

PRIJEDLOZI RACIONALNIJEG REMONTA I OTKLANJANJA KVAROVA NA DISTRIBUTIVNIM TRANSFORMATORIMA 20(10)/0.4 kV

N. LUKIĆ, ZP „ELEKTROKRAJINA“ a.d. Banja Luka, Republika Srpska, BiH
S. NIKIĆ, ZP „ELEKTROKRAJINA“ a.d. Banja Luka, Republika Srpska, BiH

UVOD

Polazeći od značaja, a time i od cijene, distributivnih transformatora u sredjenaponskom elektroenergetskom sistemu, kao i od odnosa isporučena/neisporučena električna energija, dolazi se do poznatog i neospornog zaključka neophodnosti preventivnog i redovnog odžavanja, revizija i remonta distributivnih transformatora. Međutim, u današnje vrijeme u kojem se potenciraju pojmovi energetske efikasnosti i štednje energije, postavlja se zadatak pred proizvođačima, a takođe i serviserima, transformatora na efikasnijem proizvodu, ne umanjujući nivo pouzdanosti i sigurnosti koju transformator u radu mora da ima. Upravo pouzdanost i sigurnost rada transformatora, kao preduslova efikasnosti cijelog sistema, će i biti predmet razmatranja u ovom radu.

Analizom podataka o kvarovima na pojedinim konstruktivnim dijelovima transformatorima i na osnovu dugogodišnjeg iskustva na poslovima revizije, remontovanja i ispitivanja distributivnih transformatora u radu će se predstaviti aspekti racionalnijeg pristupa u obavljanju navedenih poslova sa jedne strane, a sa ciljem povećanja pouzdanosti distributivnog transformatora u sredjenaponskom elektroenergetskom sistemu sa druge strane.

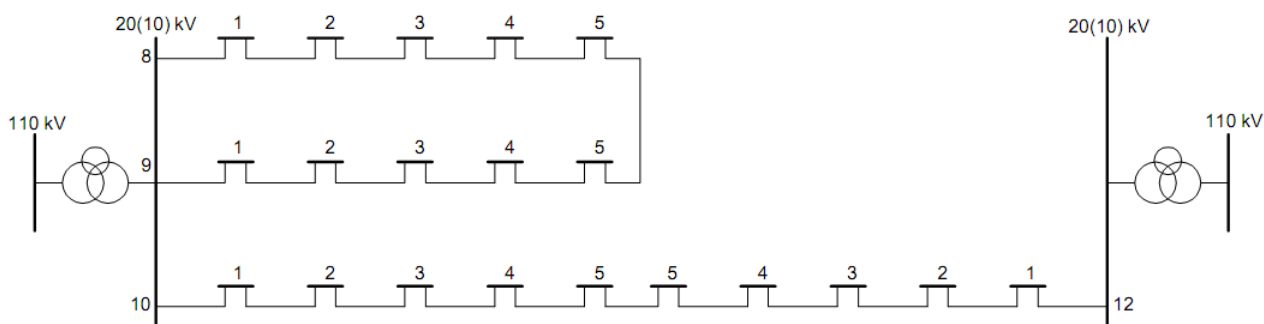
Na osnovu podataka o kvarovima na distributivnim transformatorima većina kvarova se dešava na strani višeg napona, i to na sljedećim konstruktivnim elementima: VN namotajima, regulacionoj preklopci i preklopci za promjenu naponskog nivoa 20(10) kV. U radu će se opisati svaki od ovih elemenata i predložiti idejna rješenja na osnovu kojih će se, prilikom remonta, djelovanjem na pojedinačne elemente povećati pouzdanost rada transformatora u cjelini.

DISTRIBUTIVNI TRANSFORMATOR U MREŽI

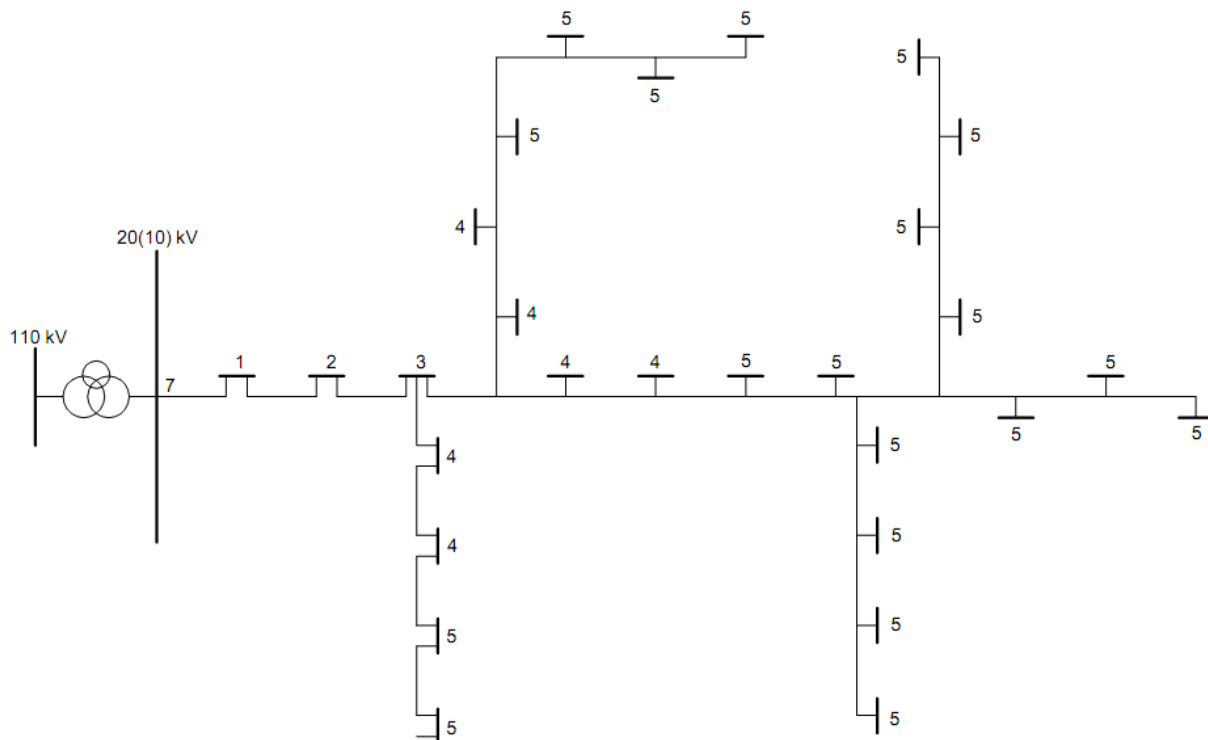
U distributivnim mrežama, shodno njihovoj koncepciji i tokovima snaga, koriste se energetske transformatori u opsegu snaga od 50 – 1600 kVA, a najčešće su to transformatori snage od 50 – 250 kVA (seoska područja sa stubnim trafostanicama), a ne zaostaju u kvantitetu ni snage 400 i 630 kVA (gradska i prigradska područja sa zidanim ili montažno-betonskim trafostanicama) . Sam raspored transformatora, odnosno transformatorskih stanica, zavisi od zahtjeva i potreba konzuma. Na slikama 1 i 2, prikazana su dva standardna tipa distributivne mreže i to, na slici 1 je dvostrano napajana i prstenasta distributivna mreža, a na slici 2 je radijalna distributivna mreža (najčešći tip u našem distributivnom elektroenergetskom sistemu). Navedena kvantitativna slika transformatora u distributivnoj mreži se preslikava i na njihova kretanja kroz remontnu radionicu i ispitnu stanicu, tj.

najveći broj kvarova se dešava na transformatorima snage od 50 – 250 kVA. Zavisno od udaljenosti trafostanice od izvora napajanja (TS 110/x kV) i napona na dalekovodu u mjestu izgradnje potrebno je preklopku $\pm 5\%$ postaviti u položaj od 1 do 5 kao na slici 1. Ova slika predstavlja zamišljeno idealno stanje mreže od pet transformatora napajane iz dvije trafostanice. Broj transformatora je ujedno i broj na koji je postavljena preklopka uzimajući u obzir udaljenost transformatora od izvora napajanja za normalno napajanje. U praksi često će se dešavati da u prvoj petlji napajanje vršimo samo sa jedne ćelije ili u drugoj petlji samo iz jednog izvora napajanja i te promjene su veoma česte u praksi zbog kvarova na vodovima ili redovnim remontima na postrojenjima. Idealno bi bilo da pri ovakvim promjenama izvršimo promjenu položaja na preklopkama $\pm 5\%$, međutim to se u praksi sigurno ne radi, a potrošači i ne osjećaju promjene napona na svojim uređajima, a sami distributeri znaju da bi ta promjena položaja preklopke dugo trajala.

Na slici 2. prikazana je šema dalekovoda 20(10) kV koji napaja seosko područje polazeći od izvora napajanja TS 110/20(10) kV do zadnje distributivne trafostanice udaljene 40 km sa par odvojaka po 10 km. Ako ovaj dalekovod napaja 30 do 40 transformatora snaga od 50 - 250 kVA veliko je umijeće postaviti preklopku $\pm 5\%$ u pravi položaj uzimajući u obzir udaljenost i naponske prilike mjesta trafostanice. Naše iskustvo govori: svi transformatori koji dolaze novi iz fabrika su sa preklopkama u srednjem položaju i takvi se montiraju na mrežu, 95% transformatora koji dolaze sa mreže u našu remontnu radionicu su sa preklopkama u srednjem položaju, svi transformatori koji nakon remonta u našoj radionici odlaze su sa preklopkom u srednjem položaju.



Slika 1. Položaj distributivnih transformatora u dvostrano napajanoj i prstenastoj mreži



Slika 2. Položaj distributivnih transformatora u radijalnoj mreži

REGULACIONA PREKLOPKA

Nazivni napon transformatora nekada nije egzaktno jednak naponu u sistemu, pa je potrebno povećati ili smanjiti izlazni napon transformatora kako bi se zadovoljili potrošači. U tom slučaju se dodaje ili oduzima određeni broj navojaka, čime se u suštini mijenja prenosni odnos transformatora. Za ove potrebe je razvijen uređaj koji je sastavni dio transformatora i kod distributivnih transformatora se nalazi u transformatorskom sudu potopljen u izolaciono ulje, a naziva se regulaciona preklopka. Prenosni odnos se mijenja u opsezima $\pm 2.5\%$ i $\pm 5\%$. Takođe, postoji još jedna preklopka kojom se transformator prilagođava naponu na koji je priključen (u našem srednjenaponskom distributivnom sistemu to su naponi 10 i 20 kV). Kod transformatora evropskog tipa regulaciona preklopka se nalazi na primarnoj strani (Slika 3).

Prema podacima međunarodnih analiza najveći broj kvarova na transformatorima je prouzrokovan kvarovima regulacione preklopke i to čak 40%. Takođe, na osnovu dugogodišnje analize kvarova na transformatorima koji su remontovani u remontoj radionici najveći broj su kvarovi regulacione preklopke.

Ovi podaci predstavljaju idejnu osnovu za nastanak ovog rada, a suština je da se prilikom remontovanja, a takođe i prilikom revizija transformatora izvrši uklanjanje regulacione preklopke iz transformatora, kako bi se povećala njegova pogonska pouzdanost i snizila cijena i vrijeme popravke transformatora. Na području našeg preduzeća većina transformatora je od četiri poznata proizvođača transformatora sa područja bivše Jugoslavije. Svaki od proizvođača ugrađivao je druge tipove preklopki, a takođe u zavisnosti od godišta transformatora isti proizvođač je ugrađivao različite tipove preklopki. Kada se otvori transformator starosti 10-ak godina i ustanovi kvar na preklopci sigurno je da se na tržištu ne može naći ista preklopka, a ugrađivanje drugog tipa zahtijeva i prepravke na samom transformatoru. Ukoliko se orijentaciono zna gdje će se ugraditi transformator preklopka se može eliminisati i transformator spojiti u željeni položaj za odgovarajući odnos transformacije.

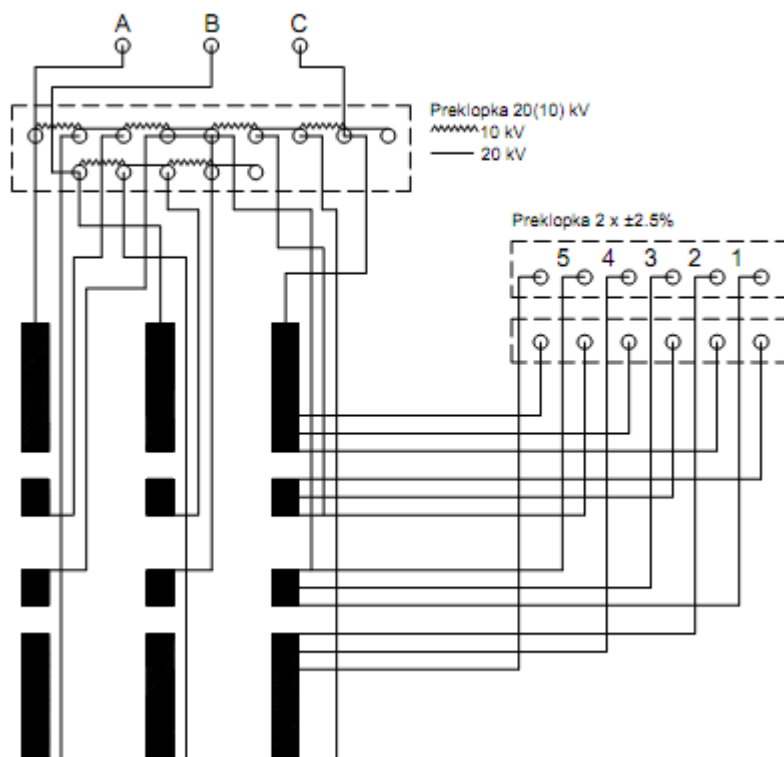


Slika 3. Transformator sa regulacionom preklopkom 2 x $\pm 2.5\%$ i preklopkom 20(10) kV

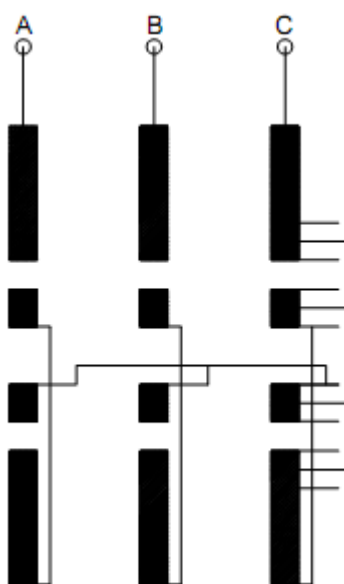
NAMOTAJI 20(10) kV

Naše preduzeće snabdijeva električnom energijom 15 opština banjalučke regije. Sedamdesetih godina prošlog vijeka donesena je odluka da se do tada dva distributivna napona 35 i 10 kV zamjene jednim 20 kV naponom što je u našem slučaju podrazumijevalo da se u buduću nabavljaju samo preklopivi transformatori 20(10)/0.4 kV radi prelaznog procesa koji i danas još traje. Do sada je na 20 kV napon prešlo kompletno 9 opština, a ostalih 6 je 70% na 20 kV naponu. Na područjima gdje se prešlo na 20 kV napon novi transformatori ne moraju biti preklopivi, a kod remonta transformatora sa ovih područja može se izbaciti preklopka 20(10) kV i motati jednostavniji 20 kV namotaji, na kojima je 90% kvarova transformatora.

Na sljedećim slikama prikazat ćemo namotaje prije i poslije remonta, tj. spoj namotaja sa regulacionom preklopkom i bez regulacione preklopke.



Slika 4. Principijelna šema spajanja namotaja transformatora sa regulacionom preklopkom



Slika 5. Principijelna šema spajanja namotaja transformatora bez regulacione preklopke

Proračuni pri motanju namotaja

Kod proračuna namotaja za nove transformatore projektant mora krenuti već određenim redom zavisno od snage i naponskog nivoa, međutim kod proračuna za oštećeni namotaj na već otvorenom transformatoru može se koristiti jednostavnija metoda za proračun koresteći konstrukcione podatke koji se mogu snimiti na namotaju.

Pri projektovanju transformatora polazi se od predloženih veličina za određeni transformator: nominalne snage, naponskog nivoa (VN, NN), frekvencije, tipa provodnika, regulacije, gubitika praznog hoda i kratkog spoja, napona kratkog spoja, sprege, gustine fluksa i površinske gustine struje. Ovde ćemo navesti nekoliko osnovnih formula, ne ulazeći u dublju analizu proračuna kompletnog aktivnog dijela transformatora:

1. Napona po navojku: $E_t = \frac{E}{N} = K \cdot \sqrt{S_n}$, koeficijent K zavisi od vrste materijala od kojeg je namotaj napravljen (Bakar ili Aluminijum)

$$2. E_t = 4.44 \cdot f \cdot B_m \cdot S_{Fe} \cdot 0.97 \cdot 10^{-4} \Rightarrow S_{Fe}$$

3. Usvajaju se početne vrijednosti $B_m = 1.6T$ i $J_{Cu} = 2.6A/mm^2$

4. Na osnovu izraza za snagu: $S_n = \sqrt{3}U_n I_n$ [kVA], računa se struja kroz provodnik

$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n}$ [A], a zatim se određuje površina poprečnog presjeka provodnika:

$$S_{Cu} = \frac{I_{fn}}{J_{Cu}} [mm^2] \Rightarrow d = 2\sqrt{\frac{S_{Cu}}{\pi}} [mm]^1$$

5. Broj navojaka na sekundaru (NN) određuje se izrazom: $N_{NN} = \frac{U_{NN}^f}{E_t}$

6. Broja navojaka na primaru (VN) određuje se izrazom: $N_{VN} = \frac{U_{VN}^f}{U_{NN}^f} \times N_{NN}$

7. Ukupni broj navojaka na primaru uz 5% regulacije je: $N_{VN}^u = N_{VN} + N_{VN} \times 0.05$

Pri remontovanju transformatora, tj. pri zamjeni oštećenog VN namotaja novim – novo namotanim, postupak proračuna je lakši, jer se već imaju podaci o bitnim veličinama: dimenzijama provodnika – žice, dimenzijama jezgra, dimenzijama navojnih dijelova, a na osnovu regulacije koja se već ima (npr. $\pm 5\%$) i prebrojavanjem njenog broja navojaka, lako se odredi i ukupan broj navojaka primarnog namotaja.

Kod novijih transformatora na zadnjem sloju namotaja vidljivo se vidi regulacija 2 x 2.5% označena izvodima 1, 3, 5 i veoma brzo se mogu izbrojati navojci između 1 i 3 (2.5%) ili 1 i 5 (5%). Ova regulacija je fizički odvojena od osnovnog namotaja. Koristeći obični procentni račun možemo izračunati broj navojaka u osnovnom namotaju.

$$S = P \times \frac{100}{p}$$

S – suma, u našem primjeru ukupan broj navojaka u osnovnom namotaju,

P – procentni iznos – izbrojani broj navojaka od 1 do 5 (izvoda),

p – postotak, u našem primjeru 5%.

Nakon ovog računa na osnovnom namotaju oduzmemo 2 x -2.5% i dobijemo na kojem navojku treba izvesti izvode 4 i 6, jer izvod 2 se nalazi na samom kraju osnovnog namotaja. Izmjerimo debljinu žice i širinu kragne, proverimo broj slojeva i možemo pristupiti motanju namotaja.

Ovo ćemo prikazati na slici 6 (šema namotaja i fotografija namotaja).

¹ Index f u izrazima označava faznu vrijednost veličine.



Slika 6. Šematski prikaz namotaja (polunamotaj) sa regulacijom (lijevo) i stvarni izgleda namotaja sa izvodima za regulaciju (desno)

Proračun za naš primjer:

Između izvoda 1-3: izbrojano 23 navojka

Između izvoda 3-5: izbrojano 23 navojka

Ukupno 46 navojka, a to je 5% od osnovnog broja navojaka.

Osnovni broj navojaka je od početka B do izvoda br. 2, a jednak je:

$$S = P \times \frac{100}{p} = 46 \times \frac{100}{5} = \frac{4600}{5} = 920 \text{ navojaka} = N_{VN}.$$

$$N_{VN}^u = N_{VN} + (N_{VN} \times 0.05) = 920 + (920 \times 0.05) = 920 + 46 = 966 \text{ navojaka.}$$

Broj navojaka gdje počinje regulacija je: $920 - 46 = 874$ (od početka B do izvoda br. 6)

ZAKLJUČAK

Ovim radom htjeli smo predstaviti mogućnosti bržeg i jednostavnijeg remontnog procesa na transformatorima, koji su otvoreni (sa izvađenim aktivnim dijelom) u remontnoj radionici, bez traganja za preklopkama (kojih nema na tržištu) i dokumentacijom o svakom tipu namotaja. Prijedlozi su zasnovani na dugogodišnjem radu u distribuciji i remontnoj radionici za popravku transformatora.

LITERATURA

1. Zbirka jugoslovenskih standarda: *ENERGETSKI TRANSFORMATORI*, Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 1996.
2. Zbirka jugoslovenskih standarda: *MERNI TRANSFORMATORI, MALI I SPECIJALNI TRANSFORMATORI I PRIGUŠNICE, OSTALI STANDARDI U VEZI SA TRANSFORMATORIMA*, Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 1996.
3. Savetovanje: *Transformatori u elektroenergetici*, Zbornik radova, Beograd, 1996.
4. Indrajit D., *Power Transformers - Quality Assurance*, New Age International (P) Ltf., Publishers, New Delhi, 2009.
5. Indrajit D., *Design of Transformers*, Tata McGraw-hill Publishing Company Limited, Fifth reprint, 2008.

Kontakt informacije autora:

Nesto Lukić, nestor.lukic@elektrokrajina.com, +387 65 853999

Spomenko Nikić, spomenko.nikic@elektrokrajina.com, +387 65 774526