

Procjena stanja kontakata regulacione preklopke energetskog transformatora

Srđan Jokić, Nada Cincar

Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo

Univerzitet u Istočnom Sarajevu

Istočno Sarajevo, R. Srpska, BiH

srdjan.jokic@etf.unssa.rs.ba, nada.cincar@etf.unssa.rs.ba

Petar Matić

Elektrotehnički fakultet Banja Luka

Univerzitet u Banjoj Luci

Banja Luka, R. Srpska, BiH

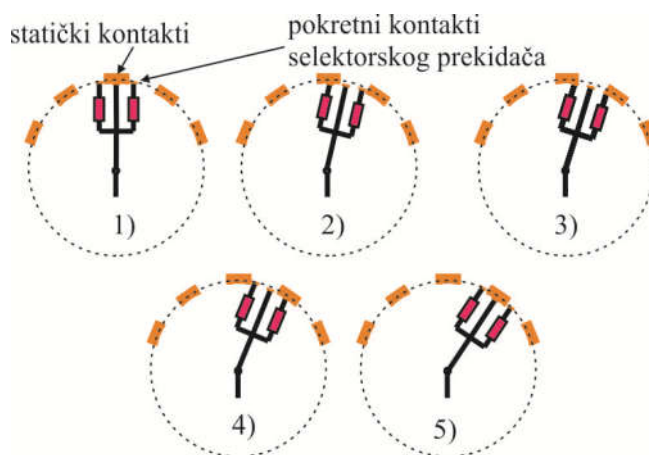
pero@etfbl.net

Sadržaj—Regulaciona preklopka energetskog transformatora namijenjena za rad pod opterećenjem sadrži kontakte koji su podložni uticaju različitih degradacionih faktora. Time se javljaju kratkoročni ili dugoročni negativni efekti tokom eksploatacije transformatora, koje je potrebno na vrijeme prepoznati kako bi se mogla preduprijediti stanja sa greškom. U radu su prikazane mogućnosti procjene stanja kontakata i njihovog životnog vijeka, korištenjem tehnike mjerenja dinamičke otpornosti. Takođe je analiziran uticaj različitih parametara na otpornost kontakata.

Ključne riječi - transformator; regulaciona preklopka; dinamička otpornost; procjena stanja kontakata.

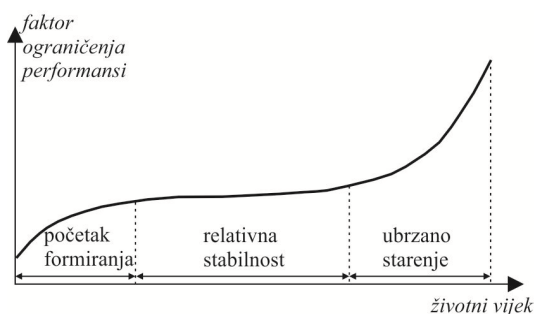
I. UVOD

Energetski transformatori često imaju mogućnost regulacije napona pod opterećenjem. Takva regulacija se ostvaruje ugradnjom preklopki za promjenu položaja izvoda namotaja bez prekidanja rada transformatora (eng. OLTC - *On Load Tap Changer*). Po svojoj konstrukciji regulaciona preklopka se najčešće sastoji od teretne sklopke i birača, pri čemu teretna sklopka direktno utiče na preusmjeravanje toka struje pa su njeni pokretni kontakti izloženi većim naprezanjima. Prikaz osnovnog principa rada sklopke, sa pojedinim fazama komutacije, je naveden je na Sl. 1. Tokom sklopne operacije prelaska sa jednog regulacionog izvoda na drugi, koriste se tranzicioni otpornici sa kontaktima selektorskog prekidača, koji su kod starijih modela preklopke često od bakra. S obzirom na ulogu energetskog transformatora u elektroenergetskom sistemu, neke od pozicija regulacionog namotaja u toku njegovog radnog vijeka se češće koriste, a ukupan broj sklopnih operacija na transformatoru takođe može znatno varirati, pa je i pojava degradacionih procesa koji se odvijaju na kontaktima drugačije prirode. Generalno, promjena otpornosti kontakata pod uticajem različitih parametara je često obrađivana u literaturi, pri čemu se nastoji procijeniti njihov prihvatljivi tehnički vijek. U nekim od analiza je pažnja posvećena promjeni otpornosti sa formiranjem neprovodnih oksida na površini materijala kontakta, uz zanemarenje uticaja struje opterećenja [1]. S druge strane istraživanja su bazirana na analizi formiranja sloja oksida ili naslaga ulja na kontaktima u prisustvu vazduha ili uljnog izolacionog sistema sa porastom temperature [2].



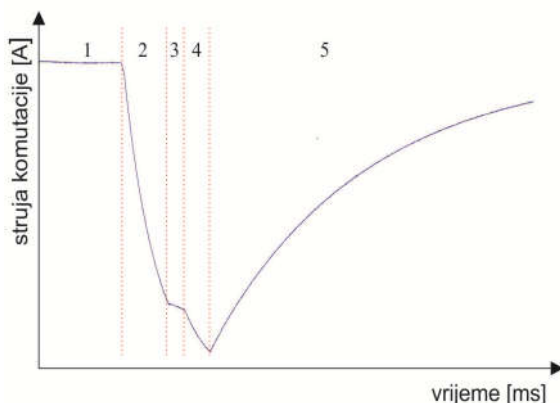
Slika 1. Princip rada regulacione sklopke sa tranzicionim otpornicima

Formiranje prihvatljive vrijednosti otpornosti, koja se ocjenjuje kao granica tehničkog vijeka, se bazira na poznavanju referentne vrijednosti, koja je najčešće otpornost kontakta neposredno nakon proizvodnje. Za vrijeme eksploatacionog perioda opreme može se izdvojiti period relativne stabilnosti kontakta, prikazan na Sl. 2, nakon čega dolazi do ubrzanog smanjenja performansi do neprihvatljivog nivoa [3]. Procjena stanja kontakata regulacione preklopke u svojoj osnovi daje prednost neinvazivnim metodama, imajući u vidu kompleksnost njene strukture, koja bi tokom održavanja i provjere stanja pojedinih dijelova u većini izvedbi zahtijevala i potpuno otvaranje kazana transformatora.



Slika 2. Promjena performansi kontakta tokom životnog vijeka [3]

Jedan od načina da se procijeni stanje regulacione preklopke u cjelini, kao i stanje pojedinih kontakata, je i metoda mjerenja struje komutacije ili dinamičke otpornosti. Metoda se zasniva na povezivanju preklopke na izvor napona i snimanju struje tokom prolaska kroz pozicije regulacionog namotaja. Postoji više tehnika izvođenja testa, zavisno od toga da li se posmatrani parametri direktno ili indirektno određuju. Jedna od često korištenih tehnika je direktno mjerenje, pri čemu se kontrolisani izvor napajanja nalazi na istoj strani na kojoj se mjere vrijednosti napona i struje. Procjena stanja sklopke metodom mjerenja struje komutacije zasniva se na analizi karakterističnih parametara dobijenog signala. Tipičan primjer mjerene struje komutacije tokom jedne operacije preklapanja prikazan je na Sl. 3, sa naznačenim sekvencama sa Sl. 1. U analitičkoj procjeni stanja preklopke značajnu ulogu ima poređenje signala sa referentnim vrijednostima fabričkih ili prethodnih mjerenja, kao i mjerenja dobijenih na konstruktivno sličnim transformatorima.



Slika 3. Tipičan izgled mjerene struje komutacije transformatora

U radu je naznačeno ukupno 5 poglavlja, uključujući i zaključak. U drugom poglavlju dat je pregled različitih degradacionih mehanizama kojima su kontakti izloženi, u trećem poglavlju način procjene promjene otpornosti i korisnog životnog vijeka, a u četvrtom eksperimentalna analiza uticaja različitih faktora na bakarne kontakte, kao i analiza promjene otpornosti na konkretnom primjeru regulacione preklopke pomoću mjerenja struje komutacije.

II. DEGRADACIJA KONTAKATA

Kontakti regulacione sklopke su pod uticajem različitih mehanizama degradacije, koji dovode do pojava na kontaktima nastalih kao rezultat razvoja mehanizama u kraćem ili dužem periodu. Među tim posljedicama mogu se istaći sljedeće:

1) Stvaranje tankog sloja ulja

Pojava se dešava u slučaju kada kontakti nisu često u upotrebi i nastaje kroz duži period eksploatacije transformatora. Stvaranje takvih naslaga je naročito zavisno od temperature, tj od vrijednosti struje provođenja kontakata [4].

2) Stvaranje naslaga ugljenika

S obzirom na uslove eksploatacije, nakon određenog vremena pod uticajem visokih temperatura u radnim uslovima sklopke dolazi do hemijske reakcije u ulju i izdvajanja

pirolitičkog ugljenika, usljed čega nastaje tanki film na površini kontakata [5]. Sloj nastao na ovaj način ima dvostruki efekat. Najprije, stvaranjem naslaga dolazi do smanjenja provodnosti kontakata, koji usljed toga oslobađa još veću količinu toplote, a zatim se film sam po sebi ponaša i kao toplotni izolator i zadržava oslobođenu toplotu. Nakon određenog trenutka proces počinje ubrzano da se odvija usljed samoodržanja.

3) Mehaničko habanje kontakata

Ovakav tip oštećenja nastaje najčešće usljed duže eksploatacije i mehaničkog naprezanja materijala. Generalno se mogu izdvojiti dva tipa habanja, abrazivno u slučaju kojeg dolazi do prodiranja jednog kontakta u ravnu površinu drugog i stvaranja pukotina, i adhezivno, kada dolazi do interakcije i spajanja materijala kontakata. Mehaničke promjene utiču na drugačiji tok struje kroz kontaktne površine i vode ka potpunom otkazu kontakata. Ovo je naročito izraženo u slučaju kada je kontakt obložen tankim slojem drugog provodnog metala.

4) Trošenje materijala

Mehaničko habanje kontakata često vodi ka ovakvom mehanizmu degradacije. Trošenje se može definisati kao ubrzano oštećenje materijala usljed postojanja manjih oscilatornih kretanja. U slučaju regulacione sklopke kontakti su pod uticajem dva izvora oscilacija. Prvi postoji usljed proticanja naizmjeničnih struja kroz provodne dijelove, a drugi izvor, obično većih amplituda i niže frekvencije oscilovanja, potiče usljed temperaturnih promjena u konstruktivnim dijelovima preklopke i različitim temperaturnim širenjima materijala [6].

III. PROCJENA ŽIVOTNOG VIJEKA KONTAKATA

Stvaranje naslaga organskih jedinjenja na površini kontakata se povećava tokom eksploatacionog perioda. U literaturi se pokazuje da debljina filma koji se formira značajno zavisi od temperature izolacionog ulja u kojem se nalaze kontakti. Jednačina koja opisuje ovu zavisnost je data izrazom [7]:

$$S = k_1 \cdot \theta^{k_2} \cdot t^{k_3} \quad (1)$$

pri čemu je S debljina filma, θ temperatura ulja, t vrijeme u satima, a k_1 , k_2 i k_3 su koeficijenti koji se odnose na materijal i sastav ulja. Za bakarne kontakte u transformatorskom ulju jednačina postaje [7]:

$$S = 1,883 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^{3,862} \cdot t^{0,3559} \quad (2)$$

Nakon formiranja sloja određene debljine (već na oko 1000 Å), provodnost kontakata naglo opada, zbog promjena u mehanizmima provođenja, pa u tom slučaju kontakt bitno gubi svoje performanse [9]. S obzirom da se otpornost kontakata u opštem slučaju može izraziti kao [8]:

$$R = R_{cist} + R_{film} + R_{tunnel} \quad (3)$$

pri čemu je $R_{\text{čist}}$ otpornost čistog kontakta, R_{film} otpornost sa debljim slojem filma, a R_{tunel} otpornost usljed tunelskog efekta stvorenog na kontaktu, tada bi, nakon znatnijeg povećanja debljine oksida na površini kontakta, tunelska otpornost postala dominantna [10]. Jednačine koje u literaturi opisuju promjenu otpornosti se zasnivaju na procjeni efekta smanjenja kontaktne površine i u njima figurišu faktori difuzije stvorenog oksida [11], [12]. Otpornost se prema tome može izraziti kao [11]:

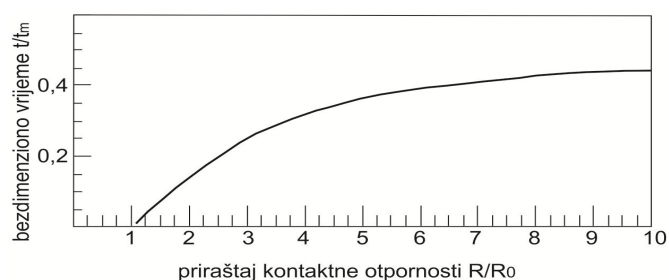
$$R(t) = \frac{R_0}{\left[1 - \sqrt{K_\delta} \sqrt{\frac{Dt}{a_m^2}}\right]^3 \left[1 + 2\sqrt{K_\delta} \sqrt{\frac{Dt}{a_m^2}}\right] \left[1 + K_\delta \frac{Dt}{a_m^2}\right]} \quad (4)$$

gdje je:

- R_0 - početna vrijednost otpornosti kontakta;
- D - difuzioni koeficijent oksidacionog sloja (predstavlja brzinu kojom se sloj razvija);
- K_δ - aproksimacioni koeficijent koji opisuje kontaktnu površinu;
- t - vrijeme;
- a_m - početna vrijednost maksimalnog radijusa kontaktne površine.

Relativni priraštaj otpornosti, prema navedenom izrazu, u funkciji vremena je predstavljen na Sl. 4.

Navedene analize promjene otpornosti ne obuhvataju dva bitna efekta tokom rada regulacione preklopke i mjerenja dinamičke otpornosti. To su efekat prebrisavanja kontakata [13] i efekat promjene otpornosti usljed proticanja mjerne struje kroz kontakte [8]. Efekat prebrisavanja se uobičajeno javlja pomjeranjem kontaktnih površina koje se dodiruju tokom sklopnih operacija. Dominantan je u slučaju površina sa izraženim mehanizmima degradacije. Efekat koji prouzrokuje mjerena struja nastaje usljed promjena u formiranim slojevima oksida na površini. Na taj način mogu nastati određene razlike između mjerenih i računatih vrijednosti. S obzirom na to da se mjerenje dinamičke otpornosti po pravilu izvodi u svim pozicijama, u opštem slučaju dolazi do smanjenja mjerenih vrijednosti dinamičkog i statičkog otpora.



Slika 4. Priraštaj otpornosti u zavisnosti od vremena [11]

IV. EKSPERIMENTALNA ANALIZA

Prikazani eksperimentalni dio rada je podijeljen u tri dijela. Najprije je predstavljen uticaj prebrisavanja kontakata tokom mjerenja otpornosti, zatim uticaj struje mjerenja i pojave naslaga na kontaktnim površinama i primjer analize

degradacionih promjena na kontaktima preklopke, mjerenjem struje komutacije.

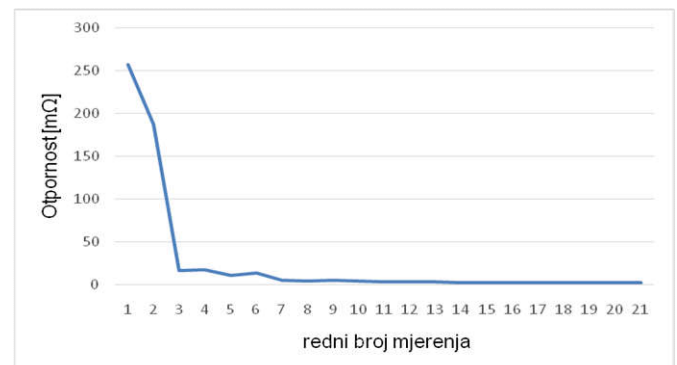
A. Efekat prebrisavanja

U analizi efekta prebrisavanja kontakata je mjerena vrijednost otpornosti kliznog otpornika sa bakarnim kontaktima (Sl. 5). Između sukcesivnih mjerenja izvedeno je 10 prolazaka pokretnih kontakata preko dodirne površine statičkih kontakata, čime dolazi do skidanja dijela nastalog oksida.



Slika 5. Bakarni kontakti sa efektom prebrisavanja

Registrovana otpornost tokom svakog od mjerenja je prikazana na Sl. 6. Pokazuje se da se prebrisavanjem otklanja dio stvorenog oksida, čime se povećava provodnost. U konkretnom slučaju naveden je primjer pomjeranja kontakata sa kontaktnim pritiskom veličine 0,98 N (100 g). Povećavanjem pritiska bi se ukupna otpornost (3) smanjivala. Pri tome se povećava broj tačaka odnosno kontaktna površina provodne oblasti [14]. Izmjerena otpornost ima eksponencijalni karakter promjene.



Slika 6. Otpornost kontakata tokom prebrisavanja

B. Starenje kontakata

U drugom dijelu eksperimenta izvedeno je mjerenje kontaktne otpornosti dvije bakarne pločice pri različitim eksploatacionim uslovima. Na taj način su formirane tri grupe mjerenja:

- Kontakti u vazduhu, bez sloja oksida na površini;
- Kontakti uronjeni u transformatorsko ulje;
- Kontakti uronjeni u ulje tokom ubrzanog testa starenja.

Ubrzani test starenja je izveden sa bakarnim pločicama smještenim u transformatorskom ulju i zagrijavanjem na

temperaturi od 110 °C, tokom perioda od 9 časova. Prema Arhenijusovom zakonu starenja očekivani životni vijek τ materijala na temperaturi T je jednak:

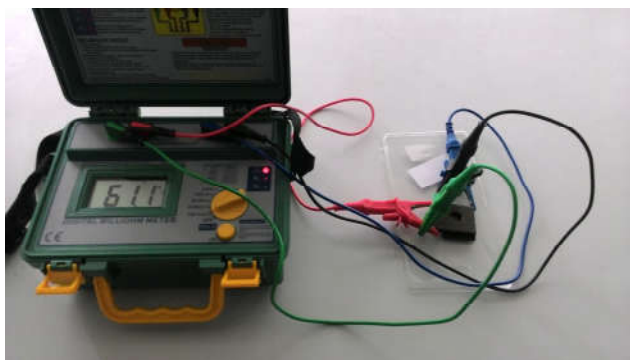
$$\tau = K \cdot \tau', \quad (5)$$

gdje je τ' životni vijek materijala na temperaturi T' . Koeficijent K je poznat kao Arhenijusov faktor ubzanja starenja i jednak je:

$$e^{\frac{E}{k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right)}, \quad (6)$$

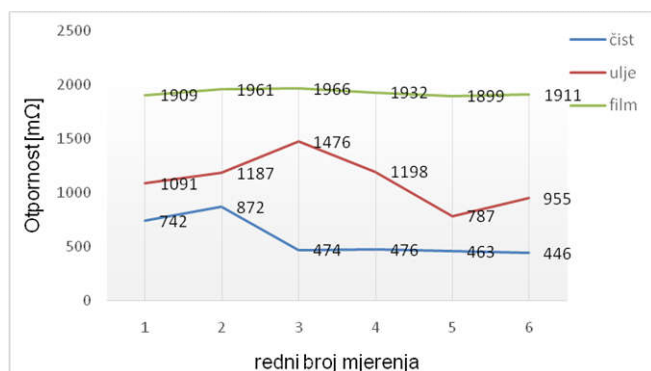
pri čemu je E aktivaciona energija reakcije, a k Bolcmanova konstanta.

U svakoj grupi mjerenje otpornosti je izvedeno pri različitim kontaktnim pritiscima pločica. U prvom slučaju pritisak je odgovarao sili od 0,63 N, (65 g), drugom 1,22 N, (125 g), i trećem slučaju kontaktnoj sili od 9,81 N, (1 kg). Mjerenje je izvedeno miliometrom, testnom strujom vrijednosti 200 mA, pri čemu je izbjegnuto zagrijavanje materijala i uticaj temperaturne promjene otpornosti na rezultat (Sl. 7). Uređaj je tokom eksperimenta imao automatsku stabilizaciju testne struje.

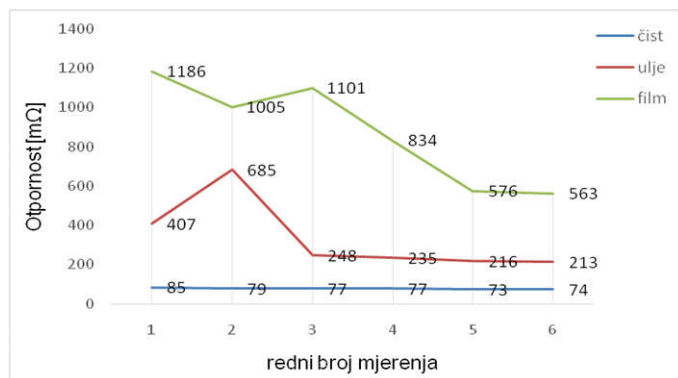


Slika 7. Mjerenje kontaktne otpornosti

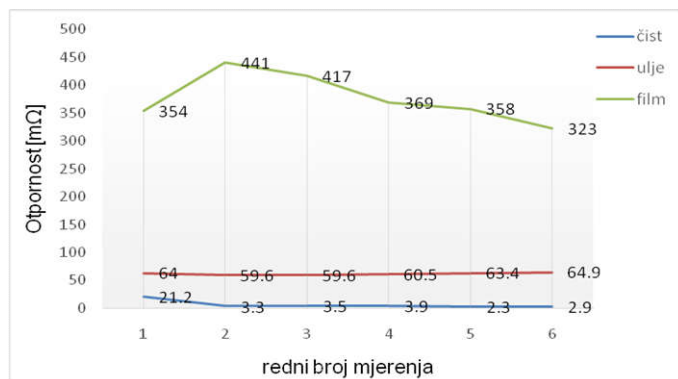
Na Sl. 8, Sl. 9 i Sl. 10 su prikazane izmjerene otpornosti pri navedenim kontaktnim pritiscima za sve tri grupe mjerenja.



Slika 8. Mjerenje otpornosti sa kontaktnim pritiskom od 65 g



Slika 9. Mjerenje otpornosti sa kontaktnim pritiskom od 125 g



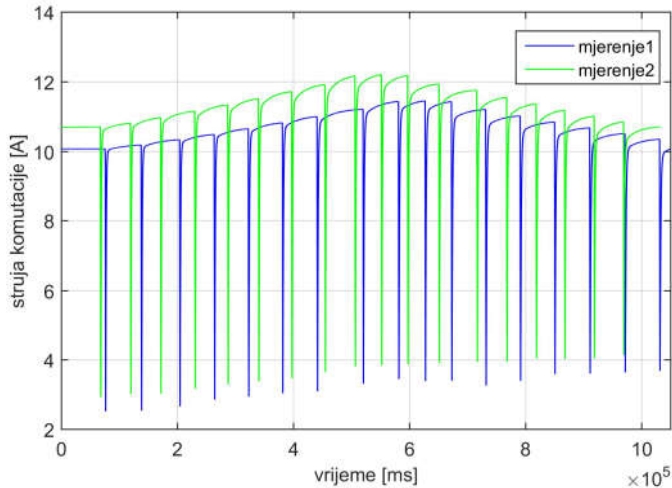
Slika 10. Mjerenje otpornosti sa kontaktnim pritiskom od 1 kg

Mjerenje otpornosti je izvedeno UI metodom, pri čemu su klijesta naponskih kanala uređaja postavljena što bliže pločicama, kako bi se uticaj prelazne otpornosti sveo na minimum. Na graficima se može uočiti da se nakon određenog broja mjerenja vrijednosti otpornosti stabilizuju. Stabilizacija je direktno zavisna od testne struje, koja je u ovom slučaju relativno mala. Naime, nakon izvođenja uzastopnih mjerenja, dolazi do djelimičnog proboja neprovodnog oksida i naslaga ulja na površini kontakta, čime broj kontaktnih tačaka na površini, postaje stalan. Otpornost se tokom ovog procesa smanjuje do postizanja konačne vrijednosti koja odgovara stabilnom dijelu funkcija na prikazanim graficima. U svim grupama mjerenja, otpornost je najveća u slučaju postojanja kontaminiranih naslaga ulja, tj. filma, koji se u realnim uslovima eksploatacije pojavljuje na kontaktima nakon dužeg niza godina. Povećanje kontaktnog pritiska povoljno utiče na provođenje kontakata, imajući u vidu da se takođe povećava površina provodnog dijela bakarnih pločica. Nakon određene vrijednosti pritiska, došlo bi do stabilizacije vrijednosti mjerene otpornosti [13].

C. Analiza promjena na kontaktima regulacione sklopke

U trećem dijelu eksperimenta je izvedena analiza rezultata dobijenih mjerenjem struje komutacije na konkretnom transformatoru. Test je izveden direktnom metodom mjerenja, dovodenjem regulisanog izvora napajanja na namotaj na kojem se nalazi regulaciona preklopka, pri čemu je registrovana vrijednost struje tokom prolaska kroz pojedine pozicije. Izvedena su dva mjerenja pri istim testnim parametrima u

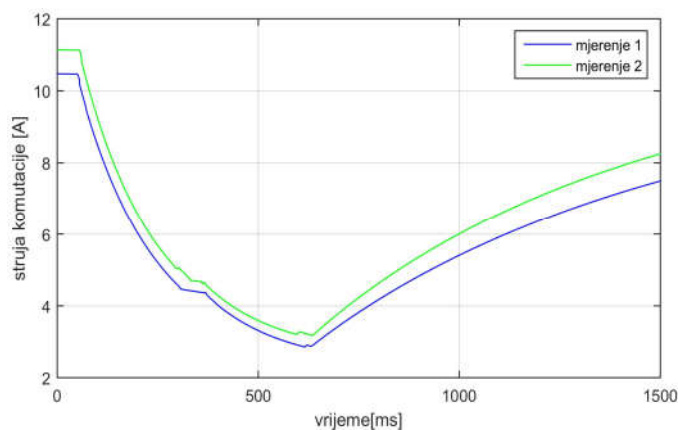
vremenskom razmaku od jedne godine. Snimljeni signali su prikazani na Sl. 11.



Slika 11. Snimljeni signali struje komutacije regulacione preklopke

Uočavaju se statičke pozicije sklopke, sa propadima struje koji odgovaraju prelascima sa jedne na drugu poziciju. Za ocjenu stanja preklopke se, u opštem slučaju, koristi niz karakteristika signala na osnovu kojih se mogu uočiti promjene koje su posljedica degradacije kontakata, promjena u sinhronizaciji rada pokretnih dijelova, defekata pojedinih dijelova kao što su opruge unutar sklopke i slično. Među relevantnim karakteristikama za analizu signala su vrijeme tranzicije, propad struje tokom komutacije, vremena trajanja provođenja tranzicionih otpornika, pojava naglog propada struje usljed otvorenih kontakata i slično [15]. Za procjenu stanja kontakata je veoma bitna i izobličenosť mjenenog signala, koja se može uočiti komparativnom analizom rezultata sa referentnim rezultatima.

Kako bi se predstavila razlika u signalima sa vremenskim periodom od jedne godine, na Sl. 12 je prikazan uvećan segment struje komutacije sa četvrte na petu poziciju regulacionog namotaja, za dva izvedena testa.



Slika 12. Uporedna analiza dva mjenenja struje komutacije

Uočava se izobličenosť signala drugog mjenenja. Pored dugoročnih efekata degradacije usljed stvaranja ugljeničnih naslaga, pojava izobličenosťi na pojedinim izvodima se može javiti i usljed efekta nagaranja kontakata, koje se javlja kao posljedica naprezanja tokom provođenja i prekidanja struje.

Degradacioni efekti, nastali na kontaktima u konkretnom primjeru, mogu se vidjeti u Tabeli 1, uporednom analizom promjena u dijelu signala kada se koriste oba tranziciona otpornika preklopke (segment 3 sa Sl. 3). Kao mjera za ocjenu, računarski je analizirana varijansa dobijenih podataka prema jednačini:

$$varijansa = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{sr})^2}{n - 1}, \quad (7)$$

gdje je:

- x_i - vrijednost mjenene struje u tački i ;
- x_{sr} - aritmetička sredina svih mjenenih vrijednosti u segmentu;
- n - broj mjenenih tačaka u segmentu.

U tabeli su takođe navedena vremena trajanja datog segmenta signala za svaku od tranzicija.

TABELA I. ANALIZIRANI PODACI STRUJE KOMUTACIJE PREKLOPKE

Mjerenje 1			Mjerenje 2		
varijansa	Vrijeme [ms]	Propad struje [A]	varijansa	Vrijeme [ms]	Propad struje [A]
0.0002	6.4	0.11	0.0024	8.1	0.24
0.0001	4.5	0.10	0.0049	7.8	0.26
0.0004	5.7	0.15	0.0042	7.3	0.17
0.0004	6.6	0.16	0.0233	7.9	0.52
0.0101	7.0	0.26	0.0138	7.5	0.35
0.0078	7.0	0.33	0.0120	7.2	0.36
0.0381	6.9	0.40	0.0224	7.1	0.47
0.0074	7.1	0.35	0.0254	7.4	0.44
0.0075	6.4	0.25	0.0256	7.6	0.45
0.0248	6.9	0.24	0.0143	7.0	0.36

Pokazuje se da je varijansa podataka dobijenih mjenenjem u najvećem broju pozicija znatno veća za signal 2. Ako se posmatraju vremena potrebna za prolazak kroz analiziranu poziciju sklopke, uočava se da je potrebno duže vrijeme za prolazak za drugo mjenenje. U dvije pozicije preklopke varijansa je veća za prvo mjenenje, a to se može objasniti pojačanim korištenjem datih pozicija u posmatranom vremenskom periodu, čime je smanjeno taloženje oksida na površini kontakata.

V. ZAKLJUČAK

Kontakti regulacione preklopke su tokom radnog vijeka transformatora podložni naprezanju i uticaju različitih degradacionih faktora. Usljed toga na njima dolazi do promjena od kojih su neke prepoznatljive kao mehaničko habanje ili trošenje kontakata, a druge su posljedica nagaranja

ili stvaranja neprovodnih oksida na površini. S obzirom da se regulaciona preklopka namijenjena za rad transformatora pod opterećenjem nalazi u uljnom izolacionom sistemu transformatora ili u ulju sopstvenog kotla, na stanje njenih kontakata u velikoj mjeri utiče i degradacija ulja.

U literaturi su razvijeni različiti modeli procjene stanja i radnog vijeka kontakata u opštem slučaju, pri čemu se uzima u obzir procjena povećanja površine neprovodnog filma na dodirnom dijelu. Bitan faktor analize je i kontaktni pritisak na provodnoj površini. Sa povećanjem pritiska se do određene mjere povećava i provodnost, nakon čega provodnost poprima ustaljene vrijednosti.

U slučaju regulacione sklopke se u analitičkim modelima procjene stanja moraju uzeti u obzir i dodatna dva faktora. S jedne strane to je broj operacija sklopke na pozicijama regulacionih izvoda koje se analiziraju, a s druge strane učestalost testova. U slučaju većeg broja testova na nekim od pozicija pokazuje se da se provodnost kontakata povećava, usljed proboja površinskog sloja oksida, što je direktno zavisno i od vrijednosti testne struje.

LITERATURA

- [1] M.D. Bryant, "Time-Wise Increases in Contact Resistance Due to Surface Roughness and Corrosion," IEEE Trans. Compon., Hybrids, Manuf. Technol., Vol. 14, No. 1, Mar. 1991, pp. 79-89
- [2] K. Lemelson, "About the Failure of Closed Heavy Current Contact Pieces in Insulating Oil at High Temperature," IEEE Trans. Parts, Hybrids and Packag., Vol. PHP-9, No. 1, March 1973, pp. 50-52
- [3] R. Bergmann, H. Löbl, H. Böhme, Steffen Grossmann, "Model to asset the reliability of electrical joints," 18th Int. Conf. on Elect. Contacts, 16-20 Sept. 1996. pp. 180-188
- [4] J.J. Erbrink, E. Gulski, J.J. Smit, P.P. Seitz, B. Quak, R. Leich, R. Malewski, "Diagnosis of Onload Tap Changer Contact Degradation by Dynamic Resistance Measurements," IEEE Trans. Power Del., Vol. 25, No. 4, Oct. 2010, pp. 2121-2123
- [5] H. Schellhase, R. G. Pollock, A.S. Rao, E.C. Korolenko, B. Ward, "Load Tap Changers: Investigations of Contacts, Contact Wear and Contact Coking," Elect. Contacts, Proc. of the 48th IEEE Holm Conf. on, 23-23 Oct. 2002, pp. 259-272
- [6] J. Hillergren, M. Lindahl, "On Moving Contacts in On-Load Tap Changer," M.S. thesis, Chalmers Uni. of Technology, 2010, Sweden, pp. 7-10
- [7] V.V. Sokolov, "Consideration on power transformer condition-based maintenance," EPRI Substation Equipment Diagnostic Conf. VIII, Feb. 20-23, 2000, New Orleans, pp. 1-22
- [8] J.J. Erbrink, P.H. Thesis, "On-load Tap Changer Diagnosis on High-Voltage Power Transformers using Dynamic Resistance Measurements," Technische Universiteit Delft, 2011, pp. 32-37
- [9] T. Tamai, "Growth of Oxide Films on the Surface of Cu Contact and its Effect on the Contact Resistance Property," Electron. and Communications in Japan, part 2, Vol. 72, No. 7, 1989, pp. 87-93
- [10] J. C. Kosco, "The Effects of Electrical Conductivity and Oxidation Resistance on Temperature rise of Circuit-Breaker Contact Materials," IEEE Trans. Parts, Hybrids and Packag., Vol. PMP-5, No. 2. Jun. 1969. pp. 99-103
- [11] M. Braunovic, V.V. Izmailov, M.V. Novoselova, "A Model for Life Time Evaluation of Closed Electrical Contacts," Elect. Contacts, Proc. of the 51th IEEE Holm Conf. on, 26-28 Sept. 2005, pp. 217-223
- [12] L. Boyer, "Contact Resistance Calculations: Generalizations of Greenwood's Formula Including Interface Films", IEEE Trans. on Components and Packaging Technologies, Vol. 24, No. 1, Mar. 2001, pp. 50-58
- [13] R.D. Malucci, "The Effects of Wipe on Contact Resistance of Aged Surfaces", IEEE Trans. Compon., Packag., and Manuf. Technol.: Part A, Vol. 18, Issue: 3, Sep. 1995, pp. 131-144
- [14] S. Schoft, J. Kindersberger, H. Löbl, "Joint resistance of busbar-joints with randomly rough surface," Proc. of the 21th Conf. on Elect. Contacts 2002, Zurich, pp. 230-237
- [15] J. Aditya, "Influence of test parameters on the on-load tap changer's dynamic resistance measurement," M.S. thesis, Delft Uni. of Technology, 2010, pp. 41-48

ABSTRACT

On Load Tap Changer in power transformer includes contacts that are exposed to impact of various degradation factors. This affects short-term or long-term negative effects during transformer operation, which should be properly identified. This paper presents possibilities of assessment of contact condition and their life cycle, using the dynamic resistance measurement. Also, the influence of various parameters to the contacts resistance is analyzed.

CONDITION ASSESSMENT OF ON LOAD TAP CHANGER CONTACTS IN POWER TRANSFORMER

Srdjan Jokic, Nada Cincar, Petar Matic