

**N. Pejčić, N. Grubor, D. Kovinić<sup>1</sup>**

## **DISTRIBUTIVNI TRANSFORMATORI SA SNIŽENIM GUBICIMA**

### **Rezime**

*ABS Minel Trafo Mladenovac je razvio i proizvodi transformatore sa povećanim stepenom iskorišćenja energije prema preporukama CENELEC HD 428,1 S1/1992. Ovo je nova generacija transformatora kod kojih su gubici zbog opterećenja niži za 25%, a gubici praznog hoda niži za 50% nego kod konvencionalnih rešenja transformatora u našem elektrodistributivnom sistemu. Pored toga, njihovi eksploatacioni troškovi tokom životnog veka su za 20% niži, a cena samo oko 10% veća od klasičnih rešenja transformatora. Ukupne uštede korišćenjem transformatora C'C klase, koji ima znatno duži vek eksploatacije, omogućuju povraćaj investicionih ulaganja u periodu do 3 godine. Pored boljeg finansijskog efekta u distribuciji električne energije ovom vrstom transformatora postižu se i efekti zaštite životne sredine i očuvanja prirodnih resursa, sniženjem buke i smanjenjem globalnog zagrevanja. U radu se prezentira konstrukcijsko rešenje nove generacije transformatora C'C klase i uštede koje se ostvaruju njihovim korišćenjem u elektrodistributivnom sistemu.*

**Ključne reči:** Transformatori, smanjeni gubici

### **1. UVOD**

Sopstvenim razvojnim aktivnostima i dugogodišnjim proizvodnim iskustvom ABS Minel Trafo Mladenovac je razvio novu generaciju transformatora sa povećanim stepenom iskorišćenja energije. To su transformatori višeg stepena kvaliteta izrade koji su propisani preporukama CENELEC HD 428,1 S1/1992. Povećan kvalitet zahteva i povećane troškove proizvodnje i njihovu veću cenu od klasičnih transformatora, ali efekti koji se postižu smanjenim gubicima i ekološkim karakteristikama, tokom višegodišnje eksploatacije ovakvih transformatora su veoma značajni za elektroenergetski sistem svake zemlje. U poslednje vreme i elektrodistributivni sistemi u našoj zemlji tokom raspisivanja tendera zahtevaju transformatore sa smanjenim gubicima. Transformatori sa smanjenim gubicima su poznati kao transformatori C'C klase, mada postoji još niz drugih kombinacija, kao što su kombinacije A'A, B'A i C'B koje se odnose na druge vrste transformatora.

### **2. KONSTRUKCIJSKO REŠENJE TRANSFORMATORA SA SNIŽENIM GUBICIMA**

Ako se posmatraju gubici energije korišćenjem transformatora, mogu biti gubici praznog hoda (u gvoždju) i gubici zbog opterećenja (u bakru). Smanjenje gubitaka praznog hoda se može postići do 50%, a smanjenje gubitaka zbog opterećenja do 25% u odnosu na klasične transformatore.

---

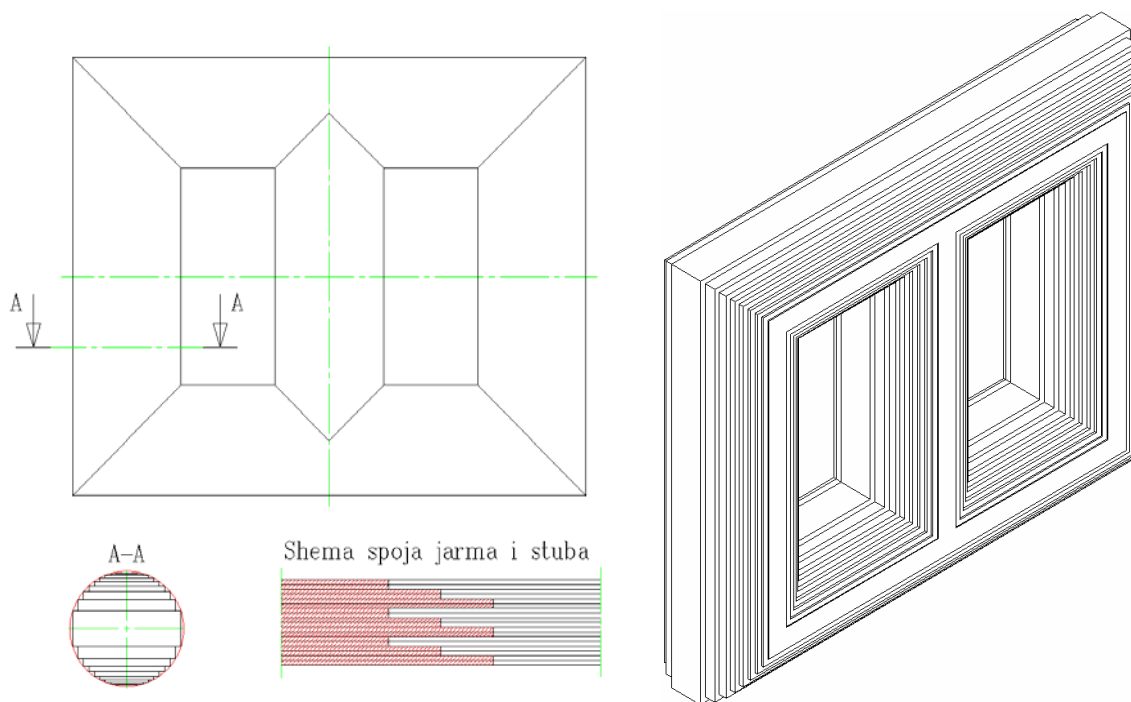
<sup>1</sup> Novica Pejčić, dipl.inž.el., Nemanja Grubor, dipl.inž.el., Dejan Kovinić, dipl.inž.el., ABS Minel Trafo Mladenovac, 11400 Mladenovac, Kralja Petra I 332, tel. +381 11 823 1234, e-mail: [novica.pejicic@minel-trafo.com](mailto:novica.pejicic@minel-trafo.com).

Smanjenje gubitaka praznog hoda se može ostvariti pri projektovanju i proizvodnji jezgra transformatora koristeći specijalni trafo lim i posebnu tehnologiju njegove obrade:

- Koristi se najkvalitetniji laserski tretirani trafo lim (slika 1), koji ima debljinu 0.27 mm u odnosu na konvencionalni trafo lim debljine 0.3 mm. Taj lim ima secifične gubitke pri 1.7 T i 50 Hz = 0.9 W/kg u poredjenju sa konvencionalnim trafo limom čiji su gubici 1.35 W/kg.
- Uzdužno i poprečno sečenje trafo lima se odvija na najsavremenijim mašinama za obradu trafo lima, tako da je poprečno sečenje pod uglom 45 stepeni i V izrezom, a slaganje limova u jezgro transformatora po metodi "Step Lap" - stepenasto pomereni spojevi (slika 2).



Slika 1. Trafo limovi magnetnog jezgra transformatora C'C klase



Slika 2. Magnetno jezgro transformatora C'C klase

Smanjenje gubitaka zbog opterećenja (gubitaka u bakru) se postiže upotrebom najkvalitetnijeg meko žarenog bakra EDCU provodnosti 58 S i projektovanom gustinom struja ispod 3 A/mm sq nasuprot standardnih, gde su gustine struja iznad 3 A/mm sq. Pored toga, namotavanje namotaja niskog napona vrši se od bakarne folije umesto od bakarnog profila (slika 3). Namotavanje namotaja visokog napona vrši se prifilima izolovanim lakom umesto profila koji su izloveni papirom. Zatezanje profila i folija prilikom namotavanja je programski definisano i kompjuterski kontrolisano.



Slika 3. Namotaji transformatora C'C klase

### 3. ANALIZA EKONOMSKIH POKAZATELJA OSNOVNIH CENA TRANSFORMATORA I TOTALNIH TROŠKOVA TOKOM ŽIVOTNOG VEKA U ZAVISNOSTI OD GUBITAKA

Upoređivanje osnovnih cena transformatora i totalnih troškova koji nastaju tokom eksploatacije u zavisnosti od energijskih gubitaka, zasniva se na funkcionalnoj zavisnosti, iskazanoj izrazom:

$$TT = OC + 365 \cdot 24 \cdot e \cdot \frac{P_{Fe} + k^2 \cdot P_{Cu}}{1000} \cdot \frac{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^n - 1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^n \cdot \frac{p}{100}}$$

gde je:

- OC - Osnovna cena transformatora u EUR
- TT - Totalni troškovi tokom životnog veka transformatora u EUR
- P<sub>Fe</sub> - Gubici praznog hoda transformatora u W
- P<sub>Cu</sub> - Gubici usled opterećenja transformatora u W
- e - Cena energije u EUR/kWh
- n - Životni vek transformatora u godinama
- p - Kamatna stopa u %
- k - Dnevno relativno opterećenje transformatora

Analiza obuhvata upoređenje osnovnih cena transformatora i totalnih troškova tokom životnog veka u zavisnosti od nivoa gubitaka. Upoređuju se samo troškovi početnog ulaganja za kupovinu novog transformatora (OC) sabranim sa troškovima potrošene električne energije u transformatoru tokom životnog veka svedene na današnji dan. Svi ostali troškovi, ukoliko

postoje, mogu se smatrati približno jednakim kod obe vrste transformatora. Prikaz osnovnih cena i relativnog odnosa cena jedne vrste transformatora u odnosu na drugu sa totalnim troškovima i relativnim odnosima prikazan je u sledećim tabelama.

<b>Osnovna cena kombinacije [E]</b>			
<b>A'-A</b>	<b>B'-A</b>	<b>C'-C</b>	<b>C'-B</b>
<b>3.055</b>	3.208	3.513	3.055
<b>3.992</b>	4.192	4.591	3.992
<b>5.144</b>	5.401	5.916	5.144
<b>6.668</b>	7.001	7.668	6.668
<b>8.237</b>	8.649	9.473	8.237
<b>10.715</b>	11.251	12.322	10.715
<b>14.822</b>	15.563	17.045	14.822
<b>19.851</b>	20.844	22.829	19.851
<b>26.367</b>	27.685	30.322	26.367

<b>Relativni odnos cena</b>			
<b>B'A / A'A</b>	<b>C'C / A'A</b>	<b>C'B / A'A</b>	<b>C'B / C'C</b>
1,05	1,15	1,00	0,87
1,05	1,15	1,00	0,87
1,05	1,15	1,00	0,87
1,05	1,15	1,00	0,87
1,05	1,15	1,00	0,87
1,05	1,15	1,00	0,87
1,05	1,15	1,00	0,87
1,05	1,15	1,00	0,87
1,05	1,15	1,00	0,87

<b>Total troškovi za živ.vek [E]</b>			
<b>A'-A</b>	<b>B'-A</b>	<b>C'-C</b>	<b>C'-B</b>
<b>11.219</b>	10.867	9.714	11.862
<b>17.178</b>	16.706	15.036	18.141
<b>23.190</b>	22.495	20.249	25.514
<b>31.780</b>	30.770	27.517	34.473
<b>43.892</b>	42.288	37.429	47.991
<b>60.939</b>	58.451	51.583	66.437
<b>91.474</b>	88.855	81.491	98.473
<b>142.248</b>	138.761	118.685	148.631
<b>214.329</b>	208.929	179.034	229.951

<b>Relativni odnos total.tros.</b>			
<b>B'A / A'A</b>	<b>C'C / A'A</b>	<b>C'B / A'A</b>	<b>C'B / C'C</b>
0,97	0,87	1,09	1,22
0,97	0,88	1,09	1,21
0,97	0,87	1,13	1,26
0,97	0,87	1,12	1,25
0,96	0,85	1,13	1,28
0,96	0,85	1,14	1,29
0,97	0,89	1,11	1,21
0,98	0,83	1,07	1,25
0,97	0,84	1,10	1,28

Troškovi početnog ulaganja, koji podrazumevaju nabavku transformatora, tj. njegovu osnovnu cenu, su poznati prema cenovniku proizvođača na današnji dan za sve standardne snage transformatora i četiri uobičajene različite kombinacije gubitaka iz međunarodnih preporuka CENELEC-HD-428,1-S1/1992. Posmatramo totalne troškove tokom životnog veka transformatora varirajući četiri najuticajnije parametra, kao što su:

- Cena energije tokom životnog veka - 0.1 EUR/kWh,
- Životni vek transformatora - 25 godina,
- Kamatna stopa - 6% i
- Dnevno relativno opterećenje 0.70.

Primer čitanja rezultata iz tabela je prikazan za slučaj transformatora 630 kVA kombinacije C'C, koji je u osnovnoj ceni za 15% skuplji od transformatora A'A klase, dok su totalni troškovi C'C 85% totalnih troškova A'A.

<b>Gubici Praznog hoda [W]</b>			
Sn\Lista	A'	B'	C'
630	<b>1300</b>	1030	860
<b>Gubici zbog opterećenja [W]</b>			
Sn\Lista	A	B	C
630	<b>6500</b>	8400	5400

<b>Relat. odnos lista</b>		
A'/C'	A'/B'	B'/C'
1,51	1,26	1,20
<b>Relat. odnos lista</b>		
B/C	B/A	A/C
1,56	1,29	1,20

<b>Osnovna cena kombinacije [E]</b>			
A'-A	B'-A	C'-C	C'-B
<b>10.715</b>	11.251	12.322	10.715
<b>Total troškovi za živ. vek [E]</b>			
A'-A	B'-A	C'-C	C'-B
<b>60.939</b>	58.451	51.583	66.437

<b>Relativni odnos cena</b>			
B'A / A'A	C'C / A'A	C'B / A'A	C'B / C'C
1,05	1,15	1,00	0,87
<b>Relativni odnos total. tros.</b>			
B'A / A'A	C'C / A'A	C'B / A'A	C'B / C'C
0,96	0,85	1,14	1,29

Analize pokazuju da se posle dve godine eksploatacije transformatora C'C klase (slika 4) povećani izdaci za nabavku neutrališu ostvarenim uštedama u energijskim gubicima. Pri svim cenama energije po kWh ukupni troškovi eksploatacije za C'C klasu su niži od transformatora A'A klase.



*Slika 4. Transformator sa sniženim gubicima C'C klase 400 kVA 10/0.42 kV proizvodnje ABS Minel Trafo Mladenovac*

#### 4. ZAKLJUČAK

Primenom transformatora sa sniženim gubicima umesto klasičnih transformatora, mogu se ostvariti veoma visoke uštede u elektrodistributivnom sistemu Srbije. Ako se samo posmatra snaga transformatora 630 kVA, kojih ima instalisanih u Srbiji oko 20.000 komada, i ako se analiziraju uštede koje bi se ostvarile primenom transformatora C'C klase u toku samo jedne godine, prema sadašnjim cenama električne energije, one bi iznosile u novcu toliko da bi mogli kupiti 1392 nova transformatora. Time bi se uštedelo oko 19.58 MW električne

SNAGE, što nije nimalo zanemarljivo posmatrajući period od 25 godina, koliko je vreme eksploatacije transformatora sa sniženim gubicima.

ABS Minel Trafo Mladenovac je razvio transformatore C'C klase, proizvodi ih prema sopstvenoj konstrukcionoj i tehnološkoj dokumentaciji i plasira na domaće i ino-tržište. Ispitivanja su pokazala da su naši transformatori potpuno konkurentni poznatim svetskim proizvođačima transformatora i predstavljaju značajan domaći proizvod na liniji ostvarenja programa energetske efikasnosti u Srbiji.

## **LITERATURA**

- [1] N. Pejčić i grupa saradnika: Razvojno konstrukciona dokumentacija transformatora C'C klase, ABS Minel Trafo, Mladenovac, 2005-2008.