

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ტიტიკო შერგელაშვილი

ელექტროენერჯის აღრიცხვა მზომი ტრანსფორმატორების
მუშაობისას მცირე სიდიდის დატვირთვებზე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა: "ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია"

შიფრი: 0405

თბილისი

2019

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ელექტროენერგეტიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ე. ქორქია

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2019 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი VIII, აუდიტორია
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

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 საკითხი გადასაწყვეტი, რადგან ამ მოწყობილობის მუშაობა დაფუძნებულია ფარადის ეფექტზე. ასეთ შემთხვევაში ელექტროენერგიის აღრიცხვის კვანძში გამოიყენება ოპტიკური დენისა და ძაბვის გადამწოდი, ოპტიკური მრიცხველი და ოპტიკური სადენი.

აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე. აგრეთვე, მოხსენებულ იქნა ქ.ქუთაისში V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - „ ელექტროენერგიის აღრიცხვის წრედში შერჩევის საკითხები“. 2018 წელი, ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები. დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია სტატიები სამეცნიერო ჟურნალებში.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება *** გვერდისაგან. იგი შეიცავს შესავალს, 7 თავს, დასკვნასა და გამოყენებული ლიტერატურის სიას.

ნაშრომის მოკლე შინაარსი

ნაშრომის თავებში მოყვანილი მასალები წარმოადგენს კვლევისა და ექსპერიმენტის შედეგებს. ექსპერიმენტები ჩატარებული იქნა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში (ელექტრული ენერჯის გადაცემა და განაწილების მიმართულება) და საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის ელექტროენერჯის აღრიცხვის დეპარტამენტში.

დენის ტრანსფორმატორის მოდელის შერჩევის პრობლემა

ბაზარზე ელექტროენერჯის გაზომვის და აღრიცხვის საშუალებებში 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.

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:

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

ფორმულიდან გამომდინარე ვიანგარიშოთ მაქსიმალური დენის მნიშვნელობა:

$$I_{1მაქ} = \frac{S_{მაქ}}{\sqrt{3} U_{ნომ}} = \frac{65000}{1,73 \cdot 220} = 170.78 \text{ ა} ,$$

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

ეგხ-ში გამავალი მინიმალური დატვირთვის დენი:

$$I_{1მინ} = \frac{S_{მინ}}{\sqrt{3} U_{ნომ}} = \frac{12000}{1,73 \cdot 220} = 31.5 \text{ ა} .$$

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

$$I_{2მაქ} = \frac{I_{1მაქ}}{K_{ფ}} = \frac{170.78}{120} = 1.42 \text{ ა} ,$$

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

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

$$I_{2მინ} = \frac{I_{1მინ}}{K_{ფ}} = \frac{31.5}{120} = 0.26 \text{ ა} .$$

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

მაქსიმალური დატვირთვისას:

$$\frac{I_{28\text{კ}}}{I_{25\text{ო8}}} \cdot 100\% = \frac{1.42}{5} \cdot 100\% = 28.4\% < 40\%;$$

მინიმალური დატვირთვისას:

$$\frac{I_{28\text{ნ6}}}{I_{25\text{ო8}}} \cdot 100\% = \frac{0.26}{5} \cdot 100\% = 5.2\% > 5\%.$$

ანგარიშმა აჩვენა, რომ მაქსიმალური დატვირთვის დროს წაყენებული მოთხოვნა ვერ დააკმაყოფილა შერჩეულმა დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტმა. ამ პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია, თუ შერჩეული დენის ტრანსფორმატორის სიზუსტის კლასი იქნება 0,2S ან 0.5S. იხილეთ ცხრილი №1.

ცხრილი 1. დენის ტრანსფორმატორის სიზუსტის კლასის დამოკიდებულება

სიზუსტის კლასი	პირველადი დენის ნომინალური მნიშვნელობა %	დასაშვები ცდომილების ზღვარი			მეორეული დატვირთვის 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	±0,2	±10'	±0,3 რად	
	100	±0,2	±10'	±0,3 რად	
	120	±0,2	±10'	±0,3 რად	
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	±0,5	±30'	±0,9 რად	
	100	±0,5	±30'	±0,9 რად	
	120	±0,5	±30'	±0,9 რად	
1	5	±3	±180'	±5,4 რად	
	20	±1,5	±90'	±2,7 რად	
	100-120	±1	±60'	±1,8 რად	
3	50-120	±3	არ ნორმირდება		50-100
10		±10			

დენის ტრანსფორმატორის მეორადი დატვირთვის გაანგარიშება

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

მეორადი დატვირთვა: $R_2 = R_{მოწყ} + R_{სად} + R_3$ (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 $R_{სად} = \rho x(L/S) = 0,0178x(4/2,5)=0,1424$ 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, ამავე დროს $S_{დტ2} = 4.8$ ვა < $S_{დტ25} = 25$ ვა-ს.

ანგარიშმა აჩვენა, რომ დენის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვა ნაკლებია ნომინალური მნიშვნელობის 25%-ზე. აღნიშნულის აღმოფხვრის მიზნით დენის ტრანსფორმატორის მეორეულ წრედში

ჩავსვით დამტვირთი წინაღობა, რომლის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე შეადგენდა 5ვა-ს. არსებული დატვირთვის პირობებში გაიზომა დენის ტრანსფორმატორი და აღმოჩნდა რომ დენის ტრანსფორმატორი არ იყო გამოსული სიზუსტის კლასიდან.

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 0,5 კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორების გამოყენებისას ძაბვის ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს 0,5%-ს. მზომი 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.

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.

ერთფაზა სამგრანგილიანი ძაბვის ტრანსფორმატორებისათვის განისაზღვრება თითოეული მეორადი გრანგილის დატვირთვის სიმძლავრე. სამფაზა ტრანსფორმატორებისათვის განისაზღვრება ძირითადი გრანგილის და დამატებითი გრანგილის დატვირთვის სიმძლავრე, როდესაც $\cos \varphi \geq 0,8$.

ტრანსფორმატორის მეორეული გრანგილის 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 გრანგილში გამავალი ძაბვაა.

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

1. სამფაზა ძაბვის ტრანსფორმატორების დატვირთვის სიმძლავრედ მიიღება, დატვირთვის ჯამური სიმძლავრე, გათვლილი ტრანსფორმატორის თითოეული გრანგილის სიმძლავრეების სიდიდეებით.
2. ერთფაზა სამგრანგილიანი ტრანსფორმატორების დატვირთვის წინააღმდეგ მიიღება მისი მეორეული ძირითადი და დამატებითი გრანგილების სიმძლავრეთა ჯამი.

თუ დატვირთვის ფაქტიური სიმძლავრე ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრის 50%-ზე ნაკლებია მისი სიზუსტის

კლასის უმაღლესი სიდიდისას, ტარდება ღონისძიებები ტრანსფორმატორის მეორეული წრედების გადატვირთვისთვის.

მაზვის ტრანსფორმატორის მეორეული წრედების გადატვირთვის ღონისძიებები

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

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

სიმძლავრის საჭირო მნიშვნელობა, განსაზღვრული დატვირთვის წინააღმდეგობების ჩართვისას:

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

დამტვირთი წინააღმდეგობების მნიშვნელობები, რომელიც ირთვება მაზვის მაზვის 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:

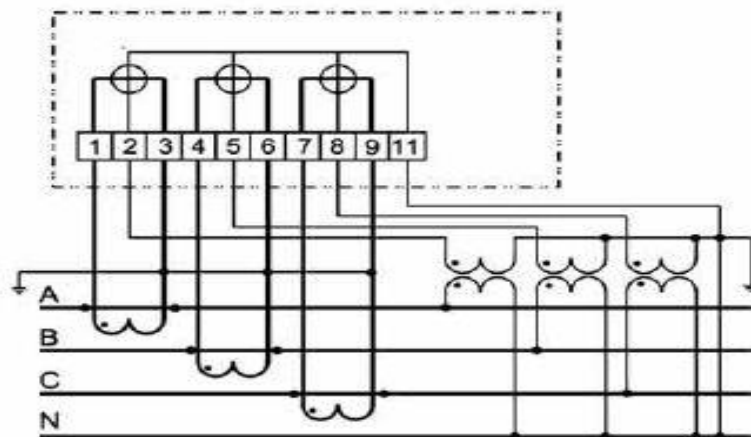
$$R_{\text{დატ.}} = \frac{U_{\text{ნომ.}}^2}{S_{\text{დატ.}}}$$

დატვირთვის წინაღობა შეიძლება ჩაირთოს , როგორც ფაზურ, ისე ფაზებს შორის დაბევბზე.

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

შენიშვნ: დაბვის ტრანსფორმატორის ჩართვისას სქემით „არასრული ვარსკვლავი“ , მისი B ფაზაში დატვირთვის წინაღობა არ ყენდება.

განვიხილოთ ელექტროენერგიის აღრიცხვის კვანძი, სადაც სამფაზა სამელემენტიანი ელექტრონული მრიცხველი მიერთებულია შემდეგი სქემით:



ნახ. 1. სამელემენტიანი მრიცხველის ჩართვის სქემა ოთხსადენიან ქსელში დამიწებული ნეიტრალით

**ძაბვის ტრანსფორმატორის აღრიცხვის გრაგნილის მეორეული
გამომყვანის დატვირთვის გაანგარიშება**

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ძაბვის ტრანსფორმატორის აღრიცხვის გრაგნილის მეორადი ნომინალური დატვირთვა, საქარხნო მონაცემების მიხედვით, მოყვანილია მის ფირნიშზე შეადგენს: $S_{ტ.ნ}=20$ ვა-ს;

ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვის დენს ვანგარიშობთ შემდეგი ფორმულის გამოყენებით

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

სადაც:

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

$U_{2გონ.}$ - 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 $S_{მრიცხველი} = 3.6$ ვა-ს. მისი სამფაზა ოთხსადენიან ქსელში ჩართვის სქემა ნაჩვენებია №1 ნახაზზე. ძაბვის ტრანსფორმატორების მეორადი რეალური დატვირთვის იანგარიშება:

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

სადაც:

ძაბვის ტრანსფორმატორების მეორეულ წრედში რეალური დატვირთვის დენი იანგარიშება ფორმულით:

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

სადენის წინაღობა იანგარიშება:

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

სადაც:

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

$l = 5 \text{ მ}$ - 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: $\sum R_{\text{სად.}+\text{კონ.}} = 0,09 \text{ ომი}$, ხოლო ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის რეალური დატვირთვა შეადგენს:

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

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

როგორც ვხედავთ ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვა ნაკლებია ძაბვის ტრანსფორმატორის ნომინალური მნიშვნელობის 25%-ზე. ასეთ შემთხვევაში საჭიროა მეორეულ წრედში დაემატოს დამტვირთი წინაღობა ჰვა სიმძლავრის, რათა დაკმაყოფილებული იქნეს სტანდარტის მოთხოვნა.

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:

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

ძაბვის ტრანსფორმატორების მეორეულ წრედში რეალური დატვირთვის დენი:

$$I_{\text{ტ. დატ.}} = \frac{S_{\text{მონ.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{250\text{მ}}} = \frac{3,6}{\sqrt{3} \cdot 100} = 0,021$$

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.

მაბვის ტრანსფორმატორის მეორეულ სადენში მაბვის ვარდნა შეადგენს:

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

მაბვის ტრანსფორმატორის მეორეულ სადენში მაბვის ვარდნა პროცენტებში შეადგენს:

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

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

შემაერთებელი სადენები

მრიცხველებისათვის მაბვის წრედებში კაბელებისა და სადენების ისეთ კვეთებს ირჩევენ, რომ მაბვის დანაკარგები ამ წრედში 0,5 სიზუსტის კლასის მაბვის ტრანსფორმატორიდან კვების დროს შეადგენს ნომინალური მაბვის არაუმეტეს 0,25%. ელექტროენერჯის აღრიცხვის წრედებში გამოყენებული კაბელების და სადენების კვეთი მმ^2 უნდა იყოს არანაკლებ:

ცხრილი 2. შემაერთებელი სადენების პარამეტრები

დასახელება	სპილენძი	ალუმინი
დენის ტრანსფორმატორიდან	$2,5\text{მმ}^2$	4მმ^2
მაბვის ტრანსფორმატორიდან	$1,5\text{მმ}^2$	$2,5\text{მმ}^2$

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 ელემენტური 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.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები

1. შერგელაშვილი ტ. ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძებში გამოყენებული ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული დატვირთვის და ძაბვის ვარდნის გაანგარიშება. „ინტელექტუალი“, 2019, №37, გვ. 158-162.
2. შერგელაშვილი ტ. ქორქია ე. ელექტროენერჯის აღრიცხვის წრედში დენის ტრანსფორმატორის შერჩევის საკითხები. V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - “ენერჯეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”. მოხსენებების კრებული. ქ. ქუთაისი, საქართველო, 2018 წ. გვ. 51-55.
3. ქორქია ე. შერგელაშვილი ტ. თეთრაული კ. გამომავალი ძაბვის ფორმირება ავტონომიური ძაბვის ინვერტორში. „ენერჯია“, 2018, №1(85), გვ. 36-43.
4. შერგელაშვილი ტ. ქორქია ე. ელექტროენერჯის აღრიცხვა ორელემენტური მრიცხველის გამოყენებისას. „ენერჯია“, 2019, №2(90).

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.