

DOI: [10.46793/CIGRE37.A2.06](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.A2.06)**A2.06****DIJAGNOSTIKA I ANALIZA STANJA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA NAKON
HAVARIJSKIH DOGAĐAJA****DIAGNOSIS AND ANALYSIS OF THE CONDITION FOR POWER TRANSFORMERS
AFTER FAULT EVENT****Vladimir Šimpraga, Đorđe Čubrić, Milenko Lekić***

Kratak sadržaj: Stručna dijagnostika, ispitivanja i analiza donose brojne dobrobiti, uključujući rano otkrivanje potencijalnih kvarova, sprečavanje zastoja itd. Praćenje stanja transformatora je složen proces koji zahteva znanje i razumevanje više oblasti, kao što su principi rada transformatora, tehnike merenja, analize podataka i interpretacija rezultata. Detaljna dijagnostika i analiza stanja energetskih transformatora nakon havarijskih događaja ključni su za odluku o daljem statusu transformatora. Cilj rada je podela praktičnih iskustava i metoda ispitivanja sa stručnjacima koji se bave sličnim izazovima, uz naglasak na primenu odgovarajućih dijagnostičkih tehnika i predloge za unapređenje.

Ključne reči: *Energetski transformator, Havarija, Dijagnostika, Analiza*

Abstract: Professional diagnostics, testing and analysis provide numerous benefits, including early detection of potential failures, prevention of downtime, and more. Monitoring the condition of transformers is a complex process that requires knowledge and understanding of multiple fields, such as transformer operating principles, measurement techniques, data analysis, and result interpretation. Detailed diagnostics and analysis of the condition of power transformers after fault events are crucial for determining their further status. The aim of this work is to share practical experiences and testing methods with professionals facing similar challenges, with an emphasis on the application of appropriate diagnostic techniques and recommendations for improvement.

Key words: *Power Transformer, Failure, Diagnostics, Analysis*

*Vladimir Šimpraga, Elektromreža Srbije a.d, vladimir.simpraga@ems.rs

Đorđe Čubrić, Elektromreža Srbije a.d, djordje.cubric@ems.rs

Milenko Lekić, Elektromreža Srbije a.d, milenko.lekic@ems.rs

1 UVOD

Svako tržište, uključujući i tržište električne energije, zasniva se na ekonomskim principima, pri čemu je pouzdanost elektroenergetskog sistema (EES) jedan od ključnih faktora za njegovu stabilnost i efikasnost.

Da bi se osigurala pouzdana i sigurna isporuka električne energije, neophodno je da svi segmenti sistema - od proizvodnje, preko prenosa, do distribucije - funkcionišu bez prekida i u skladu sa visokim standardima pouzdanosti. Održavanje ovakvog sistema zahteva dobro osmišljenu i efikasnu strategiju održavanja, koja podrazumeva kontinuirani nadzor, pravovremene provere i primenu preventivnih mera [1].

Upravo iz tih razloga, u prenosnom sistemu Srbije već dugu niz godina postoji planski organizovan program održavanja, koji omogućava pouzdan i stabilan rad elektroenergetske mreže. Jedna od najvažnijih komponenti u elektroenergetskom sistemu je energetska transformator (ET), koji ima ključnu ulogu u procesu prenosa i distribucije električne energije. Otkaz rada transformatora može izazvati ozbiljne poremećaje u funkcionisanju celokupnog sistema, dovodeći do prekida u snabdevanju električnom energijom na širem području. Pored tehničkog značaja, energetska transformatori predstavljaju i kapitalne investicije, čija se vrednost ogleda ne samo u njihovoj nabavnoj ceni, već i u dugoročnim posledicama koje njihov kvar može izazvati u elektroenergetskom sistemu.

S obzirom na značaj i vrednost energetskih transformatora, u prenosnom sistemu Srbije primenjuje se sveobuhvatni pristup u praćenju i ispitivanju njihovog režima rada [2], kao i unapređenja u oblasti dijagnostike i održavanja. Redovno ispitivanje i ocena stanja transformatora [3], uz primenu savremenih metoda dijagnostike, omogućavaju pravovremeno otkrivanje potencijalnih problema i njihovo saniranje pre nego što dođe do ozbiljnih kvarova. Pored toga, pravilno sprovedeni remont i popravke transformatora od suštinske su važnosti za produženje njihovog radnog veka i osiguranje stabilnog rada elektroenergetskog sistema.

Monitoring i analiza stanja transformatora predstavljaju kompleksan proces koji zahteva stručni pristup i poznavanje različitih oblasti, uključujući principe rada transformatora, metode ispitivanja, analize rezultata ispitivanja, kao i dijagnostiku potencijalnih kvarova [4]. I pored svih preventivnih mera i redovnog praćenja, kvarovi i otkazi transformatora su i dalje mogući, bilo zbog unutrašnjih faktora kao što su zamor materijala i degradacija izolacije, bilo zbog spoljašnjih uticaja poput prenapona, dinamičkih naprezanja usled proticanja struja bliskih kratkih spojeva, preopterećenja i nepovoljnih atmosferskih uslova.

Zbog svega navedenog, stalno unapređenje metoda ispitivanja, monitoring ključnih parametara i pravovremene intervencije predstavljaju osnovne preduslove za siguran i dugotrajan rad energetskih transformatora, čime se ujedno doprinosi pouzdanosti i stabilnosti celokupnog elektroenergetskog sistema.

1.1 Dijagnostika i analiza stanja ET nakon ispada

U ovom radu obrađena je dijagnostika i analiza stanja dva ET nakon ispada delovanjem osnovnih zaštita transformatora.

Do isključenja prvog transformatora snage 400 MVA, tj. autotransformatora prenosnog odnosa 400/220/31.5kV, došlo je usled delovanja više zaštita, dok se isključenje drugog transformatora snage 20 MVA, prenosnog odnosa 110/36.75/10.5kV, dogodilo usled delovanja zaštite Buholc-isključenje.

Analizom događaja u mreži, delovanje zaštita [5], i obradom dobijenih informacija donosi se odluka o daljem dijagnostičkom ispitivanju. Od velikog značaja za dijagnozu kvara na transformatoru su svakako podaci sa prethodnih redovnih ispitivanja.

Ova dva primera pokazuju i dobre strane dijagnostike i analize stanja ET, ali takođe da ponekad nije jednostavno doći do pravilnog zaključka o uzroku otkaza i eventualnom kvaru transformatora.

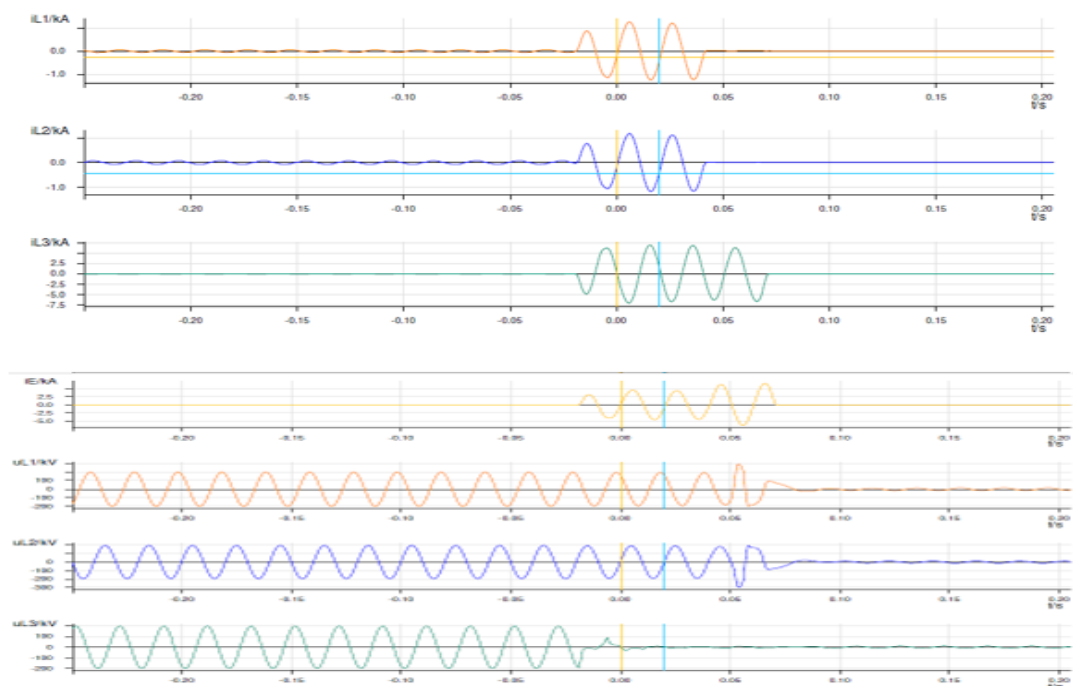
2 ISPITIVANJE, DIJAGNOSTIKA I ANALIZA STANJA ET 400 MVA [4]

U transformatorskoj stanici (TS) 400/220/110kV [6] došlo je do ispada autotransformatora 400/231/31.5 kV, snage 400 MVA delovanjem relejne zaštite. Nakon ispada utvrđeno je sledeće:

Autotransformator je ispao delovanjem sledećih zaštita [7]:

- Diferencijalne zaštite - isključenje: Faza „0“, „4“ i „8“;
- Distantna zaštita 1. stepen - isključenje: Faza „0“, „4“ i „8“;
- Buholc transformatora - isključenje.

Na Slici 1 prikazane su struje i naponi u trenutku ispada transformatora:



Slika 1: Dijagram struja i napona

Radi utvrđivanja eventualnog oštećenja transformatora, i odlučivanja o njegovom daljem statusu, doneta je odluka da se urade dijagnostička ispitivanja.

2.1 Ispitivanje ET nakon ispada

Tabela I: Rezultati ispitivanja [6] otpornosti izolacije nakon ispada - merenje (1) i prilikom prethodnog redovnog ispitivanja - merenje (2) (Rezultati merenja u tabeli su dati za referentnu temperaturu 20°C).

Merna sprega	Merenje	U_{DC} [kV]	$R_{15''}$ [MΩ]	$R_{60''}$ [MΩ]	$R_{60''}/R_{15''}$ (-)
(VN+SN) – TN+M	(1)	5	<u>285</u>	<u>505</u>	1.77
	(2)	5	2720	4250	1.56
TN – (VN+SN+M)	(1)	5	1740	2390	1.38
	(2)	5	1360	2380	1.75
VN+SN – TN (M)	(1)	5	5980	8970	1.50
VN+SN – M (TN)	(1)	5	<u>402</u>	<u>580</u>	1.44
TN – (VN+SN+M)	(1)	5	4890	5380	1.10

Pored merenja izolacionih otpora, izvršeno je i merenje faktora dielektričnih gubitaka ($tg\delta$) i kapaciteta C izolacionog sistema, kako namotaja transformatora, tako i provodnih izolatora, zatim merenje otpornosti namotaja, provera prenosnog odnosa, merenje struja praznog hoda pri sniženom naponu i merenje induktivnosti. Podaci o navedenim ispitivanjima izolacionog sistema kao i rezultati prethodnog redovnog ispitivanja dati su u Tabeli II.

Tabela II: Rezultati ispitivanja C i $tg\delta$ nakon ispada - merenje (1), i prilikom prethodnog redovnog ispitivanja - merenje (2) (Rezultati merenja u tabeli su dati za referentnu temperaturu $T = 20^\circ\text{C}$).

Merna sprega	U_{AC} [kV _{50Hz}]	Merenje (1) $T = 20^\circ\text{C}$		Merenje (2) $T = 20^\circ\text{C}$	
		Kapacitet C_x [nF]	$tg\delta$ [%]	Kapacitet C_x [nF]	$tg\delta$ [%]
VN+SN – TN(M)	10	8.48	0.755	8.43	0.21
VN+SN – M (TN)	5	8.33	1.284	8.43	0.23
VN+SN – M (TN)	10	8.33	1.510	8.34	0.28
TN – M (VN+SN)	5	28.75	0.559	28.33	0.26

Rezultati ispitivanja C i $tg\delta$ provodnih izolatora 400kV i 220kV, kao i merenja otpornosti namotaja i prenosnog odnosa nakon ispada nemaju znatnih promena u odnosu na merenja prilikom prethodnog redovnog ispitivanja, stoga ih u okviru ove analize nećemo razmatrati.

Slede rezultati merenja induktivnosti usled rasipanja koje je obavljeno uz napajanje namotaja na strani visokog napona (400kV) uz kratkospojene izvode na strani srednjeg napona (231kV), odnosno namotaja tercijera (31.5kV). U Tabelama III i IV mogu se uporediti rezultati merenja nakon ispada transformatora sa rezultatima ranijih ispitivanja.

Tabela III: Rezultati merenja induktivnosti usled rasipanja uz kratak spoj SN+N nakon ispada - merenje (1) i prilikom prethodnog redovnog ispitivanja - merenje (2)

Induktivnost usled rasipanja L_x [mH] pri kratkospojenom sekundarnom namotaju (položaj regulatora - 2)				
Napajano:	A – N	B – N	C – N	δL_{ABC}^* [%]
Merenje (1)	148.1	148.8	148.1	0,317
Merenje (2)	147.8	149.2	148.6	0,491

* δL_{ABC} – maksimalno relativno međufazno odstupanje izmerenih induktivnosti

Tabela IV: Rezultati merenja induktivnosti usled rasipanja uz kratak spoj TN+N nakon ispada - merenje (1) i prilikom prethodnog redovnog ispitivanja - merenje (2)

Induktivnost usled rasipanja L_x [mH] pri kratkospojenom tercijernom namotaju (položaj regulatora - 2)				
Napajano:	A – N	B – N	C – N	δL_{ABC}^* [%]
Merenje (1)	681.8	680.4	682.6	-0,176
Merenje (2)	674.7	673.3	676.1	-0,207

* δL_{ABC} – maksimalno relativno međufazno odstupanje izmerenih induktivnosti

Vrednosti struja praznog hoda pri sniženom naponu (Tabela V) izmerene po fazama namotaja visokog napona, su u skladu sa rezultatima ranijih merenja, uz pravilne međufazne odnose tako da se može zaključiti da nema međunavojnih kratkih spojeva unutar namotaja, kao ni grubih oštećenja u magnetnom jezgru transformatora.

Tabela V: Rezultati merenja struja praznog hoda nakon ispada - merenje (1) i prilikom prethodnog redovnog ispitivanja - merenje (2)

	Položaj reg:	Faza: A		Faza: B		Faza: C	
		U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
Merenje (1)	2	250	6.4	250	4.3	250	5.3
Merenje (2)	2	250	5.5	250	3.1	250	3.9

Na licu mesta je urađena i gasnohromatografska analiza (GHA) rastvorenih gasova u uzorku ulja iz suda transformatora [7]. Rezultati GHA nakon ispada jasno ukazuju na postojanje kvara unutar transformatora, a u Tabeli VI prikazani su rezultati GHA:

Tabela VI: Rezultati GHA uzorka ulja iz suda transformatora.

Temperatura ulja - $T = 40^\circ\text{C}$									
gas	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	H ₂ O	TDCG*
ppm	1513	231	847	3442	385	83	493	10	3586

*TDCG – Total Dissolved Combustible Gas – ukupna količina rastvorenih zapaljivih gasova

2.2 Analiza stanja ET nakon ispada

Nakon havarijskog isključenja transformatora delovanjem sopstvenih zaštita, posle izvršenih električnih ispitivanja i GHA, može se zaključiti da je došlo do drastičnog pogoršanje stanja izolacionog sistema, posebno u mernoj sprezi VN+SN – M, kako pri merenju otpornosti izolacije, tako i pri merenju C i $tg\delta$. Gasnohromatografska analiza ulja ukazuje na to da je u transformatoru došlo do električnog pražnjenja velike gustine energije.

Poređenjem prethodnih merenja induktivnosti usled rasipanja sa merenjima nakon ispada, i s obzirom na odstupanja (δL_{ABC}) po fazama koja su u dozvoljenim granicama, može se zaključiti da nije došlo do značajne deformacija ili poremećaja geometrije namotaja koja bi se mogla ovom metodom ustanoviti.

Iz merenja struja praznog hoda pri sniženom naponu, koje se ne razlikuju od rezultata prethodnih merenja, zaključeno je da nije došlo do međunavojnih kratkih spojeva unutar samih namotaja, kao ni do grubih oštećenja u magnetnom jezgru transformatora.

Analizom delovanja diferencijalne zaštite može se zaključiti da je kvar, odnosno električno pražnjenje nastalo u fazi „8“ (faza „C“).

Odlučeno je da se transformator ne sme stavljati u pogon, i da je potrebno uraditi dalju defektažu u fabrici transformatora.

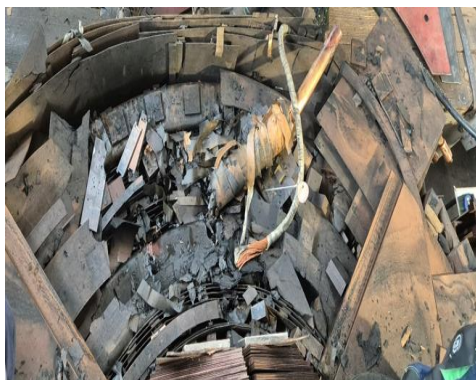
2.3 Kratak opis defektaže iz fabrike

Kao primarno, locirano je oštećenje u gornjoj zoni SN namotaja u fazi „C“, u zoni izvoda namotaja SN (231kV) koje se manifestuje termičkom degradacijom papirne izolacije provodnika, izolacionih elemenata, pritezenih segmenata i šanta u zoni delovanja električnog luka.

Kao posledica elektrodinamičkih sila kalota provodnog izolatora je otpala, ali na istoj nema tragova električnog pražnjenja.

Ostala oštećenja su praktično posledica primarne havarije i delovanja elektrodinamičkih sila, što je za posledicu imalo oštećenje međunamotajnih obloga i izolacionih cilindara, pre svega na fazi „C“, a u manjoj meri i na ostalim fazama.

Na slici 2, prikazano je stanje aktivnog dela transformatora nakon demontaže ploče. Ustanovljeno je da je kvar nastao na stubu faze „C“:



Slika 2: Aktivni deo, faza „C“

3 ISPITIVANJE, DIJAGNOSTIKA I ANALIZA STANJA ET 20 MVA [5]

U transformatorskoj stanici (TS) 400/110/35kV [8] došlo je do ispada energetskog transformatora 110/36.75/10.5kV, snage 20MVA delovanjem osnovne zaštite transformatora Buholc rele - isključenje [5]. Ostale zaštite nisu reagovala. Potvrđeno je prisutvo gasova u Buholc releu prilikom ozračivanja.

Donesena je odluka da se uradi ispitivanje transformatora.

3.1 Ispitivanje ET nakon ispada

Isvršena su sva potrebna dijagnostička ispitivanja na transformatoru [2] posle ispada zbog delovanja Buholc zaštite. Rezultati ispitivanja su prikazani u Tabeli VII.

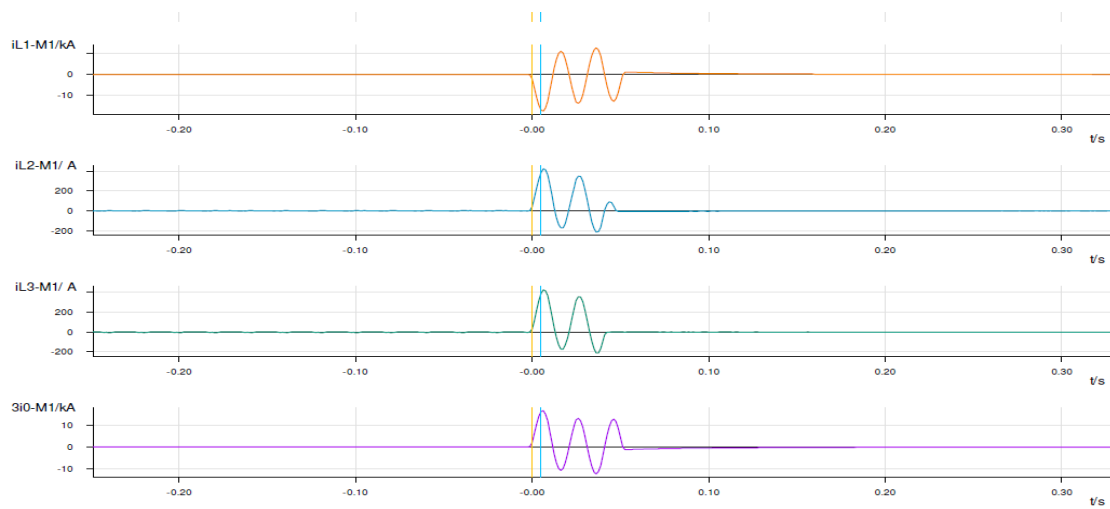
Tabela VII: Rezultati ispitivanja ET nakon ispada

TS 400/110/35kV- ET 20/20/6.5 MVA, 110/36.75/10.5kV, fab.br. 334030							
Merenje otpora izolacije pri $U_{DC} = 5kV$				Merenje omskih otpora pri $I = 8A$			
[MΩ]	R_{15}	R_{60}	R_{60}/R_{15}	VN	A - N	B - N	C - N
VN-SN (TN+M)	1900	3450	1.81	[mΩ]	1295	1360	1332
NN-TN (VN+M)	1050	1700	1.62	SN	mA - mN	mB - mN	mC - mN
VN-M (SN+TN)	2300	3120	1.36	[mΩ]	124.1	124.4	124.5
SN-M (VN+TN)	8000	10100	1.26	TN	a - b	a - c	b - c
TN-M (VN+SN)	1000	1700	1.70	[mΩ]	99.4	103.7	99.9
Merenje struja praznog hoda pri $U = 250V$				Merenje induktivnosti			
VN	A - N	B - N	C - N	VN-SNks	A - N	B - N	C - N
[mA]	13	11	19	[mH]	254.8	250.8	251.4
SN	mA - mN	mB - mN	mC - mN	VN-TNks	A - N	B - N	C - N
[mA]	77	66	83	[mH]	702.9	695.9	700.4
TN	a - b	a - c	b - c	SN-TNks	mA - mN	mB - mN	mC - mN
[mA]	172	212	215	[mH]	42.3	42.2	42.2
Napomena: položaj regulacije 5, temperatura $T = 27^{\circ}C$							

Posle svih izvršenih dijagnostičkih ispitivanja, na osnovu poređenja sa redovnim ispitivanjem transformatora iz 2021. godine, i analizom dobijenih rezultata, konstatovano je da nema indikacija da je došlo do njegovog oštećenja, pa je zaključeno da se transformator pusti u prazan hod. Prilikom uključenja prekidača 110kV, transformator je bio u praznom hodu 7 sekundi, nakon čega je došlo do eksplozije uvodnog izolatora 110kV u fazi „A“ (faza „0“). Signali prilikom ponovnog ispada transformatora su sledeći:

- Diferencijalna zaštita - isključenje;
- Faza „0“ - zemljospoj;
- Kratkospojna zaštita - isključenje;
- Kućišna zaštita - isključenje.

Na Slici 3 prikazan je dijagram struja nakon ispada transformatora:



Slika 3: Dijagram struja

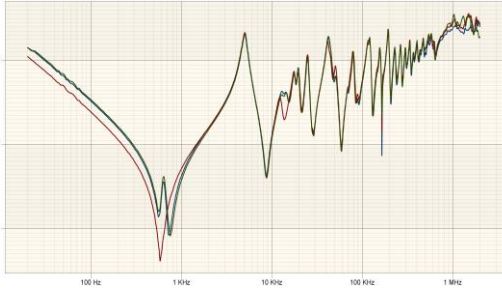
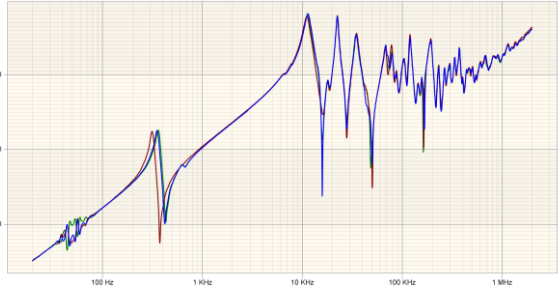
Na Slici 4 prikazan je havarišan provodni izolator:



Slika 4: Havarisan provodni izolator

Nakon demontiranja havariisanog provodnog izolatora ponovljena su dijagnostička ispitivanja. Rezultati ispitivanja dati su u Tabeli VIII.

Tabela VIII: Rezultati ispitivanja ET nakon havarije provodnog izolatora

TS 400/110/35kV- ET 20/20/6.5 MVA, 110/36.75/10.5kV, fab.br. 334030										
Merenje otpora izolacije pri $U_{DC} = 5kV$					Merenje omskih otpora pri $I = 8A$					
[M Ω]	R_{15}	R_{60}	R_{60}/R_{15}		VN	A - N	B - N	C - N		
VN-SN (TN+M)	3300	5480	1.66		[m Ω]	1259	1237	1247		
SN-TN (VN+M)	5300	6450	1.22		SN	mA - mN	mB - mN	mC - mN		
VN-M (SN+TN)	2100	2920	1.39		[m Ω]	119.5	119.7	119.8		
SN-M (VN+TN)	19300	25300	1.31		TN	a - b	a - c	b - c		
TN-M (VN+SN)	1780	2620	1.47		[m Ω]	95.5	95.4	94.9		
Merenje struja magnećenja pri $U = 250V$					Merenje induktivnosti					
VN	A - N	B - N	C - N		VN-SNks	A - N	B - N	C - N		
[mA]	21	10	13		[mH]	254.0	250.0	250.1		
SN	mA - mN	mB - mN	mC - mN		VN-TNks	mA - mN	mB - mN	mC - mN		
[mA]	90	63	79		[mH]	698.0	692.7	695.9		
TN	a - b	a - c	b - c		SN-TNks	mA - mN	mB - mN	mC - mN		
[mA]	175	222	219		[mH]	42.1	42.4	42.5		
Nivo	TDCG	H2	CH4	C2H4	C2H6	C2H2	CO	CO2	H2O	Up [kV/cm]
D	415	24	13	41	36	16	285	2386	12	320
SFRA OC* (A-N, B-N, C-N)					SFRA CIW* (A-mA, B-mB, C-mC)					
										

Napomena: položaj regulacije 5, temperatura $T = 17^{\circ}C$

*SFRA OC - open circuit FRA connection scheme - šema merenja sa otvornemim SN namotajem

*SFRA CIW - Capacitive inter-winding FRA connection scheme - šema merenja između VN i SN namotaja

Na osnovu rezultata ponovljenih električnih ispitivanja nakon havarije provodnog izolatora ne može se ustanoviti priroda kvara, kao ni obim. Urađena je gasnohromatografska analiza gasova rastvorenih u ulju [7], nakon prvog isključenja i nakon ponovnog uključenja, odnosno isključenja. U Tabeli IX se nalaze rezultati analize gasova u ulju ET.

Tabela IX: Rezultati gasnohromatografske analize ulja pre i posle uključenja

Pojedinačne koncentracije gasova, ppm									
H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	O ₂	N ₂	Ocena
14	7	192	1674	23	4	6	17700	47867	A
14	7	198	1691	24	4	7	17914	50348	A

Rezultati ispitivanja sadržaja gasova rastvorenih u ulju pre i posle uključenja transformatora ne pokazuju značajno odstupanje u nivou koncentracije gasova kvara. Izmerene koncentracije gasova su najverovatnije posledica rada transformatora pod uobičajenim pogonskim uslovima.

4 ZAKLJUČAK

U slučaju havarijskog dijagnostifikovanja, kada se stanje transformatora nakon otkaza ne može sa sigurnošću utvrditi, a neophodno ga je što preciznije odrediti jer od toga zavisi dalji postupak uključenja, popravke ili zamene, potrebno je minimizirati mogućnost pogrešne procene. Tačnost dijagnoze u takvim situacijama od suštinskog je značaja, jer može uticati kako na opštu bezbednost, tako i na pouzdanost prenosnog sistema, trajanje zastoja i troškove sanacije.

Upravo zato, ključno je prikupiti što tačniju hronologiju događaja, analizirati ponašanje transformatora u trenutku kvara, kao i njegovo prethodno stanje i radne parametre. Ovi podaci su bitni da bi se obezbedila što pouzdanija procena mogućeg uzroka kvara ili oštećenja, što zatim omogućava prilagođavanje strategije ispitivanja i planiranje daljih koraka u otklanjanju problema. Međutim, treba napomenuti da dobar uvid u stanje transformatora ne znači nužno potrebu za ekstremnom tačnošću rezultata pojedinačnih merenja, već je od presudnog značaja njihova pouzdanost i doslednost u analizi.

U prenosnom sistemu, brzina dijagnostifikovanja je od posebne važnosti, jer je često neophodno u što kraćem roku identifikovati uzroke ispada energetskog transformatora kako bi se što pre omogućilo njegovo ponovno uključenje u rad da bi se obezbedila potpuna stabilnost prenosne mreže, i eventualno izbegli duži prekid u snabdevanju električnom energijom.

Osim samog transformatora, neophodno je izvršiti i proveru ispravnosti ostale opreme koja nije njegov sastavni deo, ali je ključna za njegov siguran rad. Tu se, pre svega, misli na zaštitne sisteme, sisteme hlađenja, odvodnike prenapona i druge povezane komponente, čija eventualna neispravnost može izazvati kvar ili otežati detekciju problema.

4.1 Primeri iz prakse

U slučaju transformatora iz tačke 2, sprovedena ispitivanja, analiza rezultata merenja i aktiviranje zaštitnih sistema omogućili su sa visokim stepenom sigurnosti preciznu procenu stanja transformatora. Na osnovu dostupnih podataka, utvrđena je njegova neispravnost za dalji rad, što je naknadno potvrđeno i detaljnom defektažom u fabrici. Ovaj primer pokazuje kako dobro sprovedena analiza može dovesti do ispravne odluke i sprečiti potencijalno veće havarije ili neplanirane prekide rada sistema.

Sa druge strane, slučaj transformatora iz tačke 3. pokazuje koliko procena stanja opreme može biti izazovna. Na osnovu ispitivanja i analize rezultata merenja, transformator je delovao ispravno, bez vidljivih indikacija kvara. Međutim, ubrzo nakon njegovog ponovnog uključenja u režim praznog hoda, došlo je do havarije - eksplozije uvodnog izolatora.

Otežavajuća okolnost u ovom slučaju bila je činjenica da uvodni izolator nije imao izvod za ispitivanje, što je onemogućilo prethodnu proveru njegove ispravnosti i eventualnu identifikaciju potencijalnog problema.

Ovaj događaj jasno ukazuje da procena stanja transformatora i prateće opreme na osnovu standardnih ispitivanja ponekad može biti izuzetno složen zadatak sa neizvesnim ishodom. Čak i u slučajevima kada rezultati merenja ukazuju na ispravnost uređaja, određeni skriveni faktori ili ograničenja u metodologiji ispitivanja mogu dovesti do nepredviđenih havarija. Stoga je neophodno kontinuirano unapređivati metode dijagnostike i osigurati da svi ključni elementi opreme budu adekvatno provereni pre ponovnog puštanja u rad.

5 LITERATURA

- [1] SRPS EN 60076 – 1: 2012 Energetski transformatori. Deo 1: Opšte
- [2] Elektromreža Srbije AD - Interni Standard IS-EMS 402-2021 - Energetski transformatori - ispitivanja i kontrole u pogonu
- [3] Elektromreža Srbije AD - Interni Standard IS-EMS 423-2023 - Kvantitativna ocena stanja energetskih transformatora prenosne mreže preko indeksa zdravlja
- [4] A. Popović, Metodologija ispitivanja za utvrđivanje stanja velikih energetskih transformatora u pogonu, Magistarski rad
- [5] Elektromreža Srbije AD - Interni Standard IS-EMS 703-2021 - Zaštita energetskih transformatora
- [6] Izveštaj o ispitivanju T4 u TS 400/220/110kV Novi Sad 3
- [7] Elektromreža Srbije AD - Interni Standard IS-EMS 421-2022 - Mineralna izolaciona ulja za primenu u visokonaponskoj opremi
- [8] Izveštaj o ispitivanju T3 u TS 400/110/35kV Srbobran T3