

Analiza kvara i remont regulacione sklopke energetskog transformatora

Velemir Gavrilović, dipl.inž.el.

Služba elektro održavanja
"Alumina" d.o.o.

Zvornik, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina
velemirgavrilovic@yahoo.com

Željko Stanojević

Služba elektro održavanja
"Limske hidroelektrane"

Nova Varoš, Republika Srbija
zeljkosta@hotmail.com

Sadržaj - Rad ima za cilj da čitaoca upozna sa osnovnim pojmovima vezanim za regulacione transformatore i regulacione sklopke kojima su ovi transformatori opremljeni. U radu je opisan jedan konkretan primjer dijagnostifikovanja kvara regulacione sklopke zajedno sa ispitivanjima i aktivnostima koje su sprovedene radi uklanjanja uzroka koji su doveli do pojave kvara i ispada regulacionog transformatora iz pogona. Uzrok koji je doveo do kvara regulacione sklopke je puštanje u rad motora snage 2 MW, naponskog nivoa 6 kV.

Ključne riječi - regulacioni transformator; regulaciona sklopka; analiza kvara; on-line regulacija; remont

I. UVOD

Najrasprostranjeniji način regulacije napona u EES-u, pored regulacije pobude sinhronih generatora, predstavlja promjena prenosnog odnosa energetskih transformatora. Uređaji koji omogućavaju regulaciju napona energetskih transformatora pod opterećenjem bez prekidanja napajanja potrošača, ili u beznaponskom stanju sa prekidanjem napajanja, se nazivaju regulacione sklopke. Razlikuju se dakle dvije mogućnosti regulacije, ali kako je primarni zahtjev neprekidno, pouzdano i sigurno napajanje potrošača, u EES-u su najčešće u upotrebi teretne regulacione sklopke, odnosno sklopke koje ne prekidaju struju opterećenja prilikom promene prenosnog odnosa regulacionog transformatora [1].

II. OSNOVNE OSOBINE I KONSTRUKCIJA REGULACIONIH SKLOPKI

Različiti naponski nivoi koji su prisutni u EES-u su međusobno povezani pomoću energetskih transformatora.

Energetski transformatori u osnovi imaju dvije funkcije:

- 1) Da povežu različite naponske nivoe u visokonaponskim elektroenergetskim mrežama na takav način da omoguće proticanje električne energije;
- 2) Da održe napon na prihvatljivom nivou kada se opterećenje mijenja [1].

Druga funkcija, regulacija napona, se postiže podešavanjem odnosa transformacije. Kako je prethodno navedeno, postoje dva načina regulacije napona: regulacija u beznaponskom stanju i regulacija pod opterećenjem pomoću

regulacionih sklopki. U tu svrhu namotaji transformatora su opremljeni sa izvodima koji se biraju pomoću regulacione sklopke.

Teretna regulaciona sklopka (eng. *On Line Tap Changer - OLTC*) u energetskom transformatoru se koristi za promjenu prenosnog odnosa, mjenjanjem broja zavojaka jednog od namotaja, bez prekidanja struje opterećenja. Zbog manjih struja i bolje pristupačnosti VN izvoda regulaciona sklopka se normalno ugrađuje na visokonaponskoj strani regulacionog transformatora, iako postoji i izvedba sa postavljanjem na niženaponskoj strani. Kada je prisutna regulaciona sklopka, namotaj višeg napona je podjeljen na dva dijela: osnovni i regulacioni [2].

Tok aktivne i reaktivne energije može se kontrolisati pomoću regulacione sklopke. Regulaciona sklopka (eng. *Tap Changer*) se takođe, koristi za faznu regulaciju u transformatorima koji vrše pomjeranje faze (eng. *phase shifter transformers*). Uopšteno, može se reći da se regulacione sklopke koriste za izbor izvoda namotaja duž glavnih transformatorskih namotaja.

Regulacione sklopke, uglavnom, mogu da preklapaju i nešto veće struje od nazivne, što zavisi od konstrukcije same regulacione sklopke, a što je proizvođač deklarirao u svom uputstvu, o čemu se mora voditi računa u eksploataciji energetskog transformatora.

U zavisnosti od veličine transformatora, odnosno nominalnog napona i instalisane snage i regulacione sklopke imaju različite dimenzije.

Kako energetski transformator opremljen regulacionom sklopkom prestaje da bude čisto statički aparat bez pokretnih dijelova, to se snižava i pouzdanost njegovog rada. Veliki broj kvarova kod transformatora izaziva upravo regulaciona sklopka, oko 41 % [2]. Kvarovi čiji je inicijator regulaciona sklopka izazivaju manje posljedice, međutim ipak utiču na smanjenje pouzdanosti transformatora, pa je potrebno nadgledanje regulacione sklopke. Kvarovi regulacione sklopke se dijele na mehaničke i električne.

Postoji više različitih izvedbi tj. konstrukcija regulacionih sklopki. U ovom radu će, između ostalog, biti opisani osnovni dijelovi od kojih se ona sastoji.

Regulaciona sklopka se sastoji od:

1) Regulative preklopke tj. biračkog dijela (eng: *Tap Selector*), koja služi za biranje izvoda, a konstruisana je da provodi struju, ali ne i da je prekida ili uključuje, tako da se pri njenom normalnom radu ne pojavljuje luk ili varničenje, pa je radi toga smještena u glavni sud energetskog transformatora;

2) Teretne sklopke tj. prekidačkog dijela (eng: *Diverter switch*), koja provodi, prekida i uključuje struju, odnosno pri njenom radu dolazi do pojave luka i karbonizacije ulja, pa je radi toga neophodno da bude smještena u odvojenu komoru sa transformatorskim uljem, koja je zaptivena u odnosu na glavni sud energetskog transformatora;

3) Komandnog ormana regulacione sklopke sa motornim pogonom i prenosnim mehanizmom. Motorni pogon (eng: *motor drive unit - MDU*) služi za postavljanje regulacione preklopke u željeni položaj. U komandnom ormanu motornog pogona se nalaze svi mehanički i električni delovi, potrebni za njen normalan rad. Upravljanje se obično vrši po principu koraka, tj. postavljanje regulacione preklopke u željeni položaj biva inicirano prvo upravljačkim impulsom, a potom djelovanjem motora do kraja. Da bi se izbjeglo pogrešno postavljanje na neki određeni korak, postoje električni ili mehanički osigurači. U slučaju nužde i vanrednih okolnosti, u svrhe regulisanja se može koristiti i mehanička ručica kojom je komandni orman opremljen.

4) zaštite od previsokog pritiska u sudu regulacione sklopke, može se koristiti relej nadpritiska, obično oko 50 kPa ili eksplozivna membrana.

5) zaštitnog releja koji mora biti montiran što je moguće bliže regulacionoj sklopki u dijelu cijevi prema dilatacionom sudu koja ima nagib od najmanje 2 % i koja mora biti montirana bez zavoja. Njegova prorada mora isključiti energetski transformator. Kada se regulaciona sklopka sastoji od više jednopolnih sklopki, onda se svaka mora opremiti svojim zasebnim zaštitnim relejom.

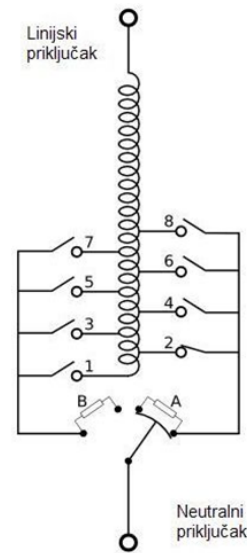
6) ventila koji služi za punjenje i ispuštanje ulja kao i za uzimanje uzorka. [3].

Na Sl. 1 na kojoj je data šema teretne regulacione sklopke, uočljiva su dva bitna konstruktivna detalja, koji prate njeno prisustvo, a to su:

1) Tranziciona impedansa ili impedansa premošćenja, koja ima ulogu da spriječi kratak spoj zavojaka regulacionog namotaja, i

2) Dvostruko strujno kolo, koje omogućava besprekidno napajanje u toku prelaska sa jednog na drugi otcjep namotaja regulacionog transformatora. Drugim riječima, struja se prenosi jednim kolom, dok se u drugom vrši prelazak na željenu poziciju, tj. željeni otcjep.

Može se govoriti o reaktivnom ili rezistivnom tipu regulacione sklopke, u zavisnosti od toga da li je impedansa premošćenja prigušnica ili otpornik. Reaktivni tip regulacione sklopke se uglavnom koristi u SAD. U Evropi većina regulacionih sklopki koristi otpornik kao tranzicionu impedansu i uglavnom su postavljeni na visokonaponskoj strani transformatorskog namotaja[1].



Slika 1. Šema teretne regulacione sklopke

III. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE TRANSFORMATORA I TOK POGONSKIH DOGAĐAJA

Tehničke karakteristike energetskog transformatora su:

- Tip: TDNS-10000/35;
- Proizvođač: „KTZ“ SSSR;
- Godina proizvodnje: 1975;
- Fabrički broj: 92475;
- Naznačena snaga: 10 MVA;
- Prenosni odnos: 10,5/6,3 kV;
- Sprega Y0d11;
- Pogonska oznaka TR-A.

Pomenuti energetski transformator posjeduje regulacionu sklopku TIP RNT-13 na strani višeg napona. Regulaciona sklopka ima 17 stepeni prenosa. Na Sl. 2 je prikazan fizički izgled regulacione sklopke.



Slika 2. Fizički izgled regulacione sklopke

Tok pogonskih događaja, koji su doveli do ispada ovog transformatora iz pogona je sljedeći:

1) Reagovala Buholc zaštita na transformatoru. Nakon njegovog reagovanja Buholc relej je ozračen. Tokom ozračivanja Buholc releja izvršeno paljenje oslobođenih gasova, ali nije došlo do pojave gorenja gasova. Nakon toga, transformator pušten u pogon pod opterećenjem.

2) Nakon određenog vremena ponovo reagovala Buholc zaštita. Buholc relej ozračen. Tokom ozračivanja Buholca izvršeno paljenje oslobođenih gasova, što je izazvalo pojavu bjeličastog plamena. Transformator pušten u pogon pod opterećenjem, nakon čega je Buholc relej ponovo reagovao i transformator isključen.

IV. MJERENJE OTPORNOSTI NAMOTAJA

Mjerenje otpornosti namotaja transformatora je izvršeno primjenom uređaja RMO-50T, (DV Power) pri ispitnoj struji 10 A i stacionarnom vremenu 60 s. Mjerenje je izvedeno tako da se regulaciona preklopka postavlja u odgovarajuće pozicije, a za svaku poziciju vršeno je mjerenje otpornosti na sva tri VN namota sukcesivno.

Tokom mjerenja otpornosti namotaja procjenjeno je da se namotaji nalaze na temperaturi 27°C. Procjena temperature izvršena je na osnovu sljedećih pokazatelja:

- Temperatura termometra zaštite: 28-34 °C;
- Temperatura termometra ventilatora: 28-32 °C;
- Temperatura donjeg dijela trafo suda: 26,3 °C;
- Temperatura gornjeg dijela trafo suda: 27,6 °C.

Mjerenje temperature trafo suda izvršeno je primjenom digitalnog kontaktnog termometra tip DTI. Vrijednosti temperature koje pokazuju termometar zaštite i termometra ventilator ne mogu se uzeti kao adekvatni ako se ima u vidu da su smješteni na mjestu najtoplije tačke odnosno prostoru koje je blizak površini poklopca transformatorskog suda koji je bio direktno izložen djelovanju sunca.

Mjerenje otpornosti namotaja započeto je nakon povratka regulacione sklopke iz pozicije 10 u poziciju 1 (regulaciona sklopka je ostala u poziciji 10 u trenutku nastanka kvara u transformatoru i reagovanja Buholc zaštite), bez preuzimanja dodatnih manipulacija regulacionom sklopkom. Cilj je bio izmjeriti otpornosti onakvim kakvi jesu trenutno. Izmjerene vrijednosti otpornosti namotaja prikazane su u Tabeli I.

TABELA I VRIJEDNOSTI OTPORNOSTI NAMOTAJA PRIJE MANIPULACIJA

VN NAMOT 10 kV	Otpornosti na 27 °C			Svedene otpornosti na 20 °C		
	R [mΩ]			R [mΩ]		
	A-N	B-N	C-N	A-N	B-N	C-N
1	42.54	46.90	53.65	41.38	45.62	52.19
2	41.89	47.35	47.41	40.75	46.06	46.12
3	39.80	44.45	61.66	38.72	43.24	59.98
4	39.00	44.56	46.62	37.94	43.35	45.35

5	38.50	42.00	44.08	37.45	40.86	42.88
6	37.65	42.43	42.35	36.62	41.27	41.20
7	36.87	51.72	45.09	35.87	50.31	43.86
8	37.46	52.63	40.83	36.44	51.20	39.72
9	36.62	46.17	42.11	35.62	44.91	40.96
10	35.39	44.41	40.82	34.43	43.20	39.71
11	36.04	55.19	43.24	35.06	53.69	42.06
12	37.89	61.15	38.50	36.86	59.48	37.45
13	35.98	79.14	45.62	35.00	76.98	44.38
14	32.02	73.66	37.53	31.15	71.65	36.1
15	31.09	52.81	43.81	30.24	51.37	42.62
16	30.07	53.37	36.12	29.25	51.92	35.14
17	29.48	40.36	54.68	28.68	39.26	53.19
SN NAMOT 6 kV	a-b	b-c	c-a	a-b	b-c	c-a
	15.30	15.26	15.29	14.88	14.84	14.87

Velike razlike otpornosti namotaja u pojedinim fazama za istu poziciju regulacione sklopke upućuju na zaključak da je uzrok tome sama regulaciona sklopka, odnosno njen kontaktni sistem. Zbog toga je izvršeno nekoliko manipulacija regulacionom sklopkom u svim njenim pozicijama, te nakon toga izvršeno ponovno mjerenje otpornosti namotaja. Imajući u vidu vrijeme koje je ostalo na raspolaganju, kao i pogonske režime rada regulacione sklopke (sklopka se najčešće kreće između pozicija 8 i 12, najčešće je pozicija 10), to je mjerenje otpornosti namotaja izvedeno samo u fazama B i C za pozicije regulacione sklopke od 7 do 17. Izmjerene vrijednosti otpornosti namotaja prikazane su u Tabeli II.

Izmjerene vrijednosti otpornosti namotaja iz Tabele II, upućuju na prethodni zaključak, da povećane otpornosti uzrokuje kontaktni sistem regulacione sklopke. Povećani broj manipulacija uzrokovao je skidanje oksida sa kontaktnog sistema i smanjenje prelaznih otpornosti. Međutim, i dalje su ostale velike razlike otpornosti namotaja faze B u odnosu na namotaje faza A i C transformatora, što upućuje na postojanje problema na kontaktnom sistemu faze B regulacione sklopke.

Očito je da se kontakti regulacione sklopke ne nalaze u najboljem stanju. Naime, vjerovatno je došlo do pojave slabljenja kontaktnog pritiska na pojedinim pokretnim kontaktnim viljuškama, usljed slabljenja opruga koje obezbjeđuju taj kontaktni pritisak. Slabljenje kontaktnog pritiska može izazvati i decentriranje glavne izolacione šipke koja nosi pokretni kontaktni sklop, što je ipak manja mogućnost.

TABELA II VRIJEDNOSTI OTPORNOSTI NAMOTAJA POSLIJE MANIPULACIJA

VN NAMOT 10 kV	Otpornosti na 27 °C			Svedene otpornosti na 20 °C		
	R [mΩ]			R [mΩ]		
	A-N	B-N	C-N	A-N	B-N	C-N
1	42.54	0.00	0.00	41.38	0.00	0.00
2	41.89	0.00	0.00	40.75	0.00	0.00
3	39.80	0.00	0.00	38.72	0.00	0.00
4	39.00	0.00	0.00	37.94	0.00	0.00
5	38.50	0.00	0.00	37.45	0.00	0.00

6	37.65	0.00	0.00	36.62	0.00	0.00
7	36.87	45.43	38.67	35.87	44.19	37.62
8	37.46	45.92	38.15	36.44	44.67	37.11
9	36.62	38.75	36.81	35.62	37.69	35.81
10	35.39	38.82	36.41	34.43	37.76	35.42
11	36.04	50.82	35.43	35.06	49.44	34.46
12	37.89	49.84	34.56	36.86	48.48	33.62
13	35.98	36.16	34.19	35.00	35.18	33.26
14	32.02	36.38	34.05	31.15	35.39	33.12
15	31.09	40.36	33.18	30.24	39.26	32.28
16	30.07	41.31	31.81	29.25	40.18	30.94
17	29.48	33.62	32.58	28.68	32.70	31.69

Uređaj za mjerenje otpornosti namotaja RMO-50T omogućava provjeru ispravnosti kontakata regulacione sklopke, tako što omogućava mjerenje procentualnog iznosa promjene struje između kontakata prilikom prelaska regulacione sklopke iz jedne u drugu poziciju. U Tabeli III je prikazan procentualni propad struje.

TABELA III VRIJEDNOSTI PROCENTUALNOG PROPADA STRUJE

Pozicija regulacione sklopke	Procentualni propad struje		Napomena
	B-N	C-N	
	[%]	[%]	
17>16	12.00	0.00	
16>15	0.00	0.00	
15>14	10.00	4.20	
14>13	0.00	0.00	
13>12	9.00	3.20	
12>11	0.00	0.00	
11>10	interruption	3.00	Ponovljeno
10>09	0.00	0.00	
09>08	28.00	2.60	
08>07	0.00	0.00	

Rezultati navedeni u Tabeli III pokazuju da dolazi do prekida struje na namotaju faze B pri prelasku regulacione sklopke iz pozicije 11 u poziciju 10, što ukazuje na postojanje kvara na toj poziciji. Takođe, postoji neravnomjeran procentualni propad struje i u drugim pozicijama sklopke na fazi B tokom njene komutacije, za razliku od faze C gdje je taj odnos ravnomjeran.

Provjera greške odnosa transformacije je izvedena voltmetarskom metodom mjerenjem napona na obje strane transformatora. VN priključni namotaja transformatora priključuju se sukcesivno na naizmjenični napon 380 V, a na SN priključcima se vrši mjerenje napona. Rezultati provjere greške odnosa transformacije su prikazani u Tabeli IV.

Izmjerene vrijednosti odnosa transformacije treba uzeti sa rezervom, s obzirom da su mrežni naizmjenični linijski naponi kojima smo napajali VN namotaj transformatora bili izrazito nesimetrični, što je uticalo na izmjerene vrijednosti odnosa transformacije.

TABELA IV PROVJERA GREŠKE ODNOSA TRANSFORMACIJE

Pozicija regulacione sklopke	Fabrički odnos transformacije	Izmjereni odnos transformacije					
		A-B/a-b		B-C/b-c		A-C/a-c	
		U ₁ /U ₂	[%]	U ₁ /U ₂	[%]	U ₁ /U ₂	[%]
1	1.867	1.873	0.33	1.847	1.06	1.857	0.51
2	1.841	1.853	0.66	1.831	0.54	1.830	0.58
3	1.816	1.821	0.29	1.799	0.95	1.807	0.47
4	1.790	1.802	0.69	1.772	0.98	1.786	0.25
5	1.767	1.757	0.57	1.748	1.09	1.772	0.29
6	1.741	1.754	0.75	1.724	0.99	1.732	0.49
7	1.716	1.723	0.42	1.700	0.90	1.706	0.58
8	1.691	1.705	0.86	1.674	1.00	1.684	0.40
9	1.667	1.672	0.29	1.649	1.07	1.659	0.45
10	1.641	1.653	0.73	1.626	0.93	1.635	0.34
11	1.616	1.626	0.63	1.601	0.94	1.609	0.42
12	1.590	1.599	0.60	1.575	0.92	1.586	0.26
13	1.567	1.575	0.53	1.551	0.99	1.559	0.52
14	1.541	1.548	0.42	1.526	0.99	1.536	0.34
15	1.516	1.526	0.63	1.501	1.00	1.508	0.50
16	1.491	1.498	0.48	1.476	1.04	1.485	0.40
17	1.467	1.457	0.58	1.452	1.04	1.458	0.58

Mjerenje otpornosti izolacije je vršeno megaohmmetrom tipa UNILAP ISO 5 kV (NORMA-LEM). Mjerenje je vršeno na 15 s i 60 s u skladu sa tri šeme. Prilikom mjerenja temperatura okoline iznosila je 30 °C. Rezultati izmjerenih vrijednosti otpornosti izolacije prikazani su u tabeli 4.6. Na osnovu tehničke preporuke za periodična ispitivanja i održavanje energetskih transformatora elektroprivrede Srbije vrijednosti izmjerenih otpornosti izolacije nalaze se u grupi II (stanje zadovoljavajuće, R_{izol}>300 MΩ)

Fabričke vrijednosti otpornosti izolacije prikazani su u Tabeli V. Na osnovu izmjerenih i fabričkih vrijednosti, može se zaključiti da je izmjerena vrijednost otpornosti izolacije VN namotaja prema masi značajno smanjena u odnosu na fabričku vrijednost.

TABELA V FABRIČKE VRIJEDNOSTI OTPORNOSTI IZOLACIJE

Mjerni spoj	Temperatura 20 °C		R ₆₀ /R ₁₅	U _{isp} [kV]
	R ₁₅	R ₆₀		
	[GΩ]	[GΩ]		
VN-SN	14.64	19.76	1.35	5
VN-M	0.447	0.474	1.06	5
SN-M	28.33	28.06	0.99	2.5

TABELA VI IZMJERENE VRIJEDNOSTI OTPORNOSTI IZOLACIJE

Mjerni spoj	Temperatura 20 °C		R ₆₀ /R ₁₅	U _{isp} [kV]
	R ₁₅ [GΩ]	R ₆₀ [GΩ]		
	VN-SN	0.88	1.23	1.4
VN-M	1.14	1.76	1.54	2.5
SN-M	0.88	1.40	1.60	2.5

V. REMONT TRANSFORMATORA I REGULACIONE SKLOPKE

Na osnovu rezultata iz prethodnog poglavlja, došlo se do zaključka da je potrebno remontovati regulacionu sklopku, tj. njen kontakti sistem. Na Sl. 3 je prikazan fizički izgled regulacione sklopke sa priključkom na transformatoru.



Slika 3. Fizički prikaz regulacione sklopke sa priključkom na transformatoru

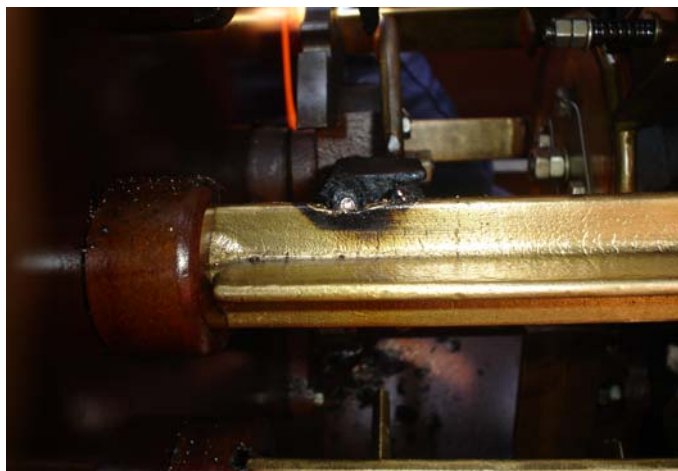
Remont transformatora i regulacione sklopke je tekao sljedećim redoslijedom:

- 1) Istakanje 5 tona ulja iz transformatora,
- 2) Demontaža konzervatora i Buholc releja,
- 3) Raskačivanje sabirnica na primaru i sekundaru transformatora,
- 4) Demontaža sabirničke kutije na primaru transformatora,
- 5) Demontaža provodnih izolatora na primaru i sekundaru transformatora,
- 6) Skidanje poklopca na transformatoru,
- 7) Demontaža i transport regulacione sklopke u radionicu,
- 8) Demontaža polova sa postolja,
- 9) Zamjena 10. i 11. nepokretnog kontakta i jednog pokretnog na svim polovima,
- 10) Sklapanje i montiranje polova na postolje,
- 11) Montaža sklopke i ostalih uređaja na transformator.
- 12) Mjerenje prelaznih otpornosti i odnosa transformacije.

Na Sl. 4. i Sl. 5. su prikazani fizički izgledi regulacione sklopke sa kvarom na kontaktnom sistemu.



Slika 4. Izgled kvara regulacione sklopke



Slika 5. Prikaz kvara kontaktnog sistema

U narednim tabelama (Tabela VII, Tabela VIII i Tabela IX) su prikazane vrijednosti otpornosti namotaja poslije izvršenog remonta transformatora i regulacione sklopke, provjera greške odnosa transformacije kao i izmjerene vrijednosti otpornosti izolacije, respektivno.

TABELA VII VRIJEDNOSTI OTPORNOSTI NAMOTAJA POSLIJE REMONTA REGULACIONE SKLOPKE

VN NAMOT 10 kV	Otpornosti na 20 °C		
	R [mΩ]		
	A-N	B-N	C-N
1	42.21	42.85	42.25
2	41.27	41.63	41.46
3	41.00	41.42	41.00
4	39.85	40.28	39.68
5	39.43	39.85	39.47
6	38.46	38.67	38.25
7	38.25	38.23	37.84
8	37.24	37.24	37.00
9	37.00	36.60	36.83
10	35.86	35.61	35.47
11	35.62	35.48	35.00

12	34.00	34.25	34.25
13	33.69	33.84	34.00
14	32.64	32.86	32.86
15	62.47	32.47	32.41
16	31.00	31.20	31.29
17	30.86	31.00	31.00

TABELA VIII PROVJERA GREŠKE ODNOSA TRANSFORMACIJE POSLIJE REMONTA

Pozicija regulacione sklopke	Fabrički odnos transformacije	Izmjereni odnos transformacije					
		A-B/a-b		B-C/b-c		A-C/a-c	
		U_1/U_2	[%]	U_1/U_2	[%]	U_1/U_2	[%]
1	1.867	1.878	0.58	1.885	0.96	1.874	0.38
2	1.841	1.856	0.81	1.858	0.92	1.850	0.49
3	1.816	1.824	0.44	1.835	1.04	1.823	0.39
4	1.790	1.804	0.77	1.809	1.05	1.800	0.56
5	1.767	1.776	0.51	1.787	1.12	1.773	0.34
6	1.741	1.758	0.97	1.759	1.02	1.751	0.57
7	1.716	1.728	0.70	1.735	1.10	1.721	0.30
8	1.691	1.707	0.94	1.700	0.53	1.699	0.47
9	1.667	1.678	0.66	1.678	0.66	1.673	0.36
10	1.641	1.657	0.97	1.652	0.67	1.650	0.54
11	1.616	1.628	0.74	1.629	0.80	1.621	0.31
12	1.590	1.607	1.06	1.602	0.75	1.601	0.69
13	1.567	1.577	0.64	1.579	0.76	1.572	0.32
14	1.541	1.558	1.09	1.551	0.65	1.551	0.65
15	1.516	1.527	0.72	1.527	0.72	1.523	0.46
16	1.491	1.508	1.13	1.502	0.74	1.500	0.60
17	1.467	1.476	0.61	1.472	0.34	1.472	0.34

TABELA IX IZMJERENE VRIJEDNOSTI OTPORNOSTI IZOLACIJE NAKON REMONTA

Mjerni spoj	Temperatura 20 °C		R_{60}/R_{15}	U_{isp}
	R_{15}	R_{60}		
	[GΩ]	[GΩ]		
VN-SN	15.73	21.65	1.37	5
VN-M	0.485	0.499	1.03	5
SN-M	31.15	38.47	1.23	2.5

Na osnovu izmjerenih vrijednosti otpornosti namotaja prije i poslije remonta regulacione sklopke može se zaključiti da omske otpornosti poslije remonta linearno opadaju pri prelasku sa jednog kontakta na drugi. Takođe, otpornost izolacije je znatno veća.

Da bi se izbjegli dalji kvarovi na regulacionom transformatoru sve snage motora iznad 1,5 MW su smanjene za 60 %.

VI. ZAKLJUČAK

Energetski transformatori opremljeni regulacionom sklopkom pod opterećenjem (OLTC) predstavljaju jedan od glavnih dijelova EES-a već 90-tak godina. Oni omogućavaju regulaciju napona ili faze promenom prenosnog odnosa transformatora pod opterećenjem, bez prekida napajanja. Pretpostavlja se da će regulacioni transformatori nastaviti da igraju značajnu ulogu u optimalnom radu EES-a u doglednoj budućnosti. U ovom radu je opisan remont regulacione sklopke, nakon kvara na kontaktima, što je bilo prouzrokovano pokretanjem motora snage 2 MW. Takođe je pokazano da je remont bio uspješan, jer su mjerenja omske otpornosti i otpornosti izolacije zadovoljavali standarde i preporuke.

LITERATURA

- [1] Nada Cincar, "Dijagnostika stanja regulacione sklopke energetskog transformatora metodom mjerenja struje komutacije", Magistarski rad, Istočno Sarajevo, 2011.
- [2] Milan Majkić, "Prepoznavanje početka kvara energetskih transformatora u eksploataciji na bazi analize ulja", Diplomski rad, Banja Luka, 2010.
- [3] Dieter Dohnal, "On-Load Tap-Changers for Power Transformers A Technical Digest", MR Publication.

ABSTRACT

Purpose of this paper is to introduce reader with basic terms related to regulating power transformers equipped with tap changers, and terms related to tap changers too. Paper describes concrete example of tap changer's failure diagnosis along with examinations and activities carried out in order to remove causes which led to the regulating power transformer's failure, and it's switching off. In case which is described in this paper, tap changer contact's malfunction is cause by starting 6 kV induction motor, rated power of 2 MW.

FAILURE ANALYSIS AND REPAIR OF POWER TRANSFORMER'S TAP CHANGER

Velemir Gavrilović, Željko Stanojević