

# Ispitivanje energetskog transformatora vlastite potrošnje 35/0,4 kV/kV u hidroelektrani Trebinje 1

Nikola Perišić

„Istraživačko razvojni centar elektroenergetike” a.d.  
MH „ERS” – Matično preduzeće a.d. Trebinje  
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
nikola.irce@gmail.com

Aleksandar Simović, Nada Cincar

Univerzitet u Istočnom Sarajevu  
Elektrotehnički fakultet  
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
aleksandar.simovic@etf.ues.rs.ba, nada.cincar@etf.ues.rs.ba

**Sažetak** – Tokom eksploatacije energetski transformator izložen je različitim mehaničkim naprezanjima usljed vibracija, dinamičkim i termičkim naprezanjima uzrokovanim strujama kratkih spojeva te termičkim i hemijskim uticajima. Da bi se na vrijeme otkrila potencijalna mjesta kvara i spriječila potencijalne havarije na energetskom transformatoru potrebno je provesti čitav niz dijagnostičkih mjerenja i ispitivanja kako bi se sa prihvatljivom tačnošću mogla dati ocjena stanja transformatora. U radu je opisan proces mjerenja, kao i izmjerene vrijednosti pojedinih parametara industrijskog transformatora vlastite potrošnje u hidroelektrani Trebinje 1. Izvršeno je mjerenje greške odnosa transformacije, mjerenje struje magnećenja pri malom naponu, mjerenje gubitaka u ogleđima kratkog spoja i praznog hoda, mjerenje otpora namotaja i mjerenje električnog otpora izolacionog sistema transformatora.

**Ključne riječi** – ispitivanje; transformator vlastite potrošnje; odnos transformacije; struja magnećenja; kratak spoj; prazan hod; otpornost namotaja; otpornost izolacionog sistema

## I. UVOD

Pouzdanost sistema zavisi od pouzdanosti elemenata od kojih je sistem sačinjen. Nizak nivo pouzdanosti elemenata sistema povećava vjerovatnoću pojave kvarova i zastoja u eksploataciji cjelokupnog sistema [1]. Radi uklapanja različitih napona generatora, prenosa, distribucije i potrošnje u jedan sistem, potreban je elektroenergetski uređaj koji će raspoloživi napon podizati ili spuštati, odnosno koji će električnu energiju jednog napona i odgovarajuće struje transformisati u električnu energiju drugog napona i njemu odgovarajuće struje. Tu funkciju u elektroenergetskom sistemu obavljaju elektroenergetski transformatori. U osnovi rada elektroenergetskih transformatora je elektromagnetna indukcija. Elektromagnetna indukcija stvara razliku potencijala (napon) na krajevima provodnika koji se nalazi u promjenljivom magnetnom polju. To je pojava nastanka elektromotorne sile usljed promjene magnetnog fluksa [2].

Transformatori vlastite potrošnje u elektranama snabdijevaju električnom energijom veliki broj potrošača, najčešće naponskog nivoa 0,4 kV, te je stoga potreban visok nivo pouzdanosti ovih uređaja. Transformatori su, pored generatora, najskuplji uređaji u elektranama, pa njihov kvar izaziva velike finansijske troškove.

Jedan od načina za sprečavanje kvarova elektroenergetske opreme, samim tim i transformatora, jeste vršenje periodičnih provjera i ispitivanja osnovnih parametara. Na osnovu rezultata dobijenih periodičnim ispitivanjima vrši se kontinuirano praćenje ključnih parametara transformatora, te se na taj način problem može otkriti i sanirati u početnoj fazi razvoja. Na taj način sprečavaju se velika oštećenja transformatora i smanjuju finansijski troškovi.

## II. ELEKTRIČNA ISPITIVANJA TRANSFORMATORA NA TERENU

Za ocjenu stanja transformatora postoje razne metode (električne, vizuelne, mehaničke itd). Međutim, nijedna metoda za ocjenu stanja transformatora nije sveobuhvatna, tako da se ocjena stanja transformatora ne može dati na osnovu jedne metode, već se temelji na rezultatima više različitih metoda. Dijagnostička ispitivanja se vrše periodično (od 2 do 6 godina), a periodičnost ispitivanja zavisi prvenstveno od stanja transformatora, a pored toga i od vrste transformatora, starosti transformatora, eksploatacionih uslova i slično. U nastavku su detaljnije obrađena električna ispitivanja na terenu koja se odnose na ispitivanje izolacije namotaja DC naponom i ispitivanja namotaja i jezgra transformatora.

### A. PROVJERA GREŠKE ODNOSA TRANSFORMACIJE

U skladu sa tačkom 3.4.4 standarda IEC 60076-1/2000 naznačeni odnos transformacije transformatora predstavlja odnos naznačenih napona namotaja transformatora [3]. Ukupna elektromotorna sila primarnog namotaja zavisi od broja navojaka primarnog namotaja ( $N'$ ), a ukupna elektromotorna sila sekundarnog namotaja zavisi od broja navojaka sekundarnog namotaja ( $N''$ ), što je opisano izrazima (1) i (2).

$$E' = E_1 N' = 4,44 N' f \Phi_m, \quad (1)$$

$$E'' = E_2 N'' = 4,44 N'' f \Phi_m. \quad (2)$$

Odnos elektromotornih sila primarnog i sekundarnog namotaja opisan je izrazom (3).

$$\frac{E'}{E''} = \frac{E_1 N'}{E_2 N''} = \frac{N'}{N''} = m \quad (3)$$

Ovaj odnos naziva se naznačeni odnos transformacije ili prenosni odnos transformatora.

Zbog padova napona na primarnom i sekundarnom namotaju uvijek važe relacije (4) i (5).

$$U' > E', \quad (4)$$

$$U'' < E''. \quad (5)$$

Kako su padovi napona na primarnom i sekundarnom namotaju relativno mali (1% - 5%), može se bez veće greške pretpostaviti da važe izrazi (6) i (7).

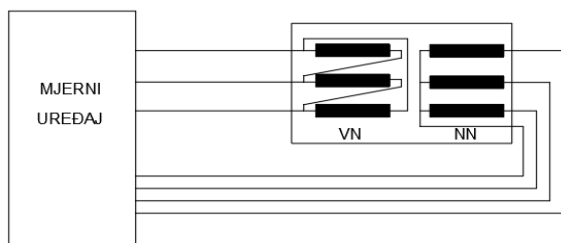
$$U' \approx E', \quad (6)$$

$$U'' \approx E''. \quad (7)$$

Na osnovu prethodnih izraza može se zaključiti da je uz zanemarljivu grešku naznačeni odnos transformacije transformatora opisan izrazom (8) [2].

$$\frac{U'}{U''} = \frac{N'}{N''} = m \quad (8)$$

Jedan od načina da se provjeri greška odnosa transformacije je voltmetarska metoda čija se suština ogleda u istovremenom mjerenju napona primarnog i sekundarnog namotaja transformatora. U skladu sa preporukom standarda IEC 60076-1/2000 ispitni napon se dovodi na višenaponski namotaj transformatora, uz istovremeno mjerenje napona na oba namotaja transformatora [3]. Dijeljenjem izmjerenih vrijednosti napona primarnog i sekundarnog namotaja transformatora dobija se prenosni odnos transformatora. Šema spoja za mjerenje odnosa transformacije prikazana je na Sl. 1 [4].



Slika 1. Šema spoja za mjerenje odnosa transformacije

Vrijednosti odstupanja prenosnog odnosa pojedinih faza prikazani su u Tabeli I, Tabeli II i Tabeli III.

TABELA I. VRIJEDNOSTI ODSUPANJA PRENSNOG ODNOSA FAZE U

Pozicija	Način mjerenja	Faza U		
		K	$\Delta K$ [%]	[°]
3 - 7	Jednofazno	151,57	+0,01	-0,02
3 - 7	Trofazno	87,565	+0,07	329,97

TABELA II. VRIJEDNOSTI ODSUPANJA PRENSNOG ODNOSA FAZE V

Pozicija	Način mjerenja	Faza V		
		K	$\Delta K$ [%]	[°]
3 - 7	Jednofazno	151,53	-0,02	-0,03
3 - 7	Trofazno	87,446	-0,06	329,94

TABELA III. VRIJEDNOSTI ODSUPANJA PRENSNOG ODNOSA FAZE W

Pozicija	Način mjerenja	Faza W		
		K	$\Delta K$ [%]	[°]
3 - 7	Jednofazno	151,57	+0,01	-0,02
3 - 7	Trofazno	87,513	+0,01	330,03

Referentne vrijednosti odnosa transformacije  $K_n$  i greške odnosa transformacije  $\Delta K$  prikazane su u Tabeli IV.

TABELA IV. REFERENTNE VRIJEDNOSTI ODNOSA TRANSFORMACIJE

Pozicija	$U_1$	$U_2$	$K_n = U_1/U_2$
3 - 7	35000	400	87,50

U skladu sa tačkom 12.3 Tehničke preporuke za periodična ispitivanja i održavanje energetskih transformatora EPS, izdate 1993. godine, dozvoljeno odstupanje izmjerenog odnosa transformacije u odnosu na referentni odnos transformacije iznosi 0,5%. Iz Tabele I, Tabele II i Tabele III zaključuje se da je odstupanje izmjerenog odnosa transformacije u odnosu na referentni odnos transformacije manje od 0,5%, tako da je transformator zadovoljio ispitivanje po kriterijumu odnosa transformacije.

#### B. MJERENJE STRUJE MAGNEĆENJA PRI MALOM NAPONU

Mjerenjem struje magnećenja ispituje se stanje jezgra transformatora. Velike i nagle promjene struje magnećenja su pokazatelj oštećenosti magnetnog jezgra transformatora. Struja praznog hoda mjeri se na namotaju na koji je priključen napon, dok su ostali namotaji otvoreni. Izmjerene vrijednosti struje magnećenja visokonaponskog namotaja pojedinih faza kao i referentne vrijednosti struje magnećenja izmjerene prvim terenskim mjerenjem 2012. godine prikazani su u Tabeli V.

TABELA V. VRIJEDNOSTI STRUJE MAGNEĆENJA VISOKONAPNSKOG NAMOTAJA

Visokonaponski namotaj (35 kV)						
Način mjerenja	Faza U		Faza V		Faza W	
	U [V]	$I_u$ [mA]	U [V]	$I_v$ [mA]	U [V]	$I_w$ [mA]
Jednofazno	100	1,6	100	1,6	100	2,1
Trofazno	$100\sqrt{3}$	2,0	$100\sqrt{3}$	1,0	$100\sqrt{3}$	2,0
Referentne vrijednosti						
Jednofazno	100	1,4	100	1,1	100	1,6
Trofazno	$100\sqrt{3}$	1,5	$100\sqrt{3}$	1,5	$100\sqrt{3}$	1,7

Struja praznog hoda stvara magnetni fluks u jezgru transformatora, usljed čega se u namotaju indukuje napon koji je suprotstavljen priključenom naponu.

Osnovna komponenta struje praznog hoda, koja proizvodi magnetni fluks naziva se struja magnećenja i ona je pomjerena za  $90^\circ$  u odnosu na priključeni napon. Za energetske transformatore manje snage struja praznog hoda iznosi 1 – 5% nominalne struje namotaja, a za velike energetske transformatore vrijednost struje praznog hoda je u opsegu 0,1 – 3% nominalne struje. Pored struje magnećenja postoji i aktivna komponenta struje praznog hoda koja je posljedica histerezisa i vrtložnih struja u jezgru transformatora i koja je u fazi sa priključenim naponom [4].

Poređenjem izmjerenih vrijednosti struje magnećenja sa referentnim vrijednostima može se utvrditi stanje jezgra transformatora. Referentne vrijednosti struje magnećenja su vrijednosti izmjerene u fabrici ili vrijednosti izmjerene prvim terenskim mjerenjem, uz pretpostavku da je jezgro transformatora tada bilo ispravno. U praksi se mjerenje struje magnećenja vrši istovremeno sa mjerenjem odnosa transformacije, istim mjernim uređajem koji vrši oba mjerenja istovremeno. Mjerenje struje magnećenja pri malom naponu izvršeno je jednofazno i trofazno uređajem “Transformer Turns Ratio tester TRT30E” proizvođača “DV Power”.

Da bi se izvršila tačna analiza rezultata poželjno je imati rezultate ranijih ispitivanja na istom transformatoru izvršenih istom mjernom metodom, istim naponom i istom mjernom opremom. U suprotnom, rezultati se porede sa rezultatima ispitivanja transformatora približno istih karakteristika. Granične vrijednosti izmjerene struje magnećenja u odnosu na referentnu struju magnećenja date su u Tabeli VI.

TABELA VI. GRANIČNE VRIJEDNOSTI MJERENE STRUJE MAGNEĆENJA U ODNOSU NA REFERENTNU VRIJEDNOST

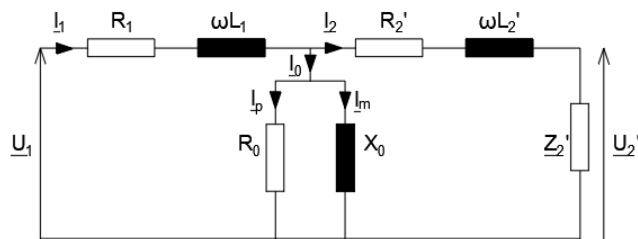
Ocjena stanja	Kriterijum poređenja
Ispravan	$I_m \leq 2I_{ref}$
Nepouzdan	$2I_{ref} \leq I_m \leq 10I_{ref}$
Neispravan	$I_m \geq 10I_{ref}$

Poređenjem rezultata prikazanih u Tabeli V i Tabeli VI može se zaključiti da se izmjerena vrijednost struje magnećenja ispitivanog transformatora nalazi u dozvoljenim granicama odstupanja od referentne vrijednosti struje magnećenja za ispitivani transformator, te je stoga transformator zadovoljio ispitivanje po kriterijumu struje magnećenja.

### C. ISPITIVANJE TRANSFORMATORA U OGLLEDIMA KRATKOG SPOJA I PRAZNOG HODA

Pored normalnog radnog režima u kojem se transformator nalazi u najvećem dijelu svog eksploatacionog vijeka, transformator se može naći u nekim specifičnim radnim režimima, od kojih se kao karakteristični mogu izdvojiti režim kratkog spoja i režim praznog hoda.

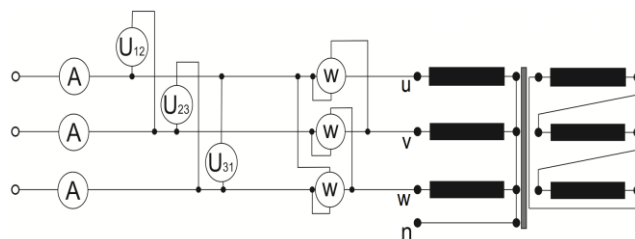
Ogledi kratkog spoja i praznog hoda koriste se za određivanje parametara ekvivalentne šeme transformatora, što je prikazano na Sl. 2 [2]. Zamjenska ili ekvivalentna šema transformatora predstavlja pojednostavljeni model pomoću kojeg se može, na posredan način, bez stvarnog opterećenja, predvidjeti ponašanje transformatora u stvarnim uslovima rada.



Slika 2. Ekvivalentna šema realnog transformatora

Prazan hod je pogonsko stanje u kojem je na primarnu stranu transformatora priključen napon, a sekundarni priključci su otvoreni. Napon na sekundaru jednak je indukovanom naponu, a struja sekundarnog namotaja jednaka je nuli. Kroz primarni namotaj teče struja praznog hoda. Glavni magnetni fluks u jezgru transformatora stvara gubitke usljed histerezisa i vrtložnih struja, usljed čega struja praznog hoda ima aktivnu i reaktivnu (induktivnu) komponentu. Induktivna komponenta struje praznog hoda stvara glavni magnetni fluks i naziva se struja magnećenja, a aktivna komponenta struje praznog hoda stvara gubitke u jezgru transformatora [2].

Mjerenje snage gubitaka i struje praznog hoda na transformatoru vlastite potrošnje u hidroelektrani Trebinje 1 izvršeno je u skladu sa tačkom 10.5 standarda IEC 60076 – 1. Mjerenje snage gubitaka transformatora u praznom hodu pri punom naponu sa niskonaponske strane čija vrijednost iznosi 0,4 kV izvršeno je prema šemi prikazanoj na Sl. 3 [5], a rezultati mjerenja prikazani su u Tabeli VII.



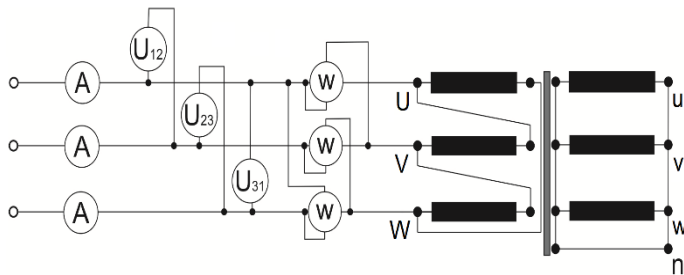
Slika 3. Šema mjerenja snage gubitaka transformatora i struje magnećenja u praznom hodu

TABELA VII. IZMJERENE VRIJEDNOSTI STRUJE MAGNEĆENJA I SNAGE GUBITAKA TRANSFORMATORA U PRAZNOH HODU

Faza	$U_f$ [V]	$U_I$ [V]	$I$ [A]	$P$ [W]
U	230,45	400,68	5,006	1024,5
V	232,66	403,51	3,653	611,69
W	232,08	399,90	5,447	876,45

Na osnovu izmjerenih vrijednosti prikazanih u Tabeli VII, proračunom je dobijena vrijednost snage gubitaka transformatora u praznom hodu koja iznosi 2,512 kW pri srednjoj vrijednosti linijskog napona 401,36 V priključenog na niskonaponsku stranu transformatora. Izmjerena snaga gubitaka transformatora u praznom hodu je unutar granica dozvoljenog odstupanja, koja iznosi  $2,6 \text{ kW} \pm 15\%$ .

Mjerenje snage gubitaka i napona kratkog spoja na transformatoru vlastite potrošnje u hidroelektrani Trebinje 1 izvršeno je u skladu sa tačkom 10.4 standarda IEC 60076 – 1. Prilikom mjerenja snage gubitaka i napona kratkog spoja iz tehničkih razloga nije bilo moguće postići naznačenu vrijednost struje kratkospojenog namotaja, pa su snaga gubitaka i napon kratkog spoja dobijeni preračunavanjem. Kratko spajanje na strani niskog napona izvršeno je bakarnom pletenicom površine poprečnog presjeka  $30 \times 5 \text{ mm}^2$ . Mjerenje snage gubitaka i napona kratkog spoja transformatora izvršeno je prema šemi prikazanoj na Sl. 4 [5].



Slika 4. Šema mjerenja snage gubitaka i napona kratkog spoja transformatora u kratkom spoju

Vrijednosti napona kratkog spoja i snage gubitaka transformatora u kratkom spoju dobijene mjerenjem na terenu prikazani su u Tabeli VIII.

TABELA VIII. IZMJERENE VRIJEDNOSTI NAPONA KRATKOG SPOJA I SNAGE GUBITAKA TRANSFORMATORA U KRATKOM SPOJU

Faza	Uf [V]	U1 [V]	I [A]	P [W]
U	235,5	408,7	2,17	74,88
V	236,9	411,4	2,22	81,88
W	237,1	408,8	2,18	85,95

Na osnovu izmjerenih vrijednosti prikazanih u Tabeli VIII proračunom je dobijena vrijednost snage gubitaka transformatora u kratkom spoju, koja iznosi 242,71 W, kao i vrijednost napona kratkog spoja u procentima koja iznosi 5,68%. Izmjerena vrijednost napona kratkog spoja odgovara vrijednosti napona kratkog spoja sa natpisne pločice transformatora koja iznosi  $6 \pm 10\%$ .

#### D. MJERENJE ELEKTRIČNOG OTPORA NAMOTAJA TRANSFORMATORA

Povećavanje električnog otpora namotaja dovodi do njegovog pregrijavanja, što može da izazove njegov prekid.

Ovo ispitivanje je veoma efikasno kod istraživanja problema sa regulacionom preklopkom. Moguće je otkriti loše spojeve kao i prekid faze. Otpor namotaja zavisi od temperature pa se izmjereni rezultati preračunavaju na referentnu temperaturu. Većina fabričkih rezultata mjerenja su svedena na temperaturu  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  što je prema IEC standardu referentna temperatura za energetske transformatore sa uljno – papirnom izolacijom pa se rezultati mjerenja svode na ovu temperaturu. Referentna temperatura za suve transformatore je  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , pa se rezultati ispitivanja suvih transformatora svode na ovu temperaturu. Temperatura namotaja mjeri se nakon tri sata od trenutka isključenja transformatora [4].

Mjerenje električnog otpora namotaja vrši se U – I metodom. Sprega transformatora sopstvene potrošnje u hidroelektrani Trebinje 1 je Dyn11. Zbog sprege visokonaponskog namotaja u trougao mjerenje električnog otpora višenaponskog namotaja izvršeno je međufazno, dok sprega niskonaponskog namotaja u uzemljenu zvijezdu omogućava i međufazno mjerenje električnog otpora namotaja, kao i mjerenje električnog otpora namotaja svake faze niskonaponskog namotaja prema neutralnoj tački. Mjerenje električnog otpora višenaponskog namotaja izvršeno je ispitnom strujom vrijednosti 1 A. Mjerenje električnog otpora niskonaponskog namotaja izvršeno je ispitnom strujom vrijednosti 25 A. Izmjerene vrijednosti omskih otpora primarnog i sekundarnog namotaja transformatora prikazane su u Tabeli IX.

TABELA IX. IZMJERENE VRIJEDNOSTI OMSKIH OTPORA PRIMARNOG I SEKUNDARNOG NAMOTAJA TRANSFORMATORA

35 kV namotaj	T=24 °C			T=20 °C		
	R [Ω]			R [Ω]		
	U -V	V -W	U -W	U -V	V -W	U -W
3 - 7	16,99	17,17	17,15	16,72	16,90	16,88
0,4 kV namotaj	R [μΩ]			R [μΩ]		
	u -n	v -n	w -n	u -n	v -n	w -n
	617,4	579	603,3	607,7	569,9	593,8
	R [mΩ]			R [mΩ]		
	u -v	v -w	u -w	u -v	v -w	u -w
1,189	1,185	1,224	1,170	1,166	1,205	

Tokom mjerenja električnog otpora namotaja izvršeno je mjerenje temperature namotaja transformatora, temperature okoline i vlažnosti vazduha. Izmjerene su sljedeće vrijednosti:

- temperatura namotaja:  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- temperature okoline:  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- vlažnost vazduha: 52%.

Poređenje izmjerenih vrijednosti električnih otpora namotaja transformatora sa rezultatima prijemnih ispitivanja prikazano je u Tabeli X. Prikazane vrijednosti električnih otpora namotaja transformatora svedene su na temperaturu od 20 °C kako bi njihovo poređenje imalo smisla.

TABELA X. POREĐENJE IZMJERENIH VRIJEDNOSTI ELEKTRIČNIH OTPORA NAMOTAJA TRANSFORMATORA SA REZULTATIMA PRIJEMNIH ISPITIVANJA

35 kV namotaj	Mjerenje 2020. godine			Mjerenje 2012. godine		
	R [Ω]			R [Ω]		
	U-V	V-W	U-W	U-V	V-W	U-W
Zbog promjene pozicije iz 4 – 7 u 3 – 7 nije vršeno poređenje izmjerenih rezultata na višenaponskoj strani						
0,4 kV namotaj	R [mΩ]			R [mΩ]		
	u - v	v - w	u - w	u - v	v - w	u - w
	1,170	1,166	1,205	1,151	1,150	1,189

Mjerenje električnog otpora namotaja transformatora vršeno je samo u poziciji 3 – 7, a ne u svim pozicijama transformatora. U skladu sa tačkom 10.3 Tehničke preporuke za periodična ispitivanja i održavanje energetskih transformatora EPS, izdate 1993. godine, izmjereni električni otpor namotaja transformatora mora biti u granicama odstupanja od ±2% u odnosu na prijemna ispitivanja. Na osnovu rezultata navedenih u Tabeli X očigledno je da su odstupanja izmjerenih rezultata od rezultata prijemnih ispitivanja izvršenih 2012. godine manja od 2%, te je stoga transformator zadovoljio ispitivanje po kriterijumu električnog otpora namotaja.

#### E. MJERENJE ELEKTRIČNOG OTPORA IZOLACIONOG SISTEMA TRANSFORMATORA

Mjerenjem otpora izolacionog sistema transformatora moguće je otkriti vlažnost izolacije, nečistoće u izolaciji, kao i oštećenja izolacionog sistema koja mogu imati značajan uticaj na struju provođenja izolacije pri naznačenom naponu. Vrijednost otpornosti izolacionog sistema transformatora zavisi od naznačene snage, vrste izolacije, vlažnosti, temperature i slično. Zbog toga je teško odrediti minimalnu vrijednost otpornosti izolacionog sistema za transformatore različitih snaga i različitih proizvođača. Mjerenje otpornosti izolacionog sistema transformatora vrši se jednosmjernim naponom. Kada se jednosmjerni napon priključi na dvije elektrode izolacionog sistema početna struja je velika i sastoji se od sljedećih komponenti [4]:

- struje punjenja,
- apsorpcione struje,
- površinske struje odvođenja,
- struje provođenja.

Veličina koja je korisna za određivanje stanja izolacionog sistema transformatora je odnos izmjerenog otpora izolacije u dva vremenska trenutka od trenutka priključenja napona.

To je bezdimenzionalna veličina koja je relativno temperaturno nezavisna. Uobičajeno je da se računa faktor apsorpcije, a koji se računa kao odnos izmjerenog otpora izolacije nakon 60 sekundi i otpora izolacije nakon 15 sekundi, i faktor polarizacije koji se računa kao odnos izmjerenog otpora izolacije nakon 10 minuta i izmjerenog otpora izolacije nakon jednog minuta od priključenja napona. Faktor apsorpcije i faktor polarizacije opisani su izrazima (9) i (10) respektivno [4].

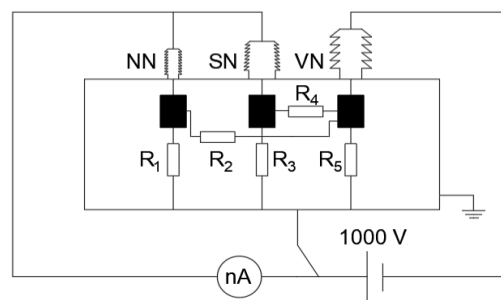
$$F_a = \frac{R_{60''}}{R_{15''}}, \quad (9)$$

$$F_p = \frac{R_{600''}}{R_{60''}}. \quad (10)$$

Prednost procjene stanja izolacionog sistema transformatora na osnovu faktora apsorpcije i faktora polarizacije je u tome što su navedeni faktori relativno nezavisni od temperature i što se tumačenje rezultata mjerenja može izvršiti bez poznavanja rezultata ranijih mjerenja. Ipak, može se desiti da kod transformatora za koje se zna da imaju dobar izolacioni sistem faktor apsorpcije i faktor polarizacije imaju vrijednosti bliske jedinici, posebno za izolaciju između namotaja i mase sa velikim udjelom ulja u ukupnoj izolaciji. Ukoliko su nedostupni referentni podaci otpornosti izolacije, faktor polarizacije može biti okvirni pokazatelj stanja izolacionog sistema transformatora po pitanju vlažnosti [4].

Ispitivanje otpornosti izolacionog sistema transformatora izvodi se između namotaja, kao i između namotaja i mase (uzemljenja). Mjerenje otpornosti izolacionog sistema transformatora potrebno je izvršiti prema istim mjernim šemama kao u slučaju referentnih fabričkih ispitivanja.

Ukoliko nisu poznate mjerne šeme referentnih fabričkih ispitivanja, mjerenje otpornosti izolacionog sistema transformatora vrši se prema mjernim šemama sa ranijih terenskih ispitivanja. Šema mjerenja otpornosti izolacije između VN namotaja i SN + NN namotaja tronamotajnog transformatora prikazana je na Sl. 5.



Slika 5. Šema mjerenja otpornosti izolacije transformatora

Mjerenje električnog otpora izolacionog sistema transformatora vlastite potrošnje u hidroelektrani Trebinje 1 izvršeno je megaometrom prema tri ispitne šeme: VN – NN, VN – M i NN - M. Ispitne šeme definisane su Tehničkom preporukom za periodična ispitivanja i održavanje energetskih transformatora EPS, izdate 1993. godine.

Mjerenje otpornosti izolacionog sistema transformatora izvršeno je nakon 15, 60 i nakon 600 sekundi. Izmjerene vrijednosti otpornosti izolacionog sistema transformatora prikazane su u Tabeli XI.

TABELA XI. IZMJERENE VRIJEDNOSTI OTPORNOSTI IZOLACIONOG SISTEMA TRANSFORMATORA

Mjerni spoj	Otpornost izolacije namotaja [ $G\Omega$ ]					Uisp [kV]
	R <sub>15''</sub>	R <sub>60''</sub>	R <sub>600''</sub>	Fa	Fp	
VN - NN	10,9	12,9	13,4	1,18	1,04	5
VN - M	22,5	24,3	24,9	1,08	1,02	5
NN - M	2,33	2,99	3,12	1,28	1,04	1

Otpornost izolacije namotaja kao i faktori apsorpcije i polarizacije za sve ispitne šeme imaju zadovoljavajuće vrijednosti koje su propisane tehničkom preporukom za periodična ispitivanja i održavanje energetskih transformatora EPS, izdate 1993. godine. Zaključuje se da je transformator zadovoljio ispitivanje prema kriterijumu otpornosti izolacionog sistema.

### III. ZAKLJUČAK

Broj dijagnostičkih metoda za određivanje stanja energetskih transformatora prilično je veliki. Primjena svih poznatih dijagnostičkih metoda bila bi izuzetno zahtjevan, skup i vremenski dugotrajan posao, koji u većini slučajeva ne bi bio isplativ. Zbog toga se dijagnostičke metode mogu podijeliti na standardni opseg dijagnostičkih metoda, prošireni opseg dijagnostičkih metoda i specijalne dijagnostičke metode.

Prošireni opseg dijagnostičkih metoda primjenjuje se prilikom prvog puštanja transformatora u rad, a specijalne dijagnostičke metode primjenjuju se u slučaju potrebe za analizom kvara. Kako je, prije ispitivanja, energetski transformator vlastite potrošnje u hidroelektrani Trebinje 1 bio u normalnom radnom režimu, izvršeno je periodično terensko mjerenje osnovnih parametara transformatora. Poređenjem izmjerenih vrijednosti navedenih veličina sa referentnim vrijednostima fabričkih ili prijemnih ispitivanja, utvrđeno je da se odstupanja mjerenih od referentnih vrijednosti nalaze u propisanim granicama.

Granice dozvoljenih odstupanja izmjerenih od referentnih vrijednosti propisane su standardom IEC 60076 – 11/2004 za suve transformatore kao i tehničkom preporukom za periodična ispitivanja i održavanje energetskih transformatora EPS, izdate 1993. godine. Kako su odstupanja izmjerenih od referentnih vrijednosti u dozvoljenim granicama zaključuje se da je ispitivani transformator vlastite potrošnje tip 4GB5881 – 3DC, broj: B203092 u hidroelektrani Trebinje 1 sposoban za rad u pogonu.

### LITERATURA

- [1] Aden Hadžić, „Integralna zaštita energetskih transformatora u električnim postrojenjima”, Univerzitet u Sarajevu, jun 2014.
- [2] Sreten Škuletić, Nikolija Kaljević, „Visokonaponska razvodna postrojenja”, Podgorica, 2019.
- [3] Igor Kuzle, „Dijagnostika u održavanju elemenata elektroenergetskih sustava”, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2013.
- [4] Emir Fočo, Vedad Bećirović, „Monitoring i održavanje elektroenergetskih sistema, dijagnostička ispitivanja energetskih transformatora na terenu”, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 2020.
- [5] Igor Maletić, Borislav Nišić, Nikola Perišić, „Izveštaj sa periodičnog terenskog ispitivanja transformatora vlastite potrošnje u hidroelektrani Trebinje 1”, ZD „Istraživačko razvojni centar elektroenergetike” a.d., decembar 2020., neobjavljen.

### ABSTRACT

During exploitation, the power transformer is exposed to various mechanical strains caused by short – circuit currents and thermal and chemical influences. In order to detect potential fault locations on time and prevent potential damage on the power transformer, it is necessary to conduct a series of diagnostic measurements and tests in order to be able to assess the condition of the transformer with acceptable accuracy. The paper describes the measurement process as well as the measured values of individual parameters of the industrial own consumption transformer in the hydroelectric power plant Trebinje 1. The following were performed measurement of transformation ratio error, measurement of magnetization current at low voltage, measurement of losses in short circuit and no load, measurement of winding resistance and measurement of electrical resistance of transformer insulation system.

### TESTING OWN CONSUMPTION ENERGY TRANSFORMER 35/0,4 KV/KV IN HYDROELECTRIC PLANT TREBINJE 1

Nikola Perišić  
Aleksandar Simović  
Nada Cincar