

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ლაშა თევდორაშვილი

მაღალი ძაბვის მოწყობილობების თბოვიზორული დიაგნოსტიკა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: ენერგეტიკისა და ელექტროინჟინერია, შიფრი 0405

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის

ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: ასოცირებული პროფესორი რამინ ჩიხლაძე

რეცენზენტები: პროფესორი: თენგიზ მუსელიანი

აკადემიური დოქტორი: ვახტანგ გიორგობიანი

დაცვა შედგება 2015 წლის 4 ივლისს, 13 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
აუდიტორია №820

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

პროფესორი

გ. ხელიძე

მეცნიერული სიახლე. ექსპლუატაციის განმავლობაში სხვადასხვა ფაქტორების მოქმედებით ელექტროტექნიკურ მოწყობილობაში დეფექტები წარმოიქმნებიან. რომლებიც როგორც მოწყობილობის საექსპლუატაციო თვისებებზე ახდენენ გავლენას, ასევე ავარიის გამომწვევ მიზეზებად ითვლებიან.

წარმოქმნილი დეფექტები ან სითბოს გამოყოფენ ან სითბოგადაცემის რეჟიმის დარღვევას იწვევენ. ორივე შემთხვევაში მოწყობილობის ზედაპირზე სითბური ველის სურათი იცვლება.

ამ ცვლილების და დეფექტების გამოვლენის მრავალი მეთოდი არსებობს, მაგრამ უმეტესი მათგანი მოწყობილობის ექსპლუატაციის შეწყვეტას და მოწყობილობაზე ელექტრული გაზომვების ჩატარებას მოითხოვს.

თერმოგრაფიული გამოკვლევა ზემოთაღნიშნული პირობის შესრულებას არ მოითხოვს. პირიქით რაც მეტად არის დატვირთული მოწყობილობა დეფექტები მით უფრო აქტიურად გამოვლინდება.

დღეისათვის ელექტროტექნიკური მოწყობილობის თერმოგრაფიული გამოკვლევა დიაგნოსტიკის ერთ-ერთ აუცილებელ მიმართულებას წარმოადგენს და ფართოდ გამოიყენება. ჩვენს ქვეყანაში ის ახალ მიმართულებად ითვლება, მაგრამ წამყვანი ენერგეტიკული კომპანიები ელექტროტექნიკური მოწყობილობების თერმოგრაფიულ გამოკვლევას და მიღებული შედეგებით მოწყობილობის დიაგნოსტიკას ფართოდ იყენებენ.

თერმოგრაფიული გამოკვლევების შედეგის სიზუსტეზე მრავალი ფაქტორი ახდენს გავლენას მათ შორის ქარის სიჩქარე და დატვირთვის დენის მნიშვნელობა.

ნაშრომში გამოკვლეულია ქვესადგურ „ჩაქვის“ სახაზო გამთიშველის დეფექტური კონტაქტის ტემპერატურის და არადეფექტურ კონტაქტთან შედარებით ტემპერატურის ნამატის დამოკიდებულება ქარის სიჩქარეზე. ნაჩვენებია, რომ ქარის სიჩქარის გაზრდა ორივე ტემპერატურის თითქმის 75%-ით შემცირებას იწვევს. რაც დიაგნოსტიკის ჩატარებისას აუცილებლად გასათვალისწინებელია.

გამოკვლეული იქნა ქვესადგურ „ფოთი-3“-ის ტ-1 ტრანსფორმატორის 35 კილოვოლტიანი ძაბვის შემყვანი იზოლატორის

დეფექტური კონტაქტის ტემპერატურის ნამატის დამოკიდებულება დატვირთვის დენის სიდიდეზე. ტემპერატურა ისაზღვრებოდა როგორც თერმოგრაფიული გამოკვლევით, ასევე შესაბამისი ფორმულით გამოთვლით. აღმოჩნდა, რომ ფორმულა რეალურთან შედარებით ტემპერატურის მეტ მნიშვნელობას იძლეოდა.

პირველად ჩატარდა თბური დეფექტების დაყოფა სითბოგამომყოფ დეფექტებად (ეგრეთწოდებული „ცხელი წერტილი“) და არასითბოგამომყოფ დეფექტებად, კერძოდ გაცივების სისტემის სითბოგადაცემის დეფექტები.

აკლავის აქტუალობა გამოიხატება მიღებული შედეგების არამართო მეცნიერული არამედ პრაქტიკული მნიშვნელობით. ისინი გათვალისწინებული უნდა იყოს ელექტროტექნიკური მოწყობილობების მდგომარეობის შეფასებისას.

შედეგები. პირველად მოხდა დეფექტური კონტაქტური შეერთების ტემპერატურის და ტემპერატურის ნამატის ქარის სიჩქარეზე დამოკიდებულების შესწავლა. ამასთანავე გამოვლინდა განსხვავება სხვადასხვა დატვირთვის სიმძლავრის შემთხვევაში დეფექტური კონტაქტის სპეციალური ფორმულით გამოთვლილ ტემპერატურის სიდიდესა და თერმოგრაფიული გამოკვლევით განსაზღვრულ ტემპერატურის მნიშვნელობას შორის.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის შედეგები წარდგენილი იყო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის №17 მიმართულების თემატურ სემინარებზე, III კოლოკვიუმზე და დადებითად იქნა შეფასებული.

სტუ-ს სტუდენტთა 82-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. სადაც დადებითად და დოქტორანტთა შორის II ხარისხის დიპლომით შეფასდა.

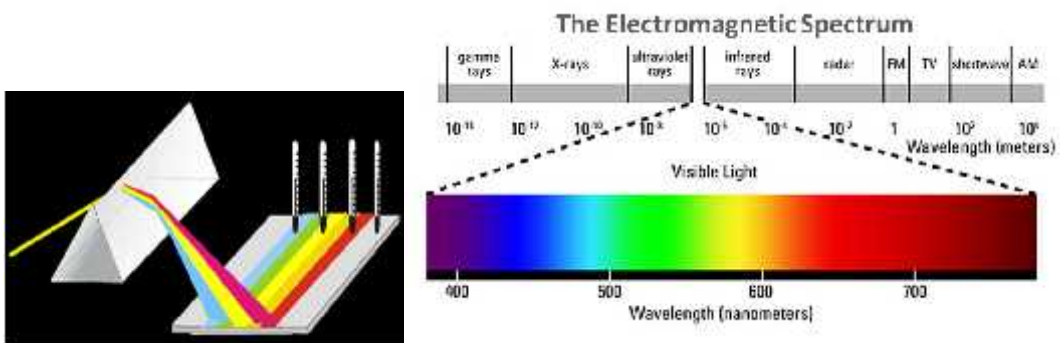
პუბლიკაციები დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია სამი სტატია რეცენზირებად და რეფერირებად სამეცნიერო ჟურნალებში.

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 120 გვერდს და შედგება შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან.

თავი 1. ამოცანის დასმა

1.1 ინფრაწითელი სხივები

1800 წელს ინგლისელმა მეცნიერმა ვ. ჰერშელმა სინათლის თეორიის სხივის პრიზმაში დაშლის შემდეგ გადაწყვიტა ამ სპექტრის ცალკეული ელემენტების თბური ძალა განესაზღვრა. ამისათვის ის სპექტრის ყველა ფერში ვერცხლისწყლიან მგრძობიარე თერმომეტრს ათავსებდა. აღმოჩნდა, რომ ყველაზე ნაკლები ენერგიით (სითბური ეფექტი, თერმომეტრის გათბობა) წითელი სხივები, ხოლო მეტით იისფერი სხივები ხასიათდებიან, მაგრამ თერმომეტრმა იისფერი სხივების გვერდით აჩვენა, რომ იყო ადამიანის თვალისთვის უხილავი სხივები – ულტრაიისფერი, რომელიც უფრო მეტი ენერგიით ხასიათდებოდა ვიდრე იისფერი. მან ასევე აღმოაჩინა, რომ წითელი სხივების ქვემოთაც იყო გამოსხივების თვალისთვის უხილავი სპექტრი, რომელსაც ინფრაწითელი სხივები ეწოდა. (სურ. 1).



სურ. 1 ჰერშელის ცდა სურ. 2 ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სპექტრი

ინფრაწითელი და ულტრაიისფერი სხივები სხეულის გამოსხივების ნაწილია და ის ადამიანის თვალისთვის მგრძობიარე ხილულ გამოსხივებასთან ერთად გამოსხივდება. გამომჟღავნდება მაშინ თუ გამოსხივების სპექტრიდან ოპტიკური საშუალების ან სხვა მგრძობიარე ხელსაწყოთი გამოვეყნებით.

ინფრაწითელი გამოსხივების ტალღის სიგრძე ზოგადად წითელი სხივების ქვედა საზღვარიდან (0,74 მკმ) იწყება და რადიოსიხშირული

გამოსხივების ზედა საზღვრით მთავრდება (2000 მკმ). ის თავის მხრივ პირობითად სამ ნაწილად იყოფა. (სურ. 2)

1. უახლოეს ინფრაწითელ ტალღებად 0.74 მკმ-დან 2,5 მიკრომეტრამდე. ის ყველაზე ახლოს არის წითელ გამოსხივებასთან;

2. საშუალო ტალღები 2,5 მკმ-დან 6 მიკრომეტრამდე, ასეთი ტალღები უფრო მეტად გამოიყენება პრაქტიკაში და ფიზიკური მოვლენების ამსახველს წარმოადგენს.

3. შორეული ინფრაწითელი ტალღები, მათი სიგრძე 6-დან 20 მკმ-მდეა და ნაკლებად გამოიყენება სპექტრს წარმოადგენს.

ინფრაწითელ სხივებს ასხივებს ყველა სხეული, რომლის ტემპერატურა აბსოლიტურ ნულს აღემატება, რაც მეტია სხეულის ტემპერატურა მით მეტი ინტენსივობით ასხივებს ის ინფრაწითელ სხივებს და მას ზოგჯერ თბურ გასხივებასაც უწოდებენ.

ინფრაწითელი სხივები ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას მიეკუთვნება, მაგრამ ზოგიერთი თვისებებით, როგორცაა გამჭვირვალობა, არეკვლის და გარდატეხის კოეფიციენტები ინფრაწითელი სხივები მნიშვნელოვნად განსხვავდება ხილული და ულტრაიისფერი სხივებისგან. ინფრაწითელი გამოსხივება ან გამოსხივებით განათებული გარემო ადამიანის თვალისთვის უხილავია.

თანამედროვე ტექნიკაში ინფრაწითელი გამოსხივების მიმღები მოწყობილობები დაფუძნებულია სხივების ენერჯის იმ სახის ინერჯიად ან სიგნალად გარდაქმნაში, რომელიც შესაძლებელია ჩვეულებრივი საშუალებით გაიზომოს, აღიქვას ადამიანის თვალმა ან აისახოს ეკრანზე.

ყველა ეს ხელსაწყოები ინფრაწითელი სხივების მოქმედებით ნივთიერებაში წარმოქმნილი ცვლილების აღქმაზეა დაფუძნებული და თბურ, ოპტიკურ, ელექტრულ და ელექტრო-ოპტიკურ მოწყობილობებად იყოფიან.

თბოვიზორი წარმოადგენს ხელსაწყოს, რომელიც იღებს თბურ გამოსახულებას ინფრაწითელი სხივის სპექტრში გამოსაკვლევ ობიექტზე პირდაპირი კონტაქტის გარეშე და მას სპეციალური მოწყობილობის საშუალებით ეკრანზე ხილულ სპექტრში აღბეჭდავს.

თავი 2. ელექტროტექნიკური მოწყობილობების დეფექტების აღმოჩენის ელექტრული მეთოდები

ელექტროტექნიკურ მოწყობილობებში თბოვიზორული კონტროლით იმ დეფექტების აღმოჩენა შეიძლება, რომლებიც ელექტრული მახასიათებლების ცვლილებას და სითბოს გამოყოფას იწვევენ. ეს დეფექტები როგორც წესი წერტილოვანი ან მცირე ზომის არიან. მაგრამ თუ დეფექტი მთელ მოცულობაშია განაწილებული, მაშინ მისი გამოვლენა მხოლოდ ელექტრული გაზომვებით შეიძლება და თბოვიზორული გამოკვლევით ის არ გამოჩნდება.

ელექტრული გაზომვებით კი ისეთი დეფექტების გამოვლენა რომელიც ზეთის მოძრაობასთან ან სითბოს გადაცემის დეფექტებთან არიან დაკავშირებული პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამიტომ ელექტრული მეთოდებით და თბოვიზორული გამოკვლევებით ელექტროტექნიკურ მოწყობილობებში დეფექტების გამოვლენა ურთიერთ შემავსებელი მეთოდებია.

ელექტრული გაზომვების ჩატარებისას აუცილებელია მოწყობილობის ექსპლუატაციის შეწყვეტა და ქსელიდან გამორთვა, რაც თბოვიზორული გამოკვლევებისთვის საჭირო არ არის. ფართოდ არის გავრცელებული შემდეგი სახის ელექტრული გაზომვები:

1. საიზოლაციო სისტემის მახასიათებლების ელექტრული გაზომვა, რომელიც თავის მხრივ იყოფა ორ სახედ: 1 - იზოლაციის წინააღმდეგობისა და 2- დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის გაზომვებად.

2. ძალოვანი ტრანსფორმატორების უქმი სვლის დენისა და დანაკარგების სიმძლავრის განსაზღვრა.

3. ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა.

4. გრაგნილის ომიური წინააღმდეგობის გაზომვა მუდმივი დენის მიმართ.

5. კონტაქტების გარდამავალი წინააღმდეგობის გაზომვა მუდმივი დენის მიმართ.

თავი 3. სითბოგამომყოფი დეფექტები ელექტრომოწყობილობებში

3.1 სითბოს გამოყოფა ელექტრომოწყობილობებში

ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში, როდესაც ელექტრომოწყობილობას დეფექტი ან დაზიანება არ გააჩნია ადგილი აქვს სითბოს გამოყოფას, რომელიც ელექტრომოწყობილობის მახასიათებელი მოვლენაა. ამ შემთხვევაში სითბოს გამოყოფას სხვადასხვა ფაქტორები განაპირობებენ და გამოყოფილი სითბო მრავალი მოვლენის არსებობით არის განპირობებული. ელექტრომოწყობილობის კონსტრუქცია და მასალა ისეა შერჩეული, რომ გამოყოფილი სითბო თითქმის მთლიანად გადაეცემა გარემოს და მოწყობილობების ტემპერატურის მატება უმნიშვნელოა.

ელექტრომოწყობილობის ნორმალური ექსპლუატაციისას სითბოს შემდეგი წყაროს არსებობაა მოსალოდნელი.

1. დატვირთვის დენის გავლით გამოყოფილი სითბო თავს იჩენს სხვადასხვა სახის ტრანსფორმატორის გრაგნილის ხვევებში, დენგამტარ დეტალებში, შემაერთებელ საღტეებში, კონტაქტებში და სხვა. გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა დატვირთვის დენით არის განპირობებული. თუ მისი სიდიდე და გარემოზე სითბოს გადაცემის პირობები არ იცვლება, მაშინ ხანგრძლივი ექსპლუატაციის შემდეგ გარემოსა და ელექტრომოწყობილობის ტემპერატურას შორის თბური წონასწორობა მყარდება, ამ დამყარებულ ტემპერატურას ელექტრომოწყობილობის მუშა ტემპერატურას უწოდებენ.

განმუხტველებში სითბოს გამოყოფა გაუონვის დენით არის განპირობებული. მისი სიდიდე მცირეა, მაგრამ განმუხტველის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილებას იწვევს. ნორმალური ექსპლუატაციის შემთხვევაში განმუხტველის ზედაპირს სიმაღლის მიხედვით თითქმის თანაბარი ტემპერატურა გააჩნია, ხოლო დეფექტის არსებობის შემთხვევისას თანაბარი განაწილება ირღვევა.

2. ელექტრომოწყობილობის უკმა სვლით გამოყოფილი სითბო, თავს იჩენს მაგნიტური გულარის მქონე, ძალოვან ტრანსფორმატორებში, რეაქტორებში, ძაბვისა და დენის ტრანსფორმატორებში. მისი სიდიდე დამოკიდებული არ არის დატვირთვის რეჟიმზე, მაგრამ ძირითადად მაგნიტოგამტარის მასალის თვისებებით და რაოდენობით არის განპირობებული.

თუ მაგნიტოგამტარის კონსტრუქციულ ელემენტებში დენის შეკრული კონტური არ წარმოიქმნება, მაშინ მათში ფუკოს დამატებითი დენები არ აღიძვრება.

3. დიელექტრიკული დანაკარგები ყველა სახის დიელექტრიკის მახასიათებელი მოვლენაა და მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული.

დიელექტრიკებზე ელექტრული ველის მოქმედებით ელექტრული ველის ენერჯიის სითბურ ენერჯიად გარდაქმნას რის შედეგადაც დიელექტრიკი თბება, დიელექტრიკული დანაკარგები ეწოდება.

3.2. სითბოს არ გამომყოფი დეფექტები ელექტრომოწყობილობებში

ელექტრომოწყობილობების თბოვიზორული გამოკვლევის ძირითად მიზანს იმ დეფექტების გამოვლენა წარმოადგენს, რომლებსაც გარემოზე მეტი ტემპერატურა აქვთ. ასეთ დეფექტებში სითბო მასში დენის გავლით გამოიყოფა, მაგრამ არსებობს შემთხვევები როდესაც სითბური ბალანსი დარღვეულია და მოწყობილობის რომელიმე უბანს უფრო ნაკლები ტემპერატურა გააჩნია ვიდრე მსგავს დეტალებს. ასეთ დეფექტებს სითბოს არ გამომყოფ დეფექტს ან უბრალოდ პასიურ დეფექტს უწოდებენ.

ამ სახის დეფექტების არსებობა გამაცივებელი აგენტის (ზეთი, წყალი, აირი) მოძრაობასთან არის დაკავშირებული, რომლის დროსაც სითბო ხელოვნური ან ბუნებრივი გაცივების საშუალებით გარემოს გადაეცემა. როდესაც გამაცივებელი აგენტის მოძრაობა შეფერხებულია ან საერთოდ ვერ მოძრაობს, ან ზედაპირიდან სხვადასხვა მიზეზით სითბო გარემოს ნაკლებად გადაეცემა, მაშინაც პასიური დეფექტი

წარმოიქმნება. სითბოს არგამომყოფი დეფექტის მახასიათებლის გაზომვის ან სხვა საშუალებით გამოვლენა გაძნელებულია, ის უშუალოდ ვიზუალურად უნდა დაფიქსირდეს, რაც ხშირად შეუძლებელია ან გაძნელებულია.

პასიური დეფექტები უმეტესად ძალოვანი ტრანსფორმატორის გაცივების სისტემაში გვხვდება, რომლის ძირითად კომპონენტს გამაცივებელი რადიატორები წარმოადგენენ. მასში შემდეგი სახის დეფექტებია მოსალოდნელი:

რადიატორში ზეთის შემავალი ან გამომავალი ფარსაკეტი დაკეტილია. ამ შემთხვევაში რადიატორში ზეთი არ მოძრაობს და ამ რადიატორის ზედაპირის ტემპერატურა განსხვავებულია მეზობელი რადიატორის (რომელშიც ზეთი ნორმალურად მოძრაობს) ან ტრანსფორმატორის ავზის ზედაპირის ტემპერატურისაგან. აქ შესაძლებელია ორი შემთხვევა:

თუ ზეთის და შესაბამისად ავზის ტემპერატურა გარემოს ტემპერატურაზე მეტია, მაშინ ამ რადიატორის ზედაპირს რომელშიც ზეთი არ მოძრაობს უფრო ნაკლები ტემპერატურა ექნება ვიდრე იმ რადიატორს, რომელშიც ზეთი მოძრაობს. ამასთანავე თუ რადიატორის ზედა ფარსაკეტი დაკეტილი, მაშინ ამ ფარსაკეტის ავზთან შემაერთებელ მილსაც იგივე ტემპერატურა ექნება, რაც რადიატორს, ხოლო ქვედა ფარსაკეტის დაკეტვის შემთხვევაში, როდესაც ზედა ფარსაკეტი გახსნილია, მაშინ ზედა ფარსაკეტის გავლით ზეთის თბილი მოლეკულები ავზთან შემაერთებელ მილში სითბური კონვექციის გზით სითბოს თითქმის მილის შუამდე გადასცემენ.

ორივე ფარსაკეტის დაკეტვის შემთხვევაში რადიატორის ზედაპირის ტემპერატურა თითქმის გარემოს ტემპერატურის ტოლია თუ ზეთის და შესაბამისად ავზის ტემპერატურა გარემოს ტემპერატურაზე ნაკლებია, მაშინ იმ რადიატორის ზედაპირს, რომელშიც ზეთი არ მოძრაობს უფრო მეტი ტემპერატურა ექნება ვიდრე ზეთს ან იმ რადიატორს, რომელშიც ზეთი მოძრაობს. აქაც თუ რადიატორის ზედა ფარსაკეტი დაკეტილია, მაშინ ფარსაკეტის ავზთან შემაერთებელ მილს იგივე ტემპერატურა ექნება რაც რადიატორს, ხოლო ქვედა ფარსაკეტის დაკეტვის შემთხვევაში როდესაც ზედა ფარსაკეტი ღიაა, მაშინ

ფარსაკეტის ტრანსფორმატორის ავზთან შემაერთებელ მილს შუა ნაწილამდე ისეთივე ტემპერატურა ექნება, როგორც რადიატორს აქვს, რაც რადიატორიდან ავზისკენ სითბოს კონვექციური მოძრაობით აიხსნება.

ძალოვანი ტრანსფორმატორის კონსტრუქციაში გათვალისწინებულია ტრანსფორმატორის ზეთის გამფილტრავი მოწყობილობა, რომელიც მასში მოძრავი ზეთის უწყვეტ რეგენერაციას ახდენს. რადგან ფილტრები თერმოსიფონური ეფექტის პრინციპზე მუშაობენ, ამიტომ მათ თერმოსიფონურ ფილტრებს უწოდებენ. მუშა ტრანსფორმატორში ზეთის ზედა და ქვედა ფენებს სხვადასხვა ტემპერატურა გააჩნია. ტემპერატურათა ეს სხვაობა ფილტრში ზეთის მოძრაობას განაპირობებს (თერმოსიფონური ეფექტი), რაც მეტია სხვაობა მით მეტია ზეთის მოძრაობის სიჩქარე, ხშირად თერმოსიფონურ ფილტრებში ზეთის მოძრაობის შეფერხებას აქვს ადგილი, რაც მათი კონსტრუქციული და მუშაობის თავისებურებიდან გამომდინარეობს.

როდესაც თერმოსიფონური ფილტრის ერთ-ერთი ფარსაკეტი დაკეტილია მაშინ ტემპერატურის ცვლილების სურათი ანალოგიურია რადიატორის მსგავსი შემთხვევისა. ამასთანავე ტემპერატურის სიმაღლის მიხედვით განაწილება გამაცივებელ რადიატორში და თერმოსიფონურ ფილტრში განსხვავებულია, რაც იმით აიხსნება, რომ თერმოსიფონური ფილტრის ავზს რადიატორის მილთან შედარებით მეტი დიამეტრი და მოცულობა გააჩნია. ამასთანავე სილიკაგელის სითბოტევადობა უფრო მეტია ვიდრე ტრანსფორმატორის ზეთის.

ამდგვარად თერმოგრაფიული გამოკვლევა არამარტო სითბოგამომყოფი დეფექტების აღმოჩენის საშუალებას იძლევა, არამედ ის შეუცვლელია სითბოს არაგამომყოფი დეფექტების გამოსავლენად.

3.3 სითბოგამომყოფი დეფექტები ელექტრომოწყობილობებში

ელექტროტექნიკურ მოწყობილობებში სითბოს გამოყოფას გამტარი ნაწილის გადახურება ან საიზოლაციო სისტემაში ელექტრული იზოლაციის ლოკალური დეფექტი იწვევს.

საიზოლაციო სისტემის სითბოგამომყოფ დეფექტებს იზოლაციის მცირე მოცულობაში წარმოქმნილი ნაწილობრივი გარღვევა ან სხვადასხვა ფაქტორებით გამოწვეული დიელექტრიკული დანაკარგების ნორმაზე მეტად გაზრდა მიეკუთვნება.

იზოლაციის სრული ელექტრული გარღვევაც სითბოს ფამოყოფს, მაგრამ ის იმდენად სწრაფად მიმდინარეობს, რომ მისი ფიქსირება თბოვიზორის საშუალებით შეუძლებელია, გარღვევის შემდეგ კი ავარიას აქვს ადგილი.

რადგან ორგანული წარმოშობის საიზოლაციო მასალები ნაკლები სითბოგამტარობით ხასიათდებიან ვიდრე ლითონები, ამიტომ მათში გამოყოფილი სითბო გარემოს ნაკლებად გადაეცემა და სითბური დეფექტის აღმოჩენა შედარებით ადვილია. რაც შეეხება არაორგანული წარმოშობის საიზოლაციო მასალებს (ფაიფური, მინა, ქარსი და სხვა) მათ შედარებით მეტი სითბოგამტარობა გააჩნიათ, ვიდრე ორგანული წარმოშობის საიზოლაციო მასალებს, მაგრამ მათი სითბოგამტარობა ლითონების სითბოგამტარობაზე ნაკლებია.

თხევად საიზოლაციო მასალებში (სატრანსფორმატორო, საკაბელო და საკონდენსატორო ზეთებში) გამოყოფილი სითბო გარემოს კონვექციის გზით გადაეცემა. ბუნებრივი კონვექციის შემთხვევაში ცხელი წერტილიდან სითბური ნაკადი ზემოთ არის მიმართული ანუ სითბური დეფექტი მაღლა არის წანაცვლებული.

როდესაც მყარი იზოლაციის მოცულობის მცირე ნაწილში ძირითადად დაჭუჭყიანების პროდუქტების მოცულობაში შეღწევით დიელექტრიკული დანაკარგები იზრდება, მაშინ გამოყოფილი სითბო ნაწილობრივი განმუხტვებისას წარმოქმნილი სითბოს ანალოგიური კანონზომიერებით ვრცელდება.

კაბელის იზოლაციის ნაწილობრივი დაზიანებისას, კერძოდ კაბელის ცალკეული ფაზების გაშლის ადგილას იზოლაციის შესუსტებისას თავს იჩენს ელექტროგამტარობის გაზრდით გამოწვეული დიელექტრიკული დანაკარგების ზრდა, რაც თავის მხრივ ცხელ წერტილს წარმოადგენს. სითბოს გამოყოფის გამო შეიძლება მაღალი გამტარობის არე ნაწილობრივ გარღვევაშიც გადაიზარდოს. ანალოგიურ მოვლენას კაბელის მოცულობაში ადგილი არ აქვს. ის კაბელის

დაბოლოებების მახასიათებელი მოვლენა და ძირითადად გამოწვეულია კაბელის იზოლაციის შესუსტებით, იზოლაციის ზედაპირზე მტვრის და ჭუჭყის ნაწილაკების მოხვედრით. ამ მოვლენას იზოლაციის ზედაპირზე წყლის ან ტენის მოხვედრა აძლიერებს.

სითბური დეფექტის ძირითად წყაროს დენგამტარი ნაწილების (დეტალების) გადახურება წარმოადგენს. ამ მოვლენას ადგილი აქვს მექანიკური შეერთებების გარდამავალი წინაღობის გაზრდისას. კერძოდ კონტაქტის გარდამავალი წინაღობის ნორმალურ მდგომარეობასთან შედარებით გაზრდა, ამავე სიდიდით გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის გაზრდას იწვევს.

როდესაც რამოდენიმე განმუხტველი ერთმანეთთან მიმდევრობით არის შეერთებული და მათ გაჟონვის დენების განსხვავებული მნიშვნელობები გააჩნიათ მაშინ ერთ-ერთ მათგანში უფრო მეტი სითბო გამოიყოფა ვიდრე სხვაში, რაც თავისებურ სითბურ დეფექტს წარმოადგენს. ასევე თუ განმუხტველის სანაპერწკლო შუალედი დაზიანებულია ან მასში წყალია, მაშინ მთლიანად განმუხტველში შედარებით მეტი დენი გადის და მისი ტემპერატურა სხვა ფაზის განმუხტველთან შედარებით მეტია.

3.5 დეფექტები ძალოვან ტრანსფორმატორში

ელექტროტექნიკურ მოწყობილობებში ყველაზე მეტად დეფექტები ძალოვან ტრანსფორმატორებში გვხვდება. რომლის ანალიზი ზაპოროჟიეს ტრანსფორმატორების ქარხანამ 110კვ 106 ტრანსფორმატორისთვის 20 წლის განმავლობაში შეგროვილი 643 გამოვლენილი დეფექტის მაგალითზე ჩაატარა. ანალიზისას დეფექტები საერთო მახასიათებლის მიხედვით დააჯგუფა და განსაზღვრა ამ დეფექტების პროცენტული რაოდენობა მთლიან დეფექტებში. ჩვენ მოვახდინეთ შეფასება ამ დეფექტის თბოვიზორული დიაგნოსტიკის მეთოდით გამოვლენის შესაძლებლობის (1), არ შესაძლებლობის (0) ან ნაწილობრივად შესაძლებლობის (0,5) შეფასება. (ცხრილი №1).

ძალოვანი ტრანსფორმატორის დეფექტების ანალიზი

ცხრილი №1

№	დეფექტის აღივანი და სახე	რაოდენობა	% წელი	თბოვიზორით გამოვლინდა	
1	გაცივების სისტემა	146	22.71	1	22.71
2	ძაბვის შემყვანები	92	14.31	1	14.31
3	აირების გამოყოფა ზეთში	58	9.02	0.5	4.5
4	ზეთის დაძველება	48	7.47	0	0
5	„РПН“ დეფექტები	46	7.15	0.5	3.55
6	ზეთის გაუონვა	44	6.84	0.5	3.42
7	გრაგნილის მოშვება	42	6.53	0.5	3.26
8	მყარი იზოლაციის დაჭუჭყიანება	34	5.29	0	0
9	მყარი იზოლაციის დატენიანება	26	4.04	0	0
10	მაგნიტოგამტარის გაშლა	26	4.04	1	4.04
11	ზეთის გაჭუჭყიანება	14	2.18	0	0
12	გრაგნილის დეფორმაცია	10	1.56	0.5	0.78
13	იძულებითი გაცივების სისტემის დეფექტი	8	1.24	1	1.24
14	ვიბრაციის მატება	8	1.24	0	0
15	იზოლატორების დეფექტი	7	1.09	1	1.09
16	მაგნიტური შუნტების დაზიანება	6	0.93	1	0.93
17	„ПБВ“ დაზიანება	6	0.93	1	0.93
18	ზეთის დაუანგვა	4	0.62	0	0
19	ჰერმეტიკობის დარღვევა	4	0.62	1	0.62
20	ზეთის გამაფართოებლის დეფექტი	4	0.62	1	0.62

თუ ამ ანალიზის შედეგებით შეფასებას მოვახდენთ. აღმოჩნდება, რომ ძალოვან ტრანსფორმატორში ყველა სახის შესაძლებელი დეფექტის 62 %-ის თბოვიზორული დიაგნოსტიკის საშუალებით გამოვლენა არის შესაძლებელი, მაგრამ ამ ანალიზში ისეთი დეფექტიც არის განხილული, რომელთა გამოვლენა თბოვიზორული დიაგნოსტიკის მეთოდით, დეფექტის ბუნებიდან გამომდინარე პრაქტიკულად შეუძლებელია: მაგალითად ტრანსფორმატორის ზეთის მახასიათებლების გაუარესება ან მყარი იზოლაციის ტენშემცველობის გაზრდა. ანალიზში თუ ამ სახის დეფექტი არ გავითვალისწინეთ, მაშინ აღმოჩნდება, რომ თბოვიზორული კონტროლი საშუალებას გვაძლევს ძალოვან ტრანსფორმატორში სითბოგამყოფასთან დაკავშირებული დეფექტების 80 %-ზე გამოვავლინოთ და მათი აღვიმდებარეობა განვსაზღვროთ. ყოველივე ეს შესაძლებელია ძალოვანი ტრანსფორმატორის გამორთვის გარეშე, რაც უდავოდ მნიშვნელოვანი ფაქტორია.

თავი 4. ელექტროტექნიკური მოწყობილობების თბოვიზორული გამოკვლევა

4.1 თბოვიზორული გამოკვლევის ნორმები და კრიტერიუმები

მრავალწლიანმა გამოცდილებამ აჩვენა, რომ ელექტროტექნიკური მოწყობილობების თბოვიზორული გამოკვლევისას უპირატესობა ისეთ კამერებს ენიჭებათ, რომელთა მუშა სპექტრი 8-12 მიკრომეტრის ფარგლებშია, ხოლო ტემპერატურის აღქმის დასაშვები ზღვარი $0,1^{\circ}\text{C}$ არ აღემატება. ამასთანავე კონტროლისას გათვალისწინებული უნდა იყოს გადაღების კუთხის სწორი შერჩევა, ატმოსფეროში კვამლის ან ნისლის არარსებობა.

შეფასებისას ვიყენებდით მოქმედი ნორმების შესაბამის ნორმატიული ტერმინების, ასევე საერთაშორისო და ჩვენთან გამოყენებულ ნორმებში მიღებულ განმარტებებს.

1 ტემპერატურის ნამატი - ტემპერატურათა სხვაობა გარემოსა და გაზომილ ობიექტის ზედაპირს შორის;

2 ტემპერატურის სიჭარბე - საკონტროლო დეტალის ტემპერატურის სხვა ფაზის ნამატი ანალოგიურ დეტალის ტემპერატურაზე, როდესაც ისინი ერთნაირ გარემო პირობებში იმყოფებიან;

3 დეფექტურობის კოეფიციენტი - კონტაქტური შეერთების გაზომილი ტემპერატურის ნამატის ფარდობა, სალტის (გამტარის) დაუზიანებელი უბანის ტემპერატურის ნამატთან, რომელიც დეფექტური ადგილიდან არანაკლებ 1 მეტრ მანძილზეა დაშორებული;

4 კონტაქტი - აპარატის დენგამტარი ნაწილი, რომელიც წრედს კრავს, თიშავს ან სრიალის ან სახსროვანი შეერთებით წრედის უწყვეტობას ინარჩუნებს.

5 კონტაქტური შეერთება - დენგამტარი შეერთება (ჭანჭიკით, შედუღებით, რჩილვით ან დაწნეხვით), რომელიც ელექტრული წრედის მთლიანობას უზრუნველყოფს.

ელექტრომოწობილობის ან ხაზის დენგამტარი ნაწილების თბური მდგომარეობის შეფასება მათი მუშაობის ან კონსტრუქციული თვისებებიდან გამომდინარე შეიძლება განხორციელდეს:

1. გახურების ნორმირებული ტემპერატურის, ანუ ტემპერატურის ნამატის მიხედვით;
2. ტემპერატურის სიჭარბის მიხედვით;
3. დეფექტურობის კოეფიციენტის მიხედვით;
4. ტემპერატურის ცვალებადობის (დინამიკის) დროის მიხედვით ან დატვირთვის ცვლილების მიხედვით;
5. სხვადასხვა ფაზებზე ტემპერატურის ცვლილების მიხედვით;
6. წინასწარ ცნობილი დაუზიანებელი ფაზის (უბნის) ტემპერატურასთან შედარების მიხედვით;

ტემპერატურის ნამატის ზღვრული დასაშვები მნიშვნელობები სხვადასხვა სახის ელექტროტექნიკური მოწყობილობებისთვის მოცემულია ცხრ. №2-ში. ეს მონაცემები გამოიყენება იმ შემთხვევაში, თუ რომელიმე კონკრეტული მოწყობილობისთვის ქარხანა-დამამზადებელს ან სხვა ორგანიზაციას განსხვავებული ნორმები ან შეზღუდვები არ დაუწესებია.

ტემპერატურის ნამატის ან გაცხელების ნორმები მოყვანილია იმ შემთხვევისთვის, როდესაც მოწყობილობაში, კონტაქტში ან ტრანსფორმატორში გამავალი დენის სიდიდე ნომინალურ მნიშვნელობას უტოლდება, მაგრამ თბოვიზორული გამოკვლევის ჩატარებისას უმეტეს შემთხვევაში დატვირთვის დენის სიდიდე (*I_{დატ}*) ნომინალურის მნიშვნელობისგან (*I_{ნომ}*) განსხვავდება. ამის გამო სხვადასხვა ტიპის კონტაქტები ან დეტალების თერმოგრაფიული შეფასების ჩასატარებლად სპეციალურ ფორმულებს იყენებენ.

კონტაქტზე გამოყოფილი სითბო და, შესაბამისად, ტემპერატურა მასში გამავალი დენის სიდიდის კვადრატის პროპორციულია. ამის გამო, ტემპერატურის ნამატის დატვირთვის დენზე დამოკიდებულებას რთული სახე აქვს. გამოთვლების გამარტივების მიზნით, დენის დიაპაზონი და, შესაბამისად, შეფასების კრიტერიუმი სამ ნაწილად გაყვეს.

	დასახელება	ზღვრული დასაშვები ტემპერატურა	
		გახურება	ნამატი
1	დენგამტარი და არადენგამტარი მეტალური დეტალები, არაიზოლირებული დეტალები	120	80
2	იზოლირებული დეტალები, რომლებიც ეხებიან მხურვალმედვობის შემდეგი კლასის იზოლაციის (ГОСТ 8865-93)		
3	კონტაქტები სპილენძის ან მისი შენადნობების		
	– დაუფარავი ჰაერში/საიზოლაციო ზეთში	75/80	35/40
	– დაფარული ვერცხლით ან ნიკელით ჰაერში/ზეთში	120/90	80/50
	– დაფარული 24 მკმ სისქის ვერცხლით	120	80
	– დაფარული კალით ჰაერში/ზეთში	90/90	50/50
4	მეტალოკერამიკული კონტაქტები ვოლფრამის ან მოლიბდენის შემცველი; ზეთში სპილენძის/ან ვერცხლის ფუძით	85/90	45/50
5	აპარატული გამოყვანები სპილენძის, ალუმინის ან მათი შენადნობების, განკუთვნილი გარე გამტარებთან შესაერთებლად		
	– დაფარვის გარეშე	90	50
	– დაფარული კალით, ვერცხლით ან ნიკელით	105	65
6	ჭანჭიკით კონტაქტური შეერთება ალუმინის, სპილენძის ან მათი შენადნობების		
	– დაუფარავი ჰაერში/საიზოლაციო ზეთში	90/100	50/60
	– დაფარული კალით ჰაერში/ზეთში	105/100	65/60
	– დაფარული ვერცხლით, ნიკელით, ჰაერში/ზეთში	115/100	75/60
7	ცვლადი დენის მცველები 3კვ და მეტი ძაბვის		
	– შეერთება სპილენძის, ალუმინის ან მათი შენადნობების. ჰაერში. დაფარული/დაუფარავი	75/90	35/50
	– ზამბარიანი დაშლადი კონტაქტური შეერთებები		
	– სპილენძის დეტალები გამოყენებული როგორც ზამბარა	75	35
	– ფოსფორშემცველი ბრინჯაო ან ანალოგიური შენადნობები	70	40
8	საიზოლაციო ზეთი საკომუტაციო აპარატის ზედა ფენებში	105	65
9	ჩაშენებული დენის ტრანსფორმატორებში		
	– გრაგნილი	–	10
	– მაგნიტოგამტარი	–	15
10	ძაბვის შემყვანებზე ჭანჭიკით		
	შეერთებები ზეთში/ჰაერში	–	85/65

1. მექანიკური ან ჭანჭიკით კონტაქტური შეერთებისას, როდესაც დატვირთვის დენის სიდიდე $0,6 I_{ნომ}$ -დან $1,0 I_{ნომ}$ -მდე იცვლება შესაძლებელი ცხრილი №2 ტემპერატურის ნამატის მიხედვით კონტაქტის მდგომარეობის შეფასება, რისთვისაც შემდეგ თანაფარდობას იყენებენ.

$$\frac{\Delta T_{ტუმ}}{\Delta T_{ნომ}} = \left(\frac{I_{ტუმ}}{I_{ნომ}} \right)^2 \quad (1)$$

სადაც $\Delta T_{ნომ}$ და $\Delta T_{ტუმ}$ შესაბამისად, ნომინალურ ($I_{ნომ}$) და ($I_{ტუმ}$) დენებზე ტემპერატურებია.

ამ ფორმულიდან გამომდინარე ნორმალურ მდგომარეობაში ტემპერატურა იქნება

$$\Delta T_{ტუმ} \leq \Delta T_{ნორმ} \cdot \left(\frac{I_{ტუმ}}{I_{ნომ}} \right)^2 \quad (2)$$

თუ კონტაქტის გაზომილი ტემპერატურა ამ ფორმულით $\Delta T_{ტუმ}$ სიდიდეს აღემატება, მაშინ როგორც არ უნდა იყოს გაზომილი ტემპერატურის მნიშვნელობა, კონტაქტი დეფექტურია.

2. როდესაც კონტაქტის დატვირთვის დენის სიდიდე $0,3 I_{ნომ}$ -დან $0,6 I_{ნომ}$ -მდე იცვლება, მაშინ შეფასების კრიტერიუმად $0,5 I_{ნომ}$ დენის შესაბამისი ტემპერატურის ნამატს ($\Delta T_{0,5}$) იყენებენ, რომელიც ფორმულა №2-ის საშუალებით განისაზღვრება.

$$\Delta T_{ტუმ} \leq \Delta T_{0,5} \left(\frac{I_{ნომ}}{0,5 I_{ნომ}} \right)^2 \quad (3)$$

ყველა შემთხვევაში ტემპერატურის ნამატის მიხედვით დაზიანება შემდეგ ეტაპებად იყოფა:

- ტემპერატურის ნამატი $5 - 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ არ აღემატება - დაზიანების საწყისი ეტაპი, საჭიროა იყოს კონტროლის ქვეშ. გეგმიური რემონტისას მოხდეს მისი აღმოფხვრა.

- ტემპერატურის ნამატი 10 – 30 °C განვითარებული დეფექტი. საჭიროა მისი აღმოფხვრა ელექტრომოწყობილობის უახლოესი ექსპლუატაციიდან გამოყვანისთანავე.

- ტემპერატურის ნამატი 30 °C აღემატება - ავარიული დეფექტი, საჭიროა დაუყოვნებლივ მისი აღმოფხვრა.

მიღებულია, რომ ნებისმიერი სიდიდის დატვირთვის დენისას თუ კონტაქტური შეერთების ტემპერატურის ნამატი 30 °C აღემატება მაშინ ადგილი აქვს ავარიულ დეფექტს და აუცილებელია მისი დაუყოვნებლივ აღმოფხვრა.

3. თუ კონტაქტის დატვირთვის დენის სიდიდე 0,3 *I_{ნომ}* ტოლი ან ნაკლებია, მაშინ თბოვიზორული გამოკვლევით ასეთი კონტაქტის დეფექტურობის შეფასება დეფექტის განვითარების საწყის ეტაპზე შეუძლებელია. ამ პირობებში ავარიული დეფექტიც კი არადეფექტური კონტაქტისგან 1 °C ტემპერატურით განსხვავდება. ლიტერატურაში გვხვდება შემთხვევა, რომ ასეთ დეფექტს ავარიულად თვლიან.

დენგამტარი დეტალების თბური მდგომარეობის შეფასება დეფექტურობის კოეფიციენტის საშუალებით წარმოებს. ამ შემთხვევაში გაზომილი ან ფორმულა №2-ით განსაზღვრული დენგამტარის ტემპერატურას ნორმირებული ტემპერატურის სიდიდეზე ყოფენ, რითაც დეფექტურობის კოეფიციენტი ისაზღვრება. თუ მისი სიდიდე 1-ს აღემატება, მაშინ დენგამტარი დეტალი დეფექტურია და შეფასებაც მისი სიდიდის მიხედვით წარმოებს, კერძოდ:

– თუ დეფექტურობის კოეფიციენტი 1,2-ს არ აღემატება (ანუ 1-დან 1,2-მდე იცვლება) თვლიან, რომ დაზიანების საწყისი ეტაპია, საჭიროა ობიექტი ყურადღების ქვეშ იმყოფებოდეს და დაზიანება გეგმიური რემონტის დროს აღმოიფხვრას.

– როდესაც დეფექტურობის კოეფიციენტი 1,2-დან – 1,5-მდე იცვლება, მაშინ დეფექტი განვითარებულია. მისი აღმოფხვრა უახლოეს შესაძლებლობისას არის აუცილებელი.

– თუ დეფექტურობის კოეფიციენტი 1,5-ზე მეტია ადგილი აქვს ავარიას. მისი აღმოფხვრა დაუყოვნებლივ უნდა მოხდეს.

4.2 ელექტრომოწყობილობის თბოვიზორული გამოკვლევის პერიოდულობა

რადგან თბოვიზორული გამოკვლევის ჩატარება მოწყობილობის ექსპლუატაციის შეწყვეტას არ მოითხოვს, ამისგამო მეტი საიმედოობის ან წინა გამოკვლევისას აღმოჩენილი დეფექტის განვითარების დინამიკის შესწავლის მიზნით შეიძლება რეკომენდირებული პერიოდულობა დაირღვეს და გამოკვლევა უფრო ხშირად ჩატარდეს, ვიდრე საექსპლუატაციო ნორმის მოთხოვნაა. რაც უდავოდ საზიანო არ არის, მაგრამ ნორმაში მითითებული პერიოდულობის გაზრდამ შეიძლება ავარია გამოიწვიოს.

გამანაწილებელი ქვესადგურის ყველა სახის ელექტრომოწყობილობის, რომლებიც ნომინალური ძაბვის მოქმედების ქვეშ და ნორმალურ საექსპლუატაციო პირობებში იმყოფებიან, თბოვიზორული გამოკვლევის პერიოდულობას ნომინალური ძაბვა განსაზღვრავს და ნორმის მიხედვით სავალდებულოა თბოვიზორული გამოკვლევა ჩატარდეს, თუ:

ა. ნომინალური ძაბვის სიდიდე 35კვ-ს არ აღემატება არანაკლებ სამ წელიწადში ერთხელ;

ბ. ნომინალური ძაბვის სიდიდე თუ 110 კვ-დან 220 კვ-მდეა ორ წელიწადში არანაკლებ ერთხელ;

გ. როდესაც ნომინალური ძაბვის სიდიდე 300 კვ-ს აღემატება მაშინ თბოვიზორული გამოკვლევა წელიწადში ერთხელ ტარდება;

ნებისმიერი ნომინალური ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის არაგეგმიური თბოვიზორული გამოკვლევა ტარდება მასზე სტიქიური მოვლენების ზემოქმედებისას, კერძოდ ქარიშხლის, მიწისძვრის, ძლიერი ყინვების, ან გამანაწილებელი მოწყობილობის ობიექტებზე მეხის პირდაპირი დაცემისას. ასევე სავალდებულოა არაგეგმიური თბოვიზორული გამოკვლევის ჩატარება გამანაწილებელი მოწყობილობისაგან გამავალ საჰაერო ან საკაბელო ელექტროგადაცემის ხაზზე მოკლედ შერთვის შემდეგ.

– თუ გადაცემის ხაზი ექსპლუატაციაში ახალი შეყვანილია, მისი კონტაქტების თერმოგრაფიული გამოკვლევის ჩატარება სავალდებულოა

ექსპლუატაციის პირველსავე წელს მოხდეს. შემდეგ კი ნორმის მიხედვით.

– როდესაც გადაცემის ხაზი ექსპლუატაციაში 25 წელზე მეტი ხნის განმავლობაში იმყოფება და წინა თბოვიზორული გამოკვლევით 5 %-ზე მეტი კონტაქტური შეერთება დეფექტური აღმოჩნდა, მაშინ თერმოგრაფიული გამოკვლევა წელიწადში ერთხელ უტარდება.

– თუ ელექტროგადაცემის ხაზი მაქსიმალური დატვირთვით მუშაობს ან საპასუხისმგებლო ობიექტს აწვდის ელ.ენერგიას ან ძლიერი დატუჭყიანების ზონაში არის განლაგებული მაშინ მისი კონტაქტების თბოვიზორული გამოკვლევა ყოველ წელიწადს არის საავალდებულო.

– დანარჩენ შემთხვევაში ელექტროგადაცემის ხაზის კონტაქტების თბოვიზორული გამოკვლევა საავალდებულოა ექვს წელიწადში ერთხელ.

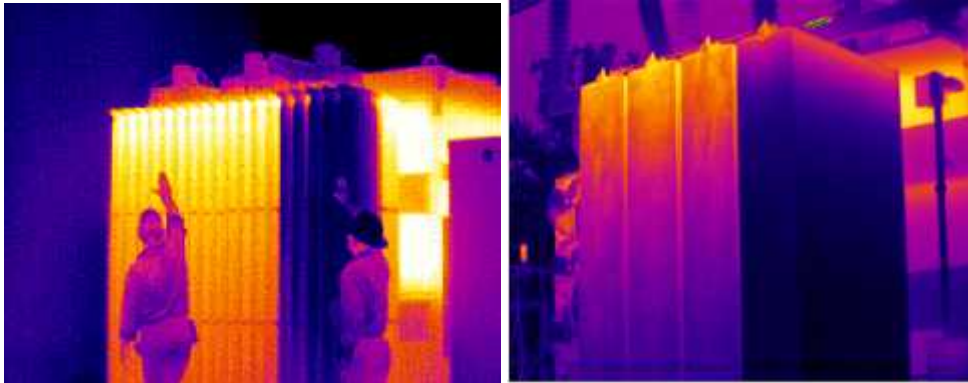
ნებისმიერი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზზე მოკლედ შერთვის შემთხვევაში კონტაქტების თბოვიზორული გამოკვლევა რიგგარეშე ტარდება.

თბოვიზორული გამოკვლევით გამოვლენილი ნებისმიერი ძაბვის ელექტრომოწყობილობის ნებისმიერი ტიპის დეფექტის არსებობა თუ ის ავარიული არ არის ან მოწყობილობის გამორთვა ხანგრძლივი დროით შეიძლება, რემონტის ჩატარებამდე ელექტრული გაზომვით უნდა დადასტურდეს, ხოლო ავარიული ან მცირე ხნით გამორთული ხაზის შემთხვევაში რემონტი ელექტრული გაზომვების გარეშე უტარდება.

4.3 ტრანსფორმატორის გაცივების სისტემის და თერმოსიფონური ფილტრის დეფექტები

მიუხედავად იმისა, რომ ამ სახის დეფექტები სითბოს გამოყოფით არ ხასიათდებიან მათი არსებობა სითბური ნაკადის განაწილებაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს. ამასთანავე სხვა მეთოდებით მათი აღმოჩენა ძალიან გაძნელებულია და ამ სახის დეფექტების აღმოსაჩენად თერმოგრაფიული გამოკვლევა ფაქტიურად ერთადერთი საიმედო მეთოდია. ამის საილუსტრაციოდ სურათი 3-ზე ნაჩვენებია

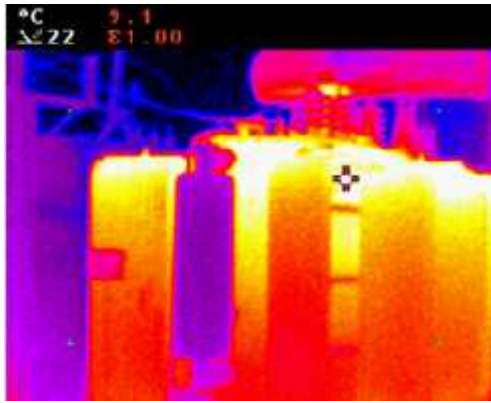
ქვესადგური „ლომისი“-ს ტ-1 და ქვესადგურ „ქუთაისი-4“ ტ-1 ტრანსფორმატორების რადიატორის თერმოგრამები, საიდანაც ჩანს, რომ რადიატორის ერთ ნაწილში ტრანსფორმატორის ზეთი საერთოდ არ მოძრაობს, რაც ზეთსავალი არხების დახშობით არის გამოწვეული. ამის გამო ნომინალურ დატვირთვაზე ტრანსფორმატორის ზეთის ზედა ფენებს ნორმაზე მეტი ტემპერატურა აღმოაჩნდა.



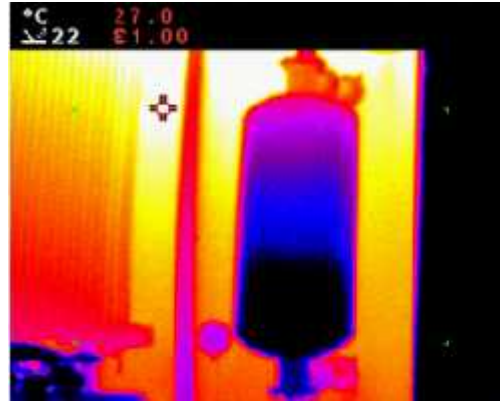
სურ. 3 ქვესადგური „ლომისი“-ს ტ-1 და „ქუთაისი-4“-ის ტ-1 ტრანსფორმატორების გაცივების სისტემის რადიატორების არათბური დეფექტების თერმოგრამა

ქვესადგურ „ქუთაისი-4“-ში რემონტის მიმდინარეობისას აღმოჩნდა, რომ რადიატორის ერთი სექცია ზეთის დაძველების პროდუქტებით იყო გაბიძნული, რისი აღმოფხვრის შემდეგ ტემპერატურის განაწილება სიმაღლის მიხედვით ნორმალურ საექსპლუატაციო მდგომარეობას დაუბრუნდა, ხოლო ტრანსფორმატორში ზეთის ზედა ფენების ტემპერატურის ნამატიც შემცირდა. იგივე ვითარება იყო ქ/ს „ლომისი“-ის ტრანსფორმატორის რადიატორზეც.

ქვესადგურ „კრწანისი“-ის 35კვ ტრანსფორმატორის თერმოსიფონური ფილტრის ზედა ფარსაკეტი საერთოდ დაკეტილი იყო (სურ. 4) და ფილტრის ზედაპირის ტემპერატურა გარემოს ტემპერატურას უტოლდებოდა. ფარსაკეტის გახსნის შემდეგ მდგომარეობა შეიცვალა.

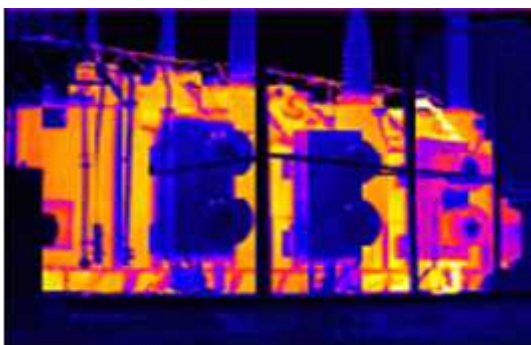


სურ. 4 ქვესადგური „კრწანისი“-ის ტ-2 ტრანსფორმატორის თერმოსიფონური ფილტრის თერმოგრამა

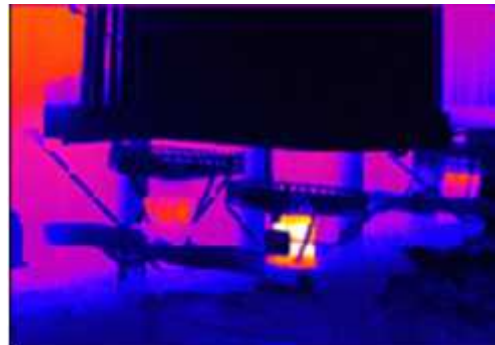


სურ. 5 ქვესადგური „ზუგდიდი-2“-ის ტ-1 ტრანსფორმატორის თერმოსიფონური ფილტრის თერმოგრამა

ქვესადგური „ზუგდიდი-2“-ის თერმოსიფონური ფილტრის ზედა და ქვედა ფარსაკეტი გახსნილ მდგომარეობაში იყო, მაგრამ თვით ფილტრი იმდენად გაბიძნული იყო რომ მასში ზეთი პრაქტიკულად არ მოძრაობდა (სურ. 5) თერმოსიფონურ ფილტრში სილიკაგელის გამოცვლის შემდეგ დეფექტი აღმოიფხვრა.



ა)



ბ)

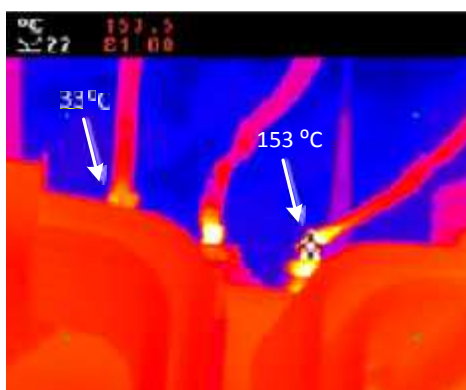
სურ. 6 გაცივების სისტემის დეფექტები: ა) - არ მუშაობს ვენტილატორის ძრავები და ბ) - ძრავის ტემპერატურა ნორმაზე მაღალია.

როდესაც გაცივების სისტემის ვენტილატორების ძრავებს დეფექტები გააჩნია ის თერმოგრამით ადვილად გამოვლინდება, კერძოდ თუ ძრავი არ მუშაობს (სურ. 6 ა) მაშინ მისი ტემპერატურა გარემოს ტემპერატურას უტოლდება, ხოლო როდესაც ძრავის საკისარი დაზიანებულია, მაშინ ძრავის ტემპერატურა ნორმაზე მაღალია.

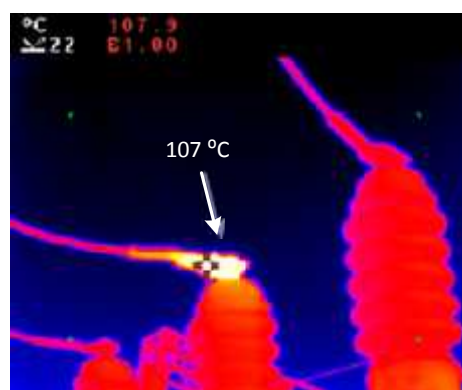
4.4 მექანიკურად (ჭანჭიკით) შეერთებული კონტაქტების დეფექტები

მექანიკურად ანუ ჭანჭიკით შეერთებული კონტაქტები ძირითადად ძაბვის შემყვანი იზოლატორის, ძაბვის კონდენსატორული შემყვანის ბოლოებზე ან საკაბელო ხაზის ბოლოებზე ფაზების გამტარების მექანიკური შეერთებისას წარმოიქმნება. ასეთი შეერთებისას გარდამავალი წინაღობის გაზრდისას მასზე სითბო გამოიყოფა, რომელიც კონტაქტის ირგვლივ მყოფ იზოლაციას გადაეცემა და მისი თვისებების გაუარესებას იწვევს, რაც საბოლოოდ იზოლაციის გარღვევით მთავრდება.

დეფექტური და არადეფექტური კონტაქტების ტემპერატურათა მაღალი სხვაობა ($> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) 10 კილოვოლტამდე ძაბვის შემყვანები ხასიათდებიან, რაც იმით აიხსნება, რომ მართალია საკონტაქტო ფართი შედარებით დიდია, მაგრამ ასეთ კონტაქტში დიდი სიდიდის დენი ($I > 1000\text{ ა}$) გაედინება და გარდამავალი წინაღობის მცირედ გადიდება კონტაქტზე გამოყოფილი სითბოს მნიშვნელოვან მატებას იწვევს. ამის საილუსტრაციოდ სურ. 7-ზე მოყვანილია ქვესადგურ „საქასრია“-ს ტრანსფორმატორის 10 კილოვოლტიანი ძაბვის შემყვანების თერმოგრაფია, საიდანაც ჩანს, რომ დეფექტური კონტაქტის ტემპერატურა $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ით აღემატება არადეფექტური კონტაქტის ტემპერატურას. რემონტისას გამოვლინდა კონტაქტის არასათანადო შეერთება, რის აღმოფხვრის შემდეგ ტემპერატურის გაზომვის ცდომილებას არ აღემატებოდა.



სურ. 7 ქვესადგურ „საქასრია“-ს 10კვ ძაბვის შემყვანი იზოლატორის კონტაქტის დეფექტი

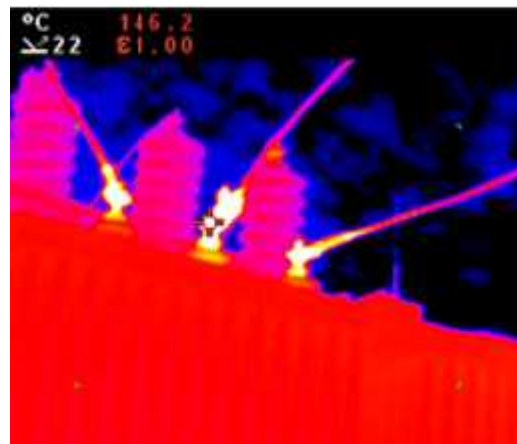


სურ. №8 დეფექტური კონტაქტი ქვესადგურ „ქობულეთი“-ის 35კვ სასექციო ზ.ა-ის ძაბვის შემყვანი იზოლატორი

35კვ-იანი ძაბვის შემყვანი იზოლატორები კონსტრუქციულად იმდენად ცუდად არის დამზადებული, რომ ძაბვის შემყვანების დეფექტების უმეტესი რაოდენობა ამ სახის კონტაქტებზე მოდის, ტემპერატურათა სხვაობა კი ხშირ შემთხვევაში საკმაოდ მაღალია. ამის საილუსტრაციოდ სურ. 8-ზე მოყვანილია ქვესადგურ „ქობულეთი“-ის 35კვ სასექციო ზ.ა-ის ძაბვის შემყვანი იზოლატორის კონტაქტური შეერთების დეფექტი, რომლის ტემპერატურა არადეფექტური კონტაქტის ტემპერატურას 82 °C-ით აღემატებოდა.

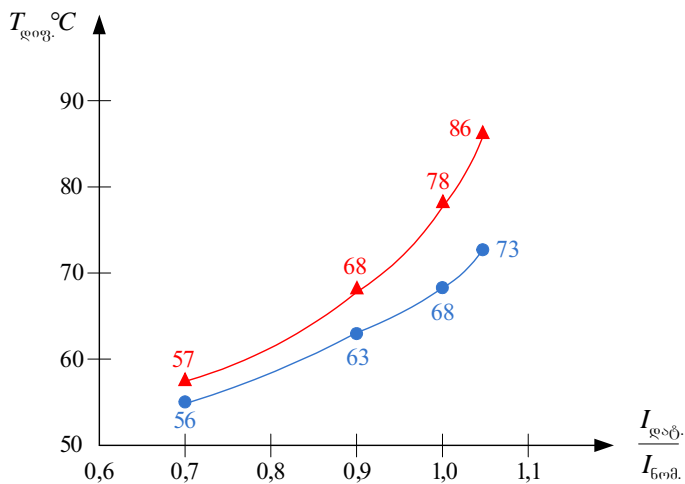
რემონტისას არსებული დეფექტი დადასტურდა და აღმოიფხვრა.

კარალეთის ქვესადგურის ტ-2 ტრანსფორმატორის თბოვიზორული დიაგნოსტიკისას აღმოჩნდა, რომ 10კვ ძაბვის შემყვანი იზოლატორის სამივე ფაზის კონტაქტის მექანიკური შეერთება დეფექტური იყო (სურ. 9) ამასთან „ბ“ ფაზის კონტაქტის ტემპერატურა სხვა დეფექტური ფაზების ტემპერატურას 90 °C-ით აღემატებოდა, დეფექტურების კი გერემოსას 35 °C.

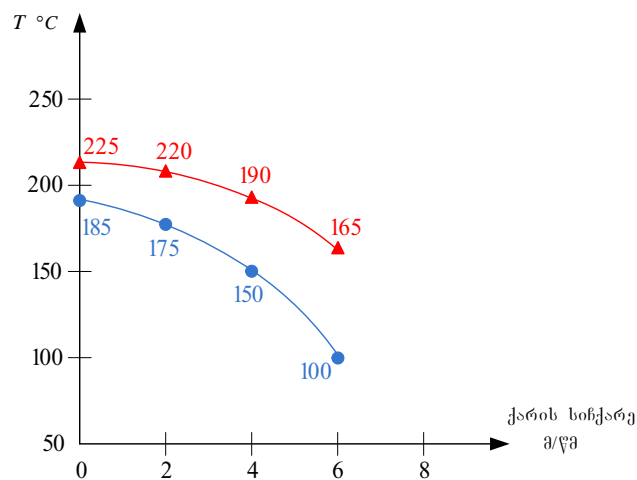


სურ. 9 ქვესადგური „კარალეთი“-ის ტ-2 ტრანსფორმატორის 10კვ ძაბვის შემყვანი იზოლატორების სამივე ფაზის კონტაქტის დეფექტები

რადგან კონტაქტების ტემპერატურა დატვირთვის დენის სიდიდეზე, ქარის სიჩქარეზე, გარემოს ტემპერატურაზე, ატმოსფერულ ნალექზე და სხვა მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული. ამის გამო შევისწავლით ქვესადგურ „ფოთი-3“-ს 35კვ ტ-1 ტრანსფორმატორის „ბ“ ფაზის ძაბვის შემყვანი იზოლატორის დაზიანებული კონტაქტის ტემპერატურის სიჭარბე დაუზიანებელი ფაზის კონტაქტის ტემპერატურასთან დატვირთვის სხვადასხვა მნიშვნელობებისას. როგორც აღმოჩნდა დატვირთვის დენის გაზრდით კონტაქტის ტემპერატურა თითქმის სწორხაზოვნად იზრდება (სურ. 10), მაგრამ თუ გამოთვლებს ფორმულა N_2 -ის მიხედვით ჩავატარებთ, მაშინ დატვირთვის დენის გაზრდით კონტაქტის დეფექტურობის შესაფასებელი ტემპერატურა უფრო მნიშვნელოვნად იზრდება.



სურ. 10 ქვესადგური „ფოთი-3“-ის ტ-1 35კვ ძაბვის შემყვანი იზოლატორის დაზიანებული კონტაქტის ტემპერატურის ნამატის დამოკიდებულება დატვირთვის დენის სიდიდეზე. ● - განსაზღვრული თერმოგრამით, ▲ - განსაზღვრული ფორმულა 2-ით.



სურ. 11 ქვესადგურ „ჩაქვი“-ს სახაზი გამოიშველის დეფექტური კონტაქტის ტემპერატურის (▲) და ტემპერატურის ნამატის (●) დამოკიდებულება ქარის სიჩქარეზე.

მიღებული შედეგები ცალსახად ადასტურებენ, რომ ტემპერატურის სიჭარბის გარდა კონტაქტის დეფექტურობა ნომინალურ სიმძლევრეზე (დენზე) გადაანგარიშებითაც უნდა შეფასდეს, რაც რათქმაუნდა მეტ ინფორმაციას და სიზუსტეს იძლევა.

დეფექტური კონტაქტის ტემპერატურაზე ატმოსფერული მოვლენების გავლენის შესწავლის მიზნით განსაზღვრული იყო დეფექტური კონტაქტის ტემპერატურა ქარის სხვადასხვა სიჩქარისას.

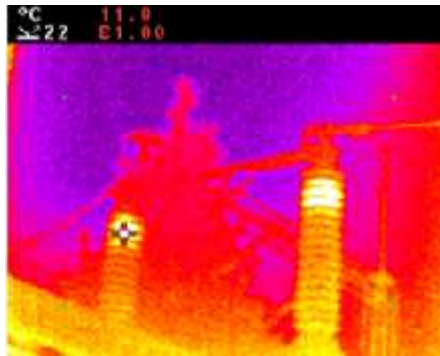
საწყის მდგომარეობაში, როდესაც ქარის სიჩქარე პრაქტიკულად ნულის ტოლი იყო, დეფექტური კონტაქტის ტემპერატურა ანალოგიური კონტაქტის ტემპერატურის სიდიდეს 185 °C-ით აღემატებოდა. ქარის სიჩქარის ზრდასთან ერთად კონტაქტის ტემპერატურის სიჭარბემ იკლო, მაგრამ მისი სიდიდე გარემოს ტემპერატურასთან შედარებით უფრო ნაკლები სიჩქარით მცირდებოდა. აქედან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ ქარიან ამინდში უფრო კარგი იქნება თუ კონტაქტის მდგომარეობა, მისი და გარემოს ტემპერატურათა სხვაობით შეფასდება. (სურ.11).

მექანიკური შეერთების დეფექტების ერთ-ერთ სახეს არამყარად შეერთებული საღტე ან ცუდად გადაბმული გამტარები წარმოადგენს. როგორც წესი რაიმე სხვა საშუალებით მისი გამოვლენა შეუძლებელია. ასევე გამოიშველის ცუდად შეერთებული კონტაქტი უმეტეს შემთხვევაში ცხელი წერტილის წყაროს წარმოადგენს. მისი გამოვლენა მხოლოდ თერმოგრაფიული გამოკვლევით შეიძლება.

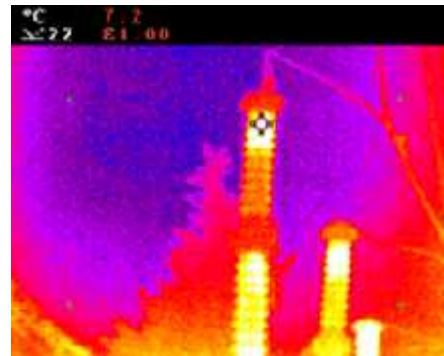
4.5 თბური დეფექტები ელექტრომოწობილობის იზოლაციაში

რადგან დეფექტი ელექტრომოწობილობის მოცულობაში იმყოფება და უმეტესი საიზოლაციო მასალები ცუდი სითბოგამტარობით ხასიათდებიან, ხოლო თუ დეფექტი ზეთით შევსებულ მოწობილობებშია, მაშინ აღნიშნულთან ერთად ზეთის თბილ მოლეკულებს სითბო ზემოთ მიაქვთ. ამისგამო ელექტრომოწობილობის დეფექტის მახლობელ ზედაპირზე სითბოს ნამატი $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ არ აღემატება. ზოგჯერ კი რამოდენიმე გრადუსია. მიუხედავად იმისა, რომ უშუალოდ დეფექტის ტემპერატურა რამოდენიმე ასეული გრადუსი შეიძლება იყოს, ამის გამო ასეთი დეფექტების გამოვლენა აუცილებელია.

როდესაც საყრდენი იზოლატორის ტანში არსებულ ბზარებში ტენი აღწევს, მასში ბზარების ადგილას დიელექტრიკული დანაკარგები და შესაბამისად ტემპერატურაც იზრდება ე.ი. წარმოიქმნება ცხელი წერტილი. ასეთი ბზარები მექანიკურად ასუსტებს იზოლატორს, ხოლო ზამთარში წარმოქმნილი ყინული იზოლატორის მექანიკურ დაზიანებას იწვევს. ამ სახის დეფექტების უმრავლესობა 110 და 35 კილოვოლტიანი საყრდენ იზოლატორებში გვხვდება (სურ. 12).



სურ. 12 ქვესადგური „მარნეული-1“-ის 110კვ გამთიშველის იზოლატორის დეფექტი

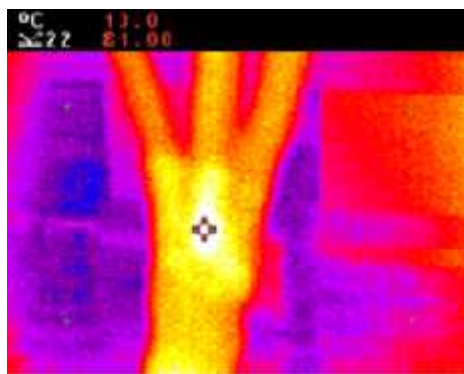


სურ. 13 ცხელი წერტილი კ/ხ „ბონისი“-ის 110კვ მცლელის ხეკციის ტანსა და თავში

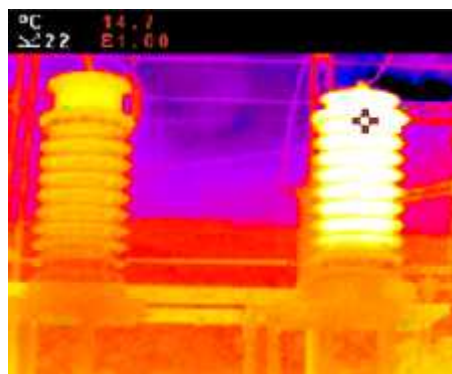
მიუხედავად დეფექტის სირთულისა, მისი დაუყოვნებლივ აღმოფხვრა შეუძლებელია, რადგან ხაზის გამორთვის გარდა საჭიროა ახალი იზოლატორი. ანალოგიური მექანიზმით დეფექტები მცლელის ელემენტის ზედა ნაწილში წარმოიქმნება (სურ. 13), ხოლო მცლელის ელემენტის ტანში ცხელი წერტილი $10 - 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -მდე ტემპერატურის

ნამატით მცლელის ცალკეულ ელემენტებს შორის გაკონვის დენების ნორმაზე მეტი განსხვავებითაა განპირობებული. ასეთი დეფექტი საშიშია, რადგან გადამეტების იმპულსის მოქმედებით ან ზამთრის ყინვებისას მცლელი შეიძლება მექანიკურად დაზიანდეს და ავარია გამოიწვიოს.

მაღალი ძაბვის კაბელების ფაზებს შორის იზოლაციის დაზიანება უმეტესად კაბელის ყელში ცალკეული ფაზის გამტარების იზოლაციის ცუდი შესრულებით არის გამოწვეული (სურ. 14). ასეთ ადგილებში საგარაუდოდ ნაწილობრივი განმუხტვა მიმდინარეობს. თუ ნაწილობრივი განმუხტვა სუსტია, მაშინ კაბელის ზედაპირზე ტემპერატურის ნამატი 10 °C-მდეა, ხოლო მაღალი ინტენსივობის ნაწილობრივი განმუხტვისას ტემპერატურის ნამატმა 30 °C შეიძლება მიაღწიოს. ამ შემთხვევაში იზოლაციის დაზიანება რამოდენიმე საათში ხდება.



სურ. 14 თბური დეფექტი კს „ბორჯომი-1“-ის 10კვ ფ. „წვეა-2“-ის კაბელის ყელში



სურ. 15 თბური დეფექტი 110კვ ძაბვის ტრანსფორმატორის ტანში

როდესაც ძაბვის ან დენის ტრანსფორმატორის გრაგნილის ხვიებს შორის მოკლედ ჩართვას აქვს ადგილი, მაშინ ზეთის თბილი მოლეკულების მოძრაობის გამო სითბოს ნაკადი უფრო მეტად ზემოთ არის მიმართული ვიდრე გვერდებზე (სურ. 15). შესაბამისად დეფექტის მაღლა ტრანსფორმატორის მთელი ტანის ტემპერატურა რამოდენიმე ათეული გრადუსით არის მომატებული, მაგრამ დეფექტის ტემპერატურა შესაძლებელია 300 – 500 °C აღემატებოდეს. ასეთი დეფექტები დაუყოვნებლივ უნდა აღმოიფხვრას.

დასკვნა

ზემოთ განხილულის ანალიზით შეგვიძლია დავასკვნათ.

1. სსეულის გამოსხივების სპექტრი მჭიდროდ არის დაკავშირებული მის ტემპერატურასთან და ინფრაწითელი სპექტრის დიაპაზონში გამოსხივების ინტენსივობის დადგენით შესაძლებელია სსეულის ტემპერატურის განსაზღვრა.

2. თბოვიზორული დიაგნოსტიკა ელექტროტექნიკური მოწყობილობებში ისეთ დეფექტებსაც გამოავლენს, რომელთა აღმოჩენა ელექტრული გაზომვებით შეუძლებელია და ამ სახის დიაგნოსტიკის ჩატარებისას განსხვავებით ელექტრული გაზომვებისგან ელექტროტექნიკური მოწყობილობის ქსელიდან გამორთვა აუცილებელი არ არის.

3. ნებისმიერი სახის ელექტროტექნიკურ მოწყობილობაში ნორმალურ საექსპლუატაციო პირობებში ადგილი აქვს სითბოს გამოყოფას. ეს მოვლენა მისი მახასიათებელი თვისებაა, მაგრამ გამოყოფილი სითბო გარემოს გადაეცემა და სითბური დეფექტი არ წარმოიქმნება.

4. სითბური ენერჯის ყველაზე მეტ გამოყოფას ძალოვან ტრანსფორმატორებში აქვს ადგილი. მათში სითბოს ძირითად წყაროს აქტიური ნაწილი წარმოადგენს, რომელშიც გამოყოფილი სითბო გარემოს გადაეცემა

5. ელექტროტექნიკური მოწყობილობების თბოვიზორული გამოკვლევა მოწყობილობის დიაგნოსტიკის არაპირდაპირ მეთოდს წარმოადგენს, მაგრამ მისი საშუალებით შეგვიძლია ქსელიდან გამორთვის გარეშე გამოვიკვლიოთ ელექტროტექნიკური მოწყობილობები და 80%-ზე მეტი ისეთი დეფექტი გამოვაგვლინოთ, რომლებიც ელექტროტექნიკური მოწყობილობის სითბური რეჟიმის დარღვევასთან არის დაკავშირებული.

6. თბოვიზორული დიაგნოსტიკით გამოვლენილი თბური დეფექტის საშიშროება დეფექტურობის კოეფიციენტით ფასდება, თუ მისი სიდიდე 1,2-დან 1,5-მდეა, მაშინ დეფექტი განვითარებულია.

როდესაც ეს კოეფიციენტი 1,5-ს აღემატება დეფექტი აგარიულია და ის დაუყოვნებლივ უნდა აღმოფხვრას;

7. გაცივების სისტემის დეფექტები არათბურ დეფექტებს მიეკუთვნებიან, ისინი ნაკლებად ვითარდებიან, მაგრამ ნორმალური ექსპლუატაციის მდგომარეობის დარღვევას წარმოადგენენ და მათი აღმოფხვრა აუცილებელია;

8. კონტაქტური შეერთების გარდამავალი წინაღობის გაზრდით წარმოქმნილი თბური დეფექტის ტემპერატურაზე, როგორც დატვირთვის დენის გაზრდა, ასევე ქარის სიჩქარე ახდენს გავლენას, კერძოდ დენის გაზრდით ტემპერატურა იზრდება, ხოლო ქარის სიჩქარის გაზრდით კი ტემპერატურა მცირდება.

მიღებული შედეგები ცალსახად ადასტურებენ, რომ ტემპერატურის სიჭარბის გარდა, კონტაქტის დეფექტურობა ნომინალურ სიმძლავრეზე (დენზე) გადაანგარიშებითაც უნდა შეფასდეს, რაც მეტ სიზუსტეს იძლევა.

9. ელექტროსაიზოლაციო სისტემაში წარმოქმნილი თბური დეფექტები ტემპერატურის შედარებით ნაკლები ნამატით ხასიათდებიან, მაგრამ სწრაფად ვითარდებიან და საიზოლაციო სისტემის შესაქმნელად გამოყენებული მასალების დეფექტებით არიან განპირობებული.

გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. ლ. თევდორაშვილი, „ელექტროდანადგარების თბოვიზორული დიაგნოსტიკა“. ჟურნალი „ენერჯია“ №4(72), 2014 გვ. 63-65
2. რ. ჩიხლაძე, ლ. თევდორაშვილი, „ელექტრომოწყობილობების მექანიკური შეერთების თბური დეფექტები“ ჟურნალი „ენერჯია“ №1(73), 2015 გვ. 9-14
3. რ. ჩიხლაძე, ლ. თევდორაშვილი, „ტრანსფორმატორის გაცივების სისტემის დეფექტების თერმოგრაფიული გამოკვლევა“ საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“, №28, 2015, გვ. 130-135
4. სტუ-ს სტუდენტთა 82-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია: „მაღალი ძაბვის ელექტრომოწყობილობების თბოვიზორული გამოკვლევა“

Abstract

Lasha Tevdorashvili's thesis "Thermal imager diagnostics of high-voltage devices" concerns actual problems of energetic, in particular the thermal imager of diagnostics of high-voltage devices. This method is the most perspective for today and is widely used in science and all spheres of technology, including energy sector.

Specified method without operation interruption reveals such electronic defects in electro-technical devices which can be detected only by electronic measurements and together with it reveals such defects which can't be found by electronic measurements, for example, heat release defects of the cooling radiators.

The work consists from 120 pages and according to the instructions of registration of the presented thesis on competition of doctor's academic degree, contains: title page, subscription list, copyright page, summary in two languages (Georgian-English), contents (table of contents), tables and drawings list. The main text consists of literature review, four chapters, a conclusion and the list of the used literature.

Chapter 1 discusses spectrum of body radiations, laws of formation of infrared and visible rays, showing a relationship between infrared rays with body temperature. Also we have description of the spectral maintenance of infrared rays, their distribution in environment, and absorption of infrared rays by steam, ozone, air, and also its dispersion by small parts of atmospheric dust.

Chapter 2 describes those electronic defects of high voltage devices which are revealed by electronic measurements. of given measurement, in particular, idling losses, determination of transformation coefficient, scheme and device of measurement of windings and contact resistance measurement and resistance of contact and short circuit. Besides, it is shown that defects in isolation system can be revealed only by electric measurements, in particular, reducing resistance or increasing dielectric losses, and it is impossible to find it by the thermal imager studying.

Chapter 3 discusses heat generation defects of the high-voltage devices, such as increase in transitional resistance of various types of contact connection which is in accordance with overheat of power contacts and increase in temperature. Also distribution of the allocated heat of a winding to its height, distribution of heat and distribution of change from the magnetically conductive transformer to a tank surface. Describing heat distribution of a thermal stream and transfer of heat from a tank surface to environment.

In chapter 4 experimental results are described and analysed. It deals with norms of increase in heat of thermal defects, according to mentioned increase the quality of defect danger and terms of its elimination are estimated.

Of course, for all types of defects is brought the most admissible temperature during which the defect doesn't constitute danger or the risk is very great.