f_{\text{მ.ნ.}} = f_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta P_{\text{გ.}} - \Delta P_{\text{მ.ზ.}} \cdot \frac{1}{K_{\text{დ}}}}{(1 - \Delta P_{\text{მ.ზ.}}) \cdot K_{\text{დ}}} \right) \quad (530)$$

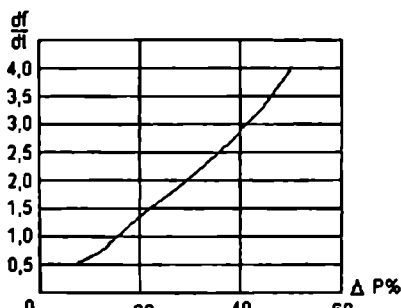
სადაც $\Delta P_{\text{მ.ზ.}}$ - საგის მიერ ამორთული მომხმარებელთა დატვირთვის ფარდობითი მნიშვნელობები სისტემის ჯამური დატვირთვის $P_{\text{დ.0}}$ -ს მიმართ.

როცა გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობისას სიჩქარის რეგულატორის მოქმედებით გენერატორი იღებს დამატებით სიმძლავრეს $\Delta P_{\text{გ.}}$, მაშინ დამყარებული სიხშირე:

$$f_{\text{მ.ნ.}} = f_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta P_{\text{გ.}} - \Delta P_{\text{გ.}} \cdot \frac{1}{K_{\text{დ}}}}{(\Delta P_{\text{დ.0}} - \Delta P_{\text{მ.ზ.}}) \cdot K_{\text{დ}}} \right) \quad (531)$$

სიმძლავრის დიდი დეფიციტისას ($\Delta P_{\text{გ.}} > 0.25 \div 0.30$) სიხშირე სწრაფად (≈ 1.5 პერც/წმ და მეტი სიჩქარით) ეცემა (ნახ. 5.16).

ამ შემთხვევაში სიჩქარის რეგულატორების ან საგის მოწყობილობების მოქმედებათა შედეგებამდე სიხშირე ისეთ მნიშვნელობამდე დაეცემა, რომ მოსალოდნელია გენერატორების პარალელური მუშაობის პირობების დარღვევა (განვითარდება ასინქრონული სელა) და სისტემა დაიშლება. სისტემის დაშლის თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია განხორციელდეს სპეციალური საგი, რომელიც იმოქმედებს სისტემაში სიხშირის დაცემის სიჩქარის მიხედვით.



ნახ. 5.16. სიხშირის დაცემის სიჩქარე დეფიციტისგან დამოკიდებულებაში (კერძო რიცხვითი მაგალითი)

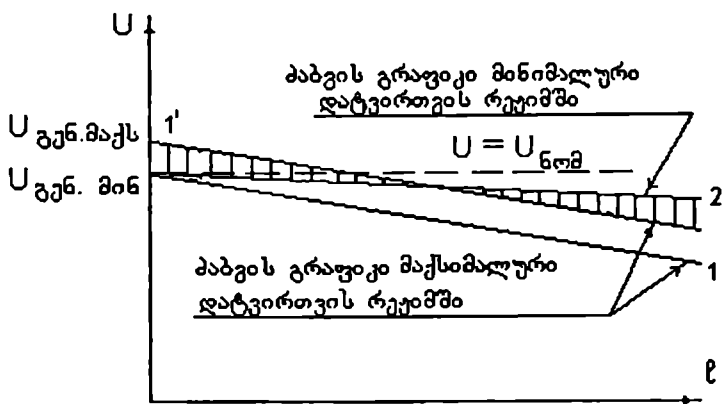
5.9. ელექტრულ ქსელში ძაბვის რეგულირების პრინციპები და საშუალებები

ელექტრულ ქსელში ძაბვის რეგულირება ენერგოსისტემის მართვის მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს. სიხშირისგან განსხვავებით ძაბვის რეგულირების ამოცანა რთულდება ელექტრული ქსელის სტრუქტურისა და კონფიგურაციის გართულებასთან ერთად.

ძაბვის რეგულირების რაციონალური დაგეგმვის მიზნით ქსელის საკონტროლო კვანძებისთვის წინასწარ დადგენილი უნდა იქნეს ძაბვის ქვედა და ზედა ზღვრული (დასაშუალები) მნიშვნელობები.

სისტემის საკვანძო წერტილებიდან მანაწილებელი ქსელის საშუალებით კვებას ღებულობს მრავალრიცხოვანი მომხმარებლები, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან როგორც ელექტრული დამორებით კვების ცენტრებიდან, ასევე მოთხოვნილი სიმძლავრითა და დატვირთვის დღეღამური გრაფიკებით. მათ ძაბვისადმი სხვადასხვაგვარი მოთხოვნები გააჩნიათ.

მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში ძაბვის დანაკარგი მნიშვნელოვნად მეტია (წირი 1. ნახ. 5.17), ვიდრე მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში (წირი 2. ნახ. 5.17). ეს განსხვავება მით მეტია, რაც მეტია მომხმარებლის ელექტრული დამორება საკვანძო წერტილიდან (კვების ცენტრიდან) და მისი დატვირთვის სიმძლავრე.



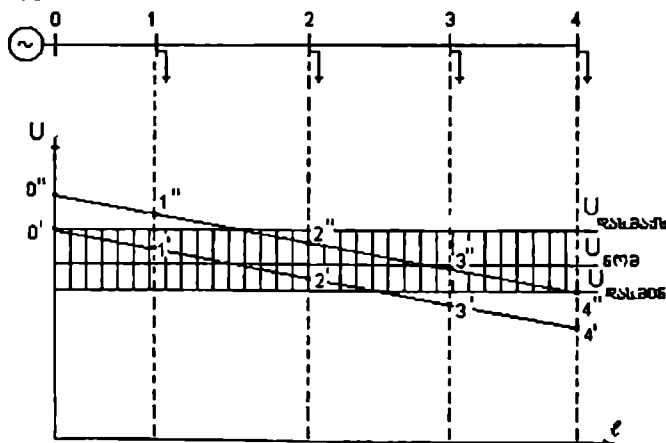
ნახ. 5.17. ძაბვის ცენტრალიზებული შემთხვევითი რეგულირების პრინციპის გრაფიკები

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ქსელის დატვირთვის ერთი რეჟიმიდან მეორეში გადასვლისას შორეულ მომხმარებლებთან მუშა ძაბვა

შეიძლება იცვლებოდეს საკმარისად დიდ ფარგლებში, რაც ქსელისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესაბამისად (მომხმარებლის სტაბილური და ეფექტური მუშაობის პირობების უზრუნველყოფა) არა დასაშვებია. ამ მოვლენის თავიდან აცილების მიზნით მიმანშეწონილია მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში კვების ცენტრში დავიჭიროთ უფრო ამაღლებული ძაბვა, ვიდრე მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში (წირი 1. ნახ. 5.17). ამ შემთხვევაში მომხმარებელთან ნომინალურიდან ძაბვის გადახრა ნაკლები იქნება და ნაკლები იქნება აგრეთვე ძაბვის ცვლილების დიაპაზონი (დამტრისული ფართი, ნახ. 5.17). ძაბვის რეგულირების ამ პრინციპს ძაბვის შემსუფთავე რეგულირება ეწოდება. ეს პრინციპი კვების მოცემული ცენტრისთვის ძაბვის ცენტრალიზებული რეგულირების პრინციპს წარმოადგენს.

მთელ რიგ შემთხვევაში ძაბვის ცენტრალიზებული შემხედრი რეგულირების პრინციპი ვერ უზრუნველყოფს მომხმარებლებთან ძაბვის დასაშვებ მნიშვნელობებს. მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში ძაბვა შეიძლება დასაშვებ მნიშვნელობაზე ნაკლები აღმოჩნდეს (წირი 0' 1' 2' 3' 4'. ნახ. 5.17).

თუ ცენტრალიზებული რეგულირების პრინციპის თანახმად კვების ცენტრში მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში ძაბვას ავამაღლებთ ისე, რომ უშორეს მომხმარებელთან მუშა ძაბვა აკმაყოფილებდეს მისდამი წაყენებულ მოთხოვნებს, მაშინ არ არის გამორიცხული, რომ ელექტრულად ახლო მომხმარებელთან და, განსაკუთრებით, კვების ცენტრში ძაბვა შეიძლება აღმოჩნდეს მაქსიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობაზე მეტი (წირი 0" 1" 2" 3" 4". ნახ. 5.18).



ნახ. 5.18 ძაბვის ცენტრალიზებული რეგულირების პრინციპის შეუთავსებლობის შემთხვევა

ეს შემთხვევა მიუთითებს მას, რომ ღიდ სისტემებში ძაბვის ცენტრალიზებული რეგულირება პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამიტომ ასეთ სისტემებში აუცილებლობას წარმოადგენს გამოიყენოთ ძაბვის დეცენტრალიზებული რეგულირების პრინციპი, რაც მდგომარეობს მასში, რომ უშუალოდ ელექტროენერგიის მიმღები ქვესადგურების დაბალი ძაბვის სალტებზე (მანაწილებელი ქსელის კვების ცენტრები) ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად ხორციელდება ძაბვის რეგულირება შესაბამისი საშუალებით (მეთოდით).

უმარტივესი ელექტროგადაცემის სქემის (ნახ. 5.19, ა) შესაბამისად ენერგიის მიმღები ქვესადგურის დაბალი ძაბვის სალტზე ძაბვის მუშა მნიშვნელობა შეიძლება გამოითვალოს გამოსახულებით:

$$U_{\text{კლ}} = \left(\frac{U_{\text{აზ}}}{K_{\text{გ1}}} - \Delta U_{\text{გა}} \right) \cdot K_{\text{გ2}}, \quad (5.32)$$

სადაც, $\Delta U_{\text{გა}} = \frac{PR + QX}{U_{\text{საშ}}}$ - ძაბვის ვარდნის გრძივი შემდგენი;

$\Delta U_{\text{აზ}}$ - მუშა ძაბვა საგენერატორო ძაბვის სალტზე;

P, Q - გადასაცემი აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრე;

R, X - გადაცემის აქტიური და რეაქტიული წინაღობა;

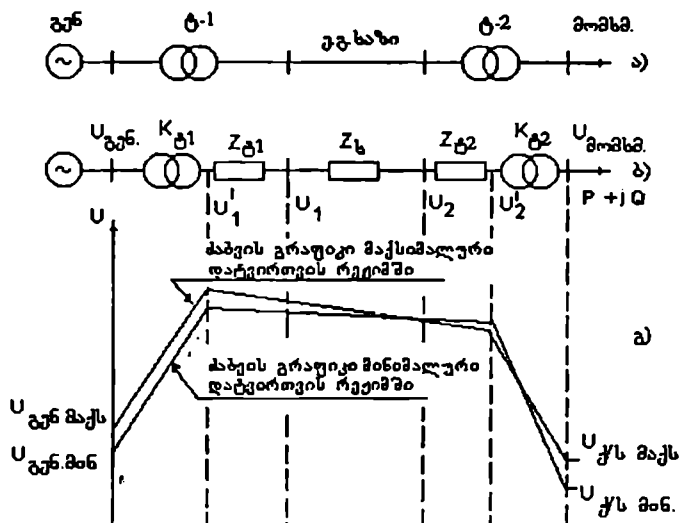
$U_{\text{საშ}}$ - გადაცემის მაღალი ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა:

$$U_{\text{საშ}} = \left(\frac{U_1' + U_2'}{2} \right);$$

$K_{\text{გ1}}, K_{\text{გ2}}$ - სამალბებელი და სადაბლებელი ტრანსფორმატორების ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები;

U_1', U_2' - გადაცემის თავსა და ბოლოში ძაბვათა მნიშვნელობები, მიყვანილი მაღალი ძაბვის საფეხსურზე.

(5.32) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ მოცემული P აქტიური სიმძლავრის გადაცემისას მიმღები ქვესადგურების დაბალი ძაბვის სალტზე ძაბვის საჭირო ღონე შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნეს სხვადასხვა საშუალებით. კერძოდ: ელექტროგენერატორის აგზნების ღენის შეცვლით, რაც გამოიწვევს სადგურის საგენერატორო ძაბვის სალტზე (კვების ცენტრში) ძაბვის სიდიდის შეცვლას; ტრანსფორმატორთა ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის შეცვლით; ელექტროგადაცემის რეაქტიული წინაღობის კომპენსაციის გზით; მომხმარებლის რეაქტიული დაგვირგითის კომპენსაციის გზით; ელექტროგადაცემის აქტიური წინაღობის შემცირებით ანუ საზმზე უფრო ღიდი განიკეთის საღენის გამოყენების გზით.



ნახ. 5.19. ძაბვის ცვლილება უმარტივესი ელექტროგადამცემაში

5.19 ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტროგადამცემის ჩანაცვლების სქემა (ბ) და ძაბვის ცვლილების გრაფიკი (გ) ელექტროგადამცემის გასწვრივ მაქსიმალური და მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში.

5.10. ძაბვის რეგულირება გენერატორის აგზნების ღენის ცვლილებით

საგენერატორო ძაბვის სალტეზე ძაბვის საჭირო სიდიდის უზრუნველყოფა ხორციელდება ან სისტემის დისპეტჩერის მიერ, რომელიც სათანადო განკარგულებას აძლევს სადგურის მორიგე პერსონალს, ან სადგურის მორიგე პერსონალის მიერ, რომელსაც დავალებული აქვს ძაბვის კონტროლი მოცემულ საკონტროლო კვანძში. სრულყოფილი ავტომატიზაციის პირობებში საგენერატორო ძაბვის სალტეზე ძაბვის რეგულირება ხორციელდება გენერატორების აგზნების ავტომატური რეგულატორების საშუალებით. ყველა ამ შემთხვევაში საგენერატორო ძაბვის სალტეზე ძაბვის სიდიდის ცვლილება ხორციელდება გენერატორის აგზნების ღენის შეცვლით.

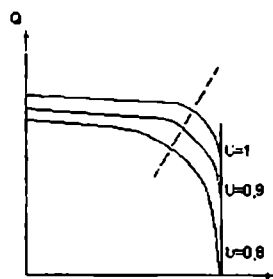
გენერატორის აგზნების ღენის შეცვლას თან სდევს გენერატორის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის შეცვლა. დღეღამის ცალკეულ საათებში ქსელის საკონტროლო კვანძებში ძაბვის სათანადო დონის შენარჩუნება შესაძლებელია სისტემის გენერატორებსა და

სინქრონულ კომპენსატორებს შორის რეაქტიული სიმძლავრის გადანაწილების გზით, რომელსაც, ზოგადად, შეიძლება გააჩნდეს მრავალსახა გადაწყვეტა. სისტემის დისპეტჩერი ვალდებულია მიაღწიოს რეაქტიული სიმძლავრის ისეთ გადანაწილებას, რომელიც უზრუნველყოფს, ერთი მხრივ, საკონტროლო კეანძებში ძაბვის საჭირო დონის შენარჩუნებას და, მეორე მხრივ, აქტიური სიმძლავრის მინიმალურ დანაქარგებს მთლიანად ქსელში.

ძაბვის რეგულირების თვალსაზრისით, როგორც მთლიანად სისტემაში, ასევე მის ცალკეულ რეგიონში უნდა გაგვანდეს რეაქტიული სიმძლავრის რეზერვი, როგორც გამრდის, ასევე შემცირების მიმართულებით.

ნებისმიერი გენერატორის რეაქტიული სიმძლავრის რეზერვი და მოკიდებულია ამ გენერატორის აქტიურ დატვირთვაზე და ძაბვის მუშა მნიშვნელობაზე. ნორმალურ რეჟიმში გენერატორი ანეითარებს აქტიურ და რეაქტიულ ნომინალურ სიმძლავრეს და ამ დროს აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტი ნომინალურის ტოლია ($\cos\varphi_e$). ავზნების დენის შემცირებით შეიძლება შევამციროთ რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია. ნომინალურთან შედარებით აქტიური სიმძლავრის შემცირებისას შესაძლებელია გაეზარდოთ რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია ნომინალურზე მეტად. გამრდა დასაშვებია იმ ფარგლებში, რომლის საშუალებასაც მოგვეცემს სტატორისა და როტორის ნომინალური დენების მნიშვნელობები.

5.20 ნახაზზე ნაჩვენებია გენერატორის რეაქტიული ქონებული სიმძლავრის დამოკიდებულება მისი აქტიური დატვირთვისგან სხვადასხვა მუშა ძაბვის პირობებში. ეს დამოკიდებულება აგებულია შემთხვე-



ნახ. 5.20. გენერატორის ქონებული რეაქტიული სიმძლავრე, როცა $\cos\varphi=0.9$

ვისთვის, როცა $\cos\varphi=0.9$. როგორც ნახაზიდან ჩანს აღნიშნული მახასიათებელი იყოფა ორ ზონად (გამყოფი წირი ნაჩვენებია პუნქტირით). ქვედა ზონაში რეაქტიული ქონებული სიმძლავრე იზღუდება სტატორის დენის მღვრული მნიშვნელობით, რომელიც ითვალისწინებს სტატორის გაცივების პირობებს, ხოლო ზედა ზონაში იგივე სიმძლავრე იზღუდება როტორის დენის მღვრული მნიშვნელობით, რომელიც ითვალისწინებს როტორის გაცივების პირობებს. პირველი (ქვედა) ზონა შეესაბამება გენერატორის გამრდილ აქტიურ დატვირთვებს, ხოლო მეორე (ზედა) ზონა - შემცირებულ აქტიურ დატვირთვებს. ზონათა სამღვარი (წყვეტილი წირი) წარმოადგენს გენერა-

გორის აქტიური სიმძლავრის კრიტიკულ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც როგორც სტაგორის, ისე როტორის ღენი მაქსიმალურია გაცივების მოცემულ პირობებში. რაც მაღალია გენერატორის მუშა ძაბვა, მით მეტია გენერატორის აქტიური სიმძლავრის კრიტიკული მნიშვნელობა, რომლის დროსაც როგორც სტაგორის, ასევე როტორის ღენი აღწევს თავის ზღვრულ მნიშვნელობას.

აქტიური დაგვირთვის შემცირების ხარჯზე რეაქტიული სიმძლავრის გაზრდის შესაძლებლობა შეიძლება გამოყენებული იქნეს იმ შემთხვევაში, როცა სისტემაში გვაქვს აქტიური სიმძლავრის სიჭარბე (მინიმალური დაგვირთვების რეჟიმი). ამ რეჟიმში გენერატორი შეიძლება ვაშუშაოთ სიმძლავრის შემცირებული კოეფიციენტით, თუ მისი აქტიური დაგვირთვა შემცირებულია.

რეაქტიული სიმძლავრის რეზერვი და ამ სიმძლავრის მისედვით გენერატორის გადაგვირთვის შესაძლებლობა მნიშვნელოვანია ძაბვის ავარიული შემცირებისას. სისტემის ყველა გენერატორი აღჭურვილია აგზნების ავტომატური რეგულირების მოწყობილობით, რომლებიც გენერატორის მომჭერებზე ძაბვის შემცირებისას ავტომატურად ზრდის აგზნების ღენს და რეაქტიული სიმძლავრის გენერაციას.

უნდა აღინიშნოს, რომ სისტემის მაქსიმალური დაგვირთვების რეჟიმში გენერატორის რეაქტიული სიმძლავრის გენერაციის გაზრდა აქტიურის შემცირების ხარჯზე არამიზანშეწონილია. ამ შემთხვევაში უფრო ეფექტურია რეაქტიული სიმძლავრის დამატებითი წყაროების (სინქრონული კომპენსატორები და სტატიკური კონდენსატორები) გამოყენება.

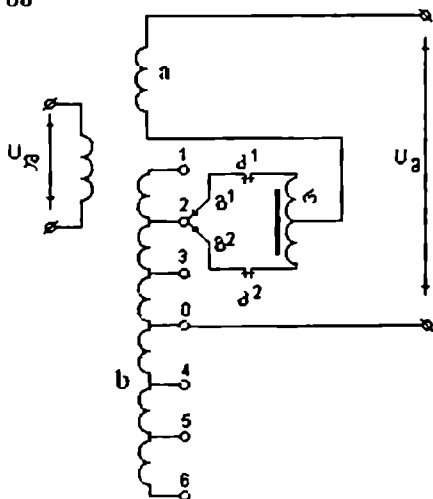
ელექტროსადგურების გენერატორები ქსელში ძაბვის რეგულირების თვალსაზრისით წარმოადგენენ მხოლოდ დამხმარე საშუალებას, რაც განპირობებულია შემდეგი ორი მიზეზით: 1. გენერატორებზე ძაბვის ცვლილების დიაპაზონი მომხმარებელთან ძაბვის ცვლილების კომპენსაციისთვის არასაკმარისია; 2. ძნელია შევთანხმდეთ შორ და ახლომდებარე მომხმარებელთა მოთხოვნები ძაბვის რეჟიმის მიხედვით.

5.11. ძაბვის რეგულირება გრანსფორმატორების გრანსფორმაციის კოეფიციენტის შეცვლით

5.11.1. რეგულირების ზოგადი პრინციპი

სამომხმარებლო კვების ცენტრში ძაბვის საჭირო დონის უზრუნველყოფა, სხვა საშუალებებთან ერთად, შეიძლება განხორციელდეს გრანსფორმატორთა გრანსფორმაციის კოეფიციენტის შეცვლის გზით,

რომელიც ითვალისწინებს გრანსფორმატორის გრაგნილის მუშა ხეივ-
ბის რაოდენობის შეცვლას. ამ მიზნით გრანსფორმატორის მაღალი ძაბ-
ვის გრაგნილს ამზადებენ არარეგულირებადი (ა) და რეგულირებადი
(ბ) ნაწილებისაგან (ნახ. 5.21). რეგულირებადი ნაწილი განთავსებულია
მაღალი ძაბვის გრაგნილის ნეიგრალის მხარეს და მასზე გაკეთებულია
რამდენიმე გამომყვანი.



ნახ. 5.21. ძაბვის რეგულირების პრინციპი ორგრაგნილიანი
გრანსფორმატორის შემთხვევაში

გამომყვანიდან გამომყვანზე გადართვის მექანიზმის კონსტრუქციის
მიხედვით გვაქვს ძაბვის რეგულირების ორი პრინციპი. პირველი, რო-
ცა გადართვა ხდება ქსელიდან გრანსფორმატორის ამორთვის პირო-
ბით და მეორე, როცა გადართვა ხდება დატვირთულ გრანსფორმატო-
რის პირობებში (დატვირთვის ქვეშ). პირველ შემთხვევაში გვაქვს ПБВ
გრანსფორმატორები, ხოლო მეორე შემთხვევაში – РПН გრანსფორმა-
ტორები. ПБВ გრანსფორმატორები ძირითადად გამოიყენება ელექ-
ტროსადგურებზე და ქალაქისა და სოფლის 6-10 კვ ძაბვის მანაწილე-
ბელ ქსელში. მათ გააჩნიათ ძაბვის რეგულირების შედარებით მცირე
დიაპაზონი მცირე რაოდენობის საფეხურებით (გამომყვანით):
 $\pm 2 \times 2,5\%$, ან $\pm 1 \times 5\%$. РПН გრანსფორმატორები კი გამოიყენება მა-
ღალი ძაბვის ქვესადგურებზე, რომელთა 10, 35 კვ ძაბვის საღებები
წარმოადგენენ ამავე ძაბვის მანაწილებელი ქსელის კეების ცენტრებს.
ამ გრანსფორმატორებს გააჩნიათ შედარებით მდორე რეგულირების
დიდი რაოდენობის საფეხური (გამომყვანი): $\pm 8 \times 1,5\%$, $\pm 9 \times 1,78\%$ ან

$\pm 2\%$ (აეგოგრანსფორმაგორების შემთხვევაში). ყველა ამ ჩანაწერში პირველი რიცხვი მიუთითებს გამომყვანის რაოდენობას, მეორე კი ძაბვის რეგულირების საფეხურს.

ПБВ გრანსფორმაგორზე სორციელდება ძაბვის სემონური რეგულირება, ხოლო РПН გრანსფორმაგორებით კი სორციელდება ძაბვის უწყვეტი რეგულირება წლის ნებისმიერ პერიოდში.

РПН გრანსფორმაგორებზე გამომყვანის შეცვლა სორციელდება წრედის გაწყვეტის გარეშე სპეციალური გადამრთველი მოწყობილობის საშუალებით (გადართვის მექანიზმი), რომელიც შედგება 1 და 2 გადამრთველისგან, 1 და 2 კონტაქტორებისა და რ რეაქტორისგან. ერთი გამომყვანიდან მეორეზე გადასასვლელად, მაგალითად მეორედან პირველზე, გამორთავენ 1 კონტაქტორს, 2 გადამრთველს გადართავენ პირველ გამომყვანზე და ჩართავენ 1 კონტაქტორს. ამ მომენტში გრაგნილის 1-2 სექცია აღმოჩნდება რ რეაქტორზე ჩართული, რომლის რეაქტანსი ზღუდავს ამ სექციის ძაბვით განპირობებულ მათანაბრებელ დენს. შემდეგ გამორთავენ 2 კონტაქტორს, 2 გადამრთველს გადართავენ პირველ გამომყვანზე და ჩართავენ 2 კონტაქტორს.

გადამრთველი მოწყობილობის რეაქტორი და ყველა მოძრავი თუ უძრავი კონტაქტები განთავსებულია გრანსფორმაგორის აგეში, ხოლო კონტაქტორები მოთავსებულია ფოლადის ზეითიან ყუთში, რომელიც მიმაგრებულია აგეზე გარედან, რაც აადვილებს კონტაქტორების რევიზიისა და ზეთის შეცვლის პროცესს.

ყოველ ორ მომდევნო გამომყვანს შორის ხვიათა რიცხვი ΔW ერთნაირია და მისი პროცენტული მნიშვნელობა ძირითადი (არარეგულირებადი) გრაგნილის ხვიათა რიცხვის W_0 მიმართ წარმოადგენს ძაბვის რეგულირების საფეხურს

$$\alpha = \frac{\Delta W}{W_0} \cdot 100\%.$$

გამომყვანის შევცლით გრაგნილის მუშა ხვიათა რიცხვი იცვლება $n \cdot \Delta W$ სიდიდით და გრანსფორმაციის კოეფიციენტი

$$K_{\phi} = \frac{W_{\phi}}{W_0 + n \Delta W} = \frac{W_{\phi}}{W_0} \cdot \frac{1}{1 + n \alpha \% \cdot 10^{-2}}$$

ანუ

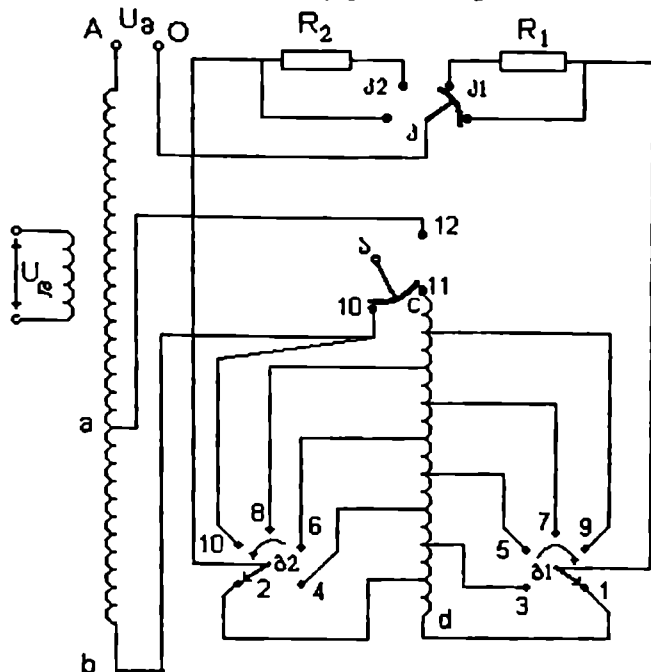
$$K_{\phi} = \frac{K_{\phi 0}}{1 + n \alpha \% \cdot 10^{-2}} \quad (5.33)$$

სადაც:

$$K_{\text{ტ.ნ}} = \frac{W_{\text{დ}}}{W_{\text{გ}}} = \frac{U_{\text{გრ.ღაბ.}}}{U_{\text{გრ.შაღ.}}} \quad (5.34)$$

წარმოადგენს ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის ნომინალურ კოეფიციენტს; $U_{\text{გრ.ღაბ.}}$, $U_{\text{გრ.შაღ.}}$ – ტრანსფორმატორის გრადენილთა ნომინალური ძაბვა; n -გამომყვანის ნომერი.

გამომყვანების გადამრთველ მოწყობილობაში რეაქტორის ნაეცლად გამოიყენება აქტიური წინააღობები R_1 და R_2 (ნახ. 5.22). ენერგიის კარგეების შემცირების მიზნით ეს წინააღობები გათვლილია ხანმოკლე მუშაობაზე. რისთვისაც გადართევისთვის გამოყენებული უნდა იქნეს მძლავრი სწრაფმოქმედი ამძრავი.



ნახ. 5.22. გამომყვანების გადართვის მექანიზმი
ორგრაგნილიან ტრანსფორმატორებში

გამომყვანთა რიცხვის შემცირების მიზნით მაღალი ძაბვის გრადენილი დაყოფილია არარეგულირებად (A-a), უხეში (a-b) და ზუსტი (c-d) რეგულირების გრადენილებად. უხეში და ზუსტი რეგულირების გრადენილების ხვიათა რიცხვი ერთნაირია.

სპეციალური კონსტრუქციის მქონე გადართვის გამოყენებით ძაბვის რეგულირების მთელ დიაპაზონზე ზუსტი რეგულირების გრავნილი რეგულირებაში ორჯერ იღებს მონაწილეობას.

ნახაზზე ნაჩვენები სქემის შესაბამისად გრანსფორმატორი მუშაობს 1 გამომყვანით. ამ შემთხვევაში მაღალი ძაბვის ყველა გრავნილი (არარეგულირებადი უხეში რეგულირების+ზუსტი რეგულირების) მუშაობაშია.

გადამრთველი მოწყობილობა მზადაა მე-2 გამომყვანზე გადასასვლელად. იმპულსის მიღებისას კ კონტაქტორი გადადის მარცხენა (ნახაზის მიხედვით) მდგომარეობაში. გადასვლის პროცესში გაიხსნება კ კონტაქტები და დატვირთვის ღენი გადის R_1 წინაღობის გავლით. შემდეგ კ1 და კ2 კონტაქტების მეშობელი (ახლომდებარე) მომჭერების შეკერის მომენტში R_1 და R_2 წინაღობები დატვირთვის ღენისთვის აღმოჩნდებიან პარალელურად ჩართულნი, ხოლო 1 და 2 გამომყვანებს შორის არსებული ხვებისთვის კი მიმდევრობით ჩართულნი, რაც მკვეთრად ამცირებს მათანაბრებელ ღენს. შემდეგ კ კონტაქტორი აღმოჩნდება რა მარცხენა მდგომარეობაში გრანსფორმატორი უკვე მუშაობს მე-2 გამომყვანზე. ე1 გადამრთველი განთავისუფლებულია ღენიდან და გადადის მე-3 გამომყვანზე.

ახლა უკვე გადამრთველი მოწყობილობა მზადაა მე-3 გამომყვანზე გადასასვლელად. იმპულსის მიწოდებით კ კონტაქტორი ბრუნდება მარჯვენა მდგომარეობაში და შემდეგ პროცესი მიმდინარეობს წინა შემთხვევის ანალოგიურად. პროცესის შემდგომი გაგრძელებით, როცა გ1 გადამრთველი 3, 5, 7 და 9 გამომყვანების გავლის შემდეგ დაბრუნდება ისევ 1 გამომყვანზე, ხოლო გ2 გადამრთველი კი 2, 4, 6, 8 გამომყვანების გავლის შემდეგ მიეა მე-10 გამომყვანზე, მუშაობიდან გამოყვანილი აღმოჩნდება ზუსტი რეგულირების გრავნილი და გრანსფორმატორის კოფიციენტი ამ შემთხვევაში თავისი ნომინალური მნიშვნელობების ტოლია.

გრანსფორმაციის კოფიციენტის შემდგომი შეცვლა იწყება ა ამომრჩევის გადართვით 10-11 მდგომარეობიდან 11-12 მდგომარეობაში. ეს ქმნის პირობას მუშაობიდან გამოვიყვანოთ უხეში რეგულირების გრავნილი, რაც მოხდება იმპულსის მიწოდებისას კ კონტაქტორის მარჯვენა მდგომარეობაში დაბრუნებით. ამას მოყვება გ2 გადამრთველის გადასვლა მე-10-დან მე-2 მდგომარეობაში. შემდგომი პროცესი გაგრძელდება ზემოთ აღწერილი მიმდევრობით იმ განსხვავებით, რომ მუშაობიდან გამოყვანილია უხეში რეგულირების გრავნილი.

აღწერილი სახის გადამრთველი მოწყობილობის გამოყენებისას გრანსფორმატორის გრანსფორმაციის კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულებით:

როცა ა ამომრჩევი 10-11 მდგომარეობაშია

$$K_{\delta} = \frac{K_{\delta 6}}{1 - (n - 10)\alpha\% \cdot 10^{-2}}; \quad (5.35)$$

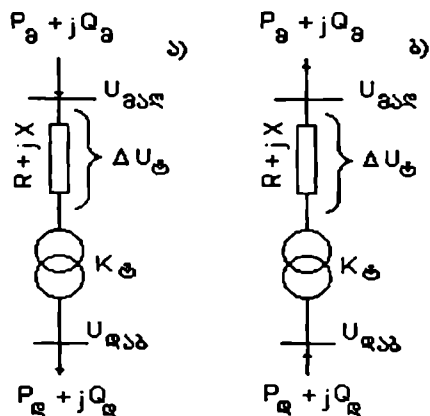
როცა ა ამომრჩევი 11-12 მდგომარეობაშია

$$K_{\delta} = \frac{K_{\delta 6}}{1 - (n - 1)\alpha\% \cdot 10^{-2}}, \quad (5.36)$$

სადაც $n = 1 \div 10$ – გამოყენების ნომერი; $\alpha\%$ – რეგულაციის საფეხური.

5.11.2. ძაბვის რეგულირება ორ და სამგრადნილიანი გრანსფორმატორებით

ორგრადნილიანი სადაბლებელი გრანსფორმატორის მუშა ძაბვებს შორის კავშირი ჩაიწერება ფორმულით (ნახ. 5.23, ა)



ნახ. 5.23. ორგრადნილა გრანსფორმატორის მუშა ძაბვებს შორის კავშირის ღალგენისთვის

$$U_{\text{დაბ}} = (U_{\text{გაღ}} - \Delta U_{\delta}) \cdot K_{\delta}, \quad (5.37)$$

ხოლო სამაბლებელი გრანსფორმატორის შემთხვევაში (ნახ. 5.23, ბ)

$$U_{\text{გაღ}} = \frac{U_{\text{დაბ}}}{K_{\delta}} - \Delta U_{\delta}. \quad (5.38)$$

ორივე გამოსახულებაში

$$\Delta U_{\delta} = \frac{PR + QX}{U_{\text{მალ}}} \quad (5.39)$$

წარმოადგენს ძაბვის დანაკარგს გრანსფორმატორში.

(5.33)-ის გათვალისწინებით გვაქვს:

სადაბლებელი გრანსფორმატორისთვის

$$U_{\text{ლაბ}} = (U_{\text{მალ}} - \Delta U_{\delta}) \cdot \frac{K_{\delta, \text{გ}}}{1 + n\alpha\% \cdot 10^{-2}}; \quad (5.40)$$

სამაღლებელი გრანსფორმატორისთვის

$$U_{\text{მალ}} = \frac{U_{\text{ლაბ}} (1 + n\alpha\% \cdot 10^{-2})}{K_{\delta, \text{გ}}} - \Delta U_{\delta}. \quad (5.41)$$

ორივე შემთხვევაში $K_{\delta, \text{გ}}$ განისაზღვრება (5.34) ფორმულით.

სამგრაგნილიანი სადაბლებელი გრანსფორმატორის მუშა ძაბვებს შორის კავშირი ჩაიწერება ფორმულით (ნახ. 5.24, ა)

$$U_{\text{ლაბ}} = (U_{\text{მალ}} - \Delta U_{\delta, \text{გ}} - \Delta U_{\delta, \text{ლ}}) \cdot K_{\delta, \text{მალ}} \quad (5.42)$$

და

$$U_{\text{სამ}} = (U_{\text{მალ}} - \Delta U_{\delta, \text{გ}} - \Delta U_{\delta, \text{ს}}) \cdot K_{\delta, \text{მალ}}. \quad (5.43)$$

ხოლო სამაღლებელი გრანსფორმატორის შემთხვევაში (ნახ. 5.24, ბ).

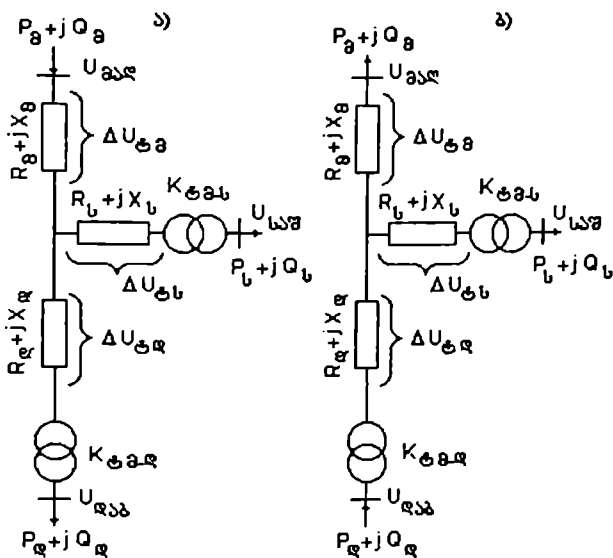
$$U_{\text{მალ}} = \frac{U_{\text{ლაბ}}}{K_{\delta, \text{მალ}}} - \Delta U_{\delta, \text{ლ}} - \Delta U_{\delta, \text{მ}} \quad (5.44)$$

და

$$U_{\text{სამ}} = \left(\frac{U_{\text{ლაბ}}}{K_{\delta, \text{მალ}}} - \Delta U_{\delta, \text{ლ}} - \Delta U_{\delta, \text{ს}} \right) \cdot K_{\delta, \text{მალ}}. \quad (5.45)$$

აქ $\Delta U_{\delta, \text{გ}}$, $\Delta U_{\delta, \text{ს}}$ და $\Delta U_{\delta, \text{ლ}}$ — ძაბვის დანაკარგი გრანსფორმატორის მაღალი, საშუალო და დაბალი ძაბვის ვრაგნილში, რომლებიც იანგარიშდება (5.39) ფორმულის ანალოგიურად.

მომხმარებლის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში ძაბვის დანაკარგი გრანსფორმატორში სხვადასხვაა. პიკური დატვირთვებისას მაქსიმალურია, ხოლო ღამის საათებში მინიმალური. აქედან გამომდინარე ღამის ინტერვალში აუცილებელი ხდება გამოძყევანის სათანადო შეყვლა, რათა მოცემულ რეჟიმში ქვესაღვურის შესაბამის საღტებზე უზრუნველყოთ ძაბვის საჭირო ღონე.

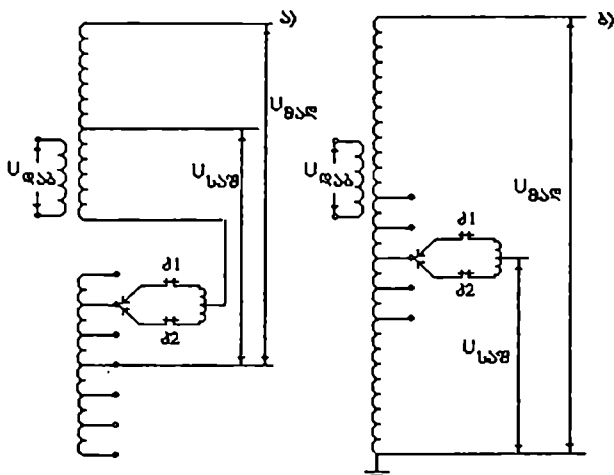


ნახ. 5.24. სამგრანგილიანი გრანსფორმატორის მუშა
ძაბეებს შორის კავშირის დადგენისთვის

პრაქტიკული ანგარიშების ჩასატარებლად უფრო მიზანშეწონილია წინასწარ დადგენილი იქნეს გამომყვანის შესაბამისი გრანსფორმაციის კოეფიციენტი, რისთვისაც, გადამრთველი მოწყობილობის ელექტრული სქემის შესაბამისად, უნდა ვისარგებლოთ (5.33) ან (5.35) და (5.36) გამოსახულებებით.

5.11.3. ძაბვის რეგულირება ავტოტრანსფორმატორებით

ავტოტრანსფორმატორებზე ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა შეიძლება ჩაშენებული იქნეს მაღალი ძაბვის გრანგილის ნეიტრალში (ნახ. 5.25,ა) ან საშუალო ძაბვის ფაზურ მხარეს (ნახ. 5.25,ბ) $\pm 12\%$ ძაბვის რეგულირების დიაპაზონით. ამასთან ნეიტრალში ჩაშენებული მოწყობილობის ძაბვის რეგულირების საფეხურია $1,5\%$ ($\pm 8 \times 1,5\%$), ხოლო საშუალო ძაბვის ფაზურ მხარეს ჩაშენებული მოწყობილობისა კი 2% ($\pm 6 \times 2\%$).



ნახ. 5.25. ავტოტრანსფორმატორებში ძაბვის რეგულირების
РПН მოწყობილობის შეერთების ელექტრული სქემა.

5.25, ა სქემის შემთხვევაში ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$K_{\text{ტ.მ-ს}} = \frac{K_{\text{ტ.ნ.ს}} + n\alpha\% \cdot 10^{-2}}{1 + n\alpha\% \cdot 10^{-2}}; \quad (5.46)$$

$$K_{\text{ტ.მ-ლ}} = \frac{k_{\text{ტ.ნ.მ-ლ}}}{1 + n\alpha\% \cdot 10^{-2}}; \quad (5.47)$$

$$K_{\text{ტ.ს-ლ}} = \frac{K_{\text{ტ.ნ.მ-ლ}}}{K_{\text{ტ.ნ.მ-ს}} + n\alpha\% \cdot 10^{-2}}. \quad (5.48)$$

5.25, ბ სქემის შემთხვევაში

$$K_{\text{ტ.მ-ს}} = K_{\text{ტ.ნ.მ-ს}} + n\alpha\% \cdot 10^{-2}; \quad (5.49)$$

$$K_{\text{ტ.მ-ლ}} = K_{\text{ტ.ნ.მ-ლ}} = \text{const}; \quad (5.50)$$

$$K_{\text{ტ.ს-ლ}} = \frac{K_{\text{ტ.ნ.მ-ლ}}}{K_{\text{ტ.ნ.მ-ს}} + n\alpha\% \cdot 10^{-2}}. \quad (5.51)$$

ამ გამოსახულებათა ანალიზის საფუძველზე ვასკენით:

1. როცა ავტოტრანსფორმატორი მუშაობს მაღაბლებელ რეჟიმში (ენერგია მაღალ ძაბვის მხრიდან გადაეცემა საშუალო და დაბალი ძაბვის მხარეს):

ა) გამომყვანების მაღალი ძაბვის გრაფიკის ნეიტრალში განთავსებისას საშუალო და დაბალი ძაბვის მხარეს ძაბვების რეგულირება არათანხვედრილია. კერძოდ, $n > 0$ შემთხვევაში აღვილი აქვს საშუალო ძაბვის ამალღებას და დაბალი ძაბვის შემყირებას, ხოლო $n < 0$ შემთხვევაში კი პირიქით (ნახ. 5.26, ა).

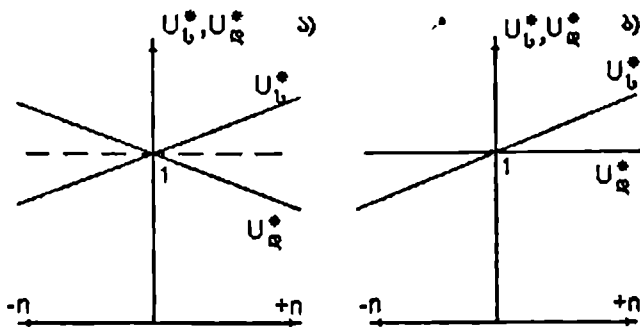
ბ) გამომყვანების საშუალო ძაბვის ჟამურ მხარეს განთავსებისას ძაბვა დაბალი ძაბვის მხარეს უცელელი რჩება (ნახ. 5.26, ბ).

2. როცა აეგოგრანსფორმაგორი მუშაობს სამალღებელ რეყიმში (ენერგია დაბალი ძაბვის მხრიდან გადაეყემა საშუალო და მაღალი ძაბვის მხარეს):

ა) გამომყვანების მაღალი ძაბვის გრაფიკის ნეიტრალში განთავსებისას მაღალი და საშუალო ძაბვის მხარეს ძაბვების რეგულირება თანხვედრილია (ნახ. 5.27, ა);

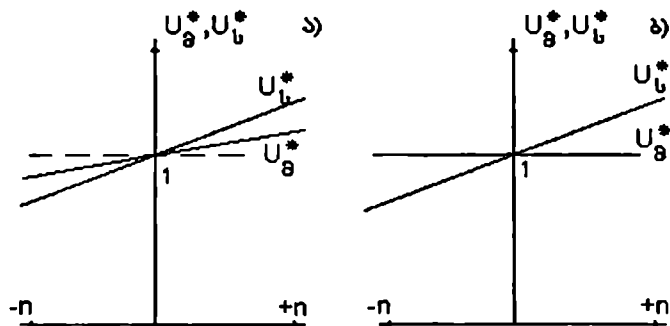
ბ) გამომყვანების საშუალო ძაბვის ჟამურ მხარეს განთავსებისას მაღალი ძაბვა უცელელი რჩება (ნახ. 5.27, ბ).

ჩაგარებული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თუ აეგოგრანსფორმაგორი განკუთვნილია სადაბლებელ რეყიმში სამუშაოდ, მაშინ მიზანმეწონილია ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა ჩაშენებული იქნეს საშუალო გრაგნილის ჟამურ მხარეს (ნახ. 5.25, ბ), ხოლო თუ აეგოგრანსფორმაგორი განკუთვნილია სამალღებელ რეყიმში სამუშაოდ, მაშინ ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა უფრო მიზანმეწონილია ჩაშენებული იქნეს მაღალი ძაბვის გრაგნილის ნეიტრალში (ნახ. 5.25, ა).



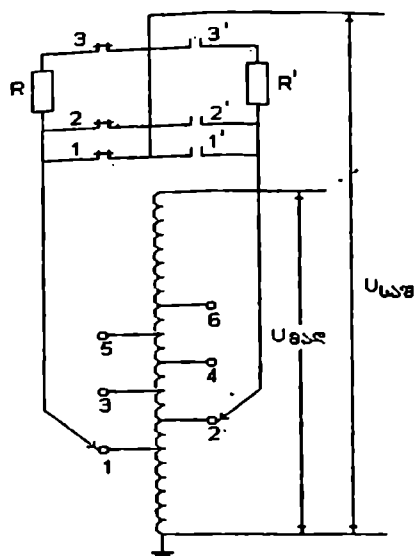
ნახ. 5.26. ძაბვის რეგულირება მადაბლებელი აეგოგრანსფორმაგორის გამომყვანის მეცელით. გამომყვანი ჩაშენებულია: ა) მაღალი ძაბვის გრაგნილის ნეიტრალში; ბ) საშუალო ძაბვის ჟამურ მხარეს

ნეიგრალში ჩამოყალიბებული ძაბვის რეგულირების PPH მოწყობილობის მუშაობის პრინციპი 5.22 ნახაზზე მოცემული მოწყობილობის მუშაობის პრინციპის ანალოგიურია.



ნახ. 5.27. ძაბვის რეგულირება სამალღებელი ავტოტრანსფორმატორის გამოყენების შედეგით. გამოყენებულია: ა) მაღალი ძაბვის გრაგნილის ნეიგრალში; ბ) საშუალო ძაბვის ჯაჭურ მხარეს

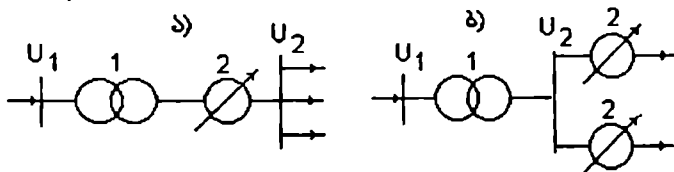
საშუალო ძაბვის ჯაჭურ მხარეს ჩამოყალიბებული PPH მოწყობილობით გამოყენებიდან გამოყენებზე გადასვლის პრინციპი ნაჩვენებია 5.28 ნახაზზე. გადასვლა მიმდინარეობს შემდეგი მიმდევრობით: 1 გამოყენებიდან 2 გამოყენებზე გადასვლის წინა მომენტში ჩაქეტილია 1, 2 და 3 კონტაქტები და გახსნილია 1', 2' და 3' კონტაქტები. გადასასვლელად ჯერ გაიხსნება მუშა კონტაქტი 1 და შემდეგ დამხმარე კონტაქტი 2. დაგვირთვის დენი გადის R წინააღობაში. შემდეგ შეიკერება რკალმქრობი კონტაქტი 3' და 1 და 2 გამოყენებებს შორის არსებული გრაგნილის ხეიები აღმოჩნდება R და R' წინააღობებთან ერთად მიმდევრობით ჩართული, რაც მკვეთრად ამცირებს მათანაბრებელ დენს. 3' კონტაქტის შეკერას მოყვება 3 რკალმქრობი კონტაქტის გახსნა და დაგვირთვის დენი უკვე გადის R' წინააღობის გავლით. ამის შემდეგ შეიკერება 2' და 1' კონტაქტები და მარეგულირებელი მოწყობილობა აღმოჩნდება 2 გამოყენებზე გადაყვანილი, რომლის შემდეგ იგი მზადაა მომდევნო 3 გამოყენებზე გადასასვლელად და ა.შ.



ნახ. 528.
ავტოტრანსფორმატორზე
გამომყვანიდან
გამომყვანზე გადართვის
სქემა

5.12. ძაბვის რეგულირება სახაზო რეგულატორებით

სახაზო რეგულატორი (ვოლტსამაგი ტრანსფორმატორი) ეს არის დამოუკიდებელი სტაგნიკური ელექტრული აპარატი, რომელიც გამოიყენება ძაბვის სარეგულირებლად ქვესადგურში (ნახ. 529,ა) მაშინ, როცა ძირითად ტრანსფორმატორს არ გააჩნია ლტვირთვის ქვემ ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა; ქვესადგურიდან გამავეალ ცალკეულ ხაზებზე (ნახ. 5.29,ბ).

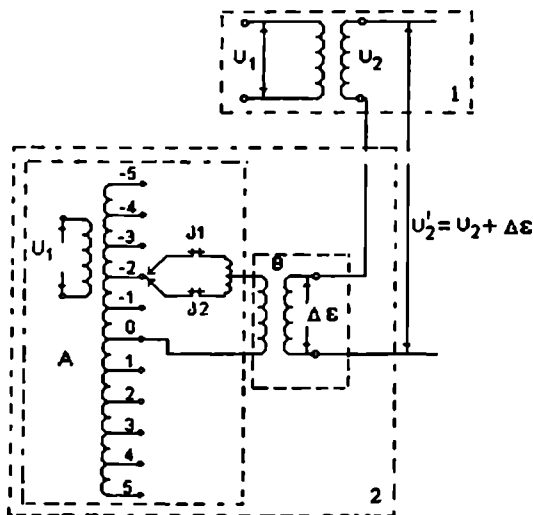


ნახ. 529. ვოლტსამაგი ტრანსფორმატორის ჩართვის სქემები:

1 – ძირითადი ძალოვანი ტრანსფორმატორი; 2 – ვოლტსამაგი ტრანსფორმატორი

სახაზო რეგულატორი შეიცავს მკეებაე და მიმდევრობით ტრანსფორმატორებს (ნახ. 530), რომლებიც მოთაესებულნი არიან მეთით საესე აეში. მკეებაეი ტრანსფორმატორის პირველადი გრანგნილი იეეებეა დაბალი ძაბვის ქსელიდან. ხოლო მის მეორეულ გრანგნილზე ვან-

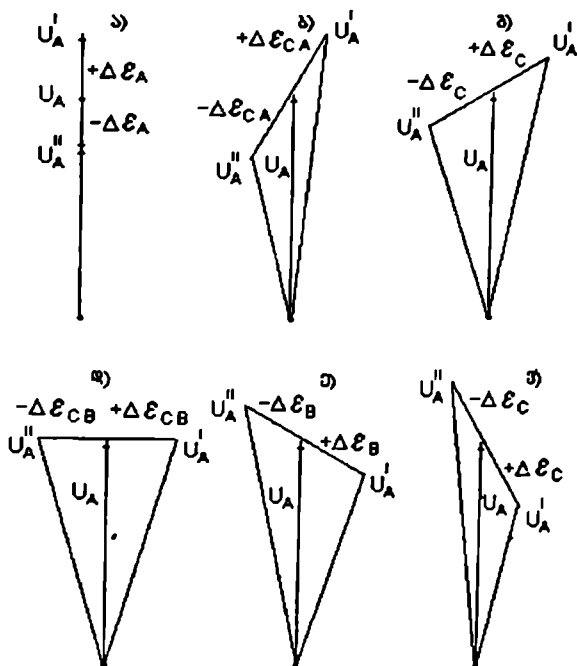
ხორციელებულია მარეგულირებელი მოწყობილობა, რომელიც РПН გრანსფორმატორის მარეგულირებელი მოწყობილობის პრინციპით მუშაობს.



ნახ. 5.30. სახაზო რეგულატორის ჩართვის პრინციპული სქემა:

1. ძირითადი ძალოვანი გრანსფორმატორი; 2 - სახაზო რეგულატორი; A – მკევაბე გრანსფორმატორი; B – მიმღევრობითი გრანსფორმატორი

სახაზო რეგულატორი საშუალებას იძლევა ვარეგულიროთ ძაბვა როგორც სიდიდით, ასევე ფაზით. კერძოდ, თუ მკევაბე გრანსფორმატორის პირველადი გრავნილი მიერთებულია იმავე სახელა ფაზურ ძაბებაზე, მაშინ დამატებითი ელექტრომამოძრავებელი ძალა ΔE ძირითადი გრანსფორმატორის მეორეული გრავნილის ძაბვის მიმართ დამრული იქნება 0° ან 180° -ით (ნახ. 5.31, ა), სოლო სხვა შემთსევეაში გვექნება ძაბვის რეგულირება როგორც მოდულით, ასევე ფაზით (ნახ. 5.31, ბ, გ, დ, ე, ე).



ნახ. 531. ძაბვების ვექტორული დიაგრამა სახაზო რეგულატორის ჩართვის სქემების მიხედვით: ა – ძაბვის გრძივი რეგულირება ბ, ვ – ძაბვის გრძივ-განივი (გრძივი შემდგენის უპირატესობით) რეგულირება; გ) ძაბვის განივ-გრძივი (განივი შემდგენის უპირატესობით) რეგულირება; დ – ძაბვის განივი რეგულირება

თუ ელექტროგადაცემის ხაზი, რომელშიც ჩართულია სახაზო რეგულატორი, ჩიხურია, მაშინ სარგებლობენ ძაბვის მხოლოდ გრძივი რეგულირების სქემით. თუ ხაზი მაღალი ძაბვის შეკრული ქსელის შემადგენელ ელემენტს წარმოადგენს, მაშინ სახაზო რეგულატორის მიერ კონტურში შემოყვანილი დამატებითი ელექტრომაგნიტური ძალა იწვევს ამ კონტურში სიმძლავრეთა გადანაწილებას. ამასთან, ძაბვის გრძივი რეგულირება უფრო მეტად იწვევს რეაქტიული სიმძლავრის გადანაწილებას, ხოლო განივი რეგულირება კი აქტიური სიმძლავრის გადანაწილებას. ამ შემთხვევაში არაერთგვაროვან ქსელებში შეიძლება მიღწეული იქნეს სიმძლავრეთა ეკონომიკური განაწილება, რაც ქსელში აქტიური სიმძლავრის მინიმალური დანაკარგების პირობაა.

ამრიგად, სახაზო რეგულატორების სათანადო გამოყენებით შეგვიძლია ქსელში ვარეგულიროთ არა მარტო ძაბვა, არამედ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებიც.

გრანსფორმატორში ძაბვის მარეგულირებელი მოწყობილობის ჩაშენება უფრო იაფია, ვიდრე თვითონ სახაზო რეგულატორი, როგორც დამოუკიდებელი ერთეული. მაგრამ ამ უკანასკნელის უპირატესობა მდგომარეობს მასში, რომ შესაძლებელია იგი გამოყენებული იქნეს ქსელის ნებისმიერ წერტილში. განსაკუთრებით იმ გრძელ ხაზებზე, რომლებიც ხასიათდება დიდი და დღეღამეში დიდ ფარგლებში ცვლადი დატვირთვით.

თანამედროვე ატოგრანსფორმატორები მზადდება საშუალო ძაბვის ფაზურ მხარეს ჩაშენებული PTH მოწყობილობით იმ შემთხვევაში, თუ მოითხოვება ძაბვის რეგულირება დაბალი ძაბვის მხარეს, მაშინ საჭირო ხდება დაბალი ძაბვის გრადნილთან მიმდევრობით ვოლტსამატი გრანსფორმატორის ჩართვა.

5.13. ძაბვის რეგულირება ელექტროგადაცემის რეაქტიული წინააღობისა და მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციით

ელექტროგადაცემის თავში ცნობილი ძაბვის პირობებში მის ბოლოში მუშა ძაბვა (ნახ. 5.32, ა) გამოითვლება ფორმულით

$$U_2 = U_1 - \Delta U - j\delta U, \quad (5.52)$$

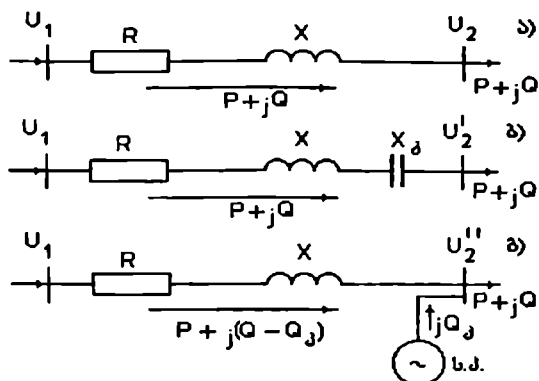
სადაც

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_1} \quad (5.53)$$

წარმოადგენს ძაბვის ეარდნის გრძივ შემდგენს, სოლო

$$\delta U = \frac{PX - QR}{U_1} \quad (5.54)$$

წარმოადგენს ძაბვის ეარდნის განივ შემდგენს: P, Q – გადასაცემი აქტიური და რეაქტიული ინდუქტიური სიმძლავრე; R, X – ელექტროგადაცემის აქტიური და რეაქტიული ინდუქტიური წინააღობა.



ნახ. 5.32. ელექტროგადაცემის სქემა:

ა) კომპენსაციამდე; ბ) რეაქტიული წინალობის კომპენსაციით; გ) რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციით

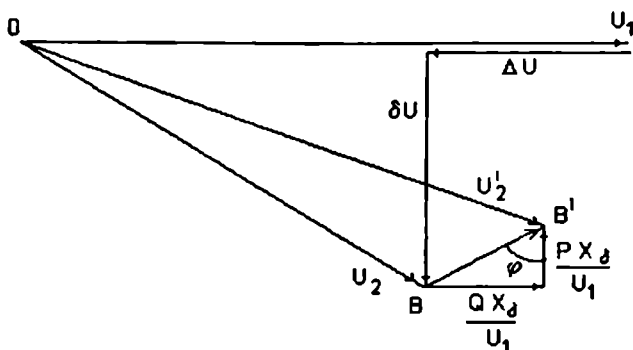
(5.52) გამოსახულების მიხედვით ავაგოთ ძაბვების დიაგრამა (ნახ. 7.33). აქ გადაცემის ბოლოში ძაბვა $U_2 = |\overline{OB}|$.

ელექტროგადაცემის რეაქტიული ინდუქტიური წინალობის კომპენსაციის შემთხვევაში, რაც განსორციელდება ხაზში კონდენსატორთა ბატარეის მიმდევრობით ჩართვის გზით (გრძივი კომპენსაცია), რომელთა რეაქტიული წინალობა X_c გვეადური ხასიათისაა (ნახ. 5.32,ბ), ძაბვის ეარდნის გრძივი და განივი შემდგენები გამოითულება ფორმულებით:

$$(\Delta U) = \frac{PR + Q(X - X_c)}{U_1} = \frac{PR + QX}{U_1} - \frac{QX_c}{U_1}; \quad (5.55)$$

$$(\delta U) = \frac{P(X - X_c) - QR}{U_1} = \frac{PX - QR}{U_1} - \frac{PX_c}{U_1}. \quad (5.56)$$

ამ გამოსახულებათა შესაბამისად U_2 ძაბვის ბოლო B წერტილი გადაინაცელებს B' წერტილში, ანუ ძაბვა გადაცემის ბოლოში გახდება U'_2 - ის ტოლი - $U'_2 > U_2$ (ნახ. 5.33). ნახაზიდან ჩანს, რომ B' წერტილი მით უფრო მარჯვნივ იქნება, რაც უფრო დაბალია მომხმარებლის სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \varphi$ (როცა $\cos \varphi_2 < \cos \varphi_1$, მაშინ $\varphi_2 > \varphi_1$). ე.ი. ელექტროგადაცემის რეაქტიული ინდუქტიური წინალობის გრძივი კომპენსაცია მით უფრო ეფექტურია, რაც მეტი რეაქტიული სიმძლავრე გადაეცემა მოცემული ელექტროგადაცემით.



ნახ. 533. ელექტროგადაცემის ძაბვების დიაგრამა რეაქტიული წინააღობის კომპენსაციამდე და კომპენსაციის შემდეგ

ძაბვის რეგულირება ხაზის რეაქტიული წინააღობის კომპენსაციის გზით წარმოადგენს შეუცვლელ საშუალებას იმ შემთხვევაში, როცა მომხმარებლის დატვირთვა მკვეთრად იცვლება დროის მცირე მონაკვეთში (წამი ან წამის ნაწილი). ამ შემთხვევაში ძაბვის რეგულირების სხვა საშუალებები რეგულირების პროცესის დაგვიანების გამო ვერ იძლევიან სასურველ შედეგს.

მომხმარებლის რეაქტიური დატვირთვის კომპენსაცია ხორციელდება ენერგიის მიმღებ საღებებზე მაკომპენსირებული დანადგარის (სინქრონული კომპენსატორი, კონდენსატორთა ბაგარეა) ჩართვით (ნახ. 532, გ). ამ შემთხვევაში ძაბვის ვარდნის შემდგენელი გამოითვლება ფორმულებით:

$$(\Delta U)' = \frac{PR + (Q - Q_1)X}{U_1} = \frac{PR + QX}{U_1} - \frac{Q_1X}{U_1}; \quad (557)$$

$$(\delta U)' = \frac{PZ - (Q - Q_1)R}{U_1} = \frac{PR - QX}{U_1} + \frac{Q_1R}{U_1}. \quad (558)$$

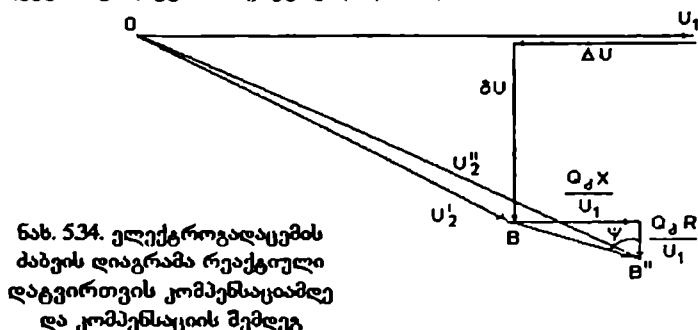
ამ გამოსახულებათა თანახმად ძაბვების ექვტორულ დიაგრამაზე U_2 ძაბვის ბოლო B წერტილი გადაინაცვლებს B'' წერტილში და ძაბვა გადაცემის ბოლოში გახდება U_2'' - ის გოლი - $U_2'' > U_2$ (ნახ. 534).

ნახაზზე ნაჩვენები კუთხე Ψ წარმოადგენს ხაზის კომპლექსური წინააღობის არგუმენტს

$$\Psi = \arctg(X/R).$$

ამ გამოსახულების თანახმად B'' წერტილი მით უფრო მარჯვნივ იქნება, რაც მეტია ელექტროგადაცემის რეაქტიული წინააღობა. ე.ი. რე-

აქტიური დატვირთვის კომპენსაციის მით უფრო ეფექტურია, რაც მეტია ელექტროგადაცემის რეაქტიული წინაღობა.



თუ მსედელობაში მივიღებთ მხოლოდ ძაბვის ვარდნის გრძივ შემდგენს, მაშინ (5.53) გამოსახულების (5.55) და (5.56) გამოსახულებებთან შედარებით, ეწერო

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{სერე}} - U &= \frac{Q_d \cdot X}{U_c} \\ U_{\text{სერე}} - U &= \frac{Q \cdot X_d}{U_c} \end{aligned} \right\} \quad (5.59)$$

როგორც ანალიზი გვიჩვენებს ძაბვის რეგულირების აქ განხილული საშუალებები რამდენადმე ურთიერთ გამომრიცხავია. კერძოდ, თუ განხორციელდა ელექტროგადაცემის რეაქტიული წინააღობის გრძივი კომპენსაცია, მაშინ რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ეფექტურობა ეცემა და პირიქით.

რეაქტიული წინააღობის კომპენსაცია ხორციელდება ხაზში კონდენსატორთა ბატარეის დაყენებით და მისი საანგარიშო ხარჯები ხაზის ნომინალური ძაბვის პროპორციულაა, ხოლო რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებელ დანადგარებს აყენებენ ენერგიის მიმღები ქვესადგურის დაბალი ძაბვის სალგეზე და, ამდენად, მათი საანგარიშო ხარჯები არ არის დამოკიდებული ელექტროგადაცემის ნომინალურ ძაბვაზე.

დაბალი ძაბვის ქსელში, სადაც სადენთა აქტიური R და რეაქტიული X წინააღობები თანაზომადია ან ზოგჯერ $R > X$, ძაბვის დანაკარგი ძირითადად განპირობებულია PR შესაკრებით, ვიდრე QX -ით (გამოსახულება 5.53) და ამიტომ ამ ქსელებში ძაბვის რეგულირება რეაქტიული წინააღობის კომპენსაციით ნაკლებეფექტურია.

აღნიშნულიდან გამომდინარე ძაბვის რეგულირება ხაზის რეაქტიული წინააღობის კომპენსაციით ნაკლებად პრაქტიკულია (გარდა იმ შემთხვევისა, როცა დაგეირთვა მკვეთრად ცვალებადია დროის მოკლე მონაკვეთში), მისი განსორციელების ეფექტურობა შეფასებული უნდა იქნეს ელექტროგადაცემის გამგარუნარიანობის გაზრდის თვალსაზრისით და შეიძლება გამოყენებული იქნეს შემალალი ძაბვის ხაზებზე, რაც დასაბუთებული უნდა იქნეს შესაბამისი ტექნიკო-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე.

ელექტროგადაცემის წინააღობის შეცვლა შესაძლებელია პარალელური შტოებიდან ერთერთის ამორთვის გზით. კერძოდ, მინიმალური დაგეირთვის რეჟიმში ქვესადგურზე დადგმული ორი გრანსფორმატორიდან ერთის ამორთვით გაიზრდება ძაბვის დანაკარგი ორჯერ და ქვესადგურის დაბალი ძაბვის სალგებზე ძაბვის რხევის დიაპაზონი შემცირდება. ამასთან ამ რეჟიმში ერთი გრანსფორმატორის ამორთვა შემცირებს ელექტროენერგიის მუდმივ დანაკარგებსაც (დანაკარგები ფოლადში). ამ ღონისძიების გაგარება თამამად შეიძლება, რადგანაც გრანსფორმატორი შედარებით საიმედო ელემენტია და ორიდან ერთის გამორთვით მომხმარებლის კვების საიმედოობას, პრაქტიკულად, საფრთხე არ ემუქრება.

ძაბვის რეგულირების თვალსაზრისით პარალელური ხაზებიდან ერთ-ერთის ამორთვა არამიმანშეწონილია, რადგანაც ამ დროს ელექტროენერგიის დანაკარგები იზრდება (დანაკარგები წინააღობაში) და მომხმარებლის კვების საიმედოობის დონე მცირდება ხაზის მუშაობის დაბალი საიმედოობის გამო გრანსფორმატორთან შედარებით.

5.14. ძაბვის დანაკარგის ცვლილება ხაზის აქტიური წინააღობის ცვლილებით

ელექტროგადაცემის ხაზის აქტიური წინააღობა სადენის მუშა განიკეთის უკუპროპორციულია. ხაზებზე სადენის განიკეთი, ზოგადად, შეირჩევა შემდეგი მოთხოვნების მიხედვით: ა) ელექტროგადაცემის ეკონომიკურობა; ბ) ნორმალურ და აუარიის შემდგომ რეჟიმებში ძაბვის დანაკარგი არ აღემატებოდეს დასაშვებს; გ) ნორმალურ და აუარიულ რეჟიმებში დენი სადენში არ აღემატებოდეს დასაშვებს; დ) ადგილი არ ჰქონდეს გვირგვინის მოვლენას; ე) მექანიკური სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტის იყოს ნორმით გათვალისწინებულზე არანაკლები.

ელექტროგადაცემის მთელ მაგისტრალში ძაბვის დანაკარგი ძირითადად განისაზღვრება ძაბვის ვარდნის გრძივი შემდგენით

$$\Delta U = \frac{1}{U_c} \sum P_n R_n + \frac{1}{U_c} \sum Q_n X_n = \Delta U_R + \Delta U_X, \quad (5.60)$$

სადაც P_n , Q_n – მაგისტრალის n -ურ უბანში გამავალი აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრე; R_n , X_n – ამ უბნის აქტიური და რეაქტიული წინაღობა.

სადენის განივი კვეთის შეცვლით იცვლება მხოლოდ ΔU_R შეზღუდვები, რომელიც მაღალი და ზემაღალი ძაბვის ქსელებში (დიდი განივი კვეთის სადენების გამო) მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე ΔU_X . ამდენად, ძაბვის დანაკარგების შემცირების თვალსაზრისით ამ ქსელებში სადენთა განივი კვეთის შეცვლით სასურველ შედეგს ვერ ეაღწევთ. 35 კვ და უფრო დაბალი ძაბვის ქსელებში, სადაც ΔU_R და ΔU_X თითქმის თანამომადი სიდიდეებია (ზოგჯერ $\Delta U_R > \Delta U_X$). სადენთა განივი კვეთის შერჩევით შეიძლება მიღწეული იქნეს პირობა

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{დო}}, \text{ ანუ } \Delta U_R \leq \Delta U_{\text{დო}} - \Delta U_X, \quad (5.61)$$

სადაც $\Delta U_{\text{დო}}$ – ძაბვის დასაშვები დანაკარგი, რომელიც განსაზღვრულ ქსელში ძაბვის რეგულირების რაიმე სხვა საშუალებათა არსებობისას შეიძლება ავიღოთ: ნორმალური რეჟიმებისთვის 15%-მდე და ავარიის შემდგომი რეჟიმისათვის კი 20%-მდე. ძაბვის რეგულირების სხვა საშუალებათა არ არსებობისას კი, შესაბამისად, 7-8 % და 10-12%.

შესაბამისი მოთხოვნების გათვალისწინებით სადენთა განივი კვეთის შერჩევა წარმოებს ქსელების პროექტირების საწყის ეტაპზე და ამიტომ ცხადია, რომ ქსელის რეჟიმების მართვისას ამ მიმართულებით რაიმე ოპერატიული ღონისძიებების გაგარება შეუძლებელია.

საშუალო და დაბალი ძაბვის ქსელებში სადენთა განივი კვეთები განისაზღვრება ერთი მხრივ, ტექნიკო-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე და, მეორეს მხრივ, ძაბვის დასაშვები დანაკარგის მიხედვით. საბოლოოდ კი აირჩევა ამ მნიშვნელობათა შორის უდიდესი. პრაქტიკული თვალსაზრისით აღნიშნულ ქსელებში უფრო მიზანშეწონილია სადენთა განივი კვეთები შევირჩიოთ ტექნიკო-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე და შემდეგ ჩატარდეს მათი შემოწმება ძაბვის დასაშვები დანაკარგის მიხედვით. თუ (7.55) პირობა არ სრულდება, მაშინ რეკომენდირებულია გაიზარდოს სადენის განივი კვეთი მაგისტრალური ქსელის სათავე უბანზე, ან ამავე უბანზე გადავიდეთ ორჯაჭვო ელექტროგადაცემაზე.

5.15. მე-5 თავის რიცხვითი მაგალითები

მაგალითი 5.1. იზოლირებულად მომუშავე ენერგოსისტემის ჯამური დატვირთვაა $P_{\Sigma} = 804$ მგვტ. დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი $K_{\Sigma} = 2$. შემოაბაში ჩართული გენერატორების მონაცემები ნაჩვენებია ქვემოთ ცხრილში (ცხრ.5.1).

გენერატორი №	ნომინალური სიმძლავრე, მგვტ	გენერატორის ფაქტიური სიმძლავრე, მგვტ	სიმძლავრის ცხელი რემერვი, მგვტ	სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი
1	260	180	80	30
2	260	200	60	30
3	300	230	70	15
4	50	40	10	25
5-10	6×20	6×15	6×5	20
11-18	8×12	8×8	8×4	20
სულ	1086	804	282	—

გავეანალიზოთ სისშირის პირველადი რეგულირების პროცესი ელექტროსისტემაში, თუ მისი ჯამური დატვირთვა მოულოდნელად გაიზარდა $\Delta P=100$ მგვტ-ით.

ამოხსნა. განესაზღვროთ მთელი სისტემის სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი (გამოსახულება 5.16)

$$K_{\Sigma} = \frac{2 \times (30 \cdot 260) + 15 \cdot 300 + 25 \cdot 50 + 20 \times (6 \times 20 + 8 \times 12)}{1086} = 23,637$$

სისტემის ჯამური დატვირთვის ახალი სიდიდე

$$P_{\Sigma} = 804 + 100 = 904 \text{ მგვტ.}$$

სიმძლავრის რემერვის კოეფიციენტი (გამოსახულება 5.19)

$$\rho = \frac{1086}{904} = 1,201.$$

სისშირის გადახრა (გამოსახულება 5.20)

$$\Delta f = -\frac{100}{904} \cdot \frac{50}{1,201 \cdot 23,637 + 2} = -0,182 \text{ ჰერცი}$$

$$\text{ანუ } \Delta f\% = -0,364.$$

გენერატორების მიერ განვითარებული დამატებითი გენერაცია (გამოსახულება 5.12):

$$\Delta P_{\Sigma 1-2} = -30 \cdot \frac{-0,182}{50} \cdot 260 = 28,39 \text{ მგვტ (თითოეულის);}$$

$$\Delta P_{\Sigma 3} = -15 \cdot \frac{-0,182}{50} \cdot 300 = 16,38 \text{ მგვტ;}$$

$$\Delta P_{\Sigma 4} = -25 \cdot \frac{-0,182}{50} \cdot 50 = 4,55 \text{ მგვტ;}$$

$$\Delta P_{\text{გ.თ.}} = -20 \cdot \frac{-0,182}{50} \cdot 20 = 1,46 \text{ მგეგ (თითოეულის);}$$

$$\Delta P_{\text{თ.თ.}} = -20 \cdot \frac{-0,182}{50} \cdot 12 = 0,87 \text{ მგეგ (თითოეულის).}$$

ჯამური დატვირთვის შემცირება (გამოსახულება 5.8)

$$\Delta P_1 = 2 \cdot 904 \cdot \frac{-0,182}{50} = -6,58 \text{ მგეგ.}$$

შეეგამოწმეთ (5.17) გოლობა

$$\Delta P = 2 \times 28,39 + 16,38 + 4,55 + 6 \times 1,46 + 8 \times 0,87 - (-6,58) = 100,01 \text{ მგეგ.}$$

ამრიგად, სიმძლავრის დეფიციტი აღმოუჩენილია და სისტემაში დამყარდა $f=50-0,182=49,818$ პერცი სიხშირე. ამასთან არცერთი გენერატორი გადატვირთული არ არის.

ადვილად დაერწმუნდებით, რომ სიხშირის პირველადი რეგულირებაში აქტიური მონაწილეობა მიიღო უფრო იმ გენერატორმა, რომლისთვისაც სიდიდე $K_{\text{კ}} \cdot P_{\text{კ}}$ უფრო დიდია (გამოსახულება 5.12).

მაგალითი 5.2. განვიხილოთ იგივე ენერგოსისტემა (მაგალითი 5.1), როცა სიჩქარის რეგულატორები მოქმედებაშია მხოლოდ №1 და №3 გენერატორზე. ეს იმას ნიშნავს, რომ დანარჩენ გენერატორებზე სიჩქარის რეგულატორების გაუმართაობის გამო სიმძლავრის არსებული რეზერვის სრულად გამოყენება არ ხერხდება.

გაუანალიზოთ სიხშირის პირველადი რეგულირების პროცესი ელექტროსისტემაში, თუ მისი ჯამური დატვირთვა მოულოდნელად გაიზარდა $\Delta P=100$ მგეგ-ით.

ამოხსნა. განესაზღვროთ $K_{\text{კ}}$

$$K_{\text{კ}} = \frac{30 \cdot 260 + 15 \cdot 300}{1086} = 11,326$$

სიხშირის გადახრა იგივე $\Delta P=100$ მგეგ დეფიციტისას

$$\Delta f = -\frac{100}{904} \cdot \frac{50}{1,201 \cdot 11,326 + 2} = -0,3545 \text{ პერცი.}$$

ანუ $\Delta f\% = -0,701$.

გამოეთვალეთ გენერატორთა მიერ განეითარებული დამატებითი გენერაცია:

$$\Delta P_{\text{უ1}} = -30 \cdot \frac{-0,3545}{50} \cdot 260 = 55,3 \text{ მგეგ;}$$

$$\Delta P_{\text{უ3}} = -15 \cdot \frac{-0,3545}{50} \cdot 300 = 31,91 \text{ მგეგ;}$$

ჯამური დატვირთვის შემცირება

$$\Delta P_1 = 2 \cdot 904 \frac{-0,3545}{50} = -12,82 \text{ მგეგ.}$$

შეეპოწმომთ (5.17) გოლობა $\Delta P = 55,3 + 31,91 - (-12,82) = 100,03 \text{ მგეგ.}$

ამრიგად, სიმძლავრის დეფიციტი აღმოუხვრილია და სისტემაში დამყარდა $f = 50 - 0,3545 = 49,65$ პერცი სიხშირე. იმის გამო, რომ სიხშირის პირველად რეგულირებაში მონაწილეობა არ მიიღო სისტემის ყველა გენერატორმა სიხშირის გადახრა უფრო დიდია.

მაგალითი 5.3. ვისარგებლოთ 5.1 რიცხვითი მაგალითით და დავუშვათ, რომ აღნიშნულ ენერგოსისტემაში ავარიულად გამოირთო გ3 გენერატორი, რომლის ნომინალური სიმძლავრეა 300 მგეგ, ხოლო დაგვირთვა კი 230 მგეგ. ამ შემთხვევაში გვაქვს შემდეგი სიტუაცია: სისტემის ჯამური ნომინალური სიმძლავრე $\sum P_{\text{გ3}} = 1086 - 300 = 786$ მგეგ; ჯამური ცხელი რეზერვი $\sum P_{\text{ცხელი}} = 282 - 70 = 212$ მგეგ; ჯამური დაგვირთვა $P_{\text{დ}} = 804$ მგეგ; სიმძლავრის დეფიციტი $\Delta P = 230$ მგეგ.

გავანალიზოთ სიხშირის პირველადი რეგულირების პროცესი ელექტროსისტემაში, თუ მისი ჯამური დაგვირთვა მოულოდნელად გაიზარდა $\Delta P = 100$ მგეგ-ით.

ამოხსნა. სისტემის ეკვივალენტური რეგულატორის სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი გამოეთვალეთ მუშაობაში დარჩენილი გენერატორების გათვალისწინებით

$$K_{\text{გ3}} = \frac{2 \times (30 \cdot 260) + 25 \cdot 50 + 6 \times (20 \cdot 20) + 8 \times (20 \cdot 12)}{786} = 26,9338$$

სიმძლავრის რეზერვის კოეფიციენტი

$$\rho = \frac{786}{804} = 0,9776$$

(5.23) გამოსახულების მიხედვით განესაზღვროთ სიხშირის რა სიდიდით შემცირებისას ამოიწურება ამა თუ იმ გენერატორის საკუთარი ცხელი რეზერვი, გვაქვს:

$$\Delta f_{\text{გ1}} = -\frac{80 \cdot 50}{30 \cdot 260} = -0,5128 \text{ პერცი; } \Delta f_{\text{გ2}} = -\frac{60 \cdot 50}{30 \cdot 260} = -0,3846$$

$$\Delta f_{\text{გ3}} = -\frac{10 \cdot 50}{25 \cdot 50} = -0,4; \Delta f_{\text{გ4-გ8}} = -\frac{5 \cdot 50}{20 \cdot 20} = -0,625;$$

$$\Delta f_{\text{გ9-გ10}} = -\frac{4 \cdot 50}{20 \cdot 12} = -0,8333.$$

მიღებული შედეგების მიხედვით ვასკენით, რომ პირველი თავის რეზერვს ამოწურავს გ2 გენერატორი, შემდეგ – გ4 და ა.შ. სიხშირის პირველადი რეგულირების მიმდინარეობის პროცესი წარმოდგენილია ქვემოთ ცხრილის სახით (ცხრ.5.2). ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ სისტემაში

სისშირე შემცირდა 49,29 პერცამდე, რის გამოც მომხმარებელთა ჯამური დატვირთვა შემცირდა 22,79 მგვტ-ით და ამასთან ცხელი რეზერვი მთლიანად არ არის გამოყენებული (გ11-18 გენერატორებზე ჯამში დარჩა 4,8 მგვტ ცხელი რეზერვი).

ცხრ.5.2.

დასახელება			სისშირის გადახრის ეტაპები				
			1	2	3	4	5
სისშირის გადახრა, პერცო			-0,385	-0,40	-0,513	-0,625	-0,71
გენერატორების მიერ გამოყენებული ცხელი რეზერვი	გენერატორი	ცხელი რეზერვი	გამოყენებული ცხელი რეზერვი, მგვტ				
	გ.1	80	60	62,4	80	80	80
	გ.2	60	60	60	60	60	60
	გ.4	10	9,62	10	10	10	10
	გ.5-10	6X5	6X 3,077	6X 3,20	6X 4,10	6X5	6X5
	გ.11-18	8X4	8X1,85	8X1,92	8X2,46	8X3,0	8X3,4
ჯამური დატვირთვის ცვლილება, მგვტ			-12,37	-12,86	-16,49	-20,10	-22,79
აღმოფხვრილი დეფიციტი, მგვტ			175,2	179,8	210,80	224,10	230,0
დარჩენილი დეფიციტი, მგვტ			54,79	50,18	19,20	5,90	0
დარჩენილი ჯამური ცხელი რეზერვი, მგვტ			49,16	45,04	17,70	8,0	4,8
სისტემის ჯამური დატვირთვა, მგვტ			791,6	791,1	787,5	783,9	781,2
სისტემის ჯამური გენერაცია, მგვტ			736,8	741,0	768,3	778,0	781,2
სისშირე სისტემაში, პერცო			49,62	49,60	49,49	49,38	49,29

მაგალითი 5.4. გაეანალიზოთ სისშირის პირველადი რეგულირების პროცესი, თუ 53 მაგალითში ნაჩვენებ გენერატორებს შორის სისტემის ჯამური ცხელი რეზერვი (524) პროპორციით იქნება განაწილებული.

ამ შემთხვევაში თითოეული გენერატორის ცხელი რეზერვი იქნება:

$$P_{\text{გ1საბრ.}} = \frac{282}{23,637 \cdot 1086} \cdot 30 \cdot 260 = 85,688 \text{ მგვტ (თითოეულის);}$$

$$P_{\text{გ11საბრ.}} = \frac{282}{23,637 \cdot 1086} \cdot 15 \cdot 300 = 49,436 \text{ მგვტ;}$$

$$P_{\text{გ4საბრ.}} = \frac{282}{23,637 \cdot 1086} \cdot 25 \cdot 50 = 13,732 \text{ მგვტ;}$$

$$P_{\text{გ5-18საბრ.}} = \frac{282}{23,637 \cdot 1086} \cdot 20 \cdot 20 = 4,394 \text{ მგვტ (თითოეულის);}$$

$$P_{\text{კლ-ნაკრები}} = \frac{282}{23,637 \cdot 1086} \cdot 20 \cdot 12 = 2,637 \text{ მგეგ (თითოეულის)}.$$

ამოხსნა. ცხელი რეზერვის სრულ ამოწურვამდე ყველა გენერატორი მონაწილეობს სიხშირის პირველად რეგულირებაში და ამიგომ გენერატორის ამორთვის შემთხვევაში გვაქვს:

$$\sum P_{\text{გაგა}} = 232,564 \text{ მგეგ; } \Delta P = 230 \text{ მგეგ; } P_{\text{გ}} = 804 \text{ მგეგ;}$$

$$\rho = 786/804 = 0,9776 \quad K_{\text{გ}} = 26,9338,$$

მაშინ

$$\Delta f = \frac{-230 \cdot 50}{2 \cdot 804 + 26,9338 \cdot 786} = -0,5049 \text{ ჰერცი,}$$

$$\Delta n_{\text{ფ}} = 50 - 0,5049 = 49,495 \text{ ჰერცი.}$$

გენერატორების მიერ განვითარებული დამატებითი გენერაცია:

$$\Delta P_{\text{გ},1,2} = -30 \cdot 260 \cdot \frac{-0,5049}{50} = 78,76 \text{ მგეგ (თითოეულის);}$$

$$\Delta P_{\text{გ},4} = -25 \cdot 500 \cdot \frac{-0,5049}{50} = 12,62 \text{ მგეგ;}$$

$$\Delta P_{\text{გ},5-10} = -20 \cdot 20 \cdot \frac{-0,5049}{50} = 4,04 \text{ მგეგ (თითოეულის);}$$

$$\Delta P_{\text{გ},11-18} = -20 \cdot 12 \cdot \frac{-0,5049}{50} = 2,42 \text{ მგეგ (თითოეულის).}$$

მომხმარებელთა ჯამური დატვირთვა შემცირდა

$$\Delta P_{\text{გ}} = 2 \cdot 804 \cdot \frac{-0,5049}{50} = -16,24 \text{ მგეგ.}$$

ამრიგად, გენერატორებს შორის ცხელი რეზერვის რაციონალური განაწილების შემთხვევაში ავარიის შემდგომი რეკიმი დამყარდა უკეთესი მაჩვენებლებით (ცხრ. 5.3).

ცხრ.5.3.

სისტემის ჯამური ცხელი რეზერვი გენერატორებს შორის განაწილებულია	დამყარებული სიხშირე, ჰერცი	უზრუნველყოფილია ჯამური დატვირთვა, მგეგ	დაჩენილი ცხელი რეზერვი, მგეგ
ნებისმიერად	49,29	781,2	4,8
(5.24) პროპორციით	49,50	787,76	18,8

შევამოწმოთ რამდენად უფრო მძიმე ავარია იქნება გენერატორის ავარიულად გამორთვისას. ამ შემთხვევაში გვაქვს:

$$\Sigma P_{\text{კოტ.}} = 202 \text{ მგებ; } \Delta P = 180 \text{ მგებ; } P_{\text{კ}} = 804 \text{ მგებ;}$$

$$\rho = 826/804 = 1,0274; K_{\text{კ}} = 21,634.$$

ამ პირობებში

$$\Delta f = \frac{-180 \cdot 50}{804(2 + 21,634 \cdot 1,0274)} = -0,462 \text{ ჰერცი}$$

$$\text{ანუ } f = 50 - 0,462 = 49,538$$

გენერატორების მიერ განვითარებული დამატებითი გენერაცია:

$$\Delta P_{\text{კ,1}} = -30 \cdot 260 \cdot \frac{-0,462}{50} = 72,07 \text{ მგებ;}$$

$$\Delta P_{\text{კ,2}} = -15 \cdot 300 \cdot \frac{-0,462}{50} = 41,58 \text{ მგებ;}$$

$$\Delta P_{\text{კ,4}} = -25 \cdot 50 \cdot \frac{-0,462}{50} = 11,55 \text{ მგებ;}$$

$$\Delta P_{\text{კ,5-10}} = -20 \cdot 20 \cdot \frac{-0,462}{50} = 3,70 \text{ მგებ (თითოეულის);}$$

$$\Delta P_{\text{კ,11-18}} = -20 \cdot 12 \cdot \frac{-0,462}{50} = 2,22 \text{ მგებ (თითოეულის).}$$

მომხმარებელთა ჯამური დატვირთვის შემცირება

$$\Delta P_{\text{კ}} = 2 \cdot 804 \cdot \frac{-0,462}{50} = -14,86 \text{ მგებ.}$$

ეს ავარიული შემთხვევა უფრო ნაკლებად მძიმე არის, ვიდრე წინა, რადგანაც სისტემაში დამყარდა უფრო მაღალი სიხშირე (49,538 ჰერცი) და ცხელი რემერეიც უფრო მეტი დარჩა (36,88 მგებ).

მაგალითი 5.5. დაეუშვათ, რომ 5.1 მაგალითში წარმოდგენილი ენერგოსისტემა პარალელურ მუშაობაშია მძლავრ მემობელ ენერგოსისტემასთან, საიდანაც შემოედინება 300 მგებ სიმძლავრე და განსახილველი ენერგოსისტემის ჯამური დატვირთვა შეადგენს 1104 მგებ-ს. მუშაობაში ჩართული გენერატორების მონაცემები იგივეა, რაც 5.1 მაგალითში.

განვიხილოთ მემობელ სისტემასთან კავშირის ავარიულად გამორთვის შემთხვევა.

ამოხსნა. მემობელ სისტემასთან კავშირის ავარიულად გამორთვის შემთხვევაში:

სისტემის გენერატორების ჯამური ნომინალური სიმძლავრე $\Sigma P_{\text{კ}} = 1086$ მგებ; ჯამური ცხელი რემერე $\Sigma P_{\text{კოტ.}} = 282$ მგებ; ჯამური დატვირთვა $P_{\text{კ}} = 1104$ მგებ; სიმძლავრის დეფიციტი $\Delta P = 300$ მგებ. ეკ

ვივალენგური სტაგნიკური მახასიათებლის დასრილობის კოეფიციენტი $K_{\Sigma} = 23,637$ (მაგალითი 5-1); სიმძლავრის რეზერვის კოეფიციენტი $\rho = 1086/1104 = 0,9837$.

ჯამური ცხელი რეზერვი გენერატორებს შორის განაწილებულია (5.24) პროპორციით. მათი რიცხვითი მნიშვნელობები მოცემულია 5.4 მაგალითში.

განვსაზღვროთ სიხშირის შემცირების სიდიდე

$$\Delta f = \frac{-300 \cdot 50}{1104(0,9837 \cdot 23,637 + 2)} = -0,5381.$$

თითოეული გენერატორის მიერ განვითარებული დამატებითი სიმძლავრე:

$$\Delta P_{\Sigma 1,2} = -30 \cdot 230 \cdot \frac{-0,5381}{50} = 83,94 \text{ მგვტ (თითოეულის);}$$

$$\Delta P_{\Sigma 3} = -15 \cdot 300 \cdot \frac{-0,5381}{50} = 48,43 \text{ მგვტ;}$$

$$\Delta P_{\Sigma 4} = -25 \cdot 50 \cdot \frac{-0,5381}{50} = 13,45 \text{ მგვტ;}$$

$$\Delta P_{\Sigma 5-10} = -20 \cdot 20 \cdot \frac{-0,5381}{50} = 4,305 \text{ მგვტ (თითოეულის);}$$

$$\Delta P_{\Sigma 11-18} = -20 \cdot 12 \cdot \frac{-0,5381}{50} = 2,583 \text{ მგვტ (თითოეულის).}$$

დატვირთვის შემცირება

$$\Delta P_{\Sigma} = 2 \cdot 1104 \cdot \frac{-0,5381}{50} = -23,76 \text{ მგვტ.}$$

შევაბოწმოთ (7.12) პირობა:

$$\Delta P = \sum \Delta P_{\Sigma i} - \Delta P_{\Sigma} = 300,7 \text{ მგვტ.}$$

სისტემაში დარჩენილი ცხელი რეზერვი შეაღგენს

$$\sum_{\text{სტრუქტურა}} = 282 - 300,7 + 23,76 = 5,06 \text{ მგვტ.}$$

მაგალითი 5.6. ქვესადგურზე ღვას $2 \times \text{ТРДН-40000/110}$ ტიპის ტრანსფორმატორი, რომლის პარამეტრებია $U_{\text{გრად}} = 10,5$ კვ; $U_{\text{გად}} = 115$ კვ; $n \times \alpha \% = \pm 9 \times 1,78\%$; $R_{\Sigma} = 1,4$ ომი; $X_{\Sigma} = 34,7$ ომი. ქვესადგურის დატვირთვა: მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში $P_{\Sigma \Sigma} + jQ_{\Sigma \Sigma} = 65 + j40$ მგვა; მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში $P_{\Sigma \Sigma} + jQ_{\Sigma \Sigma} = 40 + j30$ მგვა. ქვესადგურის მაღალი ძაბვის სალკებზე

მუშა ძაბვა: მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში $U_{აჟ} = 108$ კვ; მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში $U_{აჟ} = 117$ კვ.

დაუდგინოთ გამომყვანის შესაბამისი ნომერი ორივე რეჟიმში, თუ ქვესადგურის დაბალი ძაბვის სალგეზე საჭიროა უზრუნველყოთ მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში $U_{აჟაჟ} = 10,7$ კვ, მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში $U_{აჟაჟ} = 10,4$ კვ.

ამოხსნა. 1. ეიპოვოთ ძაბვის ეარდნის გრძივი შემდგენი (გამოსახულება 5.39)

$$\Delta U_{აჟაჟ} = \frac{1}{2} \frac{65 \cdot 1,4 + 40 \cdot 34,7}{108} = 6,85 \text{ კვ.}$$

$$\Delta U_{აჟაჟ} = \frac{1}{2} \frac{40 \cdot 1,4 + 30 \cdot 34,7}{117} = 4,69 \text{ კვ.}$$

2. განესაზღვროთ ტრანსფორმაციის ნომინალური კოეფიციენტი (5.34)

$$K_{ტრ} = 10,5/115 = 0,0913.$$

3. ვისარგებლოთ (5.40) გამოსახულებით და დაუდგინოთ გამომყვანის ნომერი მაქსიმალური და მინიმალური დატვირთვების რეჟიმებში:

- მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში

$$10,7 = (108 - 6,85) \cdot \frac{0,0913}{1 + n \cdot 1,78 \cdot 10^{-2}}; \quad \text{აქედან } n = -8;$$

$$10,4 = (117 - 4,69) \cdot \frac{0,0913}{1 + n \cdot 1,78 \cdot 10^{-2}}; \quad \text{აქედან } n = -1;$$

ანგარიშის შედეგები გვიჩვენებს, რომ, 5.21 ნახაზზე ნაჩვენები გადართეული მექანიზმის ელექტრული სქემის შემთხვევაში, ქვესადგურის დაბალი ძაბვის სალგეზე ძაბვის მოთხოვნილი დონის უზრუნველსაყოფად საჭიროა ტრანსფორმატორის გამომყვანი დაეყენოთ: $n = -8$ (მაქსიმალური რეჟიმი) და $n = -1$ (მინიმალური რეჟიმი) მდგომარეობაში;

მაგალითი 5.7. განესაზღვროთ მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში მომხმარებლის სალგეზე ძაბვის ამაღლება 5.35 ნახაზზე წარმოდგენილი ქსელში $Q_1 = 10$ მგვარ მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების შემდეგ თუ: $U_1 = 112$ კვ; $P_e + jQ_e = 50 + j30$ მგვა; $Z_b = 3 + j20$ ომი; $Z_g = 0,5 + j40$ ომი; $K_{ტრ} = 10,5/115 = 0,0913$. იგულისხმება, რომ ძაბვის დამწვე ტრანსფორმატორს ტრანსფორ-მაციის კოეფიციენტის შეცვლის საშუალება არ გააჩნია.

ამოხსნა. განესაზღვროთ ძაბვის ეარდნის გრძივი და განივი შემდეგნი კომპენსაციამდე (გამოსახულება 5.53 და 5.54)

$$\Delta U = \frac{50 \cdot (3 + 0,5) + 30(20 + 40)}{112} = 17,63 \text{ კვ.}$$

$$\delta U = \frac{50(20 + 40) - 30(3 + 0,5)}{112} = 25,85 \text{ კვ.}$$

ძაბვა მომხმარებლის სალტეზე კომპენსაციამდე

$$U = 0,0913 \sqrt{(112 - 17,63)^2 + 25,85^2} = 8,93 \text{ კვ.}$$

ძაბვის ეარდნის შემდეგნები კომპენსაციის შემდეგ (გამოსახულება 5.57 და 5.58)

$$(\Delta U) = 17,63 - \frac{10 \cdot (20 + 40)}{112} = 12,27 \text{ კვ.}$$

$$(\delta U) = 25,85 + \frac{10 \cdot (3 + 0,5)}{112} = 26,16 \text{ კვ.}$$

ძაბვა მომხმარებლის სალტეზე კომპენსაციის შემდეგ

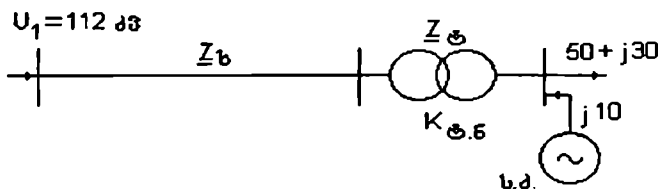
$$U' = 0,0913 \sqrt{(112 - 12,27)^2 + 26,16^2} = 9,41 \text{ კვ.}$$

მომხმარებლის სალტეზე ძაბვის გადახრა ნომინალურიდან: კომპენსაციამდე

$$\frac{8,93 - 10}{10} \cdot 100 = -10,7\%; \quad \text{კომპენსაციის შემდეგ}$$

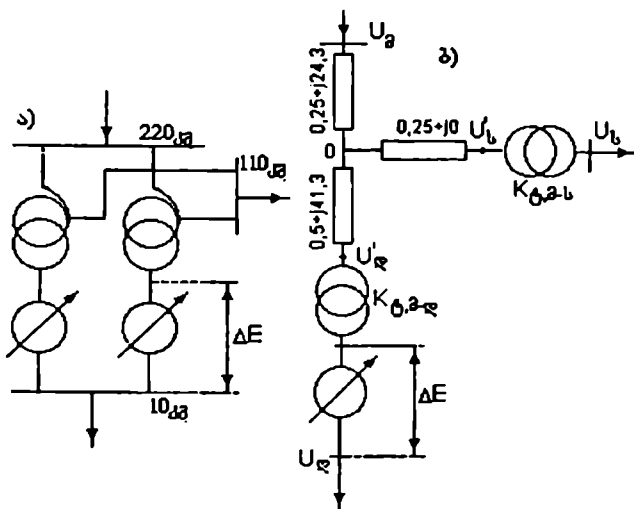
$$\frac{9,41 - 10}{10} \cdot 100 = -5,9\%. \quad \text{ე.ი. რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციით}$$

მომხმარებლის სალტეებზე ძაბვა ამაღლდა 4,8%-ით.



ნახ. 5.35

მაგალითი 5.8 დამწვევ ქვესადგურზე ღვას ორი ავტოტრანსფორმატორი АТДЦТН-12500/230/121/11 გიპის. ავტოტრანსფორმატორის სამუშაო ძაბვის ფაზურ მხარეს არის РПН მოწყობილობა $12 \pm 6 \times 2\%$ რეგულირების ფარგლებით. გარდა ამისა, დაბალი ძაბვის გრაგნილთან მიმდევრობით ჩართულია ეოლტსამაგი ტრანსფორმატორი $11 \pm 10 \times 1\%$ რეგულირების ფარგლებით (ნახ.5.36,ა). ავტოტრანსფორმატორთა ჩანაცვლების სქემა ნაჩვენებია 5.36,ბ. ნახაზზე.



ნახ. 536.

მაქსიმალური დატვირთვების რეჟიმში მაღალი ძაბვის მხარეს ძაბვა $U_{გ}=215$ კე, ხოლო მომხმარებელთა დატვირთვები 110 და 10 კე ძაბვის სალტეებზე შესაბამისად შეადგენს

$$\underline{S}_{ს, მაქ.} = 90 + j50 \text{ და } \underline{S}_{ლ, მაქ.} = 40 + j25 \text{ მგვა.}$$

მინიმალური დატვირთვების რეჟიმში გვაქვს: $U_{გ}=225$ კე; $\underline{S}_{ს, მინ.} = 50 + j30$ და $\underline{S}_{ლ, მინ.} = 25 + j15$ მგვა.

საჭიროა შევარჩიოთ ავტოტრანსფორმატორისა და ვოლტსამაგი ტრანსფორმატორის გამოყენება ისე, რომ 110 და 10 კე ძაბვის მხარეს განხორციელდეს ძაბვის შემხვედრი რეგულირება. კერძოდ, მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში სასურველია იყოს, შესაბამისად, 115 და 10.5 კე, ხოლო მინიმალური დატვირთვების რეჟიმში კი 110 და 10 კე.

ამოხსნა. ნომინალური ძაბვის მიხედვით განესაზღვროთ სიმძლავრეთა დანაკარგები გრაფიკებში და შესაბამისად $\underline{S}'_{გ}, \underline{S}'_{ს}$ და $\underline{S}'_{ლ}$.

გაანგარიშების საფუძველზე მივიღეთ: მაქსიმალური დატვირთვების რეჟიმში

$$\underline{S}'_{ლ, მაქ.} = 40,02 + j26,90, \quad \underline{S}'_{ს, მაქ.} = 90,05 + j50,$$

$$\underline{S}'_{გ, მაქ.} = 130,19 + j88,36 \text{ მგვა.}$$

მინიმალური დატვირთვების რეჟიმში

$$\underline{S}_{ლ, მინ.} = 25,01 + j15,73, \quad \underline{S}'_{ლ, მინ.} = 50,02 + j30,$$

$$\underline{S}'_{გ, მინ.} = 75,07 + j49,61 \text{ მგვა}$$

ორივე რეჟიმში გამოუთვალეთ დაყვანილი ძაბვები U'_s და U'_L .
 ჯერ განესაზღვროთ ძაბვა ჩანაცვლების სქემის 0 წერტილში

$$U_{0, \text{მაქ}} = 215 - \frac{130,19 \cdot 0,25 + 88,36 \cdot 24,3}{215} = 204,9 \text{ კვ.}$$

შესაბამისად,

$$U'_{s, \text{მაქ}} = 204,9 - \frac{90,05 \cdot 0,25 + 50 \cdot 0}{204,9} = 204,8 \text{ კვ.}$$

$$U'_{L, \text{მაქ}} = 204,9 - \frac{40,02 \cdot 0,5 + 26,9 \cdot 41,3}{204,9} = 199,38 \text{ კვ}$$

ანალოგიურად,

$$U_{0, \text{მზ}} = 225 - \frac{75,07 \cdot 0,25 + 49,61 \cdot 24,3}{225} = 219,6 \text{ კვ}$$

$$U'_{s, \text{მზ}} = 219,6 - \frac{50,02 \cdot 0,25 + 30 \cdot 0}{219,6} = 219,5 \text{ კვ}$$

$$U'_{L, \text{მზ}} = 219,6 - \frac{25,01 \cdot 0,5 + 15,73 \cdot 41,3}{219,6} = 216,6 \text{ კვ.}$$

განესაზღვროთ ვოლტსამაგი გრანსფორმატორის ე.მ.ძალა, რომელიც საჭიროა 10კვ ძაბვის სალტებზე ძაბვის შემსველრი რეგულირებისთვის:

მაქსიმალური დატვირთვების რეჟიმში

$$U_{\text{ლაბსაზღვრ.}} = 10,5 = 199,38 \cdot \frac{11}{230} + \Delta E = 9,54 + \Delta E.$$

აქედან

$$\Delta E = 0,96 \text{ კვ, ანუ } \Delta E\% = \frac{0,96}{11} \cdot 100 = 8,7\%.$$

შევარჩიოთ +9 გამოყვანი და ძაბვა

$$U_{\text{ლაქ.}} = 9,54 + \frac{11 \cdot 9}{100} = 10,53 \text{ კვ.}$$

მინიმალური დატვირთვების რეჟიმში

$$U_{\text{ლაბსაზღვრ.}} = 10 = 216,6 \cdot \frac{11}{230} + \Delta E = 10,33 + \Delta E,$$

აქედან

$$\Delta E = -0,33 \text{ კვ, ანუ } \Delta E\% = \frac{-0,33}{11} \cdot 100 = -3\%.$$

შეუარჩიოთ -3 გამოყენი და ძაბვა

$$U_{\text{ღამ}} = 10,33 + \frac{11 \cdot (-3)}{100} = 10 \text{ კვ.}$$

დაეადგინოთ ავტოგრანსუორმაგორის გამოყენის ნომერი, რომელიც 110 კვ ძაბვის სალტეზე უზრუნველყოფს ძაბვის შემხვედრ რეგულირებას:

მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში

$$U_{\text{სამსახურ.}} = 115 = 204,8 \cdot \frac{121 \left(1 + \frac{n \cdot 2}{100} \right)}{230},$$

აქედან

$$n = 3,37$$

შეუარჩიოთ $n=3$ გამოყენი და ძაბვა

$$U_{\text{სამს.}} = 204,8 \cdot \frac{121 \left(1 + \frac{3 \cdot 2}{100} \right)}{230} = 114,21 \text{ კვ.}$$

მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში

$$U_{\text{სამსახურ.}} = 110 = 219,5 \cdot \frac{121 \left(1 + \frac{n \cdot 2}{100} \right)}{230},$$

აქედან

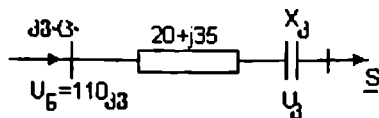
$$n = -2,37$$

შევირჩიოთ $n=-2$ გამოყენი და ძაბვა

$$U_{\text{ღამ}} = 219,5 \cdot \frac{121 \left(1 - \frac{2 \cdot 2}{100} \right)}{230} = 110,86 \text{ კვ.}$$

მაგალითი 59 რაიონული დამწვევი ქვესადგური კეების ცენტრთან დაკავშირებულია 110კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზით, რომლის გრძივი წინაღობა $Z=20+j35$ ომი. კეების ცენტრის ძაბვა $U_1=115$ კვ. ქვესადგურის საანგარიშო დატვირთვა $S=30+j18$ მგვა. მომხმარებლის მუშაობის პირობიდან გამომდინარე დატვირთვის ამ რეჟიმში ქვესადგურის მაღალი ძაბვის სალტეზე მოითხოვება $U_2=107$ კვ.

ხაზში ძაბვის დანაკარგის შესამცირებლად გათვალისწინებულია ამ ხაზში მიმდევრობით ჩაირთოს KC2A-0,66-40 ტიპის ერთფაზა სტანდარტული კონდენსატორები, რომელთა ძაბვა $U_k=0,66$ კვ და სიმძლავრე 40კვარ (ნას.537).



ნახ. 7.34

გამოთვალეთ ერთ ფაზაში ჩართულ კონდენსატორთა საერთო რაოდენობა.

ამოხსნა. ხაზში ძაბვის დანაკარგი კონდენსატორთა ბატარეის ჩართვამდე

$$\Delta U = \frac{30 \cdot 20 + 18 \cdot 35}{107} = 11,49 \text{ კე}$$

მომხმარებლის მოთხოვნის თანახმად ხაზში ძაბვის დასაშვები დანაკარგი

$$\Delta U_{\text{დ.}} = 115 - 107 = 8 \text{ კე.}$$

განესაზღვროთ კონდენსატორთა ბატარეის წინააღობა, რომელიც ძაბვის დანაკარგს შეამცირებს 8 კე-მდე

$$8 = \frac{30 \cdot 20 + 18(35 - X_j)}{107},$$

აქედან

$$X_j = 20,78 \text{ ომი.}$$

დენი ხაზში (ფაზური)

$$I_b = \frac{\sqrt{30^2 + 20^2}}{\sqrt{3} \cdot 110} \cdot 10^3 = 189,5 \text{ ა.}$$

KC2A-0,66-40 კონდენსატორის ნომინალური დენი

$$I_{\text{კ.ნ.}} = \frac{40000}{660} = 60,6 \text{ ა.}$$

ფარდობა

$$\frac{189,5}{60,6} = 3,13$$

გვიჩვენებს, რომ ერთ ფაზაში პარალელურად ჩართული უნდა იქნეს $m > 3,13$ კონდენსატორი. შევიღრიოთ $m=4$ კონდენსატორი.

ერთი კონდენსატორის წინააღობა

$$X_{\text{კ.ნ.}} = \frac{660}{60,6} = 10,9 \text{ ომი}$$

მიმდევრობით ჩართული კონდენსატორების რაოდენობა გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით

$$\frac{X_{\text{კონ}} \cdot n}{m} = X_j$$

ანუ

$$\frac{10,9 \cdot n}{4} = 20,78, \text{ აქედან } n=8.$$

კონდენსატორთა საერთო რაოდენობა $3 \cdot n \cdot m = 96$;

კონდენსატორთა ბაგარეის დადგენილი სიმძლავრე

$$Q_{\text{ბაგარეის}} = 96 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 3,84 \text{ მგვარ;}$$

ნომინალური ღირებულება

$$I_{\text{კონ}} = 60,6 \cdot 4 = 242,4 \text{ ა;}$$

ეკვივალენტური წინააღობა

$$X_{\delta} = \frac{10,9 \cdot 8}{4} = 21,8 \text{ ომი.}$$

ხაზში ძაბვის დანაკარგი კონდენსატორთა ბაგარეის ჩართვის შემდეგ

$$\Delta U = \frac{30 \cdot 20 + 18(35 - 21,8)}{107} = 7,83 \text{ კვ.}$$

რაც დასაშვებზე ნაკლებია.

მაგალითი 5.10 რაიონული დამწვევი ქვესადგური, სადაც ღვას ორი 40 მგვა სიმძლავრის გრანსფორმატორი ძაბვის მარეგულირებელი მოწყობილობის გარეშე, იკეპება 110 კვ ძაბვის ორჯაჭვო ხაზით. გრანსფორმატორების გრანსფორმაციის კოეფიციენტი $K_g = 10,5/115 = 0,0913$; ხაზის რეაქტიული წინააღობა $X_k = 15$, ხოლო გრანსფორმატორებისა $X_g = 20$ ომი.

ქვესადგურის დაბალი ძაბვის საღეგზე ძაბვა, მიყვანილი მაღალი ძაბვის საფესურზე, მაქსიმალური და მინიმალური დატვირთვების რეკიმებში შესაბამისად უნდა იყოს $U'_{\text{კონ}} = 105$ კვ და $U'_{\text{კონ}} = 115$ კვ.

განესაზღვროთ სინქრონული კომპენსატორის მინიმალური სიმძლავრე, რომელიც ქვესადგურის დაბალი ძაბვის საღეგებზე უზრუნველყოფს ძაბვის შემსველ რეგულირებას.

არასრული ავგნების რეკიმში კომპენსატორს შეუძლია იმუშაოს ნომინალური სიმძლავრის არაუმეტეს 50%-იანი დატვირთვით.

ამოხსნა. ძაბვის შემსველ რეგულირების თანახმად ქვესადგურის დაბალი ძაბვის საღეგზე უნდა იყოს $U_{\text{დაბალი}} = 10,7$ კვ და

$U_{\text{ლაბინ}} = 10,3 \text{ კე.}$ ანუ მიყვანილი მნიშვნელობები $U'_{\text{სასურმაჟი}} = 117,2$ და $U'_{\text{სასურმაჟი}} = 112,8 \text{ ს.}$

მაშასადამე, ელექტროგადაცემაში ძაბვის დანაკარგი მაკომპენსირებული დანადგარის დაყენებით უნდა შემცირდეს; მაქსიმალური დატვირთვების რეჟიმში

$$U'_{\text{სასურმაჟი}} - U'_{\text{მაჟი}} = 117,2 - 105 = 12,2 \text{ კე;}$$

მინიმალური დატვირთვების რეჟიმში

$$U'_{\text{სასურმაჟი}} - U'_{\text{სა}} = 112,8 - 115 = -2,2 \text{ კე.}$$

ელექტროგადაცემის ჯამური რეაქტიული წინააღობა

$$X = X_6 + X_8 = 15 + 20 = 35 \text{ ომი.}$$

რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებული დანადგარის სიმძლავრე გამოვთვალოთ (5.58) გამოსახულებით;

მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში

$$12,2 = \frac{Q_{\text{კ}} \cdot 35}{110}$$

აქედან

$$Q_{\text{კ}} = 38,3 \text{ მგვარ;}$$

მინიმალური დატვირთვების რეჟიმში

$$-2,2 = \frac{Q_{\text{კ}} \cdot 35}{110}, \text{ აქედან } Q_{\text{კ}} = -6,9 \text{ მგვარ.}$$

მაქსიმალური დატვირთვების რეჟიმის მიხედვით შევირჩიოთ ორი სინქრონული კომპენსატორი KC-25000-11 ტიპის, რომელთა ნომინალური სიმძლავრეა 25 მგვარ თითოეულის. აქედან გამომდინარე, მინიმალური დატვირთვების რეჟიმში დასაშვებია მუშაობაში ჩართული იქნეს მხოლოდ ერთი კომპენსატორი, რომელიც იმუშავეს უკმარის აგზნების რეჟიმში და ქსელიდან უმდა მოითხოვოს -6,9 მგვარ სიმძლავრე.

თავი 6. ელექტრული ენერგიის დანაკარგები და მათი შემცირების ღონისძიებები

6.1. შესავალი

ენერგოსისტემის მუშაობის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს მინიმალური დანახარჯების პირობებში მომხმარებელთა საიმედო ელექტრომომარაგება მაღალი ხარისხის ელექტრული ენერგიით. დანახარჯების ერთერთი ძირითადი შემადგენელი ნაწილია აქტიური ენერგიის დანაკარგები ელექტრულ ქსელში. ანალიზისთვის მიღებულია განვიხილოთ დანაკარგების შემდეგი სახეები:

- საანგარიშსწორებო დანაკარგები, რომელიც წარმოადგენს ყველა სახის წყაროდან (სისტემის საკუთარი ელექტროსადგურები, სხვა უწყების ელექტროსადგურები და მემობელი ენერგოსისტემები) განსახილველ სისტემაში შემოსული და მომხმარებელთა მიერ მოხმარებული (რეალიზებული) ელექტროენერგიების რაოდენობათა შორის სხვაობას. რიგ შემთხვევაში, რეალიზებული ელექტრული ენერგიის მოცულობა ღვინდება მომხმარებლის მიერ დახარჯული ენერგიის საფასურის გადახდის მიხედვით;

ტექნიკური დანაკარგები, რომელიც განისაზღვრება ქსელის მუშაობის რეჟიმების მიხედვით და წარმოადგენს ელექტროენერგიის იმ მოცულობას, რაც იხარჯება ქსელის ელემენტების დენგამტარი ნაწილების გახურებაზე, ელექტრომაგნიტური ელემენტების შექმნაზე და სხვა ფაქტორებზე;

კომერციული დანაკარგები, რომელიც წარმოადგენს საანგარიშსწორებო და ტექნიკურ დანაკარგებს შორის სხვაობას. ამ სახის დანაკარგები განპირობებულია, ერთი მხრივ, ტექნიკური დანაკარგების გაანგარიშებებში დაშვებული უზუსტობით და, მეორე მხრივ, ელექტროენერგიის აღრიცხვის მექანიზმების არასრულყოფილობით. კერძოდ: ელექტრომრიცხველების ჩვენებების არაერთდროული და არაზუსტი აღრიცხვა; აღრიცხვისთვის გამოყენებული ხელსაწყოების ცდომილება; მოხმარებული ენერგიის საფასურის გადახდის არაერთდროულობა; აურიცხავი ელექტროენერგია; ენერგიის დაგაყვება და სხვა.

უნდა აღინიშნოს, რომ კომერციული დანაკარგების გარკვეული ნაწილი ტექნიკურად გარდაუვალია, რადგანაც ელექტრომრიცხველების ჩვენებების ერთდროული და აბსოლუტური სიზუსტით აღება პრაქტიკულად შეუძლებელია და ამასთან, მათ (მრიცხველებს) გააჩნიათ საკუთარი ცდომილება.

ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერგიის დანაკარგების შემცირების ამოცანა ენერგოსისტემის მუშაობის ეკონომიკურობის ამაღლების ზოგადი ამოცანის შემადგენელი ნაწილია.

დანაკარგების შესამცირებლად არსებობს სხვადასხვა სახის ღონისძიება, რომლებიც პირობითად შეიძლება დაეყოს ორ მთავარ ჯგუფად – ორგანიზაციული და ტექნიკური.

დანაკარგების შემცირების ორგანიზაციული ღონისძიება პრაქტიკულად არ მოითხოვს დამატებით კაპიტალურ ხარჯებს. აქ განიხილება ელექტრული ქსელის საექსპლუატაციო მომსახურების სრულყოფა, მეშაქმებისა და მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია, მოხმარებული (რეალიზებული) ენერგიის აღრიცხვის მექანიზმის სრულყოფა, ენერგიის დატაცების საწინააღმდეგო ღონისძიებები და ა.შ.

ტექნიკური ღონისძიებები მოითხოვს დამატებით კაპიტალურ ხარჯს, რომელიც გარკვეულ ნორმატიულ ეტაპში მთლიანად გამოსყიდული უნდა იქნეს დანაკარგების შემცირების შედეგად საექსპლუატაციო ხარჯებში მიღებული ეკონომიით.

6.2 ელექტრული ენერგიის ტექნიკური დანაკარგების გაანგარიშების მეთოდები

ელექტრულ ქსელში ენერგიის დანაკარგები, ზოგადად, შეიძლება დაეყოს ორ ჯგუფად: დანაკარგები ქსელის ელემენტთა განივ G გამტარობაში და დანაკარგები ამავე ელემენტთა გრძივ R წინააღობაში.

დაგვირთვის რეჟიმის მიხედვით ქსელის ელემენტზე მოდებული ძაბვა გარკვეულ ფარგლებში იცვლება. ასევე იცვლება ქსელის ელემენტის აქტიური წინააღობა, რომელზედაც გაელენას ასდენს როგორც თვით ამ ელემენტის დაგვირთულობა (მისი გახურება), ასევე გარემოს ტემპერატურა. ამ პარამეტრთა აღნიშნული ცვალებადობის გათვალისწინება საკმარისად რთულია და ამიგომ, რიც შემთხვევებში, ენერგიის დანაკარგების გაანგარიშებისას ვიღებთ მათ გასაშუალოებულ მნიშვნელობებს.

განივ გამტარობაში დანაკარგები დამოკიდებულია მხოლოდ ელემენტზე მოდებული მუშა ძაბვის მნიშვნელობაზე, რომლის გასაშუალოებული მნიშვნელობა დროის განსახილველ პერიოდში შეიძლება ჩაითვალოს ნომინალურის ტოლად. ამ შემთხვევაში ენერგიის დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულებას აქვს სახე

$$\Delta \mathcal{E}_G = \Delta P_G \cdot T_0, \quad \checkmark \quad (6.1)$$

სადაც: ΔP_G - სიმძლავრის დანაკარგი ელემენტის G გამტარობაში ნომინალური ძაბვის დროს; T_0 - ამ ელემენტის ჩართული მდგომარეობის ხანგრძლივობა.

თუ ქსელის ელემენტი დროის განსახილველ ინტერვალში მუშაობს მუდმივი $S(t)=const$ დატვირთვის რეჟიმში, მაშინ სიმძლავრის დანაკარგები მუდმივია $\Delta P_R = const$ და დაკარგული ენერგია იანგარიშება (6.1) ფორმულის ანალოგიურად

$$\Delta \mathcal{E}_R = \Delta P_R \cdot t. \quad (6.2)$$

პრაქტიკულად ქსელის ელემენტების დატვირთულობა წლის განმავლობაში საკმარისად დიდ ფარგლებში იცვლება და, შესაბამისად, მათ გრძივ წინააღობაში ელექტრული ენერგიის დანაკარგების გაანგარიშებაც საკმარისად გართულებულია. ასეთ პირობებში სარგებლობენ გაანგარიშების სხვადასხვა მეთოდით.

ყველაზე უფრო მარტივი და ზუსტი მეთოდია დანაკარგების გაანგარიშება დატვირთვის გრაფიკის მიხედვით, რომელსაც ხშირად გრაფიკული ინტეგრირების მეთოდს უწოდებენ. ამ მეთოდით ენერგიის დანაკარგების გაანგარიშება ტარდება ყოველი საათისთვის, რომლის განმავლობაშიც იგულისხმება, რომ ელექტრული დატვირთვა სიდიდით მუდმივია.

განვიხილოთ დატვირთვის დღეღამური გრაფიკი, რომელსაც გააჩნია $S=S(t)$ მრუდი წირის ფორმა. დროის რაიმე მცირე Δt ინტერვალში ქსელის ელემენტის R წინააღობაში მოცემული დატვირთვით გამოწვეული დანაკარგები (ნახ.6.1.ა)

$$\Delta(\Delta \mathcal{E}_R) = \frac{(S(t))^2}{U_6^2} R \cdot \Delta t,$$

ანუ საანგარიშო T_0 დროის შუალედში

$$\Delta \mathcal{E}_R = \frac{R}{U_6^2} \int_0^{T_0} (S(t))^2 dt. \quad (6.3)$$

როგორც ვიხილეთ $S=S(t)$ დატვირთვა ანალიზური სახით არ არსებობს, იგი მოიცემა მხოლოდ გრაფიკის ან ცხრილის სახით. აქედან გამომდინარე, ზემოთ აღნიშნული ინტეგრირების ჩატარება ანალიზური გზით არ მოხერხდება. იგი შეიძლება გამოეთქვალათ გრაფიკული ინტეგრირების მეთოდით.

ამ მიზნით მოცემულ გრაფიკს დაყოფენ n რაოდენობის მცირე Δt_i ინტერვალებად და ააგებენ ე.წ. დატვირთვის კვადრატულ გრაფიკს. დროის t -ურ ინტერვალში ვიპოვოთ ენერგიის დანაკარგები (ნახაზზე დაშრიგული ფართი)

$$\Delta(\Delta\vartheta_R)_i = \frac{(S_i(t))^2}{U_6^2} R \cdot \Delta t_i,$$

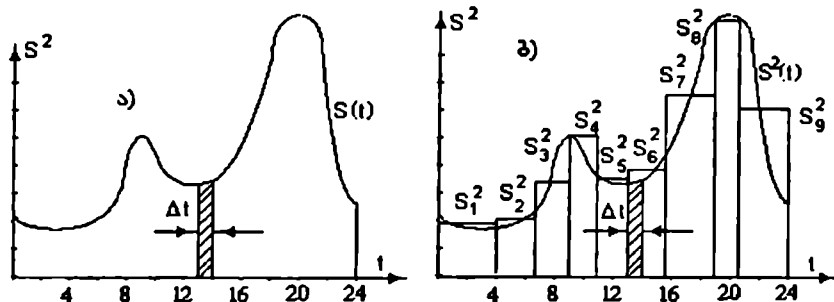
მაშინ საანგარიშო პერიოდისთვის გვექნება

$$\Delta\vartheta_R = \sum_{i=1}^n \frac{(S_i(t))^2}{U_6^2} R \Delta t_i,$$

ანუ

$$\Delta\vartheta_R = \frac{R}{U_6^2} \sum_{i=1}^n (S_i(t))^2 \Delta t_i. \quad (6.4)$$

რაც უფრო მცირეა Δt_i , ანუ რაც უფრო დიდია n , მით უფრო ზუსტია (6.4) გამოსახულებით მიღებული შედეგები.



ნახ. 6.1 ენერგიის დანაკარგების გაანგარიშებისთვის: ა - დატვირთვის კვადრატული გრაფიკი; ბ - საფეხუროვანი კვადრატული გრაფიკი

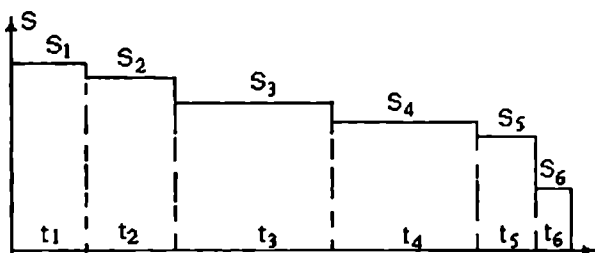
აღნიშნული მეთოდი მარტივია, მაგრამ შრომატევადია. მისი გამარტივების მიზნით დატვირთვის კვადრატული გრაფიკი ღვეოთ ისეთ Δt_i ინტერვალებად, რომლის შუალედში დატვირთვის კვადრატის ცვლილების ხასიათი უახლოვდება წრფეწირს. ამ გზით დროის ცალკეული ინტერვალისთვის მივიღებთ დატვირთვის კვადრატის გრაპიკულ გრაფიკს. ეს, რიგ შემთხვევაში, საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ ინტერვალთა მ რაოდენობა და, შესაბამისად, გაანგარიშების შრომატევადობა. გაანგარიშების შრომატევადობა კიდევ უფრო შემცირდება, თუ ყოველი მიღებული გრაპიკისთვის წინასწარ დავადგენთ დატვირთვის კვადრატის საშუალო მნიშვნელობას $S_1^2, S_2^2 \dots$ (ნახ.6.1,ბ).

აღნიშნული მეთოდით ადვილად შეგვიძლია გამოვთვალოთ ელექტრული ენერგიის წლიური დანაკარგები, თუ მოცემულია წლიური დაგვირთვის გრაფიკი ხანგრძლივობის მიხედვით (ნახ.6.2).

ელექტრული ენერგიის წლიური დანაკარგების შეფასების მიზნით პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება მნიშვნელოვნად მარტივი, მაგრამ, უფრო დაბალი სიმუსის მქონე მეთოდი, რომელსაც მაქსიმალური დანაკარგების დროის მეთოდს უწოდებენ

$$\Delta \mathcal{E}_R = \Delta P_{R, \text{მაქ}} \cdot \tau = \frac{S_{\text{მაქ}}^2}{U_G^2} R \cdot \tau, \quad (6.5)$$

სადაც: $\Delta P_{R, \text{მაქ}}$ - ქსელის ელემენტის R წინაღობაში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები წლის იმ მომენტში, როცა მოცემული ელემენტი დაგვირთული არის მაქსიმალურად ($S_{\text{მაქ}}$); τ - მაქსიმალური დანაკარგის დრო.



ნახ. 6.2 წლიური დაგვირთვის გრაფიკი ხანგრძლივობის მიხედვით

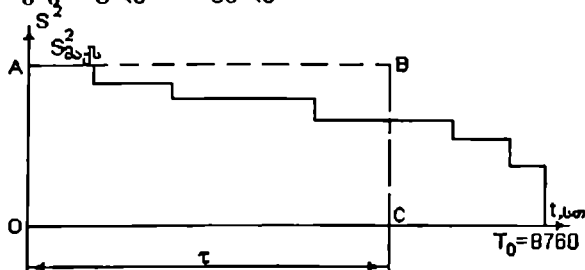
მაქსიმალური დანაკარგების დრო τ , დროის ის შუალედია, რომლის განმავლობაში მომსმარებელი თუ იმუშავებდა მაქსიმალური დაგვირთვით, ქსელში გვექნებოდა იგივე დანაკარგები, რაც რეალური გრაფიკით მუშაობისას. (6.3) და (6.5) გამოსახულებათა შედარებით ელბულობა

$$\tau = \frac{1}{S_{\text{მაქ}}^2} \int_0^{T_0} [S(t)]^2 dt$$

τ - ს გრაფიკული წარმოდგენა ნაჩვენებია 6.3 ნახაზზე. აქ OABC მართკუთხედის ფართობი დაგვირთვის კვადრატული გრაფიკით შემოსაზღვრული ფართის გოლია.

მაქსიმალური დანაკარგების დროის მეთოდი გულისხმობს, რომ აქტიური და რეაქტიული დაგვირთვების წლიური გრაფიკები ერთმანეთის მსგავსია ანუ რეაქტიული დაგვირთვის კოეფიციენტი $\text{tg}\varphi$ და, შე-

საბამისად, აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \varphi$, წლის განმავლობაში მცირე ფარგლებში იცვლება.



ნახ. 6.3 მაქსიმალური დანაკარგების დროის (τ) გრაფიკული განსაზღვრება

მაქსიმალური დანაკარგების დრო დამოკიდებულია მაქსიმალური დატვირთვის გამოყენების ხანგრძლივობაზე ($T_{\text{მაქ}}$) და აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტზე ($\cos \varphi$). მისი მნიშვნელობა შეიძლება დაედგინოთ: 1) შესაბამისი მრუდეების საშუალებით (ნახ.6.4); 2) ემპირული ფორმულით, როცა $\cos \varphi = 0,80 \div 0,85$

$$\tau = (0,124 + T_{\text{მაქ}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760; \quad (6.6)$$

3) წლიური გრაფიკის მოხაზულობის გათვალისწინებით

$$\tau = 2T_{\text{მაქ}} - 8760 + \frac{8760 - T_{\text{მაქ}}}{1 + \frac{T_{\text{მაქ}}}{8760} - 2 \frac{P_{\text{მდ}}}{P_{\text{მაქ}}}} \left(1 - \frac{P_{\text{მდ}}}{P_{\text{მაქ}}} \right)^2 \quad (6.7)$$

ამრიგად, ქსელის ნებისმიერ ელემენტში ენერგიის ჯამური წლიური დანაკარგები შეიძლება ჩაეწეროს შემდეგ სახეში

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}_G + \Delta \mathcal{E}_R,$$

ანუ (6.1) და (6.5) გამოსახულებათა გათვალისწინებით გვაქვს

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P_G \cdot T_0 + \Delta P_{R, \text{მაქ}} \cdot \tau. \quad (6.8)$$

მიღებული გამოსახულება ელექტროგადამცემის ხაზებისთვის მიიღებს სახეს

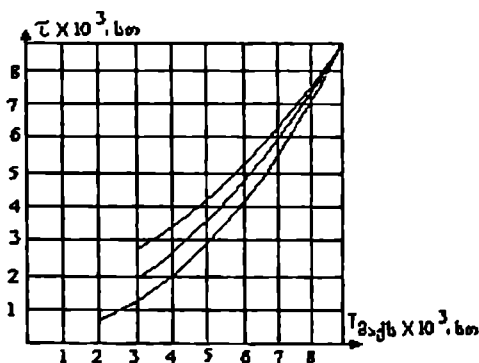
$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ხაზ}} = \Delta P_{\text{გვ}} \cdot T_0 + \Delta P_{R, \text{მაქ}} \cdot \tau. \quad (6.9)$$

ანალოგიურად, ორგრაგნილიანი გრანსფორმატორებისთვის გვაქვს

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{გო}} = \Delta P_{\text{გო}} \cdot T_0 + \Delta P_{\text{გო}} \left(\frac{S_{\text{მაქ}}}{S_G} \right)^2 \cdot \tau \quad (6.10)$$

ხოლო სამგრავნილიანი ტრანსფორმატორებისთვის და ავტოტრანსფორმატორებისთვის კი

$$\Delta \Xi_{\text{ტრ}} = \Delta P_{\text{კლ}} \cdot T_0 + \Delta P_{\text{მ(მ)}} \left(\frac{S_{\text{ავ(მ)}}}{S_6} \right)^2 \tau_{\text{მ}} + \Delta P_{\text{მ(ს)}} \left(\frac{S_{\text{ავ(ს)}}}{S_6} \right)^2 \tau_{\text{ს}} + \Delta P_{\text{მ(ლ)}} \left(\frac{S_{\text{ავ(ლ)}}}{S_6} \right)^2 \tau_{\text{ლ}}. \quad (6.11)$$



ნახ. 6.4 $\tau = \tau(T_{\text{ავ}}, \cos \varphi)$ ფუნქციონალური დამოკიდებულება

როცა მოცემულ ელემენტში გადის $P_1, P_2, \dots$ სხვადასხვა დატვირთვა, რომლებიც ხასიათდებიან მაქსიმალური დატვირთვის გამოყენების T_1, T_2 სხვადასხვა ხანგრძლივობებითა და აქტიური სიმძლავრის სხვადასხვა კოეფიციენტებით $\cos \varphi_1, \cos \varphi_2, \dots$, მაშინ საჭიროა მოცემული ელემენტისთვის წინასწარ დადგენილი იქნეს მაქსიმალური დატვირთვის საშუალოშეწონილი ხანგრძლივობა

$$T_{\text{საშუაფ}} = \sum P_i T_i / \sum P_i \quad (6.12)$$

და აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილი მნიშვნელობა

$$\cos \varphi_{\text{საშუაფ}} = \sum P_i / \sum (P_i / \cos \varphi_i) \quad (6.13)$$

შემდეგ (6.6) ან (6.7) გამოსახულებებით, ან 6.4 ნახაზზე ნაჩვენები მრუდეების დახმარებით განესაზღვრაუთ მაქსიმალური დანაკარგების დროს τ .

მოლიანად ენერგოსისტემაში ენერგიის წლიური დანაკარგები განისაზღვრება ცალკეულ ელემენტში ენერგიის წლიური დანაკარგების აჯამების გზით

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{სისტ}} = \sum_{j=1}^m (\Delta P_{G_j} T_{0j} + \Delta P_{R_{j, \text{მაქს}}} \cdot \tau_j),$$

სადაც m – ელემენტთა საერთო რაოდენობა სისტემაში.

ამ გამოსახულების გამოყენება გარკვეულწილად მოუხერხებელია სისტემის საწყის ინფორმაციათა დიდი რაოდენობისა და ამ ინფორმაციათა მოპოვების სირთულის გამო.

ამიგომ სარგებლობენ უფრო გამარტივებული გამოსახულებით

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{სისტ}} = \left(\sum_{j=1}^m \Delta P_{G_j} \right) \cdot 8760 + \Delta P_{R, \text{მაქს}} \cdot \tau, \quad (6.14)$$

სადაც: $\sum_{j=1}^m \Delta P_{G_j}$ - სისტემის ყველა ელემენტის განივ აქტიურ გამგარობაში

აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები (თითქმის მუდმივი სიდიდის დანაკარგები გრანსფორმატორების ფოლადში, რეაქტორებში, გეირგების მოვლენაზე და სხვა); 8760 – საათების რაოდენობა წელიწადში; $\Delta P_{R, \text{მაქს}}$ - ელექტრული ქსელის ყველა ელემენტის აქტიურ წინაღობებში აქტიური სიმძლავრის ჯამური დანაკარგები სისტემის მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში; τ - მაქსიმალური დანაკარგების დრო მთელი სისტემისთვის, რომელიც გამოითვლება (6.6) ან (6.7) გამოსახულებებით, ან 6.4 ნახაზზე წარმოდგენილი მრუდების დახმარებით, რისთვისაც წინასწარ უნდა დაეადგინოთ სისტემის მაქსიმალური დატვირთვის გამოყენების ხანგრძლივობის საშუალომეწონილი მნიშვნელობა

$$T_{\text{საშუალო}} = \mathcal{E}_{\text{წლ}} / P_{\text{მაქს}}, \quad (6.15)$$

და საშუალომეწონილი სიმძლავრის კოეფიციენტი

$$\cos \varphi_{\text{საშუალო}} = P_{\text{მაქს}} / \sqrt{P_{\text{მაქს}}^2 + Q_{\text{მაქს}}^2} \quad (6.16)$$

ამ გამოსახულებებში: $\mathcal{E}_{\text{წლ}}$ - სისტემის მიერ მოხმარებული წლიური ენერგია; $P_{\text{მაქს}}$, $Q_{\text{მაქს}}$ - სისტემის მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრე.

დანაკარგების გაანგარიშების τ -ს მეთოდი მნიშვნელოვან ცდომილებას იძლევა, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, როცა რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტი (ფგ) შედარებით უარყოფითია დიაპაზონში იყვლება. ცდომილების შემცირების მიზნით სარგებლობენ 2τ -ს მეთოდით. ამ შემთხვევაში ქსელში აქტიური სიმძლავრის მაქსიმალური დანაკარგები განიხილება როგორც დანაკარგების ჯამი, გამოწვეული ცალკეულ აქტიური და რეაქტიული დატვირთვებით

$$\Delta P_{აქ} = \frac{P_{აქ}^2 + Q_{აქ}^2}{U^2} R = \frac{P_{აქ}^2}{U^2} R + \frac{Q_{აქ}^2}{U^2} R = \Delta P_{P,აქ} + \Delta P_{Q,აქ}$$

შესაბამისად, მაქსიმალური დანაკარგების დროს წარმოადგენენ τ_P და τ_Q სიდიდეებით

$$\tau_P = \frac{1}{P_{აქ}^2} \int_0^{T_0} [P(t)]^2 dt \quad \text{და} \quad \tau_Q = \frac{1}{Q_{აქ}^2} \int_0^{T_0} [Q(t)]^2 dt.$$

ამ პირობებში დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$\Delta \Sigma_R = \Delta P_{P,აქ} \cdot \tau_P + \Delta P_{Q,აქ} \cdot \tau_Q. \quad (6.17)$$

2x-ს მეთოდი ამყარებს ელომილებას, მაგრამ მოითხოვს დამატებით ინფორმაციას რეაქტიული დაგვირგითის გრაფიკის შესახებ, რაც როგორც წესი ნაკლები სიმუსტიტაა მოცემული ან საერთოდ არ გაგვაჩნია.

6.3 ელექტრული ენერგიის დანაკარგების შემცირების ღონისძიებები

ქსელის ელემენტში ენერგიის დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულება (6.8), ამ დანაკარგების შეფასების მიზნით, შეიძლება გადავწეროთ შემდეგ სახეში

$$\Delta \Sigma = \Sigma \left(U^2 G T_0 + \frac{P_{აქ}^2 + Q_{აქ}^2}{U^2} \cdot \frac{\rho l}{F} \cdot \tau \right) \text{მეგვტო,} \quad (6.18)$$

სადაც: U – ელემენტზე მოდებული ძაბვის მუშა მნიშვნელობა, კვ;

G – ამ ელემენტის განივი გამტარობა, სიმ;

T_0 – ელემენტის ჩართული მდგომარეობის ხანგრძლივობა, სთ;

$P_{აქ}$, $Q_{აქ}$ – ელემენტის მაქსიმალური დაგვირგითულობა წლის ინტერვალში, მეგვტ, მეგვარ;

ρ – ლენგამტარი სადენის კუთრი გამტარობა, $\frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{კმ}}$;

F – ამავე სადენის განივი კვეთი, მმ²;

l – გადაცემის სიგრძე, კმ;

τ – მაქსიმალური დანაკარგების დრო, სთ.

ქსელში ენერგიის დანაკარგების აბსოლუტური მნიშვნელობა ჯერ კიდევ არ განსაზღვრავს ქსელის მუშაობის ეფექტურობის დონეს.

ამიგომ უფრო მიზანშეწონილია განვიხილოთ ენერგიის დანაკარგების ფარდობითი მნიშვნელობა

$$\Delta\theta^* = \frac{\Delta\theta}{\theta_{\text{ახდ}}} = \frac{1}{P_{\text{ავტ}} \cdot T_{\text{ავტ}}} \sum \left[U^2 G T_0 + \frac{P_{\text{ავტ}}^2 + Q_{\text{ავტ}}^2}{U^2} \rho \frac{\ell}{F} \tau \right]$$

ანუ

$$\Delta\theta^* = \sum \left(\frac{U^2 G T_0}{P_{\text{ავტ}} \cdot T_{\text{ავტ}}} + \frac{P_{\text{ავტ}} (1 + t g^2 \varphi_{\text{ავტ}})}{U^2} \cdot \frac{\rho \ell}{F} \cdot \frac{\tau}{T_{\text{ავტ}}} \right) \quad (6.19)$$

მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ქსელის ელემენტების აქტიურ გამგარობაში ენერგიის დანაკარგების ხედრითი წილი მით დაბალია, რაც უფრო დიდია ელექტროდინამიკური დადგენილი სიმძლავრის გამოყენების ხანგრძლივობა ($T_{\text{ავტ}}$).

აღნიშნული გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ენერგიის დანაკარგების შემცირების ღონისძიებებზე შეიძლება განვიხილოთ:

- მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი ქსელის ცალკეული ელემენტის დაუტვირთავ რეჟიმში (უქმი სელა) მუშაობა – (ორგანიზაციული ღონისძიება);

- უზრუნველყოთ ქსელის ცალკეულ კვანძებში მუშა ძაბვის ოპტიმალური მნიშვნელობა – U (ორგანიზაციული და ტექნიკური ღონისძიება);

- მომხმარებელთან ენერგიის გადაცემა განხორციელდეს უმოკლესი გზით – ℓ (ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიება);

- სადენის მუშა განაკვეთის ოპტიმალური შერჩევა – F (ტექნიკური ღონისძიება).

- ელექტროსადგურებს შორის აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა ოპტიმალური განაწილება (ორგანიზაციული ღონისძიება);

- რაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია (ტექნიკური ღონისძიება).

ხშირ შემთხვევაში აღნიშნული სახის ამოცანათა სრული მოცულობით გადაწყვეტა ვერ სერსდება რეჟიმის რეგულირებისა და მართვის შესაბამისი მოწყობილობების უკმარისობის გამო. კერძოდ: არ გვაქვს რეაქტიული სიმძლავრის საკმარისი რეზერვი; ცალკეულ ქვესადგურებში არ გვაქვს ან არასაკმარისია ძაბვის რეგულირების საშუალებები (ტრანსფორმატორებზე $P_{\text{ПН}}$ მოწყობილობის მუშაობა არასაიმედოა და ავტომატური მართვის რეჟიმში ერიდებიან მის გამოყენებას). ამ და სხვა სახის მიზეზების გამო დისპეტჩერული მართვის იერარქიული საფეხურების მიხედვით შეიძლება გამოვეყნოთ კონკრეტული სახის კერძო ამოცანები: 1) ძაბვის რეგულირება მთლიანად ქსელში ან

მის ცალკეულ ნაწილებში; 2) არაერთგვაროვანი ქსელის შეკრულ კონტურებში სიმძლავრეთა ნაკადების მართვა გრანსფორმაგოროთა გრანსფორმაციის კომპლექსური კოეფიციენტის რეგულირებით; 3) შეკრული ქსელის გახსნა; 4) წყაროებს შორის რეაქტიული სიმძლავრის ოპტიმალური განაწილება.

ამ კერძო ამოცანათა ამოხსნების შედეგების ურთიერთშეთანხმების პირობებში მოხდება გადაწყვეტილებათა კორექტირება იმ შეზღუდვების გათვალისწინებით, რასაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს მთლიანად ქსელში ან მის ცალკეულ ნაწილში.

გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, მიეება ქსელებში შეიძლება განხორციელდეს კიდევ სხვა ორგანიზაციული ღონისძიებები, კერძოდ:

- ელექტროსადგურების გენერატორების სინქრონული კომპენსატორების რეჟიმში გამოყენების მიზანშეწონილობა დროის იმ შუალედებში, როცა ეს გენერატორები განგეირთულია აქტიური დატვირთვისგან. როგორც წესი, ეს გენერატორები ან დაბალეკონომიკური აგრეგატებია, რომლებიც დატვირთვის სემონური შემცირების პერიოდში გამოირთულია, ან მუშაობენ დეფიციტურ საწვავზე. ასეთ რეჟიმში მუშაობისას გენერატორები ქსელიდან მოითხოვენ გაკვეული სიდიდის აქტიურ სიმძლავრეს, მაგრამ გენერირებენ რეაქტიულს, რაც იწვევს ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირებას;

- ელექტროსისტემის ძირითადი მოწყობილობების რემონტის ხანგრძლივობის შემცირება. ეს განსაკუთრებით ეხება საგრანზიგო ხაზებისა და კავშირის ავტოგრანსფორმატორების რემონტს, რომელთა რემონტში ჩაყენება იწვევს შეკრულ კონტურებში სიმძლავრეთა განაწილებას და შედეგად, უმრავლეს შემთხვევაში, იზრდება დანაკარგები ქსელში. რემონტის ხანგრძლივობის შემცირება მიიღწევა სარემონტო სამუშაოთა ჩატარების ორგანიზაციის გაუმჯობესების, მიმდევრობით ჩართული ელემენტების რემონტის დამთხვევის, ძაბვის მოუხსნელად რემონტის ჩატარების გზით და ა.შ.

- ქვესადგურის საკუთარ მოხმარებაზე ელექტროენერგიის ხარჯის შემცირება, რაც მიიღწევა საკუთარი მოხმარების მოწყობილობათა მუშაობის რაციონალური რეჟიმის უზრუნველყოფით და ენერგოდამზოვი გექნოლოგიების დანერგვით (ეარვარების ნათურების შეყვლა ლუმინისცენური ნათურებით და სხვა).

6.4 აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლება

ელექტროგადაცემაში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებს იწვევს როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის ნაკადი

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot R. \quad (6.20)$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ თუ სიმძლავრის ნაკადის ცვლილებისას სიმძლავრის კოეფიციენტი უცვლელი რჩება ($\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{const}$ ანუ $\cos \varphi = \operatorname{const}$), მაშინ დანაკარგები იცვლება აქტიური სიმძლავრის კვადრატის პროპორციულად. უცვლელი აქტიური სიმძლავრის გადაცემისას კი დანაკარგები მით ნაკლებია, რაც ნაკლებია რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტი $\operatorname{tg} \varphi$, ანუ რაც მაღალია აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \varphi$.

ელექტრულ ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის ძირითად მომხმარებელს წარმოადგენს სამრეწველო საწარმოთა ასინქრონული ძრავები. მათი უქმი სელის რეაქტიული სიმძლავრე ნომინალური რაქტიული სიმძლავრის თითქმის 60–70%-ს შეადგენს. მათ მიერ ქსელიდან მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე დამოკიდებულია მათ აქტიურ დატვირთვაზე, რაც საკმარისი სიმუსებით შეიძლება განესაზღვროთ ფორმულით

$$Q = Q_{\Sigma} + (Q_{\epsilon} - Q_{\Sigma}) \left(\frac{P}{P_{\epsilon}} \right)^2 \quad (6.21)$$

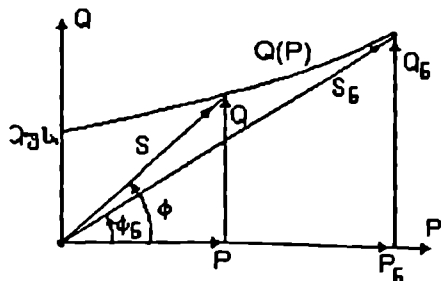
სადაც: P_{ϵ} და Q_{ϵ} – ასინქრონული ძრავის აქტიური და რეაქტიული ნომინალური სიმძლავრე;

Q_{Σ} – მისი უქმი სელის რეაქტიული სიმძლავრე.

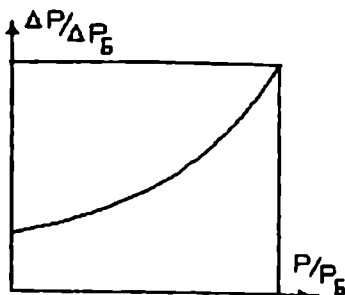
როგორც ამ გამოსახულებიდან ჩანს, ძრავების მიერ ქსელიდან მოთხოვნილი რაქტიული სიმძლავრე არ მცირდება მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრის შემცირების პროპორციულად (ნახ. 6.5) და, შესაბამისად, აქტიური დატვირთვის შემცირებისას იზრდება რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტი ($\operatorname{tg} \varphi$). აღნიშნულიდან გამომდინარე დანაკარგებსა და დატვირთვის სიმძლავრეს შორის კვადრატულპროპორციული დამოკიდებულება ირღევეა (ნახ. 6.6)

აღნიშნული გარემოება მიუთითებს, რომ სამრეწველო საწარმოებში ასინქრონული ძრავების ნომინალური სიმძლავრე შერჩეული უნდა იქნეს რაციონალურად. კერძოდ, ძრავის ნომინალური სიმძლავრე უნდა შეესაბამებოდეს მოსალოდნელ მაქსიმალურ დატვირთვას, რაც

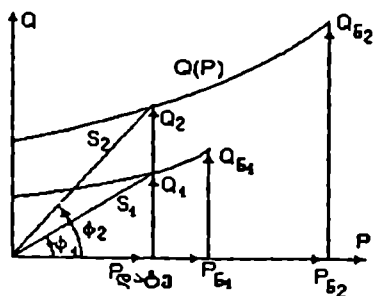
მნიშვნელოვნად შეამცირებს რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტს (ნახ. 6.7, $\text{tg}\phi_1 < \text{tg}\phi_2$).



ნახ. 6.5 ასინქრონული ძრავის მიერ ქსელიდან მოთხოვნილი სიმძლავრის (P, Q) დიაგრამა

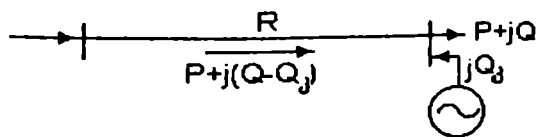


ნახ. 6.6 ასინქრონული ძრავების მქვეშავე ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები ძრავების დატვირთვისაგან დამოკიდებულებაში



ნახ. 6.7 სამრეწველო საწარმოში ასინქრონული ძრავის ნომინალური სიმძლავრის შერჩევის ილუსტრაცია

აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლების ერთერთ მნიშვნელოვან ტექნიკურ ღონისძიებას წარმოადგენს მოხმარების კეანებში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია (ნახ.6.8).



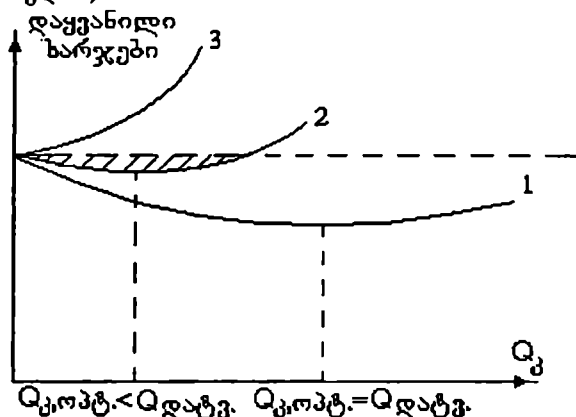
ნახ. 6.8 ელექტროგადამცემის უბნის დატვირთვის რეჟიმში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის შემდეგ

ამ შემთხვევაში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_j)^2}{U^2} R, \quad (6.22)$$

სადაც Q_j – მაკომპენსირებელი დანადგარის სიმძლავრე.

ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების თვალსაზრისით მაქსიმალურად ეფექტურია რეაქტიული დატვირთვის სრული კომპენსაცია. ჭარბი კომპენსაცია იწვევს დანაკარგების ისევ გაზრდას (ნახ. 6.9, მრუდი 1).



ნახ. 6.9 ქსელის კვანძში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალურობის გრაფიკული წარმოდგენა: 1-მაკომპენსირებელი დანადგარის კაპიტალური ხარჯები $K=0$; 2,3 - $K \neq 0$.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ხორციელდება სპეციალური მაკომპენსირებელი დანადგარების საშუალებით, რაც დამატებით კაპიტალურ ხარჯებს მოითხოვს, დაეინახავთ რომ რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ეფექტურობის ზონა გარკვეულწილად შევიწროვდება (ნახ. 6.9 დამტკიცებული ფართი) და კომპენსაციის ოპტიმალური ღონე $Q_{კომპ.} < Q_{დატვ.}$ არ არის გამორიცხული, რომ ქსელის მოცემულ კვანძში კომპენსაცია არაეკონომიკური აღმოჩნდეს (ნახ. 6.9, მრუდი 3).

6.5. აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირება ძაბვის ღონის აწევით

აქტიური სიმძლავრისა და ენერგიის დანაკარგები ხაზების აქტიურ წინააღობაში და გრანსფორმატორთა გრანტილებში გამოითულება ფორმულებით:

$$\Delta P_R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \quad \text{და} \quad \Delta \mathcal{P}_R = \frac{P_{\text{აქ}}^2 + Q_{\text{აქ}}^2}{U^2} R \cdot \tau.$$

მთელ ქსელში საშუალოდ ძაბვის ღონის $\alpha\%$ -ით გაზრდისას დანაკარგები გრძივ წინააღობაში მცირდება

$$\Delta P'_R = \frac{P^2 + Q^2}{\left(U + \frac{\alpha\%}{100} U\right)^2} R.$$

ანუ დანაკარგების ფარდობითი მნიშვნელობა

$$\Delta P_R^* = \Delta P'_R / \Delta P_R = \frac{1}{1 + \frac{2\alpha\%}{100} + \left(\frac{\alpha\%}{100}\right)^2}.$$

თუ უპულებელყოფთ მეორე რიგის უსასრულო მცირეს, გვექნება

$$\Delta P_R^* = \frac{1}{1 + \frac{2\alpha\%}{100}} \approx 1 - 2 \frac{\alpha\%}{100} = 1 - 2\alpha, \quad (6.23)$$

სადაც $\alpha = \alpha\% / 100$ – ძაბვის ცვლილების ფარდობითი მნიშვნელობა.

ანალოგიურად შეიძლება გამოთვალეთ ქსელის ელემენტის აქტიურ გამტარობაში აქტიური სიმძლავრის ფარდობითი დანაკარგების ცვლილება ძაბვის ფარდობითი ცვლილებისგან დაზოკიდებულებაში

$$\Delta P_G^* \approx 1 + 2\alpha. \quad (6.24)$$

თუ მსედველობაში მივიღებთ მას, რომ ქსელის ელემენტების გრძივ წინააღობაში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები მთელ ქსელში ჯამური დანაკარგების თითქმის 80%-ს შეადგენს. ქსელში ძაბვის ღონის $\alpha\%$ -ით ამაღლებისას, მივიღებთ

$$\Delta P = \Delta P_R (1 - 2\alpha) + \Delta P_G (1 + 2\alpha) = 0,8\Delta P (1 - 2\alpha) + 0,2\Delta P (1 + 2\alpha)$$

ანუ

$$\Delta P^* = 1 - 1,2\alpha \quad (6.25)$$

110 კვ და მეტი ძაბვის ხაზებში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებზე ძაბვის ღონის ცვლილების გავლენის სრული შეფასებისთვის, სა-

ჭიროა მხედველობაში მივიღოთ დანაკარგები გეირგეინის მოვლენაზე, რაც განსაკუთრებით აუცილებელია 330 კე და უფრო მაღალი ძაბვის საზღვრის შემთხვევაში.

ძაბვის ღონის ამაღლება იწვევს, ერთი მხრივ, ხაზების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის ზრდას და, მეორე მხრივ, ინდუქტივობაში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგების შემცირებას, რაც, შედეგად, ხელს უწყობს ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგის შემცირებას.

გრანსფორმატორების ფოლადში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები პირველადი გრაგნილის ხვიაზე მოსული ძაბვის კეადრატის პროპორციულია. აქედან გამომდინარე, თუ ქსელში ძაბვას შეეცვლით $\alpha\%$ -ით და სადაბლებელი გრანსფორმატორის ხვიათა რიცხვსაც შეეცვლით ამავე $\alpha\%$ -ით, მაშინ გრანსფორმატორის ფოლადში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები არ შეიცვლება.

როცა გრანსფორმატორის გამოყვანის ძაბვა ქსელის ძაბვიდან განსხვავდება $\alpha\%$ -ით, მაშინ გრანსფორმატორის ფოლადში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი მნიშვნელობა, საკმარისი სიზუსტით, შეიძლება გამოვთვალოთ ფრომულით

$$\Delta P_{\text{აქ}}^* = (1 \pm \alpha). \quad (6.26)$$

გრანსფორმატორზე მოდებული ძაბვის შეცვლით გრანსფორმატორის დამამაგნიტებელი რეაქტიული სიმძლავრე მკვეთრად იცვლება. თუ ძაბვის ცვლილება 10%-ის ფარგლებშია, მაშინ დამამაგნიტებელი სიმძლავრე ძაბვის ცვლილების მეხუთე ხარისხის პროპორციულია

$$\Delta Q_{\text{აქ}}^* = (1 + \alpha)^5 \quad (6.27)$$

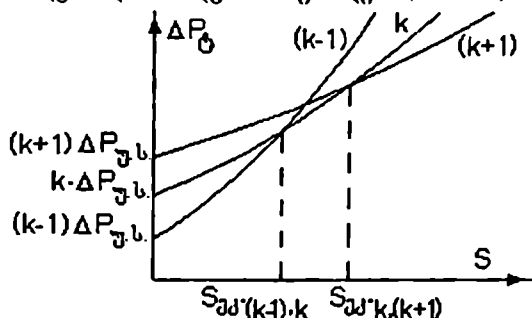
ქსელში ძაბვის ცვლილებისას გრანსფორმატორში ენერგიის დანაკარგები თითქმის უცვლელია თუ გამოყვანების შესაბამის გადაადგილებას მოხადენთ, ხოლო გამოყვანის მუდმივ მდგომარეობაში ყოფნისას დანაკარგები შესამჩნევად იცვლება და ამ ცვლილების სიდიდე დამოკიდებულია გრანსფორმატორის დადგმული სიმძლავრის გამოყენების ხანგრძლივობაზე.

6.6. პარალელურად ჩართული გრანსფორმატორების მუშაობის ეკონომიკური რეჟიმები

პარალელურად ჩართულ k რაოდენობის გრანსფორმატორებში აქტიური სიმძლავრის ჯამური დანაკარგები განისაზღვრება გამოსახულებით (§3.8)

$$\Delta P_{\text{ტ},k} = k \cdot \Delta P_{\text{უს}} + \frac{1}{k} \Delta P_{\text{გა}} \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (6.28)$$

როგორც ამ გამოსახულებიდან ჩანს, სიმძლავრის დანაკარგები დამოკიდებულია ქვესადგურის S დატვირთვაზე და გრანსფორმატორთა k რაოდენობაზე. კერძოდ, დატვირთვის გაზრდით დანაკარგები იზრდება, ხოლო გრანსფორმატორთა რაოდენობის გაზრდით დანაკარგები უოლადში იზრდება და სპილენძში მცირდება (ნახ.6.10).



ნახ. 6.10 დანაკარგების ცვლილება გრანსფორმატორთა დატვირთვისა და რაოდენობასთან დამოკიდებულებაში

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ქვესადგურის დატვირთვის შემცირებისას უფრო ეკონომიკურია პარალელურად ჩართული. გრანსფორმატორების რაოდენობის შემცირება და პირიქით. 6.10 ნახაზის შესაბამისად k რაოდენობის გრანსფორმატორთა პარალელური მუშაობა ეკონომიკურია, თუ ქვესადგურის დატვირთვა მოთავსებულია $[S_{\text{გა},k-1,k} \div S_{\text{გა},k,k+1}]$ შუალედში ანუ

$$S_{\text{გა},k-1,k} \leq S \leq S_{\text{გა},k,k+1} \quad (6.29)$$

$S_{\text{გა},k-1,k}$ და $S_{\text{გა},k,k+1}$ დატვირთვისას აღვილი აქვს შემდეგ გოლობებს

$$\Delta P_{\text{ტ},k-1} = \Delta P_{\text{ტ},k}, \text{ როცა } S = S_{\text{გა},k-1,k}$$

და

$$\Delta P_{\text{ტ},k} = \Delta P_{\text{ტ},k+1}, \text{ როცა } S = S_{\text{გა},k,k+1}.$$

ანუ (6.36)-ის თანახმად, გვაქვს

$$(k-1)\Delta P_{\text{უს}} + \frac{1}{k-1} \Delta P_{\text{გა}} \left(\frac{S_{\text{გა}^{k-1,k}}}{S_6} \right)^2 = k \cdot \Delta P_{\text{უს}} + \frac{1}{k} \Delta P_{\text{გა}} \left(\frac{S_{\text{გა}^{Kk,k+1}}}{S_n} \right)^2$$

და

$$k\Delta P_{\text{უს}} + \frac{1}{k} \Delta P_{\text{გა}} \left(\frac{S_{\text{გა}^{k,k,k+1}}}{S_6} \right)^2 = (k+1)\Delta P_{\text{უს}} + \frac{1}{k+1} \Delta P_{\text{გა}} \left(\frac{S_{\text{გა}^{k,k,k+1}}}{S_n} \right)^2$$

ამ გამოსახულებიდან ვღებულობთ

$$S_{\text{გა}^{k-1,k}} = S_6 \sqrt{\frac{(k-1)k\Delta P_{\text{უს}}}{\Delta P_{\text{გა}}}} \quad \text{და} \quad S_{\text{გა}^{k,k,k+1}} = S_6 \sqrt{\frac{k(k+1)\Delta P_{\text{უს}}}{\Delta P_{\text{გა}}}}$$

მაშასადამე, (8.37) გამოსახულების შესაბამისად ვღებულობთ ქვესადგურის დაგვირთვის იმ ინტერვალს, რომლის დროსაც ეკონომიკურად მიზანშეწონილია მუშაობაში ჩართული იქნეს k რაოდენობის გრანსფორმატორი

$$S_6 \sqrt{\frac{(k-1)k\Delta P_{\text{უს}}}{\Delta P_{\text{გა}}}} \leq S \leq S_6 \sqrt{\frac{k(k+1)\Delta P_{\text{უს}}}{\Delta P_{\text{გა}}}}. \quad (6.30)$$

როცა ქვესადგურზე დგას ორი გრანსფორმატორი, მაშინ (6.30)-დან გამომდინარე, ქვესადგურის დაგვირთვის ის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც მიზანშეწონილია გადავიდეთ ერთგრანსფორმატორიანი სქემიდან ორგრანსფორმატორიან სქემაზე ან პირიქით, განისაზღვრება ფორმულით

$$S_{\text{გა}^{1,2}} = S_6 \sqrt{\frac{2\Delta P_{\text{უს}}}{\Delta P_{\text{გა}}}} \quad (6.31)$$

ანალოგიურად მივიღებთ

$$S_{\text{გა}^{2,3}} = S_6 \sqrt{\frac{6\Delta P_{\text{უს}}}{\Delta P_{\text{გა}}}}. \quad (6.32)$$

როცა ქვესადგურზე დგას k რაოდენობის სხვადასხვა ტიპის გრანსფორმატორი, მაშინ ქვესადგურის დაგვირთვის შეზღუდვისას ამა თუ იმ გრანსფორმატორის ამორთვის ეკონომიკური მიზანშეწონილობა დადგენილი უნდა იქნეს თითოეული გრანსფორმატორის მორიგეობითი ამორთვის შემდეგ დარჩენილ გრანსფორმატორებში დანაკარგების შეფასების საფუძველზე.

გრანსფორმატორის ამორთვის ეკონომიკური მიზანშეწონილობის ამოყანა, როგორც წესი, განიხილება დაგვირთვის დღეღამური და

წლიური გრაფიკების მინიმუმისას. ამასთან, თუ ქვესადგურიდან იკეუ-
ბება I კატეგორიის მომხმარებელი, აუცილებელია გათვალისწინებული
იქნეს რემერვის ავტომატური ჩართვა.

6.7. შეკრულ ქსელში დაგვირთვის ეკონომიკური განაწილება

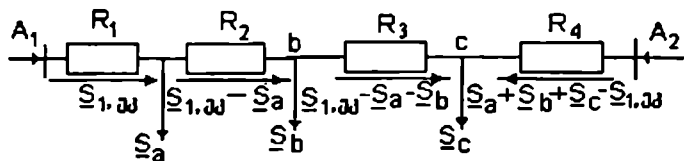
შეკრული ქსელის ცალკეულ უბანზე გამავალი სიმძლავრის სიდი-
დე (ქსელში სიმძლავრეთა განაწილება) დამოკიდებულია ქსელის უბან-
თა გრძივ ელექტრულ პარამეტრებზე და კანძების დაგვირვებებზე (გა-
მოსახულება (4.43)). სიმძლავრეთა განაწილებას, რომელიც თავისთა-
ვად დამყარდება შეკრულ ქსელში გარედან ჩარევის გარეშე, სიმძლავ-
რეთა ბუნებრივი განაწილებას უწოდებენ, რომლის დროს ქსელში აქტი-
ური სიმძლავრის დანაკარგები, ზოგადად, არ არის მინიმალური. ქსე-
ლის მუშაობის რეჟიმზე გარედან ზემოქმედების შემდეგ მივიღებთ სიმ-
ძლავრეთა იძულებით განაწილებას. თუ ეს განაწილება უზრუნველ-
ყოფს ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების მინიმუმს, მაშინ
ასეთ იძულებით განაწილებას სიმძლავრეთა ეკონომიკურ განაწილე-
ბას უწოდებენ.

სიმძლავრეთა ბუნებრივი განაწილებისას ორმხრივი კეების ქსე-
ლის სათავე უბანზე გამავალი სიმძლავრე (§4.4.2)

$$\underline{S}_{1,2} = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \underline{Z}_{m,12}^*}{\underline{Z}_{11,12}^*}. \quad (6.33)$$

დაეუშვათ, რომ ორმხრივი კეების ქსელში (ნახ.6.11) ადგილი
აქვს სიმძლავრეთა ეკონომიკურ განაწილებას, მაშინ ცხადია, რომ აქ-
ტიური სიმძლავრის დანაკარგები იქნება მინიმალური, რომლის საან-
გარიშო გამოსახულებას აქვს სახე

$$\begin{aligned} \Delta P = & \frac{1}{U_0^2} \{ (P_{1,11}^2 + Q_{1,11}^2) R_1 + [(P_{1,11} - P_a)^2 + (Q_{1,11} - Q_a)^2] R_2 + \\ & + [(P_{1,11} - P_a - P_b)^2 + (Q_{1,11} - Q_a - Q_b)^2] R_3 + [(P_a + P_b + P_c - P_{1,11})^2 + \\ & + (Q_a + Q_b + Q_c - Q_{1,11})^2] R_4 \} = \min. \end{aligned}$$



ნახ. 6.11. ორმხრივი კეების ქსელში სიმძლავრეთა ეკონომიკური განაწილებისთვის

$S_{1,ა} = P_{1,ა} + jQ_{1,ა}$ სიმძლავრის დასადგენად საჭიროა განვიხილოთ განგოლებათა სისტემა

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial P_{1,ა}} = 0 \quad \text{და} \quad \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{1,ა}} = 0,$$

გვაქვს

$$P_{1,ა} R_1 + (P_{1,ა} - P_a) R_2 + (P_{1,ა} - P_a - P_b) R_3 + (P_{1,ა} - P_a - P_b - P_c) R_4 = 0$$

და

$$Q_{1,ა} R_1 + (Q_{1,ა} - Q_a) R_2 + (Q_{1,ა} - Q_a - Q_b) R_3 + (Q_{1,ა} - Q_a - Q_b - Q_c) R_4 = 0.$$

აქედან

$$P_{1,ა} = \frac{\sum_{m=a}^c P_m R_{m,A2}}{R_{A1,A2}} \quad \text{და} \quad Q_{1,ა} = \frac{\sum_{m=a}^c Q_m R_{m,A2}}{R_{A1,A2}}.$$

ანუ, ზოგადად, კომპლექსურ სახეში

$$S_{1,ა} = \frac{\sum_{m=1}^n S_m R_{m,A2}}{R_{A1,A2}}. \quad (6.34)$$

(4.33) და (6.34) გამოსახულებათა შედარება გვიჩვენებს, რომ მეორულ ქსელში სიმძლავრეთა ეკონომიკური განაწილება დამყარდება მაშინ, თუ ქსელი ერთგვაროვანია.

ამრიგად, მეორულ ქსელებში სიმძლავრის დანაკარგების მინიმუმი მიიღწევა:

1. ქსელის გაერთვაროვნებით;
2. ქსელში სიმძლავრეთა იძულებითი განაწილებით, რომელიც დაემთხვევა ეკონომიკურ განაწილებას.

მაღალი ძაბვის ქსელი პრაქტიკულად არაერთგვაროვანია. განსაკუთრებით არაერთგვაროვანია სხვადასხვა ნომინალური ძაბვის შეკრული ქსელი, რადგანაც კავშირის გრანსფორმატორებს (ავტო-

გრანსფორმაგორებს) გააჩნიათ დიდი რეაქტიული წინაღობა აქტიურ-თან შედარებით.

ერთი ნომინალური ძაბვის მეკრული ქსელის გაერთგვაროვნება მოითხოვს ხაზში (ან ხაზებში) კონდენსატორთა ბაგარეის მიმდევრობით ჩართვას (გრძივი კომპენსაცია), რომლის სიმძლავრე გათვლილი იქნება მოცემული ხაზის მოსალოდნელ სრულ დატვირთვაზე. მისი დახმარებით შეიძლება ხაზების რეაქტიულ და აქტიურ წინააღობათა ფარდობის კორექტირება ისე, რომ მივიღოთ ერთგვაროვანი ქსელი.

დავეუშვათ, რომ საჭიროა აღნიშნული სახის კორექტირება იმ კონტურისთვის, სადაც ერთი ხაზისთვის $\frac{X_1}{R_1}$ ფარდობა მნიშვნელოვნად

ჭარბობს ანალოგიურ ფარდობას დანარჩენი ხაზებისთვის

$$\frac{X_1}{R_1} > \frac{X_2}{R_2} \approx \frac{X_3}{R_3} \approx \dots \approx \frac{X_n}{R_n}.$$

ამ შემთხვევაში საჭიროა პირველ ხაზში მიმდევრობით ჩართოს კონდენსატორი, რომლის X_j წინააღობა განისაზღვრება პირობიდან

$$\frac{X_1 - X_j}{R_1} = \frac{X_2}{R_2},$$

აქედან

$$X_j = X_1 - \frac{R_1}{R_2} \cdot X_2. \quad (6.35)$$

გრძივი კომპენსაცია საკმარისად ძვირადღირებული ღონისძიებაა და ამიტომ მას ნაკლებად მიმართავენ.

შეკრულ ქსელში სიმძლავრეთა იძულებითი განაწილება შესაძლებელია შეკრული კონტურის გახსნის ან ამ კონტურში ვოლტსამაგი გრანსფორმაგორების (ესტ) ჩართვის გზით.

ორი ნომინალური ძაბვის მქონე ქსელში დანაკარგების შემცირების მიზნით, ძირითადად, გამოიყენება დაბალი ძაბვის ქსელის გახსნის ხერხი, სადაც წინასწარ დაადგენენ ღენგამყოფ კეანძს სიმძლავრეთა ეკონომიკური განაწილების პირობით (გამოსახულება (6.34)) და ქსელს გახსნიან ამ კეანძში. ამით მივიღებთ სიმძლავრეთა იძულებით განაწილებას, რომელიც უფრო ასლოსაა ეკონომიკურთან და დანაკარგებიც შედარებით უფრო ნაკლები იქნება, ვიდრე სიმძლავრეთა ბუნებრივი განაწილებისას.

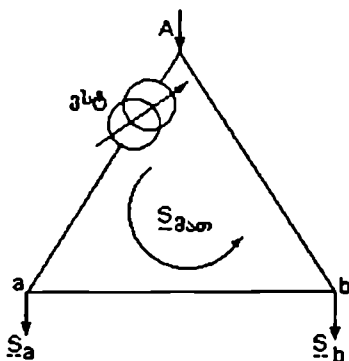
შეკრულ კონტურში ვოლტსამაგი გრანსფორმაგორის ჩართვის სერხი გულისხმობს კონტურში იმ დამატებით გრძივი ელექტრომაგნიტურად დაკავშირებული ძალის ჩართვას (ნახ. 6.12), რომელიც წარმოქმნის მათანაბ-

რეზულ სიმძლავრეს და სიმძლავრეთა ბუნებრივი განაწილება გაუტოლდება ეკონომიკურს

$$\underline{S}_a + \underline{S}_{\text{მათ.}} = \underline{S}_{\text{კ}}.$$

აქედან

$$\underline{S}_{\text{მათ.}} = \underline{S}_{\text{კ}} - \underline{S}_a \quad (6.36)$$



ნახ. 6.12. ვოლტსამაგი ტრანსფორმატორის ჩართვის სქემა

მათანაბრებელი სიმძლავრის დასადგენად საჭიროა განესაზღვროთ კონტურის სათავე უბანზე გამავალი ეკონომიკური სიმძლავრე (6.34) გამოსახულებით და ბუნებრივი სიმძლავრე (6.33) გამოსახულებით, რომლის შემდეგ გამოვიყენებთ (6.36) გამოსახულებას.

ვიცით $\underline{S}_{\text{მათ.}}$ შეგვიძლია განესაზღვროთ მათანაბრებელი დენი

$$I_{\text{მათ.}} \approx \frac{\underline{S}_{\text{მათ.}}^*}{\sqrt{3}U_n}, \quad (6.37)$$

რომლის საფუძველზე დაეადგენთ საჭირო სიდიდის მათანაბრებელ გრძივ ელექტრომამოძრავებელ ძალის ხაზურ მნიშვნელობას

$$E_{\text{მათ.}} = \sqrt{3} I_{\text{მათ.}} \cdot Z_{\text{კონტ.}} \quad (6.38)$$

მათანაბრებელი გრძივი ელექტრომამოძრავებელი ძალა, ზოგადად, შეიძლება გრძივ და განივ შემდგენს

$$E_{\text{მათ.}} = E'_{\text{მათ.}} + jE''_{\text{მათ.}}$$

კონტურში ჩართული ვოლტსამაგი ტრანსფორმატორი შეიძლება აღჭურვილი იყოს ძაბვის გრძივი ან განივი რეგულირებით, ან ორივე ერთად.

(6.37) და (6.38) გამოსახულებათა საფუძველზე ეწეროთ

$$\underline{S}_{\text{მათ.}} = \sqrt{3} U_n \frac{\underline{E}_{\text{მათ.}}}{\sqrt{3} Z_{\text{კონტ.}}} = \frac{U_n \underline{E}_{\text{მათ.}}}{Z_{\text{კონტ.}}} \quad (6.39)$$

მაღალი ძაბვის ქსელში უბნების რეაქტიული წინააღობა მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე აქტიური

$$R_{\text{კონტ}} \ll X_{\text{კონტ}} \quad (6.40)$$

ამიგომ გვაქვს

$$\underline{S}_{\text{კონტ}} = U_{\text{კ}} \cdot \frac{\underline{E}_{\text{კონტ}}}{-jX_{\text{კონტ}}} = \frac{U_{\text{კ}} \cdot \underline{E}_{\text{კონტ}}}{X_{\text{კონტ}}} + j \frac{U_{\text{კ}} \underline{E}'_{\text{კონტ}}}{X_{\text{კონტ}}}.$$

მივიღეთ, რომ

$$P_{\text{კონტ}} = \frac{U_{\text{კ}} \underline{E}_{\text{კონტ}}}{X_{\text{კონტ}}} \quad \text{და} \quad Q_{\text{კონტ}} = \frac{U_{\text{კ}} \underline{E}'_{\text{კონტ}}}{X_{\text{კონტ}}}. \quad (6.41)$$

მამასალამე, მაღალი ძაბვის შეკრულ კონტურში ჩართული გრძივი რეგულირების მქონე ვოლტსამაგი გრანსფორმატორი ამ კონტურში გამოიწვევს რეაქტიული სიმძლავრის გადანაწილებას, ხოლო განივი რეგულირების ვოლტსამაგი გრანსფორმატორი კი - აქტიური სიმძლავრის გადანაწილებას.

თუ ორი ნომინალური ძაბვის შეკრულ კონტურში (ნახ. 4.11), კავშირის გრანსფორმატორთა გრანსფორმაციის კოეფიციენტები სხვადასხვაა, მაშინ მივიღებთ გრძივი რეგულირების ვოლტსამაგი გრანსფორმატორის ეფექტს და, (6.36) და (6.40) გამოსახულებათა გათვალისწინებით, კონტურში გაშვებული მათანაბრებელი რეაქტიული სიმძლავრე იქნება

$$Q_{\text{კონტ}} = \frac{U_{\text{კონტ}}^2}{X_{\text{კონტ}}} \left(1 - \frac{K_{\text{გ2}}}{K_{\text{გ1}}} \right) \quad (6.42)$$

რომელიც მიედინება გ1 გრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის კენიდან გ2 გრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის კენიდან.

6.8. მე-6 თავის რიყხვითი მაგალითები

მაგალითი 6.1. განესაზღვროთ ენერგიის წლიური დანაკარგები საშში, რომლის ნომინალური ძაბვაა 35 კვ, სიგრძე 20 კმ და გამოყენებული სადენის მარკა AC-70/11. ხაზი ეყებას მომხმარებელს, რომლის მაქსიმალური დატვირთვა $P=5$ მგვტ და დატვირთვის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა $\cos \varphi=0,85$. დატვირთვის წლიური გრაფიკი მოცემულია 6.13 ნახაზზე.

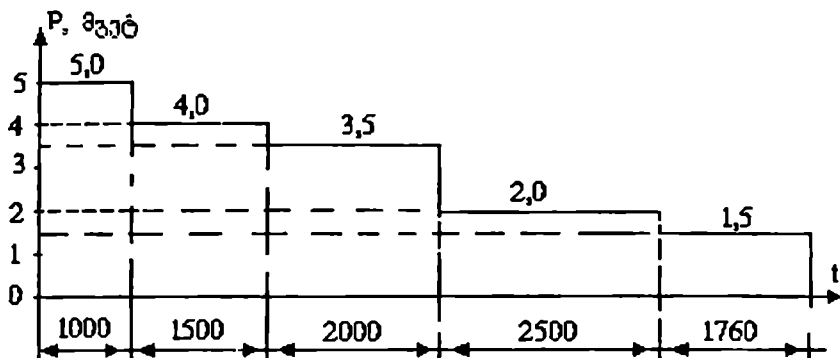
ამოხსნა. განესაზღვროთ ხაზის აქტიური წინაღობა. დ-2 ცხრილის მიხედვით $r_0=0,42$ ომი/კმ და $R = r_0 \ell = 0,428 \cdot 20 = 8,56$ ომი. სიმძლავრის მაქსიმალური დანაკარგები (გამოსახულება 6.20)

$$\Delta P_{\text{ავტ}} = \frac{P_{\text{ავტ}}^2}{U_6^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot R = \frac{5^2}{35^2 \cdot 0,85^2} \cdot 8,56 = 0,242 \text{ მგვტ}$$

(6.4) გამოსახულების მიხედვით (გრაფიკული ინტეგრირების მეთოდი)

$$\Delta \Theta = \frac{8,56}{35^2 \cdot 0,85^2} \left(5^2 \cdot 1000 + 4^2 \cdot 1500 + 3,5^2 \cdot 2000 + 2^2 \cdot 2500 + 1,5^2 \cdot 1760 \right) =$$

$$= 845,88 \text{ მგვტსი} = 84588 \text{ ეკვტსი.}$$



ნახ. 6.13

ენერგიის დანაკარგები გამოეთვალათ τ -ს მეთოდით. ამისთვის ჯერ გამოეთვალათ მაქსიმალური დატვირთვის გამოყენების ხანგრძლივობა (გამოსახულება (6.15))

$$T = \frac{\Theta_{\text{მოხ}}}{P_{\text{ავტ}}} = \frac{5 \cdot 1000 + 4 \cdot 1500 + 3,5 \cdot 2000 + 2 \cdot 2500 + 1,5 \cdot 1760}{5} =$$

$$= 5128 \text{ სთ.}$$

შესაბამისად (6.6) გამოსახულების მიხედვით

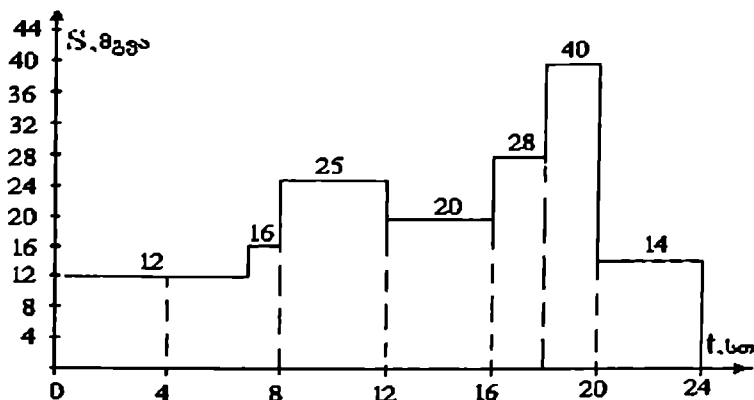
$$\tau = (0,124 + 5128 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 3552 \text{ სთ}$$

და (6.5)-ის თანახმად

$$\Delta \Theta = 0,242 \cdot 3552 = 859,658 \text{ მგვტსი} = 859658 \text{ ეკვტსი.}$$

ორივე მეთოდით მიღებულ შედეგებს შორის განსხვავება აღწევს 1,6%-ს.

მაგალითი 6.2. გამოეთვალათ ენერგიის დღეღამური დანაკარგები ქვესადგურში, სადაც დგას 2XТРДН-25000/110 ტიპის გრანსფორმატორი. ქვესადგურის დატვირთვის დღეღამური გრაფიკი მოცემულია 6.14 ნახაზზე. აქტიური დატვირთვის კოეფიციენტი $\cos \varphi = 0,8$.



ნახ. 6.14

გრანსფორმატორების საპასპორტო მონაცემებია (ცხრ.დ-5.2)

$$\Delta P_{\text{კ}} = 27 \text{ კეგ}, \quad \Delta P_{\text{ფ}} = 120 \text{ კეგ}.$$

ამოხსნა. (6.31) გამოსახულების მიხედვით განესაზღვროთ ორიდან ერთ გრანსფორმატორზე გადასვლის ეკონომიკური დატვირთვის მნიშვნელობა

$$S_{\text{ა},12} = 25 \sqrt{\frac{2 \cdot 27}{120}} = 16,8 \text{ მგვა}.$$

ამრიგად, ქვესაღვური ერთგრანსფორმატორიან რეჟიმში იმუშავენ 0÷8 და 22÷24 საათების ინტერვალში. დანარჩენ საათებში კი იმუშავენ ორგრანსფორმატორიან რეჟიმში.

ენერგიის დანაკარგები გრანსფორმატორთა ფოლადში (გამოსახულება (6.1))

$$\Delta \mathfrak{E}_G = 1 \cdot 27 \cdot 10 + 2 \cdot 27 \cdot 14 = 1026 \text{ კეგსთ.}$$

ენერგიის დანაკარგები გრავნილებში (გრაფიკული მეთოდი)

$$\begin{aligned} \Delta \mathfrak{E}_R = & 120 \left(\frac{12}{25} \right)^2 \cdot 7 + 120 \left(\frac{16}{25} \right)^2 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 120 \left(\frac{25}{25} \right)^2 \cdot 4 + \frac{1}{2} \cdot 120 \left(\frac{20}{25} \right)^2 \cdot 4 + \\ & + \frac{1}{2} \cdot 120 \left(\frac{28}{25} \right)^2 \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 120 \left(\frac{40}{25} \right)^2 \cdot 4 + 120 \cdot \left(\frac{14}{25} \right)^2 \cdot 2 = 1476,48 \text{ კეგსთ} \end{aligned}$$

გრანსფორმატორებში ენერგიის ჯამური დანაკარგები

$$\Delta \mathfrak{E} = \Delta \mathfrak{E}_G + \Delta \mathfrak{E}_R = 2502,48 \text{ კეგსთ.}$$

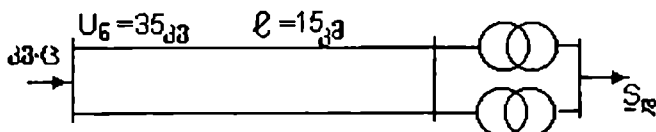
დღეღამეში მომხმარებლის მიერ მოხმარებული ენერგია

$$\begin{aligned} \mathfrak{Q}_{\text{აპ}} &= (12 \cdot 7 + 16 \cdot 1 + 25 \cdot 4 + 20 \cdot 4 + 28 \cdot 2 + 40 \cdot 4 + 14 \cdot 2) \cdot 0,8 = \\ &= 419,2 \text{ გვგსთ} = 419200 \text{ კეგსთ} \end{aligned}$$

გრანსფორმატორებში ენერგიის დანაკარგების პროცენტული მნიშვნელობა

$$\Delta \mathfrak{Q} \% = \frac{\Delta \mathfrak{Q}}{\mathfrak{Q}_{\text{აპ}}} \cdot 100 = \frac{2502,48 \cdot 100}{419200} = 0,6\%$$

მაგალითი 6.3. 6.15 ნახაზზე წარმოდგენილ ელექტრულ ქსელში გამოთვალეთ აქტიური სიმძლავრის მაქსიმალური დანაკარგები და ენერგიის წლიური დანაკარგები აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის ორი სხვადასხვა მნიშვნელობისას $\cos \varphi = 0,7$ და $\cos \varphi = 0,9$.

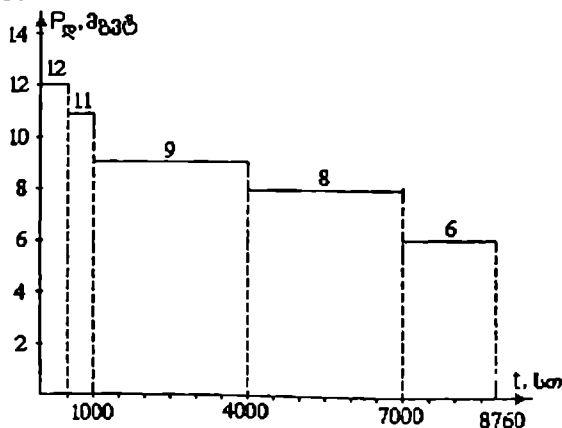


ნახ. 6.15

ელექტროგადამცემის ხაზის მონაცემები: ძაბვა $U_{\phi} = 35$ კე; ჯაჭვთა რიცხვი $n = 2$; სიგრძე $l = 15$ კმ; $r_0 = 0,28$ ომი/კმ;

გრანსფორმატორების მონაცემები: $S_{\phi} = 2 \times 10000$ კეა; $\Delta P_{\phi} = 12,5$ კეგ; $\Delta P_{\text{გვ}} = 60$ კვტ.

მომხმარებლის დატვირთვის წლიური გრაფიკი ხანგრძლივობის მიხედვით მოცემულია 6.16 ნახაზზე.



ნახ. 6.16

ამოხსნა. გამოვთვალოთ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები გრანსფორმატორებში, როცა $\cos\varphi=0,7$ (გამოსახულება 3.88)

$$\Delta P_{\phi} = 2 \cdot 12,5 + \frac{1}{2} \cdot 60 \left(\frac{12}{0,7 \cdot 10} \right)^2 = 113 \text{ კვტ.}$$

აქტიური სიმძლავრის დანაკარგი ელექტროგადამცემის ხაზში (გამოსახულება 6.20)

$$\Delta P_{\text{ხ}} = \frac{12^2}{0,7^2 \cdot 35^2} \cdot \frac{0,28 \cdot 15}{2} = 0,504 \text{ მგვტ} = 504 \text{ კვტ.}$$

სიმძლავრის ჯამური დანაკარგი ქსელში, როცა $\cos\varphi=0,7$

$$\Delta P_{\Sigma} = 113 + 504 = 617 \text{ კვტ. ან } \Delta P_{\Sigma} \% = 5,14$$

ჩაებატაროთ იგივე გამოთვლები, როცა $\cos\varphi=0,9$, გვაქვს

$$\Delta P_{\phi} = 2 \cdot 12,5 + \frac{1}{2} \cdot 60 \left(\frac{12}{0,9 \cdot 10} \right)^2 = 68 \text{ კვტ.}$$

$$\Delta P_{\text{ხ}} = \frac{12^2}{0,9^2 \cdot 35^2} \cdot \frac{0,28 \cdot 15}{2} = 305 \text{ კვტ.}$$

ჯამური დანაკარგები

$$\Delta P_{\Sigma} = 68 + 305 = 373 \text{ კვტ. ანუ } \Delta P_{\Sigma} \% = 3,11.$$

ე.ი. აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის ამალღებით დანაკარგები ქსელში შემცირდა $5,14 - 3,11 = 2,03$ პროცენტით

გამოვთვალოთ ენერგიის წლიური დანაკარგები, როცა $\cos\varphi=0,7$

$$\begin{aligned} \Delta W &= 2 \cdot 12,5 \cdot 8760 + \left(\frac{0,28 \cdot 15}{2 \cdot 0,7^2 \cdot 35^2} + \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot \frac{1}{0,7^2 \cdot 10^2} \right) (12^2 \cdot 500 + \\ &+ 11^2 \cdot 500 + 9^2 \cdot 3000 + 8^2 \cdot 3000 + 6^2 \cdot 1760) \cdot 10^3 = 2019000 + \\ &+ 2593620 = 2812620 \text{ კვტსთ} \end{aligned}$$

ენერგიის წლიური მოხმარება

$$\begin{aligned} W_{\text{წლ}} &= (12 \cdot 500 + 11 \cdot 500 + 9 \cdot 3000 + 8 \cdot 3000 + 6 \cdot 1760) \cdot 10^3 = \\ &= 73060000 \text{ კვტსთ} \end{aligned}$$

ანუ, როცა $\cos\varphi=0,7$

$$\Delta W \% = \frac{2812620}{73060000} \cdot 100 = 3,85.$$

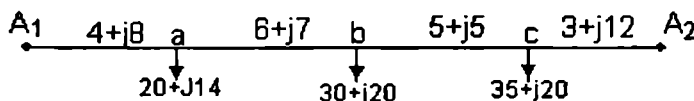
გამოვთვალოთ ენერგიის წლიური დანაკარგები, როცა $\cos\varphi=0,9$

$$\Delta W = 219000 + 2593620 \cdot \frac{0,7^2}{0,9^2} = 1787980 \text{ კვტსთ}$$

$$\Delta\% = \frac{1787980}{73060000} \cdot 100 = 2,45.$$

მივიღეთ, რომ $\cos\varphi$ -ს ამბლებით ქსელში ენერგიის წლიური დაზარალებები შემცირდა $3,85-2,45=1,4\%$ -ით.

მაგალითი 6.4. 6.17 ნახაზზე ნაჩვენებ ქსელში სიმძლავრეთა ბუნებრივი და ეკონომიკური განაწილებისას გამოთვალეთ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები.



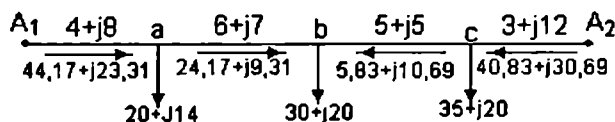
ნახ. 6.17

ამოხსნა. დაეადგინოთ სიმძლავრეთა ბუნებრივი განაწილება (გამოსახულება (6.33))

$$S_{A1a,b,c} = \frac{(20 + j14)(14 - j24) + (30 + j20)(8 - j17) + (35 + j20)(3 - j12)}{18 - j32} =$$

$$= 44,17 + j23,31$$

მაშასადამე, სიმძლავრეთა ბუნებრივ განაწილებას აქვს სახე (ნახ.6.18)



ნახ. 6.18

აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები

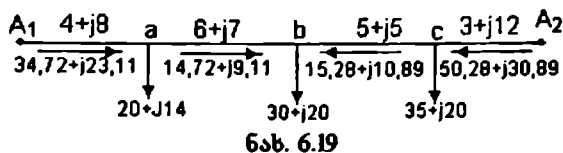
$$\Delta P_k = [(44,17^2 + 23,31^2) \cdot 4 + (24,17^2 + 9,31^2) \cdot 6 + (5,83^2 + 10,69^2) \cdot 5 + (40,83^2 + 30,69^2) \cdot 3] : 110^2 = 1,87 \text{ მგვტ.}$$

დავადგინოთ სიმძლავრეთა ეკონომიკური განაწილება (გამოსახულება (6.34))

$$S_{\text{აი}} = \frac{(20 + j14)14 + (30 + j20) \cdot 8 + (35 + j20) \cdot 3}{18} =$$

$$= 34,72 + j23,11$$

მაშასადამე, სიმძლავრეთა ეკონომიკურ განაწილებას აქვს სახე (ნახ.6.19)



აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები

$$\Delta P_{\text{აი}} = [(34,72^2 + 23,11^2) \cdot 4 + (14,72^2 + 9,11^2) \cdot 6 +$$

$$+ (15,28^2 + 10,89^2) \cdot 5 + (50,28^2 + 30,89^2) \cdot 3] \cdot 100^2 = 1,73 \text{ მგვტ.}$$

ე.ი. სიმძლავრეთა ეკონომიკური განაწილებისას დანაკარგები შემცირდა 140 კვტ-ით ანუ 7,5%-ით.

თავი 7. მომხმარებელთა ენერგოუსაფრთხოების საკითხები

7.1. შემთხვევითი მოვლენები და ალბათობის თეორიის ელემენტები

გარემო სივრცეში წარმოქმნილი ნებისმიერი მოვლენა გამოწვეულია მთელი რიგი სხვა შემთხვევითი (ბუნებრივი ან ხელოვნური) ფაქტორების ზეგავლენით. აქედან გამომდინარე მოვლენა შეიძლება იყოს შემთხვევითი, რომელიც მოცემულ კონკრეტულ პირობებში შეიძლება მოხდეს, ან არ მოხდეს. ანალოგიურად განიშარტება ჭეშმარიტი და შეუძლებელი მოვლენები. ჭეშმარიტია მოვლენა, რომელიც მოცემულ კონკრეტულ პირობებში აუცილებლად მოხდება, ხოლო შეუძლებელია მოვლენა, რომელიც მოცემულ კონკრეტულ პირობებში არ მოხდება.

ბუნებრივია, რომ ყველა ის მიზეზები და ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენს მოცემული შემთხვევითი მოვლენის წარმოქმნაზე, შეუძლებელია წინასწარ გამოიცნო, გაანალიზო და განჭვრიტო. როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, ამა თუ იმ სახის შემთხვევით მოვლენას გარკვეული კანონზომიერება ახასიათებს. მაგრამ ამ კანონზომიერების, მეტ-ნაკლები მაღალი სიზუსტით, დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ მრავალწლიანი და მრავალჯერადი პრაქტიკული დაკვირვებების საფუძველზე.

დაკვირვებების შედეგების მიხედვით ელექტროსისტემის განსახილველი ელემენტისთვის შეიძლება დადგენილი იქნეს ჩვენთვის საინტერესო შემთხვევითი მოვლენის ალბათური (ფარდობითი) მნიშვნელობა, რომელიც რიცხობრივად წარმოადგენს საანგარიშო პერიოდში (დაკვირვების მთელ პერიოდში) მოცემული შემთხვევითი მოვლენის რაოდენობის (რიცხვის) ფარდობას ამავე პერიოდში ყველა შესაძლო მოვლენათა საერთო ჯამურ რიცხვთან.

ენერგეტიკული სისტემა აერთიანებს დიდი რაოდენობის ტექნიკურ მოწყობილობებსა და სხვადასხვა დანიშნულების ელემენტებს. ბუნებრივია, რომ ამ მოწყობილობებისა და ელემენტების მუშაობის პირობები სხვადასხვაა. უფრო მეტიც, ბევრ შემთხვევაში, მუშაობის პირობები სხვადასხვაა ერთი და იმავე ტიპის მოწყობილობებისთვისაც. დროის მოცემულ მომენტში ესა თუ ის მოწყობილობა (ელემენტი) შეიძლება ჩართული იქნეს ქსელში ან გაორთული ქსელიდან. ასევე, ესა თუ ის ელემენტი ამავე მომენტში შეიძლება იყოს ავარიულად დაზიანებული ან არა. ყველა ეს

მოელენა შემთხვევითი მოელენაა, რომლის არსებობა განპირობებულია კონკრეტული ელემენტის მუშაობის პირობებით.

ელექტროენერგეტიკაში მომხმარებელთა ელექტრომომარაგების საიმედოობის შეფასებისას გვიხდება გამოიყენოთ შემთხვევითი მოელენების ალბათური მანიქენებლები. კერძოდ, ელექტრომომარაგების საიმედოობა დამოკიდებულია იმ მოწყობილობის ავარიული ამორთვის შემთხვევითობასთან, რომლის საშუალებით კეება მიეწოდება მოცემულ მომხმარებელს. შეიძლება შევირჩიოთ ნაკლებად საიმედო ან უფრო მეტად საიმედო ელექტრომომარაგების სქემა, რომელთაგანაც საბოლოო რეალიზაციისთვის დავიტოვებთ იმ სქემას, რომელიც ნაკლები საანგარიშო ხარჯებით ხასიათდება. ცხადია, რომ ამ საანგარიშო ხარჯებში გათვალისწინებული უნდა იქნეს მომხმარებელთან ენერგიის მიუწოდებლობით გამოწვეული ზარალიც. ამ ზარალის დათვლა კი შეუძლებელია ალბათობის თეორიის მეთოდების გამოყენების გარეშე. რადგანაც მოწყობილობის ავარიული გამორთვა შემთხვევითი მოელენაა.

არსებობს შემთხვევითი მოელენების ალბათობის გამოთვლის კლასიკური და სტატისტიკური მეთოდები. ენერგეტიკაში გამოიყენება სტატისტიკური მეთოდი, რომელიც, როგორც დასახელებიდან ჩანს, ეყრდნობა სტატისტიკურ ინფორმაციას (მასალებს). ამ მეთოდის მიხედვით ნეკნთვის საინტერესო შემთხვევითი მოელენის წარმოქმნის ფარდობითი მნიშვნელობა (სტატისტიკური ალბათობა) მერყეობს რაღაც მუდმივი სიდიდის მიდამოში. იგი შეიძლება საკმარისად ზუსტად დავადგინოთ თუ ჩაატარებთ საკმარისად დიდი რაოდენობის დაკვირვებებს.

სხვადასხვა შემთხვევითი მოელენები სიმბოლურად აღინიშნება A, B, C და ა.შ. ასოებით. ზემოთხსენებული მოელენა აღინიშნება U ასოთი, ხოლო შეუძლებელი მოელენა V ასოთი.

A და B შემთხვევითი მოელენები დამოუკიდებელ მოელენებს წარმოადგენენ, თუ ერთის წარმოქმნა მეორის წარმოქმნის ალბათობაზე არ ახდენს გავლენას. წინააღმდეგ შემთხვევაში ეს მოელენები დამოკიდებული მოელენებია. ასევე, A და B მოელენებს ეწოდებათ თავისებადი მოელენები, თუ ერთის წარმოქმნა არ გამოირიცხავს მეორის წარმოქმნის შესაძლებლობას და, პირიქით, A და B მოელენები არათავისებადია, თუ ერთის წარმოქმნა გამოირიცხავს მეორის წარმოქმნის შესაძლებლობას. ასეთ მოელენებს ურთიერთ საწინააღმდეგო მოელენები ეწოდებათ. A მოელენის საწინააღმდეგო მოელენა აღინიშნება $\bar{A}$ სიმბოლოთი.

A, B, C და ა.შ. შემთხვევითი მოვლენების ალბათობა აღინიშნება $P(A)$, $P(B)$, $P(C)$ და ა.შ. სიმბოლოთი. შეიძლება ელემენტის/დანადგარის მუშა მდგომარეობის ალბათობა აღინიშნება p , ხოლო არა მუშა მდგომარეობის ალბათობა q სიმბოლოთი ამასთან, აუარიულად ამოროვის ალბათობა q და გეგმიურად ამოროვის ალბათობა $q_{გეგ}$.

ენერგეტიკაში უფრო ხშირად საკმე გეაქვს რთულ შემთხვევით მოვლენებთან, რომლებიც სხედასხეა სახის მარტივი მოვლენების კომბინაციას წარმოადგენენ. მარტივი შემთხვევითი მოვლენების ცნობილი ალბათობათა საშუალებით რთულ შემთხვევით მოვლენების ალბათობის დადგენა ხორციელდება ალბათობის თეორიის შესაბამისი კანონების გამოყენების გზით. დამოუკიდებელ შემთხვევით მოვლენებთან მიმართებაში ეს კანონები შემდეგნაირად ფორმულირდებიან:

1. A და B დამოუკიდებელი და არათავსებადი შემთხვევითი მოვლენებიდან ერთერთის წარმოქმნის ალბათობა ამ მოვლენათა წარმოქმნის ალბათობათა ჯამის ტოლია

$$P(A+B) = P(A) + P(B);$$

2. A და B არათავსებადი შემთხვევითი მოვლენათა ერთდროული წარმოქმნის ალბათობა

$$P(A, B) = 0;$$

3. A და B თავსებადი შემთხვევითი მოვლენათა ერთდროული წარმოქმნის ალბათობა

$$P(A, B) = P(A) \cdot P(B);$$

4. A და B დამოუკიდებელი და თავსებადი შემთხვევითი მოვლენებიდან ერთერთის წარმოქმნის ალბათობა გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB);$$

5. ურთიერთ საწინააღმდეგო შემთხვევითი მოვლენების ალბათობათა ჯამი ერთის ტოლია

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1.$$

აქედან გამომდინარე, საწინააღმდეგო შემთხვევითი მოვლენის ალბათობა

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A).$$

მაგალითი 1. განვსაზღვროთ ნარდის კამათლებზე ამა თუ იმ ციფრების დაჯდომის ალბათობა.

ჩაეთვალით, რომ ერთი კამათლის გაგორებისას თითოეული ციფრის დაჯდომის ალბათობა ერთნაირია და შეადგენს

$$p_1(1) = p_1(2) = \dots = p_1(6) = \frac{1}{6} = 0,16667.$$

აქედან გამომდინარე, ალბათობა იმისა, რომ ერთი კამათლის გაგორებისას მოცემული კონკრეტული ციფრი არ დაჯდება, შეადგენს

$$q_1(1) = q_1(2) = \dots = q_1(6) = 1 - 0,16667 = 0,83333.$$

ალბათობა იმისა, რომ ერთი კამათლის გაგორებისას 1 და 5 ციფრებიდან ერთერთი მაინც დაჯდება (პუნქტი "1"), შეადგენს

$$p(1+5) = p(1) + p(5) = 0,16667 + 0,16667 = 0,33334.$$

ალბათობა იმისა, რომ ერთი კამათლის გაგორებისას 1 და 5 ციფრებიდან არცერთი არ დაჯდება (პუნქტი "5"), შეადგენს

$$q(1+5) = 1 - p(1+5) = 1 - 0,33334 = 0,66666.$$

ალბათობა იმისა, რომ კამათლების გაგორებისას მოცემული კონკრეტული წყვილი ციფრები დაჯდება (პუნქტი "3"), შეადგენს

$$p_2(1,1) = \dots = p_2(6,6) = p_1(1) \cdot p_1(1) = \dots = p_1(6) \cdot p_1(6) = 0,16667 \cdot 0,16667 = 0,027778.$$

ალბათობა იმისა, რომ კამათლების გაგორებისას მოცემული კონკრეტული წყვილი ციფრები არ დაჯდება (პუნქტი "5"), შეადგენს

$$q_2(1,1) = q_2(2,2) = \dots = q_2(6,6) = 1 - 0,027778 = 0,972222.$$

ალბათობა იმისა, რომ კამათლების გაგორებისას რომელიმე წყვილი ციფრები დაჯდება, შეადგენს

$$p'_2(1,1) = p'_2(2,2) = \dots = p'_2(6,6) = 6 \cdot 0,027778 = 0,16667.$$

ალბათობა იმისა, რომ კამათლების გაგორებისას რომელიმე არა წყვილი ციფრები დაჯდება, შეადგენს

$$p(1,2) = p(1,3) = \dots = p(5,6) = 1 - 6 \cdot 0,027778 = 0,83333.$$

ალბათობა იმისა, რომ კამათლების გაგორებისას ციფრი 1 დაჯდება (პუნქტი "4"), შეადგენს

$$p(1+1) = p(1) + p(1) = 0,16667 + 0,16667 = 0,33334.$$

7.2. ენერგოსისტემის მუშაობის საიმედოობის ამაღლების ამოცანა

ელექტროენერგეტიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე ენერგოსისტემის მუშაობის საიმედოობის პრობლემის შეფასება და მისი რაციონალური ხარისხის დადგენა წარმოადგენს ერთერთ მნიშვნელოვან ამოცანას. საიმედოობის ქვეშ იგულისხმება მოწყობილობის, დანადგარის და, ზოგადად, მთელი სისტემის თვისება წარმატებით შეასრულოს მასზე

დაკისრებული ფუნქცია. კერძოდ, უზრუნველყოს მომხმარებელთა უწყვეტი (შეფერხების გარეშე) ელექტრომომარაგება მაღალი ხარისხის ელექტროენერგიით, ანუ არ დაეშვას ძაბვისა და სიხშირის გადახრა დასაშვებზე მეტად და არ დაუშვას ენერგიის მიუწოდებლობა. ამასთან, ენერგიის გადაცემის თვითღირებულება იყოს მინიმალური.

ენერგოსისტემის მუშაობის საიმედოობა განისაზღვრება მისი ცალკეული ელემენტის (მაგენერირებელი აგრეგატები და ენერგობლოკები, ელექტროგადაცემის ხაზები, სააკუმუტაციო აპარატურა, რელეური დაცვისა და სასისტემო ავტომატიკის მოწყობილობა და ა.შ.) მუშაობის საიმედოობით, ელექტრული ქსელის მოქნილობით (რეზერვირების ხარისხი) და რეჟიმის საიმედოობით (სტატიკური და დინამიკური მდგრადობის მარაგი). გარდა აღნიშნულისა, სისტემის საიმედოობა განისაზღვრება მისი უნარით შეინარჩუნოს მუშაობის მდგრადობა მძიმე შემოთოქებისას, ანუ უზრუნველყოს მაღალი კატეგორიის მომხმარებელთა უწყვეტი ელექტრომომარაგება.

ელექტრომომარაგების საიმედოობის მოთხოვნები გათვალისწინებული უნდა იქნეს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ელემენტების წარმოება-დამზადებისა დროს, სისტემის განვითარების დაგეგმვისას, ცალკეული ელექტრული ქსელებისა და ობიექტების პროექტირებისას და, ბოლოს, ექსპლუატაციის პროცესში.

ექსპლუატაციის პროცესში ელექტრომომარაგების საიმედოობის შეფასება აუცილებელია იმდენად, რამდენადაც ექსპლუატაციისას, ჯერ-ერთი, ადგილი აქვს მოწყობილობათა ცვეთას და მისი საიმედოობის ხარისხის შემცირებას და, მეორე, მოწყობილობა-დანადგარს შეიძლება მოუხდეს იმ გაუთვალისწინებელი ხანმოკლე რაჟიმით მუშაობა, რაზეც მოცემული დანადგარი გათვლილი არ იყო და, რომლის გათვალისწინება ამ დანადგარის წარმოება-დამზადებაზე გამოიწვევდა გაუმართლებლად დიდ ხარჯებს.

ენერგოსისტემის მუშაობის საიმედოობა შეიძლება დავახასიათოთ ორი ფაქტორით. პირველი, მტყუნება (მუშაობაზე უარი) და, მეორე, რემონტის (აღდგენის) შესაძლებლობა. მტყუნების ქვეშ იგულისხმება მოვლენა, რომელიც რაღაც მიზეზით წარმოიშვა მოცემულ ელემენტზე და შედეგად იწვევს მომხმარებელთან ელექტროენერგიის მიწოდების მოდიან ან ნაწილობრივ შეწყვეტას, ან ადგილი აქვს ელექტროენერგიის ხარისხის გაუარესებას. რემონტის (დაზიანებული ელემენტის შეცვლა ან აღდგენა) შესაძლებლობის ქვეშ იგულისხმება

რემონტის პერსონალის კვალიფიკაციისა და რემონტისათვის საჭირო ტექნიკური აღჭურვილობის დონე. იგი გაელენას ახდენს ელექტროენერგიის მიუწოდებლობის ხანგრძლივობაზე.

მტკუნების ძირითადი მიზეზები და სახეები:

1. სიმძლავრის დეფიციტი მაგენერირებელი აგრეგატის (ენერგობლოკის) აეარიული გაჩერების გამო ან მომხმარებლის დატვირთვის გაზრდა შეზღუდული გამტარუნარიანობის მქონე ელექტროგადაცემის პირიბებში.
2. მომხმარებელთა ავტომატური ამორთვა სისტემის ავარიულად გამოყოფილ დეფიციტურ ნაწილში სიმძლავრის დეფიციტის აღმოფხერის მიზნით.
3. მომხმარებელთა ავტომატური ამორთვა მთელი სისტემის მასშტაბით ენერგოსისტემის ძირითადი ნაწილის მუშაობის მდგრადობის შენარსუნების მიზნით, ანუ ქსელში მოკლე შერთვისა და მძლავრი ენერგობლოკის ავარიული ამოროვისას ავარიის განვითარების შეზღუდვის მიზნით.
4. დასაშვებზე მეტად ძაბვის დადაბლება ან ელექტროენერგიის შეწყვეტა მანაწილებელი დარეზერვირებული ქსელის მკეებაეი ხაზის ავარიულად ამოროვისას ან მისი რემონტისას დაურეზერვირებელ ქსელში.
5. დასაშვებზე მეტად ძაბვის დადაბლება ან ელექტროენერგიის ხანმოკლე შეწყვეტა მანაწილებელ ქსელში რელეური დაცვისა და ავტომატიკის მოქმედებით ამ ქსელში ან მადალი ძაბვის ქსელში ავარიის დროს.
6. შეფერხებები სათბობის (ქვანახშირი, მაზუთი, ბუნებრივი აირი) მიწოდების საშუალებებზე.
7. შეფერხებები სტიქიური მოვლენების გამო.

შეიძლება დავასკენათ, რომ ენერგოსისტემის მუშაობის საიმედოობის ამადლება და მისი ოპტიმალური დონის უზრუნველყოფა მიიღწევა მაგენერირებელი სიმძლავრეების რეზერვირებით, გადაცემის ქსელის დარეზერვირებითა და მისი გამტარუნარიანობის გაზრდით და, ასევე, ავარიის საწინააღმდეგო სასისტემო ავტომატიკის მოწყობით.

ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის დანიშნულებაა უზრუნველყოს როგორც მაგენერირებელი სიმძლავრის, ასევე ქსელის გამტარუნარიანობის სრული გამოყენება და, მისი

უკმარისობის შემთხვევებში, ნაწილი მომხმარებლების გამორთვა. ამით მიიღწევა იმ ზარალის მინიმიზაცია, რასაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს მომხმარებელთან ელექტროენერგიის მიწოდების შეწყვეტისას.

საიმედოობის ამაღლება დაკავშირებულია დამატებით ხარჯებთან. ამიტომ როგორც საპროექტო ვარიანტების შედარებისას, ასევე საექსპლუატაციო ამოცანების გადაწყვეტისას საჭიროა ელექტრომომარაგების საიმედოობის ამაღლებით მიღწეული დადებითი ეფექტი შევადაროთ იმ ხარჯებს, რამაც ეს ეფექტი განაპირობა.

ელექტრომომარაგების შეწყვეტით გამოწვეული ნეგატიური შედეგების მიხედვით მომხმარებლები შეიძლება დავყოთ სამ ჯგუფად (კატეგორიად):

1. მომხმარებლები, რომლებთანაც ელექტროენერგიის შეწყვეტა გამოიწვევს კატასტროფულ შედეგებს – ხანძარი, აფეთქება, ადამიანთა სიცოცხლის საფრთხე ან საზოგადოებრივი ცხოვრების სერიოზული მოშლა.
2. მომხმარებლები, რომლებთანაც ელექტროენერგიის შეწყვეტა გამოიწვევს დიდ მატერიალურ ზარალს – ჩედლეულის გაფუჭება, წარმოებული პროდუქციის წენი ('უხარისხოვა'), მოშლილი ტექნოლოგიური პროცესის აწყობის ხარჯები და სხვ.
3. მომხმარებლები, რომლებთანაც ელექტროენერგიის შეწყვეტისას შეიძლება ადგილი არ ჰქონდეს ფულად ერთეულებში გამოხატულ ზარალს, მაგრამ თავისთავად ნეგატიური მოვლენაა (საყოფაცხოვრებო მომხმარებლები, ელექტროტრანსპორტი, განათება, გათბობა და ა.შ.).

მომხმარებელთა მეორე ჯგუფზე მოდის მთელი სისტემის დატვირთვის გაცილებით დიდი ხვედრითი წილი. შედარებით მცირე ხვედრითი წილის მქონე პირველი ჯგუფის მომხმარებლებს, რომლებთანაც ელექტროენერგიის მიწოდების შეწყვეტა დაუშვებელია, მაღალი ძაბვის დარეზერვირებულ მქვებაჲ ქსელთან ერთად უნდა გააჩნდეს კვების საკუთარი (ავტონომიური) წყარო. აქედან გამომდინარე, ენერგიის მიუწოდებლობით გამოწვეული ზარალის შეფასება და გამოთვლა ხორციელდება, ძირითადად, მეორე ჯგუფის მომხმარებლების მიხედვით.

საიმედოობის გათვალისწინებით, ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნისას ძირითადი კრიტერიუმის სახით განიხილება ეკონომიკურობის კრიტერიუმი ანუ დაყვანილი ხარჯები

$$Z = E_f \cdot K + M + Y = \min,$$

სადაც: E_f — კაპიტალური ხარჯების გამოსყიდვის ეფექტურობის ნორმატიული კოეფიციენტი

$$E_f = (1 + \beta) / T_{გა.ა.}$$

აქ: $T_{გა.ა.}$ — კაპიტალური ხარჯების გამოსყიდვის ვადა, წელი;
 β — კაპიტალურ ხარჯებზე საბანკო დანარიცხების ფარდობითი სიდიდე გამოსყიდვის მთელი პერიოდისთვის;

K — კაპიტალური ხარჯები, რომელიც ითვალისწინებს ძირითადი ფონდების (დანადგარ-მოწყობილობები და ინვენტარი) შეძენა-ტრანსპორტირებისა და სამშენებლო-სამორეაქციო ხარჯებს. აგრეთვე, სისტემის მუშაობის საიმედოობის ამაღლებისთვის გაწეულ დამატებით ხარჯებს;

M — საექსპლუატაციო ხარჯები, რომელიც მოიცავს დანადგარ-მოწყობილობებისა და ინვენტარის საამორტიზაციო ანარიცხებს (რენოვაცია), ხარჯებს მიმდინარე რემონტსა და მომსახურებაზე და ქსელში ელექტროენერგიის დანაკარგებით გამოწვეულ ხარჯებს;

Y — მომხმარებელთან ენერგიის მიწოდებლობით გამოწვეული ზარალი.

მომხმარებელთან ელექტროენერგიის მიწოდების შეწყვეტით გამოწვეული ტექნიკო-ეკონომიკური ზარალის სიდიდე და ხასიათი დამოკიდებულია თვით მომხმარებლის გეარობაზე და ენერგიის შეწყვეტის ხანგრძლივობაზე. ზარალი შეიძლება იყოს პირდაპირი და არაპირდაპირი.

პირდაპირი ზარალია მოცდენილი მუშახელის ხელფასი, ნედლეულის გაფუჭება, პროდუქციის წუნი, ძირითადი დანადგარ-მოწყობილობის დაზიანება, ტექნოლოგიური პროცესის მოშლა და მის აღდგენა-აწყობასთან დაკავშირებული დამატებითი ხარჯები და სხვ.

არაპირდაპირ ზარალში იგულისხმება საწარმოს გეგმის შეუსრულებლობა ანუ წარმოებული პროდუქციის მოცულობის შემცირება და მასთან დაკავშირებული მოგების დანაკარგი, ან გეგმის შესრულების მიზნით დამატებით საათებში მუშახელის დასაქმების ანაზღაურება.

მართებული იქნება, თუ ენერგიის მიწოდების შეწყვეტით გამოწვეული ტექნიკო-ეკონომიკური ზარალი გამოითვლება ცალკეული მომხმარებლისთვის ცალკეცალკე მათი მახასიათებელი სპეციფიკიდან გამომდინარე. თუმცა ასეთი მიდგომა ხშირ

შემთხვევაში სირთულეებთანაა დაკავშირებული. კერძოდ, ქსელთან ან მის კონკრეტულ კვანძში მიერთებულია სხვადასხვა სახის მომხმარებელი და ამ ჯამური დატვირთვიდან ცალკეული მომხმარებლის დატვირთვის გამოყოფა და მათი ზარალის მოცულობის ცალკეადაც შეფასება, პრაქტიკულად, გადაუღახავ სიძნელეს წარმოადგენს. ამიტომ უფრო გამართლებულია ეისარგებლოთ საშუალო ხედრითი ზარალის ცნებით Y_0 ლარი/კეტსო, რომელიც გეიწეწებს მომხმარებელთან 1 კეტსო ელექტრული ეწერგის მიუწოდებლობით გამოწვეულ ზარალს ფულად ერთეულებში. ხედრითი ზარალის რიცხვითი მნიშვნელობა დაკავშირებულია, ერთი მხრივ, მოცემული მომხმარებლისთვის ელექტროწერგის ტარიფზე და, მეორე მხრივ, იმ მიზეზზე, რამაც გამოიწვია ელექტროწერგის მიუწოდებლობა ან მისი ხარისხის გაუარესება.

აღნიშნულიდან გამომდინარე რეკომწდებულია ხედრითი ზარალის შემდეგი დიფერენციაცია (რიცხვითი მნიშვნელობები მიახლოებითია და მოითხოვს დაზუსტებას):

- ხედრითი ზარალი – გამოწვეული სიხშირის პერიოდული შემცირებით მაქსიმალური დატვირთვის რეკიმებში

$$Y_0=0,4 \text{ ლარი/კეტსო;}$$

ხედრითი ზარალი – მომხმარებლის შედარებით ხანმოკლე შეზღუდვის გამო, რაც შეიძლება გამოწვეული იქწეს სარემონტო სამუშაოების ჩატარების დროს ან ავარიის შემდგომ რეკიმში პარალელური მუშაობის აღდგენითი პროცესის წარმოებისას

$$Y_0=1,0 \text{ ლარი/კეტსო;}$$

ხედრითი ზარალი – ავარიის შემდგომ ხანმოკლე რეკიმში შემცირებული სიხშირის გამო

$$Y_0=1,0 \text{ ლარი/კეტსო;}$$

ხედრითი ზარალი – ავარიულ რეკიმში სიხშირის მოსალოდნელი დაწვეის სიდიდის შემცირების მიწნით მომხმარებლის ავტომატური გამორთვის (საგ) გამო

$$Y_0=1,5 \cdot (1+\Delta P^*) \text{ ლარი/კეტსო;}$$

ხედრითი ზარალი – ავარიულ რეკიმში სიხშირის მკვეთრი დაწვეისა და სისტემის მუშაობის მდგრადობის დარღვევის თავიდან აცილების მიწნით დატვირთვის ავტომატური გამორთვის (დგსა-CAOH) გამო

$$Y_0 = 2,0 \cdot (1 + \Delta P') \text{ ლარი/კვტსთ.}$$

ბოლო გამოსახულებებში $\Delta P' = \Delta P / P$ მომხმარებელთან მიუწოდებელი სიმძლავრის ფარდობითი მნიშვნელობა. ΔP მიუწოდებელი სიმძლავრის აბსოლუტური მნიშვნელობა, P – მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი საპროექტო სიმძლავრე.

ხედარითი ზარალის ზემათ მოცემული დიფერენციაციის გათვალისწინებით მომხმარებელთან ენერგიის მიუწოდებლობით გამოწვეული ზარალის მათემატიკური მოლოდინი გამოითვლება ფორმულით

$$Y = Y_0 \cdot \Phi_{\text{მოუწ.}} \text{ ლარი}$$

$\Phi_{\text{მოუწ.}}$ – მიუწოდებელი ენერგიის მათემატიკური მოლოდინი, კვტსთ.

7.3. სისტემის მუშაობის საიმედოობის ნორმატივების შემუშავების მოთხოვნები

მომხმარებელთა ელექტრომომარაგების შეწყვეტა ან შესუსტება შესაძლებელია როგორც უშუალოდ დატვირთვის ცალკეული კვანძის ელექტრომომარაგების სქემაში მტკუნებით, ასევე ელექტროსისტემაში სიმძლავრის ან ენერგიის დეფიციტის გამო. ამ ბოლო შემთხვევას ადგილი აქვს ავარიულად გამოყოფილ დეფიციტურ სისტემაში ან მის ნაწილში. ასეთი სახის შემთხვევები, რომლებიც უშუალო კავშირშია ელექტროენერგიის წარმოება, გადაცემა და განაწილების პროცესთან, გათვალისწინებული უნდა იქნეს სისტემის მუშაობის საიმედოობის ნორმატივების შემუშავებისას.

რიგ სიტუაციებში, სისტემის მდგრადობის შენარჩუნების მიზნით, საჭირო ხდება ჰიდროგენერატორის გამორთვა ან ორთქლის ტურბინის განტვირთვა. აქედან გამომდინარე სისტემის მუშაობის საიმედოობის ნორმატივების შემუშავებისას, ასევე, გათვალისწინებული უნდა იქნეს ასეთი სახის იძულებითი ნაბიჯი.

მუშაობის საიმედოობის ნორმატივების შემუშავების კუთხით ელექტროენერგეტიკულ სისტემას განიხილავენ სხვადასხვა სტრუქტურულ დონეებად:

პირველი - 110 (220) კვ ძაბვის ქვესადურების 10 (6) კვ მეორეული ძაბვის შემკრები სალტებისა და ელექტროსადგურების საგენერატორო ძაბვის შემკრები სალტების ელექტრომომარაგების საიმედოობა. ამ სალტებიდან

ელექტროენერგიას იღებს მომხმარებლები, რომლებთანაც მიწოდებული ელექტროენერგიის ხარისხი უნდა იყოს მოქმედი ნორმატივებით განსაზღვრულ დასაშვებ ფარგლებში;

მეორე - 220 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის ქვესადგურების მეორეული ძაბვის სალტებისა და 110 (220) კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელის მკუთხავი ელექტროსადგურების შემკრები სალტების ელექტრომომარაგების საიმედოობა;

მესამე - სისტემაწარმოქმნელ ქსელში და სისტემათაშორის კავშირებზე ელექტროენერგიის გადაცემის საიმედოობა;

მეოთხე - დიდი სიმძლავრის ელექტროსადგურებიდან სისტემაში სიმძლავრის გაცემის საიმედოობა;

მეხუთე - დატვირთვის გრაფიკის დაფარვა სიმძლავრის მიხედვით;

მექექსე - დატვირთვის გრაფიკის დაფარვა ენერგიის მიხედვით;

მეშვიდე - სისტემის სიკოცხლის უზარიაზობის უზრუნველყოფა.

პირველ დონეზე განიხილავენ საიმედოობის ნორმატივის სამ ქვედონეს თითოეული ამ ქვედონესთვის დადგენილი უნდა იქნეს ელექტრომომარაგების იძულებითი შეწყვეტის ან შეზღუდვის სისშირე (კოეფიციენტი). I ქვედონე ითვალისწინებს მომხმარებელთა დარეზერვირებულ ორმხრივ

ელექტრომომარაგებას. II - დარეზერვირებულ ორჯაჭვო ელექტროგადაცემას. III - დაურეზერვირებულ ცალმხრივ ელექტროგადაცემას. ამასთან, III ქვედონეზე არ გამოირიცხება ელექტრომომარაგების შეწყვეტა ან შეზღუდვა, თუ სისტემაში სიმძლავრის ან ენერგიის დეფიციტის გამო საფრთხე ემუქრება საიმედოობის I და II ქვედონეების ელექტრომომარაგებას.

მეორე დონესთვის, ასევე, დადგენილი უნდა იქნეს ელექტრომომარაგების იძულებითი შეწყვეტის ან შეზღუდვის სისშირე (კოეფიციენტი). ამასთან, ეს მანევრებადი არ უნდა იყოს პირველი დონეს II ქვედონეს ანალოგიურ მანევრებადზე უფრო დაბალი.

მესამე დონესთვის ნორმირდება დეფიციტური სისტემის ან მისი დეფიციტური ნაწილის გამოყოფის სისშირე ორი ურთიერთ მარეზერვირებული ელექტროგადაცემის ხაზის ერთდროული გამორთვისას. ამასთან, დაზიანებული შიგა სასისტემო ან სისტემატაშორისი კავშირის გამორთვამ არ უნდა გამოიწვიოს სხვა დაზიანებულ შიგა სასისტემო ან სისტემატაშორის კავშირებზე მდგრადობის დარღვევა.

მეოთხე დონესთვის დადგინდება სადგურის მიერ სისტემაში გაცემის სიმძლავრის შემცირების დასაშვები ნორმა. როცა სადგურის სიმძლავრის გაცემის სქემის ელემენტს აკისრია

სისტემაწარმოქმნილი ან სისტემათასორისი კაეშირის ფუნქცია, მაშინ მასზე ერცვლდება მესამე დონესთვის დადგენილი ნორმა.

მეხუთე და მეექვსე დონეებისთვის, სისტემაში სიმძლავრის (ენერგიის) დეფისიტისას, ნორმირდება სადგურიდან სიმძლავრის (ენერგიის) მიუწოდებლობის კოეფიციენტი. ეს კოეფიციენტი განისაზღვრება როგორც მიუწოდებელი სიმძლავრის (ენერგიის) ფარდობა მოთხოვნილ სიმძლავრესთან (ენერგიასთან).

მეშვიდე დონესთვის, ელექტროსისტემაში ჯაბუური ხასიათის ავარიის შებთხევაში, ნორმირდება მსხვილი ენერგეტიკული რაიონის სრული ჩაქრობის დასაშვები სიხშირე. ამასთან კატასტროფული ხასიათის შედეგების გამომწვევი ავარია, პრაქტიკულად, უნდა გამოირიცხოს (აღბათობა მისი არ უნდა არემატებოდეს $10^{-6}-10^{-8}$ 1/წელი).

ელექტროენერგიის მიმწოდებელსა (ელექტროსისტემა, სადისტრიბუციო კომპანია) და მომხმარებელს შორის ურთიერთ ანგარიშსწორებისთვის დადგენილი უნდა იყოს ტარიფები ელექტროენერგიაზე, რომელიც გაითვალისწინებს მომხმარებლის ხარჯზე მიმწოდებლის პრემირებას ან მომხმარებლის სასარგებლოდ მიმწოდებლის დაჯარიმებას საიმედოობის ნორმატივების შესრულება ან არშესრულების შემთხვევაში. პრემირება/დაჯარიმების სისტემა იქნება ელექტროსისტემის (მანაწილებელი ელექტროქსელის) მუშაობის საიმედოობის მაჩვენებლების აჩაღლების სტიმული.

ელექტროსისტემის მუშაობის საიმედოობის ნორმატიული მაჩვენებლების დასაბუთებული შერწევისთვის ჩატარებული უნდა იქნეს სერისოული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები. მათ შორის:

- არსებული ელექტროენერგეტიკული სისტემის სქემის ანალიზი და სტრუქტურული დონეების დაზუსტება;
- მომხმარებლებთან ელექტროენერგიის მიუწოდებლობის შესახებ საექსპლუატაციო მონაცემთა შეგროვება და დამუშავება;
- სისტემის მუშაობის საიმედოობის მაჩვენებელთა დასადგენად ელექტროენერგეტიკული სისტემის ელემენტთა მუშაობის საიმედოობის მაჩვენებლების დაზუსტება;

ცალკეული სტრუქტურული დონეების საიმედოობის მაჩვენებელთა გაანგარიშების მეთოდების ანალიზი, დამუშავება-კორექტირება და გამოთვლების

ჩასატარებლად კომპიუტერული პროგრამის
(პროგრამების) შედგენა;

ცალკეული სტრუქტურული დონესთვის საიმედოობის
მანიევრებელთა დადგენა და მათი შედარება
საექსპლუატაციო მანიევრებლებთან;

ცალკეული სტრუქტურული დონესთვის საიმედოობის
მიზანშეწონილი (დადგენილი) ხარისხის ეკონომიკური
შეფასება;

ყველა სტრუქტურული დონესთვის საიმედოობის
მანიევრებელთა ნორმირება და ამ ნორმატივების
აპრობაცია ელექტროენერგეტიკული სისტემის არსებულ,
მშენებარე და საპროექტო ობიექტებზე;

არსებულ ელექტროსისტემაში საიმედოობის დადგენილი
ნორმატივების უზრუნველსაყოფად ორგანიზაციულ და
ტექნიკურ ღონისძიებათა შემუშავება.

7.4. მუშაობის საიმედოობის მახასიათებელი მაჩვენებლები

ელექტროენერგეტიკული სისტემების ელემენტთა უმრავლესობა
(საქებაზე დანადგარი, ტურბინა, გენერატორი, ტრანსფორმატორი,
საკომუტაციო აპარატურა და სხვ.) განეკუთვნება ადღგენით
ობიექტებს ანუ ექვემდებარებიან ადღგენას. ასეთი ობიექტების
საიმედოობის ძირითად მაჩვენებლებს წარმოადგენს მტყუნების
სიხშირე და ადღგენის ხანგრძლივობა.

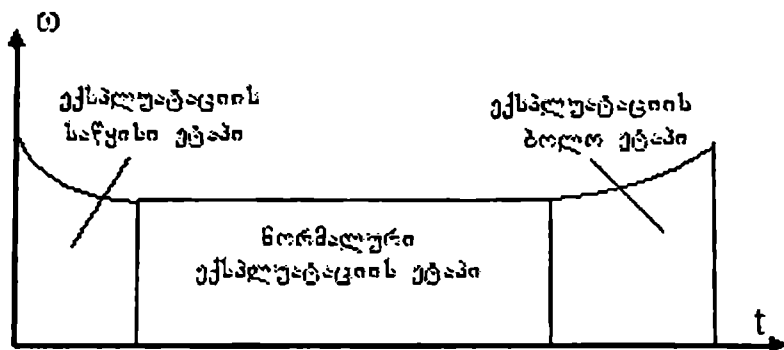
განიხილავენ მდგრად და არამდგრად მტყუნებას. მდგრადია
მტყუნება, როცა დაზიანებული ელემენტის აღსადგენად საჭიროა
მომსახურე პერსონალის ჩარევა. არამდგრადია მტყუნება, როცა ის
თავისთავად ან ავტომატურად აღმოიფხვრება. არამდგრად მტყუნებას
მიეკუთვნება საპაერო ხაზებზე გარდამავალი მოკლე შეროვა,
რომლის მიზეზით გამორთული ხაზი ადღგება ავტომატური
განმეორებითი ჩართვით. ასევე, მტყუნება შეიძლება იყოს
მოულოდნელი და არამოულოდნელი (დაგეგმილი). მოულოდნელია
მტყუნება, როცა ადგილი აქვს ობიექტის გამორთვას დაცვის
მოქმედებით. დაგეგმილი მტყუნება კი ნიშნავს ობიექტის გეგმის
ზევით გამორთვას იმ მიზეზით, რომელიც აღმოჩენილი იყო ამ
ობიექტის მიმდინარე დათვალიერებისას. დაგეგმილი მტყუნება ეს
არის მოულოდნელი მტყუნების გადმოტანა წევნთვის სასურველი
დროის მომენტისთვის.

მოულოდნელმა მტყეულებამ შეიძლება გამოიწვიოს დიდი შემოუთოებები და, მათ შორის, თუთ სისტემის მუშაობის მდგრადობის დარღვევაც კი. მაგალითად, რაიმე მიზეზით მძლავრი ენერგობლოკის (როცა ის მაქსიმალურადაა დატვირთული) გამორთვა იწვევს სისტემის გენერირებული სიმძლავრის ნახტომისებრ შემცირებას, რასაც მოყვება სხვა გენერატორების, შიგახასისტემო ან სისტემათაშორისი კავშირების გადატვირთვა. შედეგად შეიძლება აეარია კახკადურად (ჯაბკურად) განვითარდეს და სისტემის მდგრადობა დაირღვეს. თუ ამ ბლოკის საგარაუდო მტყეუების მიზეზი წინასწარ აღმოჩენილი იქნება, მაშინ ენერგოსისტემის დისპეტჩერთან შეთანხმებით დაიწყება ამ ბლოკის განტვირთვა ნულამდე და შესაძებ განტვირთული ენერგობლოკის გამორთვა. პრაქტიკულად, ელექტროსისტემაში რაიმე მნიშვნელოვან შემოუთობას ეერ გამოიწვევს, რადგანაც ამ შემთხვევაში სისტემის დისპეტჩერი განახორციელებს შესაბამის ღონისძიებას, რათა უზრუნველყოს სისტემის ნორმალური მუშაობა. კერძოდ, განხორციელდება გამოსართავი გენერატორის დატვირთვის თანდათანობითი გადაანაწილება სისტემის სხვა მომუშავე გენერატორებზე.

ობიექტის საიმედოობის ერთერთი მანუენებელია მტყუნების სიხშირე (ა), რომელიც წარმოადგენს მტყუნების რაოდენობას დროის საანგაროშო პერიოდში. როგორც წესი, საანგარიშო პერიოდად განიხილება ერთი წელი და, შესაბამისად, მტყუნების სიხშირის განზომილებაა 1/წელი. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ობიექტის შედარებით უფრო ჭეშმარიტი მნიშვნელობის მტყუნების სიხშირის დასადგენად მიზანშეწონილია ვისარგებლოდ მოცემულ ობიექტზე (ან მის იდენტურ ობიექტზე) მრავალწლიანი სტატისტიკური ინფორმაციით, რომლის საფუძველზე დაუადგენო მტყუნების საშუალო წლიურ სიხშირეს. ობიექტის მტყუნების სიხშირე ექსპლუატაციის პროცესში იცვლება. კერძოდ, ექსპლუატაციის საწყის ეტაპზე მტყუნების სიხშირე მაღალია, შემდგომ მცირდება და ბოლო ეტაპზე, როცა ობიექტი თითქმის ამოწურავს თავისი ქმედითუნარიანობის რესურს, მტყუნების სიხშირე ისევ იზრდება (ნახ.7.1).

მტყუნების სიხშირის რიცხვითი მნიშვნელობის დასადგენად მიზანშეწონილია განხილული იქნეს ობიექტის ნორმალური ექსპლუატაციის ეტაპი. ამ ეტაპზე აღებული სტატისტიკური ინფორმაცია ბევრად უფრო სტაბილური ხასიათისაა, ვიდრე ექსპლუატაციის საწყის ეტაპზე, როცა ხშირია დაზიანებები ჭარხნის ან მონტაჟის დეფექტების გამო. ასევე, გახშირებულია დაზიანებები ექსპლუატაციის ბოლო ეტაპზე მოცემული ობიექტის ცვეთის

მიზეზით.



ნახ.7.1.

ერთგვაროვანი (იდეალური) n რაოდენობის ელემენტები, რომლებიც იმყოფებიან ექსპლუატაციის ნორმალურ და იდეალურ პირობებში. საანგარიშო T პერიოდში მოულოდნელად შეიძლება გამოირთოს m -ჯერ, მაშინ მტყუნების სიხშირე, დაყვანილი ერთ წელზე, იქნება

$$\omega = \frac{m}{n \cdot T}, \text{ 1/წელი.}$$

უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტროგადაცემის ხაზებისთვის n -ის ქვეშ შეიძლება ვიგულისხმოთ ამ ხაზების ჯამური სიგრძე, მაშინ მტყუნების სიხშირის განზომილებაა 1/კმ.წელი.

ობიექტის მოულოდნელი მტყუნება შემთხვევითი მოუღენაა. ამიტომ m რიცხვიც შემთხვევითია და, შესაბამისად, მტყუნების სიხშირე ω შემთხვევითი სიდიდეა. აქედან გამომდინარე, მიზანშეწონილია შეფასებული იქნეს მტყუნების სიხშირის დადგენილი სიდიდის საანდოობა ანუ განისაზღვროს ე.წ. საანდოობის საზღვრები, რომლის ფარგლებშიც იმყოფება მოცემული ტიპის ობიექტის (ელემენტის) მტყუნების სიხშირის ნამდვილი მნიშვნელობა.

საანდოობის საზღვრები შეიძლება დადგენილი იქნეს გარკვეული ალბათობით, რომელსაც საანდოობის ალბათობას ანუ ნდობის კოეფიციენტს (α) უწოდებენ. ეს უკანასკნელი იცვლება 0,8 - 1,0 ფარგლებში იმისდა მიხედვით, თუ როგორია კელევის მიზანი და საშუალებანი. პრაქტიკა გეიჩენებს, რომ ნდობის კოეფიციენტი საკმარისია აღებული იქნეს 0,90 $\pm$ 0,95-ის ფარგლებში.

საანდოობის საზღვრების საანგარიშო გამოსახულებებია:

ქვედა საზღვარი $\omega_1 = \frac{\omega}{r_1}$ ზედა საზღვარი $\omega_2 = \frac{\omega}{r_2}$.

აქ r_1 და r_2 კოეფიციენტები, რომლებიც აიღება ცხრილიდან ნდობის კოეფიციენტის (α) და მტყუნების საერთო რიცხვის (m) მიხედვით (ცხრ.7.1).

დაეუშვათ, რომ $n=100$ ელემენტი $T=10$ წელში ავარიულად (მოულოდნელად) გამოირთო $m=30$ -ჯერ, მტყუნების სიხშირე

$$\omega = \frac{30}{100 \cdot 10} = 0,03 \text{ 1/წელი.}$$

ზღერები, რომლის ფარგლებშიც იმყოფება ამ მაჩვენებლის ნამდვილი მნიშვნელობა, $\alpha=0,9$ ნდობის კოეფიციენტისას, შეადგენს:

$$\omega_1 = \frac{0,03}{1,29} = 0,023 \quad \text{და} \quad \omega_2 = \frac{0,03}{0,78} = 0,038.$$

ცხრ.7.1.

α	m	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30
0,90	r_1	9,50	3,77	2,73	2,29	2,05	1,90	0,72	1,61	1,37	1,29
	r_2	0,26	0,38	0,45	0,50	0,54	0,57	0,62	0,65	0,74	0,78
0,95	r_1	19,5	5,63	3,66	2,93	2,54	2,29	2,01	1,83	1,51	1,39
	r_2	0,21	0,32	0,39	0,44	0,48	0,51	0,55	0,59	0,69	0,74

ცხრ.7.1. (გაგრძელება)

α	m	40	50	60	80	100	150	200	300	500	1000
0,90	r_1	1,24	1,21	1,19	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,05
	r_2	0,81	0,83	0,84	0,86	0,88	0,90	0,91	0,93	0,94	0,96
0,95	r_1	1,32	1,28	1,25	1,21	1,19	1,15	1,13	1,10	1,08	1,06
	r_2	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,94

საიმედოობის მეორე მაჩვენებელი – აღდგენის ხანგრძლივობა – ეს არის ერთი მტყუნების მოძიებისა და აღმოფხვრის, ანუ იძულებითი დგომის საშუალო ხანგრძლივობა. თუ m მტყუნების მოძიებასა და აღმოფხვრაზე დაიხარჯა $t_1, t_2, t_3, \dots, t_m$ საათი, მაშინ ერთი მტყუნების აარდგენის ხანგრძლივობა

$$T_{\text{აღდ.}} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{m=1}^m t_i$$

ელექტროენერგეტიკული სისტემების მუშაობის საიმედოობის ხარისხის შეფასებისთვის გამოიყენებენ ელემენტთა მუშაობის

საიმედოობის სხვადასხვა სახის დამატებით მანქანებებს. მათ რიცხვს მიეკუთვნება:

- მტყუნებათაშორისი მუშაობის ხანგრძლივობა. ეს არის მუშაობის ხანგრძლივობა ორ მომდევნო მტყუნებას შორის

$$T_{\text{მუშ}} = \frac{8760}{\omega};$$

მზადყოფნის კოეფიციენტი. ეს არის ალბათობა იმისა, რომ ელემენტი ორ მომდევნო გეგმიურ რემონტთა შუალედში მუშაობათვის მზადყოფნაშია

$$K_{\text{მზდ.}} = \frac{T_{\text{მუშ}}}{T_{\text{მუშ}} + T_{\text{აღდ.}}}$$

იძულებითი (ავარიული) დგომის კოეფიციენტი. ეს არის ალბათობა იმისა, რომ ელემენტი ორ მომდევნო გეგმიურ რემონტთა შუალედში არამუშაობისუნარიანია

$$K_{\text{იდ}} = K_{\text{ავარ.}} = 1 - K_{\text{მზდ.}}$$

იძულებითი დგომის კოეფიციენტი შეიძლება გამოთვალოთ საიმედოობის ძირითადი მანქანებლებითაც

$$K_{\text{ავარ.}} = \frac{T_{\text{აღდ.}}}{T_{\text{მუშ}} + T_{\text{აღდ.}}}$$

(აქ $K_{\text{ავარ.}}$ იგივეა, რაც ავარიული ამორთვის ალბათობა $q_{\text{ავარ.}}$).

მაგალითი. განესაზღვროთ 100 კმ სიგრძის 220 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის მუშაობის საიმედოობის მანქანებლები თუ ის, სტატისტიკური მონაცემების თანახმად, 5 წლის განმავლობაში ავარიულად გამოირთო 3-ჯერ და თითოეული გამორთვის მოძიებასა და აღდგენაზე დაიხარჯა: 15, 32 და 20 სთ.

ამ სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით ვღებულობთ: მტყუნების სიხშირე

$$\omega = \frac{3}{1 \cdot 5} = 0,6 \text{ 1/წელი}$$

ანუ ხაზის 1 კმ სიგრძეზე მტყუნების სიხშირე

$$\omega_0 = \frac{\omega}{l} = 0,006 \text{ 1/კმ} \cdot \text{წელი.}$$

მტყუნების სიხშირის სანდოობის ზღვრები ($\alpha=0,95$)

$$\omega_{0,1} = \frac{0,006}{3,66} = 0,00164 \quad \text{და} \quad \omega_{0,2} = \frac{0,006}{0,39} = 0,01538$$

აღდგენის ხანგრძლივობა

$$T_{\text{აღდ.}} = \frac{1}{3} \cdot (15+32+20) = 22,33 \text{ სთ.}$$

მტყუნებათაშორისი მუშაობის ხანგრძლივობა

$$T_{\text{გუშ.}} = \frac{8760}{\omega} = \frac{8760}{0,6} = 14600 \text{ სთ.}$$

მზადყოფნის კოეფიციენტი

$$K_{\text{მზად.}} = \frac{14600}{14600+22,33} = 0,9985$$

იძულებითი (აგარიული) დგომის კოეფიციენტი

$$K_{\text{იძ.}} = K_{\text{გარ.}} = 1 - K_{\text{მზად.}} = 1 - 0,9985 = 0,0015.$$

7.5. გეგმიური რემონტების მაჩვენებლები

ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების თანახმად ენერგოსისტემის ნებისმიერი ელემენტი ექვემდებარება კაპიტალურ და მიმდინარე რემონტს. ელექტროენერგეტიკული სისტემების მუშაობის საიმედოობის შეფასებისას, გარდა ამა თუ ელემენტის მუშაობის საიმედოობის მანიევრებლებისა, გათვალისწინებული უნდა იქნეს აგრეთვე ამ ელემენტის გეგმიური რემონტების მანიევრებლებიც. ეს აუცილებლობას წარმოადგენს იმ მიზეზით, რომ რომელიმე ელემენტის აგარიულმა მტყუნებამ შეიძლება გამოიწვიოს მძიმე შედეგები თუ კი ამ დროს გეგმიურ შეკეთებაშია (რემონტში იმყოფება) მეორე ელემენტი. ელემენტის გეგმიური რემონტების მანიევრებლებს წარმოადგენს ელემენტის გეგმიური რემონტების სიხშირე μ , N წელი და რემონტის ჩატარების ხანგრძლივობა $T_{\text{გეგმ.რემ.}}$ სთ.

გეგმიური რემონტების სიხშირის შებრუნებული სიდიდე წარმოადგენს გეგმიურ რემონტთაშორის ხანგრძლივობას ანუ გეგმიური მზადყოფნის ხანგრძლივობას

$$T_{\text{გეგმ.ზად.}} = \frac{1}{\mu} \cdot 8760, \text{ სთ.}$$

შესაბამისად, გეგმიური მზადყოფნის კოეფიციენტი (ალბათობა) შეადგენს

$$K_{\text{გეგმ.ზად.}} = \frac{T_{\text{გეგმ.ზად.}}}{T_{\text{გეგმ.ზად.}} + T_{\text{გეგმ.რემ.}}}$$

ანუ

$$K_{\text{გეგმ.მზად}} = \frac{8760}{8760 + \mu \cdot T_{\text{გეგმ.რემ}}}$$

აქედან გამომდინარე, გეგმიური მოცდენის კოეფიციენტი

$$K_{\text{გეგმ.მზად}} = 1 - K_{\text{გეგმ.რემ}}$$

ანუ

$$K_{\text{გეგმ.მოცდ}} = \frac{\mu \cdot T_{\text{გეგმ.რემ}}}{8760 + \mu \cdot T_{\text{გეგმ.რემ}}}$$

(აქ $K_{\text{გეგმ.რემ}}$ იგივეა, რაც გეგმიური ამორთეის ალბათობა $q_{\text{გეგმ}}$).

ენერგოსისტემის ნებისმიერი ელემენტის რემონტში ჩაყენება უნდა მოხდეს ისე, რომ ამ ელემენტის გამორთვით არ შემცირდეს მომხმარებელთა ელექტრომომარაგების საიმედოობა ან მისი შემცირება იყოს მინიმალური. მაგალითად ელექტროსადგურის მაგენერირებელი აგრეგატის რემონტში ჩაყენება ძირითადად ხორციელდება ზაფხულის პერიოდში, როცა სისტემის დატვირთვა მნიშვნელოვნად შემცირებულია ანუ, როცა დატვირთვის გრაფიკში გამოჩნდა ე.წ. სარემონტო ფართი. ასევე, თუ ქსელის რომელიმე ელემენტი აუარიულად დაზიანებულია და გამორთულია, მაშინ მისი მარეზერვირებელი მეორე ელემენტის გეგმიური რემონტი უნდა გადაიდოს დაზიანებული ელემენტის აღდგენამდე და ექსპლუატაციაში შეყვანამდე. ელექტრომომარაგების საიმედოობაზე გეგმიური რემონტების გაელენის შეფასებისას, სწორედ, შემოთაღნიშნული და მისმაგვარი გარემოებანი უნდა იქნეს გათვალისწინებული.

მაგალითი. ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების თანახმად ენერგოსისტემის მოცემულ ელემენტს სამ წელიწადში ერთხელ უტარდება რემონტი $\mu = \frac{1}{3} = 0.333$ 1/წელი. რემონტის ხანგრძლივობა შეადგენს $T_{\text{გეგმ.რემ}} = 80$ სთ.

ამ მონაცემების მიხედვით, გვაქვს:

გეგმიურ რემონტთაშორისი (გეგმიური მზადყოფნის) ხანგრძლივობა

$$T_{\text{გეგმ.მზად}} = \frac{1}{\mu} \cdot 8760 = \frac{8760}{0.333} = 26280 \text{ სთ};$$

გეგმიური მზადყოფნის კოეფიციენტი (ალბათობა)

$$K_{\text{გეგმ.მზად}} = \frac{T_{\text{გეგმ.მზად}}}{T_{\text{გეგმ.მზად}} + T_{\text{გეგმ.რემ}}} = \frac{26280}{26280 + 80} = 0.997;$$

გეგმიური მოცდენის კოეფიციენტი

$$K_{\text{გეგმიური}} = 1 - K_{\text{გეგმვა}} = 1 - 0,997 = 0,003.$$

7.6. ელექტრული ქსელის ელემენტების აეარიული და გეგმიური ამორთვების სტატისტიკა

ელექტრული ქსელის მოწყობილობა-დანადგარების მუშაობის საიმედოობის დონის ამაღლების მიზნით პერიოდულად ტარდება მათი პროფილაქტიკური შემოწმება, მიმდინარე და კაპიტალური რემონტი. ეს პროცედურები მოითხოვს მოცემული დანადგარის მუშაობიდან გამოყენას ანუ გამორთვას, რომელიც ხორციელდება წინასწარ შედგენილი გრაფიკის (გეგმის) მიხედვით. ამიტომ ასეთი სახის გამორთვებს დანადგარის გეგმიურ გამორთვებს უწოდებენ.

დანადგარ-მოწყობილობების გეგმიური გამორთვები ტარდება წლის იმ პერიოდებში, როცა ამ დანადგარის გამორთვით ელექტროსისტემაში რაიმე სახის პრობლემა არ წარმოექმნება. ასე მაგალითად, გაზაფხული სპერიოდში, როცა სისტემის დატვირთვა შედარებით შემცირებულია და მდინარეებში აღინიშნება წყალუხვობა, შესაძლებელია გეგმიურ რემონტში გაეყვანოთ თბოაგრეგატი თბოსადგურზე. ასევე, წყალმცირობის პერიოდში მისაღებია ამა თუ იმ პიდროსადგურის პიდროაგრეგატის გეგმიურ რემონტში ჩაყენება, რადგანაც დანარჩენ აგრეგატებს თავისუფლად შეუძლიათ აითვისონ მდინარეში წყლის სრული ხარჯი.

მიუხედავად ჩატარებული პროფილაქტიკური და გეგმიური სარემონტო სამუშაოებისა, ელექტრული ქსელის ნებისმიერი ელემენტი ექსპლუატაციის პროცესში მაინც შეიძლება დაზიანდეს და მოულოდნელად გამოირთოს. ასეთ გამორთვებს აეარიულ გამორთვებს უწოდებენ. აეარიული გამორთვების მიზეზი შეიძლება იყოს: სტიქიური მოვლენა (მეხის დაცემის გამო იზოლატორის გადაფარვა, ძლიერი ქარის დროს სადენის გაწყვეტა და სხვ.); არასწორი ექსპლუატაციის მიზეზით დანადგარში უწყისეობის წარმოქმნა: მორიგე პერსონალის შემთხვევითი არასწორი მოქმედება; მოკლე შერთვა ქსელში და ა.შ.

აეარიულად ამორთული ელემენტის მუშაობაში ჩართვა მოხდება ამორთვის მიზეზის დადგენისა და დადგენილი დაზიანების (უწყისეობის) აღმოფხვრის, ანუ აეარიული რემონტის, შემდეგ. აეარიული რემონტის ხანგრძლივობა მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული. კერძოდ, ელემენტის გვარობა; დაზიანების სახე და ხარისხი; რემონტის პერსონალის კვალიფიკაცია; შესაბამისი სათანადო ნაწილებითა და ტექნიკით უზრუნველყოფის დონე;

წლის პერიოდი და ა.შ. ამ ფაქტორების გათვალისწინებით დაზიანებული ელემენტის მუშაობაში შეყვანის ხანგრძლივობა (აღარიული რემონტი ხანგრძლივობა) შეიძლება რამდენიმე საათიდან რამდენიმე დღემდე გაგრძელდეს.

ქსელის ელემენტის გეგმიური რემონტის დრო და ხანგრძლივობა წინასწარ საკმარისად მაღალი სიზუსტითაა ცნობილი, ხოლო ავარიული ამორთვები შემთხვევითი მოვლენაა და, აქედან გამომდინარე, ავარიული ამორთვების გამო მომსმარებელთან ელექტროენერგიის მიწოდების შეწყვეტის ხანგრძლივობის განსაზღვრის მათემატიკური მოდელის ფორმირება ეყრდნობა ალბათობის თეორიის კანონებს და საკმარისად რთულ ამოცანას წარმოადგენს.

ექსპლუატაციის პროცესში დაგროვილი სტატისტიკური მასალების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა შეფასებულიყო ქსელის ამა თუ იმ ელემენტის ავარიული მტკუნების (ავარიული ამორთვის) საშუალო სიხშირე λ და ავარიული და გეგმიური რემონტების ჩატარების საშუალო ხანგრძლივობა (ცხრ.დ.10).

ავარიულ ამორთვათა სიხშირისა λ და ერთი ავარიული მოცდენის ხანგრძლივობის $t_{ავარ.}$ მიხედვით შეგვიძლია დავადგინოთ ქსელის ელემენტის ავარიული მოცდენის ხანგრძლივობა წლის განმავლობაში:

- ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორებისთვის და, აგრეთვე, ღია მანაწილებელი მოწყობილობის მინაერთისთვის

$$T_{ავარ.} = \lambda \cdot t_{ავარ.}$$

ელექტროგადაცემის ხაზებისთვის

$$T_{ავარ.} = \lambda \cdot L \cdot t_{ავარ.}$$

აქ L - ელექტროგადაცემის ხაზის სიგრძე, კმ.

$T_{ავარ.}$ -ის მიხედვით დავადგენთ მოცემული ელემენტის ავარიული მოცდენის ალბათობას

$$K_{ავარ.} = \frac{T_{ავარ.}}{T} = \frac{T_{ავარ.}}{8760}$$

მაგალითი 1. გამოთვალეთ 220 კვ მაღალი ძაბვის ტრანსფორმატორის მზადყოფნის კოეფიციენტი.

ცხრ.დ.10-ის მიხედვით $\omega_{\text{ავრ.}}=0,025$ 1/წელი, $t_{\text{ავრ.}}=90$ სთ, $T_{\text{ავგ.}}=30$ სთ. აქედან გამოიმდინარე, $T_{\text{ავრ.}}=0,025 \cdot 90=2,25$ სთ და, შესაბამისად, ტრანს-ფორმატორის იძულებითი დგომის ხანგრძლივობა $T_{\text{ოდ.}}=2,25+30=32,25$ სთ. ამრიგად, იძულებითი მოცდენის კოეფიციენტი $K_{\text{ოდ.}}=\frac{32,25}{8760}=3,682 \cdot 10^{-3}$.

შესაბამისად, მოცემული ტრანსფორმატორის მზადყოფნის კოეფიციენტი

$$K_{\text{მზად.}}=1-K_{\text{ოდ.}}=0,9963=99,63\%.$$

მაგალითი 2. გამოეთვალათ $L=100$ კმ სიგრძის 220 კე მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის მზადყოფნის კოეფიციენტი.

ცხრ.დ.10-ის მიხედვით $\omega_{\text{ავრ.}}=0,008$ 1/წელი, $t_{\text{ავ.}}=10$ სთ, $T_{\text{ავგ.}}=85$ სთ. აქედან გამოიმდინარე, $T_{\text{ავრ.}}=0,008 \cdot 100 \cdot 10=8$ სთ და, შესაბამისად, ხაზის იძულებითი დგომის ხანგრძლივობა $T_{\text{ოდ.}}=8+85=93$ სთ. ამრიგად, იძულებითი მოცდენის კოეფიციენტი

$$K_{\text{ოდ.}}=\frac{93}{8760}=10,616 \cdot 10^{-3}.$$

შესაბამისად, მოცემული ელექტროგადაცემის ხაზის მზადყოფნის კოეფიციენტი

$$K_{\text{მზად.}}=1-K_{\text{ოდ.}}=0,9894=98,94\%.$$

7.7. მომხმარებელთან ენერგიის მიწოდების შეწყვეტით გამოწვეული ზარალის შეფასება

მომხმარებელთან ელექტრული ენერგიის მიწოდების შეწყვეტისას ადგილი აქვს ტექნიკურ-ეკონომიკურ ზარალს, რომლის სიდიდე და ხასიათი დამოკიდებულია თვითონ მომხმარებლის გეარობაზე და ენერგიის შეწყვეტის ხანგრძლივობაზე. ზარალი, ზოგადად, შეიძლება იყოს პირდაპირი და არაპირდაპირი. პირდაპირი ზარალის ქვეშ იგულისხმება: მოცდენილი მუშახელის ხელფასი, ნედლეულის დაზიანებით ან წარმოებული პროდუქციის წუნით გამოწვეული დამატებითი ხარჯები, დანადგარის დაზიანებით გამოწვეული დამატებითი ხარჯები (დაზიანების აღმოფხვრის ხარჯები), ტექნოლოგიური პროცესის აღდგენა-აწყობასთან დაკავშირებული ხარჯები და სხვა. არაპირდაპირი ზარალი ითვალისწინებს საწარმოო დავალების შესრულებლობით გამოწვეულ ზარალს ან დავალების შესრულების მიზნით მუშახელის დამატებით საათებში დასაქმების ანაზღაურებას.

ელექტრომომარაგების შეწყვეტით გამოწვეული ზარალი გაანგარიშებული უნდა იქნეს ყოველი კონკრეტული მომხმარებ-

ღისთვის ცალცალკე, მაგრამ ქსელის პროექტირებისას, ელექტრო-მოძარაგების საიმედოობის ხარისხის შეფასებისთვის, სარგებლობენ გასაშუალოებული ეკონომიკური მაჩვენებლებით. ასეთი მიდგომა სამართლიანია, რადგანაც ქსელის მოცემულ კვანძში მიერთებულია სხვადასხვა სახის მომხმარებლები, რომლებთანაც ელექტრომომარაგების შეწყვეტით გამოწვეული ტექნიკო-ეკონომიკური ზარალის ზუსტი გამოთვლა თითოეული მომხმარებლისთვის, პრაქტიკულად, შეუძლებელია. ზარალის შეფასების ასეთი მიდგომისას სარგებლობენ საშუალო ხვედრითი ზარალის ცნებით Y_0 ლარი/კვტსთ, რომელიც გვინებებს მომხმარებელთან 1 კვტსთ ელექტროენერგიის მიუწოდებლობით გამოწვეული ზარალს ფულად ერთეულებში.

ხვედრითი ზარალის რიცხვითი მნიშვნელობა დაკავშირებულია, ერთი მხრივ, მოცემული მომხმარებლის მიერ შესასყიდი ენერგიის ტარიფზე და, მეორე მხრივ, იმ მიზნულზე, რამაც გამოიწვია ელექტროენერგიის მიუწოდებლობა ან მისი ხარისხის გაუარესება.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, რეკომენდირებულია ხვედრითი ზარალის შემდეგი დაყოფა (რიცხვითი მნიშვნელობები მიახლოებითაა და მოითხოვს დასუსტებას):

- ხვედრითი ზარალი – გამოწვეული სიხშირის პერიოდული შემცირებით მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში

$$Y_0 = 0.4 \text{ ლარი/კვტსთ;}$$

ხვედრითი ზარალი – მომხმარებლის ხანმოკლე შეზღუდვის გარეშე, რაც შეიძლება გამოწვეული იქნეს სარემონტო სამუშაოების ჩატარებისას ან ავარიის შემდგომ რეჟიმში პარალელური მუშაობის აღდგენითი პროცესის წარმოებისას

$$Y_0 = 1.0 \text{ ლარი/კვტსთ;}$$

ხვედრითი ზარალი – ავარიის შემდგომ ხანმოკლე რეჟიმში შემცირებული სიხშირის გამო

$$Y_0 = 1.0 \text{ ლარი/კვტსთ;}$$

ხვედრითი ზარალი – ავარიულ რეჟიმში სიხშირის მოსალოდნელი დაწვეის შეზღუდვის მიზნით მომხმარებლის გამორთვის გამო

$$Y_0 = 1.5 \cdot (1 + \Delta P^*) \text{ ლარი/კვტსთ;}$$

ხვედრითი ზარალი – ავარიულ რეჟიმში სიხშირის მოსალოდნელი დაწვეის შეზღუდვის მიზნით მომხმარებლის გამორთვის გამო

$$Y_0 = 2.0 \cdot (1 + \Delta P^*) \text{ ლარი/კვტსთ.}$$

ბოლო გამოსახელებებში $\Delta P^* = \Delta P / P$ მომხმარებელთან მიეწოდებული სიმძლავრის ფარდობითი მნიშვნელობა. თავის მხრივ ΔP მიეწოდებული სიმძლავრე და P მომხმარებლის საპროექტო სიმძლავრე.

ხეკდრითი ზარალის მიხედვით გამოითვლება მომხმარებელთან ენერგიის მიეწოდებლობით გამოწვეული ზარალი

$$Y = Y_0 \cdot W_{\text{ზ.ფ.}} \text{ არი/წედო}$$

სადაც $W_{\text{ზ.ფ.}}$ - მიეწოდებული ელექტროენერგია საანგარიში პერიოდში, რომლის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:

- როცა ელექტროენერგია შეწყდება მთლიანად

$$W_{\text{ზ.ფ.}} = q_{\text{ა.}} \cdot P_{\text{ზ.ფ.}} \cdot T_{\text{ზ.ფ.}}$$

როცა ელექტროენერგიის მიწოდება შეიზღუდება ნაწილობრივ

$$W_{\text{ზ.ფ.}} = q_{\text{ა.}} \cdot P_{\text{ზ.ფ.}} \cdot T_{\text{ზ.ფ.}}$$

ამ გამოსახელებებში:

$q_{\text{ა.}}$ - ავარიული დგომის აღბათობა;

$P_{\text{ზ.ფ.}}$ - მომხმარებლის მაქსიმალური დატვირთვა;

$T_{\text{ზ.ფ.}}$ - მაქსიმალური დატვირთვის გამოყენების ხანგრძლივობა;

$P_{\text{ზ.ფ.}}$ - სიმძლავრე, რომელიც არ მიეწოდება მომხმარებელს ნაწილობრივი შეზღუდვის მიხედვით;

$T_{\text{ზ.ფ.}}$ - ავარიული დგომის ხანგრძლივობა.

თავი 8. ელექტრული ქსელების პროექტირების ელემენტები

8.1. შესავალი

ელექტრული ქსელის განვითარების პროექტი სრულდება იერარქიული პრინციპით. იერარქიის ცალკეულ დონეზე შევეთრად გამოკვეთილია ამა თუ იმ სახის ამოცანა. როგორც ახალი ელექტრული ქსელის აგებას, ასევე არსებულის რეკონსტრუქცია-განვითარებას ყოველთვის წინ უსწრებს შესაბამისი საპროექტო სამუშაოები.

პროექტირებისას შეირჩევა დასმული ამოცანის გადაწყვეტის ყველაზე უფრო რაციონალური გზა. კერძოდ, დადგინდება ქსელის ყველაზე უფრო მიზანშეწონილი კონფიგურაცია, ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვები და სადენთა განიკვეთები. ასევე, გრანსფორმატორების რიცხვი და სიმძლავრე ქვესადგურებზე და ელექტროსადგურებზე, განისაზღვრება რეაქტიული სიმძლავრის დამატებითი წყაროების ეკონომიკურად მიზანშეწონილი სიმძლავრე და მათი დაყენების რაციონალური ადგილები, დადგინდება ქსელში ძაბვის რეგულირების ტექნიკურ საშუალებათა სახეები და ა.შ.

ელექტრული ქსელების პროექტირების ერთერთ მნიშვნელოვან შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს ელექტროგადაცემის საშვებისა და ქვესადგურების კონსტრუქციული (მექანიკური) ნაწილი. კერძოდ, ხაზის გრასის გეოლოგიური შესწავლა-ანალიზი და გრასაზე საყრდენების დაყენების ადგილების შერჩევა, სადენთა გაანგარიშება მექანიკურ სიმტკიცეზე, ქვესადგურების გაფართოება და მასთან დაკავშირებული სარეკონსტრუქციო სამუშაოები, ახალი ქვესადგურებისთვის სამშენებლო მოედნების შესწავლა-შერჩევა და ძალოვან დანადგარ-მოწყობილობათა განლაგების ადგილების დადგენა და ა.შ.

საპროექტო ამოცანის რაციონალური გადაწყვეტილების შეფასების კრიტერიუმად გამოიყენება დაყვანილი ხარჯები, რომელიც წარმოადგენს ერთ წელზე დაყვანილ კაპიტალური და საექსპლუატაციო ხარჯების ჯამს. დაყვანილი ხარჯები დისკრეტულად ცვლადი მრავალი პარამეტრის (ნომინალური ძაბვის საფეხური, ხაზის წრედების (ჯაჭვთა) რიცხვი, სადენის განივი კვეთი, გრანსფორმატორების რიცხვი და ნომინალური სიმძლავრე და ა. შ.) ფუნქციაა. აქედან გამომდინარე, პროექტირებისას განიხილავენ ტექნიკურად მისაღებ რამდენიმე ვარიანტს, რომელთა დეტალური ანალიზის საფუძველზე შეირჩევენ მათგან უფრო ეკონომიკურს (საუკეთესოს).

ქსელების განვითარების პროექტირებისას, ამოცანის შინაარსიდან გამომდინარე, სრულდება შემდეგი სახის ამოცანები:

- განსასილველი ენერგოსისტემის (ან მისი ცალკეული საქსელო რაიონის, სამრეწველო კენაბის და ა. შ.) არსებული ქსელის ანალიზი, რაც ითვალისწინებს ამ ქსელის ცალკეული ელემენტის დაგეირთულობის ღონის, ძაბვის რეგულირების პირობების, სუსტი ადგილების და სხვა პრობლემების გამოვლენას;

პერსპექტივის გათვალისწინებით მომხმარებელთა ელექტრული დაგეირთვების განსაზღვრა და ცალკეული ქვესადგურებისა და ენერგოკენაბების მიხედვით აქტიური სიმძლავრის საპროგნოზო ბალანსის შედგენა. ახალი ქვესადგურების აგების დასაბუთება;

ელექტროსადგურების მუშაობის საანგარიშო რეჟიმების შერჩევა და დასაპროექტებელი ქსელის დაგეირთულობის განსაზღვრა;

ქსელის მუშაობის სხვადასხვა სახასიათო რეჟიმების გაანგარიშება და განსასილველ საანგარიშო ეტაპზე მისი განვითარების დასაბუთება;

ელექტროსადგურების პარალელური მუშაობის სტატიკური და დინამიკური მდგრადობის შემოწმებითი ანალიზი და აუარიის საწინააღმდეგო სასისტემო ავტომატიკისადმი ძირითადი მოთხოვნების გამოვლენა (სრულდება მხოლოდ მძლავრი ენერგოსისტემის ან ენერგოგაერთიანების ღონეზე პროექტირებისას);

რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის შედგენა და ქსელში ძაბვის რეგულირების პირობების გამოვლენა;

მოკლე შერთვის ღენების გაანგარიშება და საკომუტაციო აპარატურის გამორთვის უნარიანობისადმი მოთხოვნების დადგენა. წინადადებათა შემუშავება მოკლე შერთვის ღენების შესაზღუდად;

35 კვ და უფრო დაბალი ძაბვის ქსელებში გვეადური ღენების საკომუტაციოდ რეალქრობი რეაქტორების სიმძლავრისა და დაყენების ადგილის შერჩევა-დასაბუთება;

გარდა აღნიშნულის, პროექტირების პროცესში განიხილება ისეთი მნიშვნელოვანი საკითხები როგორიცაა: აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირება; რელეური დაცვისა და ავტომატიკის სქემების დამუშავება; საზების საყრდენებისა და ქვესადგურის ჩამოწების მოწყობა; ქვესადგურებისა და საზების შეხდაცვა; გადამეტაბების საკითხები და სხვ.

82. ელექტრომოხმარების პროგნოზირება

ელექტრული ქსელის პროექტირების საწყის ეტაპს ინფორმაციის შეგროვების პროცესი წარმოადგენს. გადაწყვეტილების მიღების პროცესი ფაქტიურად ინფორმაციის გადამუშავების და ანალიზის პროცესია. აქედან გამომდინარე, საუკეთესო გადაწყვეტილების მიღება მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ინფორმაციის ხარისხზე. კერძოდ, მის ჰუმანიტარობაზე, არსებითობაზე, საკმარისობასა და დროულობაზე.

ჰუმანიტარობა ინფორმაციის ცდომილების ხარისხის გამოხატველი მაჩვენებელია. ამ ნიშნით ინფორმაცია შეიძლება იყოს დეტერმინირებული, ალბათური და არასაკმარისად განსაზღვრული.

ინფორმაციის არსებითობა დამოკიდებულია ამოცანის გვარობაზე. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ზოადად მოპოვებული ინფორმაციის მხოლოდ შედარებით მცირე ნაწილი ახდენს გარკვეულ გაელენას ამოცანის ამონახსნზე, ანუ ინფორმაციის შედარებით მცირე ნაწილია არსებითი. ინფორმაციის მთელი სომრავლიდან არსებითი ინფორმაციის გამოყოფა რთულია. ღვი ყრდნობა ინფორმაციის ანალიზსა და გადაწყვეტილების მიღები პირის გამოცდილებასა და ინტუიციას.

ინფორმაციის არასაკმარისობა არ გეაძლეეს დასაბუთებული ამონახსნის მიღების საშუალებას, ხოლო ჭარბი ინფორმაცია აძნელებს გადაწყვეტილების მიმღები პირის მოქმედებას. თუმცა, სტატისტიკური დამუშავების პროცესში ჭარბი ინფორმაცია სასარგებლოა.

ინფორმაციის დროულობას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რადგანაც დაგვიანებული ინფორმაცია, პრაქტიკულად, ძალადაკარგულია.

მნიშვნელოვან საწყის ინფორმაციას, რომელიც ფაქტიურად განსაზღვრავს სისტემის (ქსელის) განვითარების საპროექტო გადაწყვეტილებათა ხარისხს, წარმოადგენს საანგარიშო ეტაპისთვის ელექტროენერგიის და ელექტრული დატვირთვების შესახებ ინფორმაცია.

სისტემის პერსპექტიული განვითარების დაგეგმვისთვის პირველ რიგში შეფასებული უნდა იქნეს, როგორც ქვეყნის შიგა მოთხოვნილება ელექტროენერგიაზე, ასევე, მეზობელი ქვეყნების ენერგოსისტემებში ელექტროენერგიის ექსპორტ-იმპორტის მოსალოდნელი მოცულობა.

ელექტრომოხმარების პროგნოზირება და პერსპექტიული დატვირთვების განსაზღვრა საკმარისად რთულია. იგი შეიძლება ჩატარდეს სხვადასხვა მეთოდით. მათ შორის გამოყოფენ: პიდაპირი გაანგარიშების, ხედრითი დატვირთვის, ექსტრაპოლიაციის, ექსპერტიზის და სხვა.

პირდაპირი გაანგარიშების მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნეს იმ შემთხვევაში, როცა ცნობილია ქვეყნის ცალკეული დარგების განვითარების პერსპექტივა, მეტნაკლებად ცნობილია ამ დარგების

მიერ წარმოებული პროდუქციის პროგნოზული მაჩვენებლები და ელექტროენერგიის ის ხარჯი, რომელიც საჭიროა ერთეულოვანი პროდუქციის გამოსაშვებად ახალი ტექნიკისა და ტექნოლოგიების გათვალისწინებით.

საპროექტო პერიოდის t ეტაპზე სისტემის ჯამური მოსალოდნელი მოთხოვნილება ელექტროენერგიაზე,

$$W_t = \sum W_{\text{ხე},i,t} \cdot \Pi_{i,t}$$

სადაც: W_t — ელექტრომოსხარების მოცულობა განვითარების t ეტაპზე;

$W_{\text{ხე},i,t}$ — საპროექტო პერიოდის t ეტაპზე i -ური დარგის მიერ ერთეულოვანი პროდუქციის გამოსაშვებად საჭირო ელექტროენერგიის ხარჯი (ხეყდრიითი ხარჯი);

$\Pi_{i,t}$ — იმავე t ეტაპზე იმავე i -ური დარგის მიერ გამოსაშვები (დაგეგმილი) პროდუქციის მოცულობა.

აღნიშნული პარამეტრები ცალკეული დარგების მიხედვით დადგინდება ქვეყნის ეკონომიკის განვითარების შესაბამისი საგვემო ორგანიზაციების მიერ. ცხადია, რომ ეს პარამეტრები გარკვეულ ცდომილებებს შეიცავს. მაგრამ მთელი ქვეყნის მასშტაბით 10-20 წლიანი საპროექტო პერიოდის შემთხვევაში ჯამური ცდომილება არ აღემატება 8-12 %-ს.

პროგნოზირების ამ მეთოდის გამოყენება ყოველთვის შესაძლებელი არ არის, რადგანაც შეიძლება არ გაგვაჩნდეს ქვეყნის ეკონომიკის განვითარების ცალსახად ჩამოყალიბებული კონცეფცია ცალკეული დარგების მიხედვით.

ხეყდრიითი დაგეგირთვის მეთოდი ძირითადად გამოიყენება სამრეწველო საწარმოების დაგეგირთვის პროგნოზირებისას. ამ საწარმოებში 1 მ² ფართობზე გადაანგარიშებით განათების დაგეგირთვა შედარებით მუდმივი სიდიდისაა დაახლოებით (20-80) ვტ/მ², ხოლო ძალოვანი დაგეგირთვა საკმარისად დიდ ფარგლებში იცვლება (50-250) ვტ/მ². ცნობილი ხეყდრიითი დაგეგირთვისა და საწარმოს მოცემული დანაყოფის სასარგებლო ფართობის მიხედვით შეიძლება განესაზღვროთ ამ დანაყოფის საანგარიშო მაქსიმალური დაგეგირთვა

$$P_{\text{სანგ}} = P_{\text{ფ}} \cdot F \cdot 10^{-3} \text{ კვტ.}$$

სადაც: $P_{\text{ფ}}$ — ხეყდრიითი დაგეგირთვა, ვტ/მ²,

F — საწარმოს მოცემული დანაყოფის სასარგებლო ფართობი, მ².

ანალოგიურად განისაზღვრება საწარმოს დანარჩენი დანაყოფების საანგარიშო დაგეგირთვა და, შესაბამისად, მთელი საწარმოს საანგარიშო დაგეგირთვა.

ექსტრაპოლიაციის მეთოდი დაფუძნებულია გასული წლების სარწმუნო სტატისტიკურ ინფორმაციაზე. ამ ინფორმაციის ანალიზის საფუძველზე დაადგენენ ცალკეული დარგების (ელექტროენერგეტიკული რეგიონების) ელექტრომომხარების საშუალო წლიურ ნაზრდს და მარტივი საანგარიშო გამოსახულებით განსაზღვრევენ მომავლის მოხმარებას

$$W_t = W_0 \left(1 + \frac{a\%}{100} (t - t_0) \right)$$

სადაც: W_0 — ელექტრომომხარების მოცულობა საწყის t_0 ბაზისურ ეტაპზე;

$a\%$ ელექტრომომხარების საშუალოწლიური ნაზრდი პროცენტებში.

თავისი შინაარსით ექსტრაპოლიაცია წარმოადგენს აწყმოს გაგრძელებას მომავალში. ასეთი მიდგომა, ზოგჯერ, არასაიმედოა, რადგანაც ეს მეთოდი აგებულია სტატისტიკური ინფორმაციის მშრალ ანალიზზე და არ ღრმავდება განვითარების ლოგიკაში, მოვლენათა ფიზიკაში, რამაც შეიძლება აბსურდული შედეგებიც კი მოგვეცეს. ელექტროენერგიის მოხმარების არასტაბილურობის პირობებში ძნელია შეაფასო მოხმარების პროგნოზი უახლოესი პერიოდისთვისაც კი.

ექსპერტიზის მეთოდი გულისხმობს შესაბამისი დარგის სპეციალისტ-ექსპერტების მოწვევას და მათ გამოკითხვას პროგნოზის ჩასატარებლად. ექსპერტს უნდა გააჩნდეს მაღალი ინტუიცია და მუშაობის დიდი გამოცდილება. ექსპერტები მსჯელობენ პრობლემის გარშემო კომისიური წესით ან ინდივიდუალურად ანკეტების შევსების გზით. თითოეული ექსპერტი გამოთქვამს თავის მოსაზრებას, რომელთა გაანალიზების საფუძველზე შემუშავდება საბოლოო რეზულტატი და გამოვლინდება განვითარების მიმართულება.

პერსპექტიული პერიოდისთვის ელექტროენერგიის ჯამური წლიური მოხმარების საანგარიშო სიდიდე, ელექტრულ ქსელში ენერგიის დანაკარგებისა და ელექტროსადგურების საკუთარ მოხმარებაზე ენერგიის ხარჯის გათვალისწინებით, საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ ელექტროსისტემის მნიშვნელოვანი მახასიათებელი მაჩვენებელი — ელექტროენერგიის წლიური გამომუშავება $W_{\text{წლ.}}$.

ენერგობალანსის სარჯითი ნაწილის მნიშვნელოვან მაჩვენებელს წარმოადგენს ენერგოსისტემის დაგვირთვის შეთავსებული მაქსიმუმი — $P_{\text{მაქ}}$ ამაღლებული $P_{\text{მაქ}}$. იწვევს ელექტროსადგურთა მოთხოვნილი ჯამური დადგმული სიმძლავრის გაზრდას და, შესაბამისად, მაგერიალური რესურსების გაუმართლებელ გადახარჯვას. შემცირებული $P_{\text{მაქ}}$ კი განაპირობებს ტექნიკურ-ეკონომიკურ ზარალს ენერგიის მიწოდების შეზღუდვების გამო.

მაქს საორიენტაციო მნიშვნელობა შეიძლება გამოთვლილი იქნეს $T_{\text{მაქს}}$ საათების მიხედვით

$$P_{\text{მაქს}} = \frac{3\sqrt{L}}{T_{\text{მაქს}}}$$

მისი უფრო ზუსტი მნიშვნელობა შეიძლება დადგენილი იქნეს ენერგისისტემის ჯამური დატვირთვის აგების საფუძველზე.

8.3. დაყვანილი საანგარიშო ხარჯები

პროექტირებისას ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების ძირითად მიზანს წარმოადგენს მოცემული რეგიონის მომსარებლების ელექტრომომარაგების ოპტიმალური სქემისა და პარამეტრების დადგენა სხვადასხვა ალტერნატიული ვარიანტების შედარების გზით. შედარებისას განსილული უნდა იქნეს ისეთი ეკონომიკური მაჩვენებლები, როგორიცაა: მშენებლობის კაპიტალური ხარჯები, ქსელში ელექტროენერგიის დანაკარგებით გამოწვეული დანახარჯები, საექსპლუატაციო ხარჯები და ენერგიის მიწოდების შეფერხებებით გამოწვეული ტექნიკურ-ეკონომიკური ზარალი.

კაპიტალური ხარჯები (კაპიტალური დაბანდება) ეს არის საშუალებანი, რომელიც ისარჯება ქვეყნის მეურნეობის ძირითადი ფონდების ებულ კელაეწარმოებაზე და ახალი ძირითადი ფონდების შექმნაზე. ძირითადი ფონდები მოიცავს სამშენებლო-სამოტაგაო ხარჯებს და ხარჯებს მოწყობილობებისა და ინვენტარის შეძენაზე. კაპიტალური ხარჯები დადგინდება საპროექტო-საძიებო სამუშაოების საფუძველზე, რაც წინ უსწრებს კაპიტალური მშენებლობის პროცესს.

ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის ჩატარებისას ფართოდ გამოიყენება გამსხვილებული ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები, რომლებიც დადგენილია მშენებლობისა და ექსპლუატაციის მრავალწლიანი გამოცდილებითა და საპროექტო გაანგარიშებების საფუძველზე. ასეთი მაჩვენებლები საშუალებას გვაძლევს მარტივად შევაფასოთ მშენებლობის კაპიტალური ხარჯები და ჩავაგაროთ ენერგეტიკული ობიექტების მშენებლობის ტექნიკურად მისაღები ვარიანტების შედარება.

ელექტროგადაცემის ხაზის მშენებლობის ხარჯები მოიცავს ხარჯებს პროექტირებაზე, ხაზის გრასის შესწავლასა და გეოლოგიურ დამუშავებაზე, მიწის სამუშაოებები შესრულებაზე, საყრდენებისა და სადენების შეძენაზე და მათ სამონტაჟო სამუშაოებებზე. ეს ხარჯები ხაზის ნომინალური ძაბვის პროპორციულია და დამოკიდებულია ხაზის გრასის გეგარობაზე (ვაკე, მთა-გორიანი, დასახლებული, ძნელად მისასვლელი და ა.შ.) და, ასევე, იმ რეგიონის მეტეოროლოგიურ პირობებზე, სადაც გათვალისწინებულია ხაზის მშენებლობა.

ქვესადგურის კაპიტალური ხარჯები მოიცავს ქვესადგურის პროექტირებისა და მშენებლობის ტერიტორიის მომზადების ხარჯებს, ძალოვანი გრანსფორმატორებისა და სხვა მოწყობილობა-დანადგარების (ამომრთველები, გამთიშელები, სამშენებლო კონსტრუქციები და ა. შ.), მეორეული წრელების ელემენტების შეძენისა და მშენებლობა-მონტაჟის ხარჯებს და ხარჯებს ქვესადგურის გაწყობა-გამართვაზე.

ქვესადგურის ჯამურ კაპიტალურ ხარჯებში დიდი ხვედრითი წილი უჭირავს გრანსფორმატორების შეძენა-გრანსპორტირება-მონტაჟის ხარჯებს, რომელიც მისი მაღალი ნომინალური ძაბვისა და ნომინალური სიმძლავრის პროპორციულია.

თანამედროვე ელექტრულ ქსელებში ხშირად გამოიყენება მაშუნგებელი რეაქტორები (500 კვ და მეტი ძაბვის ქსელში) და გრძივი ან/და განივი მაკომპენსირებელი დანადგარები, რომელთა კაპიტალური ხარჯები მათი ნომინალური სიმძლავრის პროპორციულია.

ქსელის აგების კაპიტალური ხარჯები მისი ნომინალური ძაბვის ამაღლებასთან ერთად იზრდება და, ამასთანავე, იზრდება ქსელის გამგარუნარიანობაც. ამასთან დაკავშირებით, ქსელის გექსიკურ-ეკონომიკური შეფასებისას მაშანშეწონილია ვიმსჯელოთ ხვედრითი კაპიტალური ხარჯებით

$$K_{\Sigma} = K_{\Sigma} / P_{\Sigma}$$

სადაც: K_{Σ} - ქსელის ჯამური კაპიტალური ხარჯები;

P_{Σ} - ქსელში გადასაცემი მაქსიმალური სიმძლავრე.

წლის განმავლობაში მომხმარებლისთვის მიწოდებული ელექტრული ენერგიის გადაცემასა და განაწილებაზე გაწეულ ხარჯებს წლიურ საექსპლუატაციო ხარჯებს უწოდებენ. იგი შეიცავს მოწყობილობა-დანადგარების ამორტიზაციის, მიმდინარე რემონტისა და მომსახურების ხარჯებს და, აგრეთვე, ქსელში ელექტრული ენერგიის დანაკარგებით გამოწვეულ ხარჯებს.

საამორტიზაციო ხარჯების დანიშნულებაა ფიზიკურად გაცვეთილი ძირითადი ფონდების აღსადგენა, მორალურად გაცვეთილი ძირითადი ფონდების შეცვლა და ძირითადი ფონდების კაპიტალური რემონტი.

მიმდინარე რემონტის დანიშნულებაა მოწყობილობის მუშა მდგომარეობაში შენარჩუნება. ამ რემონტისას აღმოფხვრიან მცირე მოცულობის დაზიანებებს. მიმდინარე რემონტის ხარჯებში გათვალისწინებულია რემონტის პერსონალის ხელფასი და რემონტის ჩასატარებლად საჭირო მასალების შეძენის ხარჯები.

ხარჯები მომსახურებაზე ითვალისწინებს მომსახურე პერსონალის ხელფასს, დანარიცხებს აღმინისგრაიულ-სამეურნეო მართვის აპარატის მუშაკთათვის და სხვა არასაწარმოო ხარჯებს.

განგარიშების გაშართიების მიზნით მაიღებენ, რომ ქსელის მშენებლობის კაპიტალური დაფინანსება გამოიყოფა ერთდროულად, მშენებლობა მთავრდება ერთ წელიწადში და შექმდებოდა ექსპლუატაციის მთელ პერიოდში საექსპლუატაციო ხარჯები მუდმივი სიდიდისაა. ამ შემთხვევაში მეურნეობის დაყვანილი ხარჯები, რომელიც მოიცავს კაპიტალური ხარჯების გამოსყიდვის დანარიცხებს, ამორტიზაციის, მიმდინარე რემონტისა და მომსახურების ხარჯებს და, აგრეთვე, ქსელში ელექტროლი ენერგიის დანაკარგებით გამოწვეულ ხარჯებსა და ენერგიის მიუწოდებლობით გამოწვეულ ზარალს, გამოითვლება შემდეგი ფორმულით

$$З=(E+\alpha) \cdot K+\Delta \cdot C+\gamma, \text{ ლარი/წელი,}$$

სადაც: K - კაპიტალური ხარჯები, ლარი;

E - კაპიტალური ხარჯების გამოსყიდვის ეფექტურობის ნორმატიული

კოეფიციენტი, 1/წელი;

α - ჯამური დანარიცხები ამორტიზაციაზე, მიმდინარე რემონტსა და

მომსახურებაზე, ფარდობით ერთეულებში;

Δ - ელექტროენერგიის დანაკარგები, კვსტ/წელი;

C - დაკარგული ენერგიის ტარიფი, ლარი/კვსტ;

γ - ენერგიის მიუწოდებლობით გამოწვეულ ზარალი, ლარი/წელი.

ვარიანტთა შედარებისას უპირატესობა მიენიჭება იმ ვარიანტს, რომელიც უფრო ნაკლები სიდიდის დაყვანილი ხარჯებით ხასიათდება $З=\min$. თუ ამ ხარჯებს შორის სხვაობა არ აღემატება 5%-ს, მაშინ შესადარებელი ვარიანტები, პრაქტიკულად, თანაბარეკონომიკურია და საბოლოო გადაწყვეტილების მისაღებად უნდა გამოვიყენოთ დამატებითი პირობები და მოთხოვნები, რომლებიც დაყვანილი ხარჯების სიდიდებზე გაულებას ვერ ახდენს, მაგრამ სხვადასხვა მოსაზრებათა გამო, სასურველია შესრულდეს.

8.4. ელექტრული ქსელის შეერთების სქემებისა და ელქტროგადაცემის ნომინალური ძაბვის შერჩევა

მომსმარებელთა ელექტრომომარაგების სისტემის პროექტირების ამოცანა გულისხმობს ელექტროგადაცემის ქსელის ისეთი კონფიგურაციის სქემის შექმნას, რომელიც იქნება მოქნილი,

ეკონომიკური, მარტივი და უზრუნველყოფს მომხმარებელთა საიმედო ელექტრომომარაგებას.

მოქნილობის ქვეშ იგულისხმება სქემის უნარი შეასრულოს მისდამი წაყენებული მოთხოვნები (მაღალი ხარისხის ენერგიით მომხმარებელთა უწყვეტი ელ.მომარაგება) სისტემის მუშაობის ყველა მოსალოდნელ რეჟიმებში, მათ შორის იმ რეჟიმებშიც, რომელსაც ადგილი აქვს ელექტროგადაცემის ნებისმიერი ელემენტის ხანგრძლივი თუ ხანმოკლე პერიოდით უქმად დგომისას.

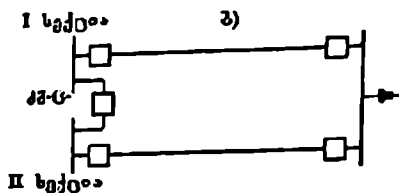
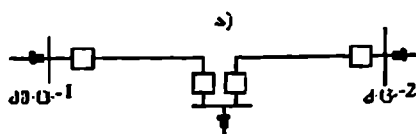
ელექტრული ქსელი, როგორც ინიცირული ნაგებობა, უნდა იყოს ეკონომიკური და ამასთან, ექსპლუატაციის გაადვილების მიზნით, მარტივი.

ქსელის შეერთების სქემის კონფიგურაციის ამა თუ იმ სახეს განსაზღვრავს ამ ქსელის კვანძებში მიერთებულ მომხმარებელთა კვების საიმედოობის საჭირო დონე. კვების საიმედოობის დონის მიხედვით მომხმარებლები იყოფიან სამ კატეგორიად. პირველ კატეგორიას მიეკუთვნება ის მომხმარებლები, რომლებთანაც კვების შეწყვეტა დასაშვებია იმ დროით, რაც საკმარისი იქნება სარეზერვო კვების ავტომატური ჩართვისთვის (1 წმ-მდე). მეორე კატეგორიას მიეკუთვნება მომხმარებლები, რომელთანაც ენერგიის შეწყვეტა დასაშვებია იმ დროით, რაც საკმარისი იქნება სარეზერვო კვების ხელით ჩართვისთვის მორიგე პერსონალის ან გამსვლელი ბრიგადის მიერ (არაუმეტეს 1 საათი). მესამე კატეგორიას მიეკუთვნება მომხმარებლები, რომელთანაც ენერგიის შეწყვეტა დასაშვებია იმ დროით, რაც საკმარისი იქნება დაზიანებული ელემენტის რემონტისთვის ან გაშოცვისთვის (არაუმეტეს 24 საათი).

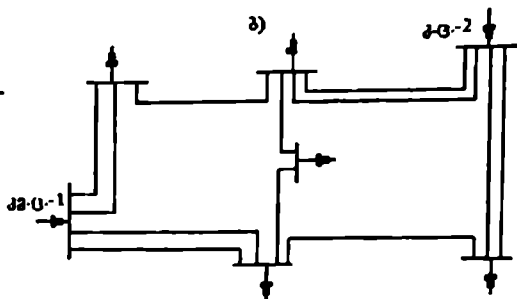
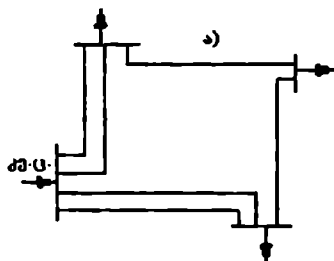
პირველი კატეგორიის მომხმარებლებს შორის გამოყოფენ მეტად საპასუხისმგებლო მომხმარებლებს, რომელთაც სარეზერვო კვებასთან ერთად უნდა გააჩნდეს ავტონომიური კვების წყარო.

პირველი კატეგორიის მომხმარებელთა ელექტრომომარაგება, როგორც წესი, ხორციელდება არა ნაკლებ ორი ურთიერთ დამოუკიდებელი გზით. ეს შეიძლება მოხდეს ორი სხვადასხვა კვების ცენტრიდან (ნახ.8.1,ა), ან ერთი კვების ცენტრიდან, რომელსაც გააჩნია დასექციონირებული სალტები (ნახ.8.1,ბ).

უმარტივესი შეკრული ქსელი სათავე უზნებზე ორწრედიანი ხაზებით (ნახ.10.2,ა) საკმარისად მაღალი საიმედოობის ქსელია, ხოლო რთული შეკრული ქსელი სათავე უზნებზე ორწრედიანი ხაზებით (ნახ.10.2,ბ), პრაქტიკულად, ელექტროენერგიის უწყვეტი მიწოდების სრული გარანტია.



ნახ.8.1.



ნახ.8.2.

მეორე კატეგორიის მომხმარებელთა ელექტრომომარაგება, ძირითადად, ხორციელდება მარგივი კონფიგურაციის შეკრული ქსელის აგების გზით, ხოლო მესამე კატეგორიის მომხმარებელთა ელექტრომომარაგება დასაშვებია ერთი კეების ცენტრიდან.

სადაბლებელი ქვესადგურების შემკრები საღგეებიდან შეიძლება კეებას ღებულობდეს სხეადასხვა კატეგორიის მომხმარებლები, მაშინ მაღალი ძაბვის ქსელიდან ამ ქვესადგურის ელექტრომომარაგება უნდა განხორციელდეს უმაღლესი კატეგორიის მომხმარებელთა მოთხოვნების შესაბამისად.

მაღალი ძაბვის ქსელის შეერთების სქემის კონფიგურაციის დადგენის შემდეგ საჭიროა დადგენილი იქნეს ქსელის თითოეული ელექტროგადაცემის ხაზის ნომინალური ძაბვა და სადგნოთა განიკეთი, რისთვისაც უნდა განისაზღვროს განსასილეელი ქსელის თითოეულ ხაზში გაშვებული მოსალოდნელი მაქსიმალური დატვირთვა.

ელექტროგადაცემის ხაზის გამტარუნარიანობის, მასში სიმძლავრისა და ძაბვის დანაკარგებისა და ამ ხაზის მშენებლობისა და მონტაჟის ხარჯების ნომინალურ ძაბვაზე დამოკიდებულება საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვის საანგარიშო გამოსახულება.

ერთწრედიანი საპაერო ელექტროგადაცემის ხაზებისთვის სხეადასხვა ავტორების მიერ რეკომენდირებულია ოპტიმალური ძაბვის საანგარიშო გამოსახულება, რომელთა შორის ყველაზე უფრო დამაკმაყოფილებელ პასუხს გვაძლევს ილარიონოვის ფორმულა

$$U = 1000 / \sqrt{\frac{2500}{P} + \frac{500}{\ell}}, \text{ კვ}$$

სადაც: P - ხაზში გამავალი მოსალოდნელი მაქსიმალური დატვირთვა,
მეგვტ; ℓ - ხაზის სიგრძე, კმ.

8.5. ელექტროგადაცემის ხაზის სადენტო განიკვეთის შერჩევა

საპაერო და საკაბელო ხაზების სადენტო დენგამტარ მასალად, ძირითადად, გამოიყენება ალუმინი. 35 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის ხაზებზე, მექანიკური სიმტკიცის ამაღლების მიზნით, გამოიყენებენ ფოლად-ალუმინის სადენებს. 220 კვ-მდე (ნათელით) ძაბვის ხაზები სრულდება ერთი სადენით ფაზაში, ხოლო უფრო მაღალი ძაბვის შემთხვევაში, გვირგვინის მოვლენაზე სიმძლავრის (ენერგიის) დანაკარგების თავიდან აცილების მიზნით, ფაზაში გამოიყენება ორი და მეტი სადენი (გახლეჩილი ფაზა).

ძირითადი მოთხოვნა, რომლის მიხედვითაც შერჩევენ სადენებისა და კაბელების განიკვეთს, ეს არის მათი ეკონომიკური მიზანშეწონილობა, რომლის რაოდენობრივი შეფასება მოხდება ხაზის მშენებლობისა და ექსპლუატაციის დაყვანილი ხარჯების მინიმუმის პირობით $3 = \min$. 10 კვ და უფრო დაბალი ძაბვის ქსელში სადენტო განიკვეთის შერჩევისას დამატებით სარგებლობენ პირობით, რომელიც ითვალისწინებს მომხმარებელთა საღებრებზე მუშა ძაბვის საჭირო დონის უზრუნველყოფას, რაც გელისხმობს, რომ ელექტროგადაცემაში ძაბვის დანაკარგი არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებს $\Delta U < \Delta U_{\text{დასაშვ.}}$.

ყოველ სადენი (კაბელი) ხასიათდება დასაშვები ტემპერატურით, ანუ იმ უდიდესი ტემპერატურით, რომლის მნიშვნელობამდე მიღწევამდე სადენი (კაბელი) ჯერ კიდევ ინარჩუნებს თავის მექანიკურ და ელექტრულ თვისებებს. აქედან გამომდინარე, ზემოთ აღნიშნული პირობების გათვალისწინებით შერჩეული სადენები (კაბელები) უნდა შემოწმდეს თერმული მდგრადობის პირობით, რომლის თანახმადაც სადენში გამავალი მოსალოდნელი მაქსიმალური დენი არ უნდა აღემატებოდეს ამ სადენისთვის დასაშვები დენის მნიშვნელობას $I_{\text{აქტ.}} \leq I_{\text{დასაშვ.}}$.

მოცემული ელექტროგადაცემისთვის საჭირო სადენის განიკვეთის გაზრდით იზრდება ხაზის მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ხარჯები, მაგრამ მცირდება აქტიური ენერგიის დანაკარგებით გამოწვეული ხარჯები. მაშასადამე, ყოველთვის შეიძლება მოიძებნოს

სადენის განიკვეთის ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ჯამური დაყვანილი ხარჯები იქნება მინიმალური. სადენის განიკვეთის ამ მნიშვნელობას ეკონომიკური განიკვეთი ეწოდება $F_{\text{კ}}$. დატვირთვის მაქსიმალური დენის ფარდობას სადენის ეკონომიკურ განიკვეთთან დენის ეკონომიკურ სიმკვრივეს ეწოდებენ $\delta_{\text{კ}}$, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა ალუმინის სადენების შემთხვევაში აიღება 1,1-1,3 აკმ/მმ²-ის ფარგლებში. მაშასადამე, სადენის (კაბელის) ეკონომიკურად მიზანშეწონილი განიკვეთი გამოითვლება ფორმულით

$$F_{\text{კ}} = \frac{I_{\text{კ.შ.}}}{\delta_{\text{კ}}}$$

გაანგარიშებით მიღებული ეკონომიკური განიკვეთის მიხედვით შეირჩევენ უახლოეს სტანდარტულ განიკვეთს, რომელსაც შეამოწმებენ დასაშვები დენის პირობით ყველა საფეხურის ძაბვის ქსელებში და, დამატებით, ძაბვის დასაშვები დანაკარგის პირობით 10 კვ და უფრო დაბალი ძაბვის ქსელებში.

დენის ნორმირებული სიმკვრივის მეთოდით სადენის განიკვეთის შერჩევა ხორციელდება 220 კვ-მდე (ჩათვლით) ძაბვის ხაზებზე. უფრო 330 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის ხაზებზე, სადაც ფაზები გახლეჩილია, ფაზის ჯამური განიკვეთის შესარჩევად სარგებლობენ ეკონომიკურ ინტერვალთა მეთოდით. კერძოდ, მოცემული ნომინალური ძაბვის საფეხურზე ფაზური სადენის სხვადასხვა ჯამური განიკვეთისთვის ააგებენ დაყვანილი ხარჯების დატვირთვის დენისაგან დამოკიდებულების გრაფიკთა ოჯახს, რომელთა საუბლებით ყოველი ჯამური განიკვეთისთვის დადგინდება დატვირთვის დენის ის ინტერვალი, რომლის დროსაც დაყვანილი ხარჯები უფრო ნაკლებია.

110 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის ხაზებზე შერჩეული სადენის განიკვეთი ექვემდებარება შემოწმებას გვირგვინის მოვლენის აცილების თვალსაზრისით (§2.4).

8.6. საპაერი ელექტროგადაცემის ხაზების ნომინალური ძაბვისა და სადენის განიკვეთის შერჩევის კომპლექსური მეთოდი

საპაირო ელექტროგადაცემის ხაზის ნომინალური ძაბვისა და სადენის განიკვეთის შერჩევის ზემოთ აღნიშნული მეთოდები დაფუძნებულია იმ საწყის მონაცემებზე, რომლებიც არ იცვლებოდა დროსა და სივრცეში.

საბაზრო ეკონომიკის პირობებში პროექტირებისათვის საჭირო საწყისი მონაცემები (ფერადი ლითონის, ხაზის მშენებლობისა და მონტაჟის ღირებულება და ა.შ.) არამკაცრად რეგლამენტირებულია და, აქედან გამომდინარე, მიღებული გადაწყვეტილება ეერ იქნება საუკეთესო.

ეს წინააღმდეგობრივი გარემოება რამდენადმე დაძლეული იქნება, თუ ხაზის ნომინალური ძაბვისა და სადენის განიკვეთის შერჩევას ჩაეატარებთ კომპლექსური მეთოდით [41], რომელიც დაფუძნებულია იმ მოთხოვნაზე, რომ ერთი მხრივ, ხაზში სიმძლავრის დანაკარგი არ აღემატებოდეს წინასწარ მოცემულ დასაშვებ სიდიდეს $\Delta P \leq \Delta P_{\text{დ.ს.}}$ და, მეორე მხრივ, ხაზში გამავალი მაქსიმალური დატვირთვის დენი არ აღემატებოდეს დასაშვებს a სიდიდის მარაგით $I_{\text{ა.წ.}} \leq (1-a)I_{\text{დ.ს.}}$. ეს მოთხოვნები უზრუნველყოფილი იქნება, თუ სადენის განიკვეთს შევირჩევთ შემდეგი ორი უტოლობის ამონახსნთა მიხედვით

$$\left. \begin{aligned} F &\geq \frac{100 \cdot P \cdot \rho \cdot \ell}{n \cdot U_6^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \Delta P_{\text{დ.ს.}} \%} \\ F &\geq 676,5 - 704,8 \cdot \sqrt{1 - \frac{0,582 \cdot P}{n \cdot U_6 \cdot (1-a) \cdot \cos \varphi}} \end{aligned} \right\}$$

სადაც: U_6 - ხაზის ნომინალური ძაბვა; P - ხაზში გამავალი მაქსიმალური აქტიური დატვირთვა, მგვტ; ρ - ალუმინის ხვედრითი წინაღობა, ომი.მმ²/კმ; ℓ - ხაზის სიგრძე, კმ; n - ჯაჭვთა რიცხვი ხაზზე; $\cos \varphi$ - აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტი.

ამ გამოსახულებათა შესაბამისად წინასწარ ვირჩევთ ნომინალური ძაბვის საეარაუდო საფეხურს და განესაზღვრავთ სადენის განიკვეთს, რომელიც დააკმაყოფილებს ზემოთ აღნიშნულ მოთხოვნებს ($\Delta P \leq \Delta P_{\text{დ.ს.}}$ და $I_{\text{ა.წ.}} \leq (1-a)I_{\text{დ.ს.}}$).

ACCC მარკის სადენების გამოყენების შემთხვევაში, ხაზის ნომინალური ძაბვისა და სადენის განიკვეთის შერჩევისთვის ესარგებლობთ შემდეგი სახის უტოლობათა სისტემით:

$$F \geq \frac{90 \cdot P \cdot \rho \cdot \ell}{n \cdot U_6^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \Delta P_{\text{დას.}} \%}$$

$$F \geq 676,5 - 704,8 \cdot \sqrt{1 - \frac{0,342 \cdot P}{n \cdot U_6 \cdot (1 - a) \cdot \cos \varphi}}$$

შერჩეული განიკვეთი უნდა შემოწმდეს: მაღალი ძაბვის შემთხვევაში (110 კე და უფრო მაღალი) გვირგვინის მოვლენაზე; დაბალი და საშუალო ძაბვის შემთხვევაში (35 კე და უფრო დაბალი) ძაბვის დასაშვებ დანაკარგზე. ნომინალური ძაბვის საფეხურის თეადსაზრისით ალტერნატიულ ვარიანტთა წარმონიშნის შემთხვევაში საჭიროა ამ ვარიანტთა ტექნიკურ-ეკონომიკურ შედარება.

8.7. ქვესადგურებსა და ელექტროსადგურებზე ტრანსფორმატორების შერჩევა

მუშაობის რეჟიმის მიხედვით ტრანსფორმატორები შეიძლება დაეყოთ ორ ჯგუფად: ძაბვის სადაბლებელი და სამაღლებელი. სადაბლებელი ტრანსფორმატორები გამოიყენება ქვესადგურებზე, ხოლო სამაღლებელი კი ელექტროსადგურებზე.

ძაბვის სადაბლებელი ტრანსფორმატორების პირველადი (სიმძლავრის მიმღები) გრაგნილის ნომინალური ძაბვა მეკებავეი ქსელის ნომინალური ან საშუალო ძაბვის ტოლია, ხოლო მეორეული (სიმძლავრის გამცემი) გრაგნილის ნომინალური ძაბვა კი სიმძლავრის მიმღები ქსელის ნომინალურ ძაბვაზე (5-10)%-ით მეტია. ძაბვის სამაღლებელი ტრანსფორმატორების პირველადი (სიმძლავრის მიმღები) გრაგნილის ნომინალური ძაბვა სინქროული გენერატორის ნომინალური ძაბვის ტოლია, ხოლო მეორეული (სიმძლავრის გამცემი) გრაგნილის ნომინალური ძაბვა კი გადაცემის ქსელის ქსელის ნომინალურ ძაბვაზე (5-10)%-ით მეტია. ტრანსფორმატორების გრაგნილთა ნომინალური ძაბვების აღნიშნული მნიშვნელობები გარკვეულ წილად უზრუნველყოფენ ძაბვის დანაკარგების კომპენსაციას ენერგიის მიღებ ქსელში. ამავე ლოგიკას შეესაბამება სადაბლებელი სამგრაგნილიანი ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების გრაგნილთა ნომინალური ძაბვები.

ქვესადგურზე ტრანსფორმატორების რაოდენობა დამოკიდებულია ელექტრომომარაგების საიმედოობის დონის მიმართ იმ მომხმარებელთა მოთხოვნებზე, რომლებიც კეებას ღებულობენ მოცემული ქვესადგურიდან. 35 კე და უფრო მაღალი ძაბვის ყველა

ქვესადგურზე, რომლიდანაც პრაქტიკულად ყოველთვის იკვებება საპასუხისმგებლო მომხმარებლები, აყენებენ ორ და მეტ ტრანსფორმატორს. 35 კვ და უფრო დაბალი ძაბვის ყველა ქვესადგურზე, რომლიდანაც იკვებება ნაკლებად საპასუხისმგებლო მომხმარებლები, დასაშვებია ერთი ტრანსფორმატორის დაყენება იმ პირობით, თუ ამ ტრანსფორმატორის დაზიანების შემთხვევაში მისი შეკეთება ან შეცვლა შესაძლებელია იმ დროში, რომლის განმავლობაში მოცემულ მომხმარებელთან დასაშვებია ელექტროენერგიის შეწყვეტა.

ტრანსფორმატორებს 1,0-1,5 საათის განმავლობაში შეუძლიათ იმუშავონ (30-40)%-იანი გადატვირთვით. ამის გათვალისწინებით, ქვესადგურზე ორი ტრანსფორმატორის შერჩევის შემთხვევაში თითოეული მათგანის ნომინალური სიმძლავრე უნდა შეადგენდეს ქვესადგურის მოსალოდნელი მაქსიმალური დატვირთვის არანაკლებ (70-72)%-ს. სამგრაგნილიანი ტრანსფორმატორების შემთხვევაში უნდა სრულდებოდეს იგივე მოთხოვნა ტრანსფორმატორის თითოეული ძაბვის (მაღალი, საშუალო და დაბალი) გრაგნილის მიმართ.

ელექტროსადგურებზე ტრანსფორმატორების რიცხვისა და ნომინალური სიმძლავრის შერჩევის საკითხი დამოკიდებულია ამ ელექტროსადგურის შეერთების ელექტრული სქემის სახეობაზე. მცირე სიმძლავრის პიდროსადგურები და, განსაკუთრებით თბოელექტროცენტრალები, შენდება დასახლებულ პუნქტებთან და სამრეწველო რეგიონებთან ახლოს. ამ მომხმარებელთა ელექტრომომარაგება შესაძლებელია საგენერატორო ძაბვის გადაცემის ხაზებით და, შესაბამისად, აღნიშნულ ელექტროსადგურზე მოაწყოვენ საგენერატორო ძაბვის საღტეებს. სადგურის დანარჩენი სიმძლავრის გაცემა მოხდება ამღლებული ძაბვით და, შესაბამისად, სამაღლებელი ტრანსფორმატორების რიცხვისა და ნომინალური სიმძლავრის შერჩევის საკითხი გადაწყდება იმავე პრინციპით, რაც სადაბლებელი ქვესადგურების შემთხვევაში.

მსგავს ელექტროსადგურებზე გამოიყენება შეერთების ბლოკურ სქემა (გენერატორი-ტრანსფორმატორი) და, შესაბამისად, ბლოკში ჩართული სამაღლებელი ტრანსფორმატორების ნომინალური სიმძლავრე უნდა აღემატებოდეს გენერატორის ნომინალურ სიმძლავრეს.

8.8. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების

მექანიკური ნაწილი

საჰაერო ხაზების მუშაობის საიმედოობის ღონე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მათი ცალკეული კონსტრუქციული ნაწილების მექანიკურ სიმტკიცეზე. ხაზების მექანიკური გაანგარიშების ძირითად

ამოცანას წარმოადგენს მათი ღეგალების ისეგი კონსტრუქციების შექმნა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ამ ხაზის მექანიკურ სიმტკიცეს მუშაობის სხედასხეა გარემო პირობებში. ამასთან, ხაზის აგების ადგილებში გათვალისწინებული უნდა იქნეს ადამიანთა და საგრანს-პორგო სამუქალებათა გადაადგილებისა და მუშაობის უსაფრთხოების საკითხები.

ხაზის მექანიკური სიმტკიცის საკითხების დამუშავებისთვის გვესაჭიროება ინფორმაცია მეტეოროლოგიური პირობების შესახებ ხაზის აგების ადგილებში. კერძოდ: ქარის მაქსიმალური და მინიმალური ტემპერატურა; ქარის მაქსიმალური სიჩქარე; სადენზე ლიპყინულის მოსალოდნელი სისქე; აგმოსფერული გამმუხგეების ინტენსიუობა და სხვ. ეს პარამეტრები დადგენილი უნდა იქნეს მრავალ-წლიანი სტატისტიკური დაკვირვებების საფუძველზე და საანგარიშოდ მიიღება ის მძიმე მეტეოროლოგიური პირობები, რომელსაც ადგილი ქონდა: 35 კვ ძაბვის ხაზის მშენებლობის შემთხვევაში 5 წელიწადში ერთხელ მაინც; 110-330 კვ ძაბვის ხაზების მშენებლობის შემთხვევაში 10 წელიწადში ერთხელ მაინც; 500 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის მშენებლობის შემთხვევაში 15 წელიწადში ერთხელ მაინც. ამ პარამეტრების საფუძველზე განისაზღვრება სადენის გაჭიმვის ძალა და სადენში წარმოქმნილი მექანიკური დაძაბულობა (ძალეა), სადენის ჩაღუნვის ისარი, სადენის გადახრა ეერტიკალური სიბრტყიდან ქარის დროს და ა.შ.

ყველა მარკისა და კონსტრუქციის სადენებისთვის ქარხნული წესით დადგენილია სადენის გამწყვეტი ძალა R . რომლის სამუქალებით მეგვიძლია განსვამდგროთ სადენის გაწყვეტის ზღერული წინაღობა

$$\sigma_{\text{ზღ}} = R / F \text{ ნ/მმ}^2$$

აქ: R - სადენის გამწყვეტი ძალა, ნ (ცხრ.დ-1, დ-1.ა);

F - სადენის ჯამური განიკეუთი, მმ².

გაანგარიშებებისას ითვალისწინებენ სიმტკიცის მარავს

$$K = \sigma_{\text{ზღ}} / [\sigma] \text{ აქედან } [\sigma] = \sigma_{\text{ზღ}} / K$$

აქ $[\sigma]$ - სადენის დასამეები დაძაბულობა ჳიმეაზე, ნ/მმ².

სადენების სიმტკიცის გაანგარიშებისას სარგებლობენ ხვედრითი მექანიკური დაგვირთვით, რომელიც სადენის 1მ სივრძისა და 1მმ² განიკეუთზე მოსული დაგვირთვის გოლია. მისი განზომილებაა ნ/მმ².

განიხილება შვიდი სახის ხვედრითი მექანიკური დაგვირთვა;

1. ხვედრითი დაგვირთვა გამოწვეული სადენის საკუთარი წონით

$$\gamma_1 = m_0 g / F = 9.81 m_0 / F$$

m_0 - 1მ სივრძის სადენის მასა, კგ.

2. ხვედრითი დატვირთვა გამოწვეული ლიპყინულით

$$\gamma_2 = 0,0277b(d+b)/F$$

3. ხვედრითი დატვირთვა გამოწვეული საკუთარი წონითა და ლიპყინულით

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2$$

4. ხვედრითი დატვირთვა გამოწვეული ქარის დაწნევით, როცა სადენი თავისუფალია ლიპყინულისაგან

$$\gamma_4 = 0,63 \cdot 10^{-3} a C v^2 d / F$$

5. ხვედრითი დატვირთვა გამოწვეული ქარის დაწნევით, როცა სადენი დაფარულია ლიპყინულით

$$\gamma_5 = 0,63 \cdot 10^{-3} a C v^2 (d + 2b) / F$$

6. ხვედრითი ჯამური დატვირთვა, როცა სადენი თავისუფალია ლიპყინულისაგან

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2}$$

7. ხვედრითი ჯამური დატვირთვა, როცა სადენი დაფარულია ლიპყინულით

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2}$$

მაღ.ში სადენის სიგრძე გაცილებით მეტია, ვიდრე მისი განიკვეთი. ამიტომ სადენი შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც თანაბარგანაწილებული დატვირთვის მქონე ძაფი (სადენი). ამ შემთხვევაში სადენის ჩაღუნვა (ჩაღუნვის ისარი) შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით

$$f = \gamma \ell^2 / 8\sigma_0$$

აქ: γ ხვედრითი მექანიკური დატვირთვა მოცემულ კლიმატურ პირობებში, ნ/მ.მმ²; ℓ მაღლის სიგრძე (მანძილი ორ მეზობელ საყრდენს შორის, გაზომილი პორიზონტალის გასწვრივ), მ; σ_0 სადენის დაძაბულობა მის უდაბლეს წერტილში, ნ/მმ².

გარემო კლიმატური პირობების შეცვლისას იცვლება სადენის ჩაღუნვის ისარი და მისი დაჭიმულობა. ეს პარამეტრები განსაზღვრული უნდა იქნეს მათთვის არახელსაყრელი გარემო პირობებისას. ამ ამოცანის ამოსახსნელად სარგებლობენ სადენის

მდგომარეობის განტოლებით, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს სხვადასხვა გარემო პირობების შესაბამის საანგარიშო პარამეტრებს

$$\sigma_n - \frac{\ell^2 \gamma_n^2 E}{24 \sigma_n^2} + \alpha E \Theta_n = \sigma_m - \frac{\ell^2 \gamma_m^2 E}{24 \sigma_m^2} + \alpha E \Theta_m$$

ამ გამოსახულებაში; α სადენის ტემპერატურული წაგრძელების კოეფიციენტი; E - სადენის მასალის დრეკადობის მოდული.

ეს გამოსახულება საშუალებას გვაძლევს გარემოს ცნობილი კლიმატური პირობების (σ_m , γ_m და Θ_m) მიხედვით დაუდგინოთ სადენის σ_n დაჭიმულობა ახალ კლიმატურ პირობებში (γ_n და Θ_n).

8.9. მე-8 თავის რიცხვითი მაგალითები

მაგალითი 8.1. განესაზღვროთ $\ell=50$ კმ სიგრძის ელექტროგადაცემის ხაზის ნომინალური ძაბვა და სადენის განიკვეთი, თუ გადასაცემი სიმძლავრეა $\Sigma=70+j35$ მგვა. გაანგარიშება ჩავატაროთ; 1. დენის ეკონომიკური სიმკერვის მეთოდისა და 2. კომპლექსური მეთოდის გამოყენებით.

ამოხსნა. 1. ილარიონივის ფორმულის თანახმად

$$U = 1000 / \sqrt{\frac{2500}{P} + \frac{500}{\ell}} = U = 1000 / \sqrt{\frac{2500}{70} + \frac{500}{50}} = 148 \text{ კვ.}$$

ავირჩიოთ $U_G=110$ კვ.

გამოეთაღოთ დატვირთვის დენი

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_G} = \frac{\sqrt{70^2 + 35^2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 411.3 \text{ ამპ.}$$

დენის ეკონომიკური სიმკერვე ავიღოთ $\delta_{\text{კ}}=1.1$ ა/მმ², მაშინ

სადენის განიკვეთი $F=I/\delta_{\text{კ}}=411.3/1.1=374$ მმ².

ავირჩიოთ 2xAC-185 მარკის სადენი.

2. გამოთვალეთ სიმძლავრის კოეფიციენტი

$$\cos \varphi = P / \sqrt{P^2 + Q^2} = 70 / \sqrt{70^2 + 35^2} = 0,9.$$

გადაცემის ნომინალურ ძაბვად მივიღოთ $U_6=110$ კვ. ჯაჭვთა რიცხვი ავიღოთ $n=2$. მივიღოთ, რომ გადაცემაში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები არ უნდა აღემატებოდეს 3%-ს, ხოლო გახურებაზე დასაშვები დენისთვის მარაგის კოეფიციენტი $a=0,3$. ამ პირობებში, ვღებულობთ

$$\left. \begin{aligned} F &\geq \frac{100 \cdot P \cdot \rho \cdot \ell}{n \cdot U_6^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \Delta P_{\text{დას}} \%} = \frac{100 \cdot 70 \cdot 31,5 \cdot 50}{2 \cdot 110^2 \cdot 0,9^2 \cdot 3} = 187,5 \\ F &\geq 676,5 - 704,8 \cdot \sqrt{1 - \frac{0,582 \cdot P}{n \cdot U_6 \cdot (1-a) \cdot \cos \varphi}} = \\ &= 676,5 - 704,8 \cdot \sqrt{1 - \frac{0,582 \cdot 70}{2 \cdot 110 \cdot (1-0,3) \cdot 0,9}} = 84 \end{aligned} \right\}$$

ამრიგად, გვაქვს 2хАС-185 მარკის სადენი.

მაგალითი 8.2. 8.1 მაგალითის შემთხვევისთვის შევირჩიოთ მიმღებ ქვესადგურში ტრანსფორმატორების რიცხვი და ნომინალური სიმძლავრე. ელექტრომომარაგების საიმედოობის თვალსაზრისით მივიღოთ $n_6=2$. ტრანსფორმატორების მაქსიმალური დატვირთვა $S = \sqrt{70^2 + 35^2} = 77,8$ მგვა, მაშინ ერთი ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრე

$$S_6 > (0,70-0,72) 77,8 = 55,2 \text{ მგვა.}$$

ვირჩევთ 2хТРДЦН-63000/110 ტრანსფორმატორს.

თავი 9. შორეული ელექტროგადაცემა

9.1. შორ მანძილზე ენერგიის გადაცემის თავისებურებანი

ელექტროენერგეტიკა ვითარდება მსხვილი ენერგოგაერთიანებუბის შექმნის გზით. ამჟამად ექსპლუატაციაშია შესული მძლავრი ელექტრული სადგურები, რომელთა სიმძლავრის გადაცემას ესაჭიროება მაღალი გამტარუნარიანობის ელექტროგადაცემის ხაზები. სხვადასხვა ქვეყნის ენერგოსისტემებს შორის იქმნება სისტემათაშორისი კავშირები. რიგ შემთხვევებში დიდი სიმძლავრის გადაცემა ხდება ერთი სისტემის ცალკეულ რეგიონებს შორის.

განასხვავებენ სუსტ და ძლიერ სისტემათაშორის კავშირებს, რომელთა სიგრძე ცალკეულ შემთხვევაში აღწევს ათას კილომეტრს და მეტს. სუსტი სისტემათაშორისი კავშირის საშუალებით გადაეცემა შედარებით მცირე სიმძლავრე, რომელიც საკმარისია ენერგიის მიმღებ ენერგოსისტემაში პიკური დატვირთვის მოსახსნელად და სიხშირისა და ძაბვის რეგულირებისთვის. ძლიერი კავშირით გადაცემული სიმძლავრე შეადგენს ცალკეული სისტემის ჯამური დატვირთვის მნიშვნელოვან ნაწილს. ყველა ამ შემთხვევაში საქმე გააქვს დიდი სიმძლავრის შორ მანძილზე გადაცემის პრობლემურ საკითხებთან.

ელექტროენერგიის დანაკარგების შემცირების მიზნით შორ მანძილზე დიდი სიმძლავრის გადაცემისას გეჟნიკურ-ეკონომიკური თვალსაზრისით მიზანშეწონილია ზემაღალი ნომინალური (330 კე და მეტი) ძაბვის გამოყენება. ასეთი ძაბვის გამოყენება ეკონომიკურად მიზანშეწონილია, აგრეთვე, დიდი სიმძლავრის მოკლე მანძილზე გადაცემის დროსაც კი.

მძლავრი ელექტრული სადგურიდან ზემაღალი ძაბვის ხაზით ელექტროენერგიის გადაცემის მიზანშეწონილობა დადგენილი უნდა იქნეს შემდეგი ორი ვარიანტის გეჟნიკურ-ეკონომიკური შედარების საფუძველზე: 1) იაფი პირველადი ენერგორესურსის (სათბობის) მახლობლობაში ელექტროსადგურის აშენება და შორ მანძილზე მდებარე მომხმარებელამდე ელექტრული ენერგიის გადაცემა ზემაღალი ძაბვის ხაზით; 2) სათბობის გადაზიდვა შორ მანძილზე და ელექტროსადგურის აშენება მომხმარებელთან ახლოს. ამ ვარიანტთა შედარებისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული არა მარტო ენერგობიექტების მშენებლობის ეკონომიკური მაჩვენებლები, არამედ ეკოლოგიური საკითხები როგორც მშენებლობის რეგიონში, ასევე ელექტროენერგიის ან სათბობის ტრანსპორტირების მთელ მანძილზე.

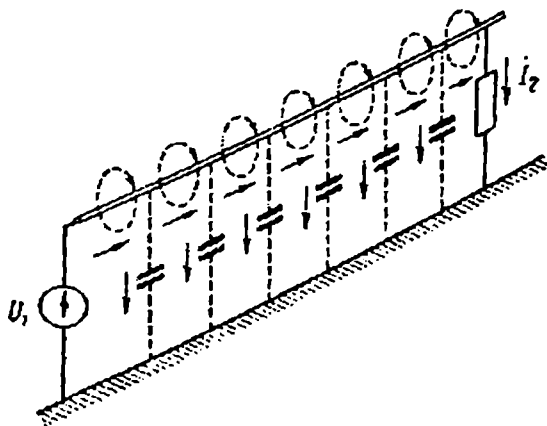
მთელ რიგ შემთხვევებში ზემალაღი ძაბვის მძლავრი ელექტროგადაცემის განხორციელება განპირობებულია დასაკავშირებელი ელექტროსისტემების მდგრადი მუშაობის უზრუნველყოფის მიზნით.

ზემაღალი ძაბვის საზღვი გამოირჩევიან მთელი რიგი თავისებურებებით, რაც გათვალისწინებული უნდა იქნეს რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების დროს: ა) საზღვის მთელი სიგრძეზე ელექტრული პარამეტრების თანაბრად განაწილებულობა და ენერგიის გადაცემის გაღარიკო პროცესი; ბ) საზღვის მუშაობის რეჟიმისა და გადასაცემი სიმძლავრის მართვის მიზნით სპეციალური ღონისძიებებისა და მოწყობილობათა გამოყენება; გ) შინაგანი გადამეტძაბვის ჯერადობის შეზღუდვის სპეციალური დამცავი მოწყობილობის გამოყენება; დ) ფაზის რამდენიმე სადენად გახლეჩა, რაც მკვეთრად ზრდის ფაზის წონას და ამკაცრებს მოთხოვნებს საზღვის მექანიკური სიმტკიცისა და მდგრადობის მიმართ.

საკაერო ელექტროგადაცემის საზღვით ელექტრული ენერგიის გადაცემა წარმოადგენს სადენებისა და მათ გარშემო არსებულ დიელექტრიკში ელექტრომაგნიტური ეელის გავრცელების პროცესს. ეელადი ძაბვის მოქმედებით საზღვის ნებისმიერ მცირე მონაკვეთზე გვაქვს ეელადი ელექტრული ეელი, რომელიც სადენის გარშემო არსებულ დიელექტრიკში წარმოქმნის გვეადური ხასიათის წანაცელების დენს (§2.7). ეს დენი, დაედება რა საზღვში გამავალ დატეირთის დენს, იწვევს მისი ამპლიტუდის ევლილებას. აქედან გამომდინარე, საზღვის გასწერიე იცვლება მაგნიტური ეელის დაძაბულობის ამპლიტუდა, რის გამოც საზღვის ცალკეულ ელემენტებში წარმოიქმნება სხედასსეა სიდიდის თეით და ურთიერთინდუქციის ე.მ. ძალა. ეს კი, თავის მხრივ, განაპირობებს საზღვის გასწერიე ძაბვის ევლილების რთულ ხასიათს და შედეგად, რთული ხასიათისაა წანაცელების დენის ამპლიტუდის ევლილებაც. ერთსადენიანი საკაერო საზღვის ელექტრომაგნიტური ეელის ელემენტების პირობითი სურათი წარმოდგენილია 9.1. ნახაზზე.

წანაცელების დენის სიდიდე საზღვის ცალკეულ მცირე მონაკვეთზე დამოკიდებულია ერთის მხრივ საზღვის გარშემო არსებული გარემოს (პაერის) დიელექტრიკულ თეისებებზე და მეორეს მხრივ, ფაზებსა და ფაზასა და მიწას შორის პოტენცილათა სხეაობაზე. ზემაღალი ძაბვის ხაზებზე ეს დენები საკმარისად დიდ მნიშვნელობებს აღწევს.

აღნიშნულიდან გამომდინარე გრძელი საზღვის მუშაობის რეჟიმის პარამეტრების ანალიზისთვის აუცილებელია მხედველობაში იქნეს მიღებული საზღვის პარამეტრთა თანაბრად განაწილების ფაქტორი.



ნახ. 9.1 ერთსადენიანი საპაერო ხაზის ელექტრომაგნიტური ველის პირობითი სურათი

9.2 გრძელი ელექტროგადაცემის განტოლებები

ზემაღალი ძაბვის ხაზებში ელექტრული ენერგიის გადაცემის გაღებული ხასიათის გათვალისწინების მიზნით L სიგრძის ხაზი განვიხილოთ როგორც თანაბარგანაწილებული პარამეტრების მქონე წრედი, რომლის თითოეულ $d\ell$ ელემენტს გააჩნია აქტიური $r_0 d\ell$ და რეაქტიული (ინდუქტიური) $x_0 d\ell$ წინაღობა და აქტიური $g_0 d\ell$ და რეაქტიული (ტევადური) $b_0 d\ell$ გამტარობა (ნახ.9.2).

როცა ხაზის თავში მოდებულია $u_1 = U_1 \sin \omega t$ სინუსოიდალური ხაზური ძაბვა, მაშინ ხაზის თავიდან ℓ მანძილზე მდებარე $d\ell$ ელემენტის (ნახ. 9.2.ა) ბოლოების ძაბვებსა და ღენებს შორის თანაფარდობა (ნახ.9.2.ბ) განისაზღვრება შემდეგი განტოლებებით:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial \underline{U}_\ell}{\partial \ell} &= \sqrt{3}(r_0 + jx_0) \cdot \underline{I}_\ell = \sqrt{3} \underline{Z}_0 \underline{I}_\ell, \\ -\frac{\partial \underline{I}_\ell}{\partial \ell} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(g_0 + jb_0) \cdot \underline{U}_\ell = \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{Y}_0 \underline{U}_\ell. \end{aligned} \right\} \quad (9.1)$$

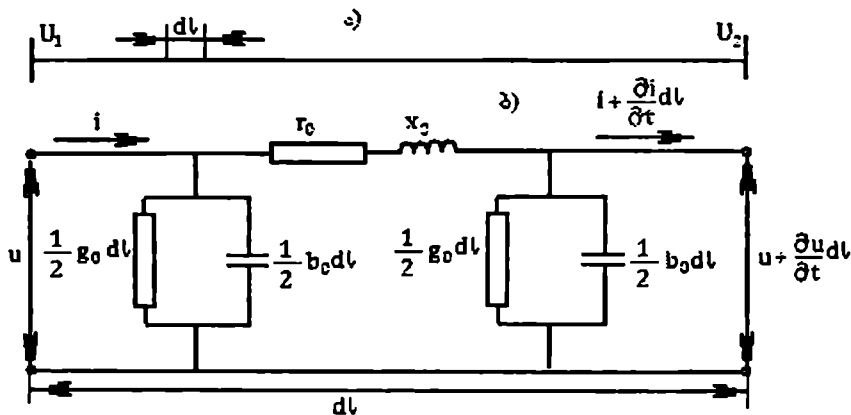
ამ განტოლებათა სისტემის ამოხსნით ვღებულობთ

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_c &= \underline{A}_1 e^{\sqrt{Z_c Y_c} \ell} + \underline{A}_2 e^{-\sqrt{Z_c Y_c} \ell}, \\ \underline{I}_c &= \frac{1}{\sqrt{3} Z_c} (\underline{A}_1 e^{\sqrt{Z_c Y_c} \ell} - \underline{A}_2 e^{-\sqrt{Z_c Y_c} \ell}) \end{aligned} \right\} \quad (9.2)$$

სადაც: $\underline{A}_1$ და $\underline{A}_2$ ინტეგრების მუდმივებია და განისაზღვრება საწყისი პირობებიდან, ხოლო

$$Z_c = \sqrt{Z_0 / Y_0} \quad (9.3)$$

სიდიდეს ხაზის ტალღურ წინააღობას უწოდებენ.



ნახ. 9.2 ხაზი თანაბრდაგანაწილებული პარამეტრებით:

ა) ხაზი; ბ) ხაზის dl ელემენტების ჩანაყვლების სქემა

(9.2) გამოსახულებათა ზოვადი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ელექტრული ენერგიის გადაცემისას ხაზის ნებისმიერ წერტილში ძაბვა და დენი შეიძლება განვიხილოთ როგორც ორი ურთიერთ საპირისპიროდ მოძრავი (პირდაპირი და უკუ) ტალღების ჯამი. პირდაპირი ტალღა, მიუხედავად ხაზის ბოლოში, ნაწილობრივ გარდატეხდება და ნაწილობრივ აირეკლება. არეკლილი ტალღა წარმოადგენს უკუ ტალღას.

განვსაზღვროთ ინტეგრირების მუდმივები.

როცა $\ell = 0$, მაშინ $\underline{U}_\ell = \underline{U}_1$ და $\underline{I}_\ell = \underline{I}_1$, შესაბამისად, გვაქვს

$$\underline{U}_1 = \underline{A}_1 + \underline{A}_2 \quad \text{და} \quad \underline{I}_1 = \frac{1}{\sqrt{3} Z_c} (\underline{A}_1 - \underline{A}_2), \quad \text{აქედან}$$

$$\underline{A}_1 = \frac{1}{2} (\underline{U}_1 + \sqrt{3} \underline{I}_1 Z_c) \quad \text{და} \quad \underline{A}_2 = \frac{1}{2} (\underline{U}_1 - \sqrt{3} \underline{I}_1 Z_c)$$

ამ სიდიდეთა (9.2)-ში ჩასმითა და იმის გათვალისწინებით, რომ

$$\operatorname{ch} x = \frac{e^x + e^{-x}}{2} \quad \text{და} \quad \operatorname{sh} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2},$$

ვლებულობთ

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= \underline{U}_1 \operatorname{ch} \gamma_0 \ell - \sqrt{3} \underline{I}_1 \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma_0 \ell, \\ \underline{I}_e &= \underline{I}_1 \operatorname{ch} \gamma_0 \ell - \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3} \underline{Z}_c} \operatorname{sh} \gamma_0 \ell. \end{aligned} \right\} \quad (9.4)$$

სადაც

$$\gamma_0 = \sqrt{\underline{Z}_0 \cdot \underline{Y}_0} = \beta_0 + j\alpha_0 \quad (9.5)$$

წარმოადგენს ტალღის გავრცელების კოეფიციენტს.

(9.4) გამოსახულების მიხედვით L სიგრძის ხაზის ბოლოში რეკი-
მის პარამეტრებისთვის გეუქნება ($\ell = L$)

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_2 &= \underline{U}_1 \operatorname{ch} \gamma_0 L - \sqrt{3} \underline{I}_1 \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma_0 L, \\ \underline{I}_2 &= \underline{I}_1 \operatorname{ch} \gamma_0 L - \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3} \underline{Z}_c} \operatorname{sh} \gamma_0 L. \end{aligned} \right\} \quad (9.6)$$

თუ მიღებულ განტოლებებსა და (3.15), (3.16) გამოსახულებებს ერ-
თმანეთს შევადარებთ, ელექტროგადაცემის განზოგადოებული მუდმი-
ვებისთვის მივიღებთ

$$\underline{A} = \underline{D} = \operatorname{ch} \gamma_0 L, \quad (9.7)$$

$$\underline{B} = \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma_0 L, \quad (9.8)$$

$$\underline{C} = \frac{1}{\underline{Z}_c} \operatorname{sh} \gamma_0 L. \quad (9.9)$$

იმ შემთხვევაში, როცა ხაზი უქმი სელის რეჟიმში მუშაობს ($\underline{I}_2 = 0$),
მაშინ (9.6) განტოლებათა სისტემის მეორე განტოლების მიხედვით ხა-
ზის თავის რეკიმის პარამეტრებს შორის არსებობს შემდეგი თანაფარ-
დობა

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3} \underline{Z}_c} \operatorname{th} \gamma_0 L$$

და, შესაბამისად, ხაზის ბოლოში ძაბვა

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 / \operatorname{ch} \gamma_0 L,$$

ხოლო, (9.4) გამოსახულების შესაბამისად ხაზის გასწვრივ ძაბვისა და
დენის განაწილების კანონზომიერება გამოისახება ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= \underline{U}_1 (\text{ch} \gamma_0 \ell - \text{th} \gamma_0 L \cdot \text{sh} \gamma_0 \ell) \\ \underline{I}_e &= \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3} Z_c} (\text{th} \gamma_0 L \cdot \text{ch} \gamma_0 \ell - \text{sh} \gamma_0 \ell) \end{aligned} \right\} \quad (9.10)$$

დავადგინოთ ხაზის გასწვრივ ძაბვისა და დენის განაწილების კანონზომიერება, როცა მოცემულია ხაზის ბოლოს პარამეტრები $\underline{U}_2$ და $\underline{I}_2$. ამ შემთხვევაში (9.1) განტოლებათა სისტემის ამოხსნის საფუძველზე ხაზის თავიდან ℓ მანძილზე მდებარე წერტილში ძაბვა და დენი იქნება:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= \underline{U}_2 \text{ch} \gamma_0 (L - \ell) + \sqrt{3} \underline{I}_2 Z_c \text{sh} \gamma_0 (L - \ell), \\ \underline{I}_e &= \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} \text{sh} \gamma_0 (L - \ell) + \underline{I}_2 \text{ch} \gamma_0 (L - \ell). \end{aligned} \right\} \quad (9.11)$$

და, შესაბამისად, ხაზის თავში ($\ell = 0$) რეჟიმის პარამეტრები იქნება

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_2 \text{ch} \gamma_0 L + \sqrt{3} \underline{I}_2 Z_c \text{sh} \gamma_0 L, \\ \underline{I}_1 &= \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} \text{sh} \gamma_0 L + \underline{I}_2 \text{ch} \gamma_0 L. \end{aligned} \right\} \quad (9.12)$$

როცა ხაზი მუშაობს უქმი სელის რეჟიმში ($\underline{I}_2 = 0$), მაშინ

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \text{ch} \gamma_0 L \quad \text{და} \quad \underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} \text{sh} \gamma_0 L, \quad (9.13)$$

ხოლო ხაზის გასწვრივ ძაბვისა და დენის განაწილების კანონზომიერება განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\underline{U}_e = \underline{U}_2 \text{ch} \gamma_0 (L - \ell) \quad \text{და} \quad \underline{I}_e = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} \text{sh} \gamma_0 (L - \ell). \quad (9.14)$$

ელექტროგადაცემის ხაზის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშებისას უფრო პრაქტიკულია გადაცემის განტოლებები ჩაწერილი იქნეს დატვირთვის სიმძლავრის საშუალებით. ამისთვის დატვირთვის დენი $\underline{I}_2$ გამოვსახოთ $\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2$ სიმძლავრითა და $\underline{U}_2 = U_2$ ძაბვით

$$\underline{I}_2 = \frac{P_2 - jQ_2}{\sqrt{3} U_2},$$

რომლის (7.11) განტოლებებში ჩასმით მივიღებთ

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= \underline{U}_2 \left[\text{ch} \gamma_0 (L - \ell) + (P_2 - jQ_2) \frac{Z_c}{U_2^2} \text{sh} \gamma_0 (L - \ell) \right], \\ \underline{I}_e &= \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} \left[\text{sh} \gamma_0 (L - \ell) + (P_2 - jQ_2) \frac{Z_c}{U_2^2} \text{ch} \gamma_0 (L - \ell) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (9.15)$$

და შესაბამისად ხაზის თავის რეჟიმის პარამეტრები იქნება

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_2 \left[\operatorname{ch} \gamma_0 L + (P_2 - jQ_2) \frac{Z_c}{U_2^2} \operatorname{sh} \gamma_0 L \right], \\ I_1 &= \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} \left[\operatorname{sh} \gamma_0 L + (P_2 - jQ_2) \frac{Z_c}{U_2^2} \operatorname{ch} \gamma_0 L \right] \end{aligned} \right\} \quad (9.16)$$

ანალოგიურად, (9.4) სისტემის მიხედვით შეგვიძლია გადაცემის განტოლებები ჩაეწეროს $\underline{I}_1 = P_1 + jQ_1$ გადასაცემი სიმძლავრის საშუალებით:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= \underline{U}_1 \left(\operatorname{ch} \gamma_0 \ell - (P_1 - jQ_1) \frac{Z_c}{U_1^2} \operatorname{sh} \gamma_0 \ell \right), \\ I_e &= \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3} Z_c} \left((P_1 - jQ_1) \frac{Z_c}{U_1^2} \operatorname{ch} \gamma_0 \ell - \operatorname{sh} \gamma_0 \ell \right) \end{aligned} \right\} \quad (9.17)$$

და, შესაბამისად, ხაზის ბოლოში რეჟიმის პარამეტრები იქნება

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_2 &= \underline{U}_1 \left(\operatorname{ch} \gamma_0 L - (P_1 - jQ_1) \frac{Z_c}{U_1^2} \operatorname{sh} \gamma_0 L \right), \\ I_2 &= \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3} Z_c} \left((P_1 - jQ_1) \frac{Z_c}{U_1^2} \operatorname{ch} \gamma_0 L - \operatorname{sh} \gamma_0 L \right) \end{aligned} \right\} \quad (9.18)$$

(9.15)-ში სიდიდე

$$\frac{U_2^2}{P_2 - jQ_2} = Z_2$$

წარმოადგენს ხაზის ბოლოში ჩართული დატვირთვის წინაღობას. თუ ეს წინაღობა აღმოჩნდება ხაზის ტალღური წინაღობის ტოლი (ანუ როგორც ამბობენ „ხაზი აწყობილია“ ტალღურ წინაღობაზე), მაშინ (9.15) მიიღებს სახეს

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= \underline{U}_2 [\operatorname{ch} \gamma_0 (L - \ell) + \operatorname{sh} \gamma_0 (L - \ell)] \\ I_e &= \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} [\operatorname{ch} \gamma_0 (L - \ell) + \operatorname{sh} \gamma_0 (L - \ell)] \end{aligned} \right\}$$

ანუ პიკერბოლური ფუნქციების განმარტების თანახმად

$$\underline{U}_e = \underline{U}_2 e^{Z_2(L-\ell)} \quad \text{და} \quad I_e = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} e^{Z_2(L-\ell)}.$$

მამასადამე, როცა ხაზი აწყობილია ტალღურ წინაღობაზე ($Z_2 = Z_c$), მაშინ ხაზში არსებობს მხოლოდ პირდაპირი ტალღა, ანუ ხაზის ბოლოში ტალღის არეკლვას ადგილი არ აქვს.

ამ შემთხვევაში ხაზის თავედან ℓ მანძილზე მდებარე წერტილში ხაზში გამაყალი მიმდებარე

$$\underline{S}_c = \sqrt{3} \underline{U}_c \underline{I}_c^* = \frac{U_2^2}{Z_c^*} e^{2j(\varphi - \theta)}.$$

მაშასადამე ხაზის თავესა და ბოლოში სიმძლავრე იქნება

$$\underline{S}_1 = \frac{U_2^2}{Z_c^*} e^{2j\varphi} \quad \text{და} \quad \underline{S}_2 = \frac{U_2^2}{Z_c^*},$$

ხოლო ხაზში სიმძლავრის დანაკარგები

$$\underline{\Delta S} = \underline{S}_1 - \underline{S}_2 = \frac{U_2^2}{Z_c^*} (e^{2j\varphi} - 1).$$

9.3 ენერგიის გადაცემის გალღური პროცესის სახასიათო პარამეტრების ფიზიკური არსი

როგორც აღვნიშნეთ ელექტროგადაცემის ხაზით ელექტრული ენერგიის გადაცემისას ძაბვა და დენი ხაზის ნებისმიერ წერტილში შეიძლება განვიხილოთ როგორც ორი ურთიერთსაპირისპირო მიმართულების მოძრავი ტალღების ჯამი. ე.ი. ხაზის გასწვრივ ძაბვისა და დენის გავრცელება და, შესაბამისად, ელექტრული ენერგიის გადაცემა გალღური პროცესია. ეს პროცესი ხასიათდება სხვადასხვა პარამეტრით: გალღური წინაღობა; ტალღის გავრცელების კოეფიციენტი; ხაზის გალღური სიგრძე; ტალღის გავრცელების სიჩქარე და სხვა.

გალღური წინაღობა განისაზღვრება (9.3) ფორმულით

$$Z_c = \sqrt{Z_0 / Y_0} = \sqrt{(r_0 + jx_0) / (g_0 + jb_0)} = Z_c e^{j\varphi_z}, \quad (9.19)$$

სადაც

$$Z_c = \sqrt{(r_0^2 + x_0^2) / (g_0^2 + b_0^2)} \quad (9.20)$$

და

$$\varphi_z = \frac{1}{2} \arctg \frac{g_0 x_0 - b_0 r_0}{r_0 g_0 + x_0 b_0}. \quad (9.21)$$

გალღური წინაღობის ფიზიკური არსი შეიძლება დაეადგინოთ (9.2) გამოსახულებათა დასმარებით. ამ გამოსახულებებიდან პირველი ჩაწერით პირდაპირი და უკუ ტალღების ჯამის სახით

$$\underline{U}_c = \underline{U}_{(1)} + \underline{U}_{(2)}.$$

მაშინ მეორე გამოსახულების მიხედვით გვაქვს

$$I_e = I_{(1)} - I_{(2)} = \frac{1}{\sqrt{3}Z_c} (\underline{U}_{(1)} - \underline{U}_{(2)})$$

აქედან

$$Z_c = \frac{\underline{U}_{(1)} - \underline{U}_{(2)}}{\sqrt{3}(\underline{I}_{(1)} - \underline{I}_{(2)})} = \frac{\underline{U}_{(1)3} - \underline{U}_{(2)3}}{\underline{I}_{(1)} - \underline{I}_{(2)}}$$

ამრიგად, გალდური წინაღობა ეს არის პირდაპირი და უკუ გალდების ძაბვებისა და დენების სხვაობათა ფარდობა. იგი ასევე შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც ერთი რომელიმე მიმართულების გალდის ძაბვისა და დენის ფარდობა, როცა არ არსებობს მეორე მიმართულების გალდა:

$$Z_c = \frac{\underline{U}_{(1)3}}{\underline{I}_{(1)}}, \text{ როცა } \underline{U}_{(2)3}=0 \text{ და } \underline{I}_{(2)}=0$$

ან

$$Z_c = \frac{\underline{U}_{(2)3}}{\underline{I}_{(1)}}, \text{ როცა } \underline{U}_{(1)3}=0 \text{ და } \underline{I}_{(1)}=0.$$

საქაერო ხაზებისთვის გალდური წინაღობა დიდ ფარგლებში იცვლება. ის ძირითადად დამოკიდებულია ხაზის ფაზის კონსტრუქციულ მომენტზე (2.54). ერთსადენიანი ფაზის შემთხვევაში $Z_c=380-400$, ხოლო ორად და მეტად გახლეჩილი ფაზების შემთხვევაში $Z_c=260-290$ ომი. რადგანაც საქაერო ხაზებისთვის $X_0 \ll X_0$, გალდური წინაღობის არგუმენტი უარყოფითია და მისი მნიშვნელობა $(-1+3)^{0.5}$ -ს ფარგლებშია.

გალდის გაერცელების კოეფიციენტი განისაზღვრება (9.5) გამოსახელებით

$$\underline{\gamma}_0 = \sqrt{\underline{Z}_0 \cdot \underline{Y}_0} = \sqrt{(r_0 + jx_0)(g_0 + jb_0)} = \gamma_0 e^{j\psi_\gamma} = \beta_0 + j\alpha_0 \quad (9.22)$$

სადაც

$$\gamma_0 = \sqrt{(r_0^2 + x_0^2)(g_0^2 + b_0^2)}, \quad (9.23)$$

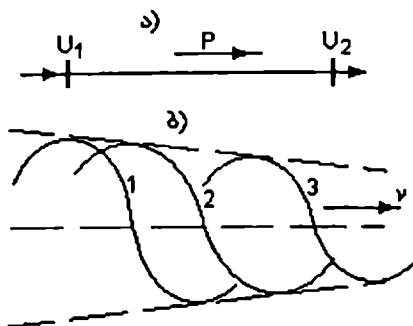
$$\psi_{\gamma_0} = \frac{1}{2} \left(\arctg \frac{x_0}{r_0} + \arctg \frac{b_0}{g_0} \right) \quad (9.24)$$

და შესაბამისად

$$\beta_0 = \gamma_0 \cos \psi_\gamma, \text{ და } \alpha_0 = \gamma_0 \sin \psi_\gamma. \quad (9.25)$$

ა. - გალდის ქრობის მუდმივა, რომელიც გვიჩვენებს ხაზში გალდის გადაადგილებისას ძაბვის (დენის) ამპლიტუდის ქრობის ხა-

რისს (ნახ.9.3), ხოლო α_0 - ფაზის ცვლილების კოეფიციენტი და გეიზერებს გალლის გადაადგილებისას ძაბვის (დენის) ვექტორის შემობრუნებას საწყისი მიმართულების მიმართ (ნახ.9.4).



ნახ. 9.3 ელექტრული ენერგიის გადაცემის გალური ხასიათი: ა) ენერგიის გადაცემის მიმართულება; ბ) ხაზის გასწვრივ გალლის გავრცელება.

გალის გავრცელების კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია ხაზის ფაზის კონსტრუქციულ ზომებზე. როგორც ანგარიშები გეიზერებს გალლის ქრობის კოეფიციენტი ზემაღალი ძაბვის საზღვრების ალწევს $\beta_0 = (3-6) \cdot 10^{-5}$ 1/კმ, ხოლო ფაზის ცვლილების (ფაზური) კოეფიციენტი კი $\alpha_0 = (0,060-0,065)$ გრად/კმ $= (1,04 \div 1,10) \cdot 10^{-3}$ რად/კმ.

ხაზში გალლის გავრცელების მახასიათებელი პარამეტრია გალლის სიგრძე λ . იგი წარმოადგენს მანძილს გალლის იმ ორ მეზობელ წერტილებს შორის, რომელთა რხევის ფაზები ერთმანეთისგან განსხვავდებიან 2π -ით. განმარტების თანახმად $\alpha_0 \lambda = 2\pi$, აქედან გალლის სიგრძე

$$\lambda = \frac{2\pi}{\alpha_0} = \frac{360}{\alpha_0}, \text{ კმ} \quad (9.26)$$

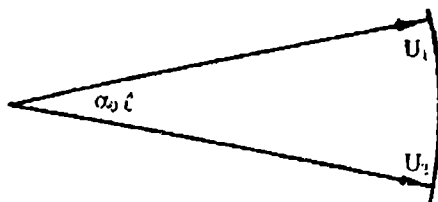
გალა $T=1/f$ პერიოდის განმავლობაში გავრცელდება λ მანძილზე. აქედან გამომდინარე გალლის გავრცელების სიჩქარე

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f = \frac{2\pi}{\alpha_0} f. \quad (9.27)$$

სიდიდე

$$\lambda_g = \alpha_0 L, \text{ გრად} \quad (9.28)$$

გეიზერებს გალლის რა ნაწილი მოთავსდება ხაზის მთელ L სიგრძეში. მას ხაზის გალურ სიგრძეს უწოდებენ.



ნახ. 9.4 ძაბვის ვექტორის შემობრუნება ხაზში გალლის დაადგილების დროს.

(9.26) და (9.28) გამოსახულებათა საფუძველზე დაეადგენთ კაე შირს ხაზის გალლურ სიგრძესა და გალლის სიგრძეს შორის

$$\lambda_0 = 2\pi \frac{L}{\lambda}. \quad (9.29)$$

ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების თანახმად ზემაღალი ძაბვის ხაზებზე გამოიყენება გახლეჩილი ფაზები დიდი განიკეუთის სა- დენებით, რომელთათვისაც დამახასიათებელია $I_0 \ll X_0$ და $G_0 \ll b_0$. ამ პირობებში ხაზში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები მყირეა და ამიგომ ასეთ ხაზებს პირობითად უდანაკარგო ხაზებს უწო- დებენ. თუ გაანგარიშებისას ჩაეთელით $I_0 = G_0 = 0$, მაშინ ენერგიის გადაყემის გალლური პროცესის სახასიათო პარამეტრები მნიშენელო- ნად გამარგიდება. კერძოდ:

გალლური წინაღობა ნამდეილი სიდიდეა

$$Z_c = \sqrt{\frac{x_0}{b_0}} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{X}{B}}. \quad (9.30)$$

გალლის გაერელების კოეფიციენტი წარმოსახეითი სიდიდეა

$$\gamma_0 = j\sqrt{x_0 \cdot b_0} = j\omega\sqrt{L_0 \cdot C_0}, \quad (9.31)$$

ანუ

$$\beta_0 = 0 \quad \text{და} \quad \alpha_0 = \omega\sqrt{L_0 \cdot C_0} = \sqrt{x_0 \cdot b_0}. \quad (9.32)$$

გალლის სიგრძე

$$\lambda = \frac{1}{f\sqrt{L_0 C_0}}; \quad (9.33)$$

გალლის გაერელების სიჩქარე

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}; \quad (9.34)$$

ხაზის გალლური სიგრძე

$$\lambda_g = \omega \sqrt{L_0 \cdot C_0} \cdot L = \sqrt{X \cdot B}. \quad (9.35)$$

(9.30)-(9.35) გამოსახულებაში L_0 და C_0 - 1კმ ხაზის ინდუქტიურობა და ტევადობა.

9.4 უდანაკარგო ხაზის გადაცემის განტოლებები და ძაბვის ცვლილება ხაზის გასწვრივ

ელექტროგადაცემის ხაზში მიმდინარე პროცესის ანალიზის გამარტივების მიზნით მიღებულია ხაზი განვიხილოთ, როგორც უდანაკარგო (იდეალური) - $r_0 = 0$ და $g_0 = 0$. თუმცა ეს დაშვება ზეგრძელი ხაზების შემთხვევაში რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშებისას გარკვეულ ცდომილებებს იწვევს, რადგანაც აღნიშნული ხაზებისთვის $r_0 L$ და $g_0 L$ ანგარიშგასაწევი სიდიდეებია.

უდანაკარგო ხაზის გადაცემის განტოლებები მიიღება (9.4) და (9.11) განტოლებათა სისტემიდან, თუ მათში ჩავსვამთ გალლური წინალობის და გალლის გაერყელების კოეფიციენტების მნიშვნელობებს, განსაზღვრულს (9.30) და (9.32) გამოსახულებების მიხედვით:

$$\underline{U}_e = \underline{U}_1 \operatorname{ch} j \alpha_0 \ell - \sqrt{3} \underline{I}_1 Z_C \operatorname{sh} j \alpha_0 \ell,$$

$$\underline{I}_e = \underline{I}_1 \operatorname{ch} j \alpha_0 \ell - \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3} Z_C} \operatorname{sh} j \alpha_0 \ell.$$

და

$$\underline{U}_e = \underline{U}_2 \operatorname{ch} j \alpha_0 (L - \ell) + \sqrt{3} \underline{I}_2 Z_C \operatorname{sh} j \alpha_0 (L - \ell),$$

$$\underline{I}_e = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} Z_C} \operatorname{sh} j \alpha_0 (L - \ell) + \underline{I}_2 \operatorname{ch} j \alpha_0 (L - \ell).$$

წარმოსახვითი არგუმენტის ჰიპერბოლური ტრიგონომეტრიული ფუნქციები შევცვალოთ ჩვეულებრივი ტრიგონომეტრიული ფუნქციებით

$$\operatorname{ch} j x = \cos x \quad \text{და} \quad \operatorname{sh} j x = j \sin x,$$

მაშინ

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= \underline{U}_1 \cos \alpha_0 \ell - j \sqrt{3} \underline{I}_1 Z_C \sin \alpha_0 \ell, \\ \underline{I}_e &= \underline{I}_1 \cos \alpha_0 \ell - j \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3} Z_C} \sin \alpha_0 \ell. \end{aligned} \right\} \quad (9.36)$$

და

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= \underline{U}_2 \cos \alpha_0(L-\ell) + j\sqrt{3}I_2 Z_c \sin \alpha_0(L-\ell), \\ \underline{I}_e &= j \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}Z_c} \sin \alpha_0(L-\ell) + \underline{I}_2 \cos \alpha_0(L-\ell). \end{aligned} \right\} \quad (9.37)$$

თუ ამ გამოსახულებებში $\underline{I}_1$ და $\underline{I}_2$ ღენებს შევუვლით შესაბამისი სიმძლავრეებით და ბაზისურ ექვტორად (9.36)-ში მივიღებთ $\underline{U}_1$ ექვტორს, ხოლო (9.37)-ში კი $\underline{U}_2$ ექვტორს, გვექნება

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= U_1 (\cos \alpha_0 \ell - Q_{1*} \sin \alpha_0 \ell - jP_{1*} \sin \alpha_0 \ell), \\ \underline{I}_e &= \frac{U_1}{\sqrt{3}Z_c} (P_{1*} \cos \alpha_0 \ell - j(Q_{1*} \cos \alpha_0 \ell + \sin \alpha_0 \ell)) \end{aligned} \right\} \quad (9.38)$$

და

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= U_2 (\cos \alpha_0(L-\ell) + Q_{2*} \sin \alpha_0(L-\ell) + jP_{2*} \sin \alpha_0(L-\ell)), \\ \underline{I}_e &= \frac{U_2}{\sqrt{3}Z_c} (P_{2*} \cos \alpha_0(L-\ell) - j(Q_{2*} \cos \alpha_0(L-\ell) + \sin \alpha_0(L-\ell))) \end{aligned} \right\} \quad (9.39)$$

სადაც

$$P_{1*} = \frac{P_1}{P_{\text{ბაზ}}}; \quad P_{2*} = \frac{P_2}{P_{\text{ბაზ}}}; \quad Q_{1*} = \frac{Q_1}{P_{\text{ბაზ}}}; \quad Q_{2*} = \frac{Q_2}{P_{\text{ბაზ}}}. \quad (9.40)$$

თავის მხრივ

$$P_{\text{ბაზ}} = \frac{U_1^2}{Z_c} \quad \text{და} \quad P_{\text{ბაზ}} = \frac{U_2^2}{Z_c}$$

ხაზის ნატურალური სიმძლავრე, განსაზღვრული ხაზის თავის და ბოლოს ძაბვების მიხედვით, შესაბამისად.

უნდა აღინიშნოს, რომ უდანაკარგო ხაზისთვის $P_1=P_2$, მაგრამ როცა $U_1 \neq U_2$, მაშინ $P_1 \neq P_2$.

ხაზის თავისა და ბოლოს პარამეტრებს შორის კავშირს მივიღებთ, თუ (9.38)-ში ავიღებთ $\ell = L$, ხოლო (9.39)-ში კი $\ell = 0$:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_2 &= U_1 (\cos \alpha_0 L - Q_{1*} \sin \alpha_0 L - jP_{1*} \sin \alpha_0 L), \\ \underline{I}_2 &= \frac{U_1}{\sqrt{3}Z_c} (P_{1*} \cos \alpha_0 L - j(Q_{1*} \cos \alpha_0 L + \sin \alpha_0 L)). \end{aligned} \right\} \quad (9.41)$$

და

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= U_2 (\cos \alpha_0 L + Q_{2*} \sin \alpha_0 L + jP_{2*} \sin \alpha_0 L), \\ \underline{I}_1 &= \frac{U_2}{\sqrt{3}Z_c} (P_{2*} \cos \alpha_0 L - j(Q_{2*} \cos \alpha_0 L + \sin \alpha_0 L)). \end{aligned} \right\} \quad (9.42)$$

(9.38) სამუქლებას გაეძლევს დავადგინოთ ხაზის გასწვრივ ძაბვისა და ღუნის ცვლილების ხასიათი, როცა მოცემულია (ცნობილია) ხაზის თავის პარამეტრები $P_{1.0}$, $Q_{1.0}$ და $Q_{1.0}$, ხოლო (9.39)-ით დავადგენთ იმავე ხასიათს, როცა მოცემულია ხაზის ბოლოს პარამეტრები P_2 , P_2 და Q_2 .

გაუაანალიზოთ (9.38) გამოსახულება:

$$1) \text{ როცა } P_{1.0}=0 \text{ და } Q_{1.0}=0, \text{ გვაქვს } U_r = U_1 \cos \alpha_0 \ell.$$

ე.ი. ძაბვა მაქსიმალურია ხაზის თავში და ხაზის ბოლოსკენ გადაადგილებასთან ერთად მცირდება კოსინუსის კანონით;

$$2) \text{ როცა } P_{1.0}=1 \text{ და } Q_{1.0}=0, \text{ მაშინ (9.38)-დან ვღებულობთ}$$

$$\underline{U}_e = U_1 (\cos \alpha_0 \ell - j \sin \alpha_0 \ell) = U_1 e^{-j\alpha_0 \ell},$$

ე.ი. ძაბვა ხაზის გასწვრივ სიდიდით უცვლელია და ხდება მხოლოდ მისი შემობრუნება U_1 საწყისი ვექტორის მიმართ $\alpha_0 \ell$ კუთხით (ნახ.9.4);

$$3) \text{ როცა } P_{1.0} \neq 1 \text{ და } Q_{1.0}=0, \text{ მაშინ}$$

$$\underline{U}_e = U_1 (\cos \alpha_0 \ell - j P_{1.0} \sin \alpha_0 \ell),$$

ე.ი. ხაზის გასწვრივ გადაადგილებასთან ერთად ძაბვა სიდიდით იცვლება (მცირდება, როცა $P_{1.0} < 1$ და იზრდება, როცა $P_{1.0} > 1$)

$$U_r = U_1 \sqrt{\cos^2 \alpha_0 \ell + P_{1.0}^2 \sin^2 \alpha_0 \ell}$$

და ამასთან მისი ვექტორი შემობრუნდება U_1 ვექტორის მიმართ. $\alpha_0 \ell$ სიდიდეზე ნაკლები ($P_{1.0} < 1$) ან მეტი ($P_{1.0} > 1$) კუთხით.

ხაზის გასწვრივ ძაბვის ცვლილების შემოთაღნიშნული კანონზომიერება განპირობებულია იმით, რომ:

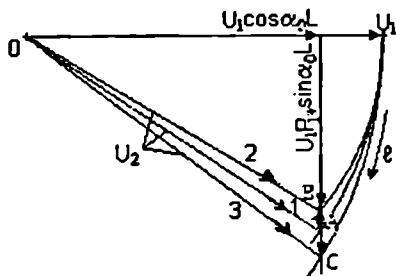
ა) როცა $P_{1.0}=1$ და $Q_{1.0}=0$, მაშინ ხაზის რეაქტიულ წინააღობაში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები კომპენსირდება ხაზის გვეადურ გამტარობაში გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრით და ხაზში რეაქტიული სიმძლავრის ღირებებს ადგილი არ აქვს. რადგანაც ხაზი უდანაკარგოა ($r_0 = 0$) ძაბვის დანაკარგი ხაზში არ არის და ძაბვა ხაზის

გასწვრივ უცვლელია $|OA| = U_1$ (ნახ.9.5, წირი 1);

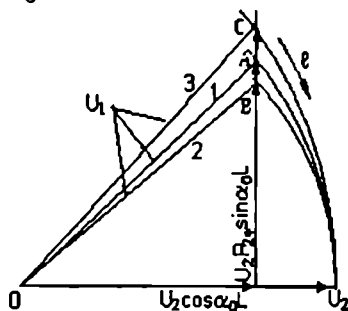
ბ) როცა $P_{1.0} < 1$ და $Q_{1.0}=0$, მაშინ ხაზში რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია ჭარბობს რეაქტიულ წინააღობაში დანაკარგებს და, რადგანაც $Q_{1.0}=0$, ადგილი აქვს ხაზის თავიდან ბოლოსკენ ჭარბი რეაქტიული სიმძლავრის ღირებებს, რაც იწვევს ძაბვის დანაკარგს და ძაბვა ხაზის ბოლოსკენ დაგაადგილებასთან ერთად მცირდება $|OB| < U_1$ (ნახ.9.5, წირი 2);

ვ) როცა $P_{1*} > 1$ და $Q_{1*} = 0$, მაშინ ხაზში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგი ჭარბობს გენერაციას და ლეუიციის დასაფარავად ხაზში მის ბოლოდან შემოდის რეაქტიული სიმძლავრე, რომელიც მაქსიმალურია ხაზის ბოლოში, თანდათან მცირდება თავისკენ გადაადგილებისას და თავში სდება ნულის გოლი. რეაქტიული სიმძლავრის ასეთი ნაკადი იწვევს ძაბვის ზრდას ხაზის ბოლო წერტილებში $|OC| > U_1$ (ნახ.9.5, წი-რი 3).

(9.39) გამოსახულებაში რეჟიმის საწყის ინფორმაციას წარმოადგენს ხაზის ბოლოს პარამეტრები - U_2 , P_2 და Q_2 . ამ გამოსახულების თანახმად ხაზის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში ძაბვის განაწილების ხასიათს აქვს 9.6 ნახაზზე ნაჩვენები სახე.



ნახ. 9.5 ხაზის გასწვრივ ძაბვის ცვლილების დიაგრამა, როცა $U_1 = \text{const}$ და $Q_{1*} = 0$

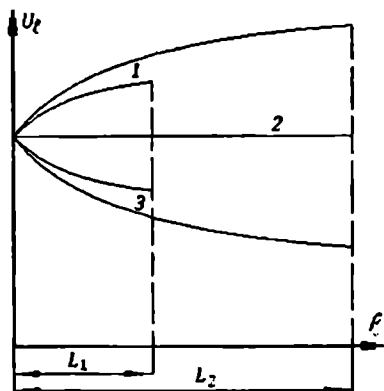


ნახ. 9.6 ხაზის გასწვრივ ძაბვის ცვლილების დიაგრამა, როცა $U_2 = \text{const}$ და $Q_{2*} = 0$

იმ შემთხვევაში, როცა მოცემულია სიმძლავრე ხაზის ბოლოში (P_2 , Q_2) და ძაბვა ხაზის თავში (U_1), მაშინ (9.39) და (9.42) გამოსახულებათა ერთობლივი ამოხსნით ეღებულობთ

$$\underline{U}_e = U_1 \frac{\cos \alpha_0 (L - \ell) + Q_2 \sin \alpha_0 (L - \ell) + j P_2 \sin \alpha_0 (L - \ell)}{\cos \alpha_0 L + Q_2 \sin \alpha_0 L + j P_2 \sin \alpha_0 L} \quad (9.43)$$

ამ გამოსახულების თანახმად, როცა $P_2 = 1$ და $Q_2 = 0$, მაშინ ძაბვა ხაზის გასწვრივ ერთიდაიგივეა სიდიდით (ნახ.9.7 წირი 2), ხოლო როცა $P_2 \neq 1$ და $Q_2 = 0$ ხაზის გასწვრივ ძაბვა ხაზის ბოლოსაკენ გადაადგილებასთან ერთად იზრდება, როცა $P_2 < 1$ (ნახ. 9.7, წირი 1) და მცირდება, როცა $P_2 > 1$ (ნახ.9.7 წირი 3). ამასთან, ძაბვის აღნიშნული ცვლილებები მით უფრო დიდია, რაც უფრო გრძელია ხაზი.



ნახ. 9.7 ხაზის გასწვრივ ძაბვის ევლილების გრაფიკი, როცა $Q_2=0$ და: 1) $P_2<1$; 2) $P_2=1$; 3) $P_2>1$.

როცა $L=1$, მაშინ ხზის ბოლოში ძაბვა

$$U_2 = \frac{U_1}{\cos \alpha_0 l + Q_2 \sin \alpha_0 l + j P_2 \sin \alpha_0 l}.$$

როცა ხაზი მიმდებ ბოლოში გამორთულია, ე.ი. გვაქვს უქმი სელის რეჟიმი $P_2=0$, $Q_2=0$, მაშინ ხაზის გასწვრივ ძაბვა იცვლება

$$U_c = U_1 \frac{\cos \alpha_0 (L - \ell)}{\cos \alpha_0 L} \quad (9.44)$$

კანონით და ხაზის ბოლოში ძაბვა აღწევს $U_2 = \frac{U_1}{\cos \alpha_0 L}$ მნიშვნელობას.

მაშასადამე, ხაზის გამორთულ ბოლოში ძაბვის ამაღლება დამოკიდებულია ხაზის სიგრძეზე და განისაზღვრება ფორმულით

$$\Delta U\% = \left(\frac{1}{\cos \alpha_0 L} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (9.45)$$

ანგარიშებით ვღებულობთ, რომ $L=100$ კმ სიგრძის ხაზისთვის $\Delta U\%=0,6\%$, ხოლო $L=500$ კმ სიგრძის ხაზისთვის $\Delta U\%\approx 15,6\%$ -ს.

9.5. ელექტროგადაცემის წრიული დიაგრამა და კუთხური მახასიათებლები

გრძელი ელექტროგადაცემის ხაზი ერთმანეთთან აკავშირებს ორ მძლავრ ელექტროსისტემას, ან მძლავრ ელექტროსადგურს მძლავრ ელექტროსისტემასთან. ორივე ამ შემთხვევაში ხაზის ორივე

ბოლოში არსებობს ელექტრომაგნიტური ძალის წყარო. ასეთ შემთხვევაში ხაზის მუშაობის რეჟიმის პარამეტრების გასაანგარიშებლად მიზანშეწონილია გადასაცემი სიმძლავრის საანგარიშო გამოსახულება გამოვსახოთ ხაზის ბოლოების ძაბვების საშუალებით.

ხაზის ბოლოებში სიმძლავრე განისაზღვრება ცნობილი ფორმულებით

$$S_1 = \sqrt{3} \underline{U}_1 I_1^* \text{ და } S_2 = \sqrt{3} \underline{U}_2 I_2^* \quad (9.46)$$

(9.6) და (9.12) განტოლებათა სისტემების პირველ განტოლებებში გაითვალისწინოთ (9.7) და (9.8). მიღებული განტოლებებიდან განვსაზღვროთ $\underline{I}_1$ და $\underline{I}_2$, გვაქვს

$$\underline{I}_1 = \frac{1}{\sqrt{3} \underline{B}} (\underline{A} \underline{U}_1 - \underline{U}_2) \text{ და } \underline{I}_2 = \frac{1}{\sqrt{3} \underline{B}} (\underline{U}_1 - \underline{A} \underline{U}_2)$$

დენების ეს მნიშვნელობები ჩაესვით (9.46)-ში, მივიღებთ

$$\underline{S}_1 = \frac{\underline{A}^* \underline{U}_1^2}{\underline{B}^*} - \frac{\underline{U}_1 \underline{U}_2^*}{\underline{B}^*},$$

$$\underline{S}_2 = \frac{\underline{A}^* \underline{U}_2^2}{\underline{B}^*} + \frac{\underline{U}_1 \underline{U}_2^*}{\underline{B}^*}.$$

$\underline{U}_2$ ძაბვის ვექტორი მიემართოთ ნამდვილ რიცხვთა ღერძის დადებითი მიმართულებით და კომპლექსური სიდიდეები ჩავწეროთ მაჩვენებლიან ფორმაში:

$$\underline{A} = A e^{j\psi_A}; \quad \underline{B} = B e^{j\psi_B}; \quad \underline{U}_1 = U_1 e^{j\psi_1}; \quad \underline{U}_2 = U_2 e^{j\psi_2}.$$

მაშინ

$$\left. \begin{aligned} \underline{S}_1 &= U_1^2 \frac{A}{B} e^{j(\psi_B - \psi_A)} - \frac{U_1 U_2}{B} e^{j(\psi_B - \psi_2)}, \\ \underline{S}_2 &= -U_1^2 \frac{A}{B} e^{j(\psi_B - \psi_A)} + \frac{U_1 U_2}{B} e^{j(\psi_B - \psi_2)}, \end{aligned} \right\} \quad (9.47)$$

სადაც δ - ხაზის ბოლოების ძაბვის ვექტორებს შორის ძვრის კუთხე. შემოვიღოთ აღნიშვნები

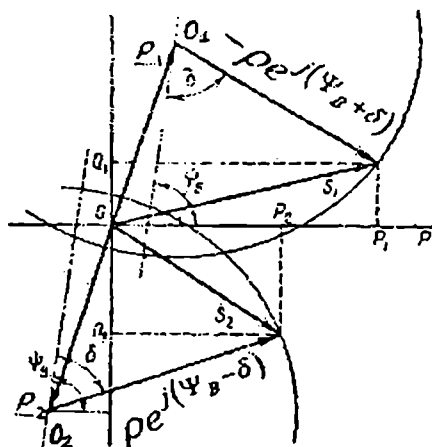
$$\left. \begin{aligned} U_1^2 \frac{A}{B} &= \rho_1; \\ U_2^2 \frac{A}{B} &= \rho_2; \\ \frac{U_1 U_2}{B} &= \rho, \end{aligned} \right\} \quad (9.48)$$

მაშინ გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} \underline{S}_1 &= \rho_1 e^{j(\psi_B - \psi_A)} - \rho e^{j(\psi_B + \delta)}, \\ \underline{S}_2 &= -\rho_2 e^{j(\psi_B - \psi_A)} + \rho e^{j(\psi_B - \delta)}, \end{aligned} \right\} \quad (9.49)$$

ამრიგად, ხაზის ბოლოებში მოცემული ძაბვების პირობებში $\underline{S}_1$ და $\underline{S}_2$ დამოკიდებულია მხოლოდ δ ცვლადზე.

(9.49) გამოსახულება წარმოადგენს იმ წრეწირთა განგოლებებს, რომელთა რადიუსია ρ , ხოლო ცენტრები მდებარეობს $\underline{\rho}_1$ და $\underline{\rho}_2$ ვექტორების O_1 და O_2 ბოლოებში (ნახ.7.8). ამ გრაფიკის სიმბლავრის წრიულ დიაგრამას უწოდებენ.



ნახ. 9.8 ხაზის სიმბლავრის წრიული დიაგრამა

(9.47) გამოსახულების მიხედვით ვწერთ

$$P_1 = U_1^2 \frac{A}{B} \cos(\psi_B - \psi_A) - \frac{U_1 U_2}{B} \cos(\psi_B + \delta), \quad (9.50)$$

$$Q_1 = U_1^2 \frac{A}{B} \sin(\psi_B - \psi_A) - \frac{U_1 U_2}{B} \sin(\psi_B + \delta), \quad (9.51)$$

$$P_2 = -U_2^2 \frac{A}{B} \cos(\psi_B - \psi_A) + \frac{U_1 U_2}{B} \cos(\psi_B - \delta), \quad (9.52)$$

$$Q_2 = -U_2^2 \frac{A}{B} \sin(\psi_B - \psi_A) + \frac{U_1 U_2}{B} \sin(\psi_B - \delta). \quad (9.53)$$

ამ გამოსახულებებს სიმძლავრის კუთხურ მახასიათებლებს უწოდებენ, რადგანაც როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ხაზის ბოლოებში ცნობილი ძაბვების პირობებში P_1 , P_2 , Q_1 , Q_2 სიმძლავრეები დამოკიდებულია მხოლოდ ძაბვებს შორის ძერის δ კუთხეზე.

9.6. რეალური ხაზის გასწვრივ ძაბვისა და დენის ცვლილება მოცემული U_1 და U_2 ძაბვების დროს

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ (§9.5) ხაზის გასწვრივ ძაბვის მნიშვნელოვან ცვლილებას ადვილი აქვს მაშინ, როცა მასში გამავალი აქტიური სიმძლავრე მნიშვნელოვნად განსხვავდება ნაკურალურისგან და ამასთან ეს ცვლილება დამოკიდებულია Q_2 რეაქტიული დატვირთვის სიდიდეზე.

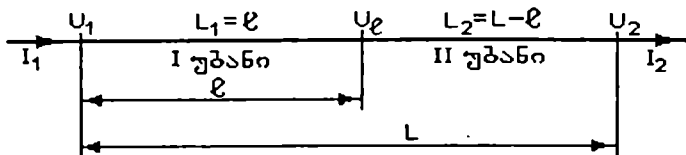
ხაზის ძაბვის ქვეშ ჩართვისას შეუძლებელია ერთდროულად ჩართოს ორივე ბოლო და ამიგომ დროის მეორე პერიოდში ხაზს მაინც უწევს უქმი სელის რეჟიმში მუშაობა, რომლის დროსაც მოსალოდნელია ძაბვის მნიშვნელოვანი ამაღლება მის ღია ბოლოში, რაც სახიფათოა სახაზო იზოლაციის მუშაობის თვალსაზრისით.

სხედასება სახის ღონისძიების გაგარების შემდეგ შეიძლება ხაზის ორივე ბოლოში მიეღწეოთ ძაბვათა სასურველ მნიშვნელობებს. მაგრამ ეს კიდე არ ნიშნავს იმას, რომ ხაზის შუა წერტილებში ძაბვა არ ამაღლდება იზოლაციისთვის სახიფათო მნიშვნელობამდე.

აღნიშნულიდან გამომდინარე საჭიროა გაგეგმოს საანგარიშო გამოსახულება, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ხაზის მუშაობის ნებისმიერ რეჟიმში დაეადგინოთ მის გასწვრივ ძაბვის ცვლილების ხასიათი.

ხაზის თავიდან ℓ მანძილზე მდებარე წერტილში ძაბვის სიდიდის დადგენისთვის ხაზი წარმოვადგენთ გავყოთ ორ ნაწილად (ნახ.9.9), რომელთათვის განვმოდგოებული მუდმივები (9.7)-(9.9) ჩაიწერება სახეში

$$\left. \begin{aligned} \underline{A}_1 &= \underline{D}_1 = \operatorname{ch} \gamma_0 \ell; & B_1 &= Z_c \operatorname{Sh} \gamma_0 \ell; \\ \underline{C}_1 &= \frac{1}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma_0 \ell; \\ \underline{A}_2 &= \underline{D}_2 = \operatorname{ch} \gamma_0 (L - \ell); & B_2 &= Z_c \operatorname{Sh} \gamma_0 (L - \ell); \\ \underline{C}_2 &= \frac{1}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma_0 (L - \ell). \end{aligned} \right\} \quad (9.54)$$



ნახ. 9.9 ძაბვის განაწილების კანონზომიერების დადგენისთვის

ვალდებულების (9.12) განტოლებები ჩაეწეროს ხაზის ორივე უბნისთვის:

I უბანი

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_e \operatorname{ch} \gamma_0 l + \sqrt{3} \underline{I}_e \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma_0 l \\ \underline{I}_1 &= \frac{\underline{U}_e}{\sqrt{3} \underline{Z}_c} \operatorname{sh} \gamma_0 l + \underline{I}_e \operatorname{ch} \gamma_0 l \end{aligned} \right\}$$

II უბანი

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= \underline{U}_2 \operatorname{ch} \gamma_0 (L-l) + \sqrt{3} \underline{I}_2 \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma_0 (L-l) \\ \underline{I}_e &= \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} \underline{Z}_c} \operatorname{sh} \gamma_0 (L-l) + \underline{I}_2 \operatorname{ch} \gamma_0 (L-l) \end{aligned} \right\}$$

ამ განტოლებათა ერთობლივი ამოხსნით ვღებულობთ

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_e &= \frac{1}{\operatorname{sh} \gamma_0 L} [\underline{U}_1 \operatorname{sh} \gamma_0 (L-l) + \underline{U}_2 \operatorname{sh} \gamma_0 l] \\ \underline{I}_e &= \frac{1}{\sqrt{3} \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma_0 L} [\underline{U}_1 \operatorname{ch} \gamma_0 (L-l) - \underline{U}_2 \operatorname{ch} \gamma_0 l] \end{aligned} \right\} \quad (9.55)$$

$\underline{U}_e$ ძაბვის ექვტორი მიემართოთ ნამდვილ რიცხვთა ღერძის გასწვრივ და გვექნება

$$\underline{U}_e = \frac{\underline{U}_2}{\operatorname{sh} \gamma_0 L} [K e^{j\theta} \operatorname{sh} \gamma_0 (L-l) + \operatorname{sh} \gamma_0 l] \quad (9.56)$$

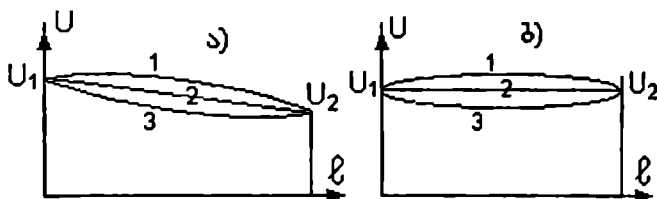
$$\underline{I}_e = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma_0 L} [K e^{j\theta} \operatorname{ch} \gamma_0 (L-l) - \operatorname{ch} \gamma_0 l] \quad (9.57)$$

სადაც

$$K = \frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} \quad (9.58)$$

წარმოადგენს ძაბვის ვარდნილობას ხაზში.

მოცემული U_1 და U_2 ძაბვების პირობებში ხაზის გასწვრივ ძაბვის ცვლილების გრაფიკები ნაჩვენებია 9.10 ნახაზზე.



ნახ. 9.10 ძაბვის განაწილება ხაზის გასწვრივ: ა) როცა $U_1 \neq U_2$; ბ) როცა $U_1 = U_2$. 1) $P_1 < 1$; 2) $P_1 = 1$; 3) $P_1 > 1$.

9.7. ხაზის რეჟიმის პარამეტრების ურთიერთდამოკიდებულება

ელექტროგადაცემის ხაზის მუშაობის ნებისმიერი რეჟიმის დამახასიათებელი პარამეტრებია აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრე ხაზის თავსა და ბოლოში (P_1 , P_2 , Q_1 , Q_2), ძაბვები ამავე ბოლოებში (U_1 , U_2) და ამ ძაბვებს შორის ძერის კუთხე (δ). ხაზის მუშაობის გაანგარიშების მიზანია ამ პარამეტრების მნიშვნელობათა დადგენა.

ნებისმიერი პარამეტრის მნიშვნელობა უნდა იყოს გექნიკურად დასაშვები და ეკონომიკურად მიზანშეწონილი. მამასადამე, ელექტროგადაცემის რეჟიმის ანგარიში გექნიკურ-ეკონომიკური ხასიათის ამოცანას წარმოადგენს.

რეჟიმის გაანგარიშებისას ხშირად წინასწარ ცნობილია P_2 , U_1 და U_2 პარამეტრები. ასეთი სახის საწყისი ინფორმაციის არსებობა განპირობებულია იმით, რომ: 1) P_2 -ს სიდიდე ნაკარნახევი მიმღებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის ბალანსის პირობით; 2) ხაზის თავში ძაბვის სიდიდე U_1 შეზღუდულია ხანგრძლივად დასაშვები მაქსიმალური მნიშვნელობით და ამასთან მისი სიდიდე განპირობებს თვით ელექტროგადაცემის მუშაობის მდგრადობას; 3) ხაზის ბოლოში ძაბვა U_2 განსაზღვრულია მიმღები სისტემის მუშაობის რეჟიმითა და მდგრადობის პირობით. აღნიშნულის გამო (9.42) განგოლებებიდან გამომდინარე ხაზის ბოლოში რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე და მიმართულება, ცნობილი P_2 , U_1 და U_2 სიდიდეებისას, ცალსახად განსაზღვრულია.

ამავე განგოლებიდან ელვებულობთ, რომ ხაზში ძაბვის ეარდნობა

$$K = \sqrt{(\cos \alpha_0 L + Q_2 \sin \alpha_0 L)^2 + (P_2 \sin \alpha_0 L)^2} \quad (9.59)$$

სხვა პარამეტრებთან ერთად დამოკიდებულია Q_2 -ზე.

Q_2 სიმძლავრის სიდიდისა და მიმართულების შერჩევა საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ძაბვის ეარდნილობის სასურველი სიდიდე.

Q_2 სიმძლავრის სიდიდე და მიმართულება გავლენას ახდენს აგრეთვე δ ძერის კუთხის მნიშვნელობაზე. ძერის კუთხე მცირეა, როცა $Q_2 > 0$ და დიდია, როცა $Q_2 < 0$. (9.42) განტოლებებიდან

$$\delta = \arctg \frac{P_2 \cdot \sin \alpha_0 L}{\cos \alpha_0 L + Q_2 \cdot \sin \alpha_0 L} = \arctg \frac{P_2 \cdot tg \alpha_0 L}{1 + Q_2 \cdot tg \alpha_0 L}. \quad (9.60)$$

ამ გამოსახულებიდან ვღებულობთ, რომ როცა $P_2 = 1$ და $Q_2 = 0$ $\delta = \alpha_0 L$. ე.ი. ძაბვებს შორის ძერის კუთხე ხაზის სიგრძის პირდაპირპროპორციულია.

ელექტროგადაცემის მუშაობის მდგრადობის თვალსაზრისით, სხვა ერთნაირ პირობებში, უმჯობესია ხაზის თავში იყოს შესაძლო მაქსიმალური ძაბვა და ძერის კუთხე რაც შეიძლება დაბალი. ე.ი. უფრო ხელსაყრელია რეჟიმი, როცა $Q_2 > 0$.

მიმღები სისტემის მდგრადი მუშაობის უზრუნველყოფის მიზნით დაბალი მნიშვნელობის ძერის კუთხის მისაღებად საჭიროა სრულდებოდეს $Q_2 > 0$ პირობა, განსაკუთრებით, საკმარისად გრძელი ხაზების შემთხვევაში. თუ მიმღები სისტემა $Q_2 > 0$ პირობას ვერ უზრუნველყოფს, მაშინ აუცილებელი ხდება ხაზის ბოლოში დამატებით დაყენებული იქნეს რეაქტიული სიმძლავრის მიმღები რეაქტორები.

ხაზში რეაქტიული სიმძლავრის ნაკადი გავლენას ახდენს ხაზის გასწვრივ ძაბვის განაწილების ხასიათზე და რეალურ ხაზებში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებზე. აღნიშნულიდან გამომდინარე მოცემული P_2 აქტიური სიმძლავრის გადაცემისას δ კუთხის დაბალი მნიშვნელობის უზრუნველყოფის მიზნით Q_2 სიმძლავრის შერჩევის საკითხი დადგენილი უნდა იქნეს გექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე.

9.8. გრძელი ელექტროგადაცემის ხაზის მღერული სიმძლავრე და გადაცემის მარაგის კოეფიციენტი

ცნობილი U_1 და U_2 ძაბვების პირობებში გრძელი ელექტროგადაცემის ხაზით მიმღებ სისტემაში გადაცემული აქტიური სიმძლავრე ზოგადად განისაზღვრება (9.52) გამოსახულებით

$$P_2 = -U_2^2 \frac{A}{B} \cos(\psi_B - \psi_A) + \frac{U_1 U_2}{B} \cos(\psi_B - \delta)$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ზღერული სიმძლავრე, რომელიც შეიძლება გადაცემული იქნეს მოცემული ხაზით, შეადგენს

$$P_{2\text{ზ}} = -U_2^2 \frac{A}{B} \cos(\psi_B - \psi_A) + \frac{U_1 U_2}{B}. \quad (9.61)$$

ამ დროს ძაბვებს შორის ძაერის კუთხე $\delta = \psi_B$.

უდანაკარგო ხაზის შემთხვევაში განზოგადოებული მუდმივებისთვის ((9.7)-(9.8)) გვაქვს:

$$\left. \begin{aligned} A &= \cos \alpha_0 L \quad \text{და} \quad \psi_A = 0^\circ, \\ B &= Z_C \sin \alpha_0 L \quad \text{და} \quad \psi_B = 90^\circ, \end{aligned} \right\} \quad (9.62)$$

სადაც $Z_C = \sqrt{x_0 / b_0}$.

ამრიგად, უდანაკარგო ხაზით გადაცემული აქტიური სიმძლავრე იქნება

$$P_2 = \frac{U_1 U_2}{B} \sin \delta = \frac{U_1 U_2}{Z_C \sin \alpha_0 L} \sin \delta \quad (9.63)$$

ხოლო ზღერული სიმძლავრისთვის ელვებულობით

$$P_{2\text{ზ}} = \frac{U_1 U_2}{Z_C \sin \alpha_0 L}. \quad (9.64)$$

რადგანაც ზემაღალი ძაბვის ხაზებისთვის $\alpha_0 \approx 0,06$ გრად/კმ, $L=(0-3000)$ კმ სიგრძის ხაზებისთვის $\sin \alpha_0 L > 0$, ხოლო $L=(3000-6000)$ კმ სიგრძის ხაზებისთვის $\sin \alpha_0 L < 0$. აქედან გამომდინარე, ხაზის ზღერული სიმძლავრე პირველ შემთხვევაში დადებითია და მეორე შემთხვევაში კი უარყოფითი. ხაზის სიგრძის შემდგომი ზრდისას ზღერული სიმძლავრის მნიშვნელობები პერიოდულად მეორდება 6000 კმ პერიოდით (ნახ. 9.11).

ზღერული სიმძლავრის აბსოლუტური მინიმუმი

$$P_{\text{ზმ}} = \frac{U_1 U_2}{Z_C},$$

რომელსაც ადგილი აქვს $L=1500; 4500$ და ა.შ. კმ სიგრძის ხაზების შემთხვევაში (ნახ.9.11).

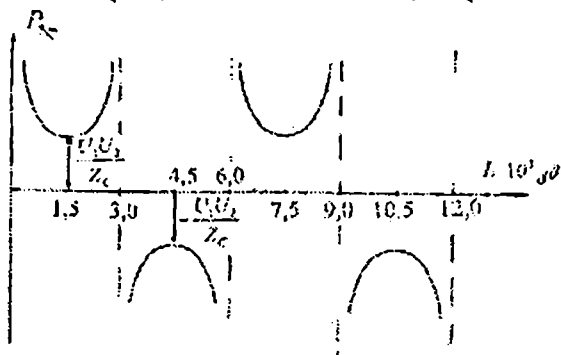
მოცემული სიმძლავრის დატვირთვის ზღვარი, როგორც წესი, დადგინდება თვით ამ ხაზის დანიშნულებით და იგი ისეთი უნდა იყოს, რომ მიმღები სისტემის მუშაობის სტაბილური მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით ხაზს კიდევ გააჩნდეს სიმძლავრის გადაცემის შესაძლებლობის გარკვეული მარაგი

$$K_{\text{მარ.}} \% = \frac{P_{\text{მლ}} - P_0}{P_{\text{მლ}}} \cdot 100 \geq K_{\text{მარ. ნორმ}} \% \quad (9.65)$$

სადაც P_0 – ხაზის დაგვირთვა; $K_{\text{მარ. ნორმ}} \%$ – სიმძლავრის გადაცემის მარაგის ნორმა, %.

მაშასადამე მოცემული ხაზის დაგვირთვის ზედა ზღვარი

$$P_{0, \text{მლ}} = (1 - K_{\text{მარ. ნორმ}} \% \cdot 10^{-2}) \cdot P_{\text{მლ}} \quad (9.66)$$



ნახ. 9.11 ხაზის სიგრძისაგან მისი ზღვრული სიმძლავრის დამოკიდებულების გრაფიკი

(9.65) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ სიმძლავრის გადაცემის მარაგის სასურველი კოეფიციენტის უზრუნველყოფის მიზნით ან უნდა შევამციროთ ხაზის დაგვირთვა P_0 , ან გავზარდოთ ხაზის ზღვრული სიმძლავრე.

მოცემული სიგრძის ელექტროგადაცემის ხაზის ზღვრული სიმძლავრის გაზრდა შესაძლებელია ან უფრო მაღალი ნომინალური ძაბვის ხაზის, ან იმავე ნომინალური ძაბვის მეორე ხაზის აგებით. ორივე შემთხვევაში იზრდება მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ხარჯები. გარდა ამისა, რეჟიმისაგან დამოკიდებულებაში საჭირო ხდება ხაზიდან კარბი რეაქტიული სიმძლავრის ართმევა (როცა $P_2 < 1$), ან პირიქით მიწოდება (როცა $P_2 > 1$), რაც ასევე დამატებით კაპიტალურ ხარჯებს მოითხოვს.

როგორც (9.60) განგოლებიდან ჩანს $Q_2 = 0$ და $P_2 = \text{const}$ რეჟიმში ხაზის სიგრძის ზრდისას ხაზის ბოლოებში ძაბვათა ვექტორებს შორის ძერის კუთხე θ იზრდება, რომელმაც შეიძლება მიაღწიოს იმ ზღვრულ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც გადაცემის მარაგის კოეფიციენტი ნულის გოლია.

აღნიშნულიდან გამომდნარე ხაზის სიგრძის ზრდასთან (1500კმ-მდე) ერთად, მიმღები სისტემის მდგრადობის უზრუნველყოფის თვალსაზრისით საჭიროა შევამციროთ გადასაცემი სიმძალერე.

$L=(0-3000)$ კმ სიგრძის ხაზებით მიმღები სისტემის მუშაობის სტატიკური მდგრადობის $\partial P / \partial \delta > 0$ კრიტერიუმის უზრუნველყოფა შესაძლებელია მაშინ, როცა ძაბვითა ექტორებს შორის ძერის კუთხე $\delta=(0+90^\circ)$, ხოლო $L=(3000-6000)$ კმ სიგრძის ხაზებით კი მაშინ, როცა $\delta=(180+270^\circ)$.

გადასაცემი სიმძლავრის მარაგის კოეფიციენტის უზრუნველყოფის მიზნით, ძერის კუთხის საჭირო მნიშვნელობის მიღწევა შეიძლება Q_2 რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდისა და მიმართულების სათანადო შერჩევით.

9.9. რეაქტიული სიმძლავრე ხაზის თავსა და ბოლოში

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ გრძელი ხაზის სახასიათო რეჟიმებს შორის ყველაზე უფრო პრაქტიკულს წარმოადგენს რეჟიმი, რომლის საწყისი ინფორმაცია მოცემულია ძაბვითა მნიშვნელობებით ხაზის თავსა და ბოლოში (U_1, U_2) და გადასაცემი აქტიური სიმძლავრის სახით ხაზის ბოლოში (P_2). ამ პირობებში ხაზის თავსა და ბოლოში რეაქტიულ სიმძლავრეთა ნაკადი სიდიდითა და მიმართულებით მკაცრად განსაზღვრულია.

ანალიზის გამარტივების მიზნით განვიხილოთ უდანაკარგო ხაზი, რომლისთვისაც განზოგადოებული მუდმივები განისაზღვრება (9.62) გამოსახულებით. ამ პირობებში (9.51) და (9.53) ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$Q_1 = U_1^2 \frac{\cos \alpha_0 L}{Z_c \sin \alpha_0 L} - \frac{U_1 U_2}{Z_c \sin \alpha_0 L} \cdot \cos \delta;$$

$$Q_2 = -U_2^2 \frac{\cos \alpha_0 L}{Z_c \sin \alpha_0 L} + \frac{U_1 U_2}{Z_c \sin \alpha_0 L} \cdot \cos \delta.$$

ანუ

$$Q_1 + Q_2 = (U_1^2 - U_2^2) \frac{\operatorname{ctg} \alpha_0 L}{Z_c}. \quad (9.67)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ (7.40)-დან

$$Q_1 = Q_1 \cdot P_{\infty 1} = Q_1 \cdot \frac{U_1^2}{Z_c} \text{ და } Q_2 = Q_2 \cdot P_{\infty 2} = Q_2 \cdot \frac{U_2^2}{Z_c},$$

მივიღებთ

$$Q_1 \cdot \frac{U_1^2}{Z_c} + Q_2 \cdot \frac{U_2^2}{Z_c} = (U_1^2 - U_2^2) \frac{\text{ctg} \alpha_0 L}{Z_c}.$$

მაშასადამე რეაქტიული სიმძლავრე ხაზის თავში

$$Q_1 = \left(1 - \frac{1}{K^2}\right) \text{ctg} \alpha_0 L - \frac{1}{K^2} Q_2. \quad (9.68)$$

თავის მხრივ Q_2 შეიძლება განვსაზღვროთ (7.59)-დან

$$Q_2 = -\text{ctg} \alpha_0 L + \sqrt{(K / \sin \alpha_0 L)^2 - P_2^2}. \quad (9.69)$$

როგორც მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, U_1 , U_2 და P_2 საწყისი პირობებისას ხაზის თავსა და ბოლოში რეაქტიული სიმძლავრე განისაზღვრება ერთმნიშვნელოვნად. ამასთან (9.67)-ის თანახმად მათი ჯამი მოცემულ პირობებში მუდმივი სიდიდეა.

თუ ძაბვის ვარდნილობა $K=1$, მაშინ ხაზის სიგრძისა და გადასაცემი აქტიური სიმძლავრის მიუხედავად $Q_1 = -Q_2$. ხოლო როცა $K=1$ და $P_2=1$, მაშინ ხაზის სიგრძის მიუხედავად $Q_1 = Q_2 = 0$.

იმ შემთხვევაში, თუ ხაზის ბოლოებში ანგარიშით მიღებულ Q_1 და Q_2 სიდიდეთა შესაბამისად არ ხერხდება რეაქტიულ სიმძლავრეთა ბალანსის დამყარება, მაშინ შენარჩუნებული ეერ იქნება ძაბვის სასურველი ვარდნილობა.

თუ რაიმე მოსაზრებით P_2 სიმძლავრის გადაცემისას საჭიროა ხაზის ბოლოში Q_2 წინასწარ დადგენილი სიმძლავრის შენარჩუნება, მაშინ (9.59) გამოსახულებით ჯერ უნდა განისაზღვროს ძაბვის ვარდნილობა და შემდეგ (9.68) გამოსახულებით კი Q_1 .

ხაზის დამყარებული რეჟიმისას მის ბოლოებში რეაქტიულ სიმძლავრეთა ბალანსი განხორციელებული უნდა იქნეს გარკვეული ტექნიკური საშუალებებით. მოცემული ხაზისთვის (9.69) და (9.68) გამოსახულებებით Q_2 და Q_1 სიმძლავრეთა დადგენის შემდეგ საჭიროა უზრუნველყოთ ხაზიდან რეაქტიული სიმძლავრის ართმევა ან მიწოდება, იმისდა მისედვით, გეაქვს მისი სიჭარბე თუ დეფიციტი.

პრაქტიკულად აღნიშნული ღონისძიება ხორციელდება ხაზის თავში არსებული გენერატორების და, საჭიროების შემთხვევაში, მაშნგებელი რეაქტორების გამოყენებით, ხოლო ხაზის ბოლოში კი სინქრონული კომპენსატორების ან სტატიკური რეგულირებადი რეაქტიული სიმძლავრის წყაროს გამოყენებით. აღნიშნულ წყაროს შეუძლია რეაქტიული სიმძლავრის როგორც გაყემის, ასევე მიღების რეჟიმში მუშაობა, რაც ხორციელდება ავტომატური მართვის გზით. ხაზის ბოლოში არც ისე იშვიათად ჩართავენ არარეგულირებად მაშნგებელ რეაქტორსა.

9.10. გრძელი ელექტროგადაცემის ხაზის პარამეტრების კომპენსაცია

გრძელი ხაზის გამგარუნარიანობა ანუ სიმძლავრის გადაცემის შესაძლებლობა, გადაცემის მარაგის ნორმირებული კოეფიციენტის უზრუნველყოფის პირობებში, განისაზღვრება (7.66) გამოსახულებით, რომელიც (7.64)-ის გათვალისწინებით ჩაიწერება შემდეგ სახეში

$$P_{0, \text{ზ}} = \left(1 - K_{\text{არ. გრძ.}} \% \cdot 10^{-2}\right) \cdot \frac{U_1 U_2}{Z_c \sin \alpha_0 L} \quad (9.70)$$

ხაზში არსებული ძაბვის საშუალებელი და სადაბლებელი გრანსფორმატორები თავიანთი ელექტრული წინააღობებით ამცირებენ ხაზის ზღვრულ სიმძლავრეს და შესაბამისად, მის გამგარუნარიანობას.

L სიგრძის ხაზის გამგარუნარიანობის ამაღლება შესაძლებელია ნომინალური ძაბვის ამაღლებით (შემდეგი საფეხურის ნომინალური ძაბვის გამოყენებით), ან მოცემულ პირობებში ხაზის ელექტრული პარამეტრების შეცვლის გზით, რაც გამოიწვევს როგორც Z_c ტალღური წინააღობის, ასევე α_0 ფაზური კოეფიციენტის შეცვლას.

Z_c და α_0 პარამეტრების შეცვლას, რომელიც ხორციელდება ხაზის ელექტრული პარამეტრების შეცვლის გზით, ხაზის ელექტრული პარამეტრების კომპენსაციას უწოდებენ.

ხაზის პარამეტრების კომპენსაცია შეიძლება განხორციელდეს მაკომპენსირებელი დანადგარებით, რომლებიც კონსტრუქციისა და შესაძლებლობის მიხედვით იყოფიან: ა) არარეგულირებადი სტატიკური მოწყობილობა (რეაქტორები და კონდენსატორები); ბ) სინქრონული მანქანები - კომპენსატორები; გ) მართვადი სტატიკური დანადგარები (რეაქტორები მაგნიტური სისტემის მუდმივი დენის შემადგენლობით; კონდენსატორები ავტომატური ვენტილური მართვით; რეაქტორ-კონდენსატორები ვენტილური კომუტაციით).

ზემაღალი ძაბვის გრძელ ხაზებზე პრაქტიკულად ყოველთვის მიერთებულია (ან ხაზში ჩართულია) მაკომპენსირებელი დანადგარები. მათი საშუალებით მიიღწევა არა მარტო ხაზის გამგარუნარიანობის საჭირო მნიშვნელობა, არამედ ხაზის გასწვრივ ძაბვის დონის გათანაბრება. ასევე, მათი საშუალებით: იზღუდება ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული ნაკადების გადაღინება; მცირდება შინაგანი გადამტეხვები; მიმდებ სისტემაში მყარდება რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსი.

არსებობს ხაზის პარამეტრების კომპენსაციის ორი გზა:

1) განივი, როცა მაკომპენსირებელი დანადგარი ჩართულია ხაზის ფაზურ სადენსა და მიწას შორის და 2) გრძივი, როცა აღნიშნული დანადგარი ჩართულია ფაზურ სადენში მიმდევრობით.

გრძივი კომპენსაციის დანადგარებს (კონდენსატორთა ბატარეა) უმთავრესად გვეადური წინაღობა გააჩნია და ისინი ხაზის ინდუქტიურ წინაღობას ამცირებენ, რის გამოც მცირდება ხაზის გალღური წინაღობა და შედეგად იზრდება ხაზის გამტარუნარიანობა და გადაცემის მარაგის კოეფიციენტი. გრძივი კომპენსაცია პირობითად ხაზის გალღური სიგრძის შემცირების ეკვივალენტურია (9.35).

$$\gamma_g = \alpha_0 L = \sqrt{(X_b - X_{gk}) \cdot B},$$

სადაც X_{gk} - მაკომპენსირებული დანადგარის გვეადური წინაღობა.

ნახევარგალის გოლი ელექტრული სიგრძის მქონე (≈ 3000 კმ) ხაზისთვის $Z_c \sin \alpha_0 L = 0$ და, შესაბამისად, ხაზის ზღერული სიმძლავრე მნიშვნელოვნად დიდია - ბევრად აღემატება ნატურალურს. როცა ხაზის სიგრძე განსხვავებულია ნახევარგალის სიგრძისგან, მას პარამეტრების კომპენსაციის გზით შეიძლება მიეცეს ის თვისებები, რაც ბუნებრივად გააჩნია ნახევარგალღური სიგრძის ხაზს. ასეთ შემთხვევაში ამბობენ „ხაზი აწყობილია ნახევარგალღაზე“. გამოკვლევები ადასტურებენ, რომ ამ სახის კომპენსაცია ტექნიკურ-ეკონომიკურად მიმანშეწონილია როცა ხაზის ბუნებრივი სიგრძე 1500-3000კმ ფარგლებშია.

გრძელი ელექტროგადაცემის ხაზის პარამეტრების კომპენსაცია შეიძლება განხორციელდეს შემდეგნაირად:

ა) ხაზის მხოლოდ გალღური წინაღობის კომპენსაცია. ამ დროს ხაზზე მაკომპენსირებული დანადგარები იმ ინტარიშით შეირჩევა, რომ შემცირდეს მხოლოდ Z_c . ეს შეიძლება განხორციელდეს თუ ხაზის ინდუქტიურ წინაღობას იმდენჯერვე შევამცირებთ, რამდენჯერაც გავზრდით მის გვეადურ გამტარობას. ამ შემთხვევაში გალღის გავრცელების კოეფიციენტი და ხაზის გალღური სიგრძე არ შეიცვლება.

აღნიშნული ღონისძიებების განხორციელების შედეგად მნიშვნელოვნად იზრდება ხაზის ზღერული სიმძლავრე და შესაბამისად მისი გამტარუნარიანობა. თუ გადასაყვამი P_0 სიმძლავრე იმავე სიდიდის რჩება, მაშინ რეჟიმის შესაბამისი ძერის კუთხე შემცირდება და მიმღები სისტემის სტატიკური მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი გაიზრდება.

ბ) ხაზის მხოლოდ გალღური სიგრძის კომპენსაცია ანუ „ხაზის აწყობა“. ამ დროს ხაზის ინდუქტიურობას და გვეადობას ხელოვნურად ერთნაირი ჯერადობით ამცირებენ. ამ შემთხვევაში ხაზის გალღური წინაღობა უცვლელი რჩება, ხოლო გალღის გავრცელების კოეფიციენტი და შესაბამისად ხაზის გალღური სიგრძე მცირდება. შედეგად იზრდება ხაზის ზღერული სიმძლავრე და მისი მინიმალური მნიშვნელობა $P_{gk} = f(L)$ გრაფიკზე (ნახ. 9.11) უფრო მარჯვნივ გადაინაცვლებს. ამ ღონისძიებით ხაზის გამტარუნარიანობა იზრდება.

გ) ხაზის ყველა რეაქტიული პარამეტრის სრული კომპენსაცია ანუ ხაზის მოჩვენებით ნულოვან სიგრძეზე დაყვანა. ამ დროს მაკომპენსირებული დანადგარები მთლიანად აკომპენსირებენ როგორც ინდუქტიურ წინაღობას, ასევე გვეადურ გამტარობას და ხაზს გააჩნია მხოლოდ აქტიური პარამეტრები. ხაზით გადასაცემი სიმძლავრის მაქსიმუმი შემღუდულია მხოლოდ სადენთა გახურების პირობით.

პრაქტიკულად ხაზის პარამეტრების კომპენსაციის დროს მისი ინდუქტიუობა და გვეადობა სხედასხვა ჯერადობით იცელება, რაე ერთდროულად იწეეს ხაზის როგორც ტალღური წინაღობის, ასევე ტალღური სიგრძის შეეელებას.

აღსანიშნავია, რომ როცა ხაზზე მიერთებულია მეყურსულ პარამეტრებიანი საკომპენსაციო დანადგარი (პრაქტიკულად ასეე არის), მაშინ ცნებები „ხაზის ტალღური წინაღობა“, „ტალღური სიგრძე“ და „ნატურალური სიმძლავრე“ პირობითია.

9.11. გრძელი ელექტროგადაცემის ხაზის დამყარებული რეეიმის პარამეტრების გაანგარიშება

შორ მანძილზე ელექტროენერგიის გადაცემა მაღალი ეკონომიკური მაჩვენებლებით უნდა გამოირჩეოდეს. აქ უმრავლეს შემთხვევაში ხაზის მუშაობის რეეიმის პარამეტრების დასამუებ ჭარგლებში შენარჩუნება სპეციალური მაკომპენსირებული დანადგარების გამოყენების გარშე ფაქტიურად შეუძლებელი ხდება. ამიგომ ესა თუ ის დამყარებული რეეიმი შოითხოვს გექნიკურ-ეკონომიკურ დასაბუთებას.

გადამცემი და მიმღები სისტემის მუშაობის რეეიმებიდან გამომდინარე ელექტროგადაცემის ხაზს უწეეს სხედასხვა დაგვირთვით მუშაობა. თითოეულ ამ შემთხვევაში ანგარიში ტარდება ხაზის მუშაობის რეეიმის პარამეტრების განსაზღვრის მიზნით. რეეიმის პარამეტრთა დასამუები მნიშვნელობების დასადგენად და აუცილებლობის შემთხვევაში, შესაბამისი მაკომპენსირებული დანადგარების ეკონომიკურად გამართლებულ სიმძლავრეთა განსაზღვრად საჭიროა გამოვიკვლოთ ხაზის მაქსიმალური და მინიმალური დაგვირთვების რეეიმები. თუ ამ რეეიმებში მოხერხდა გექნიკურ-ეკონომიკურად გამართლებული რეეიმის პარამეტრების უზრუნველყოფა, მაშინ სხვა დანარჩენ რეეიმებში უზრუნველყოფილი იქნება მუშაობის ნორმალური (დასამუები) პარამეტრები.

ელექტროგადაცემის ხაზის რეეიმი ხასიათდება ძაბეებისა და სიმძლავრეთა მნიშვნელობებით მის თაესა და ბოლოში და ძვრის კუთხით ამ ძაბეებს შორის $U_1, U_2, P_1, Q_1, P_2, Q_2$ და δ (§9.6). ამ შეიდ პარამეტრების

მეგერს შორის კავშირი მოცემულია (9.50)-(9.53) ოთხი განტოლებით. აქედან გამომდინარე ხაზის რეჟიმის პარამეტრების ცალსახად დასადგენად საჭიროა ამ პარამეტრებიდან მოცემული იყოს რომელიმე სამი, როგორც გაანგარიშების საწყისი ინფორმაცია.

თეორიული თვალსაზრისით საწყისი ინფორმაციის სახით შეიძლება გაგვაჩნდეს პარამეტრთა შემდეგი კომბინაცია: 1) U_1, U_2, P_1 ; 2) U_1, U_2, P_2 ; 3) U_1, P_1, Q_1 ; 4) U_2, P_2, Q_2 .

უნდა აღინიშნოს, რომ ზემოაღნიშნული ძაბვის ხაზებით არ იგვემუხება რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემა. ამიტომ საწყისი პარამეტრთა კომბინაციის „3“ და „4“ შემთხვევა ნაკლებად პრაქტიკულია.

აღნიშნულ საწყის ინფორმაციათა საფუძველზე (9.50)-(9.53) განტოლებების ამოხსნის ალგორითმი მოცემულია ქვემოთ:

1) ცნობილია U_1, U_2 და P_1

(9.50)-დან განვსაზღვრავთ ძაბვებს შორის ძვრის კუთხეს

$$\delta = \arccos \left[\frac{U_1}{U_2} A \cos(\psi_B - \psi_A) - \frac{P_1 B}{U_1 U_2} \right] - \psi_B. \quad (9.71)$$

ვიცით რა δ კუთხე (7.51)-(7.53) გამოსახულებებით განვსაზღვრავთ შესაბამისად Q_1, P_2 და Q_2 პარამეტრებს;

2) ცნობილია U_1, U_2 და P_2 .

(9.52)-დან განვსაზღვრავთ δ კუთხეს

$$\delta = \psi_B - \arccos \left[\frac{P_2 B}{U_1 U_2} + \frac{U_2}{U_1} A \cos(\psi_B - \psi_A) \right]. \quad (9.72)$$

და (9.50), (9.51) და (9.53) გამოსახულებებით განვსაზღვრავთ შესაბამისად P_1, Q_1 და Q_2 პარამეტრებს;

3) ცნობილია U_1, P_1 და Q_1 .

(9.50) და (9.51) განტოლებათა საფუძველზე განვსაზღვრავთ U_2 ძაბვას

$$U_2 = \frac{B}{U_1} x$$

$$x = \sqrt{\left[U_1^2 \frac{A}{B} \cos(\psi_B - \psi_A) - P_1 \right]^2 + \left[U_1^2 \frac{A}{B} \sin(\psi_B - \psi_A) - Q_1 \right]^2} \quad (9.73)$$

ამის შემდეგ (9.71)-ით განვსაზღვრავთ δ კუთხეს, (9.52) და (9.53) გამოსახულებებით კი განვსაზღვრავთ შესაბამისად P_2 და Q_2 პარამეტრებს;

4) ცნობილია U_2, P_2 და Q_2 .

(9.52) და (9.53) განტოლებათა საფუძველზე განვსაზღვრავთ U_1 ძაბვას

$$U_1 = \frac{B}{U_2} x$$

$$x \sqrt{\left[U_2^2 \frac{A}{B} \cos(\psi_B - \psi_A) + P_2 \right]^2 + \left[U_2^2 \frac{A}{B} \sin(\psi_B - \psi_A) + Q_2 \right]^2} \quad (9.74)$$

ამის შემდეგ (9.72)-ით განესაზღვრავთ δ კუთხეს, ხოლო (9.50) და (9.51) გამოსახულებებით კი, შესაბამისად, P_1 და Q_1 პარამეტრებს.

თუ ანგარიშით მიღებულ Q_1 და Q_2 სიმძლავრეთა მნიშვნელობებს ეერ უზრუნველყოფს გადამცემი და მიმღები სისტემები, მაშინ ხაზის თავსა და ბოლოში საჭირო გახდება მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენება, რომელთა სიმძლავრე უნდა დადგინდეს თითოეულ ბოლოში რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის მიხედვით.

მინიმალური დატვირთვების რეჟიმში საჭიროა განისაზღვროს ძაბვის მნიშვნელობა ხაზის შუალედურ ($\ell \approx L/2$) წერტილში, რისთვისაც ვისარგებლებთ (9.56) გამოსახულებით. თუ U_ℓ ძაბვის სიდიდე დასაშვებზე მეტი აღმოჩნდება, მაშინ საჭიროა ამ წერტილში დაეყენოს სათანადო სიმძლავრის მამუხგებელი რეაქტორი.

ხაზის შუალედურ წერტილში ძაბვის მაღალი მნიშვნელობა მოსალოდნელია რეჟიმში, როცა $P_2=0$. ამ შემთხვევაში (9.72)-ის თანახმად

$$\delta = \psi_B - \arccos \left[\frac{U_2}{U_1} A \cos(\psi_B - \psi_A) \right] \quad (9.75)$$

და (9.57) -ის შესაბამისად, როცა $\ell = \frac{L}{2}$, ავაქვს

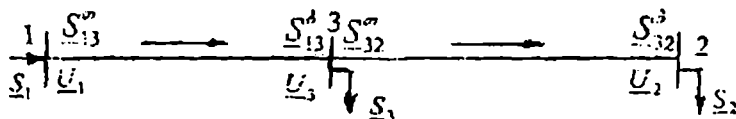
$$\frac{U}{\left(\frac{1}{2}\right)} = \frac{U_2 \operatorname{sh} \gamma_0 \frac{L}{2}}{\operatorname{sh} \gamma_0 \frac{L}{2}} [K e^{\beta} + 1] = \frac{U_2}{2 \operatorname{ch} \gamma_0 \frac{L}{2}} [K e^{\beta} + 1] \quad (9.76)$$

სადაც δ აიღება (9.75)-ის მიხედვით.

იმ შემთხვევაში, როცა ხაზის შუალედურ წერტილში აღვილი აქვს სიმძლავრის ართმევას (ნახ.9.12), მაშინ მისი რეჟიმის პარამეტრების ანგარიშები ჩატარდება ცალ-ცალკე თითოეული უბნისთვის საწყისი ინფორმაციის შესაბამისი ზემოთ ჩამოყალიბებული ერთერთი ალგორითმის მიხედვით.

ანგარიშით მიღებული შედეგების მიხედვით დავადგენთ მაკომპენსირებელი დანადგარის სიმძლავრეს თითოეულ კენაბში და მათ მოვრის „პ“-შიც

$$Q_{\text{საჯ}} = Q_3 + Q_{32}'' - Q_{13}^b. \quad (9.77)$$



ნახ. 9.12. ხაზის რეჟიმის პარამეტრები სიმძლავრის შუალედური ართმევის დროს.

9.12. გრძელი ხაზის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების გამარტივებული მეთოდები

გრძელი ხაზის გადაცემის განგოლებები ითვალისწინებს ხაზის მთელ სიგრძეზე მისი ელექტრული პარამეტრების ($Z=Z_0L$ და $Y=Y_0L$) თანაბრად განაწილებულობას და ამიტომ ხაზის განზოგადოებული მუდმივები განისაზღვრება ჰიპერბოლური ტრიგონომეტრიული ფუნქციების საშუალებით

$$\underline{A} = \underline{D} = \text{ch} \gamma_0 L; \quad \underline{B} = \underline{Z}_c \text{sh} \gamma_0 L \quad \text{და} \quad \underline{C} = \frac{1}{\underline{Z}_c} \text{sh} \gamma_0 L,$$

$$\text{სადაც } \gamma_0 = \sqrt{Z_0 Y_0} \quad \text{და} \quad \underline{Z}_c = \sqrt{Z_0 / Y_0}.$$

განზოგადოებული მოდმივების ასეთი სახით წარმოადგენა რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების ჩატარებისას მოითხოვს საკმარისად რთულ მათემატიკურ გამოთვლებს. ეს გამოთვლები მნიშვნელოვნად მარტივდება, თუ ხაზს წარმოადგენთ Π -სებრი ჩანაცვლების სქემით (§2.9). ამ შემთხვევაში განზოგადოებული მუდმივები განისაზღვრება მარტივი მათემატიკური გამოსახულებებით

$$\underline{A} = \underline{D} = 1 + \frac{ZY}{2}; \quad \underline{B} = \underline{Z}; \quad \text{და} \quad \underline{C} = \underline{Y} \left(1 + \frac{ZY}{4} \right),$$

სადაც $\underline{Z}$ და $\underline{Y}$ განიხილება როგორც შეყურსული პარამეტრები.

იმისთვის, რომ გრძელი ხაზის რეჟიმის პარამეტრების ანგარიშისას ვისარგებლოთ Π -სებრი ჩანაცვლების სქემით, საჭიროა შეყურსული პარამეტრების საანგარიშო გამოსახულებებში შემოვიყვანოთ ე.წ. შემასწორებელი კოეფიციენტები, რომელთა საშუალებით გათვალისწინებული იქნება პარამეტრთა თანაბრად განაწილებულობა.

შემასწორებელ კოეფიციენტთა საანგარიშო გამოსახულებების დასადგენად საკმარისია $\underline{Z}$ და $\underline{Y}$ პარამეტრების მიმართ ამოვსნათ განგოლებათა შემდეგი სისტემა

$$\underline{A} = \underline{D} = 1 + \frac{ZY}{2} = \text{ch } \gamma_y L$$

$$\underline{B} = \underline{Z} = Z_c \text{sh } \gamma_y L,$$

საიდანაც ვღებულობთ

$$\underline{Z} = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} \text{sh} \sqrt{Z_0 \cdot Y_0} \cdot L \quad \text{და} \quad \underline{Y} = 2 \sqrt{\frac{Y_0}{Z_0}} \text{th} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Z_0 \cdot Y_0}{2}} \cdot L.$$

ანუ

$$\underline{Z} = Z_0 \cdot L \cdot K_Z \quad \text{და} \quad \underline{Y} = Y_0 \cdot L \cdot K_Y, \quad (9.78)$$

სადაც

$$K_Z = \frac{\text{sh} \sqrt{Z_0 \cdot Y_0} \cdot L}{\sqrt{Z_0 \cdot Y_0} \cdot L} \quad (9.79)$$

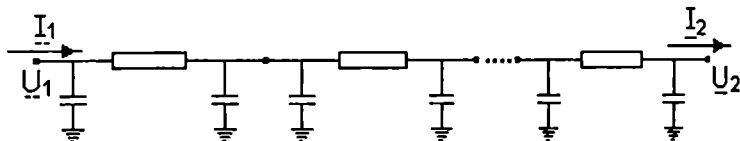
და

$$K_Y = \frac{2 \text{th} \frac{1}{2} \sqrt{Z_0 \cdot Y_0} \cdot L}{\sqrt{Z_0 \cdot Y_0} \cdot L} \quad (9.80)$$

შემასწორებელი კოეფიციენტებია.

ამრიგად, მოცემული ხაზისთვის წინასწარ გამოთვლით შემასწორებელი კოეფიციენტების მნიშვნელობებს, რომელთა საშუალებით დავადგენთ ხაზის შეყურსულ ელექტრულ პარამეტრებს და შემდეგ რეკიმის პარამეტრების გაანგარიშებას ჩავატარებთ Π -სებრი ჩანაცვლების სქემის მისელებით.

Π -სებრი ჩანაცვლების სქემის გამოყენებისას შეგვიძლია განესაზღვროთ რეკიმის პარამეტრები მხოლოდ ხაზის თავსა და ბოლოში. გრძელი ხაზის შემთხვევაში მთელ რიგ სახასიათო რეკიმებში საჭირო ხდება გამოყენებითი ძაბვის მნიშვნელობა ხაზის შუალედურ წერტილებში. ამ მიზნით გრძელი ხაზი უნდა წარმოვიდგინოთ ერთმანეთთან მიმდევრობით ჩართულ რამდენიმე უბნად და თითოეული უბნისთვის ვისარგებლოთ Π -სებრი ჩანაცვლების სქემით. ჩანაცვლების ასეთ სქემას ჯაჭვურ სქემას უწოდებენ (ნახ.9.13).



ნახ. 9.13 ელექტროგადაცემის ხაზის ჩანაცვლების ჯაჭვური სქემა

9.13. მე-9 თავის რიცხვითი მაგალითები

მაგალითი 9.1. 500 კვ ძაბვის გადაცემის საზისთვის განესაზღვროთ გალლური პროცესის სახასიათო პარამეტრები და განზოგადოებული მუდმივები. საზის სიგრძე $L=500$ კმ, 1 კმ სიგრძის ხაზის ელექტრული პარამეტრები:

$$Z_0 = r_0 + jx_0 = 0,032 + j0,29 \text{ ომი/კმ};$$

$$Y_0 = g_0 + jb_0 = (0,031 + j3,83) \cdot 10^{-6} \text{ სიმ/კმ}.$$

ამოხსნა. 1. გადაცემის გალლური პროცესის სახასიათო პარამეტრები:

ა) ხაზის გალლური წინაღობა (9.20; 9.21)

$$Z_C = \sqrt[4]{(0,032^2 + 0,29^2) / (0,031^2 + 3,83^2)} \cdot 10^{-12} = 276,0 \text{ ომი},$$

$$\Psi_{Z_C} = \frac{1}{2} \arctg \frac{0,031 \cdot 0,29 - 3,83 \cdot 0,032}{0,032 \cdot 0,031 + 0,29 \cdot 3,83} = -2,92^\circ$$

ე.ი.

$$Z_C = 275,6 - j14,06 \text{ ომი};$$

ბ) გალლის გავრცელების კოეფიციენტი (9.23-9.25)

$$\gamma_0 = \sqrt[4]{(0,032^2 + 0,29^2) \cdot (0,031^2 + 3,83^2)} \cdot 10^{-12} = 1,057 \cdot 10^{-3};$$

$$\Psi_{\gamma_0} = \frac{1}{2} \left(\arctg \frac{0,29}{0,032} + \arctg \frac{3,83}{0,031} \right) = 86,62^\circ$$

ე.ი.

$$\beta_0 = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ 1/კმ და } \alpha_0 = 1,055 \cdot 10^{-3} \text{ რად/კმ};$$

ანუ

$$\gamma_0 = (6,25 + j105,5) \cdot 10^{-5} \text{ 1/კმ};$$

ვ) გალლის სიგრძე (7.26)

$$\lambda = \frac{2\pi}{105,5 \cdot 10^{-5}} = 5955,6 \text{ კმ};$$

დ) გალლის სიჩქარე (9.27)

$$v = 5955,6 \cdot 50 = 297781 \text{ კმ/წმ};$$

ე) ხაზის გალლური სიგრძე (9.28)

$$\lambda_g = 1,055 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = 0,533 \text{ რად} = 30,2^\circ$$

2. ხაზის განზოგადოებული მუდმივები (9.7-9.9):

$$\underline{A} = \underline{D} = \text{ch}[(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-5} \cdot 500] = (864,2 + j1,725) \cdot 10^{-3}$$

ანუ $A=D=0,8642$ და $\psi_A = \psi_D = 1,14^\circ$;

$$\underline{B} = (275,6 - j14,06) \cdot \text{sh}[(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-5} \cdot 500] = 14,53 + j138,52;$$

ანუ $B=139,28$ და $\psi_B = 84,01^\circ$;

$$\underline{C} = \frac{\text{sh}[(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-5} \cdot 500]}{275,6 - j14,06} = (4,61 + j182,8) \cdot 10^{-6}$$

ანუ $C=1,8283 \cdot 10^{-3}$ და $\psi_C = 89,85^\circ$

მაგალითი 9.2. 9.1 მაგალითში განხილული ხაზისთვის ჩაწეროთ კუთხური მასასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებები თუ $U_1=510$ და $U_2=490$ კვ.

ამოხსნა. გამოეთვალოთ ρ_1 , ρ_2 და ρ სიდიდეები (9.48)

$$\rho_1 = 510^2 \frac{0,8642}{139,28} = 1614,05 \cdot \text{მგვტ};$$

$$\rho_2 = 490^2 \frac{0,8642}{139,28} = 1498,99 \cdot \text{მგვტ};$$

$$\rho = \frac{510 \cdot 490}{139,28} = 1787,55 \cdot \text{მგვტ}.$$

გამოეთვალოთ $\psi_B - \psi_A = 84,01^\circ - 1,14^\circ = 82,87^\circ$

ხაზის ბოლოებში სიმძლავრეების საანგარიშო გამოსახულებებს (9.49) ექნებათ სახე:

$$\underline{S}_1 = 1614,05 e^{j82,87} - 1787,55 e^{j(84,01+\delta)};$$

$$\underline{S}_2 = -1498,99 e^{j82,87} + 1787,55 e^{j(84,01-\delta)}$$

ამ გამოსახულებათა მიხედვით ჩაწეროთ კუთხური მასასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებები (9.50 - 9.53):

$$P_1 = 200,33 - 1787,55 \cdot \cos(84,01 + \delta);$$

$$Q_1 = 1601,53 - 1787,55 \cdot \sin(84,01 + \delta);$$

$$P_2 = -186,32 + 1787,55 \cdot \cos(84,01 - \delta);$$

$$Q_2 = -1487,3 + 1787,55 \cdot \sin(84,01 - \delta).$$

გამოეთვალოთ სიმძლავრეთა მნიშვნელობები სხვადასხვა δ კუთხისთვის და შედეგები შეეიგანოთ ქვემოთ ცხრილში (ცხრ.9.1). ამავე ცხრილში ნაჩვენებია ხაზის მ.ქ.კ.

ცხრ.9.1.

δ, გრად	P ₁ , მგვტ	Q ₁ , მგვარ	P ₂ , მგვტ	Q ₂ , მგვარ	η, %
0	14,42	-176,26	0,22	290,59	-
10	326,0	-181,64	306,10	231,10	93,99
20	633,71	-132,85	597,01	119,48	94,25
30	928,31	-31,35	864,12	-40,96	93,12
40	1200,80	119,76	1099,30	-245,34	91,57
50	1442,9	315,85	1295,45	-487,46	89,80
60	1647,30	551,09	1446,56	-759,95	87,83

მაგალითი 9.3. 9.1. და 9.2 მაგალითებში განხილული ხაზისთვის დაეადგინოთ ძაბვის განაწილების სურათი მთელ სიგრძეზე.

ამოხსნა. ხაზის თავიდან ℓ მანძილზე დაშორებულ წერტილში ძაბვის საანგარიშო გამოსახულება (9.56) განსახილველ შემთხვევაში ასე ჩაიწერება:

$$\underline{U}_\ell = \frac{490}{\operatorname{sh}[(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-3} \cdot 500]} \times \left\{ \frac{510}{490} e^{j\theta} \operatorname{sh}[(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-3} \cdot (500 - \ell)] + \operatorname{sh}[(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-3} \cdot \ell] \right\}$$

გამოთვალათ პიკერბოლური სინუსის მნიშვნელობები სხვადასხვა ℓ -სთვის. ანგარიშის შედეგები წარმოადგინოთ ცხრილის სახით (ცხრ.9.2).

ცხრ.9.2.

ℓ , კმ	100	200	250	300	400	500
$\operatorname{sh}_{\gamma_0} \ell$	0,0063+ +j0,106	0,0127+ +j0,208	0,0154+ +j0,261	0,018+ +j0,312	0,023+ +j0,408	0,027+ +j0,504

მოცემული ხაზისთვის:

$$P_{\text{საზ}} = \frac{U_2^2}{P_{Z_c}} = \frac{490^2}{276} = 870, \text{ მგვტ};$$

$$P_{\text{კ}} = \frac{U_1 U_2}{Z_c \sin \alpha_0 L} = \frac{510 \cdot 490}{276 \cdot \sin 1,055 \cdot 10^3 \cdot 500} = 1798,7, \text{ მგვტ}.$$

ვისარგებლოთ 9.2 მაგალითის ანგარიშის შედეგებით და წინამდებარე მაგალითის ანგარიში ჩავატაროთ შემდეგი შემთხვევებისთვის:

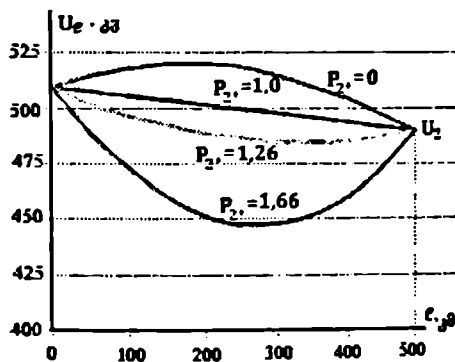
- 1) $\delta = 0^\circ \Rightarrow P_1 = 14,42, P_2 = 0,22, \text{ მგვტ}, P_2 = 0;$
- 2) $\delta = 30^\circ \Rightarrow P_1 = 928,3, P_2 = 864,1, \text{ მგვტ}, P_2 = 1,0;$
- 3) $\delta = 40^\circ \Rightarrow P_1 = 1200,8, P_2 = 1099, \text{ მგვტ}, P_2 = 1,26;$
- 4) $\delta = 60^\circ \Rightarrow P_1 = 1647,3, P_2 = 1446,5 \text{ მგვტ}, P_2 = 1,66.$

გამოთვლების შედეგები შეეიგანოთ ცხრილში (ცხრ.9.3). ამავე ცხრილის ბოლო სტრიქონში ნაჩვენებია გადასაცემი სიმძლავრის მარაგის მნიშვნელობა (9.65).

ცხრ.9.3.

ძაბვა ხაზის გასწვრივ, კე (კომპლექსური სიდიდე/მოდული)				
ℓ, კმ	S ₁ და S ₂ ძაბვებს შორის ძერის კუთხე, δ°			
	0	30	40	60
0	$\frac{510 + j0}{510,0}$	$\frac{441,7 + j255}{510,0}$	$\frac{390,7 + j27,8}{510,0}$	$\frac{255,0 + j41,7}{510,0}$
100	$\frac{516,6 - j1,9}{516,7}$	$\frac{462,1 + j205,6}{505,7}$	$\frac{420,7 + j264,3}{496,8}$	$\frac{310,4 + j37,0}{473,0}$
200	$\frac{518,5 - j2,8}{518,6}$	$\frac{476,4 + j157,8}{501,2}$	$\frac{445,7 + j200,8}{488,8}$	$\frac{361,1 + j271,3}{451,6}$
250	$\frac{518,9 - j3,0}{519,0}$	$\frac{483,6 + j129,6}{500,7}$	$\frac{457,9 + j168,4}{487,8}$	$\frac{387,5 + j226,6}{448,9}$
300	$\frac{515,0 - j2,0}{515,0}$	$\frac{487,2 + j102,6}{498,0}$	$\frac{466,7 + j132,7}{485,2}$	$\frac{410,0 + j181,1}{448,2}$
400	$\frac{504,3 - j2,0}{504,3}$	$\frac{490,3 + j51,84}{493,0}$	$\frac{480,0 + j67,4}{485,7}$	$\frac{451,2 + j1,6}{460,4}$
500	$\frac{490 + j0}{490,0}$	$\frac{490 + j0}{490,0}$	$\frac{490 + j0}{490,0}$	$\frac{490 + j0}{490,0}$
K _{მარ} , %	100	52,0	38,9	19,6

ხაზის გასწვრივ ძაბვის განაწილების მრუდი ნაჩვენებია 9.14 ნახაზზე.



ნახ.9.14

მაგალითი 9.4. განესაზღვროთ 9.12 ნახაზზე ნაჩვენები ელექტროგადაცემის რეჟიმის პარამეტრები, თუ მოცემულია: $U_1=510$ კვ, $U_2=480$ კვ, $U_3=490$ კვ, $L_{1,3}=500$ კმ, $L_{2,3}=300$ კმ, $P_2=400$ მგვტ, $P_3=300$ მგვტ, სადენის მარკა 3xAC-330/43.

ამოხსნა. განსახილველი ელექტროგადაცემის პერველი უბნის (უბანი 1-3) ელექტრული პარამეტრები ავიღოთ 9.1 მაგალითიდან:

$$Z_c=275,6-j14,06. \quad Z_c=276 \text{ ომი.}$$

$$\beta_0 = 6,25 \cdot 10^{-5} \quad 1/\text{კმ} \quad \text{და} \quad \alpha_0 = 1,055 \cdot 10^{-3} \quad \text{რად/კმ};$$

$$A=D=0,864; \text{ და } \psi_A = \psi_D = 1,14^\circ; \quad B=139,28; \quad \psi_B = 84,01^\circ.$$

მეორე უბნის (უბანი 3-2) გალღური პროცესის სახასიათო პარამეტრები იგივეა, რაც პირველი უბნის, ხოლო განზოგადოებული მუდმივები კი განესაზღვროთ (9.7) და (9.8) გამოსახულებებით:

$$\underline{A} = \underline{D} = \text{ch}\{(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-5} \cdot 300\} = 0,9505 + j0,0058$$

$$\text{ანუ } A=D=0,9505 \text{ და } \psi_A = \psi_D = 0,35^\circ;$$

$$\underline{B} = (275,6 - j14,06) \cdot \text{sh}\{(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-5} \cdot 300\} = 9,345 + j85,74$$

$$\text{ანუ } B=86,245 \text{ და } \psi_B = 83,75^\circ$$

რადგანაც მოცემულია $P_{3,2}^b = P_2 = 400$ მგვტ, რეჟიმის პარამეტრების განსაზღვრისთვის გამოვიყენოთ 9.12 პარაგრაფში ჩამოყალიბებული ალგორითმებიდან მეორე.

(9.72) გამოსახულების მიხედვით U_3 და U_2 ძაბვის ვექტორებს შორის ძვრის კუთხე

$$\delta_{32} = 83,75 - \arccos\left\{\frac{400 \cdot 86,245}{490 \cdot 480} + \frac{480}{490} \times\right.$$

$$\left. \times 0,9505 \cdot \cos(83,75^\circ - 0,35^\circ)\right\} = 8,45^\circ$$

(9.50)-ის მიხედვით

$$P_{32}^a = 490^2 \cdot \frac{0,9505}{86,245} \cos(83,75^\circ - 0,35^\circ) - \\ - \frac{490 \cdot 480}{86,245} \cos(83,75^\circ + 8,45^\circ) = 408,83 \text{ მგვტ.}$$

(9.51)-ის მიხედვით

$$Q_{32}'' = 490^2 \cdot \frac{0,9505}{86,245} \sin(83,75^\circ - 0,35^\circ) - \\ - \frac{490 \cdot 480}{86,245} \sin(83,75^\circ + 8,45^\circ) = -96,51 \text{ მგეარ.}$$

(9.53)-ის მიხედვით

$$Q_{32}^b = -480^2 \cdot \frac{0,9505}{86,245} \sin(83,75^\circ - 0,35^\circ) + \\ + \frac{490 \cdot 480}{86,245} \sin(83,75^\circ - 8,45^\circ) = 115,46 \text{ მგეარ.}$$

„3“ კვანძისთვის დაეწეროთ აქტიური სიმძლავრის ბალანსის განტოლება და განესაზღვროთ აქტიური დატვირთვა 1-3 უბნის ბოლოში

$$P_{13}^b = P_{32}'' + P_3 = 408,83 + 300 = 708,83 \text{ მგვტ}$$

(9.72)-ის მიხედვით U_1 და U_3 ძაბვის ვექტორებს შორის ძერის კუთხე

$$\delta_{13} = 84,01^\circ - \arccos \left\{ \frac{708,83 \cdot 139,28}{510 \cdot 490} + \frac{490}{510} \times \right. \\ \left. \times 0,864 \cdot \cos(84,01^\circ - 1,14^\circ) \right\} = 23,88^\circ.$$

(9.50), (9.51) და (9.53) გამოსახულებათა მიხედვით, ელემენტობით

$$P_{13}'' = 510^2 \cdot \frac{0,864}{139,28} \cos(84,01^\circ - 1,14^\circ) - \frac{510 \cdot 490}{139,28} \times \\ \times \cos(84,01^\circ + 23,88^\circ) = 571,43 \text{ მგვტ;}$$

$$Q_{13}'' = 510^2 \cdot \frac{0,864}{139,28} \sin(84,01^\circ - 1,14^\circ) - \\ - \frac{510 \cdot 490}{139,28} \cos(84,01^\circ + 23,88^\circ) = -106,49 \text{ მგვარ;}$$

$$Q_{13}'' = -490^2 \cdot \frac{0,864}{139,28} \sin(84,01^\circ - 1,14^\circ) + \\ + \frac{510 \cdot 490}{139,28} \cos(84,01^\circ - 23,88^\circ) = 77,98 \text{ მგვარ.}$$

როგორც ანგარიშის შედეგები გვიჩვენებს განსახილველი ელექტროგადამცემის საკონტროლო კვანძებში საჭიროა განხორციელდეს ჭარბი რეაქტიული სიმძლავრის ართმევა. კერძოდ „1“ კვანძში 106,49

მგეარ: „3“ კეანძში (77,98+96,51)=174,49 მგეარ და „2“ კეანძში 115,46 მგეარ.

მაგალითი 9.5. განესაზღვროთ 9.1 მაგალითში განსილული ელექტროგადაცემის ხაზის ელექტრული პარამეტრების შემასწორებელი კოეფიციენტები.

ამოხსნა. (9.79) გამოსასულების თანახმად

$$\underline{K}_z = \frac{sh((6,25 + j105,5) \cdot 10^{-5} \cdot 500)}{(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-5} \cdot 500} = \frac{0,027 + j0,504}{0,0313 + j0,528} =$$

$$= 0,953 + j0,00522.$$

(9.80)-ის თანახმად

$$\underline{K}_r = \frac{2th(\frac{1}{2}(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-5} \cdot 500)}{(6,25 + j105,5) \cdot 10^{-5} \cdot 500} = 1,0241 + j0,00358.$$

შესაბამისად, ხაზის შეყურსული ელექტრული პარამეტრები იქნება (9.78):

$$\underline{Z} = (0,032 + j0,29) \cdot 500 \cdot (0,953 + j0,00522) = (14,493 + j138,33) \text{ ომი}$$

$$\underline{Y} = (0,031 + j3,83) \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot (1,00241 + j0,00358) =$$

$$= (9,025 + j1961,06) \cdot 10^{-6} \text{ სიმენსი}$$

თავი 10. ენერგოსისტემების რეჟიმების ოპტიმიზაცია

10.1. ოპტიმიზაციის ამოცანათა განგოლებები

ენერგეტიკული სისტემა დიდი ხელოვნური სისტემაა. იგი მოიცავს ავტომატური და ოპერატიული მართვის მრავალსახა ტექნიკურ საშუალებებს. ენერგეტიკული სისტემის რეჟიმის მართვის პროცესში უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს მომხმარებელთა შეუფერხებელი ენერგომომარაგება მაღალი ხარისხის ენერგიით და ცალკეული დანადგარ-მოწყობილობების მუშაობის მაღალი ეფექტურობა.

ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმალური მართვის მათემატიკური მოდელი შეიცავს განგოლებათა ოთხ ჯგუფს: ეფექტურობის განგოლება; კაეშირის განგოლება; შეზღუდვის განგოლება და უგოლობა; ოპტიმალური მართვის განგოლება.

ეფექტურობის განგოლება ანუ მიზნის ფუნქცია საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობის მახასიათებელი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლის მათემატიკურ გამოსახულებაა იმ საძიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში, რომლებიც ამ პროცესს განაპირობებენ. მაგალითად, ენერგოსისტემაში ტექნოლოგიური პროცესის ერთერთ სახეა ელექტროსადგურებზე პირველადი ენერგორესურსის ხარჯზე ელექტრული ენერგიის მიღება. ამ შემთხვევაში ტექნოლოგიური პროცესის მიზანია იმავე რაოდენობის ელექტროენერგიის მიღება პირველადი ენერგორესურსის მინიმალური ხარჯის პირობებში. აქედან გამომდინარე, *ეფექტურობის განგოლების ანუ მიზნის ფუნქციასთან* მიმართებაში ეწერეთ

$$F(y_i, x_j) \Rightarrow \min \quad (10.1)$$

სადაც: y_i ტექნოლოგიური პროცესში შემავალი პირველადი ენერგორესურსის მახასიათებელი პარამეტრები (შემავალი პარამეტრები); x_j – წარმოებული პროდუქციის მახასიათებელი პარამეტრები (გამოსავალი პარამეტრები).

კაეშირის განგოლება წარმოადგენს

$$y_i = y_i(x_j) \quad (10.2)$$

ფუნქციას ანალიზურ სახეში.

შეზღუდვის განგოლებები და უგოლობები წარმოადგენს შეზღუდვებს y_i და x_j პარამეტრების მიმართ, რომელთა შესრულება აუცილებელია ტექნოლოგიური პროცესის რეალური განხორციელების თვალსაზრისით.

შეზღუდვის განგოლებები, რომელიც წარმოადგენს კაეშირს x_j გამოსავალ მორის, ჩაწერენ შემდეგ სახეში

$$W_1(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)=0,$$

$$W_k(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)=0, \quad (10.3)$$

$$W_m(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)=0.$$

აქ m შეზღუდვის განტოლებათა რაოდენობა, ხოლო n საძიებელი (გამოსაყალი) პარამეტრების რაოდენობა.

იმისთვის, რომ ოპტიმიზაციის ამოცანას გააჩნდეს ალგერნატიული ამოხსნები, რომელთა შორის მოიძებნება საუკეთესო (ოპტიმალური), აუცილებელია სრულდებოდეს პირობა $m < n$.

შეზღუდვის უგოლობები შეიძლება იყოს მკაცრი ან არამკაცრი, ასევე ცალმხრივი ან ორმხრივი. შეზღუდვის მკაცრ ორმხრივ უგოლობას აქვს სახე

$$X_{j, \min} \leq x_j \leq X_{j, \max} \quad (10.4)$$

ოპტიმალური მართვის განტოლება მიიღება მიზნის, კავშირისა და შეზღუდვის განტოლებათა ერთობლივი გათვალისწინებით და წაქრმოდგენს კავშირის საძიებელ ცვლადებსა და ოპტიმიზაციის ამოცანის მიზანს შორის.

თუ მიზნის ფუნქციაში y_i ცვლადებს შევცვლით (10.2) სახის კავშირის განტოლებათა გათვალისწინებით, მივიღებთ მიზნის ფუნქციას, ჩაწერილს უშუალოდ საძიებელი ცვლადების მიმართ

$$F(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) \Rightarrow \min \quad (10.5)$$

ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნისას ფართოდ გამოიყენება ლაგრანჟის განუსაზღვრელ მამრაველთა მეთოდი, რომლის მიხედვითაც (10.5) სახეში ჩაწერილი მიზნის ფუნქციის ექსტრემუმის ნაცვლად განიხილება ლაგრანჟის ფუნქციის ექსტრემუმი, რომელსაც ჩაწერენ შემდეგ სახეში

$$L=F+\sum_{k=1}^m \lambda_k W_k \Rightarrow \min, \quad (10.6)$$

სადაც: W_k – შეზღუდვის განტოლებები; λ_k მუდმივი მამრავლები, რომელთაც ლაგრანჟის მამრავლებს უწოდებენ.

ყველა საძიებელი ცვლადის მიხედვით L ფუნქციის კერძო წარმოებულითა ნულთან გატოლებით მივიღებთ n განტოლებათა სისტემას:

$$\frac{\partial L}{\partial x_j} = \frac{\partial F}{\partial x_j} + \sum_{k=1}^m \lambda_k \frac{\partial W_k}{\partial x_j} = 0 \quad j=1, 2, 3, \dots, n \quad (10.7)$$

ამ განგოლებათა სისტემაში შედის $n+k$ რაოდენობის საძიებელი სიდიდე, რომელთა დადგენა შესაძლებელია (10.3) და (10.7) განგოლებათა სისტემების ერთობლივი ამოხსნით.

10.2. რეეიმების ოპტიმიზაციის კრიტერიუმები და ამოცანები

ენერგეტიკული სისტემის, როგორც ხელოვნური სისტემის, ფუნქციონირებისა და განვითარების ოპტიმიზაციის ამოცანები მიზნად ისახავს მოიძებნოს ისეთი მეთოდები და საშუალებანი, რომელთა დახმარებით შეიძლება მიღწეული იქნეს საუკეთესო რეზულტატი. ასეთი სახის ამოცანის ამოხსნის შესაფასებლად საჭიროა არსებობდეს მარევენებელი, რომლის საშუალებით დაეადგენთ რამდენად შეესაბამება მიღებული გადაწყვეტილება წინასწარ დასხულ მიზანს ანუ რამდენად ახლოსაა ამონახსნი ოპტიმალურთან. ასეთ მარევენებელს კრიტერიუმს უწოდებენ. ენერგოსისტემებში განიხილება პირველადი ენერგორესურსის ხარჯის, ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების, ენერგიის ხარისხის, მომხმარებელთა კვების საიმედოობის, გარემოს დაუიყის და სხვა ლოკალური სახის კრიტერიუმები.

უმრავლეს შემთხვევაში ერთდროულად გვაქვს საქმე არა ერთ, არამედ რამდენიმე არსებით კრიტერიუმთან. ე.ი. საქმე გვაქვს მრავალკრიტერიუმობის პრობლემასთან, რომლის გადაწყვეტისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს ის ფაქტორიც, რომ არსებობს ურთიერთ გამომრიცხავი კრიტერიუმებიც, რაც გარკვეულ კომპრომისებს მოითხოვს. ფართოდ გავრცელებულია კომპრომისი, რომელსაც კრიტერიუმთა პრიორიტეტის პრინციპს უწოდებენ. ამ პრინციპის თანახმად კრიტერიუმებს დააღაგებენ პრიორიტეტობის მიხედვით და მათგან გამოყოფენ მთავარ (პირველ) კრიტერიუმს, ხოლო დანარჩენებს განიხილავენ შემლუღეების სახით.

ენერგოსისტემის ოპტიმალური რეეიმების დადგენის ყველა მეთოდი დაფუძნებულია ელექტროენერგიის წარმოების, გადაცემის და განაწილების ხარჯების მინიმუმის მოძიების მოთხოვნაზე ანუ ენერგოსისტემის რეეიმების ოპტიმიზაციის ამოცანათა ძირითად (მთავარ) კრიტერიუმს წარმოადგენს ეკონომიკურობის კრიტერიუმი. სხვა სახის კრიტერიუმები კი განიხილება როგორც შემლუღეები.

ელექტროსისტემის რეეიმის მაქსიმალური ეკონომიკურობის უზრუნველსაყოფად დისპეტჩერის განკარგულებაშია სხვადასხვა სახის შესაძლებლობები. მათ შორის:

- ენერგოწყაროებს შორის აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა ოპტიმალური განაწილება;

ჩართული აგრეგატების ოპტიმალური შემადგენლობის შერჩევა;

ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური შერჩევა და განაწილება;

- ელექტროსისტემის ოპტიმალური სქემის შერჩევა;
- სიხშირისა და ძაბვის ოპტიმალური რეგულირება.

ყველა ეს შესაძლებლობა მიეკუთვნება ორგანიზაციულ ღონისძიებებს. გარდა ამისა შესაბამისი ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე საჭიროა წინმსწრებით განხორციელებული იქნეს გარკვეული სახის ტექნიკური ხასიათის ღონისძიება, რაც ხელს შეუწყობს რეჟიმის ეკონომიკურობის ამაღლებას.

ენერგოსისტემის რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანათა შორის განიხილება შემდეგი სახის ამოცანები:

1. თბოსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება. აქ განიხილავენ ორ ამოცანას: ა) როცა ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები არ არის დამოკიდებული ელექტროსადგურების დატვირთვებზე და წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს $\Delta P = \text{const}$; ბ) როცა აღნიშნული დანაკარგები დამოკიდებულია ელექტროსადგურების დატვირთვებზე, რომლებიც თავის მხრივ საძიებელ სიდიდეებს წარმოადგენს - $\Delta P = f(P_1, P_2, P_3, \dots, P_i, \dots, P_n)$;
2. აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება თბო- და პიღროსადგურებს შორის. აქაც განიხილავენ ორ ქვე ამოცანას: ა) $\Delta P = \text{const}$; ბ) $\Delta P = f(P_1, P_2, P_3, \dots, P_i, \dots, P_n)$;
3. აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება სადგურის აგრეგატებს შორის (შიგასასადგურო ოპტიმიზაცია);
4. სადგურებს შორის რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება;
5. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია.

რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანები მრავალკრიტერიუმობასთან ერთად სასიათდება მრავალექსტრემალურობით, რაც ამოცანის ამოხსნას ართულებს. აღნიშნული სირთულის დაძლევა შესაძლებელია ამოცანათა დეკომპოზიციის გზით, რის საშუალებასაც თვითონ ელექტრული სისტემის იერარქიული სტრუქტურა იძლევა.

ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს ის გარემოება, რომ ენერგოსისტემაში მომუშავე სადგურებს შორის თეცი და სეზონური პესი, პრაქტიკულად, მუშაობენ იძულებითი (შებლდული) რეჟიმით. კერძოდ, თეცის მუშაობის რეჟიმი დამოკიდებულია თბური მომხმარებლის მუშაობის რეჟიმზე, ხოლო სეზონური პესის მუშაობის რეჟიმი კი მდინარეში წყლის ხარჯზე დროის

მოცემულ მომენტში. ყველა დანარჩენი ელექტროსადგურის დაგეირთვა წარმოადგენს საძიებელ სიდიდეს, რაც დადგენილი უნდა იქნეს ამოცანის ამოხსნის პროცესში იმ შეზღუდვების გათვალისწინებით, რომელთაც შეიძლება აქობდეთ ადგილი ყოველ კონკრეტულ სადგურთან მიმართებაში.

სადგურის ენერგეტიკული ბალანსიდან გამომდინარე სისგემის ყველა მარეგულირებელი პესისტეის მოცემულია წყლის დღეღამური ხარჯის ლიმიტი, რომელიც ათეისებული უნდა იქნეს მოცემული დღეღამის ინტერვალში. გარდა ამისა, ოპტიმიზაციის ნებისმიერი ამოცანის ამოხსნისას, როგორც შეზღუდვის განგოლებები, გათვალისწინებული უნდა იქნეს აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა ბალანსი ენერგოსისტემაში.

10.3. ელექტროსადგურების ენერგეტიკული მახასიათებლები

ელექტროენერგიის წარმოების, გადაცემისა და განაწილების პროცესში ენერგოსისტემის თითოეული დანადგარ-მოწყობილობის მუშაობის ეფექტურობა ხასიათდება მთელი რიგი გექნიკურ-ეკონომიკური პარამეტრებით. ამ პარამეტრებს შორის კავშირს მოცემული დანადგარის ენერგეტიკულ მახასიათებელს უწოდებენ. მათ შორის განიხილება ენერგოაგრეგატის (ელექტროსადგურის) სახარჯო, ხვედრიითი, დიფერენციალური და ეკონომიკური მახასიათებლები. ელექტრული ქსელის ენერგეტიკულ მახასიათებელს წარმოადგენს ქსელში მიწოდებულ და ქსელიდან გაყეშულ ენერგიებს (სიმძლავრეებს) შორის კავშირი, რაც ქსელში დანაკარგების სახით განიხილება.

ნებისმიერ საწარმოო-გექნოლოგიურ პროცესში პირველად ენერგორესურსა და წარმოებული პროდუქციის რაოდენობას შორის კავშირის დანადგარის *სახარჯო მახასიათებელს* უწოდებენ. საწარმოო-გექნოლოგიურ პროცესში შემაეალი პირველადი ენერგორესურსი იხარჯება ორი მიმართულებით: პირველი – ხარჯი, რომელიც პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული წარმოებული პროდუქციის რაოდენობაზე და მეორე – ხარჯი, რომელიც პირდაპირ დამოკიდებულებაშია წარმოებული პროდუქციის რაოდენობასთან

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi(P).$$

ელექტროსადგურისთვის ენერგორესურსის ხარჯის პირველი შემდგენის Φ_0 ქვეშ იგულისხმება თვითონ აგრეგატის უქმი სელის ხარჯი, საექსპლუატაციო პერსონალის მომსახურების ხარჯები, ხარჯები სადგურის საკუთარი მოხმარებაზე და სხვა არასაწარმოო

ხარჯები, რომელიც, როცა ჩართული აგრეგატების შემადგენლობა არ იცვლება, თითქმის მუდმივი სიდიდისაა და ამიგომ ამ ხარჯებს მუდმივ ხარჯებს უწოდებენ, მეორე შემდგენი $\Phi(P)$ წარმოებული პროდუქციის პროპორციული ხარჯია და მას ცელად ხარჯებს უწოდებენ.

ოპტიმიზაციის ამოცანათა მათემატიკურ მოდელში აგრეგატის (ელექტროსადგურის) სახარჯო მახასიათებელს ჩაწერენ მეორე რიგის პოლინომის სახით:

თბოაგრეგატის შემთხვევაში

$$T = T_0 + \alpha_T P + b_T P^2; \quad \text{კვ/სთ} \quad (10.8)$$

ჰიდროაგრეგატის შემთხვევაში

$$Q = Q_0 + \alpha_Q P + b_Q P^2, \quad \text{მ}^3/\text{წმ} \quad (10.9)$$

სადაც: P - აგრეგატის (სადგურის) დაგვირთვა, მგვგ; T_0 და Q_0 - უქმი სელის ხარხი შესაბამისად თბო და ჰიდროაგრეგატზე, კვ/სთ, მ³/წმ; α_T , b_T , α_Q , b_Q - პოლინომის შესაბამისი წევრების კოეფიციენტები.

უნდა აღინიშნოს, რომ პოლინომის კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები დამოკიდებულია მთელ რიგ საექსპლუატაციო პარამეტრებზე. კერძოდ, თბოსადგურზე ორთქლის წნევისა და გემპერატურაზე, გამაცივებული წყლის გემპერატურაზე, ჰიდროსადგურებზე წყლის მუშა წნევის მნიშვნელობაზე და ა.შ. ექსპლუატაციის პროცესში ამ პარამეტრთა მუდმივად შენარჩუნება ვერ ხერხდება და ამიგომ ენერგობლოკის სახარჯო მახასიათებელი, როგორც ერთი P ცელადის ფუნქცია, გარკვეულ წილად, უხეშ მიახლოებას წარმოადგენს. პოლინომის კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობების უფრო მეტად დაზუსტების მიზნით რეკომენდირებულია ექსპლუატაციის პროცესში ენერგორესურსის ხარჯის მიმართ დაკვირვებები (ექსპერიმენტები) ჩატარდეს სადგურის მუშაობის იმ რეჟიმებში, როცა ზემოთ აღნიშნული პარამეტრებს გააჩნიათ ე.წ. საშუალო-საექსპლუატაციო მნიშვნელობები. ასეთი დაკვირვებები უნდა ჩატარდეს სადგურზე დადგმული ყველა აგრეგატის მიმართ და საერთო სასადგურო სახარჯო მახასიათებელის კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები დადგინდება მუშაობაში ჩართული აგრეგატების სხვადასხვა კომბინაციის მიხედვით, რაც საკმარისად შრომატევადი ამოცანაა.

იმ შემთხვევაში, როცა სადგურზე დგას n რაოდენობის ერთნაირი ენერგობლოკი, მაშინ საერთო სასადგურო სახარჯო მახასიათებელი შეიძლება ჩაეწეროს შემდეგ სახეში

$$T(k) = k \cdot T_0 + \alpha \cdot P + \frac{b}{k} \cdot P^2 \quad (10.10)$$

აქ: k ($k < n$) მუშაობაში ჩართული აგრეგატების რაოდენობა;

α და b - ერთი ენერგობლოკის სახარჯო მახასიათებლის კოეფიციენტები.

მიღებული გამოსახულება საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ k რაოდენობის აგრეგატიდან $k+1$ რაოდენობის აგრეგატზე გადასვლის ეკონომიკური მიზანშეწონილობის შესაბამისი $P_{k(k+1)}$ დატვირთვის მნიშვნელობა გოლობიდან $T(k) = T(k+1)$, გვაქვს

$$P_{k(k+1)} = \sqrt{K(K+1)T_0/b} \quad (10.11)$$

ელექტროსადგურის სახარჯო მახასიათებლიდან მიიღება *ხელრითი მახასიათებლები*:

$$b_{\text{ხელრ}} = T/P \quad \text{კვ/კვტსთ, თბოსადგურისთვის;} \quad (10.12)$$

$$q_{\text{ხელრ}} = Q/P \quad \text{მვ/კვტსთ, ჰიდროსადგურისთვის.} \quad (10.13)$$

სადგურის *ეკონომიკურ მახასიათებლად* განიხილება მისი მუშაობის მარტი კმედების კოეფიციენტი, რომლის საანგარიშო გამოსახილებას აქვს სახე:

$$\eta = 122,5 P/T \quad \text{თბოსადგურისთვის;} \quad (10.14)$$

$$\eta = 101,94 P/QH \quad \text{ჰიდროსადგურისთვის.} \quad (10.15)$$

ბოლო გამოსახულებაში H წყლის მუშა დაწნევა მეტრებში.

დატვირთვის ცვლილებისას პირველადი ენერგორესურსის ხარჯის ცვლილების სიჩქარე წარმოადგენს სადგურის *დიფერენციალურ მახასიათებელს*:

$$\frac{\partial T}{\partial P} = \alpha_T + 2 b_T P \quad \text{თბოსადგურისთვის;} \quad (10.16)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial P} = \alpha_Q + 2 b_Q P \quad \text{ჰიდროსადგურისთვის.}$$

ოპტიმიზაციის ამოცანებში სადგურის დიფერენციალურ მახასიათებელს პირველადი ენერგორესურსის ფარდობით ნაზრდს უწოდებენ და აღნიშნავენ ε სიმბოლოთი

$$\varepsilon_T = \alpha_T + 2 b_T P \quad (10.16)$$

$$\varepsilon_Q = \alpha_Q + 2 b_Q P \quad (10.17)$$

ენერგოსისტემის ყველა ელექტროსადგური მუშაობის ნორმა-ლურ რეჟიმში უნდა მონაწილეობდენ სიხშირისა და ნაკადგანაწილების რეგულირებაში, ხოლო აეარეულ რეჟიმში სიმძლავრეთა მართვაში. ასეთი მონაწილეობის ხარისხი დამოკიდებულია სადგურის აგრეგატთა მანევრირების უნარსა და ავტომატური სისტემების ეფექტურ მუშაობაზე.

სადგურის (ენერგობლოკის) მანევრირების უნარი განისაზღვრება დატვირთვისა და რეგულირების დიაპაზონებით.

თუ i -ური სადგურისთვის (ენერგობლოკისთვის) სანგრძლივად დასაშვებ მინიმალურ და მაქსიმალურ დატვირთვას შეადგენს $P_{i, \min}$ და $P_{i, \max}$, მაშინ ამ სადგურისთვის (ენერგობლოკისთვის) დატვირთვის ზღვრები ანუ *დატვირთვის დიაპაზონი*

$$P_{i, \min} \leq P_i \leq P_{i, \max}.$$

ამ დიაპაზონის ფარგლებში შეიძლება იცვლებოდეს აგრეგატის დამხმარე (საკუთარი მოსმარების) მოწყობილობათა შემადგენლობა ან ამორთული იქნეს ცალკეული ავტომატური რეგულატორი.

თბოსადგურებისთვის მინიმალური დასაშვები დატვირთვა განპირობებულია ორთქლის გურბინისა და ქვაბდანადგარის მუშაობის რეჟიმებით და დამოკიდებულია ქვაბდანადგარის გიჟსა და საწვავის სახეობაზე და დაახლოებით ნომინალური სიმძლავრის $(40 \div 50)\%$ -ს შეადგენს. პიდროსადგურებისთვის მინიმალური დასაშვები დატვირთვა, პრაქტიკულად, არ იზღუდება.

რეგულირების დიაპაზონი ეს დატვირთვის ის შუალედი, რომლის ფარგლებში შეიძლება აგრეგატის დატვირთვა იცვლებოდეს ავტომატურად დამხმარე (საკუთარი მოსმარების) მოწყობილობათა შემადგენლობის შეცვლის გარეშე.

აგრეგატის (სადგურის) მობილურობის (მანევრირების) ერთერთ მაჩვენებელს წარმოადგენს *გაშვების ხანგრძლივობა*. იგი თბოენერგობლოკებისთვის რამდენიმე საათს შეადგენს და დამოკიდებულია გაშვების წინა დგომის ხანგრძლივობაზე, ხოლო პიდროაგრეგატებისთვის კი რამდენიმე წუთს. ამ თვალსაზრისით პიდროაგრეგატები უფრო მობილური (მანევრირებადი) მოწყობილობაა.

თბოენერგობლოკების გაშვებისას ადგილი აქვს საკმარისად დიდი რაოდენობის სათბობის ხარჯს (გაშვების ხარჯები), რაც მძლავრი ბლოკების შემთხვევაში რამდენიმე ათეულ (ასეულ) გონას აჭარბებს.

10.4. კონდენსაციურ ელექტროსადგურებს შორის

აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება, როცა

$$\Delta P = \text{const}$$

დაეუშვათ, რომ ენერგოსისტემაში მუშაობს $i=0, 1, 2, \dots, n$ კონდენსაციური ელექტროსადგური და, აგრეთვე, რამდენიმე თბოელექტროცენტრალეები და პიდროსადგურები. "0" ინდექსი მინიჭებული აქვს მბაბალანსებელ კონდენსაციურ სადგურს. თუცებისა და პესების მუშაობის გრაფიკები (დღეღამის საათური დატვირთვები) ცნობილია.

კონდენსაციურ ელექტროსადგურებზე პირველადი ენერგორესურსის ხარჯი შემლუღელი არ არის.

კონდენსაციურ ელექტროსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების ამოცანა გულისხმობს, რომ ღელეამის მოცემული i ინტერვალისთვის, რომლის განმავლობაში სისტემის ჯამური დატვირთვა უცვლელია, განისაზღვროს ყველა კესის დატვირთვა იმ პირობით, რომ ამ სადგურებზე პირველადი ენერგორესურსის (სათბობის) ჯამური ხარჯი იქნება მინიმალური და, ამასთან, მომხმარებელთა მოთხოვნა აქტიურ ენერგიაზე დაკმაყოფილებული იქნება.

მამასადაზე, დასმული ამოცანის კრიტერიუმს წარმოადგენს პირველადი ენერგორესურსის (სათბობის) ჯამური ხარჯის მინიმუმი და, შესაბამისად, მიზნის ფუნქცია ჩაიწერება შემდეგ სახეში

$$T = \sum_{i=0}^n T_i \Rightarrow \min$$

კავშირის განტოლება ჩაიწერება i -ური კონდენსაციური ელექტროსადგურის სახარჯო მახასიათებლის სახით

$$T_i = T_{0,i} + \alpha_{T,i} P + b_{T,i} P^2$$

ანუ მიზნის ფუნქცია მიიღებს სახეს

$$T = \sum_{i=0}^n (T_{0,i} + \alpha_{T,i} P + b_{T,i} P^2) \Rightarrow \min. \quad (10.18)$$

დასმულ ამოცანაში შემლუღვის განტოლებას წარმოადგენს სისტემაში აქტიური სიმძლავრის ბალანსის განტოლება

$$\sum_{i=0}^n P_i + P_{\text{დანარჩ.}} - P_{\text{მომხმ.}} - \Delta P = 0, \quad (10.19)$$

სადაც: $\sum_{i=0}^n P_i$ - ყველა კესის ჯამური დატვირთვა; $P_{\text{დანარჩ.}}$ - სისტემის

დანარჩენი ელექტროსადგურის ჯამური დატვირთვა; $P_{\text{მომხმ.}}$ მომხმარებელთა ჯამური მოხმარება; ΔP - აქტიური სიმძლავრის ჯამური დანაკარგები ელექტრულ ქსელში.

შემლუღვის უტოლობათა სახით გვაქვს

$$P_{\text{მომხმ.}} \leq P_i \leq P_{\text{იზმ.}} \quad (10.20)$$

შევაღვინოთ ლაგრანჟის ფუნქცია (გამოსახულება (8.6))

$$L = \sum_{i=0}^n (T_{0,i} + \alpha_{T,i} P + b_{T,i} P^2) + \lambda (\sum_{i=0}^n P_i + P_{\text{დანარჩ.}} - P_{\text{მომხმ.}} - \Delta P) \Rightarrow \min$$

მიღებული გამოსახულება გაეწარმოოთ ყველა P_i ცვლადის მიხედვით და გაუგოლოთ ნულს. ამასთან გაითვალისწინოთ, რომ $\Delta P = \text{const}$ და $\varepsilon_{T,i} = \alpha_{T,i} + 2 b_{T,i} P_i$, გააქვს:

$$\frac{\partial L}{\partial P_0} = \alpha_{T,0} + 2 b_{T,0} P_0 + \lambda = 0 \quad \text{ანუ} \quad \varepsilon_{T,0} = -\lambda,$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_1} = \alpha_{T,1} + 2 b_{T,1} P_1 + \lambda = 0 \quad \text{ანუ} \quad \varepsilon_{T,1} = -\lambda,$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \alpha_{T,i} + 2 b_{T,i} P_i + \lambda = 0 \quad \text{ანუ} \quad \varepsilon_{T,i} = -\lambda,$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_u} = \alpha_{T,u} + 2 b_{T,u} P_u + \lambda = 0 \quad \text{ანუ} \quad \varepsilon_{T,u} = -\lambda.$$

ამრიგად, მივიღეთ რომ კონდესაციურ ელექტროსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალურ განაწილებას ადგილი ექნება მაშინ, თუ თითოეულ სადგურზე პირველადი ენერგორესურსის ფარდობითი ნაზრდი ერთნაირია. ამ პირობასთან ერთად გათვალისწინებული უნდა იქნეს აქტიური სიმძლავრის ბალანსის განგოლება (10.19) და მივიღებთ განგოლებათა სისტემას

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{T,i} &= \varepsilon_{T,0} \quad i=1, 2, 3, \dots, u \\ \sum_{i=0}^u P_i &= P_{\text{მოძმ}} + \Delta P - P_{\text{დანარჩ}} \end{aligned} \right\} \quad (10.21)$$

რომლის ამოხსნით მივიღებთ აქტიური დატვირთვის ოპტიმალურ განაწილებას კონდესაციურ ელექტროსადგურებს შორის.

ამოხსნის შედეგები უნდა შემოწმდეს (10.20) შეზღუდვის უგოლობათა მიხედვით. თუ აღნიშნული შეზღუდვა ყველა საძიებელი P_i ცვლადისთვის შესრულებულია, მაშინ ამოცანის ამოხსნა დასრულებულია. წინააღმდეგ შემთხვევაში იმ საძიებელ ცვლადს, რომლისთვისაც დაირღვა აღნიშნული შეზღუდვა, ეანიჭებთ მარჯვენა ან მარცხენა მღვრულ მნიშვნელობას იმისდა მიხედვით, რომელ მხარეს დაირღვა ეს უგოლობა. მივიღებთ (10.21) სახის განგოლებათა სისტემას, რომლის განგომილება (რანგი) უფრო დაბალი იქნება, ვიდრე თავდაპირველის. ამოცხსნით ამ სისტემას და შედეგების მიხედვით ისევ შემოწმდება (10.20) შეზღუდვის უგოლობები. ეს პროცედურა გაგრძელდება მანამ, სანამ არ დაკმაყოფილდება (10.20) შეზღუდვის უგოლობები ყველა საძიებელი ცვლადისთვის.

აქტიური დაგვირთვის ოპტიმალური განაწილების ამოცანაში თითოეული ელექტროსადგური წარმოდგენილია თავისი ეკვივალენტური ენერგეტიკული მახასიათებლით, რომელთა რაოდენობა მოცემულ სადგურზე შეიძლება იყოს ერთი ან რამდენიმე იმისდა მიხედვით თუ რა რაოდენობის აგრეგატი ღვას ამ სადგურზე და რომელი მთგანია (ერთი ან რამდენიმე) მუშაობაში ჩართული. სადგურზე n რაოდენობის სხვადასხვა ენერგეტიკული მახასიათებლის მქონე აგრეგატების შემთხვევაში ეკვივალენტური ენერგეტიკული მახასიათებელთა რაოდენობაა $2^n - 1$, ხოლო იმავე რაოდენობის ერთნაირი ენერგეტიკული მახასიათებლის მქონე აგრეგატების შემთხვევაში - n . ამ შემთხვევებში ოპტიმიზაციის ამოცანა რთულდება, მაგრამ თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენების პირობებში ამოხსნადია და ყველა სახასიათო ეკვივალენტური ენერგეტიკული მახასიათებლის გათვალისწინებით სისტემაში აქტიური დაგვირთვის ოპტიმალურ განაწილებასთან ერთად განხორციელდება აგრეთვე ოპტიმალური შეზღუდვების შერჩევა ელექტროსადგურებზე.

10.5. კონდესაციურ ელექტროსადგურებს შორის აქტიური დაგვირთვის ოპტიმალური განაწილება, როცა $\Delta P = f(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n, \dots, P_m)$

ამ ამოცანის შემთხვევაში ლაგრანჟის ფუნქციას აქვს იგივე სახე, რაც წინა ამოცანაში

$$L = \sum_{i=0}^n (T_{0,i} + \alpha_{T,i} + b_{T,i} P^2) + \lambda \left(\sum_{i=0}^n P_i + P_{\text{დადგ}} - P_{\text{გამდგ}} - \Delta P \right) \Rightarrow \min$$

რადგანაც ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები საძიებელი ცვლადების ფუნქციაა

$$\Delta P = f(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n, \dots, P_m),$$

ლაგრანჟის ფუნქციის გაწარმოებით მივიღებთ:

$$\frac{\partial L}{\partial P_0} = \alpha_{T,0} + 2 b_{T,0} P_0 + \lambda \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_0} \right) = 0,$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \alpha_{T,i} + 2 b_{T,i} P_i + \lambda \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_i} \right) = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

აქ სიდიდე $\frac{\partial \Delta P}{\partial P_i} = \sigma_{P_i}$ (4.88) გამოსახულების თანახმად წარმოად-

გენს i -ური კენანძის მიმართ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობით ნაზრდს.

რადგანაც მახალანსებელი კენანძის მიმართ ყველა $R_{ik}=0$, გვაქვს $\frac{\partial \Delta P}{\partial p_0} = \sigma_{P_0} = 0$ და ვღებულობთ შემდეგი სახის განტოლებათა სისტემას

$$\left. \begin{aligned} \frac{\varepsilon_{T_i}}{1 - \sigma_{P_i}} &= \varepsilon_{T,0} \quad i=1, 2, 3, \dots, u \\ \sum_{i=0}^u P_i &= P_{\text{მომზ.}} + \Delta P - P_{\text{დანარ.}} \end{aligned} \right\} \quad (10.22)$$

მიღებული განტოლებათა სისტემა არაწრფივია და მისი ამოხსნა გარდება იტერაციის მეთოდის გამოყენებით. იტერაციის პირველ ბიჯზე აიღებენ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების საორიენტაციო მნიშვნელობას (ნულოვანი მიახლოება) და ჩათვლიან, რომ ის მუდმივი სიდიდეა, რაც ნიშნავს რომ $\sigma_{P_i}=0$. მივიღებთ (10.21) სახის განტოლებათა სისტემას, რომელსაც ამოვხსნით 10.4 პარაგრაფში ჩამოყალიბებული ალგორითმის შესაბამისად.

მიღებული შედეგების მიხედვით (4.84) გამოსახულების თანახმად განესაზღვრავთ ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებს უფრო დაზუსტებულ მნიშვნელობას და (4.88) გამოსახულების მიხედვით აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობით ნაზრდებს გენერაციის კენანძებში, რომელსაც შევიგანთ (10.22)-ში და შევეასრულებთ იტერაციის მეორე ბიჯს. ეს პროცედურა გავრძელება მანამ, სანამ იტერაციის ბოლო ორ ბიჯზე საძიებელი ცვლადების მნიშვნელობათა შორის სხვაობა არ გახდება წინასწარ აღებულ მცირე სიდიდეზე ნაკლები.

10.6. აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება თბოჰიდროელექტროსადგურებს შორის

განვიხილოთ ენერგოსისტემა, რომლის შემადგენლობაში შედის $i=1, 2, 3, \dots, u$ კონდესაციური და $j=u+1, u+2, \dots, u+v$ მარეგულირებელი (წყალსაცავიანი) ჰიდროელექტროსადგურები. გარდა ამისა სისტემაში მუშაობს კიდევ სხვა გიპის ელექტროსადგურები (თუცი, სეზონური პესი), რომელთა დატვირთვა დროის განსახილველ

ინგერეალში ცნობილია. დროის ამავე ინგერეალისთვის ცნობილია აგრეთვე თითოეული მარეგულირებელი პესის პიდრორესურსის (წყლის) ლიმიტი.

თბოპილდრო ენერგოსისგემისთვის აქტიური დაგვირთვის ოპტიმალური განაწილების გლობალური ამოცანა დროით იერარქიაში იყოფა ორ ლოკალურ ამოცანად. პირველი განისილება გრძელვადიანი პერიოდისთვის, სადა ამოცანის ძირითად მიზანს წარმოადგენს პესების რეგულირების მთელი ციკლისთვის პიდროენერგეტიკული რესურსების ეფექტური გამოყენების რეჟიმის დადგენა. ამ გამოთვლების საფუძველზე რეგულირების მოკლევადიანი ციკლებისთვის (თვე, დეკადა, დღეღამე) განისაზღვრება პიდრორესურსის (წყლის) ლიმიტი. მეორე ამოცანა მოიცავს მოკლევადიან პერიოდს, სადაც ამოცანის მიზანს წარმოადგენს დროის საანგარიშო ინგერეალში თბოსადგურებს შორის აქტიური დაგვირთვის ოპტიმალური განაწილება პიდროსადგურებზე ლიმიტირებული წყლის მოცულობის სრულად და ოპტიმალურად გამოყენების პირობებში.

მეორე სახის ამოცანა შეიძლება გადაწყდეს ორი სხვადასხვა მიდგომით:

1) მარეგულირებელი პესები, თავიანთი პიდრორესურსის ფარგლებში, ახდენენ დაგვირთვის დღელაშური გრაფიკის პიკური დაგვირთვის დაფარვას, რომლის შემდეგ გრაფიკის დარჩენილი ნაწილი მეგნაკლებად თანაბარი ხდება. გრაფიკის დარჩენილი ნაწილის ბაზისში ჩაისმება იძულებით რეჟიმებში მიმუშავე ელექტროსადგურები (თვეი, სეზონური პესი) და განხორციელდება ამ დარჩენილი დაგვირთვის ოპტიმალური განაწილება კონდენსაციურ თბოსადგურებს შორის. ე.ი. დაეღივართ 8.4 პარაგრაფში განხილულ ამოცანადღე;

2) მარეგულირებელი პესები ოპტიმიზაციის მთელ პერიოდში მონაწილეობენ ოპტიმიზაციის ამოცანაში ანუ მათი დაგვირთვები კონდენსაციური ელექტროსადგურების დაგვირთვებთან ერთად წარმოადგენს საძიებელ სიდიდეებს. ამ ამოცანაში მიზნის ფუნქციად განისილება კონდენსაციურ ელექტროსადგურებზე სათბობის ჯამური ხარჯის მინიმუმი, რომელსაც აქვს სახე

$$T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^n T_{ij} \cdot \tau_i \Rightarrow \min, \quad (10.23)$$

სადაც: τ_i - დროის ის ინგერეალი, რომლის განმავლობასი სისგემის ჯამური დაგვირთვა უცელელია; k - დროის ინგერეალთა საერთო რაოდენობა; T_{ij} - i -ურ თბოსადგურზე სათბობის საათური ხარჯი τ_i დროის ინგერეალში.

კავშირის განგოლებების სახით განიხილება თბო- და პიდრო-სადგურების სასარჯო მასასიათებლები:

$$T_{i,t} = T_{i,0} + \alpha_i P_{i,t} + b_i \cdot P_{i,t}^2, \text{ კვსთ, } i=1, 2, 3, \dots, u$$

$$Q_{j,t} = Q_{j,0} + \alpha_j P_{j,t} + b_j \cdot P_{j,t}^2, \text{ მ}^3/\text{წმ, } j=u+1, u+2, \dots, u+v$$

შეზღუდვის განგოლებათა სახით გვაქვს:

ა) აქტიური სიმძლავრის განგოლება ყოველი τ_i დროის ინტერვალისთვის

$$W_{p,t} = \sum_{i=0}^u P_{i,t} + \sum_{j=u+1}^{u+v} P_{j,t} + \sum P_{\text{დანარჩ.}} - P_{\text{გამზდ.}} - \Delta P = 0 \quad (10.24)$$

ბ) თითოეული პიდროსადგურისთვის პიდრორესურსის ლიმიტი დღეღამის ინტერვალში

$$W_{Q,j} = 3600 \cdot \sum_{t=1}^k Q_{j,t} \cdot \tau_i - Q_{j,\text{ლიმ}} = 0, \quad j=u+1, u+2, \dots, u+v \quad (10.25)$$

სადაც $Q_{j,\text{ლიმ}}$ - წყლის ლიმიტი j პიდროსადგურზე.

შეზღუდვის უტოლობათა სახით გვაქვს:

$$P_{i,\text{მინ}} \leq P_i \leq P_{i,\text{მაქ}} \quad \text{და} \quad P_{j,\text{მინ}} \leq P_j \leq P_{j,\text{მაქ}} \quad (10.26)$$

შევადგინოთ ლაგრანჟის ფუნქცია

$$L = T + \lambda_i \cdot W_{p,t} + \sum_{j=u+1}^{u+v} \lambda_j \cdot W_{Q,j}$$

ანუ

$$\begin{aligned} L = & \sum_{t=1}^k \sum_{i=0}^u (T_{0,i} + \alpha_i P_{i,t} + b_i P_{i,t}^2) \cdot \tau_i + \sum_{t=1}^k \lambda_i \left(\sum_{i=0}^u P_{i,t} + \sum_{j=u+1}^v P_{j,t} + \right. \\ & + \sum P_{\text{დანარჩ.}} - P_{\text{გამზდ.}} - \Delta P_t) + \sum_{j=u+1}^{u+v} \lambda_j \cdot [3600 \cdot \sum_{t=1}^k (Q_{0,j} + \\ & + \alpha_j P_{j,t} + b_j \cdot P_{j,t}^2) \tau_i - Q_{j,\text{ლიმ}}] \Rightarrow \min \end{aligned} \quad (10.27)$$

ეს გამოსახულება გაწარმოთ ყველა $P_{i,t}$ და $P_{j,t}$ ცვლადის მიხედვით და გაუტოლოთ ნულს, მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{0,i} \tau_i + \lambda_i (1 - \sigma_{0,i}) &= 0, \\ \varepsilon_{i,j} \tau_i + \lambda_i (1 - \sigma_{i,i}) &= 0, \quad i=1, 2, 3, \dots, u \\ \lambda_i (1 - \sigma_{j,i}) + 3600 \cdot \lambda_j \varepsilon_{j,i} \tau_i &= 0, \quad j=u+1, u+2, \dots, u+v \end{aligned} \right\}$$

ვითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ მაბალანსებული კვანძისთვის $\sigma_{0,i} = 0$ (პარაგრაფი 10.5), ელბულობთ $\lambda_j = -\varepsilon_{0,j} \tau_j$, მაშინ გაქეს

$$\left. \begin{aligned} \frac{\varepsilon_{i,i}}{1 - \sigma_{i,i}} &= \varepsilon_{0,i} & i=1, 2, 3, \dots u \\ \frac{3600 \lambda_{j,i} \varepsilon_{j,i}}{1 - \sigma_{j,i}} &= \varepsilon_{0,i} & j=u+1, u+2, \dots u+v \end{aligned} \right\} \quad (10.28)$$

(10.28) და (10.24) განტოლებები ქმნიან განტოლებათა ერთიან სისტემას

$$\left. \begin{aligned} \frac{\varepsilon_{i,i}}{1 - \sigma_{i,i}} &= \varepsilon_{0,i} & i=1, 2, 3, \dots u \\ \frac{3600 \lambda_{j,i} \varepsilon_{j,i}}{1 - \sigma_{j,i}} &= \varepsilon_{0,i} & j=u+1, u+2, \dots u+v \end{aligned} \right\} \quad (10.29)$$

$$W_{p,i} = \sum_{i=0}^u P_{i,i} + \sum_{j=u+1}^{u+v} P_{j,i} + \sum P_{\text{დასრულებული}} - P_{\text{დასრულებული}} - \Delta P = 0$$

რომლის საშუალებით დაეადგნთ თბოქიდროელექტროსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალურ განაწილებას.

მიღებული განტოლებათა სისტემა არაწრფივი სისტემაა და მის ამოხსნას ახდენენ იტერაციული მეთოდით. ამასთან, ამოხსნის ყოველ ბიჯზე უნდა შემოწმდეს (10.25) სახის შემღუღის განტოლებები და (10.26) სახის შემღუღის უტოლობები.

10.7. λ_j მამრავლი და თბოქიდროელექტროსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების განტოლებათა სისტემის ამოხსნის საკითხები

თბოქიდროელექტროსისტემაში ელექტროსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების ამოცანაში λ_j მამრავლი მაბალანსირებული კონდენსაციური ელექტროსადგურისა და მარეგულირებული j ქიდროელექტროსადგურის ოპტიმალურ დატვირთვებს შორის კავშირის პარამეტრია. ამ პარამეტრის ფიზიკური არსი შემევიძლია დაეადგინოთ (10.28) განტოლებათა სისტემის j განტოლებიდან. ამ განტოლებიდან

$$\lambda_j = \frac{\varepsilon_0}{3600 \cdot \varepsilon_j} (1 - \sigma_j) \quad (10.30)$$

ანუ

$$\lambda_j = \frac{\partial T_0 / \partial P_0}{3600 \cdot \partial Q_j / \partial P_j} \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_j}\right)$$

ამ გამოსახულებაში წარმოებულები შეეცვალოთ მცირე ნაზრდების ფარდობის სახით, გვაქვს

$$\lambda_j = \frac{\delta T_0 / \delta P_0}{3600 \cdot \delta Q_j / \delta P_j} \left(1 - \frac{\delta(\Delta P)}{\delta P_j}\right) = \frac{\delta T_0}{3600 \cdot \delta Q_j} \cdot \frac{\delta P_j - \delta(\Delta P)}{\delta P_0}$$

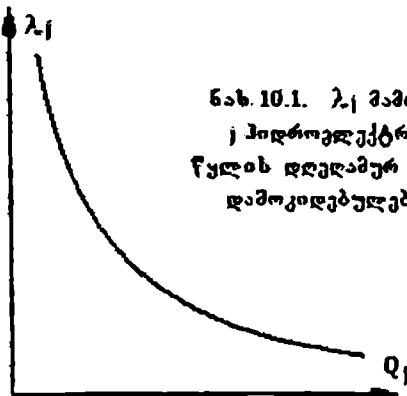
ცხადია, რომ თუ j პესზე დაგვირთვა შეიცვლება, მაშინ შეიცვლება ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებიც და ჯამური ცელილება უნდა დაბალანსდეს მახალანსებელი სადგურის მიერ. აქედან გამომდინარე $\delta P_j - \delta(\Delta P) = -\delta P_0$ ანუ

$$\lambda_j = -\frac{\delta T_0}{3600 \cdot \delta Q_j}.$$

მაშასადამე, λ_j მამრავლი გვიჩვენებს j პესზე წყლის ხარჯის ერთი ერთეულით (მ³) შეცვლისას რა რაოდენობით შეიცვლება სათბობის ხარჯი (კვ) მახალანსებელ თბოსადგურზე. λ_j მამრავლს ჰიდრორესურსის გამოყენების ეფექტურობის კოეფიციენტს უწოდებენ. ნიშანი „-“ მიუთითებს მას, რომ j პესზე წყლის ხარჯის გაზრდა გამოიწვევს სათბობის ხარჯის შემცირებას (ეკონომიას) თბოსადგურზე და პირიქით.

ელექტრულ ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის რიცხვითი მნიშვნელობების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ $|\sigma_j| \ll 1$. აქედან გამომდინარე, (10.30) გამოსახულების თანახმად, λ_j მამრავლი მახალანსირებელი კონდენსაციური ელექტროსადგურისა და მარეგულირებელი j ჰიდროელექტროსადგურის პირველადი ენერგორესურსების ფარდობითი ნაზრდების ფარდობის გოლია და, ამასთან, იგი j ჰიდროელექტროსადგურის დაგვირთვის უკუპროპორციული სიდიდეა ანუ ამ სადგურის პირველადი ენერგორესურსის ჯამური ხარჯის უკუპროპორციულია (ნახ. 10.1), რის გამოც მნიშვნელოვნად რთულდება (10.29) სახის განტოლებათა სისტემის ამოხსნის

ალგორითმი (10.25) სახის შეზღუდვის განგოლებების გათვალისწინების პირობებში.



ნახ. 10.1. λ_j მამრავლა და
j ჰიდროელექტროსადგურზე
წყლის დღედამურ ხარჯს შორის
დაშოკიდებულების გრაფიკი

(10.29) სახის განგოლებათა სისტემის ამოხსნის გამარტივების მიზნით, იტერაციული ამოხსნის საწყის ბიჯზე, შეირჩევენ λ_j მამრავლის საორიენტაციო რიცხვით მნიშვნელობას საანგარიშო პერიოდის მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმის მიხედვით, რომლის დროსაც როგორც მაბალანსირებული კონდენსაციური ელექტროსადგური, ასევე j ჰიდროელექტროსადგური მუშაობს თავიანთი ქონებული სიმძლავრის დაახლოებით (0,80-0,85)% დატვირთვით. მაშასადამე,

$$\lambda_j^{(0)} = \frac{\varepsilon_0}{3600 \cdot \varepsilon_j} = \frac{\alpha_0 + b_0(0,80 \div 0,85)P_{0,კონ}}{\alpha_j + b_j(0,80 \div 0,85)P_{j,კონ}} \quad (10.30)$$

λ_j მამრავლის ამ მნიშვნელობას (ნულოვანი მიახლოება)

უსვლელად შეინარჩუნებენ საანგარიშო პერიოდის ყველა τ , დროის ინტერვალისთვის და თითოეულ ამ ინტერვალში (10.29) განგოლებათა ამოხსნით მიიღებენ $P_{j,t}$ დატვირთვებს. ამ დატვირთვების საშუალებით წყლის დღედამურ ჯამურ ხარჯს მარეგულირებელ j ჰიდროელექტროსადგურზე

$$W_{Qj} = 3600 \cdot \sum_{i=1}^k Q_{j,i} \cdot \tau_i$$

და შევამოწმებთ სრულდება თუ არა (10.25) გოლობა ყველა j ჰიდროელექტროსადგურისთვის. ამ მოთხოვნის დარღვევის შემთხვევაში განსაზღვრავენ λ_j -ის ახალ მნიშვნელობას (პირველი მიახლოება) ფორმულით

$$\lambda_j^{(1)} = \frac{\lambda_j^{(0)}}{2} \cdot \left(1 + \frac{Q_j}{Q_{j, \text{ლიმ}}}\right), \quad (10.31)$$

რომლის შემდეგ ხელმეორედ ამოხსნით (10.29) განგოლებათა სისტემას.

ეს იტერაციული პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ ყველა j პესისთვის არ შესრულდება (10.25) შეზღუდვის გოლობები.

10.8. ელექტროსადგურებს შორის რეაქტიული დაგვირთვის ოპტიმალური განაწილება

ელექტრულ სისტემაში, რომლის კეანძებში ჯერ კიდევ არ არის დაყენებული რეაქტიული სიმძლავრის დამატებითი წყაროები, რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის განგოლების შემოსავლის ნაწილში გეაქეს ელექტროსადგურების ჯამური რეაქტიული ქონებული სიმძლავრე $\sum Q_{\text{სადგ.ქონ.}}$ და ელექტროგადაცემის ხაზების მიერ გენერირებული

ლი რეაქტიული სიმძლავრე $\sum \Delta Q_C$, ხოლო გასავლის ნაწილში კი მომხმარებელთა რეაქტიული დაგვირთვები $\sum Q_{\text{მოხმ.}}$, ქსელის ელემენტების (ხაზები, გრანსფორმაგორები) X წინაღობებში დანაკარგები $\sum \Delta Q_X$ და გრანსფორმაგორების ფოლადში დანაკარგები $\sum \Delta Q_{\text{ფლ.}}$.

როცა შემოსავალი ნაწილი ჭარბობს გასავალს, მაშინ სისტემაში გეაქეს რეაქტიული სიმძლავრის რეზერვი

$$Q_{\text{რზ.}} = (\sum Q_{\text{სადგ.ქონ.}} + \sum \Delta Q_C) - (\sum Q_{\text{მოხმ.}} + \sum \Delta Q_X + \sum \Delta Q_{\text{ფლ.}}) > 0.$$

ამ შემთხვევაში სისტემის მუშაობის რეჟიმი განსორციელებადია და ელექტრულ ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების მიზნით ოპტიმიზაციის ამოცანას წარმოადგენს ელექტროსადგურებს შორის რეაქტიული დაგვირთვის ოპტიმალური განაწილება.

ქსელში კეანძური რეაქტიული დაგვირთვებით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები გამოითულება (4.87) გამოსასულებით

$$\Delta P_Q = \frac{1}{U^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_j Q_k \cdot R_{jk}.$$

ეს გამოსახულება წარმოადგენს მიზნის ფუნქციას და იმავდროულად კეპირის განგოლებასაც. შეზღუდვის განგოლების სახით გეაქეს რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის განგოლება

$$W = (\sum Q_{\text{სადგ.}} + \sum \Delta Q_C) - (\sum Q_{\text{მომხმ.}} + \sum \Delta Q_X + \sum \Delta Q_{\text{ფლ.}}) = 0,$$

ხოლო შეზღუდვის უტოლობათა სახით კი გვაქვს

$$Q_{j, \text{სადგ. მიწ.}} \leq Q_{j, \text{სადგ.}} \leq Q_{j, \text{სადგ. მაქს.}} \quad j=0, 1, 2, \dots, m,$$

სადაც j სადგურის ნომერი და m სადგურების საერთო რიცხვი ქსელში. ამასთან მახალანსებელ სადგურს მინიჭებული აქვს ინდექსი "0".

შევაღვინოთ ლაგრანჟის ფუნქცია

$$L = \Delta P_Q + \lambda \cdot W \quad \text{ანუ}$$

$$L = \frac{1}{U^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_j Q_k \cdot R_{jk} + \lambda \cdot (\sum Q_{\text{სადგ.}} + \sum \Delta Q_C) - \\ - (\sum Q_{\text{მომხმ.}} + \sum \Delta Q_X + \sum \Delta Q_{\text{ფლ.}}) \Rightarrow \min. \quad (10.32)$$

მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე $\sum \Delta Q_C$ და გრანსფორმატორების ფოლადში დანაკარგები $\sum \Delta Q_{\text{ფლ.}}$ ძალიან უმნიშვნელოაა დამოკიდებული კეების წყაროების რეაქტიულ დატვირთვებზე და შეიძლება ჩაითვალოს მუდმივ სიდიდეებად. ამოცანის გამარტივების მიზნით, ასევე მუდმივ სიდიდედ შეიძლება ჩაითვალოს ქსელის ელემენტების (ხაზები, გრანსფორმატორები) X წინააღობებში დანაკარგები $\sum \Delta Q_X$.

ამ დაშვებების გათვალისწინებით გავაწარმოოთ L ფუნქცია საძიებელი ცვლადების (ელექტროსადგურების რეაქტიული დატვირთვების) მიხედვით და გაუტოლოთ ნულს. გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial Q_0} &= \frac{\partial \Delta P_Q}{\partial Q_0} + \lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial Q_1} &= \frac{\partial \Delta P_Q}{\partial Q_1} + \lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial Q_j} &= \frac{\partial \Delta P_Q}{\partial Q_j} + \lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial Q_m} &= \frac{\partial \Delta P_Q}{\partial Q_m} + \lambda = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$(4.89) \text{ გამოსახულების თანახმად სილიდე } \frac{\partial \Delta P_{\varrho}}{\partial Q_j} = \sigma_{\varrho_j} \text{ წარმოად-}$$

გენს ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობით ნაზრდს j კვანძის მიმართ

$$\frac{\partial \Delta P_{\varrho}}{\partial Q_j} = \sigma_{\varrho_j} = \frac{2}{U^2} \sum_{k=1}^i Q_k \cdot R_{jk}$$

მაბალანსებელი კვანძისთვის ყველა $R_{jk}=0$ და, შესაბამისად, $\sigma_{\varrho_j}=0$. აქედან გამომდინარე, ვლუბულობთ $\lambda = 0$ და გვაქვს

$$\sigma_{\varrho_1} = \sigma_{\varrho_2} = \dots = \sigma_{\varrho_j} = \dots = \sigma_{\varrho_m} = 0. \quad (10.35)$$

ამრიგად, ელექტროსადგურებს შორის რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების პირობაა სადგურთა კვანძების მიმართ ქსელში რეაქტიული დატვირთვებით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობით ნაზრდების ნულთან გოლობა. გასგოლუბათა ამ სისგემის ამოხსნით განესაზღვრავთ $j=0, 1, 2, \dots, m$ ელექტროსადგურების ოპტიმალურ რეაქტიულ დატვირთვებს.

მაბალანსებელი სადგურის დატვიგთვა გამოითულება (10.32) სახის ბალანსის განგოლუბიდან

$$Q_0 = (\sum Q_{\text{მიმსმ.}} + \sum \Delta Q_x + \sum \Delta Q_{\text{ფლ.}}) - \sum_{j=1}^m Q_{j, \text{სადგ}} - \sum \Delta Q_C \quad (10.36)$$

ამოხსნის შედეგები უნდა შემოწმდეს (10.33) შემლუდვის უგოლობათა მიხედვით. თუ აღნიშნული შემლუდვა ყველა საძიებელი Q_i ცელადისთვის შესრულებულია, მაშინ ამოცანის ამოხსნა დასრულებულია. წინააღმდეგ შემთხვევაში იმ საძიებელ ცელადს, რომლისთვისაც დაირღვა აღნიშნული შემლუდვა, ვანიჭებთ მარჯვენა ან მარცხენა ზღვრულ მნიშვნელობას იმისდა მიხედვით, რომელ მხარეს დაირღვა ეს უგოლობა. ამით შემცირდება (10.35) სახის განგოლუბათა სისგემის განზომილება (რანგი) და ამოეხსნით მიღებულ სისგემას. ეს პროცედურა გაგრძელდება მანამ, სანამ არ დაკმაყოფილდება (10.33) შემლუდვის უგოლობები ყველა საძიებელი ცელადისთვის.

10.9. მოხმარების კვანძებში რეაქტიული დაგვირთვების ოპტიმალური კომპენსაცია და ელექტროსადგურების რეაქტიული ოპტიმალური დაგვირთვები

დავუშვათ, რომ ქსელში ჩართულია $j=0, 1, 2, \dots, m$ ელექტრო-
სადგური და $j=m+1, m+2, \dots, m+n$ მოხმარების კვანძები.

მოხმარების კვანძებში რეაქტიული დაგვირთვის ოპტიმალური
კომპენსაციის ამოცანა განიხილება ორი მიდგომით:

1. მოცემულია (ცნობილია) ელექტროსადგურების რეაქტიული
დაგვირთვები და საჭიროა მოხმარების კვანძებში განისაზღ-
ვროს რეაქტიული დაგვირთვის მაკომპენსირებული დანადგა-
რების ოპტიმალური სიმძლავრე;
2. მოხმარების კვანძებში რეაქტიული დაგვირთვის მაკომპენ-
სირებული დანადგარების ოპტიმალური სიმძლავრის განსაზღ-
ვრასთან ერთად განისაზღვროს ელექტროსადგურების
ოპტიმალური რეაქტიული დაგვირთვები.

ორივე ამ შემთხვევაში ამოცანის კრიტერიუმს წარმოადგენს
მეურნეობის დაყვანილი ხარჯები, რომელიც შეიცავს მოხმარების
კვანძებში მაკომპენსირებული დანადგარების დაყენების ხარჯებს
მასთან დაკავშირებული საექსპლუატაციო ხარჯებთან ერთად და
ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებით გამოწვეულ ხარჯებს
(ელექტროსადგურებში რეაქტიული სიმძლავრის გამოუმუშავებასთან
დაკავშირებით დამატებითი ხარჯები საჭირო არ არის). შესაბამისად
მიზნის ფუნქციას ექნება სახე

$$Z = (E_{\text{წ}} + \alpha_j) \sum_{j=m+1}^{j=m+n} K_{0,j} Q_{j,j} + \Delta P_j \% \cdot 10^{-2} \cdot T_0 C_0 \cdot \sum_{j=m+1}^{j=m+n} Q_{j,j} + \\ + \Delta P_0 \tau \cdot C_0 \Rightarrow \min \quad (10.37)$$

ამ გამოსახულებაში: $Q_{j,j}$ - მაკომპენსირებული დანადგარის სიმძ-
ლავრე (საძიებელი ცვლადი), მგვარ; $K_{0,j}$ - ამ დანადგარის ხედრითი
ღირებულება ლარი/მგვარ; $E_{\text{წ}}$ - კაპიტალური ხარჯების გამოსყიდვის
ნორმატიული კოეფიციენტი; α_j - მაკომპენსირებული დანადგარის
საექსპლუატაციო ხარჯების ფარდობითი მნიშვნელობა; $\Delta P_j \%$ - ამ
დანადგარში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები, მგვტ; T_0 - დანად-
გარის ჩართული მდგომარეობის ხანგრძლივობა, სთ; C_0 -

ელექტროენერგიის ტარიფი, ლარი/მგვტსთ; ΔP_{ρ} ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები, გამოწვეული კვანძების რეაქტიული დატვირთვებით, მგვტ; τ - მაქსიმალური დანაკარგების დრო, სთ.

კავშირის განგოლებას წარმოადგენს (4.87) გამოსახულება, რომელიც კვანძებში მაკომპენსირებელი დანადგარების მოსალოდნელი დაყენების გათვალისწინებით ჩაიწერება შემდეგ სახეში

$$\Delta P_{\rho} = \frac{1}{U^2} \sum_{j=1}^{m+n} \sum_{i=1}^{m+n} (Q_i + Q_{i,j}) (Q_k + Q_{k,j}) \cdot R_{jk} \quad (10.38)$$

შებლუდის განგოლების სახით გვაქვს რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის განგოლება

$$W = \left(\sum_{j=0}^m Q_{j, \text{სადგ.}} + \sum_{j=m+1}^{j=m+n} Q_{j, j} + \sum \Delta Q_c \right) - \left(\sum Q_{\text{მომხმ.}} + \sum \Delta Q_x + \sum \Delta Q_{\text{ფლ.}} \right) = 0, \quad (10.39)$$

ბოლო შეზღუდვის უტოლობათა სახით კი გვაქვს

$$Q_{j, \text{სადგ. მომ.}} \leq Q_{j, \text{სადგ.}} \leq Q_{j, \text{სადგ. მაქს.}} \quad j=0, 1, \dots, m \quad (10.40)$$

და

$$Q_{j,j} > 0. \quad j=m+1, m+2, \dots, m+n \quad (10.41)$$

შეუადგინოთ ლაგრანჟის ფუნქცია

$$L = (E_6 + \alpha_j) \sum_{j=m+1}^{j=m+n} K_{0,j} Q_{j,j} + \Delta P_{\rho} \% \cdot 10^{-2} \cdot T_0 C_0 \cdot \sum_{j=m+1}^{j=m+n} Q_{j,j} + \Delta P_{\rho} \cdot \tau \cdot C_0 + \lambda \cdot \left(\sum_{j=0}^m Q_{j, \text{სადგ.}} + \sum_{j=m+1}^{j=m+n} Q_{j,j} + \sum \Delta Q_c \right) - \left(\sum Q_{\text{მომხმ.}} + \sum \Delta Q_x + \sum \Delta Q_{\text{ფლ.}} \right) \Rightarrow \min$$

გაეაწარმოოთ L ფუნქცია საძიებელი ($Q_{j, \text{სადგ.}}$ და $Q_{j,j}$) ცვლადების მიხედვით და გაუეგოლოთ ნულს. გვაქვს

$$\frac{\partial \Delta P_{\rho}}{\partial Q_{0, \text{სადგ.}}} \tau \cdot C_0 + \lambda = 0$$

$$\frac{\partial \Delta P_{\rho}}{\partial Q_{j, \text{სადგ.}}} \tau \cdot C_0 + \lambda = 0 \quad j=0, 1, 2, \dots, m$$

$$(E_6 + \alpha_j) K_{0,j} + \Delta P_j \% \cdot 10^{-2} \cdot T_0 C_0 + \frac{\partial \Delta P_0}{\partial Q_j} \tau \cdot C_0 + \lambda = 0, j=m+1 \dots m+n$$

რადგანაც მახალანსებელი სადგურისთვის $\frac{\partial \Delta P_0}{\partial Q_{0,სადგ.}} = 0$, პირველი

გამოსახულებიდან ვღებულობთ $\lambda = 0$ და, შესაბამისად, გვაქვს

$$\frac{\partial \Delta P_0}{\partial Q_{j,სადგ.}} = 0$$

$$\frac{\partial \Delta P_0}{\partial Q_j} = - \frac{(E_6 + \alpha_j) K_{0,j} + \Delta P_j \% \cdot 10^{-2} \cdot T_0 \cdot C_0}{\tau \cdot C_0}$$

(10.38) გამოსახულების გათვალისწინებით

$$\frac{\partial \Delta P_0}{\partial Q_j} = \frac{2}{U_6^2} \sum_{k=1}^{m+n} (Q_k + Q_{k,j}) R_{jk}$$

და გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=1}^{m+n} (Q_k + Q_{k,j}) R_{jk} &= 0 \quad j=0, 1, 2, \dots, m \\ \sum_{k=1}^{m+n} (Q_k + Q_{k,j}) R_{jk} &= \frac{A \cdot U_6^2}{2}, \quad j=m+1 \dots m+n \end{aligned} \right\} \quad (10.42)$$

$$\text{სადაც } A = - \frac{(E_6 + \alpha_k) K_{0,k} + \Delta P_k \% \cdot 10^{-2} T_0 C_0}{\tau C_0} \quad (10.43)$$

(10.42) წარმოადგენს განტოლებათა სისტემას, რომელიც საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ როგორც ელექტროსადგურების ($j=0, 1, 2, \dots, m$) ოპტიმალური რეაქტიული დატვირთვები, ასევე, მოხმარების კვანძებში ($j=m+1 \dots m+n$) რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებელი დანადგარების ოპტიმალურ სიმძლავრე. შესაბამისად, $j=0, 1, 2, \dots, m$ კვანძებში Q_k არის სადგურის საგენერატორო ძაბვის სალტებზე მიერთებული მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვა და $Q_{k,სადგ.}$ - სადგურის რეაქტიული დატვირთვა, რომელიც მოყვებულია ან საძიებელია, ხოლო $j=m+1 \dots m+n$ კვანძებში Q_k არის მოხმარების

კვანძებში რეაქტიული დატვირთვა და Q_{k3} ამავე კვანძებში მაკომპენსირებელი დანადგარების საძიებელი ოპტიმალურ სიმძლავრე.

(10.42) განტოლებათა სისტემის ამონახსნი უნდა შემოწმდეს (8.40) და (10.41) შეზღუდვის უტოლობების მიხედვით. თუ რომელიმე ამ უტოლობიდან არ სრულდება, მაშინ შესაბამისი საძიებელი სიდიდე აიღება მისი მარცხენა ან მარჯვენა (რომელ მხარესაც დაირღვა მოცემული უტოლობა) ზღერული მნიშვნელობის გოლალ და განტოლებათა სისტემას ამოუხსნით დარჩენილი ცვლადების მიხედვით. ეს პროცედურა გაგრძელდება მანამ, სანამ არ დაკმაყოფილდება (10.40) და (10.41) შეზღუდვის უტოლობები.

მოცემული განტოლებათა სისტემის ამოხსნის დასრულების შემდეგ (10.39) განტოლებიდან განესაზღვრათ მაბალანსებელი ელექტროსადგურის რეაქტიულ დატვირთვას.

10.10. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია მაგისტრალურ და რადიალურ ელექტრულ ქსელებში

საშუალო და დაბალი (6÷35 კე) მომხმარებელთა კვების ელექტრულ ქსელებში ფართოდ გავრცელებულია მაგისტრალური (ნახ. 10.10 ა) და რადიალური (ნახ. 10.10 ბ) შეერთების სქემები.

მაგისტრალურ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნის შედეგად ვღებულობთ, რომ მაგისტრალის 1-ურ კვანძში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ეკონომიკურად მიზანშეწონილია თუ ამ კვანძის მიმართ სრულდება პირობა

$$\sum_{j=1}^j R'_j Q_j + \frac{AU_6^2}{2} > 0, \quad (10.44)$$

სადაც

$$R'_j = \sum_{k=1}^j R_k \quad (10.45)$$

უბნების წინალობათა ჯამი კვების ცენტრიდან j -ურ კვანძამდე;
 R_k - k - ური უბნის აქტიური წინალობა.

(10.44) პირობის შესრულების შემთხვევაში $j > 1$ კვანძებისთვის $Q_{j, \text{ოპ}} = Q_j$ და $j < 1$ კვანძებისთვის $Q_{j, \text{ოპ}} = 0$, ხოლო თვითონ 1 კვანძისთვის

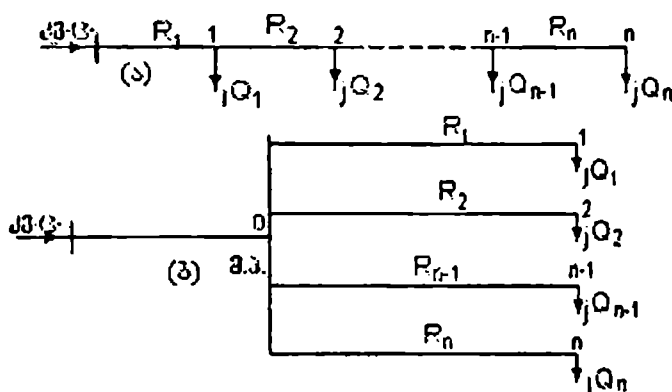
$$Q_{\text{კ.კ.ობ.}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^l R_k} \cdot \left(\sum_{j=1}^l Q_j R_j' + \frac{AU_6^2}{2} \right) \quad (10.46)$$

რადიალურ ქსელში (ნახ. 10.10,ბ) რეაქტიული დაგვირთვის კომპენსაციის ოპტიმიზაციის ამოცანის განგებულებათა სისტემას აქვს შემდეგი მოვადი სახე

$$R_0 \sum_{i=1}^n Q_{j'} + Q_{j'} R_i = R_0 \sum_{i=1}^n Q_i + Q_i R_i + \frac{AU_6^2}{2}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (10.47)$$

კერძო შემთხვევაში, როცა $R_0=0$, ეღებულობთ

$$Q_{j'} = Q_i + \frac{AU_6^2}{2R_i} \quad (10.48)$$



ნახ. 10.10 მაგისტრალური (ა) და რადიალური (ბ) ქსელების შეერთების სქემები: კვ.კ.-კვების ცენტრი; მ.პ.-მანაწილებელი პუნქტი ინდექსით „მ“

თუ ამ ფორმულით მიღებული სიდიდე უარყოფითია, ეს ნიშნავს მას, რომ განსახილველ კვანძში რეაქტიული დაგვირთვის კომპენსაცია არაუკონომიკურია.

10.11. მე-10 თავის რიცხვითი მაგალითები

მაგალითი 10.1. 4.42 ნახაზზე წარმოდგენილ ელექტროსისტემაში მუშაობს ეს-1, ეს-2 და ეს-4 კონდენსაციური ელექტროსადგურები, რომელთა დადგმული სიმძლავრეა: ეს-1 120+ j 60 მგვა; ეს-2 160+ j 80 მგვა; ეს-3 300+ j 150 მგვა. ეს-4 სადგური წარმოადგენს პიდროსადგურს,

რომლის დადგენილი სიმძლავრეა $100+160$ მგვა. ელექტროსისტემის ჯამური აქტიური დატვირთვა ქსელში დანაკარგებითან ერთად შეადგენს $548,93$ მგვტ-ს (შავალითი $4,8$).

დაეუშვათ, რომ ეს-4 პიდროსადგური მუშაობს სრული დატვირთვით, ანუ $P_{ეს-4}=100$ მგვტ, მაშინ სისტემაში მომუშავე ეს-1, ეს-2 და ეს-3 კონდენსაციური სადგურების ჯამური დატვირთვა იქნება $448,93$ მგვტ. ვიპოვოთ ამ სადგურებს შორის აღნიშნული აქტიური დატვირთვის ($448,93$ მგვტ) ოპტიმალური განაწილება.

კონდენსაციური სადგურების სახარჯო მახასიათებლებია:

$$T_{ეს-1}=3000+230P_{ეს-1}+1,2P_{ეს-1}^2;$$

$$T_{ეს-2}=3500+240P_{ეს-2}+0,9P_{ეს-2}^2;$$

$$T_{ეს-3}=4000+245P_{ეს-3}+0,85P_{ეს-3}^2.$$

ამ სადგურების აქტიური დატვირთვის დასაშვები ზღვრებია:

$$70 \leq P_{ეს-1} \leq 120; \quad 100 \leq P_{ეს-2} \leq 160; \quad 150 \leq P_{ეს-3} \leq 300.$$

ამოხსნა. სადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების (10.21) განტოლებათა სისტემა (10.16)-ის თანახმად ჩაიწერება შემდეგ სახეში:

$$230+2,4P_{ეს-1}=245+1,7P_{ეს-3}$$

$$240+1,8P_{ეს-2}=245+1,7P_{ეს-3}$$

$$P_{ეს-1}+P_{ეს-2}+P_{ეს-3}=448,93.$$

ამ განტოლებათა სისტემის ამოხსნით ვღებულობთ:

$$P_{ეს-1}=123,71, \quad P_{ეს-2}=159,39 \quad \text{და} \quad P_{ეს-3}=165,83 \text{ მგვტ.}$$

როგორც ვხედავთ ეს-1 სადგურისთვის დაირღვა შეზღუდვის უტოლობა მარჯენიდან. ამიტომ ვიღებთ $P_{ეს-1}=120$ მგვტ და გვექნება ორეცნობიანი განტოლებათა სისტემა:

$$240+2,4P_{ეს-2}=245+1,7P_{ეს-3}$$

$$P_{ეს-2}+P_{ეს-3}=328,93.$$

აქედან ვღებულობთ: $P_{ეს-2}=161,19$ და $P_{ეს-3}=167,74$ მგვტ.

ამჯერად შეზღუდვის უტოლობა მარჯენიდან დაირღვა ეს-2 სადგურისთვის და ვიღებთ $P_{ეს-2}=160$ მგვტ. შესაბამისად, ბალანსის განტოლებიდან ვღებულობთ $P_{ეს-3}=168,93$ მგვტ.

მაგალითი 10.2. იმავე ელექტროსისტემაში (მაგალითი 10.1) ეიპოვოთ აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება სისტემის ყველა ელექტროსადგურებს შორის, თუ $P_{ეს-4} = 27,5 + 1,35P_{ეს-1} + 7,74 \cdot 10^{-3} \cdot P_{ეს-2}^2$ და $0 \leq P_{ეს-1} \leq 100$.

ამოხსნა. თუ ჩავთლით, რომ ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები არ არის დამოკიდებული სადგურების დატვირთვაზე ($\sigma_i = 0$), მაშინ (10.28) განტოლებათა სისტემა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$230 + 2,4 P_{ეს-1} = 245 + 1,7 P_{ეს-3}$$

$$240 + 1,8 P_{ეს-2} = 245 + 1,7 P_{ეს-3}$$

$$3600 \cdot \lambda_{ეს-4} \cdot (1,35 + 0,0155 P_{ეს-4}) = 245 + 1,7 P_{ეს-3}$$

$$P_{ეს-1} + P_{ეს-2} + P_{ეს-3} + P_{ეს-4} = 548,93.$$

(10.30) გამოსახულების თანახმად ლაგრანჟის განუსაზღვრელი მამრავლი $\lambda_{ეს-4}$ -ის ნულოვანი მიახლოება

$$\lambda_{ეს-4}^{(0)} = \frac{245 + 1,7 \cdot 0,85 \cdot 300}{3600 \cdot (1,35 + 0,0155 \cdot 0,85 \cdot 100)} = 0,0707 \text{ კვ/მ}^3$$

შესაბამისად, გეაქვს შემდეგი განტოლებათა სისტემა

$$230 + 2,4 P_{ეს-1} = 245 + 1,7 P_{ეს-3}$$

$$240 + 1,8 P_{ეს-2} = 245 + 1,7 P_{ეს-3}$$

$$343,6 + 3,945 P_{ეს-4} = 245 + 1,7 P_{ეს-3}$$

$$P_{ეს-1} + P_{ეს-2} + P_{ეს-3} + P_{ეს-4} = 548,93.$$

ამ განტოლებათა სისტემის ამოხსნით ვღებულობთ:

$$P_{ეს-1} = 136,03, \quad P_{ეს-2} = 175,82, \quad P_{ეს-3} = 183,23 \text{ და } P_{ეს-4} = 53,96 \text{ მგეტ.}$$

როგორც ვხედავთ ეს-1 და ეს-2 სადგურებისთვის დაირღვა შეზღუდვის უტოლობა მარჯვნიდან. ამიტომ ვიღებთ $P_{ეს-1} = 120$ და $P_{ეს-2} = 160$ მგეტ და გეექნება ორუცნობიანი განტოლებათა სისტემა:

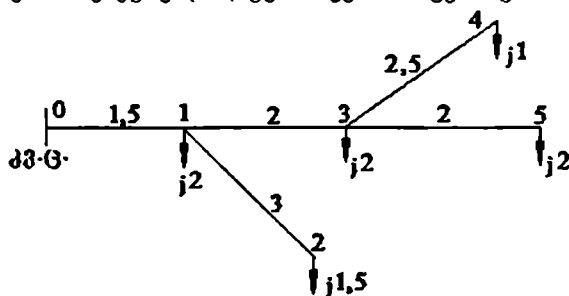
$$343,6 + 3,945 P_{ეს-4} = 245 + 1,7 P_{ეს-3}$$

$$P_{ეს-3} + P_{ეს-4} = 268,93.$$

აქედან ვღებულობთ: $P_{ეს-3} = 205,41$ და $P_{ეს-4} = 63,52$ მგეტ.

მაგალითი 10.3. ამოვხსნათ რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა 10.11 ნახაზზე მოცემული 35 კვ ძაბვის მაგისტრა-

ლური ქსელისთვის. უბნების აქტიური წინააღობები მოცემულია ომებში, ხოლო კვანძების რეაქტიული დატვირთვები – მგვარ-ებში.



ნახ.10.11.

ერთეულოვანი დენის მეთოდით განვსაზღვროთ კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინააღობები. გამოთვლების შედეგები წარმოვადგინოთ 10.1 ცხრილში.

ცხრ.10.1. კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინააღობები.

კვანძი	1	2	3	4	5
1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
2	1,5	4,5	1,5	1,5	1,5
3	1,5	1,5	3,5	3,5	3,5
4	1,5	1,5	3,5	6,0	3,5
5	1,5	1,5	3,5	3,5	5,5

დავუშვათ, რომ მოცემული ქსელისთვის $A = -2 \cdot 10^{-2}$ გამოსახულება 10.43). მაშინ $A \cdot U_{\phi}/2 = 12,25$ და (10,42)-ის მეორე განტოლების თანახმად გვაქვს შემდეგი სახის განტოლებათა სისტემა:

$$1,5(-2+Q_{j1})+1,5(-1,5+Q_{j2})+1,5(-2+Q_{j3})+1,5(-1+Q_{j4})+1,5(-2+Q_{j5})=-12,25$$

$$1,5(-2+Q_{j1})+4,5(-1,5+Q_{j2})+1,5(-2+Q_{j3})+1,5(-1+Q_{j4})+1,5(-2+Q_{j5})=-12,25$$

$$1,5(-2+Q_{j1})+1,5(-1,5+Q_{j2})+3,5(-2+Q_{j3})+3,5(-1+Q_{j4})+3,5(-2+Q_{j5})=-12,25$$

$$1,5(-2+Q_{j1})+1,5(-1,5+Q_{j2})+3,5(-2+Q_{j3})+6(-1+Q_{j4})+3,5(-2+Q_{j5})=-12,25$$

$$1,5(-2+Q_{j1})+1,5(-1,5+Q_{j2})+3,5(-2+Q_{j3})+3,5(-1+Q_{j4})+5,5(-2+Q_{j5})=-12,25$$

ანუ, გამარტივების შემდეგ ვღებულობთ:

$$1,5Q_{j,1}+1,5Q_{j,2}+1,5Q_{j,3}+1,5Q_{j,4}+1,5Q_{j,5}=0,5$$

$$1,5Q_{j,1}+4,5Q_{j,2}+1,5Q_{j,3}+1,5Q_{j,4}+1,5Q_{j,5}=5$$

$$1,5Q_{j,1}+1,5Q_{j,2}+3,5Q_{j,3}+3,5Q_{j,4}+3,5Q_{j,5}=10,5$$

$$1,5Q_{j,1}+1,5Q_{j,2}+3,5Q_{j,3}+6Q_{j,4}+3,5Q_{j,5}=13$$

$$1,5Q_{j,1}+1,5Q_{j,2}+3,5Q_{j,3}+3,5Q_{j,4}+5,5Q_{j,5}=14,5.$$

განტოლებათა ამ სისტემის ამოხსნით ვღებულობთ:

$$Q_{j,1}=-6,17; \quad Q_{j,2}=1,5; \quad Q_{j,3}=2; \quad Q_{j,4}=1; \quad Q_{j,5}=2.$$

მივიღეთ, რომ $Q_{j,1}<0$. აქედან გამოვძინარე, ვიღებთ $Q_{j,1}=0$ და დარჩება 4-განტოლებიანი სისტემა

$$4,5Q_{j,2}+1,5Q_{j,3}+1,5Q_{j,4}+1,5Q_{j,5}=5$$

$$1,5Q_{j,2}+3,5Q_{j,3}+3,5Q_{j,4}+3,5Q_{j,5}=10,5$$

$$1,5Q_{j,2}+3,5Q_{j,3}+6Q_{j,4}+3,5Q_{j,5}=13$$

$$1,5Q_{j,2}+3,5Q_{j,3}+3,5Q_{j,4}+5,5Q_{j,5}=14,5.$$

ამ სისტემის ამოხსნით ვღებულობთ: $Q_{j,2}=0,13$; $Q_{j,3}=0,06$; $Q_{j,4}=1$; $Q_{j,5}=2$. რადგანაც $Q_{j,3}<0$, ვიღებთ $Q_{j,3}=0$ და გვაქვს 3-უცნობიანი განტოლებათა სისტემა:

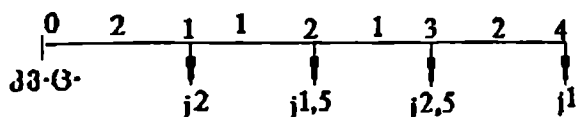
$$4,5Q_{j,2}+1,5Q_{j,4}+1,5Q_{j,5}=5$$

$$1,5Q_{j,2}+6Q_{j,4}+3,5Q_{j,5}=13$$

$$1,5Q_{j,2}+3,5Q_{j,4}+5,5Q_{j,5}=14,5.$$

აქედან: $Q_{j,2}=0,125$; $Q_{j,4}=0,982$; $Q_{j,5}=1,978$ მგეარ-

მაგალითი 10.4. ამოვხსნათ რეაქტიული დაგვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა 10.12 ნახაზზე ნაჩვენები 35 კვ ძაბვის მაგისტრალური ქსელისთვის. უბნების აქტიური წინაღობები მოცემულია ომებში, ხოლო კევანძების რეაქტიული დაგვირთვები - მგეარ-ებში.



ნახ. 10.12

ამოხსნა. მივიღოთ, რომ $A=-2 \cdot 10^{-2}$ გამოსახულება 10.43). მაშინ $A \cdot U_0/2=12,25$.

ქსელის თითოეული კევანძისთვის შევაყვასოთ (10.44) უგოლობა:

$$1 = 1 \quad 2 \cdot 2 - 12,25 = -8,25 < 0 \Rightarrow Q_{j,1} = 0;$$

$$1 = 2 \quad 2 \cdot 2 + 3 \cdot 1,5 - 12,25 = -3,75 < 0 \Rightarrow Q_{j,2} = 0;$$

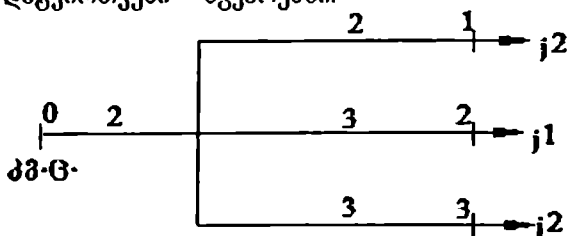
$$i=3 \quad 2 \cdot 2 + 3 \cdot 1,5 + 4 \cdot 2,5 - 12,25 = 6,25 > 0 \Rightarrow Q_{j3} > 0.$$

გამოვიყენოთ Q_{j3} (გამოსახულება (10,46))

$$Q_{j3} = \frac{1}{\sum_{k=1}^3 R_k} \left(\sum_{j=1}^3 Q_j R'_j + \frac{aU_G^2}{2} \right) = \frac{1}{4} (2 \cdot 2 + 3 \cdot 1,5 + 4 \cdot 2,5 - 12,25) = 1,563 \text{ მგვარ.}$$

შესაბამისად, $Q_{j4} = Q_4 = 1$ მგვარ.

მაგალითი 10.5. ამოვსნათ რეაქტიული დაგვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა 10.13 სახაზზე ნაჩვენები რადიალური ქსელისთვის. უბანთა აქტიური წინაღობები მოცემულია ომებში, კვანძების რეაქტიული დაგვირვითები – მგვარებში.



ნახ. 10.13

(10,47) გამოსახულების თანახმად გვაქვს განტოლებათა სისტემა

$$i=1 \quad 2(Q_{j1} + Q_{j2} + Q_{j3}) + 2 \cdot Q_{j1} = 2 \cdot 5 + 2 \cdot 2 - 12,25;$$

$$i=2 \quad 2(Q_{j1} + Q_{j2} + Q_{j3}) + 3 \cdot Q_{j2} = 2 \cdot 5 + 3 \cdot 1 - 12,25;$$

$$i=3 \quad 2(Q_{j1} + Q_{j2} + Q_{j3}) + 3 \cdot Q_{j3} = 2 \cdot 5 + 3 \cdot 2 - 12,25.$$

ანუ გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} 4Q_{j1} + 2Q_{j2} + 2Q_{j3} &= 1,75 \\ 2Q_{j1} + 5Q_{j2} + 2Q_{j3} &= 0,75 \\ 2Q_{j1} + 2Q_{j2} + 5Q_{j3} &= 3,75 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} Q_{j1} &= 0,5 \\ Q_{j2} &= -0,225 \\ Q_{j3} &= 0,775 \end{aligned}$$

როგორც ვხედავთ მე-2 კვანძში რეაქტიული დაგვირთვის კომპენსაცია ეკონომიკურად არა მიზანშეწონილია. ამიტომ ვღებულობთ $Q_{j2}=0$ და (10,47) სახის განტოლებათა სისტემა ჩაიწერება მხოლოდ „1“ და „3“ კვანძებისთვის

$$\left. \begin{aligned} i=1 \quad 4Q_{j1} + 2Q_{j3} &= 1,75 \\ i=3 \quad 2Q_{j1} + 5Q_{j3} &= 3,75 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} Q_{j1} &= 0,078 \text{ მგვარ,} \\ Q_{j3} &= 0,719 \text{ მგვარ.} \end{aligned} \right\}$$

დანართები

ცხრილი დ-1. AC მარკის სადენტა კონსტრუქციული და საანგარიშო პარამეტრები

ნომინალური განიკეთი	საანგარიშო ნაგებობის ქვეთი შეფ.		სადენტის დიამეტრი, მმ	გამწვევი ძალა, კე	სადენტის მასა, კგ/კმ	დრეკადობის მოუღივლი, 10 ³ მ/მმ	წაგრძელების ტემპერატურა, რელი კოეფიციენტი, 10 ⁻³
	ბუნ. მინი	ფუ. მ/მ					
50/8	48.2	8.04	9.6	16.32	194	82.5	19.20
70/11	68.0	11.3	11.4	22.98	274	82.5	19.20
70/72	68.4	72.2	15.4	93.25	755	133.26	14.54
95/16	95.4	15.9	13.5	31.85	384	82.5	19.20
95/141	91.2	141	19.8	174.82	1357	146.03	14.10
120/19	118	18.8	15.2	40.64	471	81.82	19.30
120/27	116	26.6	15.5	48.85	528	88.56	18.40
150/19	148	18.8	16.8	45.00	554	78.45	19.84
150/24	149	24.2	17.1	51.08	600	82.13	19.27
150/34	147	34.3	17.5	60.86	675	88.9	18.34
185/24	187	24.2	18.9	57.35	705	78.68	19.81
185/29	181	29.0	18.8	60.81	728	81.92	19.27
185/43	185	43.1	19.6	75.52	846	88.9	18.34
185/128	187	128	23.1	176.48	1525	118.69	15.47
240/32	244	31.7	21.6	74.09	921	78.76	19.80
240/39	236	38.6	21.6	80.13	952	82.27	19.28
240/56	241	56.3	22.4	97.78	1106	88.50	18.34
300/39	301	38.6	24.0	89.35	1132	78.47	19.81
300/48	295	47.8	24.1	99.69	1186	82.13	19.27
300/66	288	65.8	24.5	121.91	1313	88.46	18.38
300/204	298	204	29.2	273.98	2428	118.69	15.47
330/27	325	26.6	24.4	84.37	1106	73.36	20.74
330/43	332	43.1	25.2	100.78	1255	78.76	19.80
400/22	394	22.0	26.6	89.10	1261	70.21	21.36
400/51	394	51.1	27.5	117.66	1490	78.76	19.80
400/64	390	63.5	27.7	127.83	1572	82.19	19.28
400/93	406	93.2	29.1	167.67	1851	88.56	18.40
450/56	434	56.3	28.8	129.62	1640	78.66	19.80
500/27	481	26.6	29.4	108.49	1537	70.21	21.36
500/64	490	63.5	30.6	146.28	1852	78.72	19.80
500/336	490	336	37.5	451.12	4005	118.69	15.47
550/71	549	71.2	32.4	163.95	2076	78.66	19.80
600/72	580	72.2	33.2	177.32	2170	78.17	19.89

**ცხრილი დ-1,ა. ACCC მარკის სადენტო კონსტრუქციული და
საანგარიშო პარამეტრები**

ნომინალური განიკვეთი	საანგარიშო ნაწილი ქვეთი გვერდი		სადენტო დიამეტრი, მმ	გამწვევითი ძალა, კე	სადენტის მასა, კგ/მ	დრეკადობის მოდული, 10 ⁶ ნმ/მ	წაგრძელების ტემპერატურა 10 ⁶ °C
	პლასტიკური მინი	ფორმული					
160	153,7	28,0	15,65	69,1	479,7	112,3	17,3
230	223,0	28,0	18,29	73,0	669,7	112,3	18,7
235	226,3	39,7	18,82	98,4	702,4	112,3	17,5
245	239,8	47,2	19,53	115,3	750,3	112,3	17,0
285	276,8	39,7	20,5	101,3	842,7	112,3	18,3
325	318,7	39,7	21,78	103,6	956,6	112,3	18,8
325	317,7	60,3	22,4	147,9	991,6	116	17,0
380	371,3	47,2	23,55	122,7	1113,0	112,3	18,7
430	425,3	51,9	25,14	136,0	1275,3	112,3	18,8
470	467,2	60,3	26,4	156,6	1405,5	116	18,5
470	460,8	60,3	26,4	156,0	1387,3	116	18,4
530	514,6	60,3	27,72	159,0	1538,8	116	18,8
540	528,7	71,3	28,15	183,7	1594,8	112,3	18,5
570	553,5	60,3	28,62	161,2	1646,4	116	19,1
590	574,7	60,3	29,1	162,4	1705,1	116	19,2
610	599,5	71,3	29,89	187,7	1793,0	112,3	18,9
650	636,2	60,3	30,42	165,9	1871,7	116	19,5
690	675,2	71,3	31,5	191,9	2002,6	112,3	19,3
710	697,7	60,3	31,77	169,3	2049,8	116	19,7
760	740,2	71,3	32,85	195,6	2189,1	112,3	19,6
780	766	75,1	33,4	205,2	2267,3	112,3	19,5
840	820,7	60,3	34,17	176,2	2385,4	116	20,2
970	951,9	75,1	36,85	215,7	2778,9	112,3	20,1
1050	1023,6	75,1	38,2	219,7	2976,4	112,3	20,3
1050	1015,5	87,25	38,2	245,4	2973,7	112,3	19,9
1470	1423	87,3	44,75	268,3	4102,2	112,3	20,7

**ცხრილი დ-2. 35-110 კვ ძაბვის საჰაერო ხაზების
საანგარიშო ელექტრული პარამეტრები**

სადენის მარკა	სა.ომი/კმ +20 °C ტემპერატურაზე	ხაზის ნომინალური ძაბვა, კვ			
		35		110	
		α ₀ , ომი/კმ	β ₀ × 10 ⁻⁶ , სიმი/კმ	α ₀ , ომი/კმ	β ₀ × 10 ⁻⁶ , სიმი/კმ
AC-35/6,2	0,79	0,438	-	-	-
AC-50/8,0	0,603	0,427	-	-	-
AC-70/11	0,428	0,417	2,73	0,433	2,62
AC-95/16	0,306	0,405	2,81	0,422	2,69
AC-120/19	0,249	0,400	2,85	0,416	2,74
AC-150/24	0,198	0,398	2,90	0,409	2,79
AC-185/24	0,162	0,386	2,96	0,402	2,84
AC-240/39	0,120	0,378	3,02	0,394	2,89

**ცხრილი დ-3. 220-500 კვ ძაბვის საჰაერო ხაზების საანგარიშო
ელექტრული პარამეტრები**

სადენის მარკა	სადენების რაოდენობა ფაზაში	α ₀ , ომი/კმ +20 °C ტემპერატურაზე	ხაზის ნომინალური ძაბვა, კვ					
			220		330		500	
			α ₀ , ომი/კმ	β ₀ × 10 ⁻⁶ , სიმი/კმ	α ₀ , ომი/კმ	β ₀ × 10 ⁻⁶ , სიმი/კმ	α ₀ , ომი/კმ	β ₀ × 10 ⁻⁶ , სიმი/კმ
AC-240/32	1	0,121	0,435	2,60	-	-	-	-
	2	0,060	-	-	0,331	3,38	-	-
AC-300/39	1	0,098	0,429	2,64	-	-	-	-
	2	0,048	-	-	0,328	3,41	-	-
AC-300/66	3	0,034	-	-	-	-	0,310	3,97
AC-330/43	3	0,029	-	-	-	-	0,308	3,60
AC-400/51	1	0,075	0,420	2,70	-	-	-	-
	2	0,038	-	-	-	3,46	-	-
AC-500/64	3	0,025	-	-	-	-	0,306	3,62
	1	0,060	0,413	2,74	-	-	-	-
	2	0,030	-	-	0,320	3,50	-	-
	3	0,020	-	-	-	-	0,304	3,64

ცხრილი №4. სამუშაო კაბელების საანგარიშო ელექტრული პარამეტრები

დენგამტარი ნაწილის ნომინალურ განიკვეთი, მმ ²	აქტიური წინაღობა: +20°C ტემპერატურაზე რაზმ, ომი/კმ		რეაქტიული წინაღობა, ომი/კმ					ტევადური გამტარობა, 10 ⁻⁶ სიმი/კმ			
	აღწ მინი	სპი ლენი	კაბელის ნომინალური ძაბვა, კვ								
			1	6	10	20	35	6	10	20	35
4	7,74	4,6	0,095	--	—	—	—	—	—	—	—
6	5,17	3,07	0,090	—	—	—	—	—	—	—	—
10	3,10	1,84	0,073	0,11	0,122	—	—	62,8	—	—	—
16	1,94	1,15	0,0675	0,102	0,113	—	—	72,2	—	—	—
25	1,24	0,74	0,0662	0,091	0,099	0,135	—	88,0	72,2	53,5	—
35	0,89	0,52	0,0637	0,087	0,095	0,129	—	97,2	85,0	60,0	—
50	0,62	0,37	0,0625	0,083	0,090	0,119	—	114	91,0	66,0	—
70	0,443	0,26	0,0612	0,080	0,086	0,116	0,137	127	97,5	75,5	56,6
95	0,326	0,194	0,0602	0,078	0,083	0,110	0,126	134	110	81,5	63,0
120	0,258	0,153	0,0599	0,076	0,081	0,107	0,120	146	116	100	75,5
150	0,206	0,122	0,0596	0,074	0,079	0,104	0,116	162	138	110	81,5
185	0,167	0,099	0,0591	0,073	0,077	0,101	0,113	169	141	119	88,0
240	0,129	0,077	0,0587	0,071	0,075	—	—	185	144	132	97,3

ცხრილი დ-5.1 35 კვ ძაბვის სამუშაო ორგანიზება ტრანსფორმატორები

ტრანსფორმატორის ტიპი	ნომინალური სიმძლავრე S _ნ , კვტ	ძაბვის რეგულირების საზღვრები ±n x α%	გაბეზრებული მონაცემები				საანგარიშო მონაცემები		
			ტრანზილთა		S _გ , კვ	ΔP _გ , კვტ	ΔP _ტ , კვტ	I _ტ , %	R _ტ , ომი
			მ.გ.	დ.გ.					
TMH-1000/35	1,0	6x1,5	35	6,3;11	6,5	16,5	3,6	1,4	7,9
TMH-1000/35	1,0	2x2,5	35	6,3;11	6,5	18	3,6	1,4	8,6
TMH-1600/35	1,6	6x1,5	35	6,3;11	6,5	23,5	5,1	1,1	11,2
TMH-1600/35	1,6	2x2,5	35	6,3;11	6,5	26	5,1	1,1	12,4
TMH-2500/35	2,5	6x1,5	35	6,3;11	6,5	23,5	5,1	1,1	4,6
TMH-2500/35	2,5	2x2,5	35	6,3;11	6,5	26	5,1	1,1	5,1
TMH-4000/35	4,0	6x1,5	35	6,3;11	7,5	33,5	6,7	1,0	2,6
TMH-4000/35	4,0	2x2,5	35	6,3;11	7,5	33,5	6,7	1,0	2,6
TMH-6300/35	6,3	6x1,5	35	6,3;11	7,5	46,5	9,2	0,9	1,4
TMH-6300/35	6,3	2x2,5	35	6,3;11	7,5	46,5	9,2	0,9	1,4
TD-10000/35	10,0	2x2,5	36,5	6,3;10,5	7,5	65	14,5	0,8	0,96
TMH-10000/35	10,0	9x1,3	36,75	6,3;10,5	7,5	65	14,5	0,8	0,98
TD-16000/35	16	2x2,5	38,5	6,3;10,5	8,0	90	21,0	0,6	0,52
TPDHC-16000/35	16	8x1,5	36,75	6,3	10,0	85	18,0	0,55	0,45
TPDHC-25000/35	25	8x1,5	36,75	6,3;10,5	9,5	115	25,0	0,5	0,25
TPDHC-32000/35	32	8x1,5	36,75	6,3;10,5	11,5	145	30,0	0,45	0,19
TPDHC-40000/35	40	8x1,5	36,75	6,3;10,5	11,5	170	36,0	0,4	0,14
TPDHC-63000/35	63	8x1,5	36,75	6,3;10,5	11,5	250	50,0	0,3	0,1
									2,5
									22,4
									22,4
									17,6
									17,6
									27,5
									27,5
									40,0
									40,0
									56,7
									56,7
									80
									80
									96
									88
									125
									144
									160
									220

ცხრილი №-52 110 და 220 კვ ძაბვის სამუშაო ღირებულება ტრანსფორმატორები

ტრანსფორმატორის ტიპი	ნომინალური სიმძლავრე S _ნ მვტა	ძაბვის რეგულირების საზღვრები ±n x α %	კატალოგური მონაცემები						საანგარიშო მონაცემები		
			ბრუნვის ხანგრძლივობა		U _{გვ.} %	ΔP _{გვ.} კვტ	I _{კვ.} %	R _{ტ.} ომი	X _{ტ.} ომი	ΔQ _{გვ.} კვტა	
			მგ.	დ.მ.							
TMH-2500/110	2,5	±10x1,5	110	6,6,11	10,5	22	5,5	1,5	42,6	508,2	37,5
TMH-6300/110	6,3	±9x1,78	115	6,6,11	10,5	44	11,5	0,8	14,7	220,4	50,4
TDH-10000/110	10	±9x1,78	115	6,6,11	10,5	60	14	0,7	7,95	139	70
TDH-16000/110	16	±9x1,78	115	6,6,11	10,5	85	19	0,7	4,38	86,7	112
TPDH-25000/110	25	±9x1,78	115	6,3,10,5	10,5	120	27	0,7	2,54	55,9	175
TD-40000/110	40	±2x2,5	121	6,3,10,5	10,5	160	50	0,95	1,46	38,4	260
TPDH-40000/110	40	±9x1,78	115	6,3,10,5	10,5	172	36	0,65	1,4	34,7	260
TPDLH-63000/110	63	±9x1,78	115	6,3,10,5	10,5	160	59	0,6	0,87	22	410
TDL-80000/110	80	±2x2,5	121	6,3,10,5	10,5	310	70	0,6	0,71	19,2	480
TPDLH-80000/110	80	±9x1,78	115	6,3,10,5	10,5	310	70	0,6	0,6	17,4	480
TDL-125000/110	125	±2x2,5	121	10,5,13,8	10,5	400	120	0,55	0,37	12,3	687,5
TPDLH-125000/110	125	±9x1,78	115	10,5	10,5	400	100	0,55	0,4	11,1	687,5
TPDH-32000/220	32	±8x1,5	230	6,6	12	167	53	0,9	8,66	198,5	288
TPDH-40000/220	40	±8x1,5	230	6,6,11	12	170	50	0,9	5,6	158,7	360
TPDLH-63000/220	63	±8x1,5	230	6,6,11	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504
TDL-80000/220	80	±2x2,5	242	6,3,10,5	11	320	105	0,6	2,9	80,5	480
TPDLH-100000/220	100	±8x1,5	230	11,38,5	12	360	115	0,7	1,9	63,5	700
TDL-125000/220	125	±2x2,5	242	10,5,13,8	11	380	135	0,5	1,4	51,5	625
TPDLH-160000/220	160	±8x1,5	230	11,38,5	12	525	167	0,6	1,08	39,7	960
TDL-200000/220	200	±2x2,5	242	13,8,18	11	580	200	0,45	0,77	32,2	1125

ტახტილი დ-61 110 და 220 კმ ძაბვის სამფაზა სამტრედიისა და ტრანსფორმატორები

ტრანსფორმატორის ტიპი	მ. ვ. მ. კ. მ. ლ.	ტრანსფორმაციის საზღვრები ±0 x α %	კატალოგური მონაცემები											
			ტრანსფორმაციის ნომინალური სიმძლავრე, %											
			მ	ნ	დ	მ	ნ	დ	მ	ნ	დ	მ	ნ	დ
TMTH-6300/35	6,3	±8x1,5	35	10,5	6,6	100	100	100	100	100	100	7,5	7,5	16,5
TMTH-10000/35	10	±8x1,5	36,75	10,5	6,6	100	100	100	100	100	100	8,0	16,5	7,2
TMTH-16000/35	16	±8x1,5	36,75	13,8	6,6	100	100	100	100	100	100	8,0	17	7,5
TDTH-10000/110	10	±9x1,78	115	38,5	11	100	100	100	100	100	100	10,5	17,8	6,0
TDTH-16000/110	16	±9x1,78	115	38,5	11	100	100	100	100	100	100	10,5	17	6,0
TDTH-25000/110	25	±9x1,78	115	38,5	11	100	100	100	100	100	100	10,5	17	6,0
TDTH-40000/110	40	±9x1,78	115	38,5	11	100	100	100	100	100	100	10,5	17	6,0
TDTH-63000/110	63	±9x1,78	115	38,5	11	100	100	100	100	100	100	10,5	17	6,0
TDLTH-80000/110	80	±9x1,78	230	38,5	11	100	100	100	100	100	100	12,5	20	6,5
TDTH-25000/220	25	±8x1,5	230	38,5	11	100	100	100	100	100	100	12,5	22	9,5
TDTH-40000/220	40	±8x1,5	230	38,5	11	100	100	100	100	100	100	12,5	22	9,5
TDLTH-63000/220	63	±8x1,5	230	38,5	11	100	100	100	100	100	100	12,5	24	10,5

ცხრილი დ-61 (გაგრძელება)

ტრანსფორმატორის ტიპი	კატალოგური მონაცემები		საანტარიშო მონაცემები							
	ΔP ვ კვტ	I კ.ს. %	ΔP კ.ს. კვტ	R კ.ს.			X კ.ს.			ΔQ კ.ს. კვტ
				ფ	ს	დ	ფ	ს	დ	
TMTH-6300/35	55	0,85	12	0,94	0,94	0,94	0	17	17,8	53,5
TMTH-10000/35	75	0,85	18	0,51	0,51	0,51	11,7	0	10,6	85
TMTH-16000/35	115	0,65	23	0,3	0,3	0,3	7,5	0	7,0	104
TDTH-10000/10	60	1,10	19	5,3	5,3	5,3	142	0	82	110
TDTH-16000/10	80	1,09	26	2,7	2,7	2,7	88	0	52	168
TDTH-25000/10	140	0,7	31	1,5	1,5	1,5	54	0	33	175
TDTH-40000/10	230	0,90	50	0,95	0,95	0,95	35,4	0	20,6	360
TDTH-63000/10	310	0,85	70	0,52	0,52	0,52	22,6	0	13,1	536
TDLTH-80000/110	390	0,80	80	0,4	0,4	0,4	17,7	0	10,3	640
TDTH- 25000/220	135	1,2	50	5,72	5,72	5,72	276	0	148	300
TDTH-40000/220	240	1,1	66	3,97	3,97	3,97	165	0	126	440
TDLTH-63000/220	320	1,0	91	2,13	2,13	2,13	109	0	92,5	630

**ცხრილი დ-7.1 არაიზოლირებული სადენებისთვის
გახურებაზე დასაშვები დენი, ამპერი**

ხაილენი ხ სადენი		აგლუმინი ხ სადენი		ფოლად-აგლუმინის სადენი	
სადენის მატკა	დასაშვები დენი	სადენის მატკა	დასაშვები დენი	სადენის მატკა	დასაშვები დენი
M-6	70	A-16	105	AC-35/6,2	175
M-10	95	A-24	135	AC-50/8	210
M-16	130	A-35	170	AC-70/11	265
M-25	180	A-50	215	AC-95/16	330
M-35	220	A-70	265	AC-120/19	380
M-50	270	A-95	320	AC-150/24	445
M-70	340	A-120	375	AC-185/29	510
M-95	415	A-150	440	AC-240/39	610
M-120	485	A-185	500	AC-300/48	690
M-150	570	A-240	590	AC-330/27	730
M-185	640			AC-400/51	825
				AC-500/64	945

ცხრილი დ-7.2 მიწაში გაყვანილი 1-10 კე ძაბვის კაბლებისთვის
გახურებაზე ხანგრძლივად დასაშვები დენი
(მიწის ტემპერატურა $+15^{\circ}\text{C}$), ამპერი

ცხრილი დ-7.3 1-10 კე ძაბვის ღია სივრცეში გაკიდებული კაბლებისთვის
გახურებაზე ხანგრძლივად დასაშვები დენი (პაერის ტემპერატურა $+25^{\circ}\text{C}$),
ამპერი

კაბლის ფაქტობრივი საძირის განიგელო, მმ ²	ხანგრძლივად დასაშვები დენი, ა							
	სამზადენიანი კაბელი						ოთხსადენი- ნი კაბელი 1 კე	
	3კე		6კე		10კე			
	სადენი	აგლუნი	სადენი	აგლუნი	სადენი	აგლუნი	სადენი	აგლუნი
2,5	40	21	-	-	-	-	50	38
4	55	32	-	-	-	-	60	46
6	70	55	-	-	-	-	85	65
10	95	75	80	60	-	-	115	90
16	120	90	105	80	95	75	150	115
25	160	125	135	105	120	90	175	135
35	190	145	160	125	150	115	215	165
50	235	180	200	155	180	140	265	200
70	285	220	245	190	215	165	310	240
95	340	260	295	225	265	205	350	270
120	390	300	340	260	310	240	395	305
150	435	335	390	300	355	275	450	345
185	490	380	440	340	400	310	-	-
240	570	440	510	390	460	355	-	-
დასაშვები ტემპერატურა	$+80^{\circ}\text{C}$		$+65^{\circ}\text{C}$		$+60^{\circ}\text{C}$		$+80^{\circ}\text{C}$	

ცხრილი დ-7.4 20 და 35 კე ქაბეის სამუაზა კაბელებისთეის გახურებაზე
ხანგრძლივად დასაშეები დენი, ამპერი

კაბელის განიკვეთი, მმ ²	20 კე				35 კე			
	მიწაში გაყვანილი t=+15 °C		ღია სივრცეში გაყიდებული t=+25 °C		მიწაში გაყვანილი t=+15 °C		ღია სივრცეში გაყიდებული t=+25 °C	
	სპილენძი	ალუმინი	სპილენძი	ალუმინი	სპილენძი	ალუმინი	სპილენძი	ალუმინი
25	110	85	85	65	-	-		-
35	135	105	100	75				
50	165	125	120	90				
70	200	155	150	115	195	150	145	110
95	240	185	180	140	235	180	180	140
120	275	210	205	160	270	210	205	160
150	315	240	230	175	310	240	230	175
185	355	275	265	205				

შენიშვნა: ცხრილში ნაჩვენები ხანგრძლივად დასაშეები დენური
დატვირთვები შეესაბამება კაბელის გახურების ტემპერატურას +50 °C

ცხრილი დ-8. სადენებისა და კაბელებისთვის გასურებაზე ხანგრძლივად დასაშვები ღენის შემასწორებელი კოეფიციენტები გარემოს სხვადასხვა ტემპერატურისას

გარემოს ზღვრული ნორმირებული ტემპერატურა, °C	დენგამტარი ნაწილის ნორმირებული ტემპერატურა, °C	გარემოს ტემპერატურა, °C											
		-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25		1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25		1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	70	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25		1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,05	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,62
15		1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,35	1,31	1,25	1,20	1,12	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15		1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25		1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	—
25		1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	—

ცხრილი დ-9 მიწაში ერთმანეთის გვერდით განლაგებული კაბელებისთვის გასურებაზე დასაშვები ღენის შემასწორებელი კოეფიციენტები

კაბელებს შორის მანძილი, მმ	კაბელების საერთო რაოდენობა					
	1	2	3	4	5	6
100	1	0,9	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

ცხრ.დ.10. ქსელის ელემენტების ავარიულ ამორთვათა საშუალო სიხშირე და ავარიული და გეგმიური რემონტების ხანგრძლივობა

ქსელის ელემენტის დასახელება	ნომინალური ძაბვა, კვ	ავარიული დაზიანების საშუალო სიხშირე ერთ ობიექტზე ან ხაზის 1 კმ სიგრძეზე, ა წელი (1/კმ.წელი)	ავარიული დგომის (მოცდენის) საშუალო ხანგრძლივობა ერთ ამორთვაზე, ზა სთ/ამორთვაზე	გეგმიური რემონტის საშუალო ხანგრძლივობა, ზა/წ. სთ/რემონტზე
ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები	500	0,03	150	60
	330	0,03	120	40
	220	0,025	90	30
	110	0,02	60	20
	35	0,02	50	15
	6-10	0,005	2	7,5
მინაერთი ღია მანაწილებელ მოწყობილობაზე	500	0,06	240	100
	330	0,05	150	80
	220	0,04	100	50
	110	0,03	40	20
	35	0,02	25	10
	6-10	0,005	2	5
საძაყრო ხაზები ლითონისა და რკინაბეტონის საყრდენებზე	500	0,006	15	120
	330	0,007	11,5	100
	220	0,008	10	85
	110	0,01	8	70
	35	0,006	11	50
	6-10	0,25	11,5	70
საკაბელო ხაზები	3-10	0,002	4,5	-

ლიტერატურა

1. Автоматизация управления энергообъединениями. Под ред. С. А. Совалова, М., Энергия, 1979, 416 с.
2. Александров Г. Н. Воздушные линии электропередачи повышенной пропускной способности, «Электричество», 1981, №7.
3. Александров Г. Н. Коронный разряд на линиях электропередачи, М.-Л. Энергия, 1964, 228 с.
4. Анисимова Н. Д. и др. Расчеты и анализ режимов работы сетей. Под ред. В. А. Веникова, М. Энергия, 1974. 336 с.
5. Баринов В. А., Совалов С. А. Режимы энергосистем: Методы анализа и управления, М. Энергоатомиздат, 1990, 440 с.
6. Бернас С., Цёк З. Математические модели Элементов электроэнергетических систем. М., Энергоатомиздат, 1982, 312 с.
7. Блок В. М. Электрические сети и системы, М., Высшая школа, 1986, 430 с.
8. Богданов В. А. Веников В. А. и др. Электрические системы. Автоматизированные системы управления режимами энергосистем. М., Высшая школа, 1979, 448 с.
9. Боровиков В. А., Косарев В. К., Ходот Г. А. Электрические сети энергетических систем. Л., Энергия, 1977, 391 с.
10. Брацлавской С. Х., Генценгорн А. И., Лосев С. Б. Специальные расчеты электропередач сверхвысокого напряжения, М., Энергоатомиздат, 1985, 312 с.
11. Веников В. А., Глазунов А. А., Жуков Л. С., Солдаткина Л. А. Электрические системы, т.2. Электрические сети. Под ред. В. А. Веникова. В., Высшая школа, 1971, 440 с.
12. Веников В. А. Дальние электропередачи. М., 1960, 311 с.
13. Веников В. А., Журавлов В. Г., Филиппова Т. А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. М., Энергоатомиздат, 1981, 464 с.
14. Веников В. А., Рижов Ю. П. Дальние электропередачи переменного и постоянного тока. М., Энергоатомиздат, 1985.
15. Веников В. А., Худяков В. В., Анисимова Н. Д. Электрические системы, т.3. Передача энергии переменным и постоянным током высокого напряжения. Под ред. В. А. Веникова. М., Высшая школа, 1972, 368 с.
16. Глазунов А. А., Глазунов А. А. Электрические сети и системы, М.-Л., ГЭИ, 1960, 368 с.
17. Грудинский П. Г. О потерях энергии и затратах цветного металла в энергосистемах, «Электричество», 1946, №6.

18. Димо П. Модели РЕИ и параметры режима. Перевод с румынского, М., Энергоатомиздат, 1987, 390 с.
19. Жуков Л. А., Страган И. П. Установившейся режимы сложных электрических сетей и систем. Методы расчета, М., Энергия, 1979, 416 с.
20. Идельчик В. И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. М., Энергоатомиздат, 1988, 288 с.
21. Идельчик В. И. Расчеты установившихся режимов электрических систем. Под ред. В. А. Веникова. М., Энергия, 1977, 192 с.
22. Идельчик В. И. Электрические системы и сети, М., Энергоатомиздат, 1989, 592 с.
23. Казанцев В. Н. Методы расчета и пути снижения потерь энергии в электрических сетях. Свердловск, изд. УПИ, 1983, 89 с.
24. Кошев Л. А., Руденко Ю. Н. и др. Режимная управляемость систем энергетики. Новосибирск, наука, Сиб. Отделение, 1988, 234 с.
25. Литвак Л. В. Повышение коэффициента мощности на промышленных предприятиях, М., ГЭИ, 1957.
26. Маркович И. М. Режимы энергетических систем. М., «Энергия», 1969, 352 с.
27. მახარაძე გ., გოცირიძე მ. საპაერო ელექტროგადამცემის ხაზის მდგომარეობის განგოლების ამოხსნის შესახებ. თბ. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „ენერგია“, 3(19) 2001.
28. მახარაძე გ., ბაბუნაშვილი მ., ბეგიაშვილი ვ., დარჩია ბ. საპაერო ელექტროგადამცემის ხაზები. კონსტრუქციული შესრულება, მუშაობის რეჟიმები, ექსპლუატაცია-რემონტი. თბ. „უნივერსალი“, 2005, 234 გვ.
29. მახარაძე გ., ბაბუნაშვილი ბ., მეგრეელი ვ., თხელიძე თ. ძალოვანი ტრანსფორმატორები. კონსტრუქციული შესრულება, ექსპლუატაცია, რემონტი. „საქენერგო“, თბ. 2002, 192 გვ.
30. Махарадзе Г. Т., Буадзе В. В. К вопросу симметрирования параметров режима электрических сетей. Тезисы докладов XXIII республиканской научно-технической конференции ГПИ им. В. И. Ленина, 1981.
31. Махарадзе Г. Т., Буадзе В. В. Компенсация реактивной мощности в локальных электрических сетях, ელექტროენერგეტიკული პროცესები და დანადგარები, სამეცნიერო შრომები, № 11(367), თბ. 1990.
32. მახარაძე გ. ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია. თბ. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2005, 288 გვ.
33. მახარაძე გ. ელექტრული ქსელების დაპროექტება. თბ. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 1993, 48 გვ.

34. მახარაძე გ. ელექტროსისტემებში სიხშირის პირველადი რეგულირება სიმძლავრის ცხელი რეზონანსის დუფინგის პირობებში. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერგია“, 4 (32). 2004.
35. მახარაძე გ. ენერგიის გადაცემა და განაწილება. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბ. 1993. 66 გვ.
36. მახარაძე გ. კიკალიშვილი მ. ელექტრულ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ეკვივალენტების პრინციპით. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერგია“, 4(12). 1999.
37. მახარაძე გ., კიკალიშვილი მ. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია მაგისტრალურ და რადიალურ ელექტრულ ქსელებში. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერგია“ 4(16). 2000.
38. მახარაძე გ. ქურტიკიძე გ. ელექტრული ენერგიის გადაცემა და განაწილება, საკურსო და სადიპლომო გეგმარება. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბ. 2001, 66 გვ.
39. მახარაძე გ., კიკალიშვილი მ. რეგიონალ მანაწილებელ ქსელებში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის მათემატიკური მოდელი. სტუ-ს შრომები №2 (452), თბ. 2004.
40. მახარაძე გ., სულაძე მ., გოცირიძე მ. საპაერო ელექტროგადამცემის ხაზების მუშაობის მექანიკური და ელექტრული რეჟიმები. თბ. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2004, 314 გვ.
41. მახარაძე გ., მახარაძე მ., საპაერო ელექტროგადამცემის ხაზის ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევა, „ენერგია“, №4(68), 2013.
42. Мельников Н. А. Расчеты режимов сетей электрических систем. ГЭИ, 1950.
43. Мельников Н. А., Рокотян С. С., Шеренцис А. Н. Проектирование электрической части воздушных линий электропередачи 330-500 кв. М., Энергия, 1974. 472 с.
44. Мельников Н. А. Электрические сети и системы, М. Энергия 1975, 464 с.
45. Новые средства передачи электроэнергии в энергосистемах. Под. ред. Г. Н. Александрова, Л. Изд. Ленинградского Университета, 1987. 232 с.
46. Поспелов Г. Е., Сыч Н. Д. Потери мощности и энергии в электрических сетях. Под ред. Г. Е. Поспелова, М. Энергоатомиздат, 1981.
47. Поспелов Г. Е., Федин В. И. Энергетические системы, Минск, Высшаяшая шксла, 1974, 272 с.
48. Поспелов Г. Е., Федин В. И. Проектирование электрических сетей и систем, Высшаяшая школа, 1978, 302 с.

49. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. Под ред. В. Н. Казаньева. М. Энергоатомиздат, 1983.
50. Рабинович Р. С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. М., Энергоатомиздат, 1989, 352 с.
51. Рене Пелисье, Энергетические системы, Перевод с французского, Высшая школа, 1982, 568 с.
52. Розанов М. Н. Надежность электроэнергетических систем. М., Энергоатомиздат, 1984, 200 с.
53. Совалов С. А. Режимы электропередачи 400-500 кв, М. Энергия, 1980, 304 с.
54. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Под ред. С. С. Рокотьяна и И. М. Шапиро. М., Энергоатомиздат, 1985, 352 с.
55. საქართველოს ენერგეტიკული სტრატეგია. ავტორთა კოლექტივი დ. შირსულავას ხელმძღვანელობით. თბ. 2004, 298 გვ.
56. Технический прогресс энергетики СССР. Под ред. П. С. Непорожного, М., Энергоатомиздат, 1986, 224 с.
57. ქერდიანი ი., ქერტიკიძე გ. ელექტრული ქსელები და სისტემები. თბ. განათლება, 1972.
58. ჩოგვაძე გ., ჩიხლაძე ნ., ყიასაშვილი გ. საქართველოს ელექტროენერგეტიკის ისტორია, თბ. 1998, 634 გვ.
59. Холмский В. Т. Расчет и оптимизация режимов электрических систем. М., высшая школа, 1975, 280 с.
60. Экспериментальные исследования режимов энергосистем. Под ред., С. А. Совалова, М., Энергоатомиздат, 1985, 448 с.
61. Электрическая часть электростанций. Под ред. С. В. Усова Л. «Энергия», 1977, 566 с.
62. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики. Под ред., В. А. Веникова, М., Высшая школа, 1981, 288 с.
63. Электрические системы. Режимы работы электрических систем и сетей. Под ред. В. А. Веникова. М., Высшая школа 1975, 344 с.
64. Электрические системы. Электрические расчеты, программирование и оптимизация режимов. Под ред. В. А. Веникова. М., Высшая школа, 1973. 318 с.
65. Электротехнический справочник Т. 3 Кн. 1 Производство и распределение электрической энергии. Под общ. ред. Профессоров МЭИ, М., Энергоатомиздат. 1988, 880 с.

თავი 1. ენერგეტიკული სისტემები	3
1.1. შესავალი	3
1.2. ენერგეტიკული პროცესები ცელადი დენის წრედში	6
1.3. ელექტრული ენერგიის გადაცემის პრინციპული სქემა	12
1.4. ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვები და მათი გამოყენების ფარგლები	14
1.5. ელექტრული სისტემების რეჟიმები. მათდამი წაყენებული მოთხოვნები და გაანგარიშების ამოცანები	19
1.6. აქტიური სიმძლავრის ბალანსი და რეზერვი	22
1.7. რეაქტიული სიმძლავრის თავისებურებანი	25
1.8. ელექტროენერგიის მომხმარებლები და ელექტრული დატვირთვის გრაფიკები	27
1.9. ელექტრული ქსელის დანიშნულება, კლასიფიკაცია, აღნიშვნები, ტერმინოლოგია	33
1.10. ენერგისიტემის იერარქიულობა და დისპეტჩერული	
1.11. მართვა	39
თავი 2. ელექტრული ქსელების ძირითადი ელემენტები	42
2.1. ელექტროგადაცემის ხაზები. ზოგადი დახასიათება	42
2.2. საპაერო ხაზების სადენები	45
2.3. გვირგვინული განმუხტვები საპაერო ხაზებზე	50
2.4. სიმძლავრისა და ენერგიის დანაკარგები გვირგვინზე	56
2.5. საპაერო ელექტროგადაცემის ხაზების ელექტრული პარამეტრები	61
2.6. საკაბელო ხაზების ელექტრული პარამეტრები	70
2.7. ხაზების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე	70
2.8. ხაზის ნატურალური სიმძლავრე	72
2.9. ხაზის ჩანაცვლების სქემები	75
2.10. არაიზოლირებული სადენებისა და კაბელების თბური მახასიათებლები	77
2.11. ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები	81
2.12. საკომუტაციო აპარატები	102
2.13. რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარები	103
2.14. მე-2 თავის რიცხვითი მაგალითები	108
თავი 3. ელექტროგადაცემის უბნის რეეიმის პარამეტრების გაანგარიშება	119
3.1. ელექტროგადაცემის ხაზი, როგორც ოთხპოლუსა	119
3.2. ხაზის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების ამოცანა	

ნები	122
3.3. ელექტროგადაცემის რეჟიმის გაანგარიშება ლატვირთის ღენის მისეღეით	124
3.4. ელექტროგადაცემის რეჟიმის გაანგარიშება ლატვირთის სიმძლავრის მიხედვით	128
3.5. ელექტროგადაცემის რეჟიმის გაანგარიშება გადასაცემი სიმძლავრის მიხედვით	133
3.6. ელექტროგადაცემის რეჟიმის გაანგარიშება იგერაციული მეთოდის გამოყენებით	135
3.7. თანაბარგანაწილებული ლატვირთის მქონე უბნის რეჟიმის გაანგარიშება	137
3.8. გრანსფორმატორული უბნის რეჟიმის გაანგარიშება	139
3.9. მე-3 თავის რიცხვითი მაგალითები	143
თავი 4. ელექტრული ქსელის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება	150
4.1. ქსელის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემები	150
4.2. ღია ქსელის რეჟიმის პარამეტრები	154
4.3. მანაწილებული ქსელების რეჟიმების გაანგარიშების კერძო შემთხვევები	158
4.4. მარტივი შეკრული ქსელების რეჟიმების გაანგარიშება	162
4.5. რთული შეკრული ქსელების რეჟიმების გაანგარიშება კონტურულ განგოლებათა მეთოდით	171
4.6. რთული შეკრული ქსელების რეჟიმების გაანგარიშება კვანძური ძაბვების მეთოდით	187
4.7. ელექტრული ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთი წინაღობები და სიმძლავრის დანაკარგების გამოთელა	198
4.8. მე-4 თავის რიცხვითი მაგალითები	202
თავი 5. ელექტრული ენერგიის ხარისხი და მისი უზრუნველყოფა	231
5.1. ელექტრული ენერგიის ხარისხის მაჩვენებლები	231
5.2. ლატვირთის სტაგეკური მასასიატებლები	238
5.3. გურბინის ბრუნვის სიხშირის რეგულატორი	243
5.4. სიხშირის პირველადი რეგულირება	250
5.5. სიხშირის პირველადი რეგულირება სიმძლავრის ცხელი (მბრუნავი) რეზერვის უკმარისობის პირობებში	253
5.6. სიხშირის მეორეული რეგულირება	255
5.7. სიხშირული ავტომატური განგვირთვა	259

5.8. ღინამიკური პროცესი და სისშირის მართვა	262
5.9. ელექტრულ ქსელში ძაბვის რეგულირების პრინციპები და საშუალებები	266
5.10. ძაბვის რეგულირება გენერატორის აგზნების დენის ცვლილებით	269
5.11. ძაბვის რეგულირება გრანსფორმატორების გრანსფორმაციის კოეფიციენტების ცვლილებით	271
5.12. ძაბვის რეგულირება სასაზო რეგულატორებით	282
5.13. ძაბვის რეგულირება ელექტროგადაცემის რეაქტიული წინააღობისა და მომხმარებელთა რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციით	285
5.14. ძაბვის დანაკარგების შეცვლა ხაზის აქტიური წინააღობის შეცვლით	289
5.15. მე-5 თავის რიცხვითი მაგალითები	290
თავი 6. ელექტრული ენერგიის დანაკარგები და მათი შემცირების ღონისძიებები	306
6.1. შესავალი	306
6.2. ელექტრული ენერგიის ტექნიკური დანაკარგების გაანგარიშების მეთოდები	307
6.3. ელექტრული ენერგიის ტექნიკური დანაკარგების შემცირების ღონისძიებები	314
6.4. აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლება	317
6.5. აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირება ძაბვის ღონის აწევით	320
6.6. პარალელურად ჩარგული გრანსფორმატორების მუშაობის ეკონომიკური რეჟიმები	321
6.7. შეკრულ ქსელში დატვირთვის ეკონომიკური განაწილება	324
6.8. მე-6 თავის რიცხვითი მაგალითები	328
თავი 7. მომხმარებელთა ელექტროუსაფრთხოების საკითხები	335
7.1. შემთხვევითი მოვლენები და ალბატობის თეორიის ელემენტები	335
7.2. ენერგოსისტემის მუშაობის საიმედოობის ამაღლების ამოცანა	338
7.3. სისტემის მუშაობის საიმედოობის ნორმატივების შემუშავების მოთხოვნები	344
7.4. მუშაობის საიმედოობის მახასიატებელი მაჩვენებლები	347
7.5. გეგმიური რემონტების მაჩვენებლები	352

7.6.	ელექტრული ქსელის ელემენტების ავარიული და გეგმიური ამორტეების სტაგისტიკა	354
7.7.	მომხმარებელთან ენერგიის მიწოდების შეწყვეტით გამოწვეული ზარალის შეფასება	356
თავი 8.	ელექტრული ქსელის პროექტირების ელემენტები	359
8.1.	შესავალი	359
8.2.	ელექტრომომარების პროგნოზირება	360
8.3.	დაყვანილი საანგარიშო ხარჯები	364
8.4.	ელექტრული ქსელის შეერთების სქემებისა და ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვის შერჩევა	366
8.5.	ელექტროგადაცემის ხაზის სადენთა განიკვეთის შერჩევა	369
8.6.	საპაერო ელექტროგადაცემის ხაზების ნომინალური ძაბვისა და სადენის განიკვეთის შერჩევის კომპლექსური მეთოდი	370
8.7.	ქვესადგურებსა და ელექტროსადგურებზე გრანს-ფორმაგორების რიცხვისა და ნომინალური სიმძლავრის შერჩევა	372
8.8.	საპაერო ელექტროგადაცემის ხაზების მექანიკური ნაწილი	373
8.9.	მე-8 თავის რიცხვითი მაგალითები	376
თავი 9.	შორეული ელექტროგადაცემა	378
9.1.	შორ მანძილზე ენერგიის გადაცემის თავისებურებანი	378
9.2.	გრძელი ელექტროგადაცემის განგოლებები	380
9.3.	ენერგიის გადაცემის გალღური პროცესის სახასიათო პარამეტრების ფიზიკური არსი	385
9.4.	უღანაკარგო ხაზის გადაცემის განგოლებები და ძაბვის ცელილება ხაზის გასწერიე	389
9.5.	ელექტროგადაცემის წრიული ღიაგრამ და კუთხური მასასიათებლები	393
9.6.	რეალური ხაზის გასწერიე ძაბვისა და ღენის ცელილება მოცემული U_1 და U_2 ძაბვების ღროს	396
9.7.	ხაზის რეკიშის პარამეტრების ურთიერთ ღამოკიდებულება	398
9.8.	გრძელი ელექტროგადაცემის ხაზის ზღერული სიმძლავრე და გადაცემის მარაგის კოეფიციენტი	399
9.9.	რეაქტიული სიმძლავრე ხაზის თავსა და ბოლოში	402
9.10.	გრძელი ელექტროგადაცემის ხაზის პარამეტრების კომპენსაცია	404
9.11.	გრძელი ელექტროგადაცემის ხაზის ღამყარებული	

რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება	406
9.12. გრძელი ელექტროგადაცემის საზის დამყარებული რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების გამარტივებული მეთოდები	409
9.13. მე-9 თავის რიცხვითი მაგალითები	411
თავი 10. ენერგოსისტემების რეჟიმების ოპტიმიზაცია –	418
10.1. ოპტიმიზაციის ამოცანათა განცოლებები	418
10.2. რეჟიმების ოპტიმიზაციის კრიტერიუმები და ამოცანები	420
10.3. ელექტროსადგურების ენერგეტიკული მახასიათებლები	422
10.4. კონდენსაციურ ელექტროსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება, როცა $\Delta P = const$	425
10.5. კონდენსაციურ ელექტროსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება, როცა $\Delta P = f(P_1, P_2, \dots)$	428
10.6. აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება თბოქიღროელექტროსადგურებს შორის	429
10.7. λ მამრავლი და თბოქიღროელექტროსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების ამოცანის ამოხსნა	432
10.8. ელექტროსადგურებს შორის რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება	435
10.9. მომხმარებლის კვანძებში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია და ელექტროსადგურების ოპტიმალური რეაქტიული დატვირთვები	438
10.10. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია მაგისტრალურ და რადიალურ ქსელებში	441
10.11. მე-10 თავის რიცხვითი მაგალითები	442
დანართები	448
ლიტერატურა	461



გამომცემლობა „უნივერსალურ“

თბილისი, 0179, 0. შავაშვიძის გზ. 19, ტ: 2 22 36 09, 5(99) 17 22 30
E-mail: universal@internet.ge