

PRIMENA TERMOGRAFIJE U DIJAGNOSTICI KVAROVA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA

LJ. ČIČKARIĆ, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd, Srbija

UVOD

Zagrevanje je fizička pojava čiji su parametri od velike važnosti pri praćenju stanja i ocenjivanju rada opreme, instalacija i tehnoloških procesa u postrojenjima različitih namena. Vrednosti temperature, njena visina, raspodela ili odstupanje od normalne vrednosti, daju elemente za procenu stanja. Otkrivanje promena u provođenju toplote kroz ili van nekog aparata, izazvane neispravnim radom samog aparata ili stvaranja barijera u provodnim delovima su jedan od ciljeva praćenja temperature. Dobra ocena termičkog stanja omogućava blagovremeno pronalaženje neispravnih elemenata u opremi i sprečavanje težih kvarova. Dobijeni podaci služe kao osnova za statističku analizu, procenu kvaliteta aparata, trajnosti opreme i periodičnosti akcija održavanja.

Merenje temperature se uslovno može podeliti na dve kategorije: kontaktno i beskontaktno. Kontaktni uređaji za merenje temperature poput termoparova, termistora i termometara različitih konstrukcija su široko primenjeni u različitim oblastima ljudskih delatnosti. Beskontaktni termički senzori mere energiju toplotnog zračenja, koja se emituje sa posmatranog objekta. Za njih je karakterističan daleko brži odziv (reda ms) i mogu se koristiti u slučajevima merenja temperature tela u pokretu, tela sa složenim geometrijskim oblicima, tela u vakuumu ili tela koja su fizički nedostupna iz razloga bezbednosti ili iz drugih razloga.

Iz navedenog sledi da je u mnogim slučajevima merenja temperature bitna prednost na strani onih koji ne prekidaju niti ometaju normalan rad postrojenja ili sistema. To su uglavnom pasivni uređaji koji beskontaktno mere temperaturu detektujući infracrveno zračenje sa posmatrane površine. [1]

U radu su iznete osnovne primene termografije u otkrivanju i analizi kvarova na energetskim transformatorima. Objasnjene su osnovne tehnike termografskih merenja i prezentovani ilustrovani primeri otkrivanja neregularnih toplotnih stanja na energetskim transformatorima.

POJAM INFRACRVENE TERMOGRAFIJE

Infracrvena termografija (IC/T) je tehnika prikupljanja i analize informacija dobijenih uz pomoć uređaja za beskontaktno snimanje termičkih slika. Poput fotografije, koja se definiše kao „pisanje svetlom“, termografija zači „pisanje toplotom“. Formirana slika se naziva termogramom. Primena termografije kao dijagnostičke metode podrazumeva poznavanje načina izrade i analize termičke slike odn. poznavanje termografskog uređaja, konstrukcije i funkcionisanja objekta posmatranja i razumevanje zakona prenošenja toplote.

Korišćenje IC kamere u praćenju temperaturnog stanja površine tela ili scena uključuje termografska i radiometrijska merenja. Termografska merenja detektuju zračenja u elektromagnetnom spektru sa talasnim dužinama od oko 2 do 14 μm . Radiometrijska merenja se odnose na elektromagnetnu energiju zračenja, naročito onu u IC spektru, i jednostavno se definišu kao apsolutna merenja radijanse odn. gustine fluksa energije zračenja po jedinici prostornog ugla (u sr - steradianima) i po jedinici projektovane površine zračenja (u cm^2 ili m^2). Izražava se u jedinicama W/sr cm^2 . Jednostavno rečeno, termografija govori koliko je telo koje se posmatra toplo a radiometrija daje informaciju koliko energije telo odaje. Premda su ova dva koncepta povezana, radi se o različitim stvarima. Koncept IC kamere je da meri gustinu incidentnog zračenja na određenu površinu a vrednost temperature je izvedena iz te vrednosti. Tačnost dobijene vrednosti temperature zavisi od kalibrisanja IC sistema, koji je zasnovan na merenju efektivnog zračenja i temperature idealnog crnog tela. Emisivitet mernog objekta je od presudnog značaja za ostvarivanje tačnog merenja temperature.

Postoji pet koraka u procesu radiometrijskog i fotometrijskog merenja pomoću IC kamere:

1. Merni objekat ima određenu energetsku signaturu, koju IC kamera prima kroz sistem sočiva.
2. To uključuje sakupljanje fotona u slučaju fotonskih detektora ili toplotne energije kod termalnih detektora, poput mikrobolometara.
3. Primljena energija od strane detektora stvara na izlazu signalni napon koji se digitalizuje pomoću A/D konvertera, koji kod novijih sistema imaju 14-bitni dinamički opseg (16384 brojnih vrednosti).
4. Kada je kamera ispravno kalibrisana, digitalna informacija se transformiše u vrednost radijanse (W/sr cm^2).
5. Konačno, elektronika kamere konvertuje vrednost radijanse u temperaturu, koristeći izmerenu ili poznatu vrednost emisiviteta mernog objekta.

TERMOGRAFSKE TEHNIKE MERENJA I ANALIZE

Osnovna strategija u primenama IC tehnologije se zasniva na tehnici komparativne termografije. Reč je o jednostavnom upoređivanju sličnih komponenata ili uzoraka, koji se nalaze pod približno istim uslovima. Kada se komparativna tehnika koristi korektno, razlika između dva ili više uzorka (ili komponenata) može biti indikativna po pitanju njihovog stanja. Primer takve primene je kontrola trofaznog električnog sistema, gde se može vršiti upoređivanje elemenata ili aparata na sve tri faze. Uslov korektnog merenja je da opterećenje bude simetrično odnosno približno jednako na sve tri faze, što je najčešće slučaj. U tim uslovima posmatrane faze bi trebalo da imaju sličnu termičku sliku. U slučaju nesimetričnog opterećenja bi faza sa najvećim opterećenjem trebala izgledati toplije. Kod ove tehnike je izuzetno važno imati informacije o kontrolisanom uzorku ili komponenti kao što su konstrukcija, način funkcionisanja, mogući mehanizmi nastanka kvara, putevi prenosa toplote, istorija rada itd.

Jedna od varijacija tehnike komparativne termografije je termičko mapiranje. Raspodela temperature na određenoj površini posmatranog uzorka se upoređuje sa odgovarajućim prethodno načinjenim snimkom, koji predstavlja termičku signaturu uzorka. Ova se tehnika vrlo često koristi kod uzoraka sa kompleksnijom termičkom slikom i u slučajevima kada je priroda kvara takva da se on razvija jako sporo. Tehnika je primenljiva kod sistema, čije održavanje se odvija u striktno utvrđenim vremenskim intervalima, kada se poređenjem termičkih slika može pratiti trend razvoja kvara ili promena termičkog stanja izazvana promenom nekog svojstva ili karakteristike sistema.

Mnoge tehnike termografskog snimanja su bazirane na različiti kondukcije materijala, toplotnog kapaciteta i difuzivnosti. Naime, izražene razlike kod različitih materijala ili razlike u istom materijalu u pogledu reljefa površine, pukotina ili drugih diskontinuiteta, postaju očigledne na termičkoj slici.

Interpretacija rezultata primene infracrvene termografije zahteva analizu, koja podrazumeva puno promenljivih parametara, čije je vrednosti nekada teško proceniti ili kvantifikovati. Postoje tri grupe parametara, koji se odnose na (1) objekat posmatranja, (2) ambijentalne uslove sistema u kome se objekat nalazi, i (3) instrument odn. termografski uređaj.

Parametri koji se odnose na objekat su emisivitet, spektralne karakteristike, temperatura, odnosi prenosa toplote unutar i oko objekta, termički kapacitet, difuzivnost.

Ozbilnost problema i zaključak o vrsti i stepenu neispravnosti nije uvek očigledan ukoliko se zna samo temperatura komponente koja se posmatra. Primer niskog emisiviteta ili velikog termičkog gradijenta unutar oklopljenog elementa, koji je istovremeno izložen vetru odn. hlađenju usled konvekcije, smanjeno opterećenje i drugo, su mogući izvori greške u procenivanju stanja. Ipak, neke generalizacije se mogu načiniti poznajući primenjene materijale i njihove dozvoljene granične temperature.

UZROCI KVAROVA NA KOMPONENTAMA ELEKTRO-ENERGETSKOG SISTEMA

Nijedan električni sistem nije 100% efikasan. Proticanje struje kroz električni sistem uslovljava generisanje toplote usled električnog otpora. Vremenom stanje komponenata sistema i njihovih kontaktnih površina se menja neminovno povećavajući električni otpor, što dalje dovodi do stvaranje veće količine toplote. Ovaj proces se nastavlja do eventualnog kvara odn. do postizanja tačke topljenja materijala najslabije komponente sistema. Fluktuacija opterećenja ili konstantno velika opterećenja, vibracije, naprsnuća u metalnim delovima, starenje, pogoršani ambijentalni uslovi poput ekstremnih temperatura, vetra, hemijskih uticaja i nečistoća u atmosferi su razlozi ubrzane degradacije i pojave kvarova u električnom sistemu.

Toplotna energija koja se generiše u električnim komponentama je direktno proporcionalna kvadratu struje proticanja, pomnožene sa električnim otporom ($P=I^2R$). Nesimetrična ili povećana opterećenja u trofaznim komponentama sistema dovodi do povećanja toplote. S druge strane oslabljene priključne veze komponenata sistema dovode do povećanja otpornosti i time ukupne toplote.

Pojava viših harmonika struje i napona, multiplikovanih na osnovnu učestanost električnog sistema, mogu znatno pogoršati termičko stanje komponenata. Trostruki harmonici su naročito izražajni i mogu stvoriti drastična pregrevanja i probleme u transformatorima, generatorima u praznom hodu, motorima, telekomunikacionoj opremi, električnim panelima, prekidačima itd.

Naizmenična struja u električnim sistemima prirodno indukuje proticanje struje i magnetni fluks u okolnim metalnim objektima poput cevovoda, metalnih oklopa i kućišta, potpornim elementima opreme itd. Fenomen se javlja u jakim elektromagnetnim poljima uslovljenim proticanjem velikih struja. Indukovane vrtložne struje u feromagnetnim materijalima uzrokuju pojavu znatnih grejanja, koja mogu vremenom dovesti do pojave kvara.

PRIMENA TERMOGRAFIJE U DIJAGNOSTICI KVAROVA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA

Termografija je danas, zajedno sa analizom vibracija, jedna od dominantnih metoda u dijagnostici kvarova u industriji. Prednost ove metode je što se sprovodi u toku normalnog rada postrojenja bez zaustavljanja ili ometanja rada elemenata ili aparata. Iako stepen zagrejanosti nije uvek idealan indikator problema u elementima električnog sistema, izraženo grejanje usled povećanog električnog otpora često prethodi kvarovima.

U elektroprivrednim objektima se dijagnostika termičkog stanja postrojenja i opreme ostvaruje kroz sistematska termografska ispitivanja u sklopu programa preventivnog održavanja. Time se omogućava plansko obavljanje remonata i smanjenje troškova održavanja.

Termografsko praćenje termičkog stanja u potpunosti zadovoljava zahteve savremene tehnologije i eksploatacije opreme.

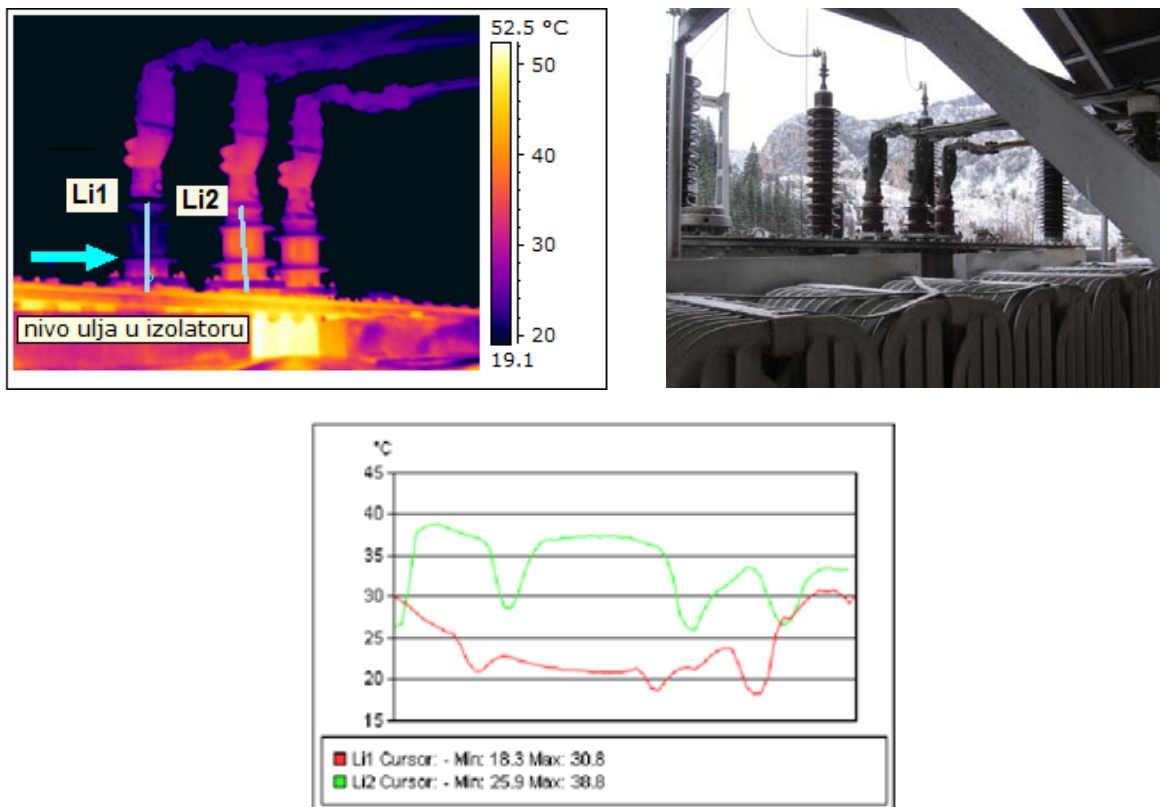
U nastavku teksta slede ilustrovani primeri ispitivanja i kontrola na energetskim transformatorima, gde je termografija uvedena kao dijagnostička metoda ili kao pomoćna metoda, koja dalje inicira ispitivanja drugim metodama. Primena termografije je proizašla iz dugogodišnjeg rada na ovom polju, koristeći se bogatim iskustvima i zapažanjima korisnika u praćenju stanja opreme u toku eksploatacije.

a) Kontrola nivoa ulja u provodnim izolatorima transformatora

Izolaciono ulje u provodnim izolatorima energetskih transformatora ima funkciju izolovanja delova pod naponom i odvođenja toplote. Nivo ulja u izolatorima se, po pravilu, vrlo lako vizuelno kontroliše ali, iskustvo je pokazalo da se mogu dobiti pogrešne informacije zbog zaprljanosti uljokaznog stakla ili iz drugih razloga.

U okviru redovnih termografskih kontrola postrojenja je izvršeno snimanje transformatora prenosnog odnosa 110/10 kV. Zapažena je oštra granica u stepenu zagrejanosti između gornjih i donjih članaka na jednom od tri provodna izolatora na niženaponskoj strani (slika broj 1a). Merenje otpora namotaja i druge sprovedene metode ispitivanja (hemijska analiza ulja, merenje faktora dielektričnih gubitaka $\tan\delta$) nisu ukazale na postojanje mogućeg kvara na transformatoru. Sa termograma (slika broj 1) bi se moglo zaključiti da se dva izolatora (srednji i desni na slici) više greju zbog postojanja kvara u unutrašnjosti priključnih veza ka namotu. Ipak, približno jednake temperature na spoljašnjim priključcima na sve tri faze, koji su izvedeni pomoću masivnih stezaljki, „zastavica“, navodi na zaključak da ne postoje izvori neispravnosti i eventualnih grejanja na strujnim vezama u unutrašnjosti provodnih izolatora. Istovremeno se uočava jasna razlika u pogođu zagrejanosti susednih članaka na levom provodnom izolatoru (strelica pokazuje graničnu liniju). Temperaturni profili provodnih izolatora

susednih faza, jedne sa sniženim a druge sa regularnim nivoom ulja, idu u prilog zaključku o odsustvu izolacionog ulja u provodnom izolatoru. Naknadne provere remontnih ekipa su potvrdile ovaj zaključak. Naime, nakon zamene provodnog izolatora na višenaponskoj strani zbog kvara koji je uočen prilikom prethodne termografske kontrole, došlo je do formiranja „vazdušnog jastuka“ u jednom od tri izolatora na niženaponskoj strani. Reč je o propustu ekipe koja je izvodila radove i koja nije izvršila eliminisanje vazduha odn. „odzračivanje“ u jednom od tri provodna izolatora.



Slika broj 1. Termo- i foto- slika provodnih izolatora 10 kV i temperaturni profili provodnih izolatora susednih faza - sa nižim i regularnim nivoom izolacionog ulja

“Vazdušni jastuk”, koji je postojao unutar tela provodnog izolatora, je bio dobar toplotni izolator. Istovremeno je njegov toplotni kapacitet relativno mali, što znači da se pod uticajem okoline njegova temperatura brže menja nego kod transformatorskog ulja, zbog čega je temperatura vazduha u izolatoru daleko niža od temperature izolacionog ulja, koja je u vreme merenja bila blizu 40 °C. Snimanje je obavljeno u zimskim uslovima pri temperaturi atmosfere ispod 0 °C. Razlika u toplotnom kapacitetu vazduha i ulja je prevashodni razlog efikasnog otkrivanja ove vrsta kvara primenom termografije.

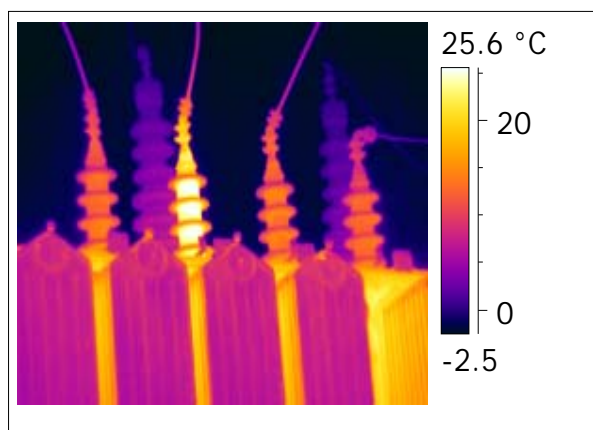
b) Kontrola priključaka provodnih izolatora

Kvarovi u unutrašnjosti transformatora odn. na strujnim vezama od priključaka ka namotajima nisu tako česti, ali, kada se dese, zahtevaju posebnu pažnju. Pravovremeno otkrivanje ove vrste neispravnosti daje mogućnost planiranja isključenja za najpovoljniji trenutak po elektroenergetski sistem. U međuvremenu se opterećenje transformatora smanjuje do nivoa koji dozvoljava sistem i pooštreno prati stanje transformatora, kako bi se utvrdio trend razvoja kvara.

Izložen je slučaj pregrevanja tela provodnog izolatora transformatora snage, kod kojeg je termovizijom pronađena neispravnost, koja je praćena u dužem vremenskom intervalu. S obzirom da se radilo o značajnoj transformatorskoj jedinici, ova neispravnost je pooštreno praćena termovizijom i gasnom hromatografijom (Slika broj 2).

Na transformatoru se nije ništa preduzimalo sve dok nisu registrovane vrednosti, koje su ukazivale na progresivno intenziviranje razvoja kvara.

Transformator je povrnut remontu u najpogodnijem trenutku za elektro-energetski sistem. Pronađeni su nedovoljno pritegnuti spojni elementi provodnog izolatora sa namotajima faza, ostvarenih preko zavrtnjeva.



Slika 2. Termogram provodnog izolatora čije su neispravnosti na donjem priključku

Na narednoj slici je prikazan primer izrazitog pregrevanja na spoljašnjem priključku za provodni izolator distributivnog transformatora.



Slika 3. Termogram provodnog izolatora čije su neispravnosti na spoljašnjem priključku

Navedeni primeri daju jasnu sliku o mogućnostima termografije u otkrivanju i analizi kvarova na spoljašnjim i unutrašnjim priključcima uvodnih izolatora transformatora snage. U svim slučajevima je u manjoj ili većoj meri izražen gradijent temperature duž puta provođenja toplote. Ipak, na osnovu samo jedne termovizijske kontrole se često ne mogu jasno utvrditi svi relevantni elementi za zaključivanje o tačnoj lokaciji, veličini i stepenu progresije neispravnosti. Ponekad je jako korisno sprovođenje kontrola pri raznim opterećenjima transformatora i komparativnim pristupom utvrđivanje eventualnih razlika i zavisnosti od opterećenja. Isto tako, učešće drugih metoda je u većini slučajeva neophodno radi potpunijeg praćenja razvoja kvara. Rezultati gasnohromatografske analize gasova rastvorenih u transformatorskom ulju pomažu utvrđivanje toka i vrste neispravnosti.

Dodatna ispitivanja, poput merenja prelaznih otpora, odnosno otpornosti namotaja, međusobno poređenje i praćenje u vremenu, i konsultacije sa proizvođačem transformatora o konstruktivnim rešenjima primenjenim u konkretnim slučajevima omogućavaju potpunije sagledavanje problema i pouzdanije zaključivanje o mogućim neispravnostima.

c) Kontrola transformatorskog suda

Kontrola nivoa zagrejanosti površine transformatorskog suda i svih dostupnih delova i pratećih sklopova transformatora je uvedena u praksu zbog mogućnosti detekcije unutrašnjih kvarova i praćenja toplotnih procesa u različitim režimima rada transformatora.

Snimanjem slike temperaturnog polja na površini transformatorskog suda se dobija kompleksna informacija o visini i raspodeli temperature u trenutnom režimu opterećenja transformatora. Na osnovu dobijenih podataka se može određivati odzračena snaga sa površine suda i procenjivati stepen

simetričnosti temperaturnog polja u odnosu na ose simetrije transformatora. Značajnije odstupanje simetričnosti može ukazati na anomalije u funkcionisanju sistema hlađenja ili neadekvatnu raspodelu magnetnog polja, a time na neravnomernost i mogućnost prekomernog zagrevanja na neadekvatnim mestima.

Snimanjem rashladnog sistema transformatora i njegovih delova se dobija informaciona osnova, prema kojoj se može sprovesti analiza funkcionisanja ovog sistema, ili dela sistema u trenutku snimanja.

Povećano grejanje može biti rezultat povećanih gubitaka transformatora. Ukoliko je to povećanje malo, rashladni sistem transformatora je obično dovoljan da anulira efekte povećanih gubitaka. U slučaju povećanog grejanja koncentrisanog na jednom mestu ili u ograničenoj zoni, postoji realna opasnost od pregrevanja, koje potstiče degradativne hemijske procese u papiru i ulju, usled kojih, dolazi do pogoršanja njihovih mehaničkih i električnih svojstava.

Pojava rasutih flukseva, zagrevanja putem indukcije, pojava vrtložnih struja u sudu od izvoda namotaja nižeg napona itd. – imaju efekat na gubitke u transformatoru. To ukazuje na potrebu poznavanja konstruktivnih detalja ne samo transformatorskog suda, već i transformatora u celini, što svakako doprinosi poboljšanju zaključivanja o prirodi pojave zagrevanja na transformatorskom sudu.

Za donošenje valjanog zaključka o efektima zagrevanja transformatorskog suda je vrlo korisno vršiti termovizijsko snimanje na više transformatora istog tipa. Poređenje termičkih slika površine sude ili pojedinih sklopova i elementa transformatora može ukazati na postojanje neregularnih grejanja.

Termovizijska snimanja na transformatoru u pogonu pri različitim režimima opterećenja (prazan hod, nominalno opterećenje, ...) i praćenje zagrevanja u vremenu mogu, takođe, dati doprinos boljem zaključivanju.

Bitan uticaj na korektno merenje temperature termografskom metodom ima stanje površina. U slučaju transformatorskog suda je reč o stepenu zaprljanosti uljem i uticajima atmosfere i okolne sredine, te o vrsti boje, kojom je sud prefarban. Adekvatna priprema površina za termovizijska snimanja podrazumeva čišćenje površina, primenu odgovarajućih premaza ili folija radi postizanja ujednačenog i poznatog emisiviteta površine. Ukoliko to nije izvodljivo, potrebno je kontaktnim termometrom (termoparom) izmeriti temperaturu dela površine od interesa i onda preračunati vrednost emisiviteta na osnovu dobijenog izlaznog signala termografske kamere.

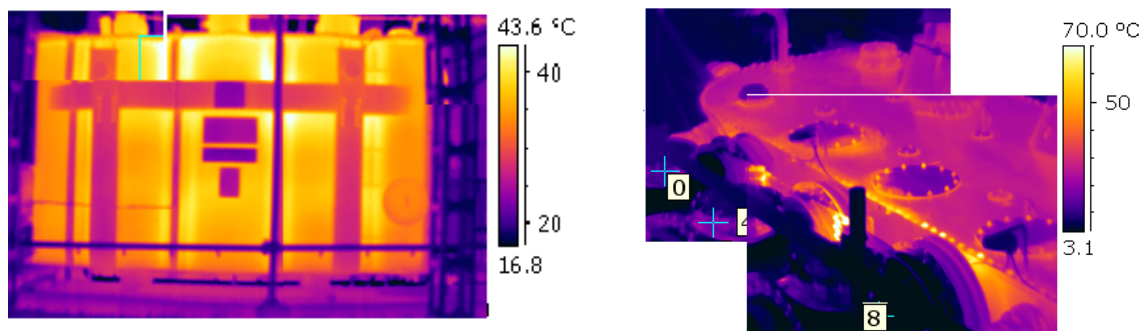
Slede primeri koji ilustruju primenu termografske metode na energetskim transformatorima.

Transformatorski sud

Termovizijska kontrola površina transformatorskog suda podrazumeva sukcesivno snimanje termičkih slika po obodu i visini suda. Ukoliko je moguće, snima se i gornja strana odn. poklopac suda. Posebna se pažnja posvećuje zonama sastava suda sa poklopcem.

Obrada rezultata podrazumeva poređenje zagrevanja krajnjih faza odn. razmatranje simetričnosti termičkog polja. Lokalna zagrevanja većeg intenziteta se analiziraju uzimajući u obzir položaj delova aktivnog sistema transformatora (magnetnog kola i namota), kao i ostalih sklopova.

Opterećenje transformatora i rad sistema za hlađenje moraju biti u dužem vremenskom periodu pre snimanja u nepromenjenom režimu radi ostvarivanja stacionarnog stanja u pogledu zagrejanosti.



Slika broj 3. Termografski prikazi površina transformatorskog suda

Lokalne zone neznatno povećanog zagrevanja na sudu transformatora mogu biti uslovljene specifičnostima u radu sistema za hlađenje i konstrukcijom transformatora.

Povećano grejanje na sastavu transformatorskog suda sa poklopcem može biti uzrokovano cirkulacijom vrtložnih struja usled rasipnih flukseva u lokalnim zonama. U takvim slučajevima može doći do pregrevanja zavrtnjeva i ubrzanog razaranja gumenih zaptivki, što ima za posledicu loše zaptivanje odn. poremećenu hermetičnost suda i prodor provodnih čestica i vlage u transformatorsko ulje.

Sistem za hlađenje ulja i druga oprema transformatora

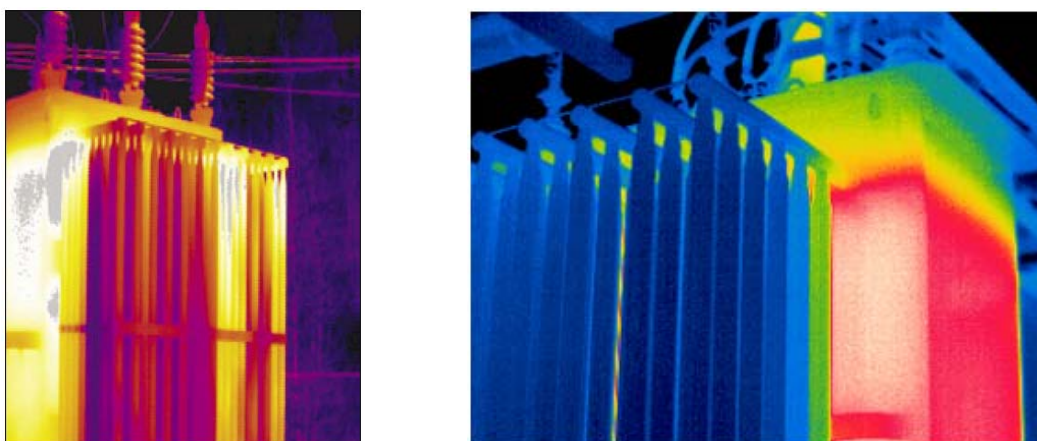
Sistem za hlađenje i čišćenje ulja, koji se snima termografskom kamerom, čine hladnjaci i uljne pumpe. Ocena efikasnosti rada sistema hlađenja sa prinudnom cirkulacijom ulja se vrši na osnovu temperaturnih promena po visini hladnjaka. Ocenjuje se karakter zagrevanja razmenjivača toplote, koji zavisi od čistoće spoljašnjih i unutrašnjih površina cevi, kao i od brzine obrtanja ventilatora za hlađenje i od uljnih pumpi. Zagrevanje uljnih pumpi se upoređuje sa tipičnim zagrevanjem pumpi analognog tipa.



Slika broj 4 Termo- i foto slika i temperaturni profil uljne pumpe

Na slici broj 4 je data ilustracija termograma i temperaturnog profila uljne pumpe, na kojoj nisu registrovana neregularna grejanja.

Na slici broj 5 su prikazani primeri hladnjaka sa otežanim protokom ulja. Pored znatne zaprljanosti površina hladnjaka, čime je oslabljena njihova efikasnost hlađenja, utvrđena je jako oslabljena protočnost u delu hladnjaka (levo na slici). Na slici desno je registrovan nedovoljan nivo ulja u transformatorskom sudu što je uslovalo potpunu neefikasnost hladnjaka. Ovakva situacija neadekvatnog hlađenja u dužem periodu vremena može uzrokovati degradaciju izolacionog sistema i drastično smanjenje životnog veka transformatora.



Slika broj 5 Termogrami hladnjaka transformatora sa otežanim protokom ulja

ZAKLJUČAK

U radu je dat prikaz primene termografije u otkrivanju i analizi kvarova na elementima i sklopovima energetskih transformatora. Predstavljene su osnovne tehnike i metodologija primene termografije U elektroprivrednim objektima se dijagnostika termičkog stanja postrojenja i opreme ostvaruje kroz sistematska termografska ispitivanja u sklopu programa preventivnog održavanja. Time se omogućava plansko obavljanje remonata i smanjenje troškova ukupnog održavanja. Termografsko praćenje termičkog stanja u potpunosti zadovoljava zahteve savremenih tehnoloških rešenja i eksploatacije opreme. U radu su prezentovani primeri ispitivanja i kontrola energetskih transformatorima, gde je termografija uvedena kao dijagnostička metoda ili kao pomoćna metoda, koja dalje inicira ispitivanja drugim metodama. Primena termografije je proizašla iz dugogodišnjeg rada na ovom polju, koristeći se bogatim iskustvima i zapažanjima korisnika tokom praćenja stanja opreme u eksploataciji.

LITERATURA

1. Flir Systems Technical Documentation
2. C.J.Hunter „Handbook of Nondestructive Evaluation“, McGraw-Hill, 2003.
3. Senčanić M., Čičkarić Lj. „Primena termografskih kontrola u dijagnostici stanja elektro i termoenergetske opreme u postrojenjima“, Elektroprivreda, br. 1, 2000. Pregledni rad UDK: 621.362.1, str 43-48
4. Sencanic M., Cickaric Lj. „Application of thermovision tests in the Preventive Maintenance of Transformers“ Proceedings of the third international power systems conference, TIMISOARA, november 18-20, 1999, vol. II, str. 72-77
5. Sencanic M., Cickaric Lj. „Regular Thermovision Controls and Feedback Information on Power Installation Equipment“, Proceedings of the fourth international power systems conference, TIMISOARA, november 8-9, 2001, str. 375-378
6. Senčanić M., Čičkarić Lj „Primena termovizijskih ispitivanja u preventivnom održavanju transformatora“, Savetovanje, „Transformatori u energetici“, april 1996 Beograd, str. 309- 316
7. Izveštaji ETI Nikola Tesla o termovizijskim ispitivanjima u postrojenjima EPS-a
8. ASTM E1934 - 99a(2005)e1 Standard Guide for Examining Electrical and Mechanical Equipment with Infrared Thermography
9. Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment, Infrasppection Institute, 2008