

Korekcija određivanja položaja regulacione preklopke iz struja i napona primara i sekundara po snimljenim vrednostima pojedinačnog transformatora

Correction of Determining the Position of the Control Switch from the Currents and Voltages of the Primary and Secondary According to the Recorded Values of the Individual Transformer

Siniša Spremić, Dušan Obradović

EPS – Tehnički centar Novi Sad

Rezime - U radu se razmatra mogućnost direktne korekcije greške kod određivanja položaja regulacione preklopke iz napona primara i sekundara pojedinačnih transformatora koji imaju veći broj snimljenih merenih vrednosti napona i struja u manjem ili većem opsegu opterećenja. Direktna korekcija se nadovezuje na prethodno izvršenu korekciju greške od pada napona na impedansi transformatora koja se koristi za proračun položaja regulacione preklopke korišćenjem napona. Direktna korekcija se vrši određivanjem srednje vrednosti svih tačaka i zatim oduzimanjem na taj način određene srednje vrednosti od vrednosti pojedinačnih tačaka.

Ključne reči – položaj regulacione sklopke, struja, prenosni odnos, korekcija

Abstract - The paper considers the possibility of direct error correction when determining the position of the control switch from the primary and secondary voltages of individual transformers that have a larger number of recorded measured values of voltage and current in a smaller or larger load range. The direct correction builds on the previously performed error correction from the voltage drop on the transformer impedance, which is used to calculate the position of the control switch using voltage. Direct correction is performed by determining the mean value of all points and then subtracting the determined mean value from the value of individual points.

Index terms – control switch position, current, turn ratio, correction

I UVOD

U savremenim inteligentnim elektroničkim uređajima (u daljem tekstu: IEU) postoje sve neophodne funkcije zaštite, automatizacije, upravljanja i signalizacije. Moguće je da se naprave dodatne zaštitne, automatizacione, upravljačke i signalne funkcije ili postojeće mogu da budu unapređene koristeći mogućnosti komunikacije sa krajnjim ciljem povećanja pouzdanosti i preciznosti. Takođe funkcije mogu da se izvedu u

sistemu nadzora, upravljanja i prikupljanja podataka (u daljem tekstu: SCADA).

Podatak o položaju regulacione preklopke (u daljem tekstu: RP) je neophodan za lokalno i daljinsko nadgledanje i upravljanje, za paralelan rad transformatora koristeći metodu vodeći-prateći (eng. Master-Follower) i može da se iskoristi za osetljivije podešavanje diferencijalne zaštite transformatora.

Jedna od savremenih težnji je unapređenje pouzdanosti u svakom delu prenosa i distribucije električne energije. Koristeći napredne mogućnosti savremenih IEU ili SCADA i jednačine za određivanje položaja RP koristeći primarne i sekundarne (tercijarne) struje i napone može da se unapredi pouzdanost i preciznost.

Korišćenjem korekcija se odstupanja položaja RP dobijenog računski iz mernih veličina napona mogu svesti na nivo da se zaokruživanjem na ceo broj dobiju tačne vrednosti položaja RP.

II OPIS ODREĐIVANJA POLOŽAJA RP SA KOREKCIJAMA

Postojeći način obezbeđenja podatka o položaju RP je iz ormara motornog pogona (u daljem tekstu: MP) RP koristeći različite izlaze (mA, kontakti opseg i kodovi BCD, Grey i Binary). Iako su ovi uređaji su pouzdani povremeno se pojave različiti kvarovi koji vode do netačnog podatka o položaju RP ili tog podatka uopšte nema, a to uzrokuje blokadu paralelnog rada transformatora koristeći metodu vodeći-prateći i manje osetljivu diferencijalnu zaštitu transformatora u IEU koji su opremljeni ovom opcijom. Manje značajno, ali ne zanemarivo je izostanak daljinskog nadzornog podatka.

Jednačina za izračunavanje položaja regulacione sklopke [1] je data ispod.

$$n_{RP} = \frac{100}{V_s} \cdot \left(1 - \frac{m_{meas}}{m_{12sr}} \right) + 0,5 \cdot n_{uk} + 0,5 \quad (1)$$

gde su:

- n_{RP} merno računati položaj RP iz merenih vrednosti struja ili napona,

- n_{uk} broj položaja RP sa različitim prenosnim odnosom,
- m_{meas} prenosni odnos računat iz primarnih i sekundarnih struja i napona,
- m_{12sr} računski prenosni odnos za srednji položaj RP i
- V_s korak promene napona primara za promenu jednog položaja RP u %.

Jednačina za izračunati prenosni odnos iz primarnih i sekundarnih struja m_{meas} je zbog korekcije uticaja greške prenosnog odnosa energetskog transformatora izmenjena u odnosu na [1]:

$$m_{meas} = \frac{\frac{I_{L1sec}}{I_{L1prim}} + \frac{I_{L2sec}}{I_{L2prim}} + \frac{I_{L3sec}}{I_{L3prim}}}{3} \quad (2)$$

Iz primarnih i sekundarnih napona m_{meas} je takođe izmenjena u odnosu na [1]:

$$m_{meas} = \frac{\frac{U_{L1prim}}{U_{L1sec}} + \frac{U_{L2prim}}{U_{L2sec}} + \frac{U_{L3prim}}{U_{L3sec}}}{3} \quad (3)$$

U određivanju položaja RP korišćenjem struja postoje greške: analognih ulaza u IEU, prenosnog odnosa transformatora, strujnih transformatora i zbog struja magnećenja (struja praznog hoda) transformatora [2]. U određivanju položaja RP korišćenjem napona postoje greške: analognih ulaza u IEU, prenosnog odnosa transformatora, naponskih transformatora, zbog struja opterećenja transformatora (pad napona na impedansi transformatora) i paralelnog rada transformatora [2]. Za sve greške postoji mogućnost korekcije [2] što je u nekim slučajevima jednostavno dok u nekim slučajevima zahteva kalibraciju odgovarajućim uređajima i vremenski značajno korišćenje zaposlenih i uređaja.

Za određivanje položaja RP iz napona su korišćeni jedan međufazni napon primara i jedan sekundara.

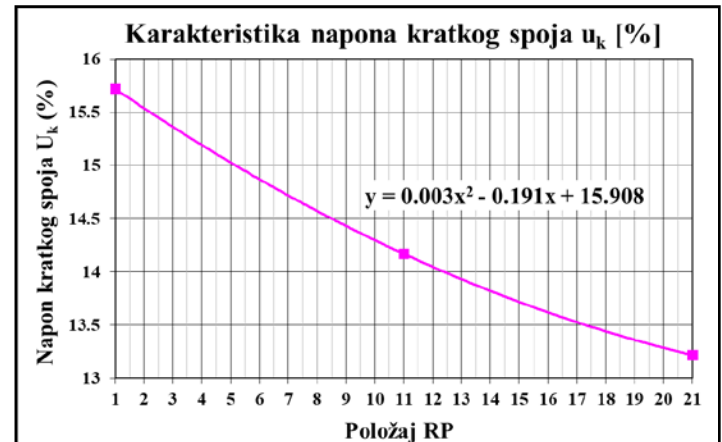
Za proveru mogućnosti određivanja položaja RP koristeći primarne i sekundarne struje i napone snimljeni su podaci na IEU zaštite („diferencijalni“), upravljanja i automatske regulacije napona (samostalni ili u sklopu zaštitnog uređaja).

Nije vršena provera da li se rezultati dobijeni snimcima na IEU podudaraju sa prikazom rezultata sa desktopa SCADA na lokalnim računarima u trafostanicama gde se prikazuje samo jedna primarna i sekundarna struja, a nije vršeno ni poređenje sa rezultatima koji se prikupljaju u SCADA. Poređenje ovih rezultata bi moralo biti istovremeno.

Na nekim uređajima vrednosti primarnih i sekundarnih struja i/ili primarnih napona su zaokruženi na celobrojne vrednosti. Kod malih vrednosti struja to može dovesti do većih razlika između merno računatih i stvarnih položaja RP, a manjih razlika kod većih vrednosti struja, a i kod primarnih napona. Sagledavanjem uzorka koji je obrađen postoji mogućnost da dođe i do većih, ali i do manjih razlika ukoliko bi se koristile vrednosti sa jednom ili dve decimale.

Da bi rezultati proračuna bili bolji moguće je uraditi korekcije. Najjednostavnija korekcija je uvođenje pada napona na impedansi transformatora za izračunavanje položaja RP

korišćenjem napona primara i sekundara. Za dobijanje vrednosti impedanse koristi se kriva napona kratkog spoja ili kriva impedanse kratkog spoja koja se dobije iz tri tačke ogleđa kratkog spoja sa ispitnog lista transformatora, a primer karakteristike jednog realnog transformatora je dat na Slici 1. Pored veličine struje najveći uticaj na pad napona u transformatoru ima vrednost faktora snage.

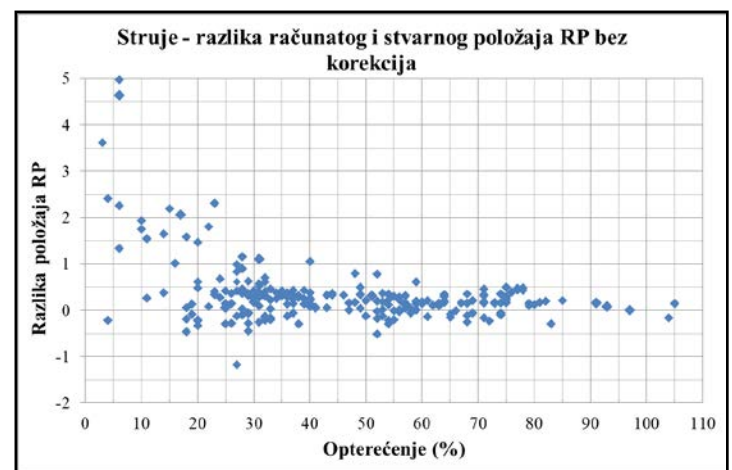


Slika 1. Karakteristika napona kratkog spoja

Druga jednostavna korekcija koja se može iskoristiti je korišćenje vrednosti greške prenosnog odnosa transformatora za dati položaj RP. Ova korekcija se može upotrebiti kod izračunavanja položaja RP korišćenjem i struja i napona. Analiza je pokazala da se korišćenjem korekcije greške prenosnog odnosa dobiju malo bolji rezultati [3].

III ANALIZA ČITAVOG UZORKA

Na Slici 2 je dat prikaz razlika merno računatog i stvarnog položaja RP bez upotrebe korekcija za 234 tačke za 38 transformatora 110/x kV korišćenjem struja.



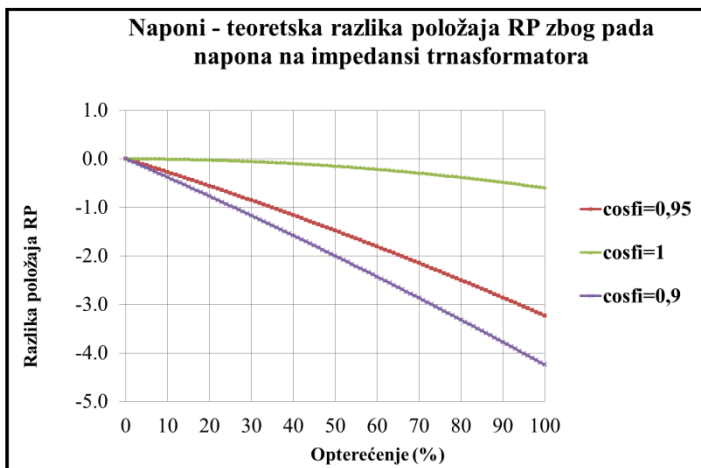
Slika 2. Razlike računatog i stvarnog položaja RP za struje bez korekcija

Vidi se da je značajna većina tačaka pri opterećenjima većim ili jednakim 30 % u granicama $-0,5 \leq X \leq 0,5$. Tih 158 od 170

tačaka čini približno 93 %. Obrada svih korekcija po pojedinačnom transformatoru uključivo strujne transformatore i analogne ulaze uređaja bi zahtevala veoma mnogo vremena pa bi bilo moguće i jednostavnije obaviti direktnu korekciju. Za ovo je potrebno da se za svaki pojedinačan transformator za širok opseg opterećenja snime tačke te da se iz istih interpolacijom odredi kriva koja bi se onda koristila za direktnu korekciju. Za ovu analizu trenutno nema dovoljan broj transformatora sa većim brojem tačaka u širokom opsegu opterećenja.

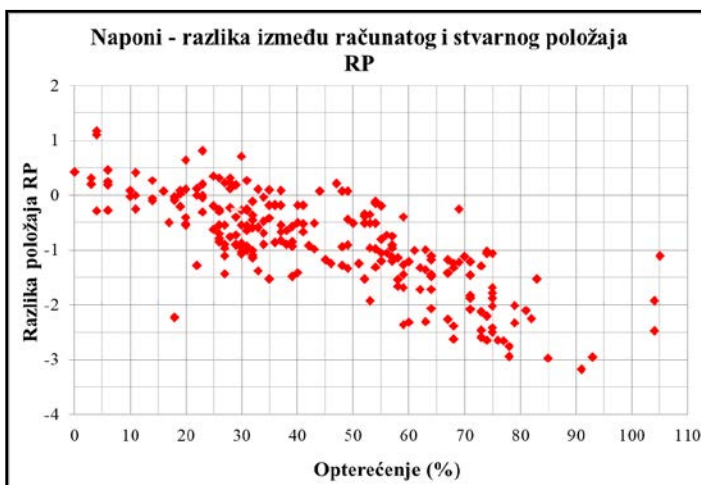
Pri opterećenjima manjim od 30 % su 28 od 64 tačke van granica $-0,5 \leq X \leq 0,5$ što čini nešto manje od 44 %.

Na Slici 3 je prikazana teoretska razlika položaja RP zbog pada napona na impedansi transformatora za nekoliko različitih vrednosti faktora snage. Uticaj faktora snage je značajan.



Slika 3. Teoretska razlika položaja RP u zavisnosti od promene opterećenja i faktora snage

Na Slici 4 je dat prikaz tačaka razlike položaja RP dobijenih iz primarnih i sekundarnih napona bez korekcija.

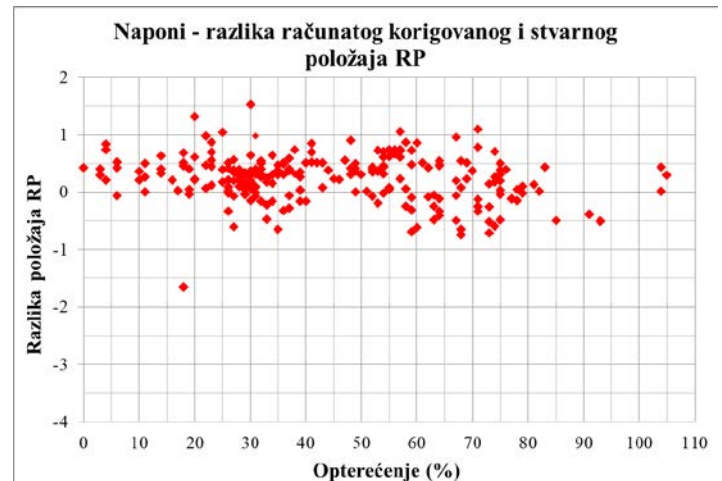


Slika 4. Razlike računatog i stvarnog položaja RP za napone bez korekcija

Korekcija po padu napona na impedansi transformatora se računa

iterativno iz položaja RP dobijenog iz mernih veličina primarnog i sekundarnog napona, a onda se iz dobijene nove vrednosti sekundarnog napona dobije nova vrednost položaja RP koja ide dalje u iterativni proračun. Nakon treće iteracije se dobije ustaljena vrednost položaja RP.

Na Slici 5 je dat prikaz tačaka razlike računatog korigovanog i stvarnog položaja koristeći korekciju pada napona na impedansi transformatora.



Slika 5. Razlike računatog korigovanog i stvarnog položaja RP

Zbog pada napona na impedansi transformatora merno računati napon je neupotrebljiv. Koristeći korekciju pada napona na impedansi transformatora 68 od 235 tačaka (28,9 %) su izvan opsega $-0,5 \leq X \leq 0,5$ što je značajan postotak. U 64 slučaja bi razlika stvarnog i računatog celobrojnog položaja RP bila 1, a u dva slučaja 2.

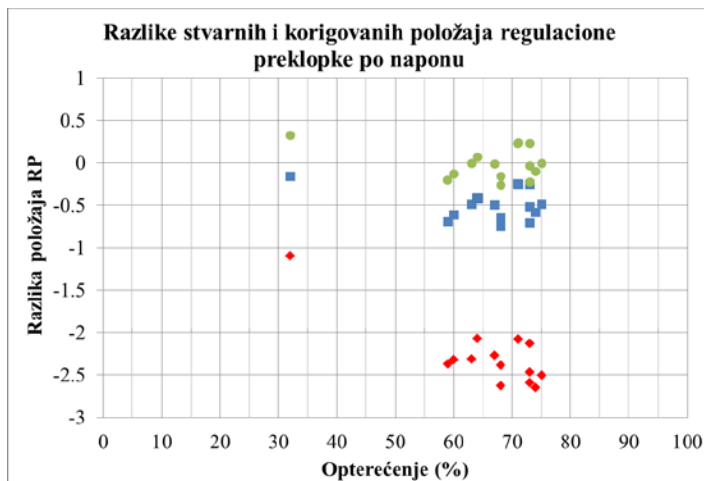
U TS 110/x kV na području DP Novi Sad u praznom hodu pri isključenoj sredjenaponskoj (u daljem tekstu: SN) strani nema podatka o veličini napona SN strane transformatora jer se naponski transformatori nalaze u mernoj ćeliji koja je priključena na SN sabirnice. Da bi automatski regulator napona i SCADA stalno imali podatak o naponu SN strane transformatora trebalo bi da se u trafo ćeliju SN strane transformatora ugrade naponski transformatori [4].

IV DIREKTNA KOREKCIJA PO POJEDINAČNOM TRANSFORMATORU

Direktna korekcija greške položaja RP po pojedinačnom transformatoru će se vršiti uz korišćenje napona primara i sekundara za određivanje položaja RP uvažavajući prethodno izvršenu korekciju pada napona na impedansi transformatora. Uticaj grešaka strujnih transformatora i strujnih analognih ulaza IEU je već uveden kroz korekciju pada napona na impedansi transformatora. Pregledom snimljenih podataka i izračunatih grešaka se uočilo da zbirni uticaji grešaka prenosnog odnosa transformatora, naponskih transformatora i naponskih analognih ulaza IEU (u daljem tekstu: zbirne greške) imaju umerene razlike u vrednostima faktora snage. Sabiranjem grešaka svih tačaka pojedinačnog transformatora i izračunavanjem srednje vrednosti možemo izvršiti direktnu korekciju greške. Direktnu korekciju

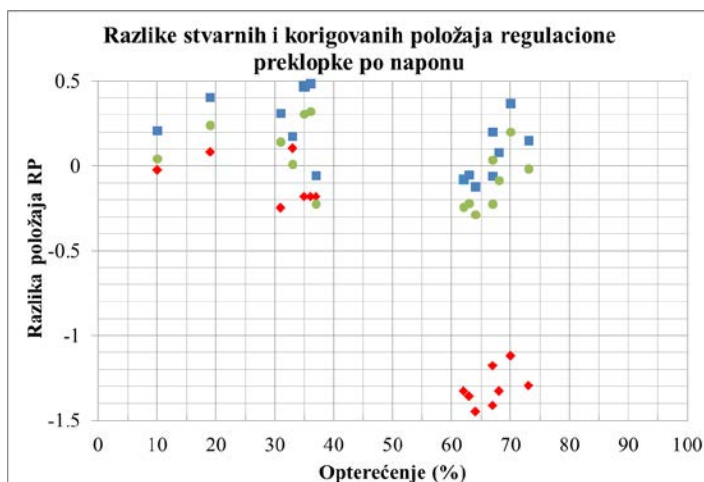
greške svake tačke vršimo tako da od prethodno dobijene greške oduzimamo izračunatu srednju vrednost.

Na Slikama 6, 7, 8 i 9 su crvene tačke oblika romba razlike stvarnih položaja RP i merno računate vrednosti položaja RP bez korekcije. Plave tačke oblika kvadrata su razlike stvarnih položaja RP i merno računate vrednosti položaja RP sa korekcijom pada napona na impedansi transformatora. Zelene tačke kružnog oblika su razlike stvarnih položaja RP i merno računate vrednosti položaja RP sa korekcijom pada napona na impedansi transformatora i direktnom korekcijom.



Slika 6. Razlike računatog korigovanog i stvarnog položaja RP

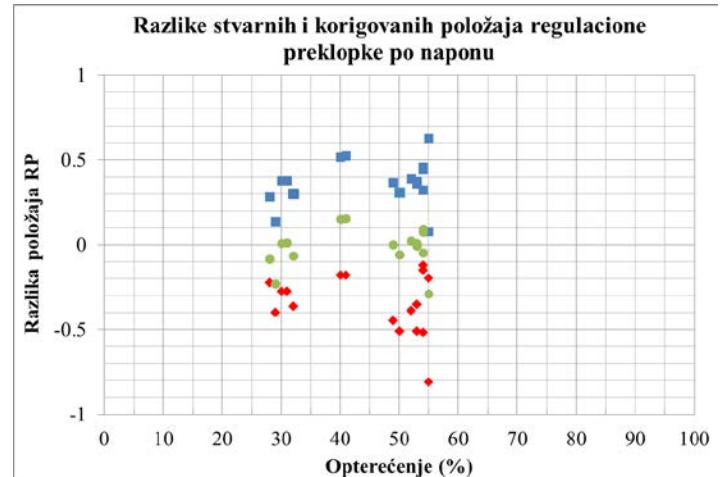
Slika 6 pokazuje da su tačke razlike položaja RP uz upotrebljenu korekciju pada napona na impedansi transformatora sve u minusu od kojih je veći broj izvan opsega $-0,5 \leq X \leq 0,5$. Upotrebom direktne korekcije uticaj zbirnih grešaka se gubi čime sve tačke ulaze u opseg $-0,5 \leq X \leq 0,5$ čime bi računato korigovana vrednost položaja RP uz korišćenje korekcije pada napona na impedansi transformatora i direktne korekcije bila jednaka stvarnim položajima RP za sve tačke.



Slika 7. Razlike računatog korigovanog i stvarnog položaja RP

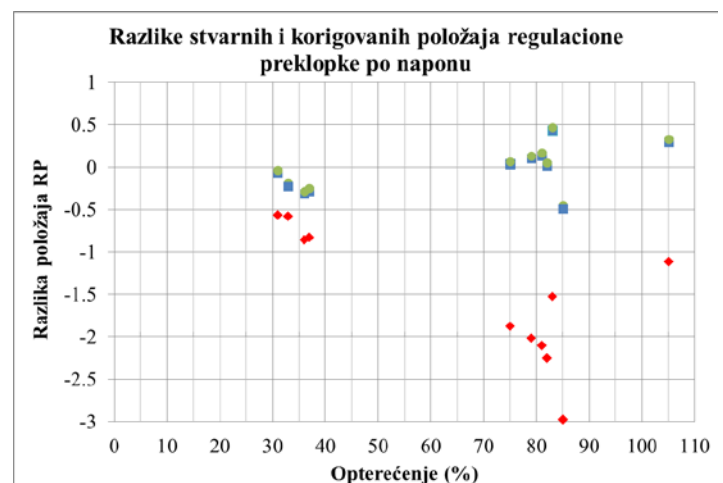
Slika 7 pokazuje da se upotrebom korekcije pada napona na

impedansi transformatora sve tačke nalaze u opsegu $-0,5 \leq X \leq 0,5$ od kojih je nekoliko u minusu, a dve koje su u plusu su blizu granice $+0,5$. Korišćenjem direktne korekcije dobijaju se bolji rezultati pa sve tačke ulaze u opseg $-0,3 \leq X \leq 0,3$ tako da su računati korigovani položaji RP uz obe korekcije isti kao stvarni položaji RP.



Slika 8. Razlike računatog korigovanog i stvarnog položaja RP

Slika 8 pokazuje da se upotrebom korekcije pada napona na impedansi transformatora sve tačke nalaze u plusu od kojim nekoliko izlazi iz opsega $-0,5 \leq X \leq 0,5$. Korišćenjem direktne korekcije dobijaju se da su svi računato korigovani položaja RP korišćenjem obe korekcije isti kao stvarni položaji RP. U ovom slučaju je relativno uzak opseg opterećenja, ali se može pretpostaviti da bi se i van ovog opsega dobili računati korigovani položaji RP koji su jednaki stvarnim položajima RP.



Slika 9. Razlike računatog korigovanog i stvarnog položaja RP

Slika 9 ima veći broj tačaka sa većim opterećenjem i jednu sa opterećenjem većim od 100 % nominalne snage transformatora. Tačke razlike položaja RP uz korišćenje korekcije pada napona na impedansi transformatora su skoro ravnomerno raspoređene u plus i minus tako da direktna korekcija računatog korigovanog položaja daje malu razliku u odnosu na slučaj kada se koristi samo korekcija pada napona na impedansi transformatora. Svi

računato korigovani položaji RP korišćenjem obe korekcije su jednaki stvarnim položajima RP.

V ZAKLJUČAK

Korišćenje struja u određivanju položaja RP daje bolje rezultate u opsegu od 30 % do 110 % opterećenja nego korišćenje napona uz korekciju pada napona na impedansi transformatora. I tu su moguće greške od ± 1 položaj RP, ali u značajno manjem postotku nego kod napona. Korišćenje struja zbog mogućih velikih grešaka nije upotrebljivo u opsegu od 0 % do 20 % opterećenja.

Korišćenje napona u određivanju položaja RP uz korišćenje korekcije pada napona na impedansi transformatora daje dobre vrednosti u čitavom opsegu opterećenja, ali veliki broj tačaka računatog korigovanog položaja RP daje grešku položaja RP od jedan i u dva slučaja od dva u odnosu na stvarni položaj RP.

Korišćenje korekcije pada napona na impedansi transformatora i direktne korekcije svakog pojedinačnog transformatora za prikazana četiri transformatora koji imaju veći broj snimljenih podataka daje dobre rezultate gde svi računato korigovani položaji RP korišćenjem obe korekcije odgovaraju stvarnim položajima RP.

Može se očekivati da bi se korišćenjem direktne korekcije uz korekciju pada napona na impedansi transformatora dobile stvarne vrednosti položaja RP kod svih transformatora u čitavom opsegu opterećenja.

Podatak o položaju RP dobijen korišćenjem napona primara i sekundara uz korekcije je primenjiv za lokalno i daljinsko nadgledanje i upravljanje i može da se iskoristi za osetljivije podešavanje diferencijalne zaštite transformatora. Za paralelan rad metodom vodeći-prateći korišćenje napona u određivanju položaja RP korišćenjem korekcije pada napona na impedansi

transformatora i direktne korekcije nije primenjivo, ali je primenjivo uz korišćenje odgovarajuće korekcije upotrebom algoritma. U slučaju izostanka algoritma određivanje položaja RP bi bilo moguće korišćenjem struja.

U narednom periodu će se sagledati mogućnost upotrebe direktne korekcije kod određivanja položaja RP korišćenjem struja. U ovom slučaju bi se morala odrediti kriva interpolacijom snimljenih tačaka, a za ovo je neophodno imati snimljene podatke u opsegu opterećenja od praznog hoda do nominalnog opterećenja. Ovde su od posebnog interesa manja opterećenja jer su tu greške najveće.

LITERATURA

- [1] Spremić, S., Sentin, M., Petrović, D., Ristanović, Y. Tap changer position determination using new algorithm and possibilities of intelligent electronic devices, in Proc. 23rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Lion, 0029, 15-18. June 2015. http://cired.net/publications/cired2015/papers/CIRED2015_0029_final.pdf
- [2] Spremić, S. Praktična provera mogućnosti određivanja položaja regulacione sklopke korišćenjem struja i napona i mogućnosti korekcije, in Proc. 34. savetovanje CIGRE Srbija, Kopaonik, R B5.16, 2019.
- [3] Spremić, S., Obradović, D. Uticaj greške prenosnog odnosa energetskog transformatora na određivanje položaja regulacione preklopke iz struja i napona primara i sekundara, in Proc. 35. Savetovanje Energetika 2020, Zlatibor, pp. 81-85, 2020.
- [4] Obradović, D., Spremić, S. Predlog izvedbe transformatorske srednjenaponske ćelije u TS 110/x kV i načina korišćenja podataka o veličini napona srednjenaponske strane, in Proc. 9. savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije sa regionalnim učešćem CIRED Srbija, Vrnjačka Banja, paper R-1.01, pp.5, 2014.

AUTORI

Siniša Spremić, dipl.el.inž., EPS – Tehnički centar Novi Sad, sinisa.spremic@eps.rs

Dušan Obradović, dipl.el.inž., EPS – Tehnički centar Novi Sad, dusan.obradovic@eps.rs