

Tomislav Kelemen
Končar – Institut za elektrotehniku d.d.
Boris Rubeša
Zoran Martinović
Marino Radošević
Kristijan Sirotnjak
HEP - Prijenos d.o.o., PrP Opatija
Nikola Jaman
HEP - Prijenos d.o.o., PrP Osijek

A2 – 12

ISPITIVANJE AUTOTRANSFORMATORA 150 MVA, 220/115/10.5 kV U TS MELINA NAKON PRORADE DIFERENCIJALNE ZAŠTITE

SAŽETAK

Autotransformator AT5, 150 MVA, 220/115/10,5 kV u transformatorskoj stanici MELINA ispaio je iz pogona dana 13.04.2002. djelovanjem diferencijalne zaštite, za vrijeme grmljavine. Zabilježena je prorada odvodnika na VN strani u fazi B. Terenska ispitivanja niskim naponom (400V) nisu pokazala znakove oštećenja na transformatoru. Rezultati analize transformatorskog ulja ukazivali su da je došlo do električnog proboja kroz ulje. Da bi se sa sigurnošću moglo prosuditi o mjestu i veličini kvara te opravdanosti skupog prijevoza transformatora u tvornicu, provedena su dodatna ispitivanja naponom iz mreže 110 kV. U prvom pokusu napajana je jedna zdrava faza transformatora na 110 kV strani. Mjereni su fazni naponi, da bi se provjerila raspodjela magnetskih tokova. Pristupilo se zatim drugom pokusu, u kojem je autotransformator u praznom hodu napajan trofazno, sa strane 110 kV iz generatora i blok transformatora u hidroelektrani VINODOL. Napon je podizan postupno. Do ponovnog proboja izolacije transformatora došlo je pri 58 % U_n , što je definitivno potvrdilo postojanje kvara. Pregledom u tvornici nađeno je oštećenje u regulacijskom namotu faze B.

Ključne riječi: Transformator, ispitivanje na terenu

SITE TESTING OF 150 MVA 220/115/10.5 kV AUTOTRANSFORMER UPON AKTIVATION DIFFERENTIAL PROTECTION

SUMMARY

Autotransformer AT5, 150 MVA, 220/115/10.5 kV in MELINA substation was switched off by differential protection during thunderstorm occurring on 13 April 2002. The activation of lightning arrester in phase B on HV side was recorded. Site low voltage testing (400 V) did not indicate any damages of the transformer. Analysis results of the transformer oil proved occurrence of power follow-through in the oil. Additional testing, with 110 kV voltages, was performed to examine the place and size of damage and to justify expensive transportation of the transformer to the factory. Only one phase of the transformer was energised at 110 kV side during the first test. The phase voltages were measured to check distribution of magnetic flows. In the second test the three phases of unloaded transformer were energised from 110 kV side by the generator and transformers block of the VINODOL hydro power plant. The voltage was increased gradually. There was a breakdown of insulation at 58% of nominal voltage, thus definitely

indicating occurrence of the damage. The visual inspection in the factory proved existence of a damage in the regulation coil of the phase B.

Key words: Transformer, testing on site

1. UVOD

Nakon ispada autotransformatora 150 MVA 220/115/10,5 kV u TS Melina dana 13.04.02. zbog djelovanja diferencijalne zaštite, ekipa Končar-Instituta za elektrotehniku provela je standardna terenska ispitivanja transformatora i nije utvrdila nikakve abnormalnosti. Također, ekipa Instituta za elektroprivredu i energetiku provela je ispitivanje stranim naponom iz prijevozne ispitne stanice (80 kV u trajanju 1 minutu). Kromatografska analiza plinova iz ulja ukazivala je na tragove električnog luka kroz ulje. Budući da je nekoliko dana prije kvara na transformatoru u fazi B zamijenjen Micafilov provodni izolator 110 kV s Končarevim i kako je zabilježena prorada nadstrujne zaštite upravo u fazi B, dogovoreno je, da se izolator izvadi i kroz otvor u poklopcu pogleda ima li tragova luka. Nakon ispuštanja odgovarajuće količine ulja izolator je skinut i pregledan, a pregledana je, koliko je to bilo moguće i izolacija, te noseća konstrukcija izvoda. Nisu nađeni nikakvi tragovi luka. Provodni izolator je zatim ponovo ugrađen.

U razgovoru s dežurnim uklopničarom dobivena je informacija kako je te noći, u vrijeme kada se dogodio kvar, bilo jako nevjerojatno s grmljavinom. Zato su dana 24.04.2002. očitana stanja brojača svih odvodnika prenapona na VN i SN strani autotransformatora i uspoređena s prethodnim očitanjima. Budući da je autotransformator izvan pogona od trenutka kvara očitane se vrijednosti odnose na datum 13.04.2002. Rezultat je prikazan u tablici I. iz koje se vidi da je u vremenu između 3. i 13.04.2002. proradio odvodnik u fazi B na VN strani.

Tablica I. Zapisi o stanju brojača prorade odvodnika prenapona na VN i SN strani

faza	A	B	C	mA	mB	mC
stanje 13.04.2002.	030	027	026	036	047	037
stanje 03.04.2002.	030	026	026			
stanje 06.03.2002.				036	047	037

Uvidom u zapis kronološkog registratora događaja (KRD), ustanovljeno je da se pobuda nadstrujne zaštite dogodila na VN strani transformatora. Osim djelovanja diferencijalne i nadstrujne zaštite KRD je zabilježio i proradu Buchholz releja, najprije u drugom stupnju (protok), a zatim i u prvom stupnju (plin), ali odušnik nije proradio. Primijećeno je također da je poklopac kotla transformatora blago nadignut, ali radnici HEP-a koji su radili na transformatoru tvrde da je poklopac i prije kvara bio tako nadignut, ali možda u manjoj mjeri. Interesantno je također da je na poklopcu između izvoda A i B u blizini poklopca otvora za vezni vijak, nekoliko dana nakon kvara, zapažena oveća mrlja od transformatorskog ulja, koje tamo dana 13.04.2002. nije bilo. Vjerojatno je prilikom kvara oštećena brtva, pa je ulje postupno isteklo.

2. PROCJENA STANJA TRANSFORMATORA

Kada se povežu sva navedena zapažanja može se zaključiti slijedeće:

- Za vrijeme kvara bila je grmljavina i brojač na odvodniku prenapona na 220 kV strani, u fazi B, zabilježio je njegovu proradu;
- Prenapon je izazvao unutarnji preskok u transformatoru, na koji se nadovezao i luk zbog izmjeničnog napona, koji je registrirala nadstrujna zaštita, a također i Buchholz relej u drugom stupnju;
- Diferencijalna zaštita djelovala je efikasno i isključila kvar;
- Od posljedica luka, plinovi su se nakupili u Buchholz releju i signalizirali pojavu plina;
- Odušnik nije reagirao jer je bio zasjenjen jezgrom (nalazi se na SN strani transformatora).

Budući da standardna kontrolna ispitivanja nisu ukazala na postojanje kvara, postoji mogućnost da je prenapon izazvao preskok kroz ulje prema masi (kotlu, stezniku). U tom slučaju postoje izgledi da

se kvar otkloni na terenu. S obzirom na veliku razliku u troškovima između prijevoza u tvornicu i saniranja kvara na terenu, ako se to pokaže mogućim, dogovoreno je skidanje VN provodnika u fazi B i promatranje aktivnog dijela kroz otvore na poklopcu transformatora. Nakon toga bi trebalo donijeti odluku o popravku na terenu ili prijevozu u tvornicu. Budući da je taj korak vrlo važan u smislu kvalitetne dijagnoze, provedena je kvalitetna priprema i okupljen konzilij stručnjaka iz Končar-Instituta za elektrotehniku, HEP-a i tvornice, te je dana 07.05.2002. napravljen novi pregled.

Ulje iz gornjeg dijela kotla autotransformatora ispušteno je u posebnu cisternu, izvađen je 220 kV provodni izolator u fazi B i otvoreni pomoćni otvori na poklopcu kotla. Nisu uočeni nikakvi tragovi luka u dijelu koji se mogao vidjeti. Tragovi nisu uočeni niti na provodnom izolatoru, tako da se pouzdano može tvrditi kako se nije dogodio direktni preskok s provodnog izolatora prema namotima i uzemljenim dijelovima.

Da se kvar dogodio, nedvojbeno potvrđuje više pokazatelja (diferencijala zaštita, nadstrujna zaštita, Buchholz u prvom i drugom stupnju, kromatografija), ali ozbiljnost kvara ne potvrđuje niti jedno provedeno ispitivanje. Provedena ispitivanja, položaj i osjetljivost pojedinih namota na prenapone atmosferskog porijekla vode, prema pretpostavci da je došlo do proboja bilo u regulacijskom namotu (takav je slučaj već registriran na transformatoru istog tipa također u TS Melina), bilo preskoka na regulacijskoj sklopki. Budući da na transformatoru nema revizijskih otvora, ti dijelovi transformatora nisu bili dostupni za pregled.

3. DILEME NAKON PROCJENE STANJA

Ako se kvar dogodio u namotu, velika je vjerojatnost da će se ponovnim stavljanjem pod napon kvar prije ili kasnije proširiti. Naime, uključenjem transformatora na nazivni napon, napon na mjestu kvara bio bi najmanje 26 puta veći od napona kojim je provedeno ispitivanje spoja među zavojima (najviši inducirani napon postiže se ispitivanjem izmjeničnim naponom 400 V, 50 Hz sa strane tercijara pri čemu se u serijski spojenim SN i VN namotima inducira tek 4838 V, ili nepunih 4% odgovarajućeg nazivnog faznog napona).

Međutim, ako se dogodio preskok u ulju, recimo sa regulacijske sklopke prema masi (nije bilo preskoka između faza, reagirala je nadstrujna zaštita samo u fazi B), onda postoje izgledi da stavljanjem pod napon, transformator nastavi raditi bez poteškoća. Pritom bi bilo korisno staviti kvalitetniji odvodnik prenapona (ostatni napon metal-oksidnih odvodnika znatno je niži nego kod klasičnih odvodnika).

Prijevoz transformatora u tvornicu, popravak i uobičajena poboljšanja koja se tom prilikom provode neće proći bez 20 do 30% cijene novog transformatora. To nisu mala sredstva i to je razlog dilemama. Istina, najmanje je rizično prevesti transformator u tvornicu, pronaći kvar i otkloniti ga i usput revitalizirati transformator. Sredstva uložena u obnavljanje transformatora nisu bačena. Problem je ako ih nema ili ako su prijeko potrebna za druge namjene.

4. RAZMATRANE METODE DODATNOG ISPITIVANJA

U ovom poglavlju navedene su ideje kako bi se drugim ispitnim metodama moglo doći do potpunije informacije o kvaru transformatora.

4.1. Otvaranje revizijskog otvora na kotlu

Na kotlu se može otvoriti revizijski otvor. Za to je potrebno ispustiti svo ulje i pripremiti okvir s poklopcem, koji bi se nakon otvaranja revizijskog otvora, navario na kotao. Prije donošenja odluke, trebalo bi dobro provjeriti konstrukciju i vidjeti da li u transformatoru postoje izolacijski zasloni koji bi mogli onemogućiti pregled transformatora. Ideja je zabilježena kao izvediva, ali se od nje odustalo. Ideja bi mogla poslužiti kao podsjetnik, da na velikim transformatorima već prilikom nabave, treba misliti na revizijske otvore.

4.2. Ispitivanje induciranim naponom iz posebnog izvora promjenjivog napona

Ispitivanje induciranim naponom na terenu izveo je ENEL (ITALIJA) prije 15 do 20 godina u Sloveniji, u TS Berićevo, na transformatoru 400 MVA, sa pokretnim izvorom povišene frekvencije. Iz prvih informacija od kolega iz Slovenije, dalo se naslutiti da je takvo ispitivanje relativno skupo. Drugi način je napajanje autotransformatora iz neke od elektrana (npr. HE Senj ili HE Vinodol) na način da se generatorom preko transformatora i dalekovoda, napon autotransformatora postupno podiže do npr. 1,1 Un. Ova ideja je prihvaćena kao izvediva.

4.3. Ispitivanje naponom iz mreže 110 i 220 kV u TS Melina

Kada se zna u kojoj fazi se dogodio kvar, može se napajanjem jedne zdrave raspoloživim mrežnim faznim naponom i mjerenjem napona u namotima na sva tri stupa doći do zaključaka o intenzitetu kvara. Zato je predloženo da se u prvom pokusu jedna od zdravih faza (A ili C) autotransformatora s VN strane priključi na fazni napon $110/\sqrt{3}$ kV ($110/\sqrt{3}=63,5$ kV). Ako se, naime, napon dovede na fazu A, preostale faze B i C će u tom slučaju međusobno podijeliti magnetski tok faze A, pri čemu će fazi B prostorno bližoj, pripasti nešto više toka a time i inducirani napon, koji bi mogao iznositi oko 35 do 38 kV. Na taj način postiže se skoro za red veličine viši inducirani napon od već spomenutog u poglavlju 3. Taj napon nije opasan, jer ako se na mjestu kvara i dogodi proboj, on ne može nanijeti štetu, jer je već i mala struja kvara dovoljna da potisne magnetski tok iz faze B prema fazi C. Iz toga slijedi da za ovaj prvi pokus treba pažljivo mjeriti struju magnetiziranja u fazi A i napone osobito u nenapajanim fazama A i C. Ako se u tom prvom pokusu kvar ne pokaže, u drugom pokusu priključile bi se sve tri VN faze (A, B i C) na trofazni izvor napona 110 kV, kojom prilikom će oštećena faza dobiti polovinu nazivnog napona tj. 63,5 kV. Ako i drugi pokus prođe bez posljedica prešlo bi se na treći pokus, trofazno priključivanje autotransformatora na napon 220 kV sa VN strane. Regulacija bi pritom bila u položaju +15%, pa ako se ni tada ništa ne dogodi, indukcija bi se regulacijskom sklopkom postupno, od oko 87% Bn dizala do oko 110% Bn. Ako i treći pokus prođe bez posljedica, transformator bi se ostavio u praznom hodu sa VN strane tijekom 36 sati, s tim da se svakih 12 sati uzimaju uzorci za kromatografiju. Ako se stanje bude pogoršavalo s transformatorom treba ići u tvornicu a ako ne, može se razmišljati o opterećivanju autotransformatora uz pojačani nadzor, i ugradnju metal - oksidnih odvodnika, barem u fazi B na VN i SN strani.

5. DODATNO ISPITIVANJE TRANSFORMATORA U TS MELINA

Dodatno ispitivanje autotransformatora obavljeno je dana 23.05.2002., metodama opisanim u poglavljima 4.2. i 4.3. ovog rada. Program ispitivanja predložen je i obrazložen u dokumentu N-95A006. Iz praktičnih razloga, odlučeno je da se jednofazno ispitivanje naponom $110/\sqrt{3}$ kV provede sa SN strane umjesto s VN strane. Time oštećena faza već u prvom koraku dobija dva puta veći napon od predloženog načina ispitivanja u poglavlju 4.3. Postignut je i dogovor s HE Vinodol, da se pokus može provesti postupnim dizanjem napona s generatorom G3 snage 35 MVA (g. Bjelobrajić).

Konačno program ispitivanja za dan 23.05.2002. sastojao se iz slijedeća tri pokusa:

Pokus 1: jednofazno uključanje faze A autotransformatora sa SN strane u prazni hod pri nazivnom naponu i mjerenje napona putem mjernih transformatora na SN i VN strani i mjerenje struje u fazi A putem strujnog mjernog transformatora omjera transformacije 1500/1 A na SN strani.

Pokus 2: trofazno napajanje autotransformatora sa SN strane iz generatora u HE Vinodol preko odgovarajućeg blok transformatora, postupnim podizanjem napona do 1,1 Un. Ovo ispitivanje dolazi u obzir ako predhodno ispitivanje ne pokaže da je transformator u kvaru.

Pokus 3: trofazno napajanje autotransformatora u praznom hodu sa VN strane tijekom najmanje 36 sati uz uzimanje uzoraka ulja za kromatografiju svakih 12 sati. Ovo ispitivanje dolazi u obzir ako ispitivanje u drugom pokusu ne pokaže da je transformator u kvaru.

5.1. Jednofazno uključanje faze A transformatora sa 110 kV strane na nazivni napon

Pri jednofaznom napajanju, magnetski tok faze A se dijeli kroz ostale stupove, pri čemu veći dio toka treba očekivati kroz srednji stup B, a manji kroz udaljeniji stup C. Prema gruboj procjeni očekivana

raspodjela tokova, pa prema tome i induciranih napona, je 55 do 60% u fazi B i 45 do 40% u fazi C. Dođe li do proboja na mjestu kvara, očekuje se da će amperzavoji kvara potisnuti tok iz faze B prema fazi C što će se vidjeti iz faznih napona na SN i VN strani. Ti amperzavoji ne mogu biti veliki i reda su veličine amperzavoja magnetiziranja, te je ispitivanje, uz uvjet da kvar nije u fazi koja se priključuje na napon, sasvim bezopasno.

Fazni napon iznosa 66 kV narinut je sa SN strane na fazu A i naponski mjerni transformatori su pokazali sljedeće vrijednosti, date u tablici II :

Tablica II: Izmjereni naponi prilikom napajanja faze A

AUTOTRANSFORMATOR	IZMJERENI NAPON		
	Izvod mA	Izvod mB	Izvod mC
AT5, TS Melina	66 kV ili 100 %	31 kV ili 47 %	35 kV ili 53 %

Pokus je ponovljen tako da je umjesto faze A, napajana faza C i dobiveni su identični (simetrični) rezultati. Rezultat upućuje na zaključak da je kvar u namotu faze B, ali se činilo neobičnim da amperzavoji kvara nisu snažnije potisnuli tok iz srednje faze. Budući da omjeri raspodjele po nenapajanim ispravnim fazama nisu mjereni nego samo logički procjenjivani, moglo se očekivati da na raspodjelu utječu magnetski otpori spojeva stupova sa jarmom. Zato je odlučeno da se nastavi s pokusom br.2, tj. sa trofaznim napajanjem iz generatora u HE Vinodol.

Naknadno su provedena još tri mjerenja raspodjele tokova u trostupnoj jezgri pri napajanju krajnjeg stupa. Najprije je u PrP Osijek mjerenje provedeno na dva autotransformatora 150 MVA, 220/115/10,5 kV proizvodnje ASEA, a nakon popravka autotransformatora 150 MVA iz TS Melina provedeno je mjerenje u tvorničkoj ispitnoj stanici. Rezultati su navedeni u tablici III:

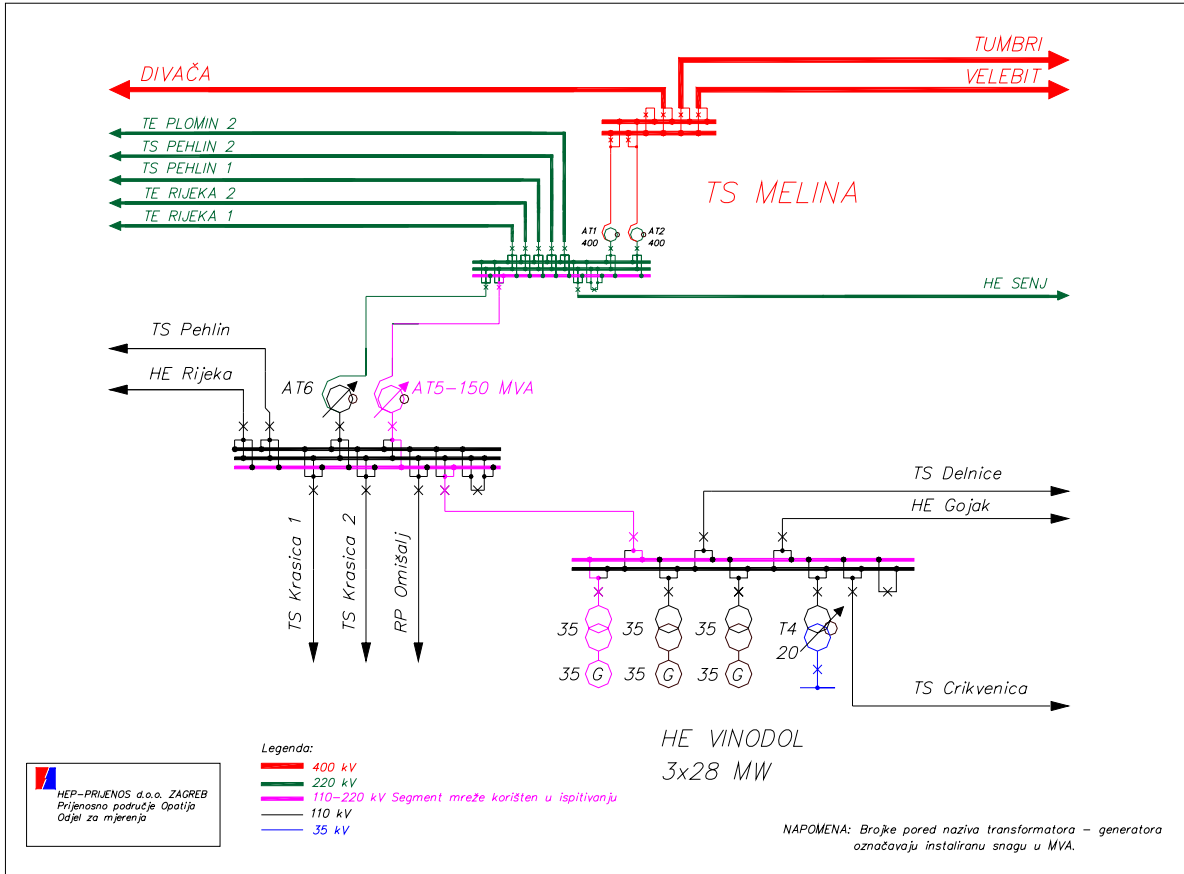
Tablica III: Izmjereni naponi prilikom napajanja faze A

AUTOTRANSFORMATOR	IZMJERENI NAPON		
	Izvod mA	Izvod mB	Izvod mC
AT1, TS Đakovo	66,7 kV ili 100 %	39,9 kV ili 60 %	29,5 kV ili 44 %
AT2, TS Đakovo	65,45 kV ili 100 %	42,9 kV ili 66 %	25,5 kV ili 39 %
AT5, TS Melina	64,5 kV ili 100%	42 kV ili 65%	28,2 kV ili 44%

5.2. Trofazno napajanje transformatora iz generatora u HE Vinodol

Pri ovom pokusu autotransformator je napajan sa SN strane iz generatora u HE Vinodol preko blok transformatora i dalekovoda Vinodol – Melina 110 kV. Jednopolna shema napajanja data je na slici 1. U funkciji su bile zaštite: diferencijalna (na 40% I_n), nadstrujna (na 140% I_n , 2 sekunde), Buchholz (upozorenje i isključenje).

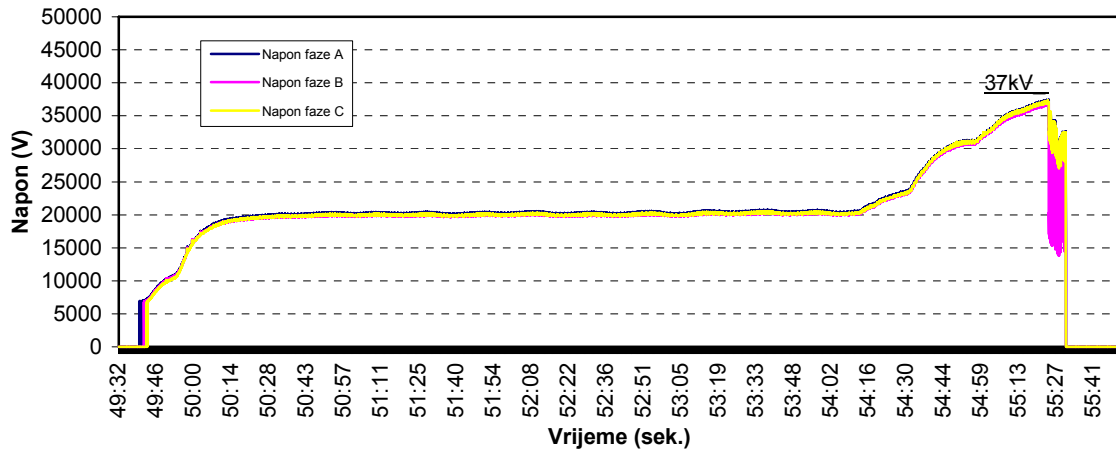
Pri nazivnoj frekvenciji, napon je postupno podizan najprije do 20 kV faznog napona nakon čega je ustanovljeno da su naponi simetrični, a struje magnetiziranja neznatne. Podizanje napona je zatim nastavljeno prema 40 kV faznog napona. Pri naponu 37 kV čula se buka iz transformatora i nakon nekoliko sekundi transformator je isključen djelovanjem Buchholz zaštite u drugom stupnju. Kronološki regulator događaja zabilježio je trajanje kvara od oko 4.5 sekunde i reakcije obje Buchholz zaštite. Buchholz upozorenje djelovalo je oko 1.2 sekunde prije isključenja. Zabilježeni naponi neposredno prije kvara te naponi i struje za vrijeme kvara na SN strani dani su u tablici IV., a snimke efektivnih vrijednosti prikazane su na slikama 2. i 3.



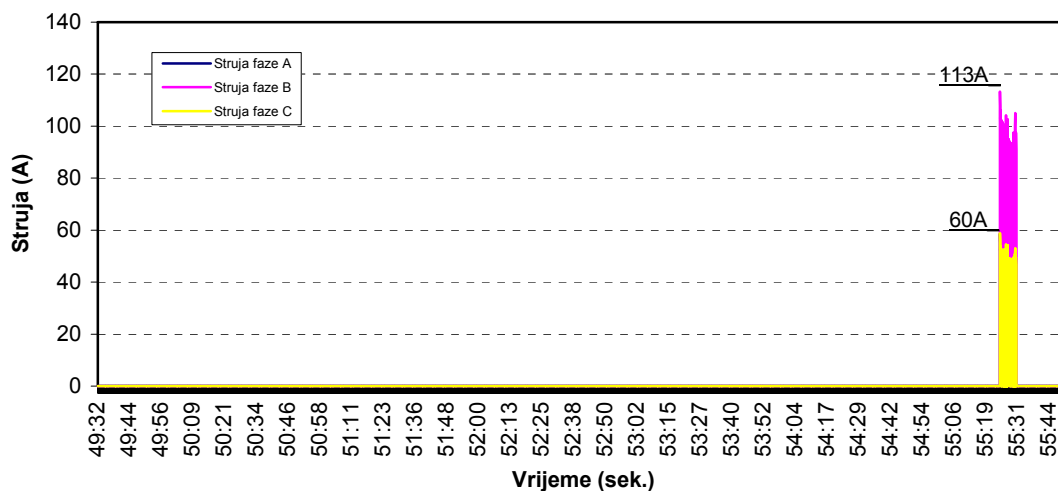
Slika 1. Napajanje transformatora AT5 u TS Melina generatorom G3 iz HE Vinodol

Tablica IV : Zabilježeni naponi neposredno prije kvara i struje i naponi za vrijeme kvara

Faza	Fazni napon na SN strani neposredno prije kvara [kVef]	Fazni napon na SN strani za vrijeme kvara [kVef]	Struje kvara na SN strani [A]
A	37	27	59
B	37	13.5	113
C	37	27	60



Slika 2. Efektivne vrijednosti napona po fazama transformatora AT5 za vrijeme kvara



Slika 3. Efektivne vrijednosti struja po fazama transformatora AT5 za vrijeme kvara

Nazivna struja autotransformatora na SN strani je 753 A. Struje kvara su prema tome u ispravnim fazama iznosile oko 8% I_n , a u fazi u kvaru oko 15% I_n , pa je normalno da diferencijalna i nadstrujna zaštita nisu djelovale.

U autotransformatoru 2ARZ 15000-245s, tv. br. 337037/1981 se dogodio kvar u fazi B koji se manifestirao kod oko 56% faznog napona (37 kV) i treba biti popravljen u tvornici.

Sličan iznos napona u fazi B očekivao se pri prvom pokusu kada je procjenjivano da se u stupu B očekuje 55 do 60% toka napajane vanjske faze u kojem slučaju bi inducirani napon u SN namotu faze B iznosio 36 do 40 kV. Izmjeren je međutim napon 31 kV. Za pouzdan zaključak da li je pri prvom pokusu došlo do propaljivanja na mjestu kvara nema dovoljno elemenata, iako prorada Buchholz releja u prvom stupnju prije drugog stupnja daje naslutiti da se propaljivanje, barem oko maksimuma napona ipak događalo.

6. POPRAVAK TRANSFORMATORA U TVORNICI

Transformator je prevezen u tvornicu i rastavljen. Pronađen je kvar u regulacijskom namotu (slika 4). Pri detaljnom pregledu utvrđene su i deformacije u sva tri SN namota koje su posljedica ranijih kratkih spojeva koje je autotransformator izdržao. Deformacije su nastale na mjestima prepleta paralelnih transponiranih vodiča (slika 5). Nastale deformacije nisu se mogle otkriti iz promjene rasipnih induktiviteta jer su te promjene pri takvoj vrsti deformacija relativno male. Odlučeno je da se zamjene svi SN namoti, s tim da se pri izradi tih namota prepleti izvedu na bitno kvalitetniji način, kakav je već nekoliko godina u primjeni.

7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Provedena ispitivanja ne primjenjuju se često. U ekipi koja ih je provela nitko nije imao prethodnih iskustava. Ispitivanje je provedeno brzo i kvalitetno. Treba reći da je to bilo moguće zahvaljujući temeljitim pripremama koje je napravila ekipa iz PrP Opatija.

Još jedno interesantno iskustvo stekli smo tijekom ovih ispitivanja. Prije otpreme transformatora na popravak provedeno je još jedno mjerenje raspodjele magnetskih tokova u trofaznoj jezgri pri napajanju samo jedne faze, ali sa niskim naponom. Skinuta je spojnica tercijara c-x i naponom od približno 22 V (cca 0.21% U_{3n}) napajan je jedan fazni namot tercijara na krajnjem, srednjem i drugom krajnjem stupu, a mjereni su fazni naponi u sve tri faze na tercijaru, srednjem i visokom naponu. Rezultati (tablica V) su bili potpuno neočekivani i odbačeni su kao netočni. Ispitivači su, međutim, tvrdili da u mjerenju nije bilo pogreške. Razgovori s iskusnim istraživačima magnetskih pojava u jezgrama pokazali

su da pri vrlo niskim indukcijama kakve su bile pri navedenom mjerenju zapravo nemamo iskustava. Kada je transformator dopremljen u tvornicu mjerenja su ponovljena u ispitnoj stanici sa sličnim naponima i ponovno su dobijeni slični neočekivani rezultati. Napon izvora je zatim povećan i stvari su postale jasnije. Pokazalo se da su magnetski otpori jezgre pri vrlo niskim indukcijama bitno drugačiji nego pri uobičajenim (kod U_n). Pravilna raspodjela magnetskog toka uspostavlja se pri naponu većem od $0.1 U_n$. Ispitivači su bili u pravu kada su tvrdili da nema pogreške u mjerenju, a svi zajedno smo naučili da u složenim nelinearnim magnetskim krugovima ni omjeri magnetskih otpora pojedinih grana nisu konstanta, te da i o tome pri sličnim mjerenjima treba voditi računa.

Tablica V. Izmjerene vrijednosti faznih napona pri jednofaznom napajanju malim naponom

Napajani namot tercijara	10,5 kV		110 kV		220 kV	
	Točka mjerenja	Napon (V)	Točka mjerenja	Napon (V)	Točka mjerenja	Napon (V)
$U_{x-a} = 22.28 \text{ V}$	U_{x-a}	22,28	0-mA	142,4	0-A	313
	U_{b-a}	21	0-mB	140	0-B	310
	U_{c-b}	1,7	0-mC	9,6	0-C	20,8
$U_{b-a} = 22.37 \text{ V}$	U_{x-a}	10	0-mA	77,8	0-A	169
	U_{b-a}	22,37	0-mB	142,6	0-B	313
	U_{c-b}	10	0-mC	64,4	0-C	141
$U_{c-b} = 22.17 \text{ V}$	U_{x-a}	1,5	0-mA	10	0-A	21
	U_{b-a}	22,2	0-mB	141	0-B	311
	U_{c-b}	22,17	0-mC	141	0-C	311

Sada kada je jasno da transformator mora na popravak u tvornicu, dobro je rezimirati stečena iskustva.

Kako je već spomenuto, pokus jednofaznog napajanja jedne faze nazivnim naponom je jednostavan i bezopasan samo pod uvjetom da je napajana faza neoštećena. Sada, kada je sve gotovo, jasno je da bismo bolje učinili da smo pokus jednofaznog napajanja proveli s generatorom, jer bismo pri polaganom dizanju napona najprije imali raspodjelu tokova diktiranu samo magnetskim otporima jezgre, a pri aktiviranju kvara dobili bismo utjecaj kvara na tu raspodjelu i već u prvom pokusu ustanovili da je kvar u namotu. Pri jednofaznom napajanju trostupne jezgre tercijar ne bi trebao bitno utjecati na raspodjelu magnetskih tokova po stupovima, jer u uvjetima pokusa o kojem je riječ rezultatni napon u njemu javljao bi se samo zbog dijela magnetskog toka napajane faze koji se ne bi vraćao kroz nenapajane stupove.

Međutim, pri pokusu trofaznog napajanja generatorom, bilo bi bolje otvoriti tercijar jer je evidentno da je tercijar nepotrebno pomogao u dopremanju energije na mjesto kvara i iz susjednih faza.

Ostaju i neka pitanja koja bi bilo dobro u miru razmotriti. Jedno od takvih pitanja je npr. prikupljanje podataka o raspodjeli tokova u jezgri neoštećenih transformatora pri napajanju samo jedne faze. Zanimljiv je također tijek pojave kada u nenapajanoj fazi, pri podizanju napona, dolazi do propaljivanja i istiskivanja magnetskog toka iz nje i sl. Bilo bi naime vrlo interesantno oscilografirati oblik napona u oštećenoj fazi prilikom propaljivanja na mjestu kvara. Budući da su pri takvom pokusu u igri samo amperzavoji magnetiziranja lako je moguće da do propaljivanja dolazi tek pri vrhu sinusoide napona u kojem slučaju se struja brzo gasi i standardni voltmetar ne pokazuje napon pri propaljivanju nego efektivnu vrijednost induciranog napona prije propaljivanja umanjenu za dio dok je trajao luk. U konkretnom slučaju, na osnovi rezultata mjerenja iz tablice II, može se trajanje luka procijeniti na cca 2 milisekunde.



Slika 4. Mjesto kvara u regulacijskom namotu



Slika 5. Namoti SN doživjeli su deformacije na mjestima prepleta transponiranih vodiča

LITERATURA

- [1] T. Kelemen, Izvještaj o konzultantskom nadzoru defektaže kvara autotransformatora 2ARZ 150000 - 245s u TS Melina i pripremi ispitivanja, Končar-Institut za elektrotehniku d.d. Zagreb, N-95A006, svibanj 2002.
- [2] T. Kelemen, Ispitivanje autotransformatora 2ARZ 150000-245s u TS Melina naponima iz mreže 110 kV iz HE Vinodol, Končar-Institut za elektrotehniku d.d. Zagreb, N-95A007, lipanj 2002.
- [3] Izvještaj o ispitivanju autotransformatora 2ARZ 150000 - 245s u TS Melina s ocjenom stanja, Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. Zagreb, RE-049/02, siječanj 2002.
- [4] Izvještaj o ispitivanju autotransformatora 2ARZ 150000 - 245s u TS Melina nakon ispada zbog prorade zaštite, Končar-Institut za elektrotehniku d.d. Zagreb, Izvještaj br.018602, travanj 2002.
- [5] Izvještaj o ispitivanju transformatorskog ulja autotransformatora 2ARZ 150000 - 245s u TS Melina, Končar-Institut za elektrotehniku d.d. Zagreb, 61-K-108/02, travanj 2002.
- [6] Rezultati mjerenja provedenih na terenu, HEP-Prijenos d.o.o. Zagreb, PrP Opatija (Odjel mjerenja), travanj 2002.