Broj rada: R3-10
DOI:10.46793/CIRED2026.R3-10_120

ODREĐIVANJE POLOŽAJA REGULACIONE SKLOPKE POD OPTEREĆENJEM KORIŠĆENJEM PODATAKA O NAPONIMA SA SCADA

ON-LOAD TAP CHANGER POSITION DETERMINATION USING VOLTAGES DATA FROM SCADA

Siniša SPREMIĆ, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Srbija*
Milica POROBIĆ, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Razmatra se praktična provera položaja regulacione sklopke pod opterećenjem, koristeći primarne i sekundarne napone transformatora, opremljenih sa regulacionom sklopkom pod opterećenjem i korišćenjem podataka o naponima dobijenim iz SCADA sistema (Supervisory Control And Data Acquisition – nadzor, kontrola i prikupljanje podataka). Prikazana je izvedena jednačina za određivanje položaja regulacione sklopke koristeći vrednosti napona. U SCADA sistemu, su se ranije podaci o jednom međufazom naponu primara i jednom međufaznom naponu sekundara dobijali iz daljinskog upravljanja preko mernih pretvarača, a u novije vreme iz mikroprocesorskih uređaja. Tačnost određivanja položaja regulacione sklopke pod opterećenjem, na ovaj način zavisi od sledećih grešaka: pada napona na impedansi transformatora, mernih pretvarača za daljinsko upravljanje ili analognih ulaza mikroprocesorskih zaštitnih uređaja, prenosnog odnosa energetskog transformatora i naponskih mernih transformatora. Rezultati praktične provere podataka dobijenih iz SCADA sistema, su obrađeni sa ciljem da se potvrdi primenjivost i da se unapredi pouzdanost u određenim delovima prenosa i distribucije električne energije: automatizacija, relejna zaštita, upravljanje (nadzor) i signalizacija. Prikazani su i razmatrani, razlike računatog i stvarnog položaja regulacione sklopke pod opterećenjem, dobijeni iz podataka o naponu primara i naponu sekundara iz SCADA sistema za veći broj transformatora. Ukazano je na greške zbog zaokruživanja očitanih vrednosti i razmotrene su mogućnosti korekcije.

Ključne reči: Položaj regulacione sklopke, Napon, Primarni, Sekundarni, SCADA

ABSTRACT

A practical check of the position of the On-load tap changer (hereinafter: OLTC) using the primary and secondary voltages of transformers equipped with a OLTC using the voltages obtained from SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) is considered. The equation for determining the position of the OLTC using voltages data is shown. In SCADA, previously data on one primary phase-to-phase voltage and one secondary phase-to-phase voltage were obtained from remote control via measuring transducers, and more recently from microprocessor protection devices. The accuracy of determining the position of the OLTC in this way depends on errors: voltage drop on the impedance of the transformer, measuring transducers of remote control or analog inputs of microprocessor protection devices,

* Siniša Spremić sinisa.spremic@es.rs; Milica Porobić milica.porobic@es.rs

transmission ratio of power transformer, voltage. The results of practical verification of data obtained from SCADA were processed with the aim of confirming applicability and improving reliability in certain parts of transmission and distribution of electricity: automation, protection, supervision and signaling. The difference between the calculated and actual position of the OLTC obtained from the data on the primary voltage and the secondary voltage from SCADA for a larger number of transformers is shown and discussed. Errors due to rounded readings were pointed out and the possibility of correction was considered.

Keywords: On-load tap changer position, Voltage, Primary, Secondary, SCADA

UVOD

Podaci o položaju regulacione sklopke pod opterećenjem (u daljem tekstu: RS) su dobijeni sa uređaja iz ormana motornog pogona (u daljem tekstu: MP) RS koristeći različite izlaze: otpor, mA, kontaktni opseg i kodovi (BCD, Grey, Binary ili 1-n). Ovi uređaji su pouzdani, ali se povremeno pojave različiti kvarovi koji vode do netačnog podatka o položaju RS ili tog podatka uopšte nema, a to uzrokuje blokadu paralelnog rada transformatora koristeći metodu vodeći-prateći i manje osetljivu diferencijalnu zaštitu transformatora u uređajima diferencijalne zaštite koji su opremljeni ovom opcijom. Manje značajno, ali ne zanemarivo je izostanak daljinskog nadzornog (kontrolnog) podatka posebno u slučajevima potrebe paralelovanja transformatora u istoj transformatorskoj stanici (u daljem tekstu: TS) ili u udaljenim TS. U SCADA sistemu se stiče velik broj različitih podataka koji bi se mogli iskoristiti za dodatne zaštitne, automatizacione, upravljačke i signalne funkcije ili postojeće funkcionalnosti mogu da budu unapređene, koristeći mogućnosti komunikacije sa krajnjim ciljem povećanja pouzdanosti i tačnosti. Proračuni mogu da se izvedu u SCADA sistemu. Napredne mogućnosti savremenih mikroprocesorskih uređaja zaštite i upravljanja ili SCADA sistema i jednačina za određivanje položaja RS, koristeći primarne i sekundarne (tercijerne) struje i napone, mogu da unaprede pouzdanost i preciznost. U radu se praktično proverava mogućnost korišćenja podatka o položaju RS iz merenja napona primara i sekundara transformatora koji se stiču u SCADA sistemu, što predstavlja složeniji način od određivanja položaja RS iz primarnih i sekundarnih struja.

1 MOGUĆE GREŠKE U ODREĐIVANJU POLOŽAJA RS IZ PRIMARNIH I SEKUNDARNIH NAPONA DOBIJENIH IZ SCADA SISTEMA I NJIHOVA KOREKCIJA

Greške u određivanju položaja RS korišćenjem napona su povezane sa analognim ulazima napona u mikroprocesorskim uređajima ili mernim pretvaračima daljinskog upravljanja za SCADA sistem (zavisi šta se koristi), prenosnom odnosu transformatora i tačnosti naponskih transformatora. [1]

Greške analognih ulaza napona mikroprocesorskih uređaja su manje od 1%, najčešće manje od 0.5% od Un.

Greška prenosnog odnosa transformatora je standardom [2] ograničena na ±0.5 %. Prema ispitnim listovima transformatora ta greška je u čitavom opsegu položaja RS značajno manja od 0.5% sa sličnim vrednostima među fazama.

Klase tačnosti mernih jezgara naponskih transformatora 110 kV u transformatorskom polju su 0.2% ili 0.5%. Na srednjenaponskoj strani su 0.5%. Fazne greške su zanemarive za ovo

razmatranje. Prema ispitnim listovima naponskih transformatora greške su značajno manje od klase tačnosti.

Dodatnu grešku predstavlja zaokruživanje vrednosti na celi broj ili na jednu decimalu što za napone od oko 110 kV za čest slučaj zaokruživanja na ceo broj u kV može da bude do blizu 0.5% (0.5 kV). Kod naponskih transformatora na srednjenaponskoj strani, moguća greška zaokruživanja je manja, jer se koriste vrednosti zaokružene na jednu decimalu.

Korekcija greške kod analognih ulaza mikroprocesorskih uređaja, mernih pretvarača za SCADA sistem i naponskih mernih transformatora bi zahtevalo primenu veoma preciznih uređaja za kalibraciju kao i značajno vremensko angažovanje zaposlenih i uređaja. Korekcija greške prenosnog odnosa transformatora je najjednostavnija korišćenjem podataka iz ispitnog lista transformatora za svaki položaj RS. Sve prethodno navedeno, zahteva da se u mikroprocesorske uređaje ili na SCADA sistemu prikupe jednovremeni podaci, da se u korisnički softver ubace odgovarajući proračuni, poznati podaci i izvedene krive, algoritmi ili jednačine [3].

Moguća je i direktna korekcija po pojedinačnom transformatoru [4].

2 ANALIZA PODATAKA O IZRAČUNATOM POLOŽAJU RS IZ PRIMARNIH I SEKUNDARNIH NAPONA TRANSFORMATORA IZ SCADA SISTEMA

Izvedene formule za izračunavanje položaja RS iz merenja napona primara i sekundara transformatora slede:

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

gde su:

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

$$m_{meas} = \frac{U_{L1prim} + U_{L2prim} + U_{L3prim}}{U_{L1\,sec} + U_{L2\,sec} + U_{L3\,sec}} \quad (2)$$

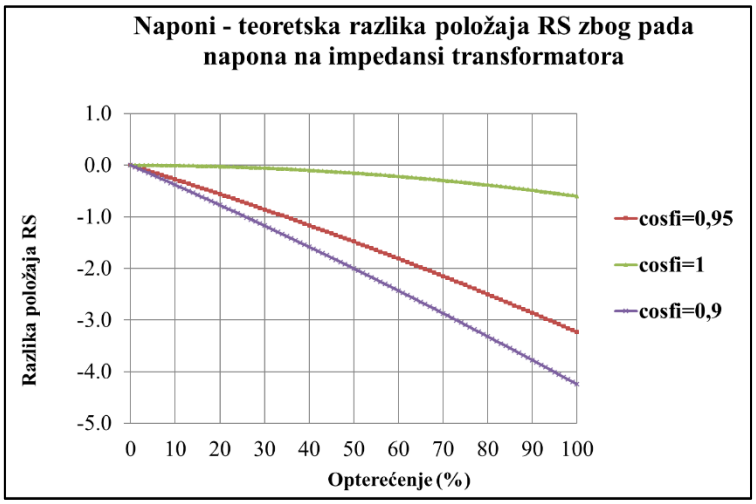
Formula (2) je za slučaj kada se koriste sva tri fazna napona primara i sekundara. Za napon se na monitoru lokalnog upravljačkog mesta (u daljem tekstu: LUM) SCADA sistema u transformatorskoj stanici postavlja jedan primarni međufazni napon i isti sekundarni međufazni napon pa je formula sledeća:

$$m_{meas} = \frac{U_{L12prim}}{U_{L12\,sec}} \quad (3)$$

Može se pretpostaviti da bi bila manja greška ukoliko se koriste sva tri primarna i sekundarna fazna napona zbog usrednjavanja greške.

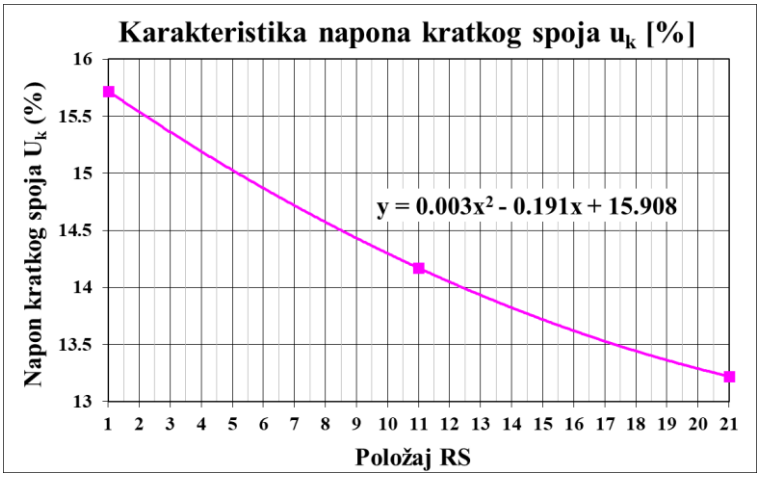
Zbog pada napona u transformatoru, geške izračunatog položaja na osnovu podataka o međufaznim naponima primara i sekundara kod većih opterećenja mogu biti značajne. Na slici

1 je prikazana teoretska razlika stvarnog položaja i položaja izračunatog iz napona primara i sekundara zbog pada napona na impedansi transformatora u odnosu na različito opterećenje i vrednosti faktora snage.



Slika 1 – Teoretska razlika položaja RS u zavisnosti od promene opterećenja i faktora snage

Da bi se pad napona na impedansi transformatora izbegao u računatoj vrednosti položaja RS iz merenih primarnih i sekundarnih napona mora se koristiti karakteristika napona kratkog spoja transformatora. Prilikom fabričkog ogleda kratkog spoja se za najniži, srednji i najviši položaj RS odrede vrednosti kratkog spoja. Interpolacijom tih tačaka se dobije kriva i formula za izračunavanje vrednosti napona kratkog spoja. Iz vrednosti napona kratkog spoja se izračuna impedansa koja je uglavnom reaktansa i koja se uključuje u dalji proračun. Na slici 2 je prikazana karakteristika napona kratkog spoja jednog tipičnog transformatora 110/21/10.5 kV.

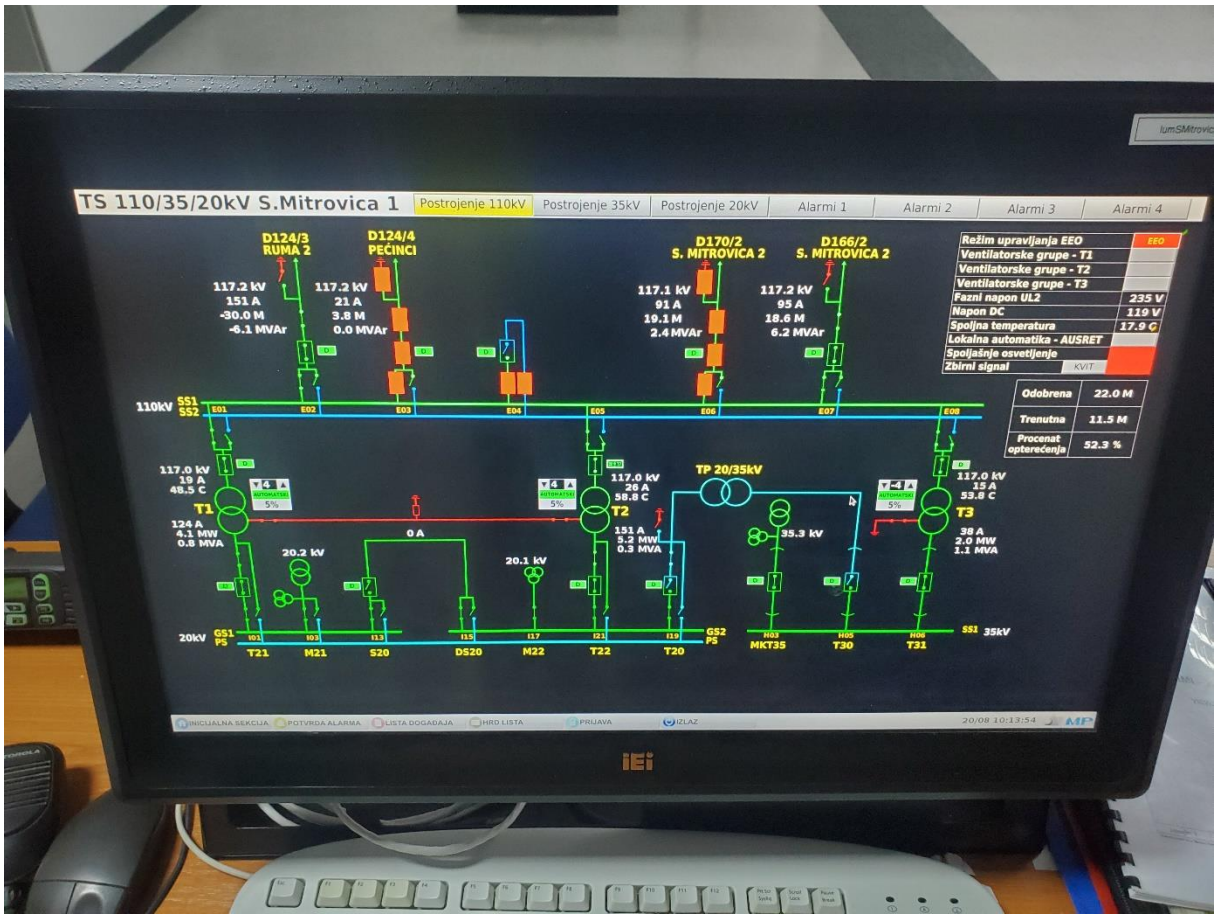


Slika 2 – Karakteristika napona kratkog spoja

U prvom koraku se za izračunavanje pada napona u transformatoru, koristi prva izračunata vrednost položaja RS iz očitanih napona primara i sekundara koja nije celobrojna. Iz poznatih podataka o strujama sekundara, faktoru snage i vrednosti impedanse transformatora za prvi izračunati položaj RS se na izmereni napon sekundara nadoda pad napona i onda izračuna nova vrednost položaja RS iz napona primara i izračunatog napona sekundara. Ovaj iterativni

postupak se radi u tri koraka, sa veoma malim razlikama u vrednosti položaja, gledajući najmanje treću decimalu posle trećeg koraka. Dobijena izračunata vrednost položaja, se onda zaokružuje na ceo broj i oduzima od tačne vrednosti položaja RS (dobijene sa LUM SCADA sistema ili direktno sa MP RS), radi dobijanja tačne greške.

Na slici 3 je prikazan izgled ekrana računara na jednoj trafostanici sa tri transformatora sa potrebnim podacima iz SCADA sistema.



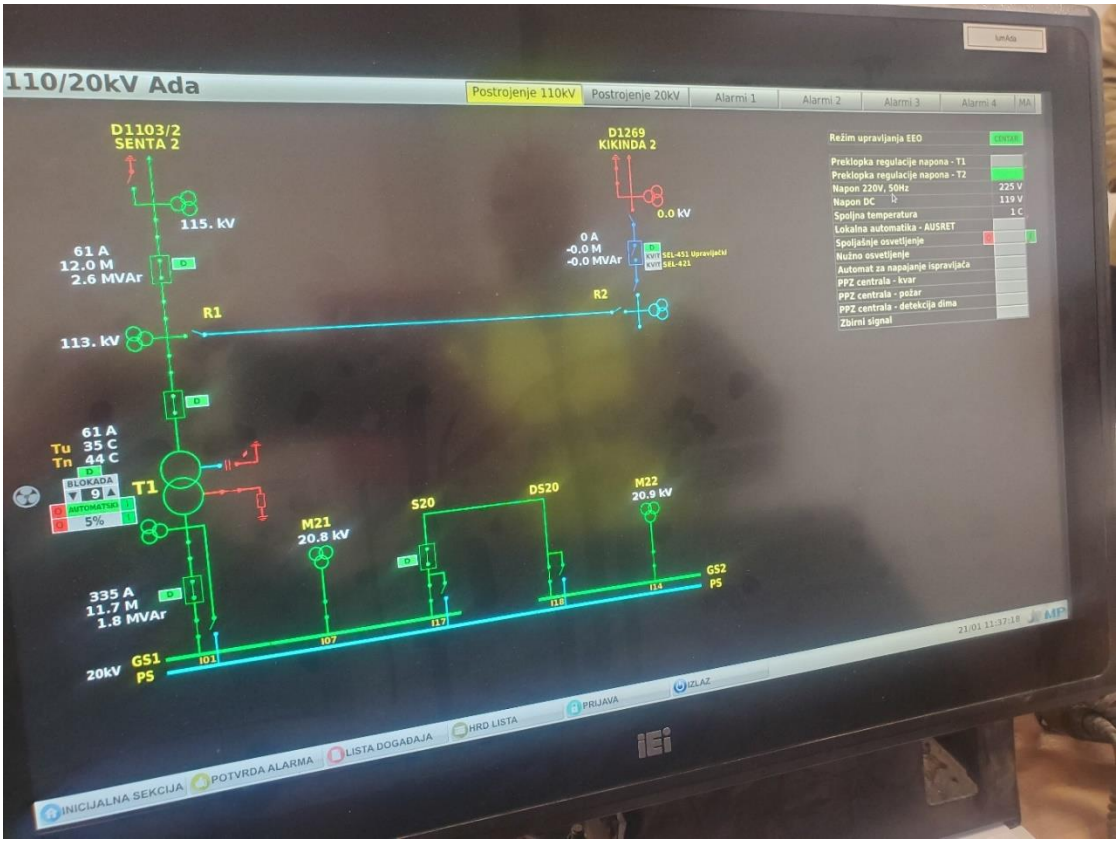
Slika 3 - Fotografija ekrana SCADA

Prilikom radova na terenu su fotografisani ekrani računara u trafostanicama 110/x kV na kojima se nalaze različiti podaci od kojih su za ovo razmatranje bitni primarni i sekundarni naponi transformatora, sekundarna struja i položaj RS transformatora. Ti podaci su korišćeni za izračunavanje položaja RS. Takođe, potreban je i podatak o vrednost faktora snage koji se izračunava iz podataka o radnoj i reaktivnoj snazi sa sekundarne strane transformatora. Za podrobnije i obimnije razmatranje ovi se podaci mogu prikupiti i u kancelariji.

2.1 Greške SCADA sistema kod određivanja položaja RS

Podrobnijim pregledom i razmatranjem je uočeno, da se neki podaci koji su očitani sa SCADA sistema ne mogu smatrati odgovarajućim, iz razloga što se dobijaju neočekivano velike razlike u položajima RS. Razlozi mogu da budu razni. U dosta slučajeva, razlog je kratkotrajno ali i dugotrajno zamrzavanje slike na ekranu ili prekid ažuriranja procesnih podataka na SCADA sistemu koje ponekad obuhvata samo neki određeni podatak, ne sve. Primer se može videti na

slici 4 sa leve strane, gde nije ažuriran jedan od primarnih međufaznih napona u dalekovodu D1103/2 i na sabirnicama R1. Međufazni napon na DV 1103/2 je 115 kV, a na sabirnicama R1 113 kV.



Slika 4 - Razlika napona zbog neažuriranja podataka o primarnom međufaznom naponu

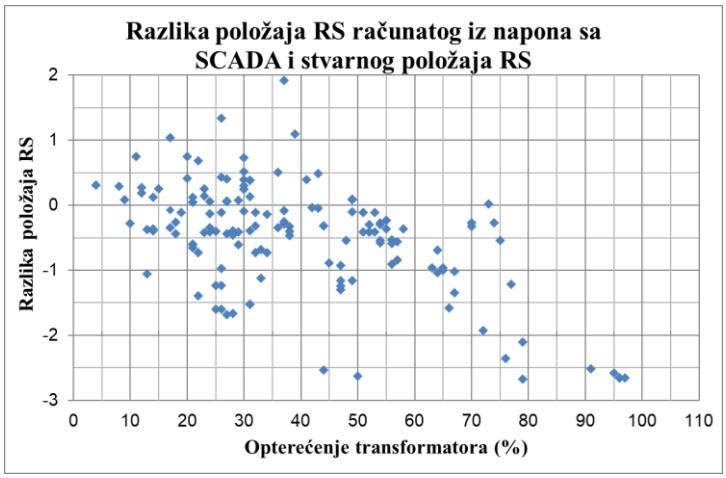
Razlog prethodno navedenom može biti i neodgovarajuće podešenje na SCADA sistemu pa se zbog toga prikazuju podaci sa greškom. Svakako je neophodno da se podaci o položaju RS sa SCADA sistema uzmu sa rezervom i da se dodatno provere kako bi se otklonili nedostaci. U jednom slučaju je uočeno da se podatak o položaju RS na motornom pogonu RS i na uređaju automatske regulacije napona (u daljem tekstu: ARN) razlikuje od podatka sa SCADA sistema. Pogrešan je podatak na SCADA sistemu i za snimljene podatke pokazuje jedan položaj RS manje.

Primećeno je, da se zbog izmena usled reinstalacije ili dorade SCADA sistema na monitorima neki podaci delimično vide. Pravougaonici („kućice“) sa podacima su ponekad postavljeni nedovoljno široko tako da se ne vide poslednje cele brojke podatka o položaju RS ili struje. Na primer, pokazuje se položaj RS do 9 dobro, a za više položaje RS od 10 do 19 prikazuje se položaj 1, dok ne dođe do 20. položaja, kad će se prikazati drugi položaj RS. Prilikom reinstalacija ili dorada SCADA sistema to nije primećeno, zbog rada transformatora na položajima nižim od desetog. Otklanjanje, tj. proširenje „kućica“ se može obaviti daljinski iz kancelarije po uočenom problemu.

Slične greške su uočene prilikom razmatranja određivanja položaja RS iz primarnih i sekundarnih struja [5].

2.2 Rezultati

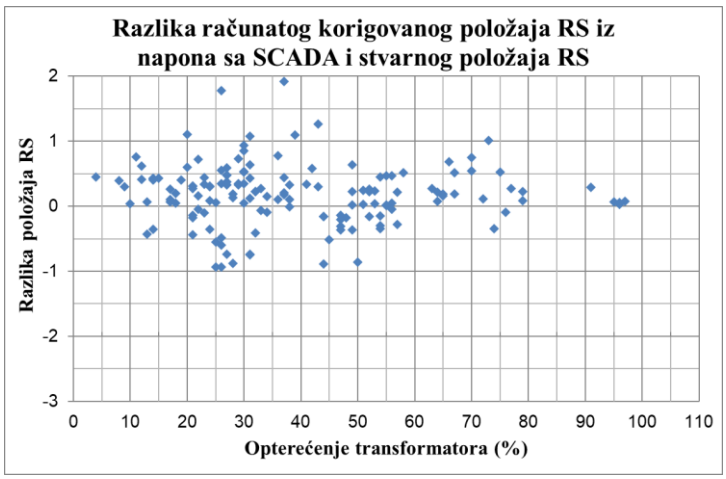
Obrađen je 151 snimak ekrana u trafostanicama za 45 transformatora. Vrednosti primarnih međufaznih napona se kreću od 102.9 kV do 119.1 kV. Vrednosti sekundarnih međufaznih napona se kreću od 19.72 kV do 21.4 kV za 20 kV naponski nivo, a od 33.7 kV do 36 kV za 35 kV naponski nivo. Na slici 5 je prikazana razlika računatog i stvarnog položaja RS prema podacima sa SCADA sistema bez korekcije pada napona na impedansi transformatora.



Slika 5 - Snimljeni podaci sa SCADA sistema bez korekcije pada napona

Zbog pada napona na impedansi transformatora položaj RS računat iz primarnog i sekundarnog napona za veći broj tačaka se razlikuje za više od jednog položaja u odnosu na stvarni položaj RS, čak i kod nižih opterećenja. Ukupan broj obrađenih rezultata proračuna je 151, a razlika zaokružene vrednosti računatog položaja RS iz napona i stvarnog položaja RS jednaka je 1 je za 48 rezultata, što je 31.79%, jednaka je 2 za 9 rezultata, što je 5.96% i jednaka je 3 za 9 rezultata, što je 5.96%.

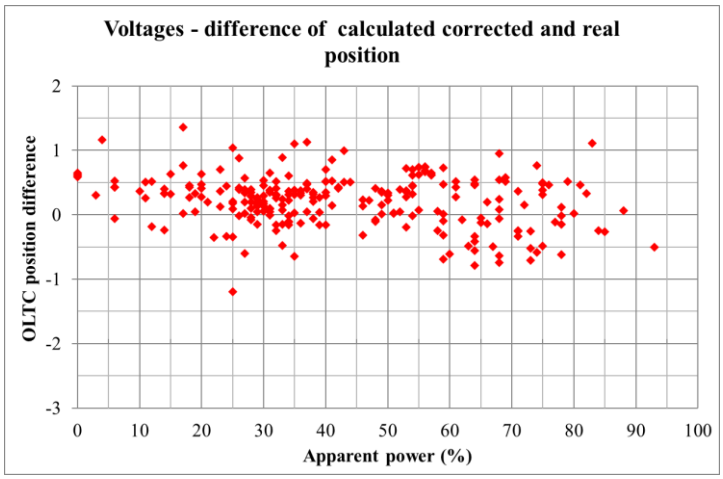
Dalje, na slici 6 je prikazana razlika računatog korigovanog položaja RS iz napona sa SCADA sistema i stvarnog položaja RS. Računati korigovani položaj RS je sa uračunatom korekcijom pada napona na impedansi transformatora.



Slika 6 - Snimljeni podaci sa SCADA sistema

Nakon uvažavanja korekcije pada napona na impedansi transformatora, od 151 rezultata proračuna razlika zaokružene vrednosti računatog korigovanog položaja RS i stvarnog položaja RS je jednaka 1 za 37 rezultata, što je 24.5% i jednaka 2 za 2 rezultata, što je 1.32%.

Na slici 7 je prikazana razlika računatog korigovanog položaja RS iz napona sa mikroprocesorskih uređaja u transformatorskim stanicama i stvarnog položaja RS za 45 transformatora [6].



Slika 7 - Snimljeni podaci sa mikroprocesorskih uređaja [6]

Prema slici 7 od ukupno 250 rezultata, razlika zaokružene vrednosti računatog korigovanog položaja RS i stvarnog položaja RS je jednaka 1, za 68 rezultata, što je 27.2% i jednaka 2, za 0 rezultata što je 0 %.

U tabeli I su zbog preglednosti prikazani podaci o razlikama u položajima RS za različita mesta očitavanja i različit način računanja položaja RS iz napona.

TABELA I – Razlike računatih i računatih korigovanih položaja RS za raziličit način očitavanja napona

Način računanja i mesto očitavanja napona	Ukupan broj rezultata	Broj rezulatata sa razlikom 1	Postotak rezulatata sa razlikom 1 (%)	Broj rezultata sa razlikom 2	Postotak rezulatata sa razlikom 2 (%)	Broj rezultata sa razlikom 3	Postotak rezulatata sa razlikom 3 (%)
Računat bez korekcije, SCADA	151	48	31.79	9	5.96	9	5.96
Računat sa korekciom, SCADA	151	37	24.50	2	1.32	0	0
Računat korigovani, mikroprocesorski uređaji [6]	250	68	27.20	0	0.00	0	0

Rezultati dobijeni od uzorka prikupljenog očitavanjem vrednosti napona sa SCADA sistema, sa položajem RS računatim bez korekcije, su očekivano najlošiji sa ukupno 66 od 151 rezultata, koji imaju zaokruženu vrednost računatog položaja RS veću ili jednaku jedan što je ukupno 43.71%.

Od dva razmatrana uzorka prikupljenih podataka, očitavanje vrednosti napona i drugih potrebnih vrednosti sa položajem RS, računatim uz korekciju pada napona na impedansi

transformatora postoji razlika u postocima koja nije značajno velika. Razlika bi moguće bila i manja zbog veličine uzorka. Kod nekih transformatora ima više očitavanja za bliske vrednosti opterećenja, sa rezultatom razlike računatog korigovanog položaja RS i stvarnog položaja RS jednakog 1.

Prosečna vrednost odstupanja, računatog korigovanog položaja RS i stvarnog položaja RS je za podatke očitane sa SCADA sistema 0.18, što je očekivano. Ukoliko bi se uvela direktna korekcija svih dobijenih rezultata, umanjenjem rezultata za 0.18, ukupan broj rezultata sa tačnim zaokruženim položajem RS bi se povećao za tri. Zbog toga što je kod nekih transformatora veći deo rezultata računatog korigovanog položaja RS manji od nule, ovakav pristup nije primenjiv za opšti uzorak, ali bi mogao biti primenjiv za rezultate pojedinačnih transformatora što je za mali uzorak prikazano u [4].

3 ZAKLJUČAK

Podatak o položaju RS dobijen iz očitanog primarnog i sekundarnog napona iz SCADA sistema, bi mogao da se koristi kao rezervni, kontrolni ili glavni uz uvažavanje moguće razlike od jednog položaja RS u odnosu na stvarni položaj RS, prema do sada utvrđenim mogućnostima i razlikama (greškama). S obzirom da ima veći broj transformatora bez podatka o položaju RS u SCADA sistemu jednostavan proračun bi mogao obezbediti taj podatak u SCADA sistemu.

Sledeći korak je podrobnije razmatranje određivanja položaja RS iz napona primara i sekundara transformatora, skupljanjem i obradom većeg broja podataka o naponima i drugih potrebnih podataka sa SCADA sistema, za veći opseg opterećenja i za nekoliko pojedinačnih transformatora u cilju dalje provere primenjivosti i mogućnosti direktne korekcije.

LITERATURA

[1] S. Spremić, M. Sentin, D. Petrović, Z. Ristanović, „Tap changer position determination using new algorithm and possibilities of intelligent electronic devices“, 23rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Lyon, France, 2015., paper 0008
[2] IEC 60076-1:1993+A1:1999 "Power transformers – Part 1: General"
[3] S. Spremić, „Praktična provera mogućnosti određivanja položaja regulacione sklopke korišćenjem struja i napona i mogućnosti korekcije“, 34. savetovanje CIGRE Srbija, Vrnjačka Banja, Srbija, 2019., R B5.16
[4] S. Spremić, D. Obradović, „Korekcija određivanja položaja regulacione preklopke iz struja i napona primara i sekundara po snimljenim vrednostima pojedinačnog transformatora“, XXXVI savetovanje Energetika 2021, Zlatibor, Srbija, 2021.
[5] S. Spremić, M. Porobić, „Određivanje položaja regulacione sklopke pod opterećenjem korišćenjem podataka o strujama sa SCADA“, 37. savetovanje CIGRE Srbija, Kopaonik, Srbija, 2025., R B5.14
[6] S. Spremić, „Practical check of tap changer position determination using currents and voltages and correction possibilities“, 28th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED), Geneva, Switzerland, 2025., paper 0008