

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ტიტიკო შერგელაშვილი

ელექტროენერჯის აღრიცხვა მზომი ტრანსფორმატორების
მუშაობისას მცირე სიდიდის დატვირთვებზე

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: "ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია"

შიფრი: 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2019 წ.

საავტორო უფლება © 2019 წელი, ტიტიკო შერგელაშვილი

თბილისი

2019 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ტიტულო შერგელაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ელექტროენერჯის აღრიცხვა მზომი ტრანსფორმატორების მუშაობისას მცირე სიდიდის დატვირთვებზე“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

_____ , 2019 წელი

ხელმძღვანელი: _____ პროფესორი ე. ქორქია

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019

ავტორი: ტიტკო შერგელაშვილი

თემის დასახელება: „ელექტროენერჯის აღრიცხვა მზომი ტრანსფორმატორების მუშაობისას მცირე სიდიდის დატვირთვებზე“

ფაკულტეტი: ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____, 2019 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ამჟამად დიდ პრობლემას წარმოადგენს ელექტროსისტემებში გარკვეულ მინაერთებზე მცირე ტვირთების არსებობა და მათთან დაკავშირებული ელექტროენერჯის ზუსტი აღრიცხვა, რადგან იგი დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ამ პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია ტექნიკური საშუალებებით, ამისთვის აუცილებელი იმ მოთხოვნების დაცვა რომლებიც მითითებულია „ქსელის ელექტროენერჯის აღრიცხვის წესებში“ და „ელექტრომომწობილობის მოწყობის წესებში“.

ენერგობაზარზე ელექტროენერჯის აღრიცხვის წრედებში წარმოდგენილია ათობით სხვადასხვა მოდელის დენის ტრანსფორმატორები. წესით ყველა ისინი, პირველ რიგში უნდა შეესაბამებოდნენ სახელმწიფოთაშორისი „სტანდარტს IEC 61869-2:2012 დენის ტრანსფორმატორები“. დენის ტრანსფორმატორები ტექნიკური მახასიათებლებით ახლოს არიან თავის დეკლარირებულ მახასიათებლებთან. ფაქტობრივად, როგორც მათი გამოცდები და ექსპლუატაცია აჩვენებს, გრძელვადიან პერსპექტივაში ელექტროსისტემებში და მომხმარებლებთან ელექტროენერჯის ზუსტი აღრიცხვის უზრუნველყოფისათვის ისინი არასრულფასოვნები არიან. მათ სარეკლამო და ტექნიკურ დოკუმენტაციაში არ არის მითითებული ის მახასიათებლები, რომლებიც საინტერესოა კვალიფიცირებული პერსონალისათვის და მნიშვნელოვანი გავლენა შეუძლიათ იქონიონ მათი შერჩევისას ელექტროენერჯის აღრიცხვის წრედებში. ნაშრომში წარმოდგენილია ღონისძიებების გამოყენება, რომლებიც გადაჭრის ზემოთ აღნიშნულ პრობლემას.

ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძში გამოყენებული მოწყობილობების მაღალი სიზუსტის მოთხოვნებიდან გამომდინარე გატარდა ღონისძიებები, რომლებმაც უზრუნველყვეს საქართველოს ელექტროსისტემაში არსებული ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძებში მზომი ტრანსფორმატორების ნორმალური მუშაობა, რისი საშუალებითაც დაცული იქნა მათი მეორადი დატვირთვის პირობა და დასაშვები სიზუსტის კლასის მნიშვნელობა. სწორედ ასეთ ღონისძიებებზე მიგვაჩნია ელექტროენერჯის აღრიცხვის წრედში დამტვირთი წინააღობის გამოყენება. იმ შემთხვევაში, როდესაც დენის ტრანსფორმატორში გამავალი ტვირთი არის მცირე სიდიდის მაშინ აუცილებელია დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტის შეცვლა უფრო დაბალი კოეფიციენტით თერმიული და დინამიური პირობის გათვალისწინებით. იმ შემთხვევაში თუ ამ პირობიდან გამომდინარე ვერ ხერხდება დენის ტრანსფორმატორის შეცვლა სათანადო სიდიდის კოეფიციენტით, მაშინ ამ პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია 0,2S ან 0.5S სიზუსტის კლასის დენის ტრანსფორმატორის გამოყენებით. აღნიშნული სიზუსტის კლასის დენის ტრანსფორმატორის გამოყენებისას მკვეთრად უმჯობესდება ელექტროენერჯის აღრიცხვა. ხოლო

პერსპექტივაში არსებული დენის და ძაბვის ტრანსფორმატორების შეცვლა ოპტიკური დენისა და ძაბვის გადამწოდებით. ოპტიკური დენისა და ძაბვის გადამწოდების გამოყენებისას საჭირო აღარ არის მეორეული დატვირთვის საკითხი გადასაწყვეტი. ასეთ შემთხვევაში ელექტროენერგიის აღრიცხვის კვანძში გამოვიყენებთ ოპტიკური დენისა და ძაბვის გადამწოდებს, ოპტიკური მრიცხველი და ოპტიკური სადენი. დენის ოპტიკური გადამწოდის მუშაობა დაფუძნებულია კონტურში სინათლის ტალღების გავრცელების სიჩქარის ცვლილებაზე, რაც განპირობებულია მასზე მაგნიტური ველის მოქმედებით. ხოლო ძაბვის ოპტიკური გადამწოდის მუშაობა დაფუძნებულია კრისტალურ მასალეში ორად გარდატეხილი სხივის ინდუქცირებაზე.

ნაშრომში განხილულია „ა“ და EPQS ტიპის მრავალფუნქციური ელექტრონული მრიცხველები. ეს მრიცხველები აგებულია იდენტურები არიან. EPQS ტიპის ელექტრონულ მრიცხველს დამატებით აქვს შესაძლებლობა ელექტრული ქსელის ხარისხის პარამეტრების აღრიცხვა და შენახვა.

ორელემენტოანი მრიცხველის ელექტროენერგიის აღრიცხვის წრედში ჩართვის მიზანშეწონილობა აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის სიდიდესთან მიმართებაში. მოყვანილია გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტების გამოსთვლელი ფორმულები. მოყვანილია საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის „ალფა ცენტრი“-დან აღებული აქტიური სიმძლავრის, აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის, ძაბვის, დენის, ჯამური ალტიური და სრული სიმძლავრის გრაფიკები, რის საფუძველზეც ჩატარებულია ანალიზი და გაკეთებულია დასკვნები, კერძოდ:

1. სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობისას $\cos \varphi < 0,5$ მიზანშეწონილია ორელემენტოანი შეერთების ნაცვლად სამელემენტოანი შეერთების სქემის გამოყენება.

2. დადგენილია აღურიცხავი ელექტროენერგიის საანგარიშო კოეფიციენტის მნიშვნელობა.

3. პირველადი ტვირთების სიმცირის გამო, უნდა განხორციელდეს დენის ტრანსფორმატორი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ცვლილება, ანუ უფრო დაბალ კოეფიციენტზე გადასვლა.

4. ელექტრონული მრიცხველების გამოყენებისას მზომი ტრანსფორმატორების მეორად წრედში აუცილებელია დამტვირთი წინაღობის ჩართვა, რათა გაუმჯობესდეს აღრიცხვის წრედის მუშაობის რეჟიმი და მზომი ტრანსფორმატორების სიზუსტის კლასი.

5. 0,2S და 0,5S კლასის დენის ტრანსფორმატორების გამოყენება.

6. დასადგენია ორელემენტოანი მრიცხველის გამოყენება, როდესაც $\cos \varphi > 0,5$.

7. ელექტროენერგიის აღრიცხვის წრედებში მზომი ტრანსფორმატორების არასწორი ჩართვის, ასევე მათი სხვადასხვა სახის დაზიანების შემთხვევაში გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტები გათვალისწინებით.

8. პერსპექტივაში ოპტიკური ძაბვის და დენის გადამწოდების გამოყენება.

9. უფრო დაბალ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტზე გადასვლისას უნდა გამოირიცხოს დენის ტრანსფორმატორის მაგნიტური სისტემის გაჟღენთვა, რადგან მისი ამ მდგომარეობიდან გამოსვლა შესაძლებელია გაგრძელდეს 10-15 წთ, რაც უარყოფითად აისახება ელექტროენერჯის აღრიცხვაზე.

Resume

Nowadays, in the electro systems, in some of the connections, the big problem is the existence of small loads and everything which is connected with the exact metering of electricity, because it is connected with big difficulties. It is possible to solve the problem with the help of technical facilities. In order to reach the result it is essential to follow the requirements which are given in “The Electricity Metering Rules of the Network” and in the “Rules of Electrical Installation”.

In the circuits of electricity metering in the energy market there are various models of current transformers. According to the rule all of them should be equivalent to the “IEC Standards 61869-2:2012 of current transformers” existing between the countries. Current transformers are very familiar with their technical indexes to the indexes declared by them. As their examinations and operation shows that in long term perspective, in the electro systems in order to supply the customers with exact metering of electricity these indexes are not having the full value. In their advertising material and technical documentation there is no indication of the indexes which could be interesting for qualified personal and could have significant influence in the process of selecting them in the electricity metering circuits. In this work, the usage of various methods are presented which could solve the above mentioned problems. Based on the demands of high quality installation used in the electricity metering nodes, various activities were taken in to guarantee normal work of metering transformers in the metering nodes of Georgian Electro System, and with the help of which it became possible to protect their secondary loading conditions and the importance of the permitted accuracy class. It is the very activity which means the usage of loading resistivity in the electricity metering circuit. In case if the load which goes through the current transformer is small value it is obligatory to change the coefficient of the current transformer with the lawyer coefficient taking into consideration thermic and dynamic term. In case if it becomes impossible to change with necessary value coefficient it is possible to solve the problem by means of using of 0,2S or 0.55 accuracy class transformers and in perspective to change existing current and voltage transformers with optic current and voltage transmitting set.

In this work it is viewed “ α ” and EPQS type multifunctional electrical meters. These meters are identical by their structure. EPQS type electrical meter has the additional opportunity to meter and save quality parameters of electrical network.

Suitability of including double element meter into electricity metering circuit taking into the consideration the active capacity value coefficient. The active capacities and active capacity coefficient schedules are presented here, taken “Alfa Center” of Georgian State Electro System, based on which the analyses and conclusions are made, for example:

1. In case of capacity coefficient magnitude $\cos < 0.5$, it is recommended to use triple element connection scheme.

2. The unmetered magnitude of electricity calculation magnitude is known.
3. Because of the small amount of primary loads it is obligatory to make transformation coefficient change in the current transformer, in other words to use lawyer coefficient.
4. In the process of usage of metering transformers in the secondary circuit it is obligatory to include loading resistance, in order to improve the work of the regime of metering circuit and metering transformers accuracy class.
5. The usage of 0.25 and 0.55 class current transformers.
6. It has to be found out whether double element meter should be used, when $\cos > 0.5$.
7. It has to be found out electricity over calculating coefficients which are used in the electricity metering circuits in case of their switching on in a wrong way or in case of their various breakage.
- 8 In the perspective the usage of optical voltage and current transmitting sets. 9. In the process of transition to the lawyer coefficient we have to exclude soaking current transformer magnetic system, because it can take 10-15 minutes to overcome this situation which will have negative effect on electricity metering.

შინაარსი

გვ.

შესავალი	16
ლიტერატურის მიმოხილვა	20
თავი 1. ელექტროენერჯის აღრიცხვის კონტროლს ავტომატოზირებული სისტემა	21
თავი 2. მაღალი ძაბვის ქსელში მრავალფუნქციური ელექტრონული მრიცხველის გამოყენება	26
2.1. ელექტრონული მრიცხველები.....	26
2.2. სამელემენტური მრიცხველის ჩართვა ოთხსადენიან ქსელში დამიწებული ნეიტრალით.....	27
2.3. ელექტროენერჯის აღრიცხვა ორელემენტური მრიცხველის გამოყენებისას.....	32
2.4. მგრძობიარობის ზღვარის და დატვირთვის სიმძლავრის გაზომვის დიაპაზონის ანგარიში, რომლისთვისაც დადგენილია აბსოლუტური ცდომილებების დასაშვები ზღვრები.....	35
2.5. ელექტროენერჯის გაზომვა ელექტრონული მრიცხველებით	35
2.6. მრიცხველის მუდმივები და უკუკავშირები	41
თავი 3. მეორადი დატვირთვის ქვედა ზღვრის საკითხი	51
3.1. ზოგი რამ ტერმინის თაობაზე.....	53
3.2. FOCT-ი და მისი აღთქმა (განხილვა).....	54
3.3. აზრთა სხვადასხვაობა	55
თავი 4. დენის ტრანსფორმატორი.....	59
4.1. დენის ტრანსფორმატორის ცდომილება.....	59
4.2. ტრანსფორმატორის ცდომილების დამოკიდებულება პირველად დენზე.....	63
4.3. ცდომილების დამოკიდებულება მეორად დატვირთვაზე.....	65
4.4. დენის ტრანსფორმატორის შერჩევა	68

4.5. დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტის შერჩევისა და მეორადი დატვირთვის გაანგარიშება	70
4.6. დენის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვის გაანგარიშება ..	73
თავი 5. შემაერთებელი სადენები.....	77
თავი 6. ძაბვის ტრანსფორმატორი	80
6.1. ძაბვის ტრანსფორმატორის შერჩევა.....	85
6.2. ძაბვის ტრანსფორმატორის დატვირთვის სიმძლავრის გაზომვა	85
6.3. ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული წრედების გადატვირთვის ღონისძიებები.....	88
6.4. ძაბვის ტრანსფორმატორის აღრიცხვის გრაგნილის მეორადი გამომყვანის დატვირთვის გაანგარიშება	89
6.5 ძაბვის ვარდნა ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეულ წრედში.....	92
თავი 7. ოპტიკური დენის და ძაბვის გადამწოდი.....	96
7.1. ოპტიკური დენის გადამწოდი	96
7.2. ელექტრულ-ოპტიკური ძაბვის გადამწოდი	97
დასკვნები.....	99
გამოყენებული ლიტერატურა	100

ცხრილების ნუსხა

88

ცხრილი 1. აქტიური და რეაქტიული სიმპლავრის ცხრილი	28
ცხრილი 2. დენური ცდომილებები	31
ცხრილი 3. ქვესადგურის სალტის ბალანსი	37
ცხრილი 4. გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტების მნიშვნელობები	51
ცხრილი 5. სიზუსტის კლასების მიხედვით დენური და კუთხური ცდომილებები სხვადასხვა დატვირთვისას	72
ცხრილი 6. დენის ტრანსფორმატორის გაზომვის ოქმი დამტვირთი წინააღმდეგობის გამოყენებამდე.....	75
ცხრილი 7. დენის ტრანსფორმატორის გაზომვის ოქმი დამტვირთი წინააღმდეგობის შემდეგ	76
ცხრილი 8. შემაერთებელი სადენების პარამეტრები	79
ცხრილი 9. ძაბვის ტრანსფორმატორის დატვირთვა	94

ნახაზების ნუსხა

გვ.

ნახაზი 1. ელექტრონული მრიცხველების ალფა ცენტრში დაკავშირების სქემა	24
ნახაზი 2. ცდომილების ძირითადი შემადგენლობები	26
ნახაზი 3. სამელემენტური მრიცხველის ჩართვის სქემა ოთხსადენიან ქსელში დამიწებული ნეიტრალით	28
ნახაზი 4. A ფაზის ვექტორის მდგომარეობის დამოკიდებულება აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემის მიმართულებაზე	29
ნახაზი 5. მრიცხველის და დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებების გრაფიკები	30
ნახაზი 6. სამი ვატმეტრის ჩართვის სქემა	32
ნახაზი 7. ორი ვატმეტრის ჩართვის სქემა.....	33
ნახაზი 8. ელექტრონული მრიცხველის სტრუქტურული სქემა.....	39
ნახაზი 9. ორელემენტური მრიცხველის ჩართვის ირიბი სქემა	43
ნახაზი 10. ორელემენტური მრიცხველის ჩართვის ნახევრად ირიბი სქემა.....	44
ნახაზი 11. ელექტროენერჯის ორელემენტური მრიცხველის გაზომვის ვექტორული დიაგრამა	45
ნახაზი 12. აქტიური სიმძლავრის გრაფიკი	45
ნახაზი 13. სრული სიმძლავრის გრაფიკი	46
ნახაზი 14. აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის გრაფიკი	46
ნახაზი 15. ძაბვის გრაფიკი	47
ნახაზი 16. დენის გრაფიკი.....	47
ნახაზი 17. ფაზების აქტიური სიმძლავრეების ჯამური გრაფიკი.....	48
ნახაზი 18. ფაზების სრული სიმძლავრეების ჯამური გრაფიკი	48
ნახაზი 19. ვექტორული დიაგრამა.....	49
ნახაზი 20. დენის ტრანსფორმატორის პრინციპიალური სქემა	59

ნახაზი 21. დენის ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების სქემა.....	60
ნახაზი 22. დენის ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა.....	61
ნახაზი 23. დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებების დამოკიდებულება პირველად დენზე და დატვირთვაზე	64
ნახაზი 24. ძაბვის ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა.....	82
ნახაზი 25. ტევადური ძაბვის ტრანსფორმატორი.....	83
ნახაზი 26. ძაბვის ტრანსფორმატორის წრედში შესაძლო უწყესივრობები	84
ნახაზი 27. ინდუქციური მრიცხველების ნახევრად ირიბი ჩართვის სქემა	95
ნახაზი 28. ოპტიკური დენის გადამწოდი	97
ნახაზი 29. ელექტრულ-ოპტიკური ძაბვის გადამწოდი	98

დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

АСКУЭ - (Автоматизированная система учета и контроля электроэнергии)
ელექტროენერჯის აღრიცხვის და კონტროლის ავტომატიზირებული
სისტემა

ГОСТ – (Государственный стандарт) სახელმწიფო სტანდარტი

ТТ – (Трансформатор тока) დენის ტრანსფორმატორი

ТН – (Трансформатор напряжения) ძაბვის ტრანსფორმატორი

ЦР – (Цифровое распределитель) ციფრული გადამწოდი

მადლიერების გერდი

მადლობას ვუხდი ჩემს ხელმძღვანელს, ბატონ ენრიკო ქორქიას მთელი ამ ხნის განმავლობაში გაწეული დახმარებისათვის. ასევე მადლობას ვუხდი საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის ელექტროენერჯის აღრიცხვის დეპარტამენტის თანამშრომლებს თემის დამუშავებისას გაწეული დახმარებისათვის.

შესავალი

თემის აქტუალურობა. ბოლო წლებში ელექტროენერჯის სიმძლავრის გაზრდამ კარდინალურად შეცვალა ელექტროენერჯის აღრიცხვის ორგანიზაციებისადმი დამოკიდებულება, რამაც განაპირობა მოთხოვნილება თანამედროვე და მაღალი სიზუსტის აღრიცხვის ხელსაწყოებისადმი.

გამომუშავებულ და მომხმარებლებზე მიწოდებული ელექტროენერჯის აღრიცხვას მისი ფულადი ანგარიშსწორებისათვის წარმოადგენს ელექტროენერჯის საანგარიშსწორებო აღრიცხვას. მრიცხველებს, რომლებიც განკუთვნილია საანგარიშსწორებო აღრიცხვისათვის უწოდებენ საანგარიშსწორებო მრიცხველებს და მათ როგორც წესი დგამენ ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციების და მომხმარებლის საბალანსო კუთვნილების საზღვარზე.

ელექტრომომმარაგებელი ორგანიზაცია ვალდებულია ელექტროქსელის საბალანსო კუთვნილების საზღვარზე უზრუნველყოს ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების მნიშვნელობები, რომელიც განსაზღვრულია ნორმატიული ნორმების თანახმად.

ამ დროისთვის დამუშავებულია კომერციული და დისპეტჩერული შეკრების და დამუშავების ავტომატიზირებული სისტემები, რომლებიც განხორციელებულია სხვადასხვა ტექნიკური საშუალებებით.

ყველაზე მნიშვნელოვანი პროგრამული უზრუნველყოფაა „ალფა ცენტრ კომუნიკატორი“, რომელიც ემსახურება მონაცემთა ბაზაში მრიცხველებიდან ინფორმაციის შეგროვებას. „ალფა ცენტრი“-ს ბაზაში შეყვანილია ობიექტების ელექტრული სქემები, მრიცხველების და ფიდერების დეტალური აღწერა. ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძის დენის და ძაბვის ტრანსფორმატორების კოეფიციენტები.

„ ალფა ცენტრ კომუნიკატორი“ ახორციელებს ელექტროენერჯის მრიცხველებიდან ინფორმაციის წაკითხვას, შემდგომში კი ცენტრის ბაზაში შემდეგი ინფორმაციის ჩაწერას:

- დატვირთვის პროფილი
- ელექტრული ქსელის პარამეტრები
- დაგროვილი ენერჯის ჩვენებები და მასთან კავშირის მომენტში
- ახდენს აქტიური და რეაქტიული ენერჯების გამოთვლას მზომი ტრანსფორმატორების ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის გათვალისწინებით.

ელექტროენერჯის ავტომატიზირებული აღრიცხვის პროცესის მიღწევის მიზნით აუცილებელი გახდა ინდუქციური მრიცხველების შეცვლა ელექტრონული მრიცხველებით. ერთი ელექტრონული მრიცხველით შესაძლებელი გახდა ჩანაცვლებულიყო ოთხი ინდუქციური მრიცხველი. აქედან გამომდინარე ინდუქციური მრიცხველის შეცვლა ელექტრონული მრიცხველით აუმჯობესებს ელექტროენერჯის აღრიცხვის სიზუსტეს, რადგან ელექტრონული მრიცხველებს გააჩნიათ უფრო მაღალი სიზუსტის კლასი. ამავე დროს უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ელექტრონულ მრიცხველებს გაცილებით ნაკლები ნომინალური სიმძლავრე აქვს ვიდრე ინდუქციურ მრიცხველებს, რაც უარყოფითად მოქმედებს დენის და ძაბვის ტრანსფორმატორების მუშაობაზე, მათ სიზუსტის კლასზე.

სამუშაოს მიზანი. ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძში გამოყენებული მოწყობილობების მაღალი სიზუსტის მოთხოვნებიდან გამომდინარე საჭიროა გატარდეს ღონისძიებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ საქართველოს ელექტროსისტემაში არსებული ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძებში მზომი ტრანსფორმატორების ნორმალურ მუშაობას, რისი საშუალებითაც დაცული იქნება მათი მეორადი დატვირთვის პირობა და დასაშვები სიზუსტის კლასის მნიშვნელობა.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. საქართველოს ელექტროსისტემაში ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძების მუშაობის პრობლემებიდან გამომდინარე, რეკომენდირებულია მოიძებნოს ისეთი ღონისძიებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ აღრიცხვის კვანძში გამოყენებული მოწყობილობების ნორმალურ მუშაობას და ამასთან უზრუნველყოფენ ელექტროენერჯის ზუსტ აღრიცხვას. სწორედ ასეთ ღონისძიებებად მიგვაჩნია ელექტროენერჯის აღრიცხვის წრედში დამტვირთი წინაღობის გამოყენება, ხოლო პერსპექტივაში არსებული დენის და ძაბვის ტრანსფორმატორების შეცვლა ოპტიკური დენისა და ძაბვის გადამწოდებით.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და სიახლე. ბოლო წლებში მნიშვნელოვნად შეიცვალა დამოკიდებულება ელექტროენერჯის აღრიცხვის მიმართ. ინდუქციური ტიპის მრიცხველი, რომელსაც გააჩნდა უფრო უხეში სიზუსტის კლასი შეიცვალა უფრო მაღალი სიზუსტის კლასის ელექტრონული მრიცხველით. მათმა გამოყენებამ დასვა დენის და ძაბვის ტრანსფორმატორების მეორეული დატვირთვის და სიზუსტის კლასის გაუმჯობესების საკითხი. ამის გადაჭრა შესაძლებელი გახდა დამტვირთი წინაღობების გამოყენებით, ხოლო პერსპექტივაში არსებული დენის და ძაბვის ტრანსფორმატორის შეცვლა ოპტიკური დენისა და ძაბვის გადამწოდების გამოყენებით.

შედეგების გამოყენების სფერო. ნაშრომში ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე გაიცა რეკომენდაცია აღრიცხვის კვანძში დამტვირთი წინაღობის გამოყენების, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის შეცვლის თაობაზე. პერსპექტივაში ოპტიკური დენის და ძაბვის გადამწოდების გამოყენების კუთხით, რითაც უზრუნველყოფილი იქნება ელექტროენერჯის ზუსტი აღრიცხვა. აღრიცხვის წრედში დამტვირთი წინაღობის გამოყენება უზრუნველყოფს დენის და ძაბვის

ტრანსფორმატორების ნორმალურ მუშაობას, აუმჯობესებს მათ სიზუსტის კლასს. ხოლო ოპტიკური დენისა და ძაბვის გადამწოდების გამოყენებისას საჭირო აღარ არის მეორეული დატვირთვის პრობლემის გადაწყვეტა, რადგან ამ მოწყობილობის მუშაობა დაფუძნებულია ფარადის ეფექტზე. ასეთ შემთხვევაში ელექტროენერგიის აღრიცხვის კვანძში გამოიყენება ოპტიკური დენისა და ძაბვის გადამწოდი, ოპტიკური მრიცხველი და ოპტიკური სადენი.

ლიტერატურის მიმოხილვა

პირველი წიგნი ელექტროენერჯის მრიცხველების თაობაზე გამოიცა რუსულ ენაზე ინჟინერ ა. ანდრიევსკის მიერ 1902 წელს, ხოლო წიგნის მეორე გამოცემა 1915 წელს. 1932 წელს გამოიცა ინჟინერ ნ. შუმილოვსკის ფუნდამენტალური გამოცემა „ელექტრული მრიცხველები“. 1933 წელს გამოიცა გერმანული ენიდან ი. მელდინგერის წიგნის „ელექტრული მრიცხველები და ტრანსფორმატორები“ რუსულ ენაზე ნათარგმნი წიგნი.

1930-1933 წლებში საბჭოთა კავშირში ელექტროენერჯის აღრიცხვის საკითხები ჩამოყალიბდა დამოუკიდებელი მუშაობის სფეროდ. ამ წლებში გამოვიდა ინჟინერ ნ. ვოსტროვსკის წიგნის „ელექტრული მრიცხველები და მათი ექსპლუატაცია“ I გამოცემა, რომელიც დასრულდა 1947 წელს მეოთხე ფუნდამენტური გამოცემით.

შემდგომ წლებში საბჭოთა ჟურნალებში „Электричество“, „Электрические станции и подстанции“ და ა.შ. იბეჭდებოდა მეცნიერების და სპეციალისტების სამეცნიერო და პრაქტიკული შინაარსის სტატიები მიძღვნილი ელექტროენერჯის აღრიცხვის საკითხებთან.

საქართველოში 2014 წელს ე. ქორქიას და ნ. გოზალიშვილის ავტორობით გამოიცა სახელმძღვანელო „ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის აღრიცხვის საფუძვლები.“, რომელიც იყო ერთ-ერთი პირველი ცდა მრავალ მამტაბიანი საკითხების (ელექტროენერჯის სიდიდე, დანაკარგები და ა.შ.) განხილვაში. წიგნი დახმარებას უწევს ელექტროენერგეტიკული სპეციალობის სტუდენტ-ბაკალავრებს და მაგისტრებს ელექტროენერჯის (სიმძლავრის) აღრიცხვის საკითხებში პრობლემის სწორად დასმასა და გადაწყვეტაში.

თავი 1. ელექტროენერჯის აღრიცხვის კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემა

ამ დროისთვის დამუშავებულია კომერციული და დისპეტჩერული შეკრების და დამუშავების ავტომატიზირებული სისტემები, რომლებიც განხორციელებულია სხვადასხვა ტექნიკური საშუალებებით.

ელექტროენერჯის აღრიცხვის კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემის (ACKYჟ) მასობრივი დანარგვა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანა ენერგოტევადი მომხმარებლებისათვის და სისტემათაშორისო კავშირებისთვის.

„ACKYჟ“-ს დანერგვა ითვალისწინებს შემდეგ მიზნებს: გაზომვების სიზუსტის ამაღლება ელექტროენერჯის და სიმძლავრის წარმოების აღრიცხვა, გადაცემასა და მოხმარებას. ობიექტებზე ელექტროენერჯის და სიმძლავრის თაობაზე ინფორმაციის შეკრება, შენახვა და გადაცემა.

„ACKYჟ“-ს ტექნიკურ კომპლექსში, რომელიც განთავსებულია ენერგობიექტებზე, უნდა შედიოდნენ: ელექტროენერჯის ელექტრონული მრიცხველები, რომლებიც შეიცავენ გადამცემებს, რომლებიც თავის მხრივ გასაზომ სიდიდეებს გარდაქმნიან პროპორციული რაოდენობის გამომავალ იმპულსებად.

„ACKYჟ“ რომელნიც გამოიყენებიან ელექტროენერჯის კომერციული აღრიცხვისათვის, მისი ყველა კვანძები და მართვის ორგანოები, რომელზედაც ზემოქმედებით შესაძლებელია ჩართვა გაზომვის და ანგარიშების რეზულტატზე(სისტემური დროის ჩათვლით), ასევე გამოყენებული პროგრამული საშუალებები, დაცულია არასანქცირებული ჩარევისაგან.

ავტომატურად, ინფორმაციის შეკრების და გადაცემის ცენტრალური გამოთვლითი მოწყობილობები აფიქსირებენ ინფორმაციებს ACKYჟ-ს გაზომვის არხების გამოსავალზე.

ელექტროენერჯის აღრიცხვის კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემის დანერგვის ძირითადი მიზანია:

1. სიმპლავრის და ენერჯის აღრიცხვის სიზუსტის გაზრდა.
2. ენერგობიექტების ოპერატიული კონტროლი.
3. ელექტროენერჯის ბალანსების კონტროლი ობიექტების, ხაზების, მინაერთების მიხედვით.
4. ინფორმაციის მიმოცვლა დაინტერესებულ სუბიექტებს შორის.
5. ერთიან ასტრონომიულ დროსთან მიბმული ინფორმაციის ქონა მოხმარებულ, გაცემულ ენერჯებზე და სიმპლავრებზე დიფერენცირებული მრავალტარიფიანი აღრიცხვის პირობებში.

ყველაზე მნიშვნელოვანი პროგრამული უზრუნველყოფაა „აღფა ცენტრ კომუნიკატორი“, რომელიც ემსახურება მონაცემთა ბაზაში მრიცხველებიდან ინფორმაციის შეგროვებას. „აღფა ცენტრი“-ს ბაზაში შეყვანილია ობიექტების ელექტრული სქემები, მრიცხველების და ფიდერების დეტალური აღწერა. შეყვანილია დენის და ძაბვის ტრანსფორმატორების კოეფიციენტები.

„აღფა ცენტრ კომუნიკატორი“ ახორციელებს ელექტროენერჯის მრიცხველებიდან ინფორმაციის წაკითხვას, შემდგომში კი ცენტრის ბაზაში შემდეგი ინფორმაციის ჩაწერას:

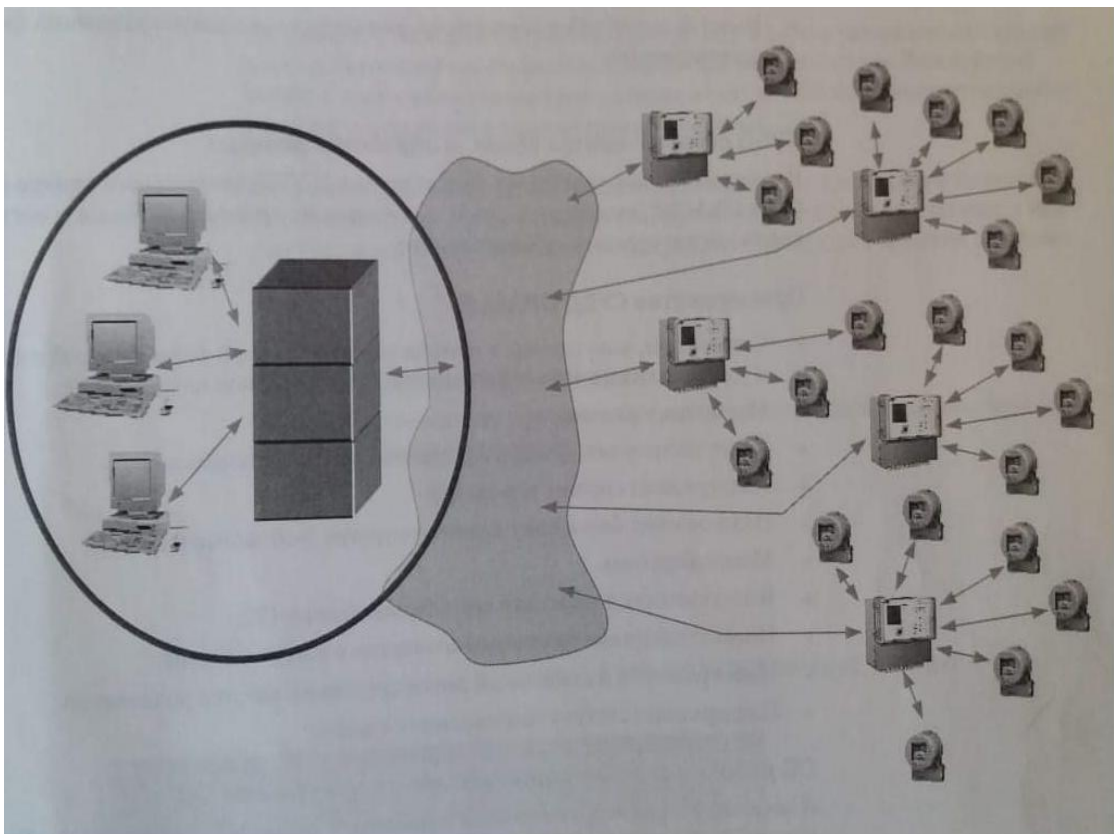
- დატვირთვის პროფილი
- ელექტრული ქსელის პარამეტრები
- დაგროვილი ენერჯის ჩვენებები და მასთან კავშირის მომენტში
- ახდენს აქტიური და რეაქტიული ენერჯების გამოთვლას მზომი ტრანსფორმატორების ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის გათვალისწინებით.

ელექტროენერჯის ავტომატიზირებული აღრიცხვის პროცესის მიღწევის მიზნით აუცილებელი გახდა ინდუქციური მრიცხველების შეცვლა ელექტრონული მრიცხველებით.

ელექტრო ენერჯის აღრიცხვის ავტომატიზირებული სისტემა უზრუნველყოფს შემდეგი სახის სამუშაოების წამოებას:

1. აღრიცხვის ცალკეულ კომერციულ წერტილებში ელექტროენერგიის მრიცხველებით გაზომილი გადინებული (მიღებული და გაცემული) აქტიური და რეაქტიული ელექტროენერგიების და სიმძლავრეების (საათში, დღელამეში და საანგარიშო ინტერვალში) ადგილებზე აღრიცხვას და შენახვას.
2. გამომუშავებული, მოხმარებული, გადაცემული, შესყიდულ ელექტროენერგიაზე, სიმძლავრეებზე, მრიცხველებით გაზომილი ინფორმაციის ავტომატიზებულ შეგროვებას, დამუშავებას, გადაცემას, შენახვას, აღრიცხვას, კონტროლს, გაანგარიშებას და ასახვას მონაცემთა შეკრებისა და დამუშავების ცენტრ(ებ)ში.
3. მრავალტარიფიანი ან საათობრივი აღრიცხვის პირობებში მოხმარების დატვირთვების დღელამური ცხრილების, გრაფიკების და დიაგრამების აგებას.
4. მონაცემთა შეკრების და გადაცემის მოწყობილობის (მშგმ) საშუალებით მრიცხველებიდან მიღებული ინფორმაციის ჯგუფებად გაერთიანებას.
5. საშუალო სიმძლავრეების და ელექტროენერგიების გადაანგარიშებას გასაშუალოების 30 წთ-იანი ინტერვალებით (პროგრამირებადია).
6. დღელამეში და სატარიფო ზონების მიხედვით მაქსიმალური სიმძლავრეების დადგენას.
7. დადგენილი სტრუქტურით არქივების წარმოებას.
8. სისტემაში ერთი და იმავე დროის შენარჩუნებას და სინქრონული გაზომვების წარმოებას.
9. მშგმ-ში დაგროვილი ინფორმაციის წაკითხვას სხვადასხვა მიმართულებიდან (ადგილიდან-სერვერიდან).
10. სხვადასხვა სახის და ტიპის ანგარიშების ფორმირება და ბეჭდვას.

11. ქსელის და მინაერთების ელექტრულ პარამეტრებზე (დენები, ძაბვები, სიმძლავრის კოეფიციენტი და სიხშირე) ინფორმაციის შეგროვებას, დამუშავებას, შენახვას და დოკუმენტირებისათვის.
12. დატვირთვების ოპერატიული მართვას ზონალური და საათობრივი ტარიფიკაციის შესაბამისად.
13. დაინტერესებული მხარეებისათვის ოპერატიული და კომერციული ინფორმაციის შეუფერხებლად მიწოდებას.
14. გარდა ამისა სისტემის გადასატანი საინჟინრო პულტის გამოყენებით შესაძლებელია იმ ელექტრონული (იმპულსური გამოსასვლელების მქონე) მრიცხველების წაკითხვა, რომლებიც არ არიან მიერთებული მშგმ-თან და ამ ინფორმაციის შეტანა მონაცემთა ბაზების სერვერებში.



ნახაზი 1. ელექტრონული მრიცხველების ალფა ცენტრში დაკავშირების სქემა

ელექტროენერჯის აღრიცხვის კონტროლის ავტომატიზირებულ სისტემას აქვს შესაძლებელია დაემატოს:

1. ავტომატიზაციის ახალი ობიექტები;
2. აღრიცხვის ახალი წერტილები;
3. ოპერატორის (მომხმარებლის) სამუშაო ტერმინალები.

ეს პროცედურები შესაძლებელია განხორციელდეს მუშა სისტემის ექსპლუატაციის რეჟიმიდან გამოყვანის გარეშე.

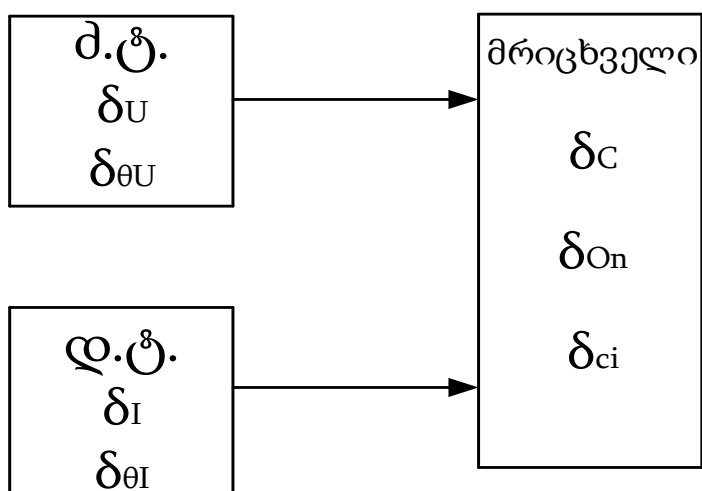
სისტემას გააჩნია საკუთარი თავის კონტროლის და დიაგნოსტიკის შესაძლებლობა.

თავი 2. მაღალი ძაბვის ქსელში მრავალფუნქციური ელექტრონული მრიცხველის გამოყენება

2.1. ელექტრონული მრიცხველები

საცალო ბაზრობებზე ელექტროენერჯის კომერციული აღრიცხვის ძირითადი მოთხოვნების უზრუნველყოფის მიზნით უნდა დაყენდეს ელექტრონული მრიცხველები.

საანგარიშსწორებო მრიცხველების ძაბვის ტრანსფორმატორებიდან კვებისას, რომელთა სიზუსტის კლასია 0,5 ძაბვის კარგვა სადენებში და კაბელებში არ უნდა აღემატებოდეს 0,25% $U_{\text{ნომ.}}$, ხოლო ძაბვის ტრანსფორმატორიდან კვებისას, რომელთა კლასია 1 არაუმეტეს 0,5% $U_{\text{ნომ.}}$. პრაქტიკულად ექსპლუატაციაში მზომი კომპლექსი (მრიცხველი, ძაბვის ტრანსფორმატორი, დენის ტრანსფორმატორი და მათი დამაკავშირებელი სადენი) მოცემული სიზუსტის კლასები და ძაბვის კარგვის დონეების უზრუნველყოფა ყოველთვის არ კმაყოფილდება. მზომი კომპლექსის ცდომილებების ძირითადი შემადგენლები მოცემულია №2 ნახაზზე.



ნახაზი 2. ცდომილების ძირითადი შემადგენლობები

ამ ნახაზზე ცდომილებების ინდექსები აღნიშნავენ:

δ_u - ძაბვის ტრანსფორმატორის ძაბვის ცდომილება %;

$\delta_{\theta u}$ - ძაბვის ტრანსფორმატორის კუთხური ცდომილება (წთ);

δ_I - დენის ტრანსფორმატორის დენური ცდომილება %;

$\delta_{\theta I}$ - დენის ტრანსფორმატორის კუთხური ცდომილება (წთ);

δ_l - დამაკავშირებელ ხაზში ძაბვის კარგვით (ძაბვის ვარდნით) გამოწვეული ცდომილება;

δ_c - მრიცხველის ცდომილება %;

$\delta_{\text{оп}}$ - მრიცხველის ათვლის ცდომილება;

δ_{ci} - მრიცხველის დამატებითი ცდომილება გამოწვეული გარე i სიდიდით;

მზომი კომპლექსის დასაშვები ფარდობითი ცდომილება:

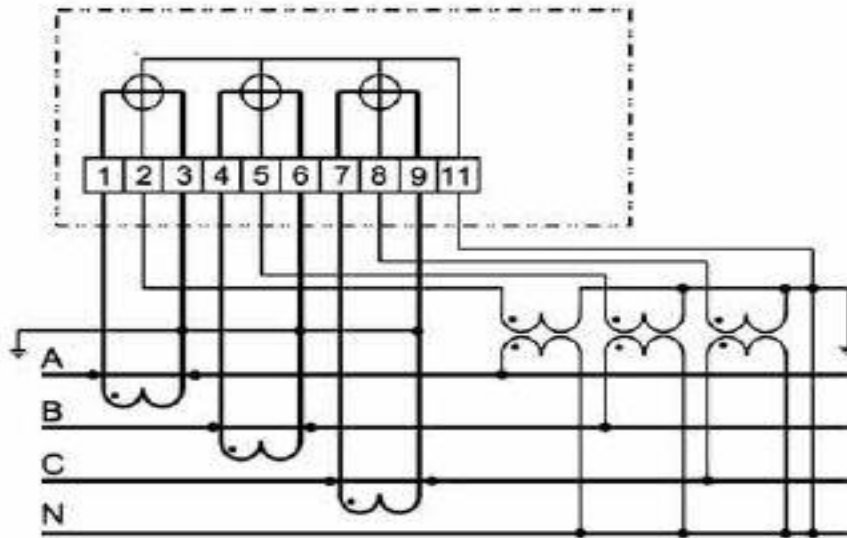
$$\delta_K = \pm 1,1 \sqrt{\delta_I^2 + \delta_u^2 + \delta_{\theta}^2 + \delta_l^2 + \delta_c^2 + \delta_{\text{co}}^2 + \sum_{i=1}^i \delta_{ci}^2}$$

სამსადენიან და ოთხსადენიან ქსელში რეაქტიული ენერჯის და აქტიური ენერჯის სამსადენიან ქსელში ზედა ცხრილში მოყვანილ ფორმულებში უნდა იყოს გათვალისწინებული მეთოდური ცდომილებები წრედებში არასიმეტრიული დატვირთვებისგან და სხვა ფაქტორები. გაზომვის არხების ფარდობითი ცდომილება გამოითვლება ფორმულით:

$$\delta_W = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_{wi}^2 + \alpha_{wi}^2}$$

2.2. სამელემენტიანი მრიცხველის ჩართვა ოთხსადენიან ქსელში დამიწებული ნეიტრალით

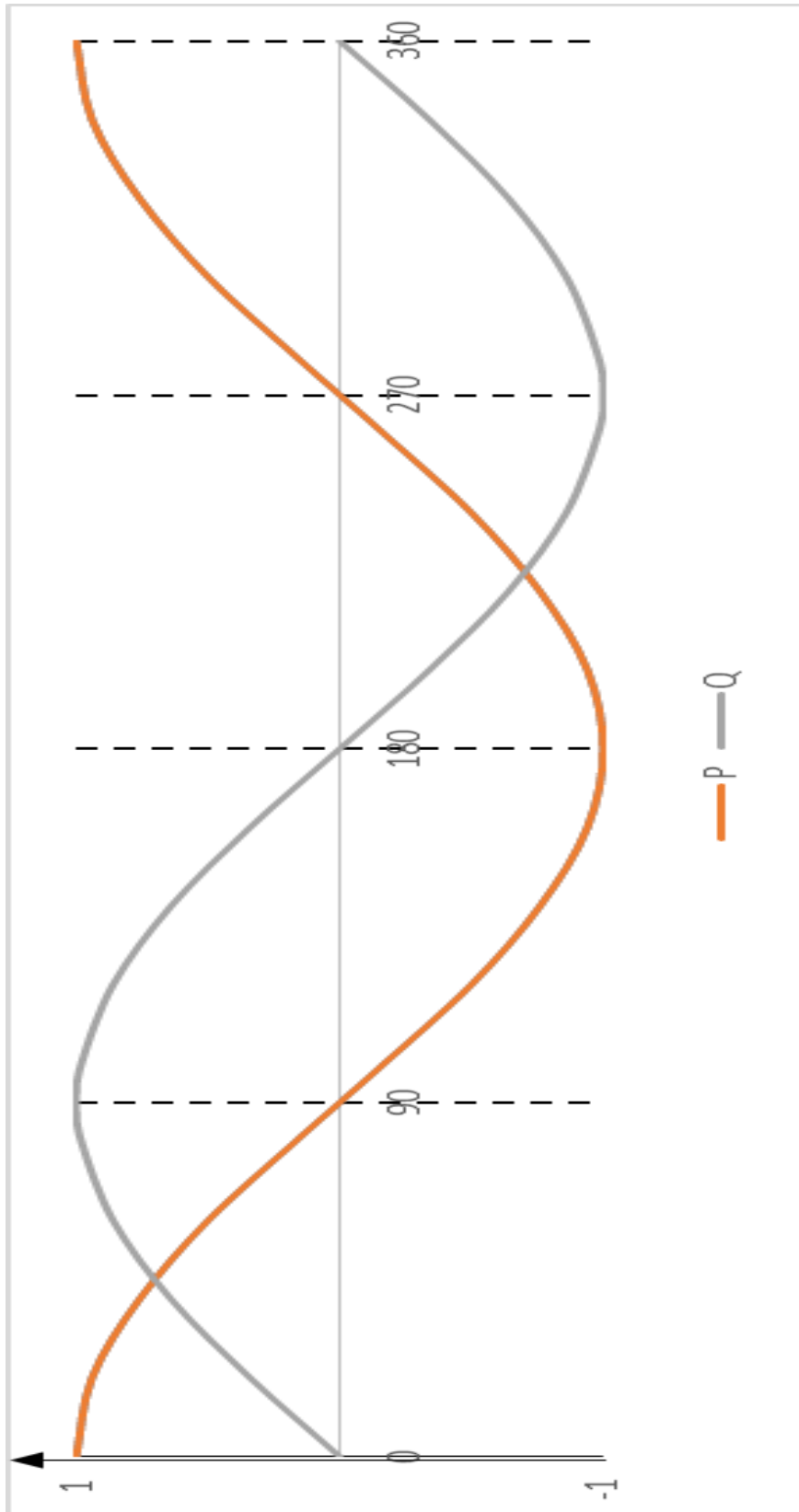
ელ.ქსელებში 6-10 კვ-ზე მეტი ძაბვისას გამოიყენება მრიცხველის შერთების ირიბი სქემები, რომელიც მოყვანილია ნახაზი 3.



ნახაზი 3. სამელემენტანი მრიცხველის ჩართვის სქემა ოთხსადენიან ქსელში დამიწებული ნეიტრალით

ცხრილი 1. აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის ცხრილი

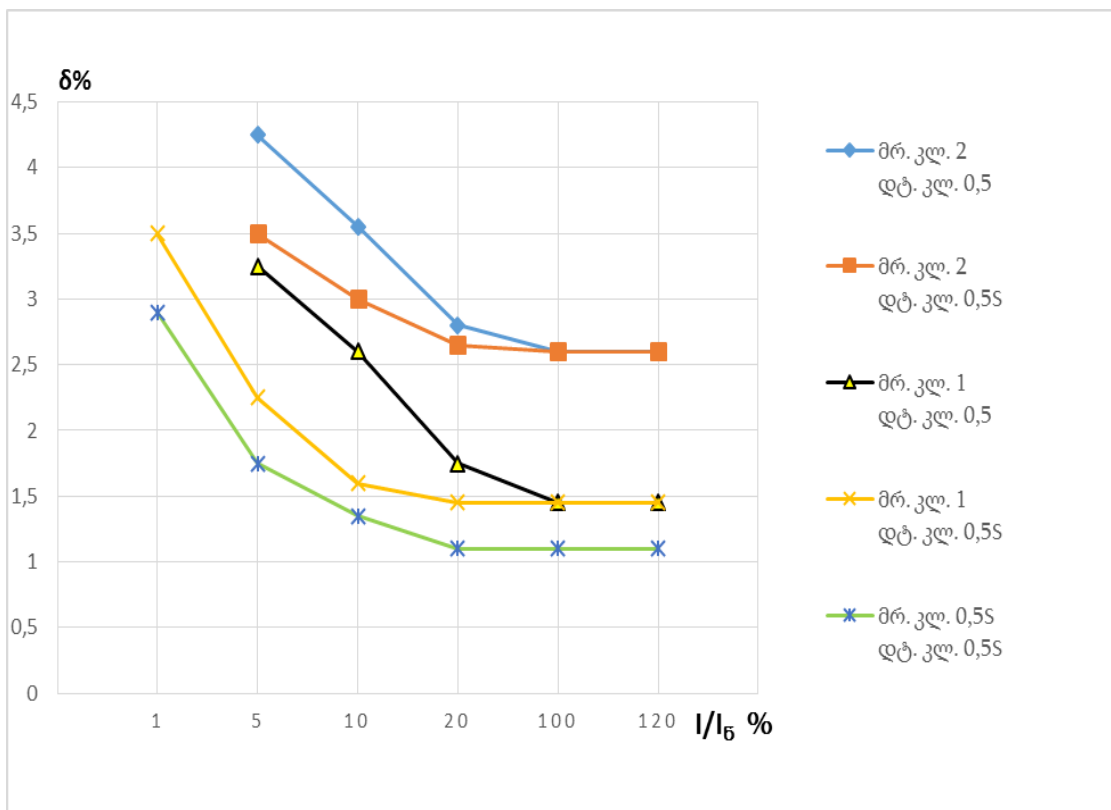
VAF-85	ϕ°	$\cos\phi$	P		Q	
30°	0	1	1	მიღება	0	მიღება
50°	20	0,94	0,94		0,34	
70°	40	0,76	0,76		0,64	
90°	60	0,5	0,5		0,86	
110°	80	0,17	0,17		0,98	
120°	90	0	0	1	მიღება	
130°	100	-0,17	-0,17	0,98		
150°	120	-0,5	-0,5	0,86		
170°	140	-0,76	-0,76	0,64		
170°	160	-0,94	-0,94	0,34	მიღება	
150°	180	-1	-1	0		
130°	200	-0,94	-0,94	-0,34		
110°	220	-0,76	-0,76	-0,64		
90°	240	-0,5	-0,5	-0,86	მიღება	
70°	260	-0,17	-0,17	-0,98		
60°	270	0	0	-1		
50°	280	0,17	0,17	-0,98		
30°	300	0,5	0,5	-0,86	მიღება	
10°	320	0,76	0,76	-0,64		
10°	340	0,94	0,94	-0,34		
30°	360	1	1	0		



ნახაზი 4. A ფაზის ვექტორის მდგომარეობის დამოკიდებულება აქტიური და რეაქტიული სიმბლავრის გადაცემის მიმართულებაზე

რეალურ პირობებში გაზომვის გარანტირებული სიდიდე ზემოთ მოყვანილი საშუალებების გამოყენებისას განისაზღვრება დასაშვები ფარდობითი ცდომილებების ზღვრით. ამ ცდომილებების შემადგენელია დენის და ძაბვის ტრანსფორმატორების, მრიცხველის სისტემური და ძირითადი შემთხვევითი შემადგენლები, რომლებიც განპირობებულია სხვადასხვა ფაქტორებით.

მზომი კომპლექსის მაქსიმალური ფარდობითი ცდომილების მოდულის (δ) გრაფიკები დამოკიდებული პირველადი დენის მოქმედი მნიშვნელობის ფარდობაზე ნომინალურთან $I_1/I_{1\text{ნ}}$ სხვადასხვა კლასის მრიცხველის და დენის ტრანსფორმატორისათვის მოცემულია ნახაზზე 5.



ნახაზი 5. მრიცხველის და დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებების გრაფიკები

როდესაც ადგილი აქვს მომხმარებელთა დატვირთვის მნიშვნელოვან შემცირებას ან მის რხევებს, ელენერჯის აღრიცხვა არაზუსტია, რაც

განაპირობებს კომერციული დანაკარგების მნიშვნელოვან ზრდას, რომლებმაც შეიძლება მიაღწიოს 20%-ს.

ზოგჯერ ადგილი აქვს პარადოქსულ სიტუაციას, როდესაც მომხმარებელი მოიხმარს ელექტროენერგიას, მათთან მუშაობენ მცირე სიმძლავრის მომხმარებლები და განათება. ხოლო ელექტროსისტემის მრიცხველები აფიქსირებენ ნულოვან მოხმარებას. სხვადასხვა შეფასებით, ელექტროენერგიის კომერციული დანაკარგების წილი, რომლებიც განპირობებულია მზომი საშუალებების ცდომილებებით, მათი არასწორი შერჩევით და ექსპლუატაციით, აღწევენ ყველა კომერციული დანაკარგების 25 – 30%-ს .

ერთ-ერთი ძირითადი გამოსავალი ამ სიტუაციიდან იყო არაზუსტი ინდუქციური მრიცხველების შეცვლა ელექტრონული ტიპის მრიცხველებით და 0,5 კლასის დენის ტრანსფორმატორების შეცვლა 0,5S კლასით, რომლებიც უზრუნველყოფენ დასაშვებ ცდომილებების დაბალი ზღვრული მნიშვნელობების პირველადი დენის ცვლილებისას დიდ დიაპაზონში.

ცხრილი 2. დენური ცდომილებები

პირველადი დენის ცვლილების დიაპაზონი	დენური ცდომილება	
	სიზუსტის კლასი 0,5	სიზუსტის კლასი 0,5S
100-120% I15	0,5%	0,5%
20-120% I15	0,75%	0,5%
5-20% I15	1,5%	0,8%
1-5% I15	არ ნორმირდება	1,5%

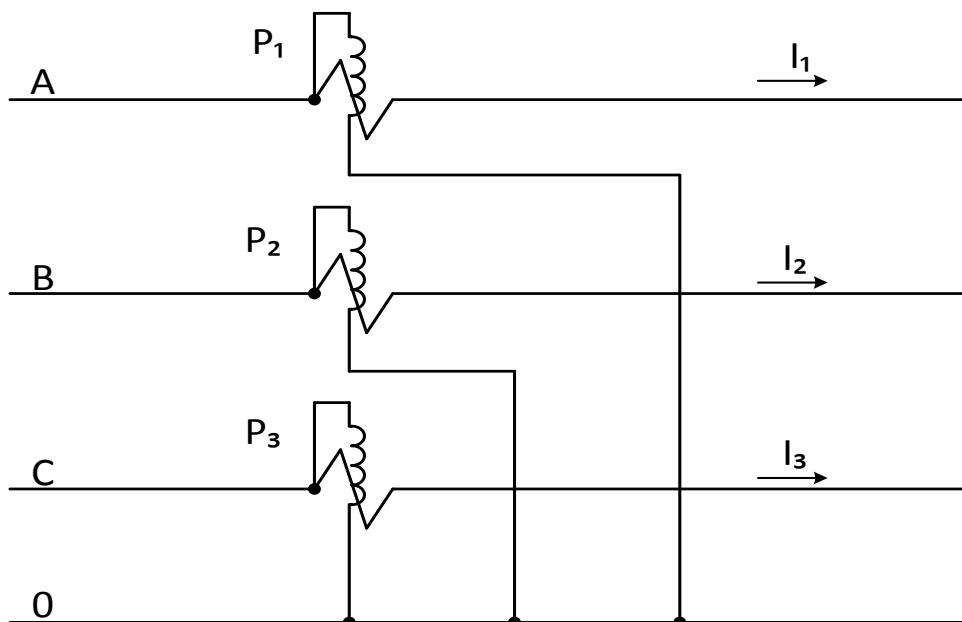
კომერციულ აღრიცხვაში ელექტრონული მრიცხველების გამოყენებისას დაბლდება მოთხოვნები დენის ტრანსფორმატორის ნომინალურ დატვირთვასთან: ისინი შეიძლება შეიზღუდოს 5 ვა-ის სიდიდით (ინდუქციური მრიცხველის შემთხვევაში 10 – 20 ვა-ის

ფარგლებში), რაც საერთო ჯამში პროპორციულად ამცირებს ტექნიკურ დანაკარგებს ხელსაწყოებით აღრიცხვისას.

იმ შემთხვევაში, თუ ექსპლუატაციის პირობიდან გამომდინარე საჭიროა მრიცხველის განთავსება დენის ტრანსფორმატორიდან (მაგალითად 25 მეტრი და მეტ მანძილზე), საჭიროა გამოყენებული იქნეს დენის ტრანსფორმატორი გაზრდილი ნომინალური დატვირთვით, ან იგივე სიმძლავრის 1 ამპერიანი ნომინალური დენით. ამასთან მეორადი წრედის მაქსიმალური გარე წინაღობა იზრდება 25-ჯერ. ბოლო შემთხვევაში მრიცხველის ნომინალური დენიც 1 ამპერია.

2.3. ელექტროენერგიის აღრიცხვა ორელემენტური მრიცხველის გამოყენებისას

სამფაზა ცვლადი დენის წრედში ვატმეტრების ჩართვის სქემები მრავალფეროვანია და დამოკიდებულია სადენების რაოდენობაზე (სამსადენიანი და ოთხსადენიანი).



ნახაზი 6. სამი ვატმეტრის ჩართვის სქემა

თითოეული ვატმეტრი ზომავს სადენში გამავალი დენის და ფაზური ძაბვის ნამრავლს.

$$P_A = I_A \cdot U_{\text{ფაზ.}} \cdot \cos \varphi_A$$

$$P_B = I_B \cdot U_{\text{ფაზ.}} \cdot \cos \varphi_B \quad (1)$$

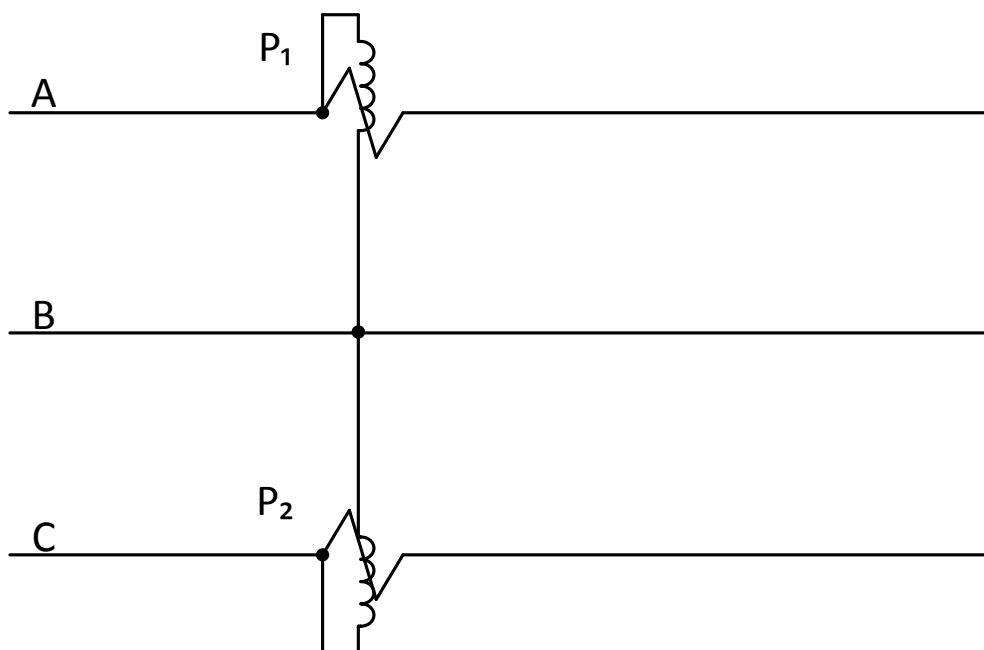
$$P_C = I_C \cdot U_{\text{ფაზ.}} \cdot \cos \varphi_C$$

სამივე ვატმეტრების ჩვენებების ჯამი წარმოადგენს დატვირთვის მთლიან სიმძლავრეს:

$$P = P_A + P_B + P_C \quad (2)$$

სიმძლავრის გაზომვა სამსადენიან (ნულოვანი სადენის გარეშე) ქსელში შეიძლება შესრულდეს ორი სხვადასხვა მეთოდით: სამი ვატმეტრის ან ორი ვატმეტრის საშუალებით.

ხშირად გამოიყენება სხვადასხვა სქემა, რომელიც მოითხოვს ორი ვატმეტრის გამოყენებას (ნახაზი 7)



ნახაზი 7. ორი ვატმეტრის ჩართვის სქემა

ეს სქემა ცნობილია „არონი“-ს სქემის სახელწოდებით. ვატმეტრების მიმდევრობითი გრაგნილი (დენის გრაგნილი) ირთვება სქემის ნებისმიერ

ორ ფაზაში, ხოლო ვატმეტრი პარალელური (ძაბვის) გრაგნილები მიერთებული თავის სადენსა და მესამე (უვატმეტრო) სადენს შორის.

საერთო სიმძლავრე ვატმეტრების „არონი“-ს სქემით ჩართვისას განისაზღვრება ორივე ვატმეტრის ჩვენებების შეკრებით. მათი ჩვენებები იქნება თანაბარი მხოლოდ ერთ კერძო შემთხვევაში: თანაბარი, სუფთა აქტიური დატვირთვის (მაგალითად განათების ქსელი) დროს. თუ დატვირთვა არ არის აქტიური, ანუ $\cos \varphi \neq 1$ ვატმეტრის ჩვენებები თანაბარი დატვირთვის შემთხვევაშიც არ არის ერთნაირი. ამ დროს ერთ-ერთი ვატმეტრის ჩვენება ყოველთვის დადებითია (ისარი გადახრილია 0-დან მარჯვნივ), ხოლო მეორე ვატმეტრის ჩვენება შეიძლება იყოს, როგორც დადებითი ისე უარყოფითი.

თუ $\cos \varphi > 0,5$ ორივე ვატმეტრების ჩვენება დადებითია.

თუ $\cos \varphi = 0,5$ აჩვენებს მხოლოდ ერთი ვატმეტრი, მეორე ვატმეტრის ჩვენება 0-ის ტოლია.

თუ $\cos \varphi < 0,5$ მეორე ვატმეტრის ისარი გადაიხრება უარყოფითი მიმართულებით (0-დან მარცხნივ). ჩვენების დასაფიქსირებლად საჭიროა შეცვალოთ დენის მიმართულება მის მიმდევრობით, ანუ პარალელურ გრაგნილში ამ დროს ვატმეტრის ჩვენება უნდა გამოაკლდეს პირველი ვატმეტრის ჩვენებას.

ზემოთ აღნიშნული შეიძლება ჩაიწეროს ზოგადად ფორმულით:

$$P = P_1 \pm P_2$$

ორმაგი ნიშანი \pm გვიჩვენებს, რომ ხელსაწყობის ჩვენებები უნდა შეჯამდეს, თუ ორივე ხელსაწყოს ჩვენება დადებითია (ორივე ვატმეტრის ისარი გადახრილია 0-დან მარჯვნივ). ხოლო ერთ-ერთი ვატმეტრის ისარი გადახრილია 0-დან მარცხნივ მისი სიდიდე უნდა იქნას გამოკლებული.

ძირითადი დენის მიმართულების შეცვლა, როდესაც $\cos \varphi < 0,5$ ხდება ვატმეტრის პარალელურ გრაგნილში სპეციალური გადამრთველის საშუალებით.

ვატმეტრის ჩართვას „არონი“-ს სქემის საშუალებით აქვს ძალზე საინტერესო თვისება: იგი გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ სიმძლავრის კოეფიციენტის ($\cos \varphi$) სიდიდე ვატმეტრის ჩვენებების საფუძველზე, ვოლტმეტრებისა და ამპერმეტრების გარეშე. ამისათვის საჭიროა ვატმეტრის ჩვენება უფრო დაბალი სიდიდით ვატმეტრის ჩვენებაზე უფრო დიდი სიდიდით. შედეგი არის დადებითი ნიშნით თუ ორივე ვატმეტრის ჩვენება დადებითია და უარყოფითი ნიშნით თუ ერთ-ერთი ვატმეტრის ჩვენება უარყოფითია. მიღებული შედეგით P_1/P_2 სპეციალურ ნომოგრამაზე (ნახ.№3) ვნახულობთ შესაბამის $\cos \varphi$ -ს.

„არონი“-ს სქემა, რომელიც გამოიყენება სამსადენიან ცვლადი დენის სამსადენიან ქსელში აქტიური სიმძლავრის გასაზომად, შეიძლება გამოყენებული იქნეს რეაქტიული სიმძლავრის გასაზომად გარკვეული პირობების გათვალისწინებით. კერძოდ რეაქტიული სიმძლავრე:

$$Q = \sqrt{3} (P_1 \pm P_2)$$

აღსანიშნავია, რომ რეაქტიული სიმძლავრის გასაზომად საჭიროა სქემაში ვატმეტრის პარალელური (ძაბვის) გრაგნილები ჩართული უნდა იყოს მეზობელ ფასებში, ანუ ხაზურ ძაბვაზე.

2.4. მგრძნობიარობის ზღვარის და დატვირთვის სიმძლავრის გაზომვის დიაპაზონის ანგარიში, რომლისთვისაც დადგენილია აბსოლუტური ცდომილებების დასაშვები ზღვრები

1. დატვირთვის სიმძლავრის ქვედა ზღვარი, რომლის ქვემოთ ელექტრული ენერგია მრიცხველის მიერ შეიძლება არ იყოს გათვალისწინებული (მგრძნობიარობის ზღვარი), იანგარიშება ფორმულით:

$$W_{\text{მგრძნ}} = 25 \cdot 10^{-4} \cdot K_{\text{კლ}} \cdot U_{\text{ნომ}} \cdot I_{\text{ნომ}} \cdot \cos \varphi \cdot K_{\text{დტ}} \cdot K_{\text{აბ}} \cdot \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \text{ კვტ}$$

სადაც:

$K_{კლ}$ - მრიცხველის სიზუსტის კლასი, %;

$\cos \varphi$ - სიმძლავრის კოეფიციენტი, მიიღება $\cos \varphi = 1$;

$K_{დტ}, K_{ტტ}$ - მზომი ტრანსფორმატორების ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები;

$U_{ნომ}, I_{ნომ}$ - მრიცხველში ფაზებს შორის ხაზური ძაბვის და დენის ნომინალური მნიშვნელობებია სიმეტრიული დატვირთვისას, ვოლტი, ამპერი;

$\sqrt{3}$ - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სამფაზა შეერთებას და სიმეტრიულ დატვირთვისას;

10^{-3} - კოეფიციენტი, რომელსაც გადაყავს ვატი კოლოვატებში.

2. მიერთებული დატვირთვისას სიმძლავრის დიაპაზონი, რომლისთვისაც ხდება ცდომილებების დასაშვები ზღვარის ფორმირება, განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$W_{მინ} = U_{ნომ} * I_{ნომ} * (m_{მინ} / 100\%) * \cos \varphi * K_{დტ} * K_{ტტ} * \sqrt{3} * 10^{-6}$$

$$W_{მაქს} = U_{ნომ} * I_{ნომ} * (m_{მაქს} / 100\%) * \cos \varphi * K_{დტ} * K_{ტტ} * \sqrt{3} * 10^{-6}$$

სადაც:

$W_{მინ}$ და $W_{მაქს}$ - დატვირთვის სიმძლავრის დიაპაზონის მინიმალური და მაქსიმალური ზღვრებია, მვტ/სთ;

$\cos \varphi$ - სიმძლავრის კოეფიციენტი, მიიღება $\cos \varphi = 1$;

$\sqrt{3}$ - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სამფაზა შეერთებას და სიმეტრიულ დატვირთვისას;

10^{-6} - კოეფიციენტი, რომელსაც გადაყავს ვატი მეგავატებში.

$$m_{მინ} = I_{მინ} / I_{ნომ} * 100\%$$

$$m_{მაქს} = I_{მაქს} / I_{ნომ} * 100\%$$

სადაც:

$m_{მინ}$ - დენის მინიმალური მნიშვნელობა, რომლისთვისაც მზომი დენის ტრანსფორმატორის მრიცხველის დასაშვები ცდომილების

ზღვრის ნორმირება, როდესაც $I_{500} = 1$ ან 5 , მინიმალური დენი I_{805} როგორც წესი შეადგენს $0,05$ ან $0,25$ ამპერს, დამოკიდებული ელენერგიის მრიცხველის და დენის ტრანსფორმატორის სიზუსტის კლასიდან.

ანალოგიურად განისაზღვრება $m_{საქს}$. ის როგორც წესი შეადგენს I_{500} - ის 125 ან 150% - ს. ამასთან იგულისხმება ერთობლივად მომუშავე დენის მზომი ტრანსფორმატორების და მრიცხველების ნომინალური დენების ტოლობა.

ცხრილი 3 ქვესადგურის სალტის ბალანსი

მინაერთი	ძაბვა (კვ)	მრიცხველის ჩვენებები		სრული კოეფიციენტი	ხარჯი (კვტ.სთ)	მიღება	გაცემა	ბალანსი (%)
		წინა	ბოლო					
ტ-1	10	9892,6	10063,4	8000	1366960	1366960	1454954,4	-6,437232984
ფ. სვირი	10	318,1	375,0	2000	113708			
ფ. არგვეთა	10	93,7	114,6	3000	62610			
ფ. ხობოულა	10	471,5	546,7	2000	150260			
ფ. ავტოგაზი	10	96,7	128,2	1000	31480			
ფ. კარიერი	10	30,9	37,7	4000	27440			
ფ. პურის ქარხანა	10	418,3	507,6	1000	89300			
ფ. წყალსადენი	10	32,4	38,3	3000	17760			
ფ. მეფრინველეობა	10	180,0	208,8	4000	115360			
ფ. ასფალტის ქარხანა	10	22,0	24,1	3000	6420			
ფ. პროვიჟენი	10	1120,4	1303,3	4000	731480			
ფ. სმტ 1	10	105,3	127,3	1000	21990			
სმტ 2	0,4	46903,4	47589,3	80	54870,4			
სმტ 4	0,4	41212,2	41615,7	80	32276			

ჩავატაროთ გაანგარიშება

რას სიდიდისა არის ელექტროენერგიის მრიცხველის მიერ აღრიცხული სიმძლავრის ქვედა ზღვარი, თუ ელექტროგადაცემის ხაზის ნომინალური ძაბვა არის 220 კვ და აღრიცხვის წრედში გამოყენებულია:

1. 0,5 კლასის, 5ა და 100 ვ მრიცხველი;
2. დენის ტრანსფორმატორი 600/5 ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით;
3. ძაბვის ტრანსფორმატორი 220000/100 ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით;

ამოხსნა

დატვირთვის სიმძლავრის ქვედა ზღვარი იანგარიშება ფორმულით:

$$W_{\text{მგრძ}} = 25 \cdot 10^{-4} \cdot K_{\text{კლ}} \cdot U_{\text{ნომ}} \cdot I_{\text{ნომ}} \cdot \cos \varphi \cdot K_{\text{დტ}} \cdot K_{\text{აბ}} \cdot \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \text{ კვტ}$$

მინიმალური სიმძლავრის მნიშვნელობა, რომლის გადინებასაც მრიცხველი აღიქვამს შეადგენს:

$$W_{\text{მგრძ}} = 25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 100 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 120 \cdot 2200 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^{-3} = 285,45 \text{ კვტ}$$

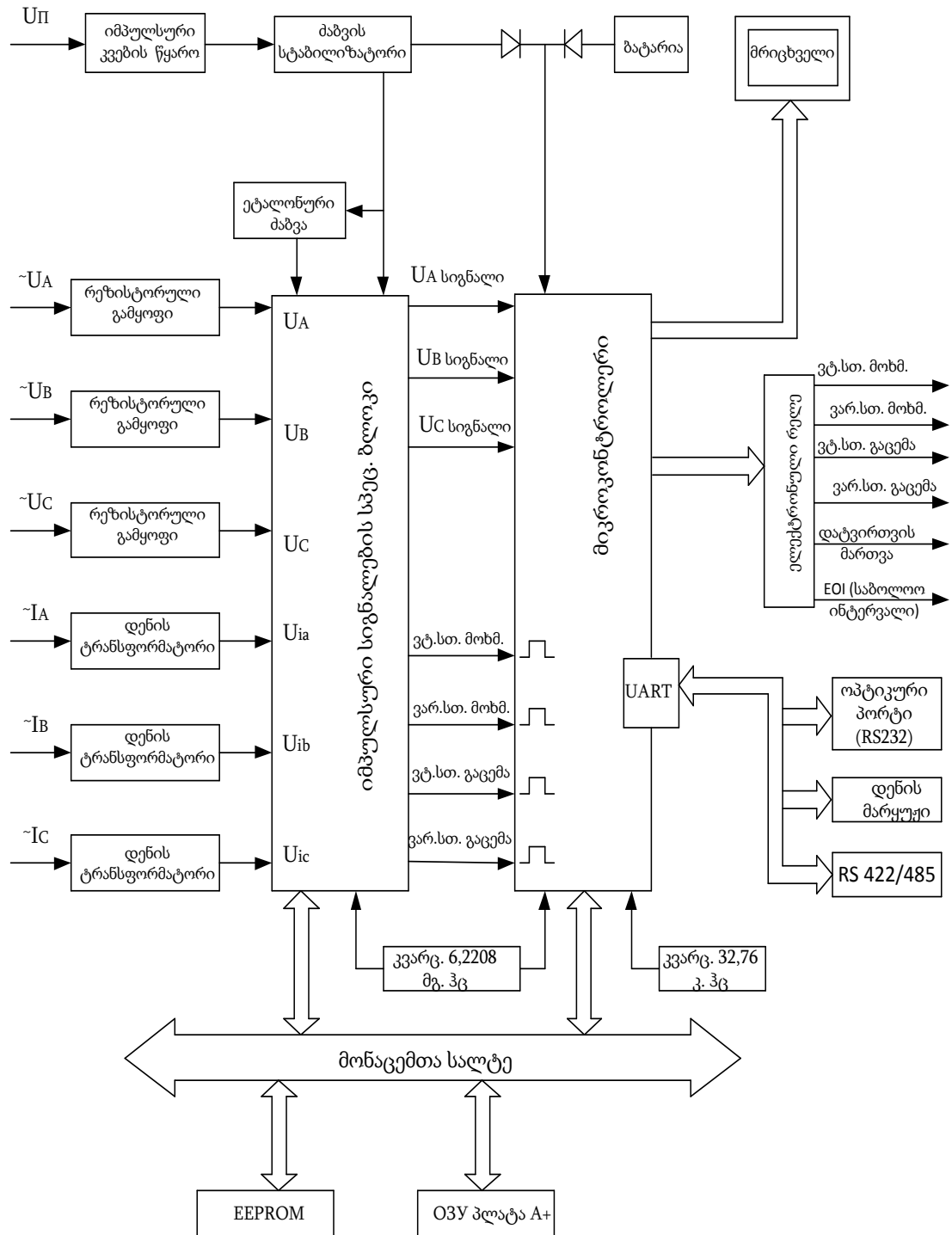
2.5. ელექტროენერჯის გაზომვა ელექტრონული მრიცხველებით

ელექტროენერჯის გაზომვა ელექტრონული მრიცხველებით დამყარებულია ცვლადი დენის და ძაბვის შემავალი ანალოგიური სიგნალების გარდაქმნასთან იმპულსების რიცხვით რაოდენობასთან ანუ კოდთან. ნახაზი 8-ზე მოცემულია სამელემენტიანი (დენის და ძაბვის სამსამი შემავალი არხი) ელექტრონული მრიცხველის სტრუქტურული სქემა.

ელექტრონული მრიცხველი შედგება დენის და ძაბვის გამზომი გადამცემებისაგან, იმპულსური სიგნალების სპეციალური ბლოკებისაგან (СБИС), მიკროკონტროლერისაგან, ციფრული სიგნალების ბლოკისაგან და ა.შ.

დენის და ძაბვის სიდიდეები წარმოადგენენ ანალოგიურ სიგნალებს (ამპერი, ვოლტი), რომლებიც გადამცემების საშუალებით მიეწოდება იმპულსურ ბლოკს, სადაც ხდება ანალოგიური სიგნალების გარდაქმნა იმპულსურ სიგნალებად, რომელთა რაოდენობა პროპორციულია ანალოგიური სიგნალების სიდიდის.

СВИС - პროგრამული სიგნალების ციფრულ პროცესორს (ЦСР), რომლის შემადგენლობაშია ანალოგიური ციფრული გარდამსახი (ЦП). მრიცხველის მიკროპროგრამული უზრუნველყოფა საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ელექტრონული მრიცხველის სხვადასხვა ვარიანტები აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის (ენერჯის) გასაზომად.



ნახაზი 8. ელექტრონული მრიცხველის სტრუქტურული სქემა

ამჟამად ფართოდა არის გამოყენებული „ა“ ტიპის ელექტრონული მრიცხველები. ასევე არსებობს EPQS ტიპის მრიცხველები, რომელიც აგებულია იდენტურია „ა“ ტიპის ელექტრონული მრიცხველის, მაგრამ განსხვავება არის ის, რომ მას დამატებით შეუძლია ელექტრული ქსელის ხარისხის პარამეტრების აღრიცხვა და შენახვა. პროგრამირება და მრიცხველების ჩვენებების ათვლა უზრუნველყოფილია ALPlus 100 დამკვეთით.

„ა“ A1R-4-AL-CB-T მრიცხველების სხვადასხვა მოდიფიკაციის აღნიშვნები:

A – მრიცხველის ტიპი „ა“;

1 - სიზუსტის კლასი 0,2S ან

2 - სიზუსტის კლასი 0,5S

R - ელექტრონული მრიცხველი, რომელიც ზომავს აქტიურ და რეაქტიულ ენერგიას და მაქსიმალურ სიმძლავრეს;

4 - სამელემენტური მრიცხველი;

3 - ორელემენტური მრიცხველი;

AL - პლატა ენერჯის და სიმძლავრის ორივე მიმართულებით გაზომვისთვის და გაზომვის მონაცემების შესანახად;

AO - პლატა, რომელიც გვამლევს საშუალებას გაიზომოს ენერჯია და სიმძლავრე ორივე მიმართულებით;

T - ტრანსფორმატორული შეერთებისთვის.

II - პირდაპირი შეერთება;

მრიცხველის ციფრული ინტერფეისები RS 422 და RS 485 გამოიყენებიან პირველ რიგში ელექტროენერჯის კომერციული აღრიცხვისას (საანგარიშსწორებო აღრიცხვა). „ა“ მრიცხველი საშუალებას იძლევა იმპულსური არხებით ჩავრთოთ იგი ინფორმაციის მიღების და გადაცემის სისტემებში (ACKYЭ). „ა“ მრიცხველის შეერთებით მრიცხველებისათვის $I_{\text{б}} = 1 (10)$ ამპერი; $I_{\text{б}} = 5 (10)$ ამპერი. ხელსაწყოს გადაცემათა რიცხვი:

$$K_{\text{б}} = 1000 \text{ იმპ/კვტ.სთ};$$

$$K_{\text{ფ}} = 10\ 000 \text{ იმპ/კვტ.სთ};$$

2.6. მრიცხველის მუდმივები და უკუკავშირები

მრიცხველის გამომავალი ფორმულა

$$K_{\text{ფ}} = K \cdot N \cdot T_{\text{ჯ}} \cdot T_{\text{გ}} / 500 \text{ იმპულსი - პერიოდი}$$

სადაც,

$K = 2/3$ - სამელემენტიანი მრიცხველისთვის;

$K = 1$ - ორელემენტიანი მრიცხველისთვის;

N - დენური ელემენტების რიცხვია;

$N = 3$ - სამელემენტიანი მრიცხველისთვის;

$N = 2$ - ორელემენტიანი მრიცხველისთვის;

$T_{\text{ჯ}} = 2,5 \text{ ა}$ - დენის ფიქსირებული მნიშვნელობა;

$T_{\text{გ}} = 120 \text{ გ}$ - ძაბვის ფიქსირებული მნიშვნელობა;

500 იმპულსი - პერიოდი მრიცხველის მუდმივა;

მრიცხველისთვის $I_{\text{ფ}} = 1$ (10) ამპერი; $I_{\text{ფ}} = 5$ (10) ამპერი; $K_{\text{ფ}} = 1,2$

ვტ.სთ/პერიოდი;

მრიცხველისთვის $I_{\text{ფ}} = 1$ (2) ამპერი; $K_{\text{ფ}} = 1,2$ ვტ.სთ/პერიოდი;

მრიცხველისთვის $I_{\text{ფ}} = 1$ (2) ამპერი; $K_{\text{ფ}} = 12$ ვტ.სთ/პერიოდი;

პირდაპირი ჩართვის მრიცხველისთვის $K_{\text{ფ}} = 12$ ვტ.სთ/პერიოდი;

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\frac{P}{R} = 24$ კოეფიციენტი, რომელიც

ითვალისწინებს იმპულსების რაოდენობას ერთ პერიოდში, მივიღებთ:

$$K_{\text{ფ}} = \frac{K_{\text{ფ}}}{\frac{P}{R}} = \frac{1,2}{24} = 0,05 \text{ ვტ.სთ/იმპულსი}, \text{ ანუ } K_{\text{ფ}} = 0,005 \text{ ვტ.სთ/პერიოდი} -$$

ტრანსფორმატორული შეერთების მრიცხველისათვის;

$$K_{\text{ფ}} = \frac{12}{24} = 0,5 \text{ ვტ.სთ/იმპულსი} - \text{პირდაპირი ჩართვის მრიცხველისათვის};$$

სიდიდე $K_{\text{ფ}}$ გამოიყენება დატვირთვის პროფილის იმპულსების რაოდენობის გადასაყვანად პირობით ერთეულებში. მაგალითად

ტრანსფორმატორული ჩართვის მრიცხველისთვის ($I_5 = 5$ ამპერი) იმპულსების რაოდენობა $n=1000$, 30 წუთიანი გასაშუალოებული ინტერვალისათვის, მაშინ სიმძლავრე ტოლია:

$$P = \frac{n \cdot 60}{30} K_{ფ} = 1000 \cdot 2 \cdot 0.05 = 100 \text{ ვატ}$$

მრიცხველის მუდმივა $K_{მრიცხ.}$ დაკავშირებულია კოეფიციენტთან შემდეგი სახით:

$$K_{მრიცხ.} = \frac{1}{2 \cdot K_{ფ}} = 10\,000 \text{ იმპ./ვტ} \cdot \text{სთ};$$

($K_{მრიცხ.} = 100\,000 \text{ იმპ./ვტ} \cdot \text{სთ}$) ტრანსფორმატორის ჩართვის

მრიცხველისათვის

პირდაპირი ჩართვის მრიცხველისათვის

$$K_{მრიცხ.} = \frac{1}{2 \cdot K_{ფ}} = 1\,000 \text{ იმპ./ვტ} \cdot \text{სთ};$$

მაღალი ძაბვის ცვლადი დენის წრედში ხშირად გამოიყენება სამსადენიანი სისტემა ნულოვანი სადენის გარეშე. შესაბამისად სიმძლავრის (ენერჯის) გასაზომად გამოიყენება სამი ვატმეტრი ან ორი ვატმეტრი არონის ჩართვის სქემით. ვატმეტრის პარალელური გრაგნილები ჩართულია ძაბვის ტრანსფორმატორების საშუალებით. ნახაზ 9-ზე მოცემულია ორელემენტური მრიცხველის ირიბი ჩართვის არონის სქემა. (ძაბვისა და დენის მზომი ტრანსფორმატორებით). ნახაზ 10-ზე მოცემულია ორელემენტური მრიცხველის ჩართვის არონის ნახევრად ირიბი სქემა (დენის მზომი ტრანსფორმატორებით).

A - ფაზაში ჩართული პირველი ვატმეტრის ჩვენება იქნება:

$$P_1 = I_1 \cdot U_{AB} \cos(30^\circ + \varphi) \quad (5)$$

C - ფაზაში ჩართული მეორე ვატმეტრის ჩვენება იქნება:

$$P_2 = I_2 \cdot U_{CB} \cos(30^\circ - \varphi) \quad (6)$$

სიმარტივისთვის დავუშვათ, რომ ქსელში ხაზური ძაბვები ერთმანეთის ტოლია:

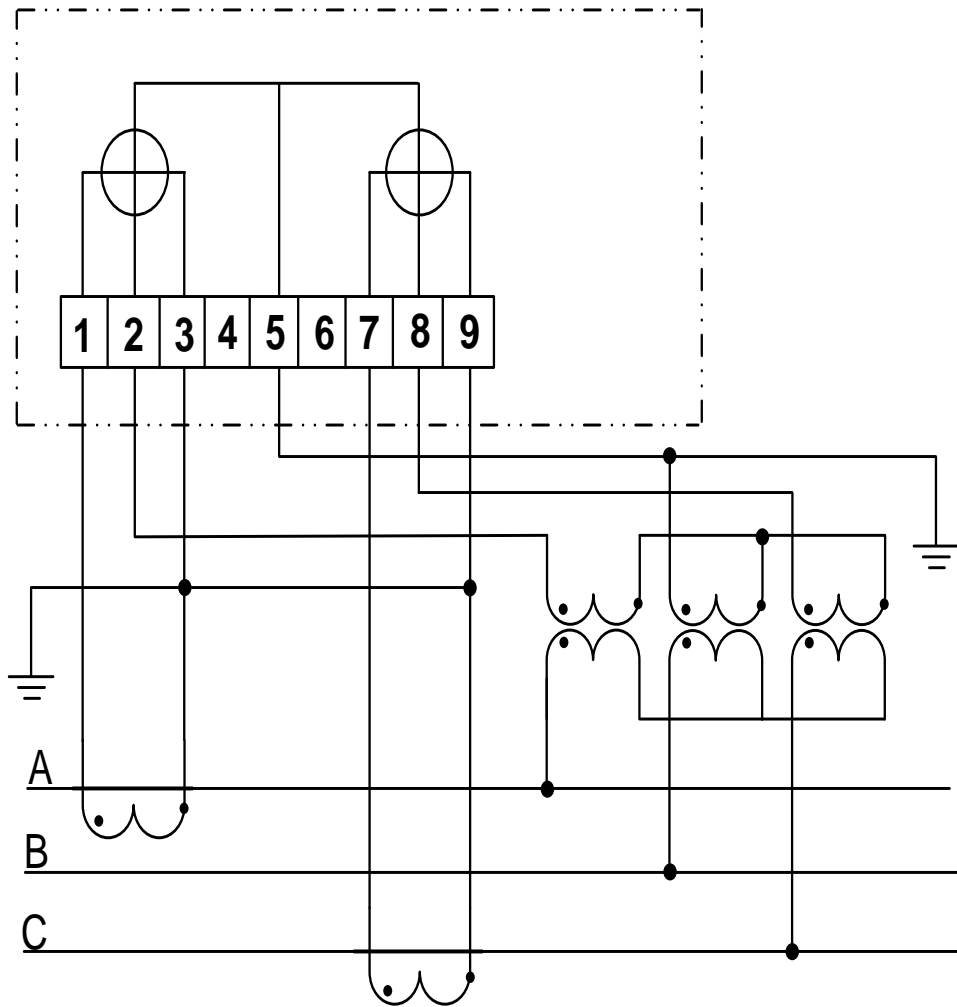
$$U_{AB} = U_{BC} = U_{ნაზ.}$$

ვატმეტრების ჩვენებების აჯამებით ვღებულობთ:

$$P_1 + P_2 = U_{\text{ხაზ}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} I_1 \cos \varphi_1 - \frac{1}{2} I_1 \sin \varphi_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} I_3 \cos \varphi_3 + \frac{1}{2} I_3 \sin \varphi_3 \right) \quad (7)$$

ცნობილია, რომ სამფაზა ქსელში სიმძლავრის მოქმედი მნიშვნელობა ტოლია:

$$P = \frac{U_{\text{ხაზ}}}{\sqrt{3}} (I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2 + I_3 \cos \varphi_3) \quad (8)$$



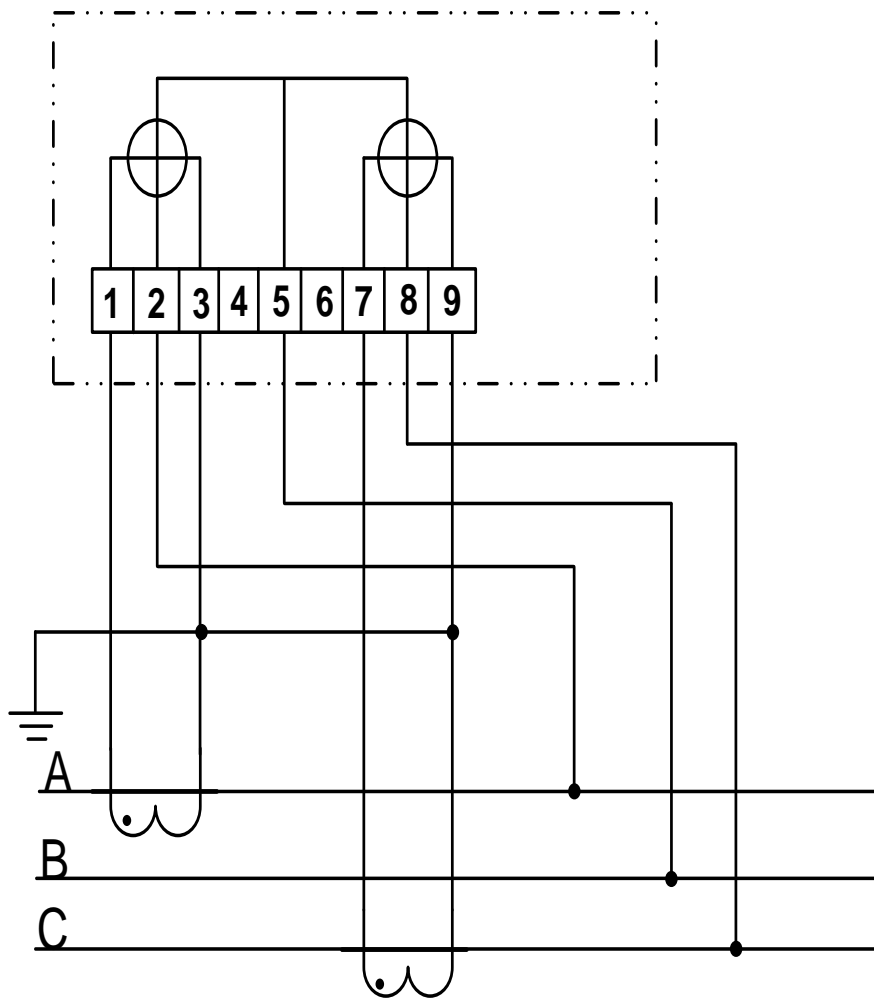
ნახაზი 9. ორელემენტური მრიცხველის ჩართვის ირიბი სქემა

სამფაზა ქსელში ნულოვანი სადენის გარეშე დენების გეომეტრიული ჯამი ნულის ტოლია. ეს ნიშნავს, რომ სამივე ფაზის დენების ჯამის პროექცია ნებისმიერ ღერძზე ასევე ნულის ტოლია:

$$I_2 \cos \varphi_2 - I_3 \cos(60^\circ - \varphi_3) - I_1 \cos(60^\circ + \varphi_1) = 0 \quad (9)$$

საიდანაც:

$$I_2 \cos \varphi_2 = \frac{1}{2} I_3 \cos \varphi_3 + \frac{\sqrt{3}}{2} I_3 \sin \varphi_3 + \frac{1}{2} I_1 \cos \varphi_1 - \frac{\sqrt{3}}{2} I_1 \sin \varphi_1 \quad (10)$$



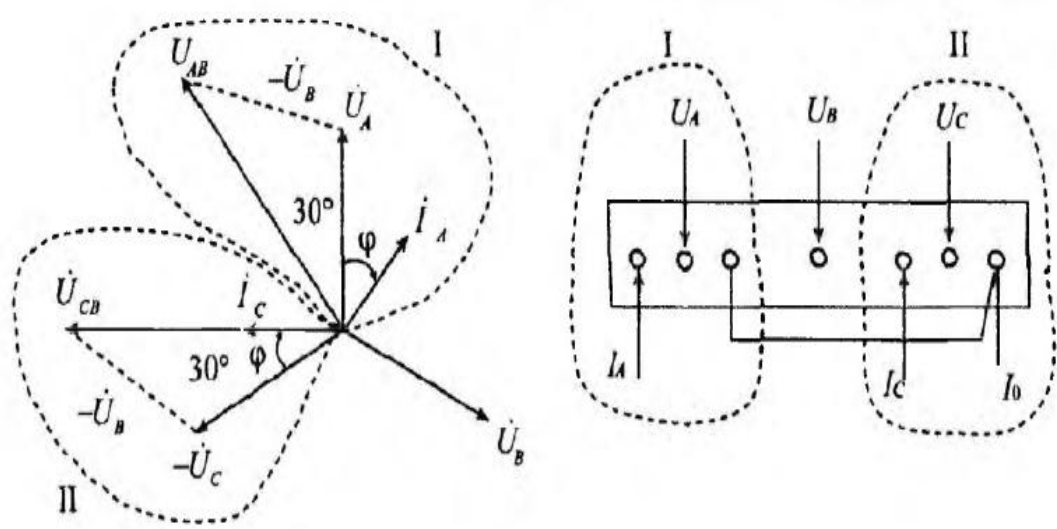
ნახაზი 10. ორელემენტია მრიცხველის ჩართვის ნახევრად ირიბი სქემა

(10) გამოსახულება $I_2 \cos \varphi_2$ სიდიდისთვის ჩავსვათ (8) გამოსახულებაში, მაშინ:

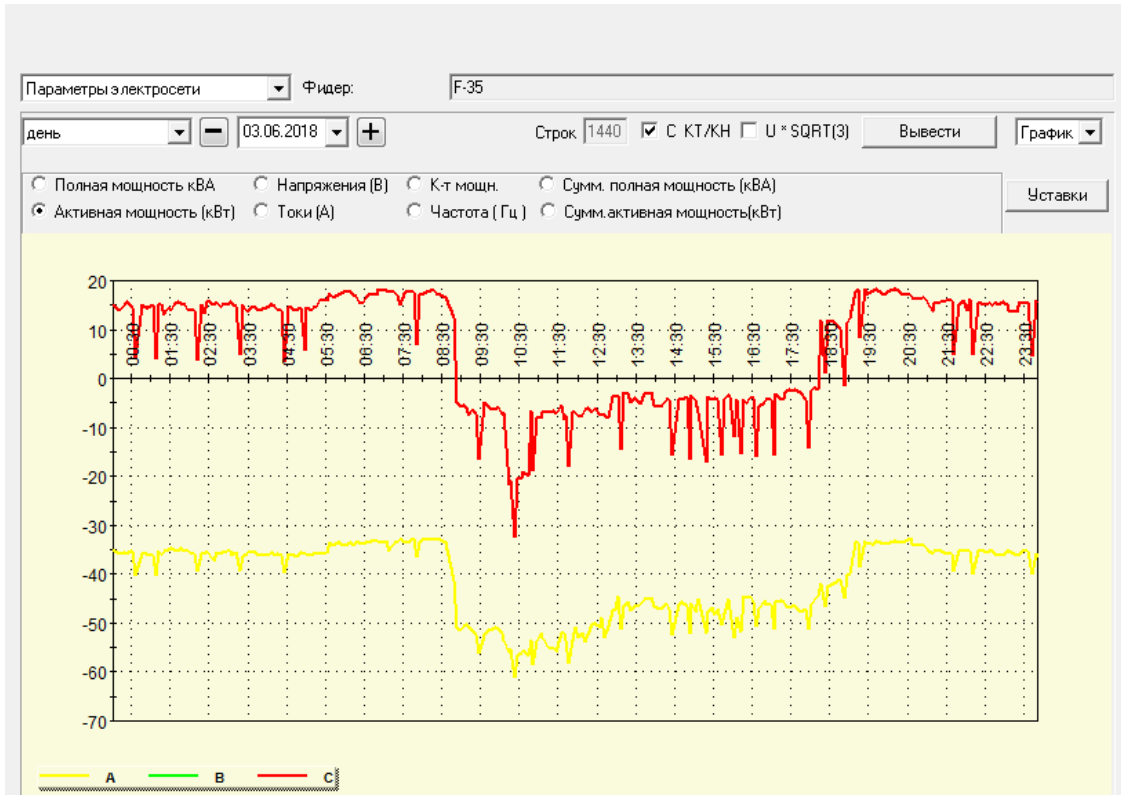
$$P = \frac{U_{\text{ბაზ.}}}{3} \left(I_1 \cos \varphi_1 + \frac{1}{2} I_3 \cos \varphi_3 + \frac{\sqrt{3}}{2} I_3 \sin \varphi_3 + \frac{1}{2} I_1 \cos \varphi_1 - \frac{\sqrt{3}}{2} I_1 \sin \varphi_1 + I_3 \cos \varphi_3 \right) = \frac{U_{\text{ბაზ.}}}{3} \left(\frac{3}{2} I_1 \cos \varphi_1 - \frac{\sqrt{3}}{2} I_1 \sin \varphi_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} I_2 \sin \varphi_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} I_3 \sin \varphi_3 \right) = U_{\text{ბაზ.}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} I_1 \cos \varphi_1 - \frac{1}{2} I_1 \cos \varphi_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} I_3 \cos \varphi_3 + \frac{1}{2} I_3 \sin \varphi_3 \right) \quad (11)$$

თუ შევადარებთ (7) და (11) გამოსახულებებს, ჩანს, რომ ქსელში სიმძლავრის მოქმედი მნიშვნელობა და ვატმეტრების ჩვენებების ჯამი

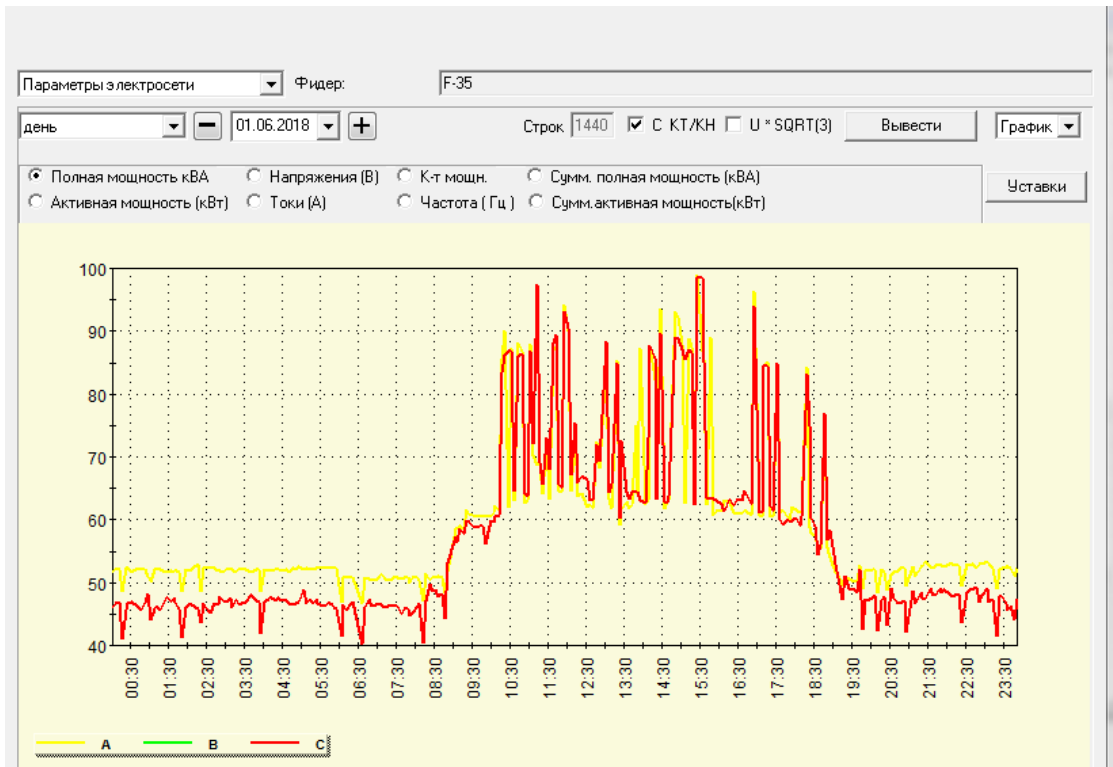
არონის სქემის მიხედვით ერთნაირია. ძაბვების სიმეტრია და დატვირთვების ერთნაირი ხასიათი აუცილებელი პირობაა.



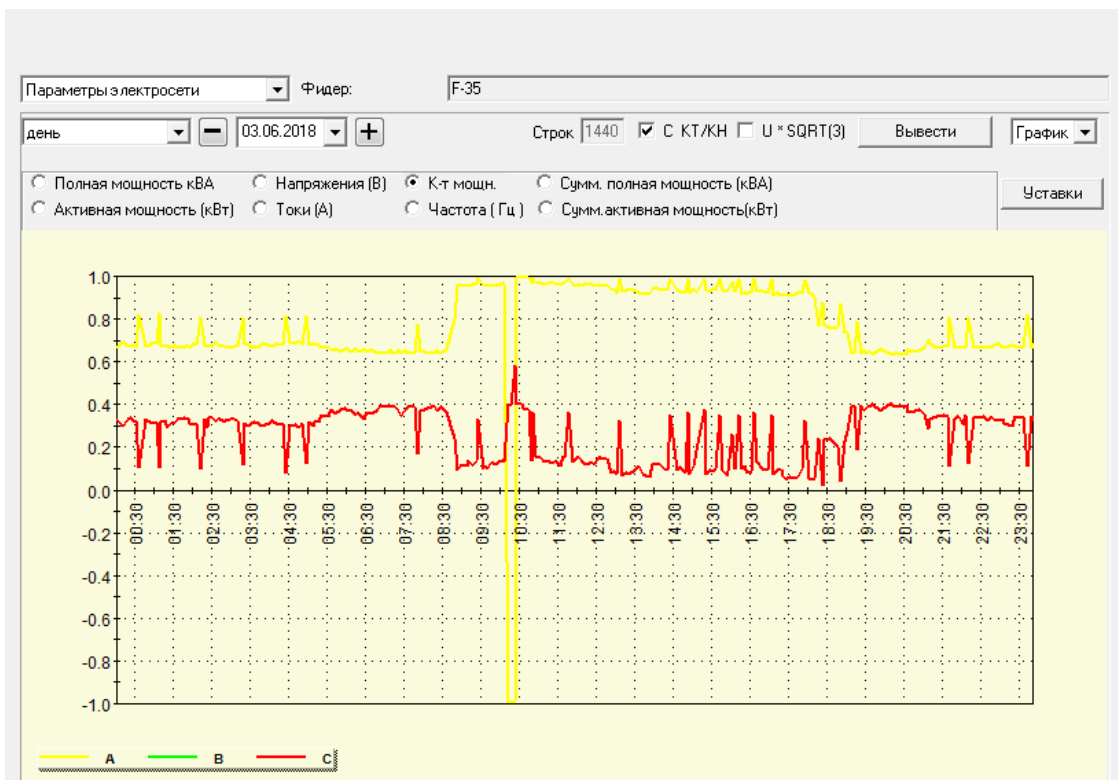
ნახაზი 11. ელექტროენერგიის ორელემენტანი მრიცხველის გაზომვის ვექტორული დიაგრამა



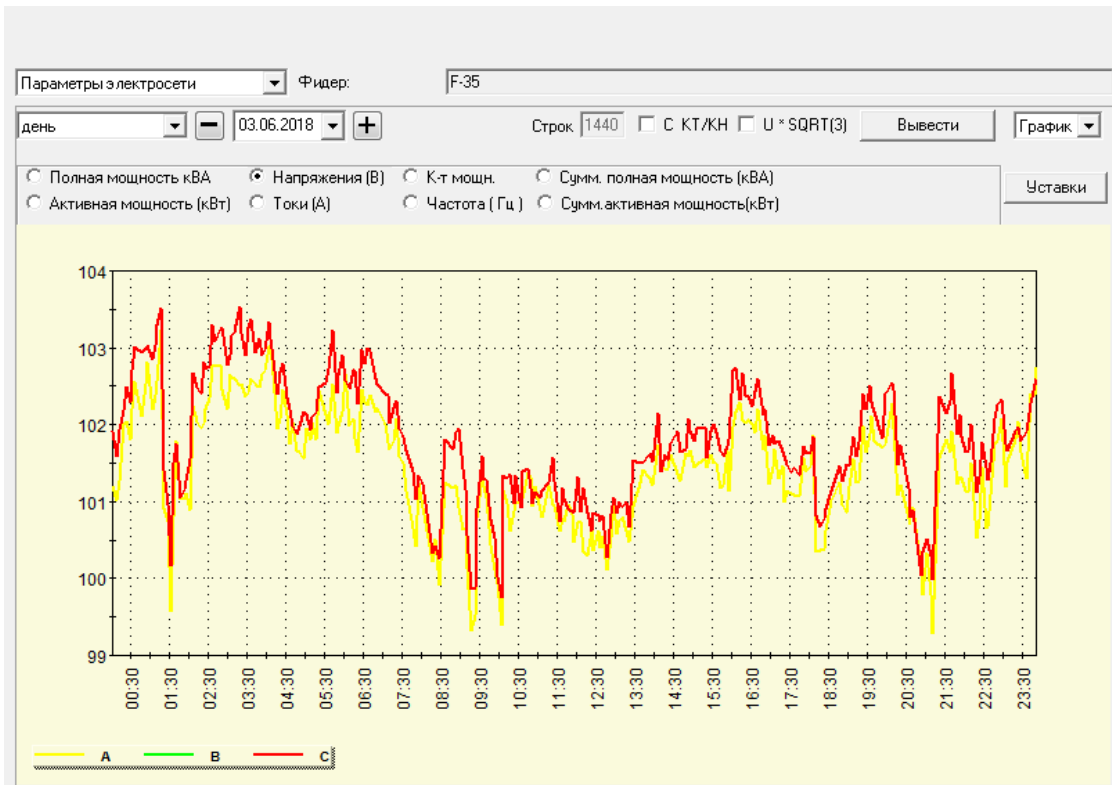
ნახაზი 12. აქტიური სიმძლავრის გრაფიკი



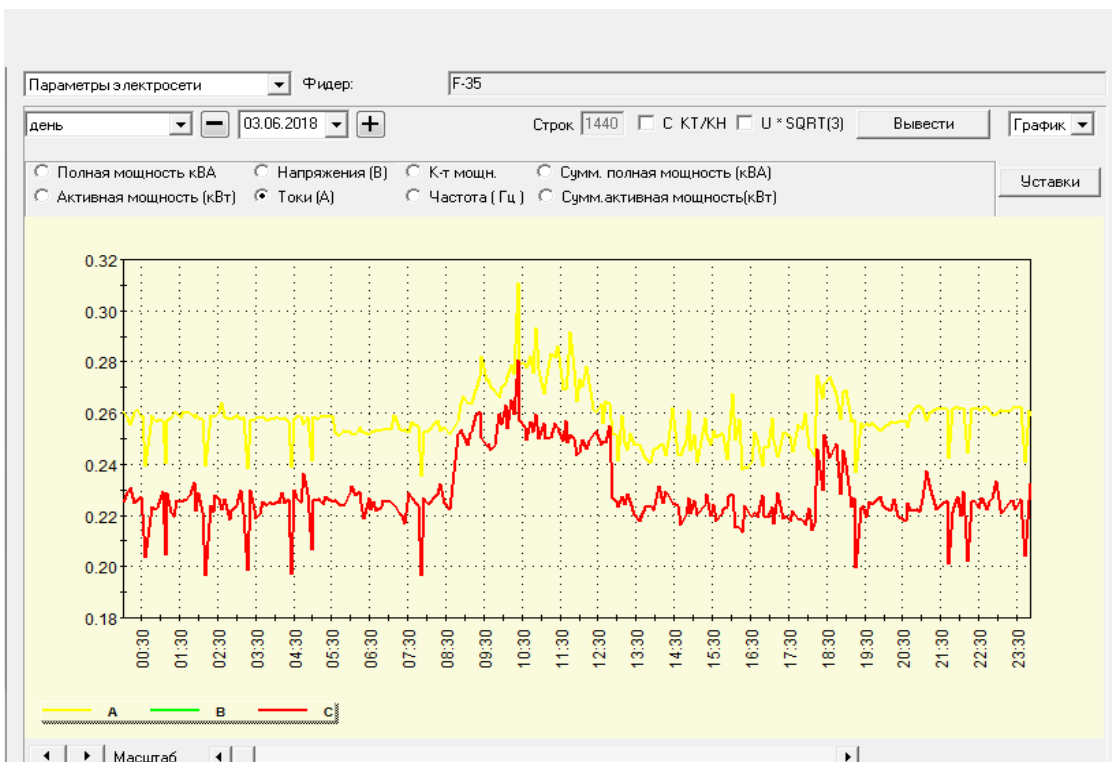
ნახაზი 13. სრული სიმბლავრის გრაფიკი



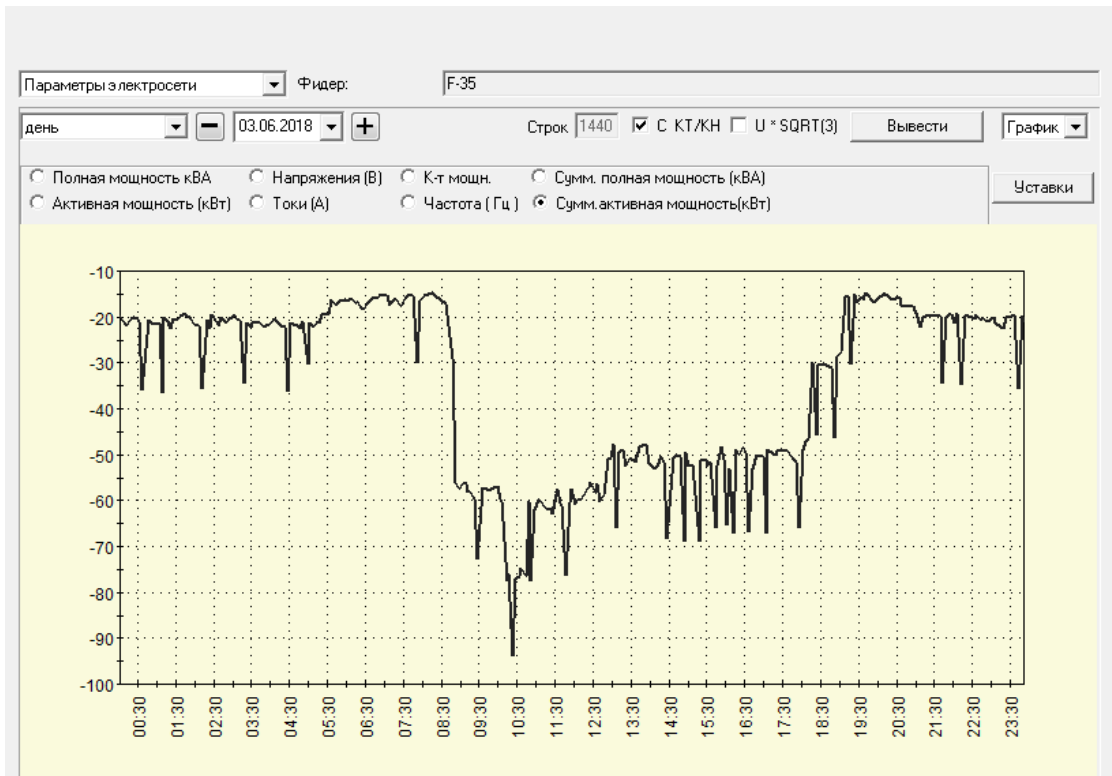
ნახაზი 14. აქტიური სიმბლავრის კოეფიციენტის გრაფიკი



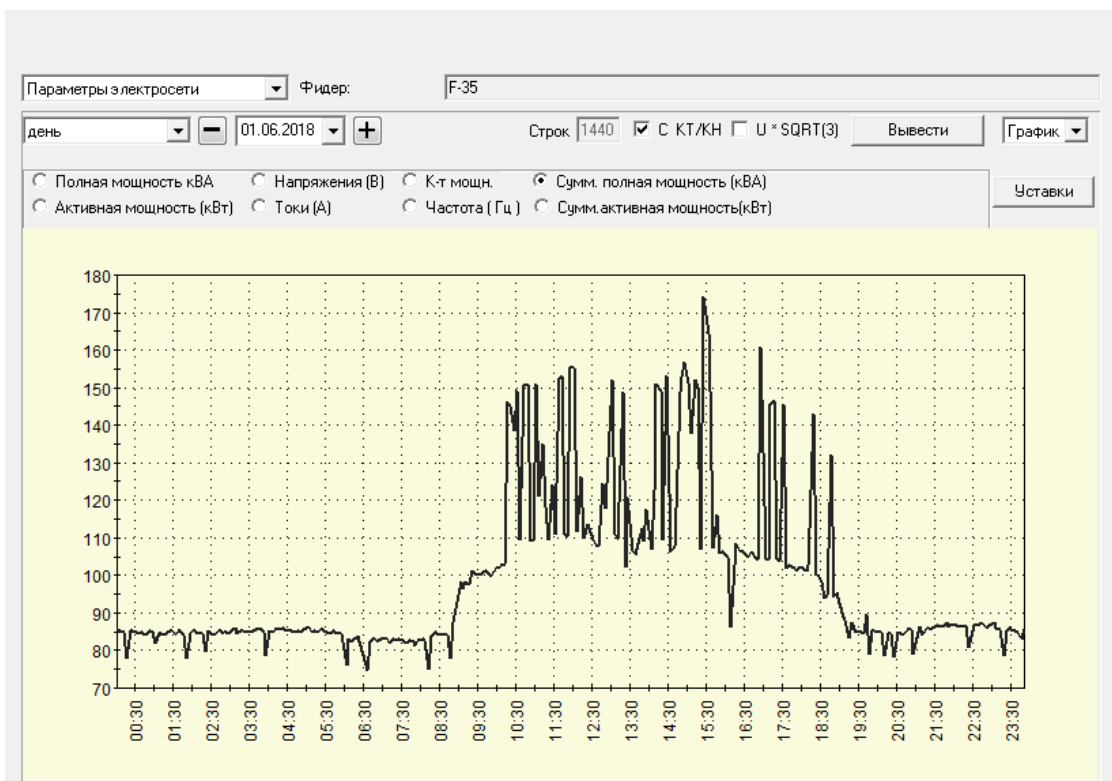
ნახაზი 15. ძაბვის გრაფიკი



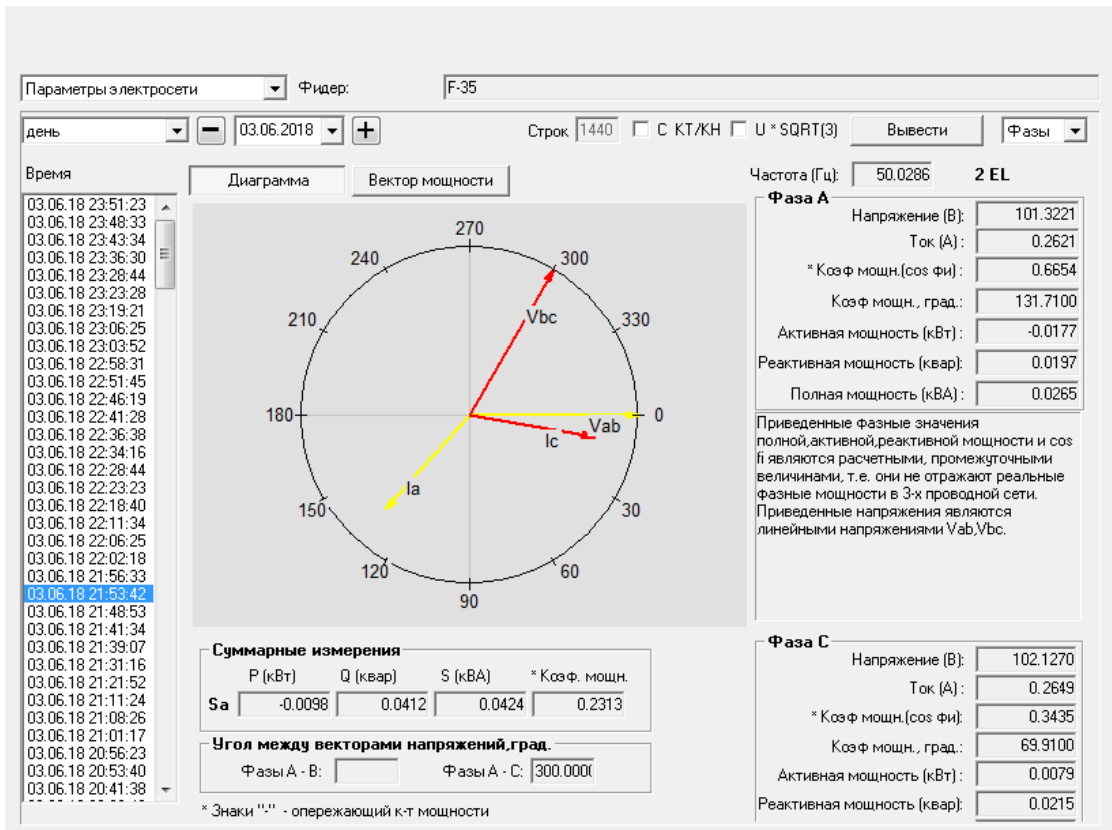
ნახაზი 16. დენის გრაფიკი



ნახაზი 17. ფაზების აქტიური სიმძლავრეების ჯამური გრაფიკი



ნახაზი 18. ფაზების სრული სიმძლავრეების ჯამური გრაფიკი



ნახაზი 19. ვექტორული დიაგრამა

ელექტროენერჯის გაზომვა ორელემენტის მრიცხველით განვიხილოთ ვექტორული დიაგრამის (ნახაზი 12) მიხედვით. ხაზური ძაბვები $U_{AB} = U_{CB} = 102$ ვოლტი, ხოლო დენები მნიშვნელობა არის $I_A = I_C = 0.26$ ამპერი, ფაზური ძვრის კუთხე $\varphi_1 = 103^\circ$, $\varphi_2 = 101^\circ$

მრიცხველის პირველი მზომი არხით იზომება აქტიური სიმძლავრე:

$$P_1 = U_{AB} \cdot I_A \cos(30^\circ + \varphi_1) = 102 \cdot 0.26 \cdot 0.7 = 18.6 \text{ ვატი} \quad (12)$$

მრიცხველის მეორე მზომი არხით იზომება აქტიური სიმძლავრე:

$$P_2 = U_{CB} \cdot I_C \cos(30^\circ - \varphi_2) = 102 \cdot 0.26 \cdot 0.35 = -9.2 \text{ ვატი} \quad (13)$$

აქტიური სიმძლავრე გაზომილი მრიცხველით იქნება:

$$P = P_1 + P_2 = 18.6 + (-9.2) = 9.4 \text{ ვატი} \quad (14)$$

მრიცხველის პირველ არხში I_A დენის ან U_A ძაბვის არ არსებობისას ელენერჯის გაზომვის აბსოლუტური ცდომილება δ_A შეადგენს 18.2 ვატს, ანუ - 66%-ს.

მრიცხველის მეორე არხში I_C დენის ან U_C არ არსებობისას ელენერგის გაზომვის აბსოლუტური ცდომილება δ_C შეადგენს 9.2 ვატს, ანუ - 33%-ს.

მრიცხველის B ფაზაში ძაბვის არ არსებობისას ელენერგის გაზომვის აბსოლუტური ცდომილება δ_B იქნება - 50%-ს.

სიმძლავრის კოეფიციენტის $\cos \varphi$ ცვლილებისას დიდ დიაპაზონში ადგილი აქვს სიმძლავრის (ენერგის) გაზომვის დიდ ცდომილებებს, სათანადოდ ელექტროენერგის აღრიცხვის ტიპური ინსტრუქციის (РД 34.09.101-94. Типовая инструкция по учету электроэнергии при её производстве, передаче и распределению – М.:СПООРГРЭС. 1995) მიხედვით რეკომენდირებულია სამელემენტური მრიცხველის გამოყენება

სამელემენტური მრიცხველების გამოყენება უზრუნველყოფენ მათ მუშაობას დასაშვები სიზუსტის კლასში, ქსელის მუშაობისას სხვადასხვა რეჟიმებში. დამიწებული B ფაზის მიერთება მრიცხველის შუა შემყვანთან, უზრუნველყოფს ძაბვის პირდაპირ (სწორ) თანმიმდევრობას და მიერთების სქემის შემოწმებას.

ელექტროენერგის აღრიცხვის გაზომვის კომპლექსის შემოწმებისათვის გასაზომია შემდეგი პარამეტრები:

$U_{AB}; U_{BC}; U_{AC}$ - ხაზური ძაბვები;

$U_{A0}; U_{B0}; U_{C0}$ - ფაზური ძაბვები;

დენები - $I_A; I_B; I_C; I_0$;

$\varphi_1; \varphi_2; \varphi_3$ - ფაზური ძვრის კუთხეები;

ორელემენტური მრიცხველი შეიძლება გამოყენებული იქნეს ელენერგის აღრიცხვის წრედში, როდესაც დატვირთვა აქტიურია. აქტიურ ინდუქციური დატვირთვის შემთხვევაში სიმძლავრის კოეფიციენტი უნდა იყოს $\cos \varphi > 0,5$ ასეთ შემთხვევაში ელ ენერგის ხარჯის აღრიცხვა სწორად ხდება. ამის ნათელი მაგალითია ელექტროსისტემის ერთ-ერთი ქვესადგურის 10 კვ-ის ფიდერის დატვირთვის დიაგრამები. იხილეთ ნახაზი 12; ნახაზი 13; ნახაზი 14 და ნახაზი 15; ამ დიაგრამებიდან ნათლად ჩანს,

რომ სიმძლავრის კოეფიციენტის $\cos \varphi < 0,5$ მნიშვნელობისას ადგილი აქ რეჟიმის შეცვლას „C“ ფაზაში. ელენერგის ხარჯის აღრიცხვა მრიცხველის მიერ სწორად არ ხდება და საჭიროა ელენერგის გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტის დადგენა.

ცხრილი 4 გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტების მნიშვნელობები

#	არასწორი შეერთების სახე	აქტიური ელექტროენერგის მრიცხველის ორელემენტური შეერთების სქემით (არონის სქემა)	აქტიური ელექტროენერგის მრიცხველის სამელემენტური შეერთების სქემით
1	A ფაზაში ძაბვა არ არის	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + tg\varphi}$	1.5
2	B ფაზაში ძაბვა არ არის	2	1.5
3	C ფაზაში ძაბვა არ არის	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - tg\varphi}$	1.5
4	A ფაზაში ძაბვა არ არის	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + tg\varphi}$	1.5
5	B ფაზაში დენი არ არის	2	1.5
6	C ფაზაში ძაბვა არ არის	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - tg\varphi}$	1.5
7	დენის უკუპოლარობა A ფაზაში	$\frac{\sqrt{3}}{tg\varphi}$	3
8	დენის უკუპოლარობა B ფაზაში	1	3
9	დენის უკუპოლარობა C ფაზაში	$-\frac{\sqrt{3}}{tg\varphi}$	3

მრიცხველის I სისტემის მოქმედების შედეგად სიმძლავრე:

$$P_A = U_{AB} \cdot I_A \cos(30^\circ - \varphi) \quad (15)$$

მრიცხველის II სისტემის მოქმედების შედეგად სიმძლავრე:

$$P_C = U_{CB} \cdot I_C \cos(30^\circ - \varphi) \quad (16)$$

ორივე სისტემის მოქმედების შედეგად მრიცხველის ჩვენება პროპორციულია სიმძლავრის:

$$P_{\text{მაქს.}} = P_1 + P_2 = 2 \cdot U_{\text{ნაწ.}} \cdot I_{\text{ფ.}} \cdot \cos(30^\circ - \varphi) \quad (17)$$

ქსელის ნამდვილი სიმძლავრე :

$$P = \sqrt{3} U_{\text{ნაწ.}} \cdot I_{\text{ფ.}} \cdot \cos \varphi \quad (18)$$

დატვირთვა შეერთებულია ვარსკვლავურად:

ელენერგის გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტი:

$$K_{\text{გად.}} = \frac{P}{P_{\text{მაქს.}}} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{ნაწ.}} \cdot I_{\text{ფ.}} \cdot \cos \varphi}{2 \cdot U_{\text{ნაწ.}} \cdot I_{\text{ფ.}} \cdot \cos(30^\circ - \varphi)} = \frac{\sqrt{3} \cos \varphi}{2 \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi + \frac{1}{2} \sin \varphi \right)} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} + \text{tg } \varphi} \quad (19)$$

საანგარიშო კოეფიციენტი ამ შემთხვევაში დამოკიდებულია $\text{tg } \varphi$.
საშუალო შეწონილი $\cos \varphi$ მნიშვნელობის დადგენის შემდეგ საბოლოოდ ელენერგის ხარჯი განისაზღვრება გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტით.

ცხრილი 3 მოცემულია გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტების მნიშვნელობები ორელემენტური მრიცხველის ჩართვის სქემის დაზიანების, არასწორი ჩართვის შემთხვევაში.

თავი 3. მეორადი დატვირთვის ქვედა ზღვრის საკითხი

ელენერგიის ავტომატიზირებული აღრიცხვის პროცესისას ინდუქციური მრიცხველის შეცვლა ელექტრონული მრიცხველით აუმჯობესებს დენის მზომი ტრანსფორმატორის მუშაობის რეჟიმს და აუმჯობესებს აღრიცხვის საერთო სიზუსტეს. მაგრამ ამ დრომდე არსებობს საწინააღმდეგო აზრიც, რომელიც ემყარება სათანადო GOCT-ებს, რაც გვაიძულებს უკან დავუბრუნდეთ განხილულ საკითხს.

3.1. ზოგი რამ ტერმინის თაობაზე

GOCT-ის თანახმად დენის ტრანსფორმატორების (TT) ერთ-ერთ ძირითად პარამეტრს წარმოადგენს მეორადი ნომინალური დატვირთვა $S_{250\text{მვ}}$ ვოლტ-ამპერებში (ვა). დასაშვებია მეორადი დატვირთვის $Z_{250\text{მვ}}$, აღნიშვნა ომებში (ომი) და განსაზღვრული ფორმულით $Z_{250\text{მვ}} = \frac{S_{250\text{მვ}}}{I_{250\text{მვ}}^2}$ (აღსანიშნავია, რომ წინა გამოშვების GOCT-ში (3) ზემოთ აღნიშნული აღნიშვნები მოყვანილია უკუმიმდევრობით). ნათელია, რომ თუ $S_{250\text{მვ}} = 5 \text{ ვა}$ და $I_{250\text{მვ}} = 5 \text{ ა}$, მაშინ $Z_{250\text{მვ}} = 0,2 \text{ ომი}$.

გამზომი დენის ტრანსფორმატორის რეალური მეორადი დატვირთვა S_2 (ან Z_2) დამოკიდებულია მზომი ხელსაწყოების დენური წრედების მოხმარებული სიმძლავრისაგან $S_{\text{ჩიპ}}$ (ან ინჰედანსისგან $Z_{\text{ჩიპ}}$), რომლებიც ჩართული არიან მიმდევრობით დენის ტრანსფორმატორის მეორად წრედებთან შემაერთებელი სადენებით (აქტიური სიმძლავრის $P_{\text{ჩიპ}}$, ან შემაერთებელი სადენების ჯამური აქტიური წინაღობების სიდიდის $Z_{\text{ჩიპ}}$ გათვალისწინებით, ანუ $S_2 = S_{\text{ჩიპ}} + P_{\text{ჩიპ}}$ ან $Z_2 = Z_{\text{ჩიპ}} + Z_{\text{ჩიპ}}$) და განისაზღვრება შესაბამისად როგორც % მეორადი ნომინალური დატვირთვისაგან, მაგალითად $S_2 = 50\% \cdot S_{250\text{მვ}}$ ან $Z_2 = 50\% \cdot Z_{250\text{მვ}}$. რეალური მეორადი დატვირთვა შეიძლება იყოს ნომინალურზე ნაკლები ან მეტი. ამისგან

დამოკიდებულებით იცვლება დ.ტ. მუშაობის რეჟიმი და მისი მეტროლოგიური მახასიათებლები, რეალური დენური და კუთხური ცდომილებები.

მნიშვნელოვნად აღსანიშნავია, რომ დ.ტ-ის რეალური მეორადი დატვირთვის შემცირება როდესაც მოცემულია ნომინალური მეორადი დატვირთვა და ნომინალური მეორადი დენი დამოკიდებულია პირველ როგში შესაერთებელი გამზომი ხელსაწყოების მოხმარებული სიმძლავრის სიდიდის შემცირებაზე, მათი დენური წრედების იმპედანსის Z_2 არა გაზრდაზე არამედ შემცირებაზე $Z_2 \cdot I_2^2 = S_2$, სადაც დენი I_2 გაზომვის სათანადო დიაპაზონში არ არის დამოკიდებული Z_2 -ზე, ანუ TT-ის მეორადი გრანული მოქმედებს როგორც დენის გენერატორი). ასეთი გაგება განსხვავებულია მკვებავი ქსელის დატვირთვის საერთო გაგებისაგან, რომლის შემცირება დამოკიდებულია ჩართული ელმოწყობილობების მოხმარებული სიმძლავრის შემცირებაზე, მაგრამ არა მისგან დამოკიდებულებით, არამედ პირიქით მისი იმპედანსის გაზრდა და შესაბამისად მოხმარებული დენის შემცირებაზე. ასეთ შემთხვევაში მკვებავი ქსელი გამოდის არა როგორც დენის გენერატორი, არამედ როგორც ძაბვის გენერატორი.

ყურადღება უნდა მიექცეს დ.ტ-ის ქვედა ზღვრის იმ შეზღუდვებს, რომლებიც მოყვანილია FOCT-ებში (2; 3). დასმულმა შეკითხვებმა გვაიძულა დავუბრუნდეთ თითქოს უკვე დახურულ (1) თემას.

რას ამტკიცებს FOCT სინამდვილეში?

3.2. FOCT-ი და მისი აღთქმა (განხილვა)

FOCT-ის (3) 3, 4 თავებში (მეტროლოგიური მახასიათებლები) №3 ცხრილში მითითებულია დ.ტ-ის მეორადი სადენების დასაშვები ცდომილებათა ზღვარი, როდესაც მუშა პირობებში სხვადასხვა კლასის

ტრანსფორმატორებისათვის: 0.1-დან 10, თანაც 0.1-1 კლასია სიზუსტისას მითითებულია მეორად დატვირთვის ზღვარი (25 – 100)%, ხოლო ნომინალურის (50 – 100)%-ია. შემდგომ 3.4.2 პუნქტში რეგლამენტირებულია, რომ დ.ტ. ნომინალური მეორადი დატვირთვით 60 ვა და უფრო მეტი მეორადი დატვირთვის ქვედა ზღვარი შესაბამისად არის - 0.8; 1.25; 1.5; 1.75; 3.75 და 3.75 ვა. დოკუმენტში სხვა რამ მეორადი დატვირთვის თაობაზე არ არის მოცემული.

დენის ტრანსფორმატორის მეორადი დატვირთვისთვის აღნიშნული ნიუანსი წარმოადგენს ფსიქოლოგიურს, რომელიც ხსნის თუ რატომ იწვევს ინდუქციური მრიცხველების შეცვლა ელექტრონულზე ზოგი ენერგეტიკოსების აზრით დენის ტრანსფორმატორების რეჟიმების გაუარესებას. მათ ინტუიციურად ეჩვენებათ რომ, მრიცხველთა ასეთი შეცვლა იწვევს ელექტრონული მრიცხველების დენური წრედების ინჰენდანსის ზრდას, თუმცა სინამდვილეში საქმე პირიქითაა.

3.3. აზრთა სხვადასხვაობა

ინდუქციური მრიცხველის შეცვლა ელექტრონულით და მათი გავლენა TT-ის მუშაობის რეჟიმზე განხილულია (4)-ში, სადაც კერძოდ აღნიშნულია: „ამჟამად მრავალ ენერგოსისტემებში ინდუქციურ მრიცხველებს ცვლიან უფრო ზუსტი ელექტრონულით, მაგრამ ამ დროს არ არის გათვალისწინებული, რომ ელექტრონული მრიცხველების სიმძლავრე გაცილებით ნაკლები სიდიდისაა ვიდრე ინდუქციურების. ასეთი შეცვლისას თუ არ იქნება გათვალისწინებული TT-ის მეორადი ნომინალური დატვირთვები უფრო ზუსტი მრიცხველების გამოყენებამდე შეიძლება გამოიწვიოს უფრო არა ზუსტი გაზომვები, არამედ გამოიწვიოს გაზომვების ხარისხის შემცირება და შესაბამისად დანაკარგების გაზრდა“.

პასუხი ამ შეკითხვაზე დღემდე არ არის მიღებული.

FOCT-ში (2) რომელმაც შეცვალა ზემოთაღნიშნული მეტროლოგიური მახასიათებლების განყოფილებაში (განყოფილება 6.4) ცხრილში №8 მოყვანილია ანალოგიური მოთხოვნები, ხოლო 6.4.2 პუნქტში დამტკიცებულია, რომ დენის ტრანსფორმატორებისათვის ნომინალური მეორადი დატვირთვით 1; 2; 2.5; 5 და 10 ვა მეორადი დატვირთვის ქვედა ზღვარი შესაბამისად - 0.8; 1.25; 1.5; 1.75; 3.75 და 3.75 ვა-ია.

ზოგიერთი ენერგეტიკოსები მითითებულ შეზღუდვებს დებულობენ, როგორც მოთხოვნას დ.ტ-ის ექსპლუატაციისას, მეორადი დატვირთვის ქვედა ზღვარი არ შეიძლება იყოს ნომინალურის 25% ნაკლები (დ.ტ-ის სიზუსტის კლასით 0.1 – 1) ან 50% (დ.ტ-ის სიზუსტის კლასით 3 – 10). თუ მივყვებით მათ ლოგიკას იგულისხმება, რომ თუ იცვლება ინდუქციური მრიცხველი ელექტრონულით რეალური მეორადი დატვირთვა ნომინალურის 25% ნაკლები ხდება (სინამდვილეში დატვირთვა მცირდება არა მეთავე პროცენტით, არამედ რამოდენიმეჯერ), საჭიროა შეიცვალოს დენის ტრანსფორმატორი უფრო მეტი მეორადი დატვირთვის მქონე ტრანსფორმატორით ამით კი უარესდება აღრიცხვის სიზუსტე.

მეორეს მხრივ მოყვანილი დოკუმენტებიდან გამომდინარეობს, რომ ლაპარაკია დ.ტ შემოწმების პირობებზე და არა საექსპლუატაციო მოთხოვნებზე. დ.ტ-ების გასინჯვა მეორად დატვირთვის ნომინალურის 25% ნაკლებზე აზრს მოკლებულია, რადგანაც ასეთი რეჟიმით მივდივართ მის იდეალურ მუშაობის რეჟიმთან (მოკლე ჩართვის რეჟიმთან). ამით არის გამოწვეული FOCT-ის მიერ შეზღუდული შემოწმების პირობები ნომინალურის 25 – 100%. უფრო კრიტიკულის ცდომილების სიდიდიდან გამომდინარე წარმოადგენს სხვა დიაპაზონი მეორადი დატვირთვის 100% ნომინალურზე მეტი. რეალურად ტრანსფორმატორები მუშაობენ უფრო ხშირად ასეთ რეჟიმებში ტექნოლოგიური ხასიათის დატვირთვების გამო.

სამუშაოში მოცემულია ცხრილები და გრაფიკები დ.ტ-ების დენური და კუთხური ცდომილებების თაობაზე სხვადასხვა მეორადი დატვირთვების სხვადასხვა სიდიდეებისათვის, მათ შორის ნულთან ახლოს

დატვირთვებისას. ყველა ეს მოყვანილი მასალა ამტკიცებს რომ დ.ტ მეორადი გრაფნილის ნულოვანი დატვირთვებისას არ წარმოიშვება. მნიშვნელოვანი დამატებითი ცდომილებები და ყველა ეს ცდომილებები რჩებიან დ.ტ-ის კლასიდან გამომდინარე დასაშვებ ცდომილების ფარგლებში. რაც შეეხება TT-ის მუშაობას, როდესაც მეორადი დატვირთვა ნომინალურზე მეტია მაგალითად 120% მეტი სიდიდეებისას აჩვენებს, რომ ყველა ტრანსფორმატორის ცდომილებები მკვეთრად (სხვადასხვა სიდიდეებით) იზრდებიან.

დენის ტრანსფორმატორის 0,2 და 0,5 კლასებს შორის სხვაობა შეადგენს 2-ს. ადვილად არის დასათვლელი ელექტროენერჯის ყიდვისას რა სიდიდის იქნება მისი აღურიცხაობა თუ დენის ტრანსფორმატორის სიზუსტის კლასი სწორად არ იქნება შერჩეული. ამჟამად ნორმირებული ცდომილების ზღვარი დენის ტრანსფორმატორებისათვის, რომელთა სიზუსტის კლასია 0,5 ნომინალური დენის 5%-ისას, ცდომილების ქვედა ზღვრის ნორმირებული სიდიდე შეადგენს 1,5%-ს, ხოლო დენის ტრანსფორმატორისთვის სიზუსტის კლასით 0,5S ორჯერ ნაკლებს - 0,75%-ს. ძაბვის ტრანსფორმატორთან და მრიცხველთან ერთობლიობაში მზომი არხის საერთო ცდომილებამ შეიძლება შეადგინოს $2,5 \div 3\%$.

დენის ტრანსფორმატორის გაზომვის სიზუსტემ: 0,5 კლასის დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებაა მისი მაგნიტური სისტემის გაჟღენთვის პირობებში არ შეესაბამება 0,5 სიზუსტის კლასს. მაგნიტური სისტემის დამაგნიტება განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს დენის ტრანსფორმატორის პირველადი დენების მცირე სიდიდეების სფეროში (ნომინალური დენის 20%). დენის ტრანსფორმატორების მუშაობისას პირველადი ნომინალური დენის 100 – 120% და მეორადი ნომინალური დატვირთვისას მაგნიტური სისტემის განმაგნიტების დრო შეადგენს დაახლოებით 30წთ-ს. დენის ტრანსფორმატორებისათვის 10 კვ ძაბვაზე მუშაობისას, როდესაც პირველადი დენის სიდიდე შეადგენს ნომინალურის 50%-ს დენური ცდომილება დაახლოებით 10 წთ-ში მკვეთრად მცირდება, რის პროცესი

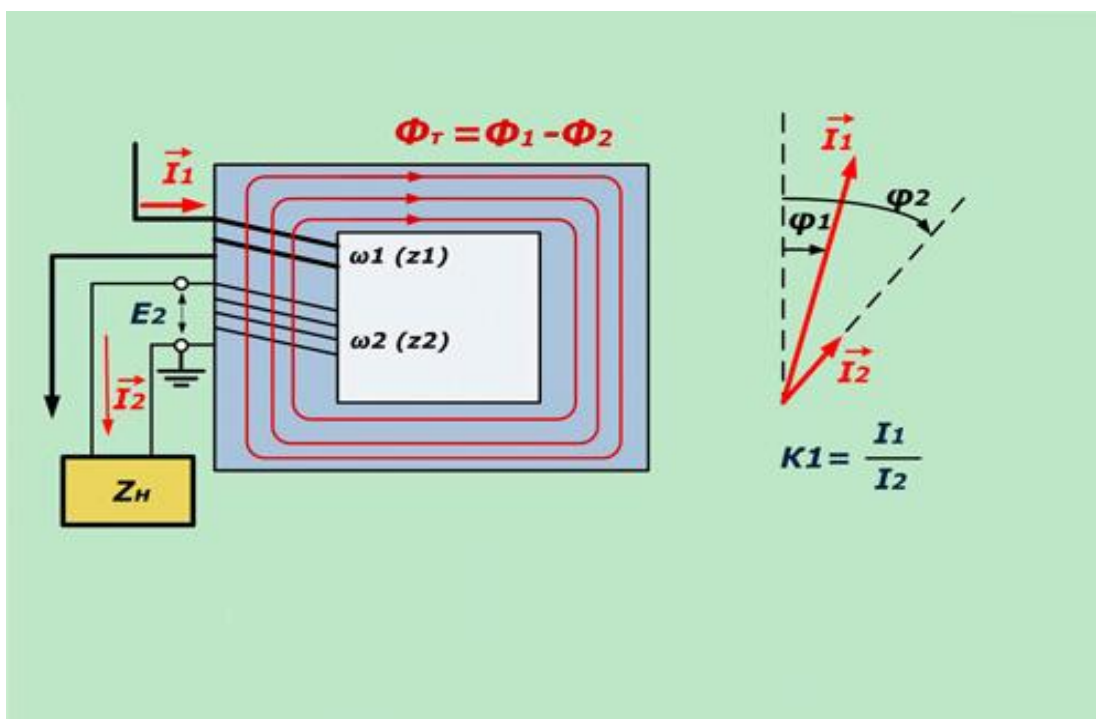
ნელდება და შემდგომ ცდომილება დროში ნელ-ნელა მცირდება და პირველად სიდიდეს უბრუნდება დაახლოებით 3 სთ-ში. დენის ტრანსფორმატორებისათვის 10 კვ ძაბვაზე პირველადი დენებისთვის 5% და 20% მნიშვნელობისას განმაგნიტება არ ხდება და ცდომილება იწყებს აღდგენას 8სთ-ის განმავლობაში.

ელექტროტექნიკური ფოლადით შესრულებული დენის ტრანსფორმატორების შეცვლა 0,5 S და 0,2 S კლასის დენის ტრანსფორმატორებით, რომელთა მაგნიტური გამტარი ამორფული შენადნობის მასალითაა დამზადებული გაზომვის ცდომილება პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული პირველად დენზე და მოკლედ შერთვის დენებზე პირველად წრედში.

დენის ტრანსფორმატორებისათვის მეორადი ნომინალური დატვირთვებისას 1; 2; 2,5; 3; 5 და 10 ვა მეორადი დატვირთვის ზღვარი შეადგენს 0,8; 1,25; 1,5; 1,75; 3,75 და 3,75ვა.

თავი 4. დენის ტრანსფორმატორი

დენის ტრანსფორმატორები წარმოადგენენ ელექტრულ აპარატებს, რომელთა დანიშნულებაა შეამცირონ დანადგარის პირველადი დენი სიდიდემდე, რომლის გაზომვა შესაძლებელია სტანდარტული მზომი ხელსაწყოებით. გარდა ამისა, დენის ტრანსფორმატორი ელექტრულად ანცალკევებს გაზომვის წრედებს პირველადი, მაღალი ძაბვის წრედისაგან, რაც უზრუნველყოფს მომსახურე პერსონალის უსაფრთხოებას.



ნახაზი 20. დენის ტრანსფორმატორის პრინციპიალური სქემა

4.1. დენის ტრანსფორმატორის ცდომილება

რეალურად დენის ტრანსფორმატორის იდეალურად მუშაობა შეუძლებელია დამაგნიტების დენის არსებობის გამო:

$$\tilde{I}_1 = -\left(\tilde{I}_2 \frac{w_2}{w_1} + \tilde{I}_0\right) \quad (1)$$

სადაც \tilde{I}_0 დამაგნიტების დენია.

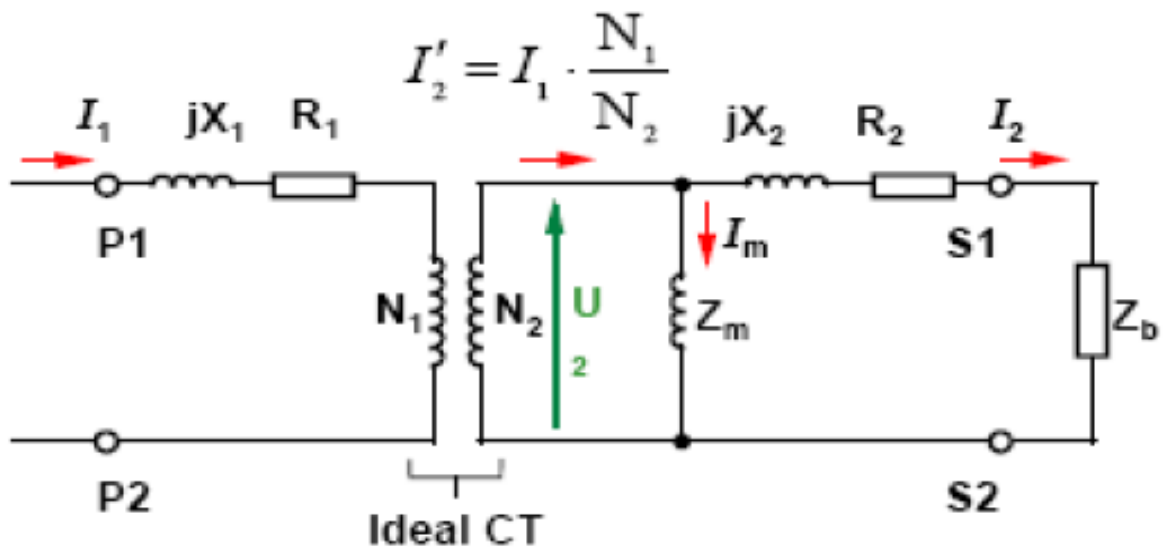
როგორც (1) გამოსახულებიდან ჩანს, დამაგნიტების დენის არსებობის გამო, $\tilde{I}_2 K_{ფტ}$ -ის მნიშვნელობა რამდენადმე განსხვავდება პირველად გრაგნილში გამავალი დენის სიდიდისგან, როგორც მოდულით, ასევე ფაზით. $\tilde{I}_2 K_{ფტ}$ და \tilde{I}_1 დენების სკალარულ სხვაობას დენურ ცდომილებას უწოდებენ:

$$\Delta I = \tilde{I}_2 K_{ფტ} - I_1 \quad (2)$$

ეს ცდომილება გამოსახული პროცენტებში იქნება:

$$\Delta I\% = \frac{\tilde{I}_2 K_{ფტ} - I_1}{I_1} \cdot 100\% \quad (3)$$

დენის ტრანსფორმატორის ცდომილება შეიძლება გაანგარიშებულეული იქნას ჩანაცვლების სქემიდან (ნახაზი 21). პირველად და მეორეულ გრაგნილებს შორის არსებული მაგნიტური კავშირი შეცვლილია ელექტრული კავშირით და მეორეული გრაგნილის ყველა სიდიდე დაყვანილია პირველად გრაგნილზე ხვიური ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის მეშვეობით:



ნახაზი 21. დენის ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების სქემა

ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, რომ I_0 დენის არსებობის გამო დენის ტრანსფორმატორის დაყვანილი მეორეული I'_2 დენი ნაკლების გამოდის I_1 პირველად დენზე ΔI სიდიდით და დაძრულია მისგან δ კუთხით.[10] δ კუთხე ძალიან მცირე სიდიდისაა და ამიტომ ΔI შეგვიძლია გამოვთვალოთ I_1 და I'_2 დენების არითმეტიკული სხვაობით. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ მას დენურ ცდომილებას უწოდებენ. იგი გვიჩვენებს, მეორეული დენის დაყვანილი მნიშვნელობის განსხვავებას პირველად დენთან შედარებით. ვექტორული დიაგრამის საფუძველზე შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\Delta I\% = \frac{I'_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\% \quad (4)$$

$$\Delta I\% = \frac{OC - OA}{OA} \cdot 100\% \quad (5)$$

ვინაიდან კუთხე პირველად და მეორედ დენებს შორის მცირეა, (რამოდენიმე მეასედი გრადუსი), მონაკვეთი $OC - OA$ შეიძლება შევცვალოთ მონაკვეთით BC -თი, რომელიც, თავის მხრივ $BC = I_0 \sin(\alpha + \psi)$. მაშასადამე, დენური ცდომილება ტოლია:

$$\Delta I\% = \frac{I_0 \sin(\alpha + \psi)}{I_1} \cdot 100\% \quad (6)$$

კუთხე δ -ს უწოდებენ დენის ტრანსფორმატორის კუთხურ ცდომილებას, რომელიც გვიჩვენებს თუ რამდენად არის დაძრული ფაქტიური მეორეული დაყვანილი I'_2 დენი ფაქტიური I_1 -ის მიმართ. იგი დადებითია, როდესაც მეორადი დენის ვექტორი წინ უსწრებს პირველადი დენის ვექტორს. δ გამოისახება რადიანებში ან წუთებში. ვექტორული დიაგრამიდან:

$$\delta = \frac{BA}{OA} = \frac{I_0 \cos(\alpha + \psi)}{I_1} \quad (7)$$

როგორც ვხედავთ, ორივე ცდომილება მით ნაკლებია, რაც უფრო მცირეა დამაგნიტების I_0 დენი, ანუ რაც რაც უფრო დიდი კვეთის და მაღალი ხარისხისაა გულარა. დენის ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილზე მიერთებული ხელსაწყოები ზრდიან δ კუთხეს და ამით

ზრდიან დენურ ცდომილებას. ამიტომ მიერთებული ხელსაწყოების ჯამური წინალობა არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებს.

ცდომილების განმსაზღვრელი ფორმულიდან ჩანს, რომ ΔI სიდიდე დამოკიდებულია დამაგნიტების დენის, Ψ და α კუთხის სიდიდეზე. ეს კუთხეები კი განპირობებულია მეორეული გრაგნილის დატვირთვის წინალობით და გულარაში აქტიური დანაკარგებით. რაც უფრო მცირეა დამაგნიტების დენი, მით უფრო მცირეა დენური და კუთხური ცდომილებები.

4.2. ტრანსფორმატორის ცდომილების დამოკიდებულება პირველად დენზე

ეს დამოკიდებულება შეგვიძლია შევაფასოთ დამაგნიტების მრუდის $B(H)$ დახმარებით (ნახაზი 19)

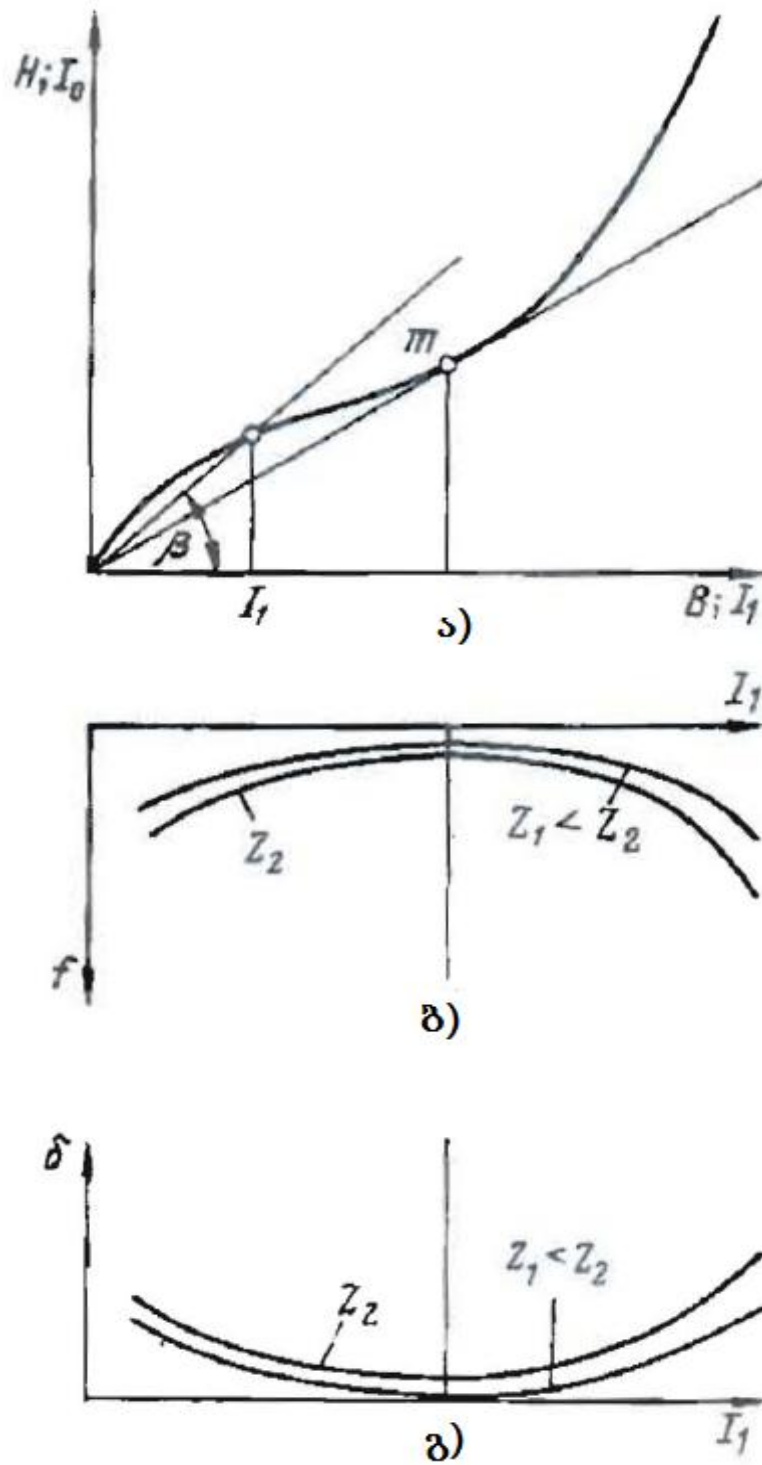
მოცემული დატვირთვისას მაგნიტოგამტარში ინდუქცია B პირდაპირპროპორციულია პირველადი დენის სიდიდის, ხოლო მაგნიტური ველის დამაბულობა H პროპორციულია დამაგნიტების დენის.

გარკვეული სიდიდის დენის I_1 - ის დროს ცდომილებები პროპორციულია β კუთხის ტანგენსის. ეს კუთხე მიიღება კოორდინატთა სისტემის ნულოვანი წერტილიდან გავლებული წრფის გადაკვეთით I_1 დენის სიდიდის სათანადო პერპენდიკულარის გადაკვეთით დამაგნიტების დენის მრუდზე (ნახ. 3ა).

როგორც ნახ. 3 - დან ჩანს, დენის აბსოლუტურ და კუთხურ ცდომილებებს აქვს U -ს მაგვარი ფორმა. ყველაზე მცირე სიდიდის ცდომილებებს ადგილი აქვს m წერტილში, სადაც მაგნიტური განვლადობა მაქსიმალურია (დაახლოებით $0,6=0,8$ ტესლა).

თუ გავითვალისწინებთ, რომ მაგნიტური ინდუქცია შეესაბამება ნომინალური პირველადი დენის სიდიდეს მრუდეების ანალიზიდან ვასკვნით, რომ ყველაზე მცირე სიდიდის ცდომილებებს ადგილი აქვს

პირველადი დენისას, რომლის სიდიდე გაცილებით მეტია (რამოდენიმეჯერ) ნომინალურ სიდიდეზე.



ნახაზი 23. დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებების დამოკიდებულება პირველად დენზე და დატვირთვაზე

დიდი სიდიდის პირველადი დენის დროს, როდესაც ხდება მაგნიტური გამტარის გაჟღერება დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებები მკვეთრად იზრდება.

4.3. ცდომილების დამოკიდებულება მეორად დატვირთვაზე

უმცირეს ცდომილებებს ადგილი აქვს ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის ჩაკეტვისას ($Z=0$). ხელსაწყოების ჩართვისას დატვირთვის წრედში დატვირთვა იზრდება, ეს კი იწვევს ელექტრომომძრავებელი ძალის გაზრდას და შესაბამისად ინდუქციის და დამაგნიტების დენის ზრდას. ამგვარად დატვირთვის ზრდას მიყვავართ ცდომილებების ზრდასთან, რაც ჩანს ნახაზებიდან.

მეორადი წრედის გახსნისას ($Z=\infty$) მეორადი გრაგნილის რეზულტირებული მაგნიტომომძრავებელი ძალა უტოლდება პირველადი გრაგნილის ემმ-ს ანუ ის მკვეთრად იზრდება. მასთან ერთად მაგნიტური ინდუქცია და სიმძლავრის დანაკარგი მაგნიტოგამტარში იზრდება თავისი ნორმალურ მნიშვნელობასთან შედარებით. ინდუქციის მრუდი ფოლადის მაგნიტოგამტარის გაჟღერების გამო ღებულობს ტრაპეციის სახეს, ხოლო ემმ მეორადი გრაგნილის მომჭერებთან ხდება პიკური ხასიათის. ძაბვის პიკებმა შეიძლება მიაღწიოს რამდენიმე ათას ვოლტს. რაც ძალზე საშიშია ადამიანებისათვის და იზოლაციისთვის. ამიტომ დენის ტრანსფორმატორის მუშაობა გახსნილი მეორადი გრაგნილით დაუშვებელია.

ძაბვასა და დენს შორის ძვრის φ_2 კუთხის ზრდა (φ_2 კუთხე ახლოა α_2 კუთხესთან). როგორც ეს (6) და (7) ტოლობებიდან ჩანს იწვევს დენური ცდომილების ზრდას და კუთხური ცდომილების შემცირებას.

დენური ცდომილების შესამცირებლად გამოიყენება ხვიური კორექცია, რომლის დროსაც მეორადი გრაგნილის ხვიათა რიცხვის ფარდობა ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის ნომინალურ სიდიდესთან

შედარებით ნაკლები სიდიდისაა. მანძილი C და C' წერტილებს შორის შეესაბამება ხვიურ კორექციას

$$\Delta f = \frac{I_2 (K_5 - n)}{I_1}$$

დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებების დამოკიდებულება კონსტრუქციულ პარამეტრებზე ძალზე მნიშვნელოვანია. რადგან მაგნიტოგამტარის სიგრძე და ფოლადის მაგნიტური მასალის თვისებები გავლენას ახდენენ ტრანსფორმატორის მახასიათებლებზე.

(6) და (7) ტოლობების და სრული დენის კანონის საფუძველზე შეგვიძლია განვსაზღვროთ დამაგნიტების დენი:

$$I_0 = \frac{H\ell}{\omega_1} = \frac{B}{\mu \cdot \mu_0} \cdot \frac{\ell}{\omega_1}$$

სადაც: H - მაგნიტური ველის დამაბულობაა

ℓ - მაგნიტური ინდუქციის ხაზის საშუალო სიგრძე

B - მაგნიტური ინდუქცია (ტესლებში)

μ - ფოლადის ფარდობითი მაგნიტური შეღწევალობა

μ_0 - მაგნიტური მუდმივა

ინდუქცია დაკავშირებულია ემმ-თან გამოსახულებით:

$$E_2 = 2\pi f \omega_2 S_M B$$

სადაც: S_M - მაგნიტური გამტარის განივი ფართია.

თუ უგულვებელვყოფთ ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის წინაღობას, ემმ შეგვიძლია წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$E_2 \approx I_2 Z = I_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} Z$$

ამ გამოსახულების საფუძველზე (6) და (7) ტოლობები დენური და კუთხური ცდომილებების მიმართ ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$\Delta = \frac{Z I}{2\pi \mu \cdot \mu_0 \omega_2^2 S_M} \sin(\alpha + \psi) 100 \quad (8)$$

$$\delta \approx \frac{Z I}{2\pi \mu \cdot \mu_0 \omega_2^2 S_M} \cos(\alpha + \psi) \quad (9)$$

(8) და (9) გამოსახულებებიდან გამომდინარეობს დასკვნა, რომ დენური და კუთხური ცდომილებები (ყველა სხვა დამატებით პირობების ტოლობისას) მცირდება მანტიოგამტარის განიკვეთის გაზრდისას და მანტიური ინდუქციის ხაზის სიგრძის შემცირებისას. მანტიოგამტარის განიკვეთის გაზრდისას ინდუქცია მცირდება. ცდომილებების მინიმუმი გადაადგილება დიდი დენის სივრცეში და ცდომილებების მახასიათებლები ხდება უფრო გლუვები.

(8) და (9)-დან ჩანს, რომ დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებები უკუპროპორციულია მეორადი გრაგნილის ხვიათა რიცხვის და შესაბამისად პირველადი გრაგნილის. მეორადი გრაგნილის ხვიათა რიცხვის გაზრდა იწვევს ინდუქციის და დამაგნიტების დენის შემცირებას და შესაბამისად იგივე ინდუქციის შენარჩუნებისას ვაღწევთ მანტიური გამტარის განიკვეთის შემცირებას. მაგრამ პირველადი გრაგნილის ხვიათა რიცხვის გაზრდა დამოკიდებულებაშია ტრანსფორმატორის ელდინამიური და თერმიული მდგრადობის შემცირებასთან. ამიტომ მრავალხვიანი პირველადი გრაგნილის გამოყენებას პოულობენ შემთხვევებში, როდესაც შეუძლებელია სიზუსტის ხარისხის მიღწევა ერთი ხვიის პირობებში. მაგრამ ასეთ შემთხვევებში (მიუხედავად მათი სიმარტივისა), როდესაც მანტიოგამტარად გამოყენებულიასაშუალო ხარისხის ფოლადი, გამტარის ემმ-ის სიდიდე არ არის საკმარისი 0,5 კლასის ტრანსფორმატორისათვის, როდესაც მათი პირველადი დენი 400-600 ამპერზე ნაკლებია.

დენის ტრანსფორმატორის დატვირთვის წარმოადგენს გარე წრედის მთლიანი წინაღობა,

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (\text{ომი})$$

R - წრედის აქტიური წინაღობა

X - წრედის რეაქტიული წინაღობა.

ტრანსფორმატორის დატვირთვა ასევე ხასიათდება სრული სიმძლავრით ვოლტ-ამპერებში (ვა) მეორადი დენის და სიმძლავრის კოეფიციენტის ნომინალური მნიშვნელობებისას

$$S_2 = I_{25\text{მგ}}^2 Z$$

სიმძლავრის კოეფიციენტი

$$\varphi_2 = \text{arctg } X/R$$

S_2 და $\cos\varphi_2$ სიდიდეები განსაზღვრავენ მეორადი წინაღობის წრედის სიდიდეს.

მაგალითად: როდესაც ტრანსფორმატორის დატვირთვაა 20 ვა; $\cos\varphi_2 = 0,8$; ეს ნიშნავს, რომ სრული წინაღობა:

$$Z = 20/5^2 = 0.8 \text{ ომი}$$

აქტიური და რეაქტიული წინაღობა:

$$R = Z \cos \varphi_2 = 0.8 * 0.8 = 0.64 \text{ ომი}$$

$$X = Z \sin \varphi_2 = 0.8 * 0.6 = 0.48 \text{ ომი}$$

მიმდევრობით ჩართული ხელსაწყოების რიცხვის გაზრდა იწვევს ტრანსფორმატორის დატვირთვის გაზრდას, ანუ იზრდება Z და S_2 მნიშვნელობები.

დენის ტრანსფორმატორის დატვირთვის ნომინალური სიდიდის ქვეშ იგულისხმება დატვირთვა, რომლის დროსაც ცდომილებები არ გამოდიან მისი სიზუსტის კლასით განპირობებული ზღვრებიდან.

სიზუსტის კლასი შეესაბამება დენური ცდომილების მნიშვნელობას, როდესაც პირველადი დენის 100÷120% ნომინალურის ტოლია.

4.4. დენის ტრანსფორმატორის შერჩევა

ბაზარზე ელექტროენერჯის გაზომვის და აღრიცხვის საშუალებები წარმოდგენილია ათობით სხვადასხვა მოდელის დენის ტრანსფორმატორები. ყველა ისინი, პირველ რიგში უნდა შეესაბამებოდნენ სახელმწიფოთა შორისი სტანდარტს IEC 61869-2:2012 დენის ტრანსფორმატორები. დენის ტრანსფორმატორები თავისი ტექნიკური

მახასიათებლებით ახლოს არიან თავის დეკლარირებულ მახასიათებლებთან, მაგრამ ფაქტობრივად, როგორც მათი გამოცდები და ექსპლუატაცია აჩვენებს გრძელვადიან პერსპექტივაში ელექტროსისტემებში და მომხმარებლებთან ელექტროენერჯის ზუსტი აღრიცხვის უზრუნველყოფისათვის არასრულფასოვნები არიან. მათი სარეკლამო და ტექნიკური დოკუმენტაციაში არ არის მითითებული ის მახასიათებლები, რომლებიც საინტერესოა კვალიფიცირებული პერსონალისათვის და მნიშვნელოვანი გავლენა შეუძლიათ იქონიონ დენის ტრანსფორმატორების შერჩევისას ელექტროსისტემაში და მომხმარებლების მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად.

დენის ტრანსფორმატორის გულარის დამაგნიტება მუდმივი დენით ძალზე მნიშვნელოვანი ფაქტორია, რადგან ექსპლუატაციის პირობებში შეძლება გახდეს ელენერჯის ძარცვის ფაქტორი, რამდენადაც ის 2-2,5 ჯერ ზრდის მზომი დენის ტრანსფორმატორის უარყოფით კუთხურ ცდომილებას, როდესაც მომხმარებლები ნომინალურის 50% და უფრო დაბლი დატვირთვით მუშაობენ.

ძალზე მნიშვნელოვანია რა მასალისგან არის დამზადებული დენის ტრანსფორმატორების გულარა. უმრავლესი დენის ტრანსფორმატორის გულარა დამზადებულია მაგნიტორბილი კრემნის ელექტროტექნიკური ფოლადისაგან - რკინის ნაერთი კრემნისთან (სილიციუმის <4,8%).

მიუხედავად იმისა, რომ დენის ტრანსფორმატორები ნანოკრისტალური გულარით გაცილებით ძვირია, ვიდრე დენის ტრანსფორმატორები ელექტროტექნიკური ფოლადით, უნდა გათვალისწინებული იქნას მათი უპირატესობები:

1. მეტროლოგიური მახასიათებლების მდგრადობა მუდმივი დენით დამაგნიტებისას.
2. 4-10 ჯერ შემცირებული დანაკარგები გრიგალურ დენებზე და გულარის დამაგნიტებაზე.

3. გაცილებით დიდი მოხმარების დრო და ტექნოლოგიური რესურსი სიზუსტის კლასის მიხედვით.
4. გულარის დამზადებაზე გაცილებით მცირე დანახარჯები. დენის ტრანსფორმატორის მასა-გაბარიტული სიდიდეების მაჩვენებლები.

4.5. დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტის შერჩევისა და მეორადი დატვირთვის გაანგარიშება

დენის ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის შერჩევისათვის აუცილებელია გვექონდეს ინფორმაცია მოსალოდნელი მაქსიმალური და მინიმალური ტვირთების შესახებ, რომლის მიხედვითაც ანგარიშის საფუძველზე შეირჩევა სტანდარტული კოეფიციენტი. მინაერთზე, რომელზედაც უნდა დამონტაჟდეს შერჩეული კოეფიციენტის მქონე დენის ტრანსფორმატორი, უნდა ვიცოდეთ მოსალოდნელი მოკლედ შერთვის დენის 3 წმ-იანი მნიშვნელობა. აღნიშნული ინფორმაციის საფუძველზე ჩატარდება თერმიული და დინამიური მდგრადობის გაანგარიშებები, რომლის საფუძველზე მზადდება ისეთი პარამეტრების დენის ტრანსფორმატორი, რომელიც დააკმაყოფილებს მოთხოვნებს.

ძალზე მნიშვნელოვანია დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტის ოპტიმალური სიდიდე, ანუ დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტის სწორი შერჩევა.

განვიხილოთ შემდეგი სახის მაგალითი:

საპროექტო 220 კვ-ის ელექტროგადაცემის ხაზზე მოსალოდნელია $S_{მაქ} = 65000$ კვა და $S_{მინ} = 12000$ კვა დატვირთვები.

მოსალოდნელი მაქსიმალური და მინიმალური დენის მნიშვნელობები იანგარიშება ფორმულით:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{500}}$$

ფორმულიდან გამომდინარე ვიანგარიშით მაქსიმალური დენის მნიშვნელობა:

$$I_{18აქ} = \frac{S_{8აქ}}{\sqrt{3} U_{6კვ}} = \frac{65000}{1,73 \cdot 220} = 170.78 \text{ ა} ,$$

სადაც, $U_{6კვ}$ – ხაზის ნომინალური ძაბვის მნიშვნელობაა.

ეგხ-ში გამავალი მინიმალური დატვირთვის დენი:

$$I_{18ბ5} = \frac{S_{8ბ5}}{\sqrt{3} U_{6კვ}} = \frac{12000}{1,73 \cdot 220} = 31.5 \text{ ა} .$$

ელ.ენერგიის აღრიცხვის კვანძში გამავალი დენი, ეგხ-ის მაქსიმალური დატვირთვის შემთხვევაში:

$$I_{28აქ} = \frac{I_{18აქ}}{K_{ფ}} = \frac{170.78}{120} = 1.42 \text{ ა} ,$$

სადაც, $K_{ფ} = \frac{600}{5} = 120$ დენის ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტია.

ელ.ენერგიის აღრიცხვის კვანძში გამავალი დენი, ეგხ-ს მინიმალური დატვირთვის შემთხვევაში:

$$I_{28ბ5} = \frac{I_{18ბ5}}{K_{ფ}} = \frac{31.5}{120} = 0.26 \text{ ა} .$$

ელ.ენერგიის აღრიცხვის კვანძში გამავალი დენის ფარდობა მეორად ნომინალურ დენთან პროცენტებში:

მაქსიმალური დატვირთვისას:

$$\frac{I_{28აქ}}{I_{25კვ}} \cdot 100\% = \frac{1.42}{5} \cdot 100\% = 28.4 \% < 40\% ;$$

მინიმალური დატვირთვისას:

$$\frac{I_{28ბ5}}{I_{25კვ}} \cdot 100\% = \frac{0.26}{5} \cdot 100\% = 5.2 \% < 5\% .$$

ანგარიშმა აჩვენა, რომ მაქსიმალური დატვირთვის დროს დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტმა „ქსელის წესებით“ წაყენებული მოთხოვნა ვერ დააკმაყოფილა. ამ პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია, თუ შერჩეული დენის ტრანსფორმატორის სიზუსტის კლასი იქნება 0,2S ან 0.5S, (იხილეთ ცხრილი 5.) რადგან აღნიშნული სიზუსტის კლასის შემთხვევაში დენის ტრანსფორმატორის მაქსიმალური დატვირთვის ზღვარი

იწყება არა 40% დატვირთვიდან, არამედ 20%-დან. ასეთ შემთხვევაში მკვეთრად უმჯობესდება მუშაობის რაჟიმი და იზრდება აღრიცხული ენერჯის სიზუსტე.

ცხრილი 5. სიზუსტის კლასების მიხედვით დენური და კუთხური ცდომილებები სხვადასხვა დატვირთვისას

სიზუსტის კლასი	პირველადი დენის ნომინალური მნიშვნელობა %	დასაშვები ცდომილების ზღვრი			მეორადი დატვისრთვის ზღვრის ნომინალური მნიშვნელობა %
		დენური, %	კუთხური %		
0,2	5	±0,75	±15'	±0,9 რად	25-100
	20	±0,35	±18'	±0,45 რად	
	100-120	±0,2	±5'	±0,3 რად	
0,2S	1	±0,75	±30'	±0,9 რად	
	5	±0,35	±15'	±0,45 რად	
	20 ÷ 120	±0,2	±10'	±0,3რად	
0,5	5	±1,5	±90'	±2,7 რად	
	20	±0,75	±45'	±1,35 რად	
	100-120	±0,5	±30'	±0,9 რად	
0,5S	1	±1,5	±90'	±2,7 რად	
	5	±0,75	±45'	±1,35 რად	
	20 ÷ 120	±0,5	±30'	±0,9 რად	
1	5	±3	±180'	±5,4 რად	
	20	±1,5	±90'	±2,7რად	
	100-120	±1	±60'	±1,8 რად	
3	50-120	±3	არ ნორმირდება		50-100
10		±10			

აღნიშნული დენის ტრანსფორმატორი შევამოწმოთ თერმიულ და დინამიურ მდგრადობაზე.

- **თერმიული მდგრადობის ანგარიში:**

მინაერთი რომელზედაც აღნიშნული დენის ტრანსფორმატორი არის დამონტაჟებული მოკლედ შერთვის დენის საანგარიშო მნიშვნელობა - 8კა თერმიული მდგრადობის პირობა:

$$B_{\text{დასაშ.}} > B_{\text{შშ}}$$

$$B_{\text{შშ}} = I_{\text{შშ}}^2 \cdot t = 8^2 \cdot 0,5 = 32 \text{ ა}^2\text{წმ}$$

t- დაცვის მოქმედების დრო.

დენის ტრანსფორმატორის დასაშვები თერმიული დენის სიდიდე:

$$B_{\text{დასაშ.}} = I_{\text{შშ}}^2 \cdot t = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ კა}^2\text{წმ}$$

$$I_{\text{T}}^2 \cdot t \geq B_{\text{შშ}}$$

$$100 \text{ კა}^2\text{წმ} \geq 32 \text{ ა}^2\text{წმ}$$

- **დინამიური მდგრადობის ანგარიში:**

დინამიურ მდგრადობაზე მოთხოვნიდან გამომდინარე:

$$I_{\text{დინ}} = K_{\text{დ}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{შშ}} = 1,8 \cdot 1,41 \cdot 8 = 20,3 \text{ კა}$$

დენის ტრანსფორმატორი დინამიკური მდგრადობის დენი 25 > 20,3 კა

შერჩეული დენის ტრანსფორმატორები აკმაყოფილებს თერმიული და დინამიური მდგრადობის მოთხოვნებს.

4.6. დენის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვის გაანგარიშება

დენის ტრანსფორმატორების აღრიცხვის გრაგნილის მეორეული ნომინალური დატვირთვა, საქარხნოს მონაცემების მიხედვით, რომელიც მოყვანილია დენის ტრანსფორმატორის ფირნიშზე შეადგენს: $S_{\text{დტ25}}=25$ ვა-ს; დენის ტრანსფორმატორების მეორადი რეალური დატვირთვის გაანგარიშება:

მეორადი დატვირთვა: $R_2 = R_{\text{მოწყ}} + R_{\text{სად}} + R_3$ (ომი)

სადაც:

წრედში ჩართული მოწყობილობის წინაღობა $R_{მოწყ} = S_{მრიცხ} / I_{25}^2 = 0,003 / 5^2 = 0,00012$ ომი;

კონტაქტის წინაღობა: $R_3 = 0,05$ ომი;

სადენის წინაღობა $R_{სად} = \rho x(L/S) = 0,0178 x (4/2,5) = 0,1424$ ომი, სადაც:

$S = 2,5$ მმ² და წარმოადგენს სადენის კვეთს;

$L = 20$ მ და წარმოადგენს სადენის სიგრძეს;

$\rho = 0,0178$ და წარმოადგენს სადენის კუთრ წინაღობას.

აღებულია შესაბამისი ცხრილებიდან სპილენძის სადენისთვის +20°C-ზე.

ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით: $R_2 = 0,1925$ ომი, ხოლო დენის ტრანსფორმატორების მეორადი რეალური - გაანგარიშებული დატვირთვა იანგარიშება ფორმულით:



$S_{დტ2} = I_{25}^2 \times R_2$ (ვა) და შეადგენს: $S_{დტ2} = 6.25$ ვა-ს;

ქსელის წესების მიხედვით: $S_{დტ2}$ არ უნდა იყოს ნაკლები $S_{დტ25}$ 25%-სა და $S_{დტ2}$ არ უნდა აღემატებოდეს $S_{დტ25}$ -ს.

ფაქტობრივად $S_{დტ2} = 4.8$ ვა < $S_{დტ25} \times 25\% = 6.25$ ვა, ამავ დროს $S_{დტ2} = 4.8$ ვა < $S_{დტ25} = 25$ ვა-ს.

ანგარიშმა აჩვენა, რომ დენის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვა ნაკლებია ნომინალური მნიშვნელობის 25%-ზე. არსებული დატვირთვის პირობებში გაიზომა დენის ტრანსფორმატორი და აღმოჩნდა რომ დენის ტრანსფორმატორი გამოსული იყო სიზუსტის კლასიდან, რაც დასტურდება შესაბამისი გაზომვის ჩატარებით.

ცხრილი 6. დენის ტრანსფორმატორის გაზომვის ოქმი დამტვირთი წინაღობის გამოყენებამდე

	დენი ტრანსფორმატორის გაზომვის ოქმი N 663	08.12.2017წ.	

1. საპასპორტო მონაცემები

განკარგულება N 93

ფაზა	ტიპი	საქ. №	გამ. წელი	მეორადი გრაგნილის გამოყენებები	K _გ	სიზ. კლასი	დატვირთვა (ვა)
„ა“	TPO-7011	1VLT 5109024950	2009	1S1-1S2	300/5	0,5	25
				1S1-1S3	600/5	0,5	25
				2S1-2S2	300/5	10 P	10
				2S1-2S3	600/5	10 P	20
				3S1-3S2	300/5	10 P	10
				3S1-3S3	600/5	10 P	20
„ბ“	TPO-7011	1VLT 5109024958	2009	1S1-1S2	300/5	0,5	25
				1S1-1S3	600/5	0,5	25
				2S1-2S2	300/5	10 P	10
				2S1-2S3	600/5	10 P	20
				3S1-3S2	300/5	10 P	10
				3S1-3S3	600/5	10 P	20
„გ“	TPO-7011	1VLT 5109024972	2009	1S1-1S2	300/5	0,5	25
				1S1-1S3	600/5	0,5	25
				2S1-2S2	300/5	10 P	10
				2S1-2S3	600/5	10 P	20
				3S1-3S2	300/5	10 P	10
				3S1-3S3	600/5	10 P	20

2. გრაგნილის წინაღობის და ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გაზომვა.

გამომყვანები	R (ომი)			U/I (ვ/მილიამპერი)		
	„ა“	„ბ“	„გ“	„ა“	„ბ“	„გ“
1S1-1S2	0,325	0,333	0,230	49,60/122,3	52,99/79,41	50,96/107,5
1S1-1S3	0,558	0,259	0,569	50,96/108,5	53,99/99,41	49,60/124,3
2S1-2S2	0,160	0,159	0,156	49,60/122,3	50,96/107,5	52,99/79,41
2S1-2S3	0,352	0,358	0,351	99,11/60,85	102,6/54,32	106/39,82
3S1-3S2	0,160	0,160	0,165	51,90/188,2	52,45/171,1	49,52/100,3
3S1-3S3	0,353	0,356	0,352	103,2/91,94	104,5/84,45	99,36/50,83

3. ტრანსფორმატორის კოეფიციენტის გაზომვა.

გამომყვანები	კოეფიციენტის ცდომილება (%)			კუთხური ცდომილება (min)		
	„ა“	„ბ“	„გ“	„ა“	„ბ“	„გ“
1S1-1S2	0,574	0,567	0,572	1,32	1,42	1,26
1S1-1S3	0,651	0,550	0,652	2,02	2,08	2,58
2S1-2S2	0,233	0,215	0,158	3,74	2,68	1,17
2S1-2S3	0,117	0,516	0,078	1,94	1,41	0,63
3S1-3S2	0,254	0,280	0,191	3,50	3,59	2,58
3S1-3S3	0,095	0,143	0,093	1,80	1,98	1,43



გაზომვის შემდეგ აღნიშნული აღრიცხვის კვანძისათვის ჩატარდა დამტვირთი წინაღობის შერჩევის გაანგარიშება, რომელიც ხორციელდება

შემდეგნაირად: $S_{დატ.} = 0,5 S_{ნომ.} = 0,5 \cdot 25 = 12,25$ ვა

$$S_{\text{წიწ.}} = S_{\text{დატ.}} - S_{\text{წრედ.}} = 12,25 - 4,8 = 7,45 \text{ ვა}$$

გამომდინარე იქედან რომ აღნიშნული სიმძლავრის დამტვირთი წინაღობა არ არის კატალოგებში ჩვენ მიერ შერჩეული შერჩეული იქნა დამტვირთვი წინაღობა, რომლის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე შეადგენდა 10 ვა-ს. არსებული დატვირთვის პირობებში გაიზომა დენის ტრანსფორმატორი და აღმოჩნდა რომ დენის ტრანსფორმატორი იყო თავის სიზუსტის კლასიდან, რაც დასტურდება შესაბამისი გაზომვის ოქმით.

ცხრილი 7. დენის ტრანსფორმატორის გაზომვის ოქმი დამტვირთი წინაღობის შემდეგ

	დენი ტრანსფორმატორის გაზომვის ოქმი N 673	25.12.2017წ.	
---	---	--------------	---

1. საპასპორტო მონაცემები

განკარგულება N 96

ფაზა	ტიპი	საქ. №	გამ. წელი	მეორადი გრაგნილის გამოყენებები	K _{ტრ}	სიზ.კლასი	დატვირთვა (ვა)
„ა“	TPO-7011	1VLT 5109024950	2009	1S1-1S2	300/5	0,5	25
				1S1-1S3	600/5	0,5	25
				2S1-2S2	300/5	10 P	10
				2S1-2S3	600/5	10 P	20
				3S1-3S2	300/5	10 P	10
				3S1-3S3	600/5	10 P	20
„ბ“	TPO-7011	1VLT 5109024958	2009	1S1-1S2	300/5	0,5	25
				1S1-1S3	600/5	0,5	25
				2S1-2S2	300/5	10 P	10
				2S1-2S3	600/5	10 P	20
				3S1-3S2	300/5	10 P	10
				3S1-3S3	600/5	10 P	20
„ც“	TPO-7011	1VLT 5109024972	2009	1S1-1S2	300/5	0,5	25
				1S1-1S3	600/5	0,5	25
				2S1-2S2	300/5	10 P	10
				2S1-2S3	600/5	10 P	20
				3S1-3S2	300/5	10 P	10
				3S1-3S3	600/5	10 P	20

2. გრაგნილის წინაღობის და ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გაზომვა.

გამომყვანები	R (ომი)			U/I (ვ/მილიამპერი)		
	„ა“	„ბ“	„ც“	„ა“	„ბ“	„ც“
1S1-1S2	0,125	0,133	0,130	9,139/7,411	8,813/7,914	9,105/7,233
1S1-1S3	0,258	0,259	0,269	18,31/3,714	17,63/3,957	18,22/3,607
2S1-2S2	0,160	0,159	0,156	49,60/122,3	50,96/107,5	52,99/79,41
2S1-2S3	0,352	0,358	0,351	99,11/60,85	102,6/54,32	106/39,82
3S1-3S2	0,160	0,160	0,165	51,90/188,2	52,45/171,1	49,52/100,3
3S1-3S3	0,353	0,356	0,352	103,2/91,94	104,5/84,45	99,36/50,83

3. ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის გაზომვა.

გამომყვანები	კოეფიციენტის ცდომილება (%)			კუთხური ცდომილება (min)		
	„ა“	„ბ“	„ც“	„ა“	„ბ“	„ც“
1S1-1S2	0,374	0,467	0,472	0,32	0,42	0,26
1S1-1S3	0,451	0,450	0,352	0,02	0,08	0
2S1-2S2	0,233	0,215	0,158	3,74	2,68	1,17
2S1-2S3	0,117	0,516	0,078	1,94	1,41	0,63
3S1-3S2	0,254	0,280	0,191	3,50	3,59	2,58
3S1-3S3	0,095	0,143	0,093	1,80	1,98	1,43

თავი 5. შემაერთებელი სადენები

ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძში მრიცხველის დაკავშირება დენი და ძაბვის მზომ ტრანსფორმატორთან ხორციელდება შემაერთებელი სადენების საშუალებით. გამოყენებული მასალის მიხედვით შემაერთებელი სადენები შეიძლება იყოს ალუმინის და სპილენძის.

5.1. დენის წრედის კაბელის კვეთის ანგარიში

დენის ტრანსფორმატორის წრედში ჩასართავი კაბელის გამტარის დასაშვები წინაღობა:

$$R_{გაბტ} = \frac{S_{დატ}}{\sqrt{3} I_2^2}$$

სადაც: $S_{დატ}$ - დენის ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრეა.

I_2 - დენის ტრანსფორმატორის ნომინალური მეორადი დენია. კაბელის კვეთი იანგარიშება შემდეგი გამოსახულებით:

$$F = \frac{l}{Y R_{გაბტ}}$$

სადაც: l კაბელის სიგრძეა დენის ტრანსფორმატორიდან მრიცხველამდე.

Y კაბელის ხვედრითი გამტარობაა.

ჩავატაროთ გაანგარიშება

დენის ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილზე მიერთებულია შემდეგი მოწყობილობები მიერთებულია რელე, ვატმეტრი და მრიცხველი. დენის ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრის მნიშვნელობა არის $S_{დტ} = 25$ ვა

ვიანგარიშოთ მეორეულ წრედში გამოყენებული კაბელის გამტარის დასაშვები წინაღობის მნიშვნელობა:

$$R_{გაბტ} = \frac{S_{დატ}}{\sqrt{3} I_2^2} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 5^2} = 0,58 \text{ ომი}$$

ვიანგარიშით კაბელის კვეთის მნიშვნელობა:

$$F = \frac{l}{Y R_{გაბტ}} = \frac{30}{57 \cdot 0,58} = 0,91 \text{ მმ}^2$$

დენის ტრანსფორმატორის მეორეულ წრედში გამოსაყენებელი სადენის კვეთის მნიშვნელობა შევირჩიეთ სტანდარტული განიკვეთებიდან ცხრილებიდან და შეადგენს $2,5 \text{ მმ}^2$.

5.2. ძაბვის წრედში კაბელის კვეთის ანგარიში

იმისათვის რომ ვიანგარიშოთ ძაბვის წრედში სადენის კვეთი საჭიროა განისაზღვროს დატვირთვის დენის მნიშვნელობა:

$$I_{დატ} = \frac{\sqrt{3} S_{დატ}}{100}$$

სადაც: $S_{დატ}$ - მისაერთებელი მრიცხველის საპასპორტო სიმძლავრეა დატვირთვის მიხედვით გამტარის დასაშვები წინაღობაა:

$$R_{გაბტ} = \frac{\Delta U}{\sqrt{3} I_{დატ}}$$

სადაც: $\Delta U = 0,25U_{ნომ}$

კაბელის კვეთი იანგარიშება შემდეგი გამოსახულებით:

$$F = \frac{l}{Y R_{გაბტ}}$$

სადაც: l კაბელის სიგრძეა დენის ტრანსფორმატორიდან მრიცხველამდე.

Y კაბელის ხვედრითი გამტარობაა.

მრიცხველებისათვის ძაბვის წრედებში კაბელებისა და სადენების ისეთ კვეთებს ირჩევენ, რომ ძაბვის დანაკარგები ამ წრედში 0,5 სიზუსტის კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორიდან კვების დროს შეადგენს ნომინალური

მაზვის არაუმეტეს 0,25%. ელექტროენერჯის აღრიცხვის წრედებში გამოყენებული კაბელების და სადენების კვეთი $მმ^2$ უნდა იყოს არანაკლებ:

ცხრილი 8 შუამართებელი სადენების პარამეტრები

დასახელება	სპილენძი	ალუმინი
დენის ტრანსფორმატორიდან	$2,5მმ^2$	$4მმ^2$
მაზვის ტრანსფორმატორიდან	$1,5მმ^2$	$2,5მმ^2$

თავი 6. ძაბვის ტრანსფორმატორი

ძაბვის ტრანსფორმატორები წარმოადგენენ ელექტრულ აპარატებს, რომელთა დანიშნულებაა შეამცირონ პირველადი წრედის მაღალი ძაბვა ისეთ სიდიდემდე, რომლის გაზომვა მოსახერხებელია სტანდარტული გამზომი ხელსაწყოებით და განაცალკევონ გაზომვის წრედები პირველადი წრედისაგან. ამით უსაფრთხო ხდება მომსახურე პერსონალის მუშაობა.

ისევე როგორც დენის ტრანსფორმატორი, ძაბვის ტრანსფორმატორი შედგება სამი ძირითადი კონსტრუქციული ნაწილისაგან: გულარა, პირველადი და მეორადი გრაგნილები.

ძაბვის ტრანსფორმატორის ძირითადი პარამეტრია ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი:

$$K_{ტ.ნომ.} = \frac{U_{1 ნომ.}}{U_{2 ნომ.}} \quad (10)$$

რომელიც წარმოადგენს პირველადი და მეორეული გრაგნილების ნომინალური ძაბვების ფარდობას. აქედან გამომდინარე, ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილზე გაზომილი ძაბვა გამრავლებული ტრანსფორმაციის კოეფიციენტზე გვაძლევს გარკვეული ცდომილებით პირველად გრაგნილზე მოდებულ ძაბვას ანუ პირველადი წრედის ძაბვას $U_1 = K_{ტ.ნომ.} \cdot U_{2 ნომ.}$.

ნომინალური მეორადი ძაბვა ძირითადად 100 და $100/\sqrt{3}$ ვოლტის ტოლია. მისაერთებელი ხელსაწყოების შკალების დაგრადუირება ხდება პირველადი ძაბვის მიხედვით.

რეალურად ძაბვის ტრანსფორმატორებში წარმოიქმნებიან გაზომვის ცდომილებები, რომლებიც განპირობებული არიან დანაკარგებით მაგნიოტოგამტარების გადამაგნიტებით, გრიგალური დენებით და გრაგნილების გახურებით. ეს ცდომილებები ამცირებენ გაზომვის სიზუსტეს.

ძაბვის ცდომილების მაჩვენებელი (%-ებში) მიიღება ფარდობიდან:

$$\Delta U = \frac{K_{\phi} U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\% \quad (11)$$

კუთხური ცდომილება განისაზღვრება ϕ კუთხით პირველადი ძაბვისა და 180° -ით გადაბრუნებული მეორადი ძაბვის ვექტორებს შორის.

მუშაობის რეჟიმების ანალიზისათვის და ცდომილებების გამოკვლევისათვის იგება გამოზომი ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა. ცდომილების შესამცირებლად გამოიყენებიან გულარები უმცირესი მაგნიტური წინაღობის სიდიდით, რაც განაპირობებს მაგნიტურ სადენში ინდუქციის და გრაგნილებში დენის სიმკვრივის მცირე სიდიდეებს.

ელ.ენერგიის აღრიცხვის წრედებში გამოყენება 0,5 კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორები, რომელთა ძაბვის ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს 0,5%-ს. სიზუსტის კლასი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ტრანსფორმატორის მეორად დატვირთვაზე, რომლის გაზრდა სათანადოდ იწვევს ცდომილების გაზრდას.

$$I = \frac{U_2}{Z} \quad (12)$$

$$S = U \cdot I = \sqrt{\Sigma P^2 + \Sigma Q^2} \quad (13)$$

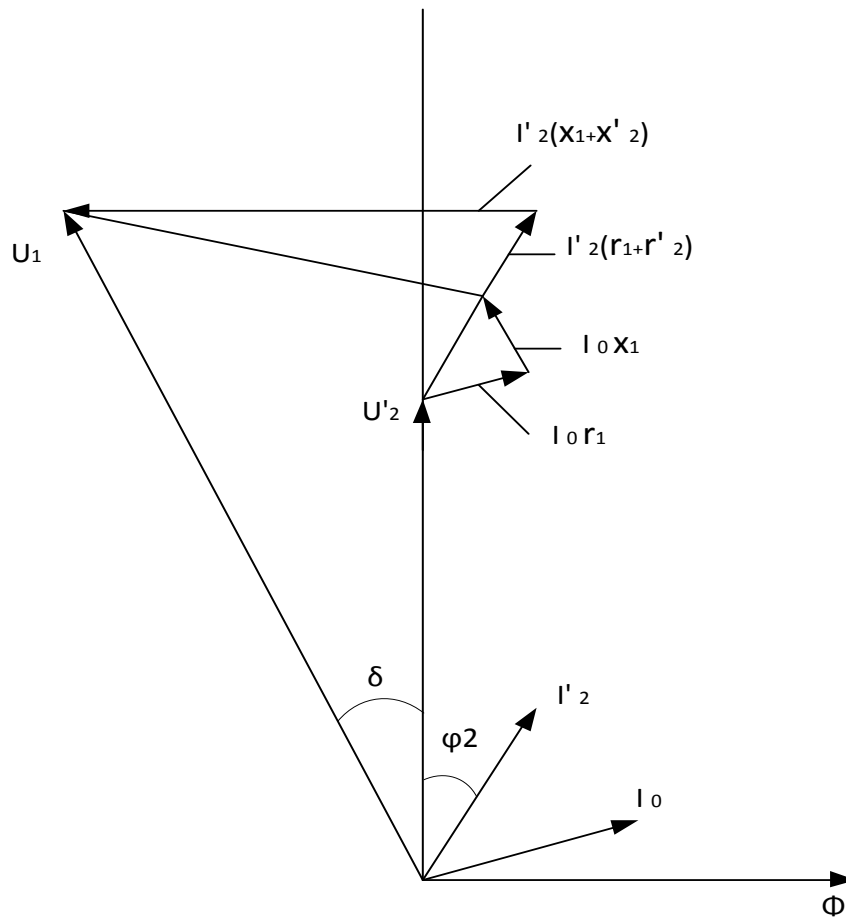
სადაც, U და I მეორადი გრაგნილების მეორადი ძაბვა და დენია. S სრული სიმძლავრეა.

$\Sigma P = S \cdot \cos \phi$ - სრული აქტიური სიმძლავრეა.

$\Sigma Q = S \cdot \sin \phi$ - სრული რეაქტიური სიმძლავრეა.

ნახ. 7 აგებულია ძაბვის ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა.

გაზომი ძაბვის ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრე ეწოდება იმ უდიდეს სიმძლავრეს, როდესაც მის მეორად გრაგნილთან ხელსაწყოების მიერთებისას გარანტირებულია სიზუსტის კლასის ნორმირება. ნომინალური სიმძლავრის გაზრდა იწვევს ცდომილების გაზრდას და ტრანსფორმატორის გადაყვანას უფრო უხემ, დაბალ კლასში.



ნახაზი 24. ძაბვის ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა

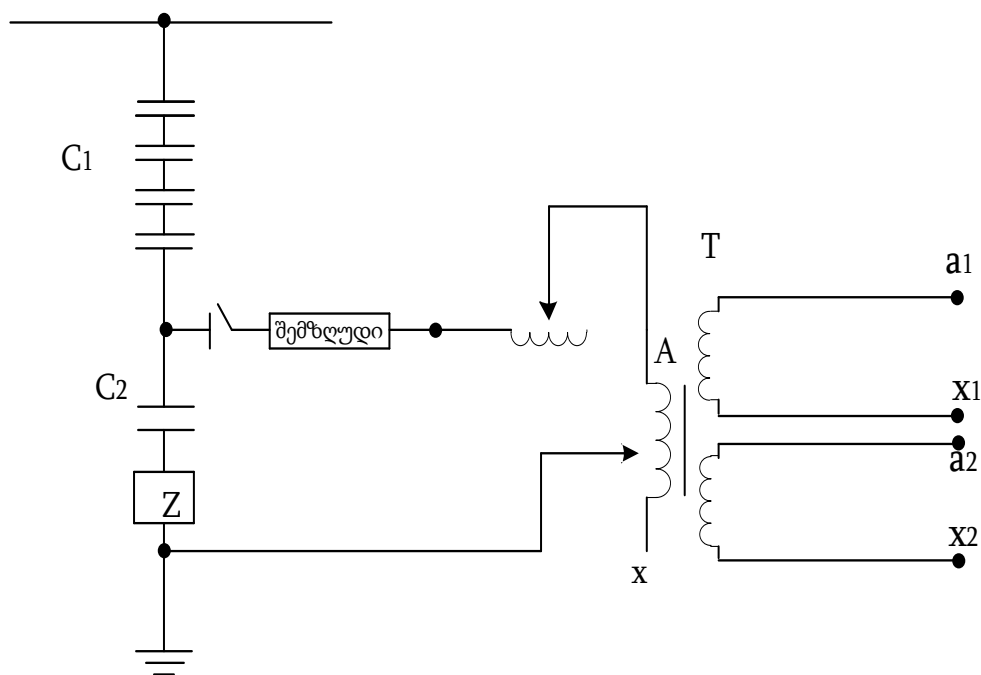
გამზომი ხელსაწყოების მიერთებისას გაზომვის სიზუსტის უზრუნველსაყოფად პირველადი ძაბვის განსხვავება ნომინალურიდან არ უნდა აღემატებოდეს 10%-ს.

ყველა სქემაში ხელსაწყოების წრედებში გადაძაბვების გამოსარიცხად ძაბვის დაბალ მხარეს ნეიტრალი ყრუდ მიწდება, ხოლო დასამიწებლად გამოყენებულ სადენებში მცველების დაყენება არ შეიძლება.

110 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის მოწყობილობებში გამოიყენებიან კასკადური HKΦ ტიპის ძაბვის ტრანსფორმატორები. აღსანიშნავია, რომ ამ ტიპის ტრანსფორმატორებში კასკადის გაზრდისას მათი სიზუსტის კლასი მცირდება. ამის გარდა, რაც მეტია ძაბვა, მით უფრო რთულია ამ ტრანსფორმატორების კონსტრუქცია. ამიტომ 500 კვ და უფრო მაღალი

ძაბვის შემთხვევაში გამოიყენებინან ტრანსფორმატორული მოწყობილობები სიმძლავრის ტევადური ართმევით. (იხილეთ ნახაზი 24).

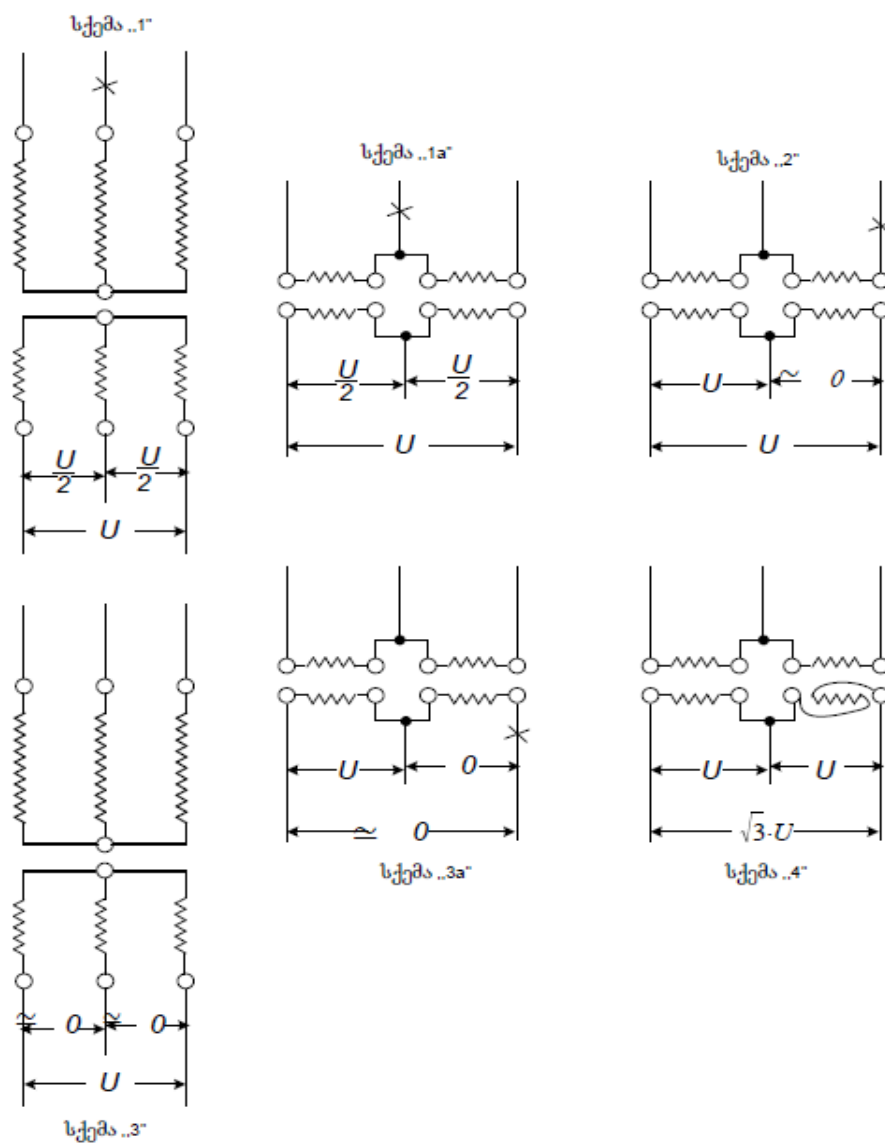
C_1 მაღალი სიხშირის კავშირის კონდესატორებია, ხოლო C_2 სიმძლავრის ართმევის კონდესატორი. ძაბვა, რომელიც იხსნება C_2 -დან (10÷15 კვ) მიეწოდება T ტრანსფორმატორს, რომელსაც აქვს, ორი მეორადი გრაგნილი, რომელიც შეერთებულია იგივე სქემით, როგორც HKΦ და ЗНОМ ტიპის ტრანსფორმატორებში. მუშაობის სიზუსტის გაზრდის მიზნით ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში ჩართულია L დროსელი, რომლის საშუალებით ძაბვის წართმევის კონტური C_2 კონდესატორთან რეზონანსში იწყობა. დროსელი L და ტრანსფორმატორი T თავსდებათ საერთო ჭურჭელში, სადაც ჩასხმულია ზეთი. შემზღუდი არ უშვებს მაღალი სიხშირის დენებს ძაბვის ტრანსფორმატორებში. მიერთების ფილტრის Z დანიშნულებაა მიაერთოს მაღალი სიხშირის დაცვის პოსტი. ასეთი ტიპის მოწყობილობის სახელია „ტევადური ძაბვის ტრანსფორმატორი“. მასში შემავალი ყველა ელემენტების სწორად შერჩევის და გაწყობის საშუალებით შესაძლებელია 0,5 და 0,2 სიზუსტის კლასის მიღება. [4].



ნახაზი 25. ტევადური ძაბვის ტრანსფორმატორი

ძაბვის მზომი ტრანსფორმატორები მიერთებულია პირველადი გრაგნილებით ქსელთან დნობადი მცველების საშუალებით. ეს პირობა აუცილებელია, რადგან წინააღმდეგ შემთხვევაში მოკლედ ჩართვის დროს შეიძლება მოხდეს ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილების დაზიანება.

ქვემოთ ნახაზზე მოყვანილია ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორად წრედში უწყესივრობების შესაძლო ვარიანტები.



ნახაზი 26. ძაბვის ტრანსფორმატორის წრედში შესაძლო უწყესივრობები

6.1. ძაბვის ტრანსფორმატორის შერჩევა

ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძში გამოყენებული ძაბვის ტრანსფორმატორის მიმართ წაყენებულია მოთხოვნები, რომლებიც გავლენას ახდენენ მის სიზუსტის კლასზე, კერძოდ: მეორეული დატვირთვა და მეორეულ სადენში დასაშვები ძაბვის ვარდნის სიდიდე.

ძაბვის ტრანსფორმატორებში წარმოქმნილი გაზომვის ცდომილებები, განპირობებული არიან დანაკარგებით მაგნიტოგამტარის გადამაგნიტებით, გრიგალური დენებით და გრაგნილების გახურებით. ეს ცდომილებები ამცირებენ გაზომვის სიზუსტეს.

ელექტროენერჯის აღრიცხვის წრედებში გამოყენება 0,5 კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორების გამოყენებისას ძაბვის ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს 0,5%-ს. გამზომი ძაბვის ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრე ეწოდება იმ უდიდეს სიმძლავრეს, როდესაც მის მეორად გრაგნილთან ხელსაწყობის მიერთებისას გარანტირებულია სიზუსტის კლასის ნორმები. სიზუსტის კლასი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ტრანსფორმატორის მეორეულ დატვირთვაზე, რომლის გაზრდა სათანადოდ იწვევს ცდომილების გაზრდას.

ცნობილია, რომ:

$$I = \frac{U_2}{Z} \quad (1)$$

$$S = U \cdot I = \sqrt{\Sigma P^2 + \Sigma Q^2} \quad (2)$$

სადაც, U და I მეორადი გრაგნილების ძაბვა და დენია. S სრული სიმძლავრეა.

6.2. ძაბვის ტრანსფორმატორის დატვირთვის სიმძლავრის გაზომვა

ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული წრედის დატვირთვის ნორმალიზაციისთვის ჩასატარებელი ღონისძიებების პირველ ეტაპზე

იზომება ტრანსფორმატორის ფაქტიური დატვირთვა. სიმძლავრე განისაზღვრება მის მეორად წრედში ძაბვის და დენის გაზომვით.

ძაბვის ტრანსფორმატორის გაზომვის გრაგნილის დატვირთვის სიმძლავრის განსაზღვის პროცესში დგინდება ფაქტიური დატვირთვა.

მზომი ძაბვის ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრე ეწოდება იმ უდიდეს სიმძლავრეს, როდესაც მის მეორეულ გრაგნილთან ხელსაწყოების მიერთებისას გარანტირებულია სიზუსტის კლასის ნორმირება. ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრის გაზრდა იწვევს ცდომილების გაზრდას და მას გადაყავს უფრო უხემ დაბალ კლასში.

ელექტროენერგეტიკულ მოწყობილობებში გამოიყენება ძაბვის ტრანსფორმატორების მრავალი სახის შეერთების სქემები. ყველაზე უბრალო შეერთების სქემაა ძაბვის მზომი ტრანსფორმატორის ერთფაზა შეერთების სქემა, როდესაც ორი ერთფაზა ძაბვის ტრანსფორმატორი შეერთებულია გახსნილი სამკუთხედით. ეს სქემა გამოიყენება ქსელში იზოლირებული ნეიტრალით. აქ შესაძლებელია სამფაზა ვატმეტრების და მრიცხველების გრაგნილების შეერთებების დაჯგუფება, ორ ფაზას შორის, დატვირთვის თანაბრად განაწილება. ყველა სქემებში ხელსაწყოების წრედებში გადაძაბვის გამოსარიცხად ძაბვის ტრანსფორმატორის დაბალ მხარეს ნეიტრალი ყრუდ მიწდება, ხოლო დასამიწებლად გამოყენებულ სადენებში მცველების დაყენება არ შიძლება.

ძაბვის ტრანსფორმატორების პირველადი გრაგნილები ქსელთან მიერთებულია მდნობადი მცველების საშუალებით. ეს პირობა აუცილებელია, რადგან წინააღმდეგ შემთხვევაში მოკლედ შერთვის დროს შეიძლება მოხდეს ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის დაზიანება.

ძაბვის ტრანსფორმატორების რეალურ ექსპლუატაციის პირობებში, როდესაც ფაქტიური დატვირთვის მნიშვნელობა მისი ნორმირებული მნიშვნელობის 25%-ზე ნაკლებია, ან 100%-ზე მეტი. თუ ტრანსფორმატორის შეცვლა ეკონომიური თვალსაზრისით არ არის მიზანშეწონილი, ასეთ შემთხვევაში ძაბვის ტრანსფორმატორის სიზუსტის კლასის

უზრუნველყოფა მიზანშეწონილია განხორციელდეს მის მეორეულ წრედში დატვირთვის ნორმალიზაციის ოპერაციით.

ძაბვის ტრანსფორმატორის ფაქტიური დატვირთვის გაზრდა შეიძლება განხორციელდეს სპეციალური დამტვირთი წინაღობების (რეზისტორები) საშუალებით. ისინი შეირჩევიან იმ პირობებიდან გამომდინარე, რომ ტრანსფორმატორის ფაქტიური დატვირთვის დიაპაზონი უზრუნველყოფილი იქნას მისი ნორმირებული სიდიდის $50 \pm 10\%$ დიაპაზონში.

ტრანსფორმატორის ფაქტიური დატვირთვის შესამცირებლად განსახორციელებელია მისი მეორეული წრედების განტვირთვის ოპერაცი, როდესაც უზრუნველყოფილი იქნება ფაქტიური დატვირთვის დიაპაზონი ნომინალური სიდიდის $50 \pm 10\%$ დიაპაზონში.

ერთგაზა სამგრაგნილიანი ძაბვის ტრანსფორმატორებისათვის განისაზღვრება თითოეული მეორადი გრაგნილის დატვირთვის სიმძლავრე. სამგაზა ტრანსფორმატორებისათვის განისაზღვრება ძირითადი გრაგნილის და დამატებითი გრაგნილის დატვირთვის სიმძლავრე, როდესაც $\cos \varphi \geq 0,8$.

ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის დატვირთვის სიმძლავრის ფაქტიური მნიშვნელობა, მიყვანილია მის ნორმალურ მნიშვნელობასთან განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_{გაზ.2} = \frac{U_{ნომ.}^2 \cdot I_2}{U_2}$$

სადაც: I_2 - ძაბვის ტრანსფორმატორის ფაზურ სადენში გამავალი დენია.

U_2 - ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილში გამავალი ძაბვაა.

$U_{ნომ.}$ - მეორეული გრაგნილის ნომინალური ძაბვაა.

1. სამგაზა ძაბვის ტრანსფორმატორების დატვირთვის სიმძლავრედ მიიღება, დატვირთვის ჯამური სიმძლავრე, გათვლილი

ტრანსფორმატორის თითოეული გრაგნილის სიმძლავრეების სიდიდეებით.

2. ერთფაზა სამგრაგნილიანი ტრანსფორმატორების დატვირთვის წინააღმდეგ მიიღება მისი მეორეული ძირითადი და დამატებითი გრაგნილების სიმძლავრეთა ჯამი.

თუ დატვირთვის ფაქტიური სიმძლავრე ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრის 50%-ზე ნაკლებია მისი სიზუსტის კლასის უმაღლესი სიდიდისას, ტარდება ღონისძიებები ტრანსფორმატორის მეორეული წრედების გადატვირთვისთვის.

6.3. ერთფაზა ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული წრედების გადატვირთვის ღონისძიებები

ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორად წრედებში დატვირთვის წინააღმდეგობების (რეზისტორები) სიდიდეთა ანგარიში წარმოებს ტრანსფორმატორის ცნობილი ფაქტიური დატვირთვის, ტიპის და მეორეული გრაგნილების შეერთების სქემის საფუძველზე.

ვინაიდან ძაბვის ტრანსფორმატორების მეტროლოგიური მნიშვნელობები იმყოფებიან ნომინალური მნიშვნელობების 40%-დან 60%-ის დიაპაზონში, ტრანსფორმატორის დატვირთვის სიმძლავრის ნორმალიზაცია წარმოებს 50%-ს დონეზე:

$$S_{\text{დატ.2}} = 0,5 S_{\text{ნომ.2}}$$

სადაც: $S_{\text{ნომ.2}}$ - ძაბვის ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრეა, მისი სიზუსტის კლასის უმაღლესი მნიშვნელობისას.

სიმძლავრის საჭირო მნიშვნელობა, განსაზღვრული დატვირთვის წინააღმდეგობების ჩართვისას:

$$S_{\text{დატ.2}} = S_{\text{ნომ.მინ2}} - S_{\text{გაზ.2}}$$

დამტვირთი წინააღმდეგობების მნიშვნელობები, რომელიც ირთვება ძაბვის ტრანსფორმატორის თითოეულ ფაზაში, დამტვირთი წინააღმდეგობები

განისაზღვრება შემდეგი განტოლებით, ტრანსფორმატორის თითოეული ფაზის თანაბარი დატვირთვის პირობების დაცვისას:

$$R_{\text{დატ. A}} = R_{\text{დატ. B}} = R_{\text{დატ. C}} = \frac{U_{\text{ნომ.}}^2}{S_{\text{დატ.}}}$$

თუ ტრანსფორმატორის დატვირთვა არასიმეტრიულია დატვირთვის წინააღმდეგობები აირჩევა ისეთნაირად, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს ფაზების დატვირთვის სიმეტრიულობა შემდეგი ფორმულის დაცვით:

$$R_{\text{დატ.}} = \frac{U_{\text{ნომ.}}^2}{S_{\text{დატ.}}}$$

დატვირთვის წინააღმდეგობა შეიძლება ჩაირთოს , როგორც ფაზურ, ისე ფაზებს შორის ძაბვებზე.

დატვირთვის წინააღმდეგობები უნდა ჩაირთოს ცალკეული კაბელური კავშირის დახმარებით, რათა არ გაიზარდოს ძაბვის ვარდნა, ძაბვის ტრანსფორმატორის მრიცხველთან ჩართვის სქემაში. რათა არ გაიზარდოს საკაბელო კავშირებში დატვირთვა და სათანადოდ ძაბვის ვარდნა დატვირთვის წინააღმდეგობები ყენდება უშუალოდ ძაბვის ტრანსფორმატორთან ახლოს.

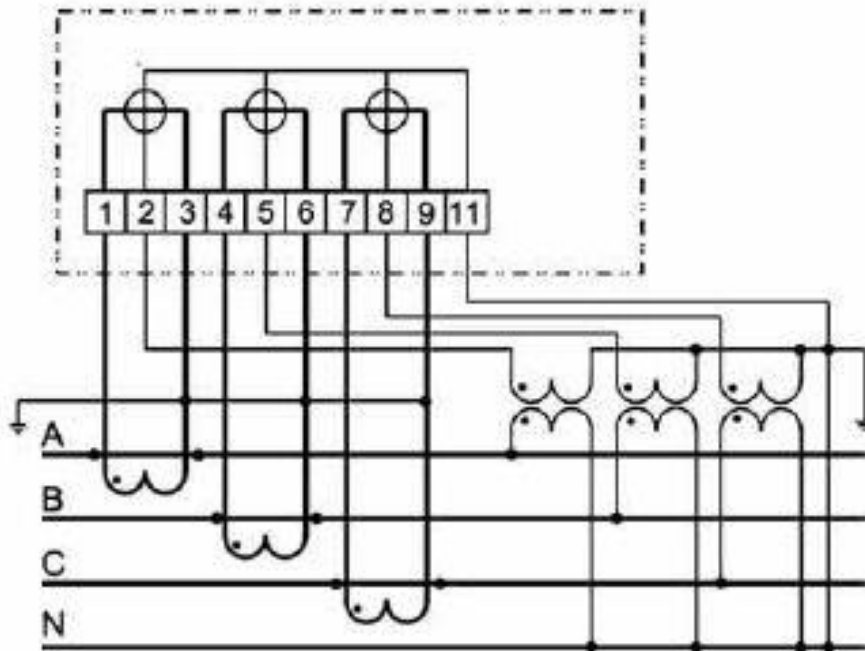
შენიშვნა: ძაბვის ტრანსფორმატორის ჩართვისას სქემით „არასრული ვარსკვლავი“ , მისი B ფაზაში დატვირთვის წინააღმდეგობა არ ყენდება.

განვიხილოთ ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძი, სადაც სამფაზა სამელემენტური ელექტრონული მრიცხველი მიერთებულია შემდეგი სქემით:

6.4. ერთფაზა ძაბვის ტრანსფორმატორის აღრიცხვის გრაგნილის მეორადი გამომყვანის დატვირთვის გაანგარიშება

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ძაბვის ტრანსფორმატორის აღრიცხვის გრაგნილის მეორადი ნომინალური დატვირთვა, საქარხნო

მონაცემების მიხედვით, მოყვანილია მის ფირნიშზე შეადგენს: $S_{\text{ბ.ნ}}=20$ ვა-ს; მეორად წრედში მრიცხველის ჩართვის სამელემენტაანი სქემაა გამოყენებული.



სამელემენტაანი მრიცხველის ჩართვის სქემა ოთხსადენიან ქსელში დამიწებული ნეიტრალით.

ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვის დენს ვანგარიშობთ შემდეგი ფორმულის გამოყენებით

$$I_{\text{ბ.ტ. დატ.}} = \frac{S_{\text{ბ.ტ.}}}{\sqrt{3} U_{2\text{ნომ}}} \quad (a)$$

სადაც:

$S_{\text{ბ.ტ.}}$ - წარმოადგენს ძაბვის ტრანსფორმატორის აღრიცხვის მეორად წრედში ჩართული მოწყობილობების დატვირთვას, ვოლტამპერი (ვა);

$U_{2\text{ნომ}}$ - წარმოადგენს ძაბვის ტრანსფორმატორის აღრიცხვის მეორად წრედში ნომინალური ძაბვის სიდიდეს ვოლტებში (ვ);

მოცემული ძაბვის ტრანსფორმატორის აღრიცხვის მეორად წრედში ჩართულია მხოლოდ ელექტროენერჯის მრიცხველი, რომლის დატვირთვა ვა-ში, მრიცხველის საქარხნო მონაცემებში მითითებულია მისი

დატვირთვის სიდიდე. მაგალითად AA1800 ტიპის მრიცხველის $S_{\text{ორიგველი}} = 3.6$ ვა-ს. მისი სამფაზა ოთხსადენიან ქსელში ჩართვის სქემა ნაჩვენებია №1 ნახაზზე.

მაზვის ტრანსფორმატორების მეორადი რეალური დატვირთვის იანგარიშება:

$$S_{\text{მ.ტ. დატ.}} = I_{\text{მ.ტ. დატ.}}^2 \cdot R_{\text{სად.+კონ.}} + S_{\text{მოწ.}}$$

სადაც:

მაზვის ტრანსფორმატორების მეორეულ წრედში რეალური დატვირთვის დენი იანგარიშება ფორმულით:

$$I_{\text{მ.ტ. დატ.}} = \frac{3,6}{\sqrt{3} \cdot 100} = 0,021$$

სადენის წინაღობა იანგარიშება:

$$R_{\text{სად.}} = \frac{\rho \cdot \ell}{S} = \frac{0,0178 \cdot 5}{2,5} = 0,04$$

სადაც:

$S = 2,5 \text{ მმ}^2$ - წარმოადგენს სადენის კვეთს;

$\ell = 5 \text{ მ}$ - წარმოადგენს სადენის სიგრძეს;

$\rho = 0,0178 \text{ ომი} \cdot \text{მმ}^2/\text{მ}$ - სპილენძის სადენის კუთრი წინაღობაა.

აღებული შესაბამისი ცხრილებიდან $+20^\circ\text{C}$ -ზე.

$R_3 = 0,05 \text{ ომი}$; წარმოადგენს კონტაქტის წინაღობას;

ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით: $\sum R_{\text{სად.+კონ.}} = 0,09$ ომი,

ხოლო მაზვის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის რეალური დატვირთვა შეადგენს:

$$S_{\text{მ.ტ. დატ.}} = 3 \cdot I_{\text{მ.ტ. დატ.}}^2 \cdot R_{\text{სად.+კონ.}} + S_{\text{მოწ.}} = 3,6$$

სტანდარტის (IEC 61869-5:2011) მიხედვით მაზვის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვა მეტი უნდა იყოს ნომინალური მნიშვნელობის 25%-ზე და არ უნდა აღემატებოდეს ნომინალური მნიშვნელობის 100%-ს.

როგორც ვხედავთ მაზვის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვა ნაკლებია მაზვის ტრანსფორმატორის ნომინალური

მნიშვნელობის 25%-ზე. ასეთ შემთხვევაში საჭიროა მეორეულ წრედში დაემატოს დამტვირთი წინაღობა, რომელიც იანგარიშება შემდეგნაირად:

$$S_{\text{დატ.2}} = S_{\text{ნომ.8ი82}} - S_{\text{გაზ.2}}$$

$$S_{\text{დატ.}} = 5 - 3,6 = 1,4 \text{ ვა}$$

დამტვირთი წინაღობების სიმძლავრე, რომელიც ირთვება ძაბვის ძაბვის ტრანსფორმატორის თითოეულ ფაზაში, შეადგენს 3 ვა, რათა დაკმაყოფილებული იქნეს სტანდარტის მოთხოვნადა სესაბამისად ეს ძაბვის ტრანსფორმატორი იყოს თავის სიზუსტის კლასში.

6.5 ძაბვის ვარდნა ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეულ წრედში

ელექტროენერჯის აღრიცხვის წრედში გამოყენებული 0,5 კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორის შემთხვევაში მეორეულ წრედში ძაბვის ვარდნა არ უნდა აღემატებოდეს 0,25%-ს.

ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორად წრედში ძაბვის ვარდნა:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ბ.ტ. დატ.}} \cdot R_{\text{სად.}}$$

ძაბვის ტრანსფორმატორების მეორეულ წრედში რეალური დატვირთვის დენი:

$$I_{\text{ბ.ტ. დატ.}} = \frac{S_{\text{ნომ.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{2508}}} = \frac{3,6}{\sqrt{3} \cdot 100} = 0,021$$

სადენის წინაღობა შეადგენს:

$$R_{\text{სად.}} = \frac{\rho \cdot \ell}{S} = \frac{0,0178 \cdot 5}{2,5} = 0,04$$

სადაც:

$S = 2,5 \text{ მმ}^2$ - წარმოადგენს სადენის კვეთს;

$\ell = 5 \text{ მ}$ - წარმოადგენს სადენის სიგრძეს;

$\rho = 0,0178 \text{ ომი} \cdot \text{მმ}^2/\text{მ}$ - სპილენძის სადენის კუთრი წინაღობაა.

აღებული შესაბამისი ცხრილებიდან $+20^{\circ}\text{C}$ -ზე.

მაზვის ტრანსფორმატორის მეორეულ სადენში მაზვის ვარდნა შეადგენს:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ტ. დატ}} \cdot R_{\text{სად}} = 1.73 \cdot 0.021 \cdot 0.04 = 0.0015$$

მაზვის ტრანსფორმატორის მეორეულ სადენში მაზვის ვარდნა პროცენტებში შეადგენს:

$$\frac{\Delta U}{U_{25\text{მვ.}}} \cdot 100\% = \frac{0.0015}{100} \cdot 100\% = 0.0015\%$$

ანგარიშიდან ჩანს, რომ მაზვის ტრანსფორმატორის მეორეულ წრედში მაზვის ვარდნა დასაშვები სიდიდისაა.

დასკვნა: თუ მაზვის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვა და მეორეულ სადენში მაზვის ვარდნის მნიშვნელობა არ იქნება დასაშვებ ზღვრებში, აღნიშნული მაზვის ტრანსფორმატორი გამოსული იქნება სიზუსტის კლასიდან.

6.5. სამფაზა მაზვის ტრანსფორმატორის აღრიცხვის გრაგნილის მეორეულ წრედში მაზვის ვარდნის და დატვირთვის გაანგარიშება

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც სამფაზა მაზვის ტრანსფორმატორის აღრიცხვის გრაგნილის მეორადი ნომინალური დატვირთვა, საქარხნო მონაცემების მიხედვით, მოყვანილია მის ფირნიშზე შეადგენს: $S_{\text{ტ.ნ}}=150$ ვა-ს. მეორეულ წრედში ჩართულია 3 ცალი CA3-II 670 აქტიური მრიცხველი და 3 ცალი რეაქტიული მრიცხველი СРУ-II673, ვოლტმეტრი და რელე. ზემოტ აღნიშნული ხელსაწყოები მაზვის წრედთან მიერთებულები არიან 40მ კაბელის საშუალებით, კაბელის კვეთი არის $2,5 \text{ მმ}^2$.

განვსაზღვროთ მაზვის ტრანსფორმატორის დატვირთვა და მაზვის ვარდნის ვარდნა კაბელში.

ყველაზე მეტად დატვირთულია მაზვის ტრანსფორმატორის A ფაზა და მისი დატვირთვის სიმძლავრეა:

$$S_{\text{დატ}} = 0,58 \cdot 50,4 + 0,42 \cdot 15 = 35,5 \text{ ვა}$$

ძაბვის ტრანსფორმატორის საანგარიშო სიმძლავრე იქნება:

$$S_{\text{დატ.საანგ.}} = 3 \cdot 35,5 = 106,5 \text{ ვა}$$

ანუ არ აღემატება დასაშვებ სიდიდეს.

სადენის წინაღობა შეადგენს:

$$R_{\text{გაბტ.}} = \frac{40 \cdot 0,0178}{2,5} = 0,28 \text{ ომი}$$

ცხრილი 9.ძაბვის ტრანსფორმატორის დატვირთვა

ხელსაწყო	სიმძლავრე	ფაზებს შორის დატვირთვა		
აქტიური ენერჯიის მრიცხველი	5	11,8	-	11,8
რეაქტიული ენერჯიის მრიცხველი	8	23,6		23,6
რელე	12	12	12	12
ვატმეტრი	3	3	3	3
ჯამი		50,4	15	50,4

დატვირთვის დენი A ფაზაში:

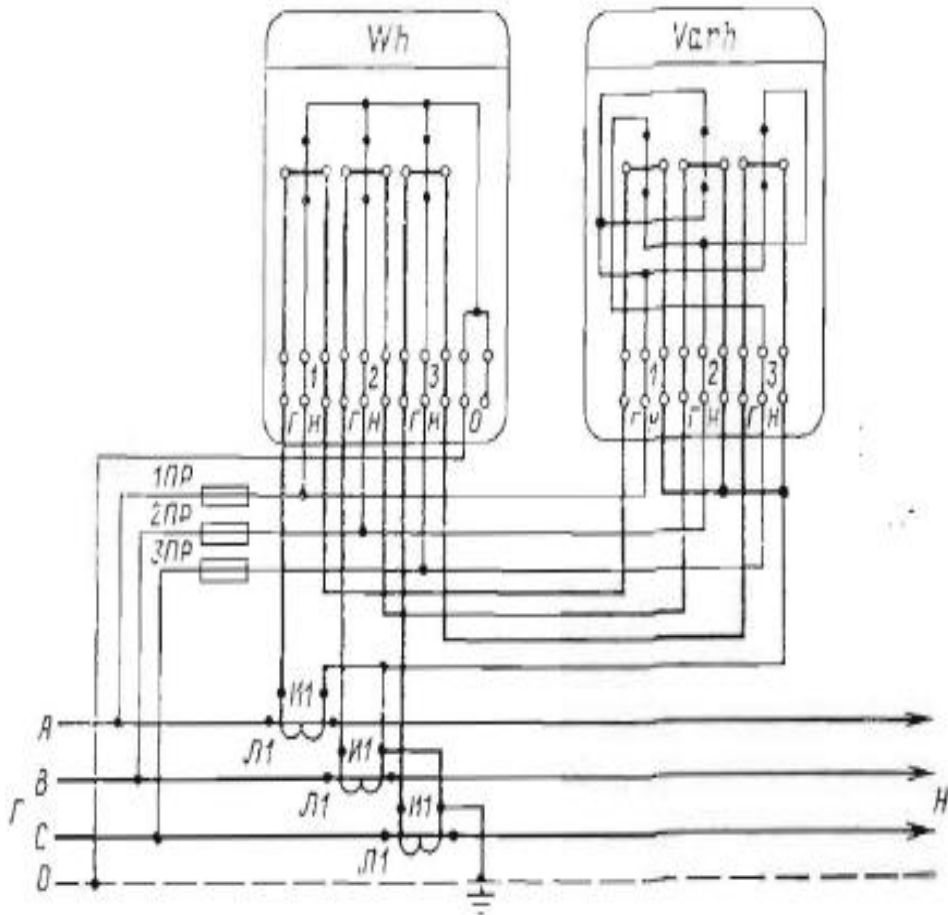
$$I_{\text{დატ.}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 35,5}{100} = 0,61 \text{ ა}$$

ძაბვის ვარდნა შემაერთებელ სადენში შეადგენს:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 0,61 \cdot 0,28 = 0,30 \text{ ვ}$$

როგორც ანგარიშიდან ჩანს გამოთვის შედეგად მირებული ძაბვის ვარდნის დასაშვები სიდიდე აღემატება 0,5 კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორისთვის დასაშვებ ნორმას, შესაბამისად საჭიროა გაიზარდოს შემაერთებელი სადენის კვეთი 4 მმ^2 , რომლის გამოყენების

შემთხვევაში ძაბვის ვარდნიოს დასაშვები სიდიდე დააკმაყოფილებს შესაბამის მოთხოვნას.



ნახაზი 27. ინდუქციური მრიცხველების ნახევრად ორიბი ჩართვის სქემა

თავი 7. ოპტიკური დენის და ძაბვის გადამწოდი

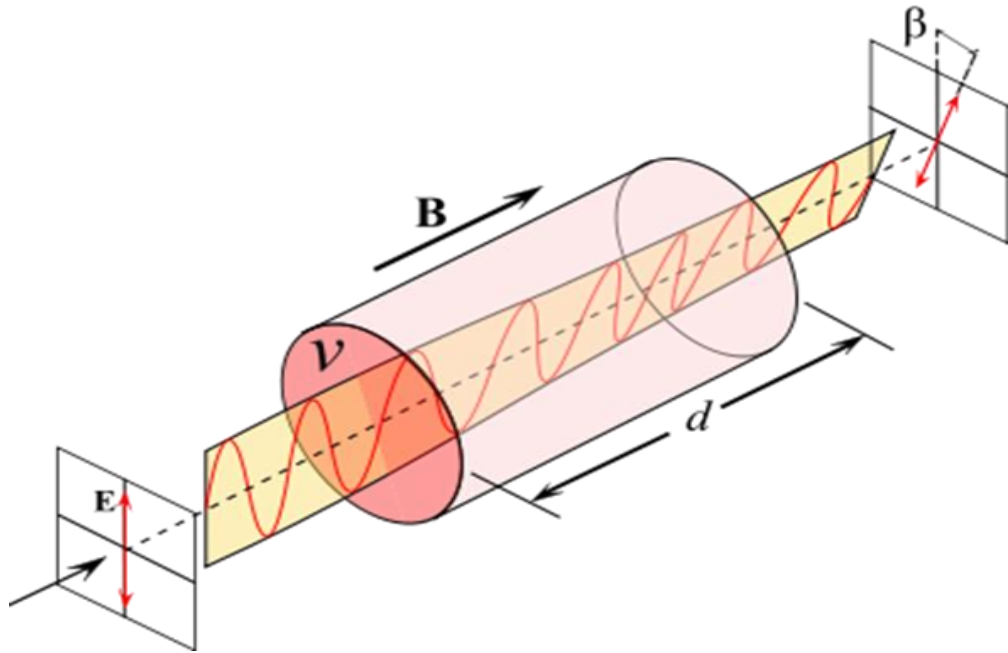
7.1. ოპტიკური დენის გადამწოდი

ოპტიკური დენის ტრანსფორმატორით დენის გაზომვის პრინციპი დამყარებულია ფარადეის ეფექტზე.

ორი სინათლის ტალღა ორთოგონალური ცირკულირებული პოლარიზაციით შეყავთ მრავალხვიან კონტურში, რომელიც დამზადებულია სპეციალური ოპტიკური ბოჭკოვანი მასალით. კონტურის შიგნით მდებარეობს დენიანი გამტარი. თუ გამტარში დენი არ არის, სინათლის ტალღები ბოჭკოვან კონტურში ვრცელდებიან ერთდროულად ერთნაირი სიჩქარით. გამტარში ექტრული დენის არსებობისას ოპტიკური ბოჭკო განიცდის გამავალი დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ზემოქმედებას. შედეგად ბოჭკოვანი კონტურის ოპტიკური თვისებები და სინათლის ტალღების გავრცელების სიჩქარე კონტურში იცვლება.

კონტურიდან გამოსვლისას ტალღებს შორის ჩნდება შესაბამისი ფაზური ძვრა. ამგვარად დენის სიდიდის ბოჭკოვან ოპტიკური მეთოდით გაზომვის ამოცანა დაფუძნებულია სინათლის სხივებს შორის ფაზური ძვრის ზუსტ გაზომვასთან მგრძნობიარე ბოჭკოვან კონტურში, რომელიც მდებარეობს ელექტრული დენის გრძივ მაგნიტურ ველში.

ოპტიკური დენის გადამწოდის გამოყენებით უმჯობესდება მთლიანი აღრიცხვის კვანძის სიზუსტე და შესაბამისად იხსნება მეორეული დატვირთვის პრობლემის საკითხი.



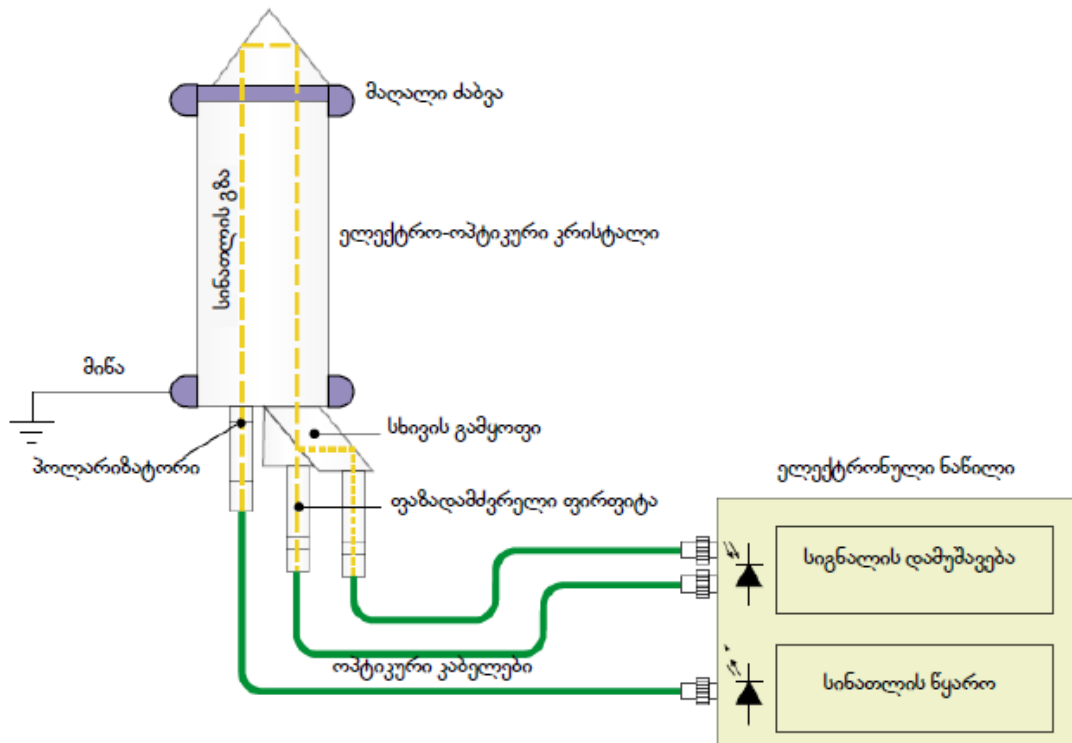
ნახაზი 28. ოპტიკური დენის გადამწოდი

\vec{B} – მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი.

\vec{E} – ოპტიკური გამოსხივების ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორი.

7.2. ელექტრულ-ოპტიკური ძაბვის გადამწოდი

აღნიშნული გადამწოდის მოქმედება ემყარება პოკელსის ეფექტს. ამ მოვლენას აქვს ადგილი კრისტალურ მასალაში. იგი აღწერს ორად გარდატეხილი სხივის ინდუქცირებას ელექტრული ველის ზემოქმედების შედეგად. თუ წრფივი სხივები კრისტალში ვრცელდება ელექტრული ველის პარალელურად, მაშინ ამ ველის ზემოქმედებით გაჩნდება ფაზური ძვრა მისი ნელი და სწრაფი ღერძების ნაწილებს შორის. ეს ძვრა, რომელიც გამოწვეულია სინათლის გავრცელების სიჩქარეების სხვაობების გამო, დამოკიდებულია ღერძებს შორის არსებულ გარდატეხვის სხვადასხვა მაჩვენებლებზე.[10]



ნახაზი 29. ელექტრო-ოპტიკური ძაბვის გადამწოდი

აღნიშნული მოწყობილობის გამოყენებით აღმოიფხვრება ყველა აღრიცხვის კვანძის პრობლემა მეორად დატვირთვებთან და სიზუსტის კლასთან დაკავშირებით.

დასკვნები

1. პირველადი ტვირთების სიმცირის გამო, უნდა განხორციელდეს დენის ტრანსფორმატორი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ცვლილება, ანუ უფრო დაბალ კოეფიციენტზე გადასვლა.
2. ელექტრონული მრიცხველების გამოყენებისას მზომი ტრანსფორმატორების მეორად წრედში აუცილებელია დამტვირთი წინაღობის ჩართვა, რათა გაუმჯობესდეს აღრიცხვის წრედის მუშაობის რეჟიმი და მზომი ტრანსფორმატორების სიზუსტის კლასი.
3. 0,2S და 0,5S კლასის დენის ტრანსფორმატორების გამოყენება.
4. ორედსადგენია ელემენტარული მრიცხველის გამოყენება, როდესაც $\cos \varphi > 0,5$.
5. დასადგენია ელექტროენერჯის გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტები, რომელიც გამოიყენება ელექტროენერჯის აღრიცხვის წრედებში მზომი ტრანსფორმატორების არასწორი ჩართვის, ასევე მათი სხვადასხვა სახის დაზიანების შემთხვევაში.
6. პერსპექტივაში ოპტიკური ძაბვის და დენის გადამწოდების გამოყენება.
7. უფრო დაბალ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტზე გადასვლისას უნდა გამოირიცხოს დენის ტრანსფორმატორის მაგნიტური სისტემის გაჟღენთვა, რადგან მისი ამ მდგომარეობიდან გამოსვლა შესაძლებელია გაგრძელდეს 10-15 წთ, რაც უარყოფითად აისახება ელექტროენერჯის აღრიცხვაზე.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. მახარაძე გ., ელექტროენერგეტიკული (ელექტრული) სისტემები. თბილისი: „უნივერსალი“, 2011, 63 გვ.
2. ქორქია ე., შერგელაშვილი ტ. ქვესადგურ „ბათუმი 220“-ში 35 კვ-იან ელექტროგადაცემის ხაზზე ელ.ენერგიის აღრიცხვის კვანძის ოპტიმიზაცია. III საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”. მოხსენებების კრებული. ქ. ქუთაისი, საქართველო, 2015 წ., გვ. 18-23.
3. ქორქია ე., გოზალიშვილი ნ. ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერგიის აღრიცხვის საფუძვლები. თბილისი: ”საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა”, 2014, 26 გვ.
4. А.Д.Рожкова, Т.В. Гиркова Электрообрудование Электрических станций подстанций. М: „Академия“, 2010, с.58
5. საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის დადგენილება №10. „ქსელის წესები“. 2014, 67 გვ.
6. ქორქია ე., შერგელაშვილი ტ., თეთრაული კ. გამომავალი ძაბვის ფორმირება ავტონომიური ძაბვის ინვერტორში. “ენერჯია”, 2018, №1(85), გვ. 36-43.
7. შერგელაშვილი ტ. ქორქია ე. ელექტროენერგიის აღრიცხვის წრედში დენის ტრანსფორმატორის შერჩევის საკითხები. V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”. მოხსენებების კრებული. ქ. ქუთაისი, საქართველო, 2018 წ., გვ. 51-55.
8. შერგელაშვილი ტ. ელექტროენერგიის აღრიცხვის კვანძში გამოყენებული ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვის და ძაბვის ვარდნის გაანგარიშება. „ინტელექტუალი“, 2019, №37, გვ. 158-162.
9. კობტაშვილი ა. ელექტრული სადგურების და ქვესადგურების ძალოვანი დანადგარები, აპარატები, საკომუტაციო სქემები და რეჟიმები. თბილისი: ”საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა”, 2013, 252 გვ.

10. შერგელაშვილი ტ. ქორქია ე. ელექტროენერჯის აღრიცხვა ორელემენტური მრიცხველის გამოყენებისას. „ენერჯია“, 2019, №2(90).
11. <https://xn----7sbeb3bupph.xn--p1ai/shem/shemy-podklyucheniya-transformatorov-toka.html>