

PRAKTIČNA PROVERA PRIMENJIVOSTI ODREĐIVANJA POLOŽAJA REGULACIONE SKLOPKE KORIŠĆENJEM STRUJA PRIMARA I SEKUNDARA TRANSFORMATORA

M. Sentin¹, EPS - P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Srbija
Z. Ristanović, Siemens d.o.o. Beograd, Srbija
S. Spremić, EPS – P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Srbija
D. Petrović, EPS – P.D. "Elektrovojvodina" – Ogranak "ED Subotica", Srbija

UVOD

Savremeni uređaji mikroprocesorske zaštite transformatora u sebi objedinjavaju sve neophodne zaštitne funkcije i signalizaciju, a pored toga isti su programibilni tako da je moguće napraviti i dodatne zaštitne funkcije i signalizaciju ili postojeće proširiti prema potrebama korisnika. Teoretsko razmatranje mogućnosti korišćenja struja primara i sekundara (tercijera) u određivanju položaja regulacione sklopke je razmotreno u [1] sa zaključkom da postoji mogućnost dovoljno tačnog određivanja položaja regulacione sklopke. Vrednost prenosnog odnosa srednje vrednosti sve tri struje primara i sekundara dobijena iz podataka o grubim očitavanjima i iz njega određen položaj regulacione sklopke su odgovarali stvarnom položaju regulacione sklopke. Da bi se dobile što tačnije vrednosti na nekoliko transformatora je izvršeno istovremeno očitavanje (snimanje) sve tri vrednosti struja primara i sekundara i podatak o položaju regulacione sklopke. Očitavanjem pri različitim opterećenjima, faktorima snage, primarnim i sekundarnim naponima se pokušala proveriti primenljivost pri što različitim uslovima rada. Sagledani su i prikazani podaci o transformatorima 110/x kV i tačnosti ugrađene opreme – strujnih transformatora 110 kV i 20 kV i uređaja mikroprocesorske zaštite. pri različitim uslovima koji obuhvataju različita opterećenja, sačinioce snage, primarne i sekundarne napone. Prikazani rezultati za date uslove potvrđuju primenljivost ovog načina određivanja položaja regulacione sklopke. Neophodno je obaviti dodatna očitavanja za uslove drugačije od ovde prikazanih kako bi se potvrdila puna primenljivost.

OSNOVNI PODACI O UREĐAJIMA I NAČINU VRŠENJA OČITAVANJA

Uređaji na kojima je vršeno očitavanje struja primara i sekundara transformatora su savremeni mikroprocesorski zaštitni uređaji, a uređaji na kojima je vršeno očitavanje napona primara, snaga i faktora snage transformatora su savremeni mikroprocesorski uređaji upravljanja dva poznata proizvođača. Na trafopoljima na kojima su vršena očitavanja su zaštitni i upravljački uređaj istog proizvođača. Napon sekundara transformatora i položaj regulacione sklopke su očitavani na uređaju automatske regulacije napona. Greške analognih strujnih ulaza uređaja mikroprocesorske zaštite su \leq

¹ Mileta Sentin, EPS-P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (mileta.sentin@ev.rs)

± 1 % za struje do I_n .

Ostali uređaji koji su uključeni u očitavanje struja primara i sekundara transformatora su 110 kV, 35 kV i 20 kV strujni transformatori koji unose grešku, a i sam energetska transformator unosi grešku preko greške prenosnog odnosa. Kod svih očitavanja u uređaje mikroprocesorske zaštite su uvedene struje trećeg jezgra (zaštitnog) 110 kV strujnih transformatora čija je klasa tačnosti 5P sa greškom $\leq \pm 1$ % i faznom greškom $\leq \pm 60$ min kod I_n i struje zaštitnog jezgra 35 kV i 20 kV strujnih transformatora su iste klase tačnosti izuzev u jednom slučaju.

Za ovu analizu su najvažniji podaci o očitanim vrednostima struja primara i sekundara i položaja regulacione sklopke energetskog transformatora. Ostali podaci (naponi, snage i faktor snage) su važni za sagledavanje mogućih uticaja uslova rada na tačnost kod određivanja položaja regulacione sklopke iz struja primara i sekundara energetskog transformatora.

Za izračunavanje prenosnog odnosa struja primara i sekundara energetskog transformatora su korišćene srednja vrednosti sve tri struje primara i srednja struja sve tri struje sekundara iz kojih je onda izračunata vrednost položaja regulacione sklopke koja je onda zaokružena na celobrojnu vrednost. Srednje vrednosti sve tri fazne struje su neophodne kako bi se usrednjila greška koja dolazi od struje "praznog hoda" tj. struje potrebne za magnećenje i pokrivanje gubitaka u gvožđu uzrokovanih histerezisom i vrtložnim strujama. Kod samog ogleđa praznog hoda se može jasno uočiti da su struje pojedinih faza različite zbog konstruktivnih razloga, tj. izvedbe aktivnog dela transformatora, a razlike u strujama praznog hoda pojedinih faza mogu biti značajne. One se ne primećuju jasno kod iole većih opterećenja transformatora jer su u odnosu na struje opterećenja male. Relativno male razlike u strujama opterećenja po fazama se mogu pripisati i nesimetriji opterećenja.

Očitane vrednosti faznih struja primara i sekundara su efektivne vrednosti koje su usrednjene u intervalu vremena od 2 s (kod jednog proizvođača). S obzirom da je regulacija napona transformatora spor proces u odnosu na većinu zaštitnih funkcija ovo može biti zadovoljavajuća veličina intervala vremena, ali bi ipak zbog preciznosti vrednost intervala trebala biti kraća sa vremenom od 0,5 s. Proračun je izveden naknadno iako postoji mogućnost odgovarajućeg softverskog rešenja u samim uređajima mikroprocesorske zaštite.

Transformatori za koje su vršena očitavanja su distributivni transformatori prenosnog odnosa 110/36,75/10,5 kV/kV/kV i 110/21/10,5 kV snaga 31,5 MVA i 20 MVA. Koraci regulacije napona predmetnih transformatora su 1,5 % i 1,6 %.

ANALIZA REZULTATA OČITAVANJA STRUJA I IZVEDENIH VELIČINA

U ovoj tački je prikazan deo očitanih vrednosti struja, položaja regulacione sklopke i drugih veličina, a takođe i izračunata vrednost položaja regulacione sklopke, zaokružena celobrojna vrednost izračunatog položaja regulacione sklopke i druge izvedene veličine. Uporedo sa prikazom se daje i analiza rezultata i izvedenih veličina.

Očitavanja su vršena pri normalnom radu transformatora u različitim uslovima rada, tj. pri različitim opterećenjima i faktorima snage, primarnim i sekundarnim naponima za položaje regulacione sklopke prema prametrima uređaja automatske regulacije napona ili su za date uslove regulacione sklopke namerno pomerane gore i dole za jedan položaj. Ukupno je izvršeno 16 očitavanja na 7 transformatora. Na žalost nije bilo dovoljno vremena da se obavi veći broj očitavanja koji bi obuhvatio što širi spektar uslova i koji bi uključio veliki broj očitavanja pri različitim uslovima za jedan ili više transformatora.

U Tabeli 1 su prikazani osnovni podaci o transformatoru, očitane i izračunate vrednosti. Struje primara i sekundara su očitavane sa mikroprocesorskog uređaja zaštite gde se koriste zaštitna jezgra 5P30 primarno i sekundarno izuzev kod transformatora broj 54905 gde su sa sekundarne strane merni transformatori klase tačnosti 10P10. Očitavanje vrednosti struja je vršeno sa zaokruživanjem na jednu decimalu. U kolonama Tabele 1 n_{uk} je ukupan broj koraka regulacije napona izuzimajući prelazne položaje u kojima ne dolazi do promene prenosnog odnosa, m_{12sr} predstavlja prenosni odnos u srednjem položaju transformatora, tj. nazivni prenosni odnos transformatora (npr. 110/21 kV/kV ili 110/36,75 kV/kV), V_s je korak regulacije napona u postocima, a m_{mer} je prenosni odnos izračunat iz odnosa struja sekundara i primara (1).

$$m_{mer} = \frac{I_{sec}}{I_{prim}} \quad (1)$$

Položaj regulacione sklopke iz merenih vrednosti struja primara i sekundara n_{RS} je izračunat iz sledeće jednačine [1]:

$$n_{RS} = n_{uk} \frac{m_{mer} - m_{12sr} \cdot \left(1 - \frac{V_s}{100} \cdot \left(\frac{n_{uk} - 1}{2} \right) \right)}{m_{12sr} \cdot \frac{V_s}{100}} \quad (2)$$

Zaokruživanjem n_{RS} na celobrojnu vrednost dobijemo merenu zaokruženu vrednost položaja regulacione sklopke.

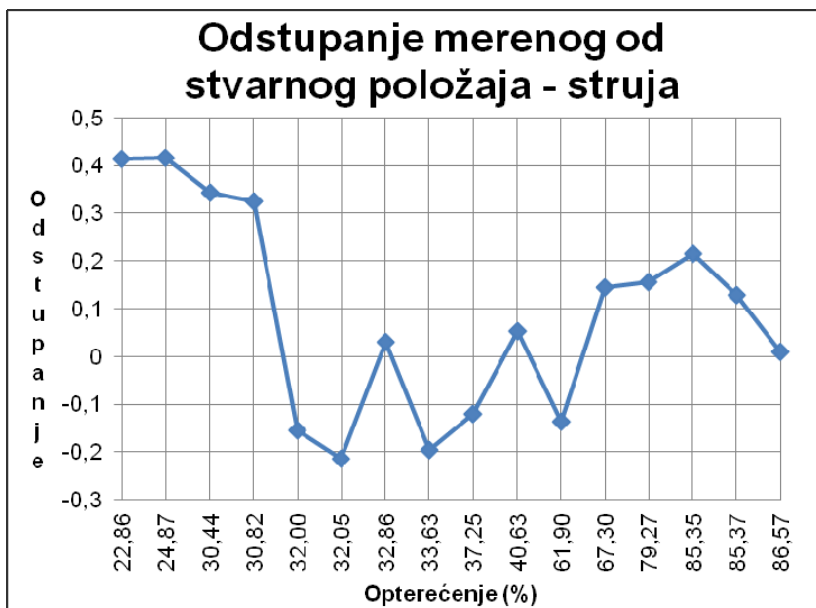
TABELA 1 – Prikaz podataka o transformatorima, očitanih vrednosti i izvedenih veličina

ET f.br.	Sn (MVA)	m_{12sr}	V_s (%)	Ukupan broj polož. n_{uk}	Stv. polož.	I prim sred (A)	I sec sred (A)	m_{mer}	n_{RS}	Merena zaokruž. vrednost položaja
20092518	31,5	5,238	1,6	21	8	37,600	205,100	5,4548	8,4145	8
20092518	31,5	5,238	1,6	21	6	39,967	224,700	5,6222	6,4171	6
20072458	31,5	5,238	1,6	21	8	48,900	267,033	5,4608	8,3427	8
20072458	31,5	5,238	1,6	21	9	50,033	269,100	5,3784	9,3257	9
20072458	31,5	5,238	1,6	21	10	50,967	271,900	5,3349	9,8454	10
710167	31,5	2,993	1,5	21	6	51,033	164,700	3,2273	5,7858	6
710167	31,5	2,993	1,5	21	7	52,900	167,767	3,1714	7,0311	7
710167	31,5	2,993	1,5	21	8	51,933	162,900	3,1367	7,8035	8
54905	20	2,993	1,5	21	10	38,300	116,567	3,0435	9,8793	10
335121	31,5	5,238	1,6	21	9	67,700	365,667	5,4013	9,0529	9
20092518	31,5	5,238	1,6	21	9	100,667	545,333	5,4172	8,8627	9
20092518	31,5	5,238	1,6	21	10	111,333	591,167	5,3099	10,143	10
9942273	20	5,238	1,6	21	8	78,300	428,800	5,4764	8,1569	8
9942273	20	5,238	1,6	21	9	84,600	455,800	5,3877	9,2149	9
9942273	20	5,238	1,6	21	11	84,467	441,533	5,2273	11,129	11
20032385	31,5	5,238	1,6	21	21	160,333	705,333	4,3992	21,01	21

Iz Tabele 1 se vidi da se za obavljena očitavanja dobijaju iste vrednosti stvarnog položaja regulacione sklopke i iz merenih vrednosti struja zaokružene izračunate vrednosti položaja regulacione sklopke. Od prvog reda tabele (ispod početnog reda - zaglavlja) naniže su rezultati poređani po postotnom opterećenju. Vrednosti faktora snage nisu imale veće razlike i kretale su se od 0,93 do 0,98 tako da se po ovom parametru ne može napraviti odgovarajuća analiza.

Očigledno je da su u koloni n_{RS} odstupanja vrednosti n_{RS} od stvarnog položaja (celobrojna vrednost) najveće kod najmanjih opterećenja dok se kod većih opterećenja ne vidi jednolična promena, u smislu smanjenja razlike n_{RS} u odnosu na stvarni položaj. Ovome uzrok mogu biti različiti uslovi kao što su razlike u vrednostima faktora snage, razlike u naponima sekundarne strane i time veličine struje potrebne za magnećenje i pokrivanje gubitaka histerezisa i vrtložnih struja, ali i greške pojedinih uređaja (strujni transformatori, energetski transformator u različitim položajima, mikroprocesorski uređaji).

Na Slici 1 su prikazana odstupanja položaja regulacione sklopke dobijenih iz merenih veličina n_{RS} u odnosu na stvarne položaje regulacione sklopke. Sa Slike 1 se vidi da su za prikazana očitavanja veća odstupanja položaja dobijenog iz primarnih i sekundarnih struja kod manjih opterećenja do oko 30 % kako je i pretpostavljeno u [1]. Ta odstupanja su vrednosti oko 0,4 i može se pretpostaviti da bi kod malih opterećenja uz drugačije uslove (faktor snage, napon) apsolutna vrednost odstupanja mogla biti veća od 0,5 što bi onda zaokruživanjem dalo grešku od jednog položaja. Kod većih opterećenja se odstupanja kreću u granicama od -0,2 % do +0,2 %. Moguće je da bi odstupanja u drugačijim uslovima (faktor snage, napon) mogla biti i veća, ali zavisno i od uticaja grešaka strujnih transformatora, greške prenosnog odnosa transformatora i grešaka analognih ulaza mikroprocesorskih uređaja odstupanja mogu biti i manja.



SLIKA 1 – Odstupanje merenog n_{RS} od stvarnog položaja regulacione sklopke kod korišćenja struja

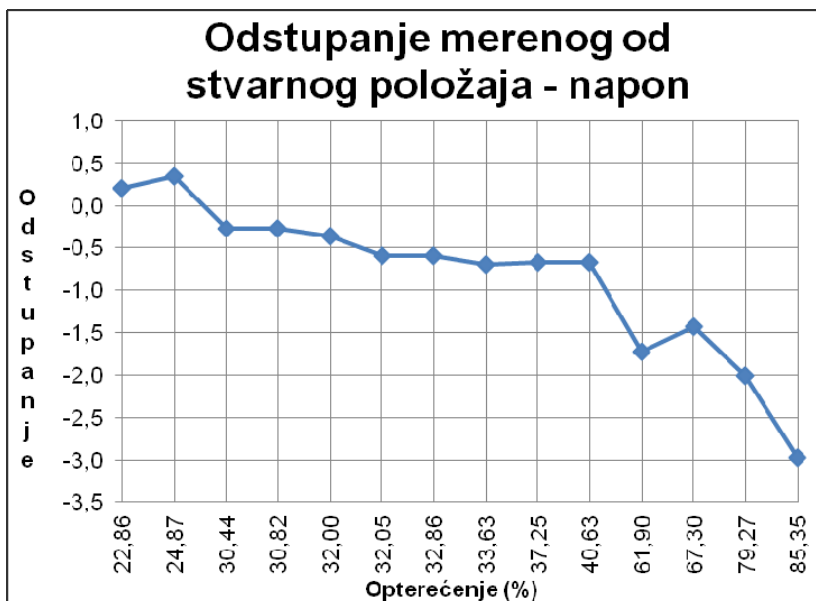
Prikazani podaci su ipak nedovoljno velik uzorak da bi se napravila analiza za razlike u sekundarnim naponima i razlike u faktorima snage. U narednom periodu treba očitati i sagledati mnogo veći uzorak.

ANALIZA REZULTATA OČITAVANJA NAPONA I IZVEDENIH VELIČINA

Prilikom očitavanja struja očitane su i vrednosti međufaznog primarnog napona i odgovarajućeg međufaznog sekundarnog napona na odgovarajućim mikroprocesorskim uređajima (za 110 kV naponski nivo) i automatskog regulatora napona (za 35 kV ili 20 kV naponski nivo) kako bi se utvrdila zavisnost odstupanja vrednosti položaja regulacione sklopke dobijenog iz vrednosti primarnog i sekundarnog napona od stvarnog položaja regulacione sklopke. Vrednost m_{mer} je

$$m_{mer} = \frac{U_{prim}}{U_{sec}} \quad (3)$$

Iz ove vrednosti se prema jednačini (2) izračunava n_{RS} , tj. izračunata vrednost položaja regulacione sklopke iz odnosa primarnog i sekundarnog napona.



SLIKA 2 – Odstupanje merenog n_{RS} od stvarnog položaja regulacione sklopke kod korišćenja napona

Očigledno je da se sa povećanjem opterećenja povećava i odstupanje položaja regulacione sklopke izračunatog iz merenih vrednosti primarnog i sekundarnog napona u odnosu na stvarni položaj regulacione sklopke. Zbog uzorka koji nema značajnije razlike u vrednostima faktora snage i/ili značajnih razlika u sekundarnim naponima ne mogu se sagledati ovi uticaji na prethodno pomenuto odstupanje. Da bi se sagledali i ovi uticaji neophodno je i nadalje vršiti očitavanja kako bi se sa većim uzorkom mogli sagledati i uticaji faktora snage i sekundarnih napona.

Prema izračunatom prenosnom odnosu iz merenih vrednosti primarnog i sekundarnog napona se vidi da je odstupanje položaja regulacione sklopke u granicama opsega od $\pm 0,5$ do oko 30 % opterećenja, iako bi uz moguće veće greške pojedinih uređaja (strujni transformatori, prenosni odnos energetskog transformatora u različitim položajima, mikroprocesorski uređaji) opdstupanje moglo preći ove granice. Mogućnost korišćenja određivanja položaja regulacione sklopke na ovaj način bi, uz grešku do ± 1 položaja bilo do oko 30 % opterećenja za date uslove.

ZAKLJUČAK

Na osnovu obavljenih merenja (očitavanja) položaja regulacione sklopke, struja i napona primarne i sekundarne strane transformatora i drugih izvedenih veličina (snage, faktor snage) za date uslove rada transformatora (opterećenja, faktor snage, naponi) i izračunatih položaja regulacione sklopke iz očitanih veličina (napona i struja primara i sekundara) mogu se dati sledeći zaključci:

- Položaj regulacione sklopke izračunat iz merenih usrednjenih vrednosti sve tri efektivne struje primara i sekundara je imao istu vrednost kao stvarni položaj regulacione sklopke.
- S obzirom na uslove očitavanja može se pretpostaviti da bi se u određenim uslovima pri manjim opterećenjima (do oko 30 %), manjim vrednostima faktora snage i većim vrednostima sekundarnog napona mogla pojaviti razlika između stvarnog položaja regulacione sklopke i izračunatog iz merenja struja od 1 jednog položaja.
- Položaj regulacione sklopke izračunat iz merenih vrednosti jednog međufaznog primarnog i sekundarnog efektivnog napona bi se, za prikazane uslove, mogao koristiti do opterećenja od oko 25 %.
- Za veća opterećenja, manje vrednosti faktora snage i veće vrednosti sekundarnog napona razlike u odnosu na stvarni položaj mogu velike (do 3 položaja razlike za date uslove) za merenje napona.
- S obzirom da očitavanja obuhvaćena ovim radom ne obuhvataju širok opseg različitih uslova rada (izuzev po opterećenju) potrebno je da se sa očitavanjima nastavi kako bi se obuhvatili i različiti uslovi što se tiče faktora snage i sekundarnih napona.

Iako nije obrađen veliki broj različitih uslova rada, a prema prikazanim očitavanjima, može se pretpostaviti da je određivanje položaja regulacione sklopke iz usrednjenih vrednosti sve tri efektivne struje primara i sekundara, uvažavajući i moguću grešku od jednog položaja, primenjiva za obezbeđenje podatka o položaju regulacione sklopke kao informaciju, za mogući paralelan rad distributivnih transformatora postupkom vodeći-prateći i za potrebe osetljivijeg podešavanja diferencijalne zaštite transformatora. Ovaj način obezbeđenja podatka o položaju regulacione sklopke svakako može da se koristi kao rezervni podatak.

Određivanje položaja regulacione sklopke iz primarnog i sekundarnog napona je ograničeno primenjivo samo kod malih opterećenja.

Da bi se sagledale mogućnosti primene ovog načina određivanja položaja regulacione sklopke na što širem opsegu uslova rada transformatora potrebno je nastaviti sa očitavanjima. U slučaju većih odstupanja pokušati primeniti korekcione krive koristeći mogućnosti mikroprocesorskih uređaja.

LITERATURA

1. S. Spremić, D. Petrović, Z. Ristanović, M. Sentin, "Unapređenje funkcija uređaja mikroprocesorske zaštite transformatora", VIII savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije sa regionalnim učešćem, Vrnjačka Banja 2012. – prijavljen referat

KLJUČNE REČI: prenosni odnos, regulaciona sklopka, položaj, struja, tačnost, greška, upravljanje, zaštita