

TABELA I. OSNOVNE DIMENZIJE STAROG EKRANA

Dimenzije starog ekrana		
Unutrašnji prečnik d_0, d_1, \dots, d_5 [mm]	Spoljašnji prečnik D_0, D_1, \dots, D_5 [mm]	Širina ekrana M_0, M_1, \dots, M_5 [mm]
220	375	220
204,9	384,5	231
190	394	242
174	403,5	253
154	413	264
134	422,5	275

Razvojnim ispitivanjem ustanovljeno je da osušena papirna izolacija, impregnirana transformatorskim uljem može da izdrži napon od 110 kV/mm za jedan minut. Polazna tačka za stvaranje koncepta inverznog mjernog strujnog transformatora je IEC propis, koji definiše uslove koje moraju ispuniti mjerni strujni transformatori. Nivo izolacije aparata IST 123-2 je $123/\sqrt{3}$ kV, a ispitni napon za taj nivo izolacije je 230 kV u jednoj minuti. Radi homogenizacije električnog polja na aktivnom dijelu ćemo formirati pet kondenzatorskih obloga. Na ekranskom dijelu u koji se smješta sekundar na spoljašnjem prečniku ekrana, 230 kV treba podjeliti na pet radijalnih prirasta izolacije. U nastavku su prikazani prirasti izolacije po vanjskom prečniku izolacije, samo sa jedne strane, od prve do pete obloge, retrospektivno.

$$e_1 = \frac{D_1 - D_0}{2} = e_2 = \frac{D_2 - D_1}{2} = \dots = e_5 = 4,75 \text{ mm}$$

Takođe, neophodno je odrediti prirast izolacije po unutrašnjem prečniku izolacije, samo sa jedne strane, od prve do pete obloge, retrospektivno.

$$f_1 = \frac{d_0 - d_1}{2} \approx f_2 = \frac{d_1 - d_2}{2} \approx \dots \approx f_5 \approx 10 \text{ mm}$$

Osim unutrašnjih i vanjskih prirasta određuje se prirast koji se odnosi na širinu izolacije na ekranu.

$$m_1 = \frac{M_1 - M_0}{2} = m_2 = \frac{M_2 - M_1}{2} = \dots = m_5 = 5,5 \text{ mm}$$

Vanjski presjek prstena između D_0 i D_5 jednak je unutrašnjem presjeku prstena između d_0 i d_5 , pa važi sljedeća jednakost.

$$\frac{D_5^2 \pi}{4} - \frac{D_0^2 \pi}{4} = \frac{d_0^2 \pi}{4} - \frac{d_5^2 \pi}{4} \quad [3]$$

Nakon sređivanja jednakosti važi izraz:

$$d_5 = \sqrt{d_0^2 + D_0^2 - D_5^2} = 102,56 \text{ mm}$$

Primjenom nove metode unutrašnji prirast po jednoj oblozi projektujemo na sljedeću vrijednost.

$$f_1' = \frac{d_0' - d_1'}{2} = f_2' = \dots = f_5' = 5,5 \text{ mm}$$

Ova vrijednost je proizvoljno izabrana, ali one ne smije biti manja od priraštaja po oblogama, koji iznosi 4,75 mm. Dakle, ukupni prirast će iznositi $5 \cdot 5,5 = 27,5$ mm. Unutrašnji prečnik ekrana možemo smanjiti sa vrijednosti $d_0 = 220$ mm na vrijednost:

$$d_0' = d_5 + 5 \cdot 2 \cdot f' = 102,56 + 5 \cdot 11 = 157,56 \text{ mm}$$

Da bi unutrašnji prostor za smještaj jezgra ostao isti, onda ćemo i D_0 smanjiti za istu vrijednost, a to je:

$$D_0' = D_0 - (d_0 - d_0') = 375 - (220 - 157,56) = 312,56 \text{ mm}$$

Novo vanjske prečnike izolacije možemo formirati tako što ćemo na prethodnu vrijednost D_0' dodati 9,5 mm i tako retrospektivno. Takođe, unutrašnje prečnike izolacije možemo formirati tako što od d_0' oduzmemo 11 mm. Osim unutrašnjeg prirasta po jednoj oblozi, neophodno je uraditi i vanjski prirast izolacije u novom slučaju.

$$e_1' = \frac{D_1' - D_0'}{2} = e_2' = \dots = e_5' = 4,75 \text{ mm}$$

Kako bi postupak bio kompletan određuju se unutrašnji priraštaji po širini, a osnovni razlog toga je dobijanje nove dimenzije širine izolacije na sekundaru. Da bih to uradili neophodno je prvo odrediti dimenzije unutrašnjeg međuprečnika na sljedeći način.

$$R_{S0}' = d_0' + 30 = 187,56 \text{ mm}$$

$$R_{S1}' = R_{S0}' - \frac{f_1' - e_1'}{2} = 187,185 \text{ mm}$$

$$R_{S2}' = R_{S1}' - \frac{f_2' - e_2'}{2} = 186,81 \text{ mm}$$

$$R_{S3}' = R_{S2}' - \frac{f_3' - e_3'}{2} = 186,435 \text{ mm}$$

$$R_{S4}' = R_{S3}' - \frac{f_4' - e_4'}{2} = 186,06 \text{ mm}$$

$$R_{S5}' = R_{S4}' - \frac{f_5' - e_5'}{2} = 185,685 \text{ mm}$$

Poznavajući prethodne vrijednosti lako se izračunavaju novi prirasti izolacije po širini.

$$m_1' = \frac{D_1'^2 - D_0'^2}{4 \cdot R_{S1}'} = 8,052 \text{ mm}$$

$$m_2' = \frac{D_2'^2 - D_1'^2}{4 \cdot R_{S2}'} = 8,3 \text{ mm}$$

$$m_3' = \frac{D_3'^2 - D_2'^2}{4 \cdot R_{S3}'} = 8,56 \text{ mm}$$

$$m_4' = \frac{D_4'^2 - D_3'^2}{4 \cdot R_{S4}'} = 8,82 \text{ mm}$$

$$m_5' = \frac{D_5'^2 - D_4'^2}{4 \cdot R_{S5}'} = 9,08 \text{ mm} \quad [3]$$

Širinu ekrana od 220 mm ćemo zadržati na istim dimenzijama, radi istih mogućnosti smještaja sekundara. Novu širinu dobijemo kada na predhodnu vrijednost dodamo dvostruki priraštaj po širini i tako postupak ponovimo za 5 obloga. Dakle, nove dimenzije ekrana prikazane su u tabeli 2.

TABELA II. OSNOVNE DIMENZIJE NOVOG EKRANA

Dimenzije novog ekrana		
Unutrašnji prečnik d_0', d_1', \dots, d_5' [mm]	Spoljašnji prečnik D_0', D_1', \dots, D_5' [mm]	Širina ekrana M_0', M_1', \dots, M_5' [mm]
157,56	312,56	220
146,56	322,06	236,1
135,56	331,56	252,72
124,56	341,06	269,86
113,56	350,56	287,51
102,56	360,06	305,69

Izolacija se mota sa kabel papirom širine $s=16$ mm i debljine $m=125$ μm . Preklap na vanjskom prečniku ekrana je $\frac{1}{2}$, a unutar ekrana koliko se formira prema vanjskom zadanom uslovu. Korak motanja je 8 mm na vanjskom prečniku ekrana. Debljina prirasta na jednoj strani ekrana je $0,125 \cdot 2 = 0,25$ mm, a na ukupnom prečniku je 0,5 mm. Dakle, pri jednom prolazu po obimu ekrana izolacija poraste za 0,5 mm. Izolacija se sastoji od punih mašinskih prolaza i ručno postavljenih traka. Za prirast izolacije od 4,75mm treba izolovati ekran sa ukupno $9,5/0,5=19$ prolaza sa preklapom $\frac{1}{2}$ papira od 16 mm. Na

osnovu sljedeće formule se određuje broj punih mašinskih prolaza.

$$p = \frac{e_1 - e_1'}{2 \cdot m} = \frac{4,75 - 1,87}{2 \cdot 0,125} = 11,52 \approx 12$$

Na osnovu doasadašnjih znanja zaključujemo da ćemo imati punih mašinskih prolaza 12 i 7 ručno postavljenih traka. Dinamika mašinskih punih prolaza i ručno postavljenih traka za prvu oblogu izgleda na sljedeći način:

$$2p+1r+2p+1r+2p+1r+2p+1r+1p+1r+1p+2r+2p$$

gdje je:

p – oznaka za broj punih mašinskih prolaza i

r – oznaka za broj ručno postavljenih traka.

U sljedećoj tabeli prikazana je dinamika motanja po svakoj oblozi, koju smo formirali tako da važi jednakost $p+r=19$. Ako pretpostavimo dva uzastopna sloja izolacije, onda je $p=2$. Dok ručno postavljanje izolacije se odnosi na djelimičnu izolaciju, koja se postavlja na vanjskom obimu elipse. Npr. ako je postavljanje ručne izolacije samo jednom, onda je $r=1$, a prirast na vanjskom prečniku izolacije je $(p+0,5)$ mm. Međutim, ako uzastopno postavljamo dva ručna motanja, tj. $r=2$, onda dobijamo vanjski prirast kao $(p+2 \cdot 0,5)$ mm.

TABELA III. DINAMIKA MOTANJA MAŠINSKIH I RUČNIH PROLAZA PO OBLOGAMA

Način motanja ručnih i mašinskih prolaza		
Br. obloga	Motanje	r-ručni i p-mašinski prolazi
1.	1 1 1 1 1 2	r
	2 2 2 2 1 1 2	p
2.	2 2 2 2 1	r
	2 2 2 2 1 1	p
3.	2 2 2 2 2	r
	2 2 2 1 1 1	p
4.	2 2 2 2 2 1	r
	2 1 1 1 1 1 1	p
5.	4 4 4	r
	2 2 2 1	p

U slučaju da se trake ne koriste, samo dvije obloge bi se mogle motati mašinski, a ostale bi se motale ručno. Osnovni razlog toga je nemogućnost prolaska šanzera, jer se rupa smanjuje. Na sl. 2 je prikazan izolovani aktivni dio mjernog stujnog transformatora.



Slika 2. Izolovani aktivni dio IST 123-2 mjernog strujnog transformatora [4]

III. OSNOVNE KARAKTERISTIKE PRIMARA I SEKUNDARA

U nastavku su prikazane opšte karakteristike transformatora:

Naziv transformatora: IST 123-2,

Nivo izolacije: 123 kV,

Primarna struja: 2·300 A,

Sekundarna struja: 1A,

Termička struja: 40 kA/sec i

Trajna termička struja: 1,2·I_n

Za primarni provodnik važe sljedeće karakteristike:

Dozvoljena gustina struje: 2 A/mm²,

Nominalni presjek primara: 150 mm² i

Presjek primarnog provodnika koji zadovoljava kriterijum po termičkoj struji je: 245 mm².

Primarni provodnik je izgrađen od bakarnog prečnika 25 mm², površine $S_{Cu} = 25^2 \pi / 4 = 490 \text{ mm}^2$. Prethodna vrijednost zadovoljava kriterijum po termičkoj struji, gdje potreban presjek provodnika je 245 mm². Primar se sastoji od četiri šipke koje prolaze kroz glavnu aluminijsku cjev. U daljem radu prikazan je proračun za sva četiri sekundara.

Za prvi sekundar važi:

Snaga tereta: $P_1 = 15 \text{ VA}$,

Klasa tačnosti: 0,2 i

Faktor sigurnosti: $F_s = 5$.

Vrsta trafo lima: mumetal, indukcije zasićenja $B_{\max} = 0,75 \text{ T}$ i presjeka jezgra sekundara $S_1 = 25 \cdot a_1$. Pri čemu je širine trafo lima 25 mm.

Broj zavoja na sekundaru možemo izračunati pomoću sljedeće formule.

$$I_1 N_1 = I_2 N_2 \rightarrow 300 \cdot 4 = 1 \cdot N_2 \rightarrow N_2 = 1200 \text{ zavoja}$$

Prethodne podatke uvrštavamo u sljedeću formulu.

$$F_s \frac{P_1}{I_1} = 4,44 B_{\max} S_1 N_2 f \quad [2]$$

Dobijamo debljinu jezgra prvog sekundara $a_1 = 15 \text{ mm}$, a prečnik žice se određuje na osnovu izraza:

$$S_{Cu1} = \frac{I_2 [A]}{2 \left[\frac{A}{\text{mm}^2} \right]} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ mm}^2$$

Zahvaljujući sljedećem izrazu određujemo prečnik žice prvog sekundara.

$$S_{Cu1} = \frac{d_1^2 \pi}{4} \rightarrow d_1 = 0,798 \text{ mm}$$

Za drugi sekundar važi:

Snaga tereta: $P_2 = 15 \text{ VA}$,

Klasa tačnosti: 0,5 i

Faktor sigurnosti: $F_s = 10$.

Vrsta trafo lima: MH0, indukcije zasićenja $B_{\max} = 1,8 \text{ T}$ i presjeka jezgra sekundara $S_2 = 25 \cdot a_2$. Pri čemu je širine trafo lima 25 mm. Broj zavoja na sekundaru je $N_2 = 1200$. Da bi odredili debljinu jezgra drugog sekundara koristimo formulu:

$$F_s \frac{P_2}{I_2} = 4,44 B_{\max} S_2 N_2 f$$

Dakle, debljina jezgra drugog sekundara je $a_2 = 12,51 \text{ mm}$ a, prečnik žice za drugi sekundar je $d_2 = 0,798 \text{ mm}$.

Za treći sekundar važi:

Snaga tereta: $P_3 = 30 \text{ VA}$ i

Klasa tačnosti: 5P.

Vrsta trafo lima: MH0, indukcije zasićenja $B_{\max} = 1,8 \text{ T}$ i presjeka jezgra sekundara $S_3 = 50 \cdot a_3$. Pri čemu je širine trafo lima 50 mm. Broj zavoja na sekundaru je $N_3 = 1200$. Da bi odredili debljinu jezgra trećeg sekundara koristimo formulu:

$$F_s \frac{P_3}{I_3} = 4,44 B_{\max} S_3 N_3 f$$

Dakle, debljina jezgra trećeg sekundara je $a_3 = 31,28 \text{ mm}$ a, prečnik žice za treći sekundar je $d_3 = 0,798 \text{ mm}$.

Proračun četvrtog sekundara:

Snaga tereta: $P_4 = 30 \text{ VA}$ i

Klasa tačnosti: 10P.

Vrsta trafo lima: MH0, indukcije zasićenja $B_{\max}=1,8T$ i presjeka jezgra sekundara $S_4 = 50 \cdot a_4$. Pri čemu je širine trafo lima 50 mm. Broj zavoja na sekundaru je $N_4=1200$. Da bi odredili debljinu jezgra četvrtog sekundara koristimo formulu:

$$F_s \frac{P_4}{I_4} = 4,44 B_{\max} S_4 N_4 f$$

Dakle, debljina jezgra četvrtog sekundara je $a_4 = 30mm$ a, prečnik žice za četvrti sekundar je $d_4 = 0,798mm$.

IV. EKONOMSKA ANALIZA

Pri proračunu uštede Al plašta, nepochodno je izračunati ukupnu težinu starog plašta, te je uporediti sa novim plaštom. U nastavku su prikazane težine starog i novog plašta.

$$Q_{\text{plaš}} = V_{\text{plaš}} \cdot \rho_{\text{plaš}} = 4,751 \cdot 2,7 = 12,828kg$$

$$Q'_{\text{plaš}} = V'_{\text{plaš}} \cdot \rho_{\text{plaš}} = 3,56 \cdot 2,7 = 9,613kg$$

Kada oduzmemo novu težinu plašta od stare i dobijenu vrijednost pomnožimo sa jediničnom cijenom plašta koja iznosi $c_{\text{plaš}} = 16,2KM / kg$, dobijemo uštedu na Al plaštu.

$$\Delta C_{\text{plaš}} = (Q_{\text{plaš}} - Q'_{\text{plaš}}) c_{\text{plaš}} = 40,827KM$$

Uštedu u bakru možemo odrediti koristeći sljedeću formulu.

$$\Delta C_{Cu} = 4 \cdot \Delta D_{\text{plaš}} \cdot r_{Cu}^2 \cdot \pi \cdot \rho_{Cu} \cdot c_{\text{plaš}} \cdot 10^{-6} = 18KM$$

gdje je :

4- broj bakarnih šipki,

$\Delta D_{\text{plaš}} = 62,44mm$ - razlika u prečnicima plašta,

$r_{Cu} = 25 / 2 = 12,5mm$ - poluprečnik bakarne cjevi,

$\rho_{Cu} = 8,99kg / dm^3$ - specifična težina bakra i

$c_{\text{plaš}} = 16,2KM / kg$ - jedinična cijena bakra.

Kako bi odredili uštedu u limu, potrebno je izračunati težinu dva veća jezgra, kao što je prikazano sljedećim izrazima.

$$Q_1 = (D_{v.\text{jezgra}}^2 - D_{u.\text{jezgra}}^2) \frac{\pi \cdot s \cdot \rho_l \cdot 10^{-6}}{4} = 15kg \quad [5]$$

Gdje je:

$$D_{v.\text{jezgra}} = 326,6mm,$$

$$D_{u.\text{jezgra}} = 240mm,$$

$$s = 50mm \text{ i}$$

$$\rho_l = 7,8kg / dm^3.$$

Pošto imamo ovakva dva jezgra, onda je težina dva stara jezgra data sljedećim izrazom.

$$Q_{21} = 2 \cdot Q_1 = 30,04kg$$

Isti postupak se koristi za određivanje težine jednog manjeg jezgra od istog materijala M0H.

$$Q_{1m} = (D_{v.\text{jezgra.m}}^2 - D_{u.\text{jezgra.m}}^2) \frac{\pi \cdot s_m \cdot \rho_l \cdot 10^{-6}}{4} = 4,36kg$$

Gdje je:

$$D_{v.\text{jezgra.m}} = 293,4mm,$$

$$D_{u.\text{jezgra.m}} = 240mm \text{ i}$$

$$s_m = 25mm.$$

Ako saberemo težinu dva veća jezgra sa težinom jednog manjeg jezgra, dobijamo ukupnu težinu tri jezgra od lima za stari slučaj.

$$Q_{\text{ukup}} = Q_{21} + Q_{1malo} = 34,4kg$$

Prethodni postupak ponavljamo za novi lim, na sljedeći način.

$$Q'_1 = (D_{v.\text{jezgra}}'^2 - D_{u.\text{jezgra}}'^2) \frac{\pi \cdot s' \cdot \rho_l \cdot 10^{-6}}{4} = 11,71kg \quad [5]$$

Gdje je:

$$D_{v.\text{jezgra}}' = 264,16mm,$$

$$D_{u.\text{jezgra}}' = 177,56mm \text{ i}$$

$$s' = 50mm.$$

Pošto imamo takva dva jezgra, njihove težina je prikazana sljedećim izrazom.

$$Q_{21}' = 2 \cdot Q_1' = 23,42kg$$

Takođe, moramo naći težinu manjeg jezgra za novi slučaj.

$$Q_{1m}' = (D_{v.jezgra.m}'^2 - D_{u.jezgra.m}'^2) \frac{\pi \cdot s_m' \cdot \rho_l \cdot 10^{-6}}{4} = 3,34kg$$

Gdje je:

$$D_{v.jezgra.m}' = 230,96mm ,$$

$$D_{u.jezgra.m}' = 177,56mm \text{ i}$$

$$s_m' = 25mm .$$

Ako saberemo težinu dva veća jezgra sa težinom jednog manjeg jezgra, dobijamo ukupnu težinu jezgri za novi slučaj.

$$Q_{ukup}' = Q_{2l}' + Q_{1m}' = 26,76kg$$

Jedinična cijena trafo lima je $c_l = 8,19KM / kg$, a ukupna ušteda iznosi 62,57 KM.

$$\Delta C_l = (Q_{ukup}' - Q_{ukup})c_l = 62,57KM$$

Ova ušteda se odnosi na trafo lim M0H, a pored nje moramo uraditi uštedu za jedno jezgro od mumetala, pri čemu je jedinična cijena mumetala $c_{mum} = 48,26KM$.

$$\Delta C_{mum} = (Q_{1m}' - Q_{1m})c_{mum} = 49,26KM$$

U nastavku je prikazana ušteda u ulju, kabel papiru i grafitnoj traci, retrospektivno.

$$\Delta C_{ulja} = (V_p - V_p')c_{ulja} = (75,2 - 48,5)3,66 = 98KM$$

$$\Delta C_p = (Q_e - Q_e')c_p = (5,93 - 4,7)9,89 = 11,4KM$$

$$\Delta C_{g.t} = (d_u - d_u')c_{g.t} = (213,1 - 187,2)0,53 = 13,7KM$$

Cijena novog ekrana se određuje iz odnosa srednjeg obima ekrana i cijene starog ekrana.

$$c_{n.e} = \frac{O_{sr}'}{O_{sr}} c_{s.e} = \frac{738}{934} 320 = 252,83KM \quad [3]$$

Pa je ušteda u ekranu $\Delta C_e = 67,17KM$. Ukupnu uštedu dobijemo sumiranjem svih prethodno izračunatih ušteda:

$$\Delta C_{ukupno} = 360,73KM$$

Prodajna cijena starog aprata IST 123-2 je 7860 KM, a njegova tržišna cijena je 8600 KM. Koristeći novu metodu ukupna cijena je smanjena za 360,73 KM. Osim novčane uštede, smanjena je i težina aparata za 35,56 kg . Težina starog aparata iznosila je 357 kg, a težina novog je 321,44 kg.

V. ZAKLJUČAK

Namjera ovog rada je da ukaže na novu metodu pomoću koje se smanjuje težina aparata, a samim tim se ostvaruje novačana ušteda. Prednost ovako konstrisanog aparata je veća otpornost na zemljotres, a činjenica je da u svjetu postoji 60 % trusnog područja, koje je sklono zemljotresu. Smanjivanjem dimenzija aparata direktno se utiče na primjenu manje količine ulja, a zahvaljujući tome smanjuje se energija za filtriranje ulja. Takođe, membrana koja služi za kompenzaciju i dilataciju trafo ulja ima manje dimenzije, ali u ovom radu nismo ih uzimali u obzir. Redukovana je i količina papira, a samim tim uštedeno je na vremenu i energiji koja se troši u komorama za sušenje. Zahvaljujući novom rješenju početni prečnik magnetnog jezgra je smanjen za iste parametre, koje zahtjeva kupac. U slučaju žarenja lima, žari se manja količina lima, pa se stvara ušteda u energiji. Pri ovom postupku dobije se strmija B-H kriva i brže se namota magnetno jezgro. Dakle, koristeći novo rješenje potreban je manji obrtni kapital, posebno ako se naručuje veća količina aparata. Smatra se, da u toku jedne godine može se napraviti 500 komada IST 123-2 aparata, pa je ušteda u toku godine $500 \cdot 360,73 = 180365$ KM. Osim navedene uštede, važno je reći da postoji ušteda u vremenu, koja se ogleda u tome da se manje vremena troši za motanje grafitne trake, papira i namotaja na jezgru. Takođe, se smanjuje količina daske za ambalažu datog aparata, a samim tim i skladišni prostor.

LITERATURA

- [1] Vojislav Bego "Mjerni transformatori" Zagreb ,1977. st.1-3.
- [2] Hrvoje Požar "Visokonaponska rasklopna postrojenja" Zagreb ,1978. st. 325.
- [3] Modić Vojislav, Vukašinović Slobodan " Transformatori" Lukavica 1979.
- [4] Literatura fabrike Mjernih transformatora u Lukavici, Istočno Sarajevo.
- [5] Konstruktivno-Tehnološka dokumentacija fabrike Energoinvest i Istraživačko razvojnog centra za elektroenergetiku (IRCE), Istočno Sarajevo.

Napomena: Opšte formule sam preuzela iz dokumentacije navedenih firmi, a sama inovacija je ubacivanje rucnih djelimičnih prolaza, koji eliminišu potrebe za većim dimenzijama transformatora.

ABSTRACT

This operation represents a new method through which to reduce the dimensions of the screen to accommodate the secondary, and that the characteristics of the measuring current transformer remain the same. This method for making high voltage isolation technique in oil-paper is economically justified.

REDUCING THE DIMENSIONS OF THE MEASUREMENT CURRENT TRANSFORMER IST 123-2

Lena Zec