

DOI: [10.46793/CIGRE37.B5.14](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B5.14)**B5.14****ODREĐIVANJE POLOŽAJA REGULACIONE SKLOPKE POD OPTEREĆENJEM
KORIŠĆENJEM PODATAKA O STRUJAMA SA SCADA****ON-LOAD TAP CHANGER POSITION DETERMINATION USING USING CURRENTS
DATA FROM SCADA****Siniša Spremić, Milica Porobić***

Kratak sadržaj: Razmatra se praktična provera položaja regulacione sklopke pod opterećenjem koristeći primarne i sekundarne struje transformatora opremljenih regulacionom sklopkom pod opterećenjem korišćenjem podataka o strujama dobijenih iz SCADA sistema (Supervisory Control And Data Acquisition – nadzor, kontrola i prikupljanje podataka). Prikazana je jednačina za određivanje položaja regulacione sklopke koristeći struje. U SCADA sistemu su se ranije podaci o jednoj struji primara i jednoj struji 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 grešaka: mernih pretvarača daljinskog upravljanja ili analognih ulaza mikroprocesorskih zaštitnih uređaja, prenosnog odnosa energetskeg transformatora, strujnih transformatora i usled struja magnećenja (struja praznog hoda). Rezultati praktične provere podataka dobijenih iz SCADA sistema su obrađeni sa ciljem da se potvrdi primenljivost i da se unapredi pouzdanost u određenim delovima prenosa i distribucije električne energije: automatizacija, zaštita, upravljanje (nadzor) i signalizacija. Prikazani su i razmotreni razlika računatog i stvarnog položaja regulacione sklopke pod opterećenjem dobijeni iz podataka o struji primara i struji sekundara iz SCADA sistema za nekoliko transformatora. Ukazano je na greške zbog zaokruženih očitanih vrednosti i razmotrene mogućnosti korekcije.

Ključne reči: *Regulaciona sklopka pod opterećenjem, Položaj, Struja, Primarna, Sekundarna, SCADA*

Abstract: A practical check of the position of the On-load tap changer (hereinafter: OLTC) using the primary and secondary currents of transformers equipped with a OLTC using the currents obtained from SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) is considered. The equation for determining the position of the OLTC using currents data is shown. In SCADA, previously data on one primary current and one secondary current were obtained from remote control via measuring transducers, and more recently from microprocessor protection devices.

* Siniša Spremić, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, sinisa.spremic@es.rs
Milica Porobić, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, milica.porobic@es.rs

The accuracy of determining the position of the OLTC in this way depends on errors: measuring transducers of remote control or analog inputs of microprocessor protection devices, transmission ratio of power transformer, current transformers and due to magnetizing currents (no-load current). 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 current and the secondary current from SCADA for several transformers is shown and discussed. Errors due to rounded readings were pointed out and the possibility of correction was considered.

Key words: *On-load tap changer, Position, Current, Primary, Secondary, SCADA*

1 UVOD

Postojeći način obezbeđenja podatka o položaju regulacione sklopke pod opterećenjem (u daljem tekstu: RS) je uređajima iz ormara 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 uzorkuje 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 stiču različiti podaci koji bi se mogli iskoristiti za dodatne zaštitne, automatizacione, upravljačke i signalne funkcije ili postojeće mogu da budu unapređene koristeći mogućnosti komunikacije sa krajnjim ciljem povećanja pouzdanosti i preciznosti. Proračuni mogu da se izvedu u SCADA sistemu. Koristeći napredne mogućnosti savremenih mikropocesorskih uređaja zaštite i upravljanja ili SCADA sistema i jednačina za određivanje položaja RS koristeći primarne i sekundarne (tercijerne) struje i napone može da se unapredi pouzdanost i preciznost. U radu se praktično proverava mogućnost korišćenja podatka o položaju RS iz struja primara i sekundara transformatora koje se stiču u SCADA sistemu što je jednostavniji način od određivanja položaja RS iz primarnih i sekundarnih napona.

2 MOGUĆE GREŠKE U ODREĐIVANJU POLOŽAJA RS IZ PRIMARNIH I SEKUNDARNIH STRUJA DOBIJENIH IZ SCADA SISTEMA I NJIHOVA KOREKCIJA

Greške u određivanju položaja RS korišćenjem struja su povezane sa analognim ulazima struja u mikropocesorskim uređajima ili mernim pretvaračima daljinskog upravljanja za SCADA sistem (zavisi šta se koristi), prenosnom odnosu transformatora, tačnosti strujnih transformatora i zbog struja magnećenja (struja praznog hoda) transformatora. [1]

Greške analognih ulaza struja mikropocesorskih uređaja su manje od 1%, najčešće manje od 0,5% od I_n .

Greška prenosnog odnosa transformatora je standardom [2] ograničena na $\pm 0,5\%$. Prema ispitinim listovima transformatora ta greška je u čitavom opsegu položaja RS značajno manja od 0,5% sa sličnim vrednostima među fazama.

Klase tačnosti mernih jezgara strujnih transformatora 110 kV u transformatorskom polju su 0,2% ili 0,5%.

Na sredjenaponskoj strani su 0,5%. Fazne greške su zanemarive za ovo razmatranje. Prema ispitnim listovima strujnih transformatora greške su značajno manje od klase tačnosti.

Struja praznog hoda energetskog transformatora zavisi od konstrukcije i materijala upotrebljenih u izradi transformatora. Transformatori starije konstrukcije i lošijih materijala (prvenstveno dinamo lim) imaju struje praznog hoda pri nominalnom naponu u iznosu od 1% do 3% nominalne struje transformatora. Noviji transformatori prenosnog odnosa 110/x kV imaju struju praznog hoda pri nominalnom naponu u iznosu od oko 0,2% do 0,5% nominalne struje transformatora, a najnoviji i manje od 0,2%. Izuzev nekoliko transformatora sa strujom praznog hoda pri nominalnom naponu većom od 1% nominalne struje ostali imaju struju praznog hoda manju od 0,5%. Struja praznog hoda se značajno povećava povećanjem napona. Pri naponima za oko 10% većim od nominalnog struja praznog hoda može biti veća do 4 puta. [3]

Dodatna greška je zaokruživanje vrednosti na celi broj ili na jednu decimalu. Ovo ima značajan uticaj kod manjih vrednosti struja.

Korekcija greške analognih ulaza mikroprocesorskih uređaja, mernih pretvarača za SCADA sistem i strujnih transformatora bi zahtevala veoma precizne uređaje za kalibraciju i značajno vremensko angažovanje zaposlenih i uređaja. Korekcija po struji praznog hoda je neizvesna iako bi sa ograničenom vrednošću mogla da se primeni. Korekcija greške prenosnog odnosa transformatora je najjednostavnija korišćenjem podataka iz ispitnog lista transformatora za svaki položaj RS. Sve prethodno navedeno zahteva da se u mikrorprocesorske uređaje ili na SCADA sistemu prikupe jednovremeni podaci, da se u softver ubace odgovarajući proračuni, poznati podaci i izvedene krive, algoritmi ili jednačine. [4]

Moguća je i direktna korekcija po pojedinačnom transformatoru [5].

3 ANALIZA PODATAKA O IZRAČUNATOM POLOŽAJU RS IZ PRIMARNIH I SEKUNDARNIH STRUJA TRANSFORMATORA IZ SCADA SISTEMA

Formule za izračunavanje položaja RS iz struja 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 %.

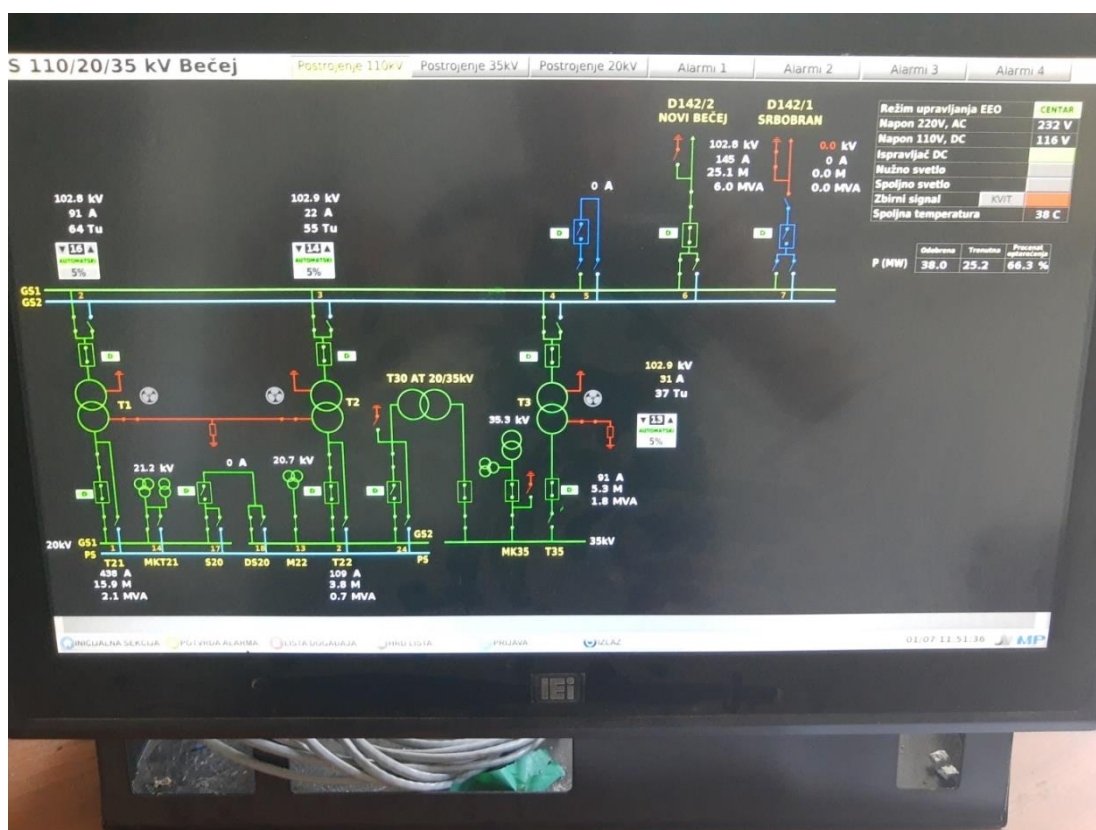
$$m_{meas} = \frac{\frac{I_{L1sec}}{I_{L1prim}} + \frac{I_{L2sec}}{I_{L2prim}} + \frac{I_{L3sec}}{I_{L3prim}}}{3} \quad (2)$$

Formula (2) je za slučaj kada se koriste sve tri struje primara i sekundara. Za slučaj korišćenja struje sa SCADA sistema gde se koristi smo jedna primarna i jedna sekundarna struja formula je sledeća:

$$m_{meas} = \frac{I_{sec}}{I_{prim}} \quad (3)$$

Može se pretpostaviti da bi bila manja greška ukoliko se koriste sve tri primarne i sekundarne struje zbog usrednjavanja greške.

Na slici 1 je prikazan izgled ekrana računara na trafostanici sa tri transformatora sa podacima iz SCADA sistema.



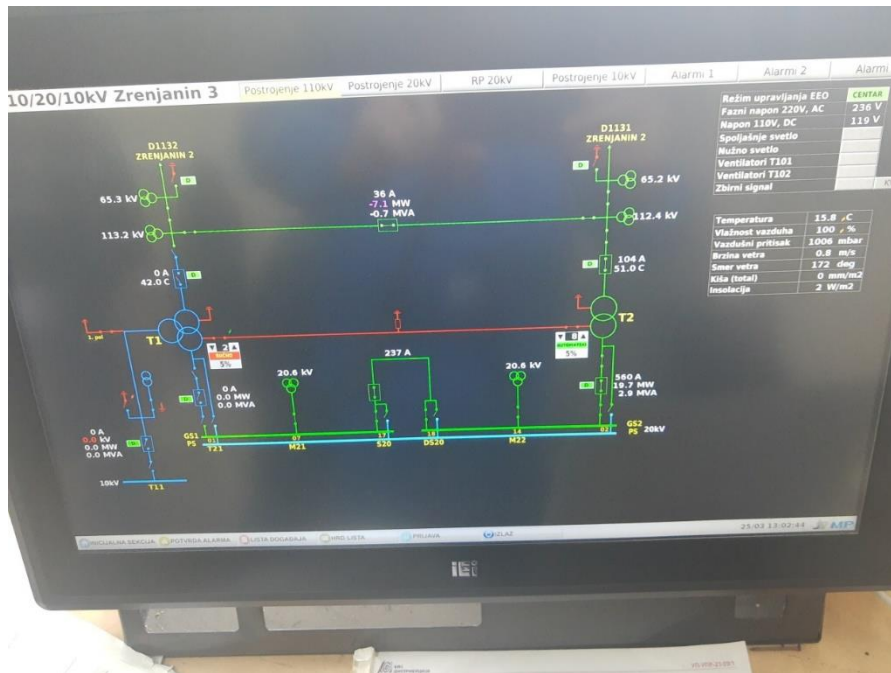
Slika 1: Fotografija ekrana SCADA

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 primarne i sekundarne struje i položaj RS transformatora. Za detaljnije i obimnije razmatranje se ovi podaci mogu prikupiti i u kancelariji i to će biti tema sledećeg razmatranja.

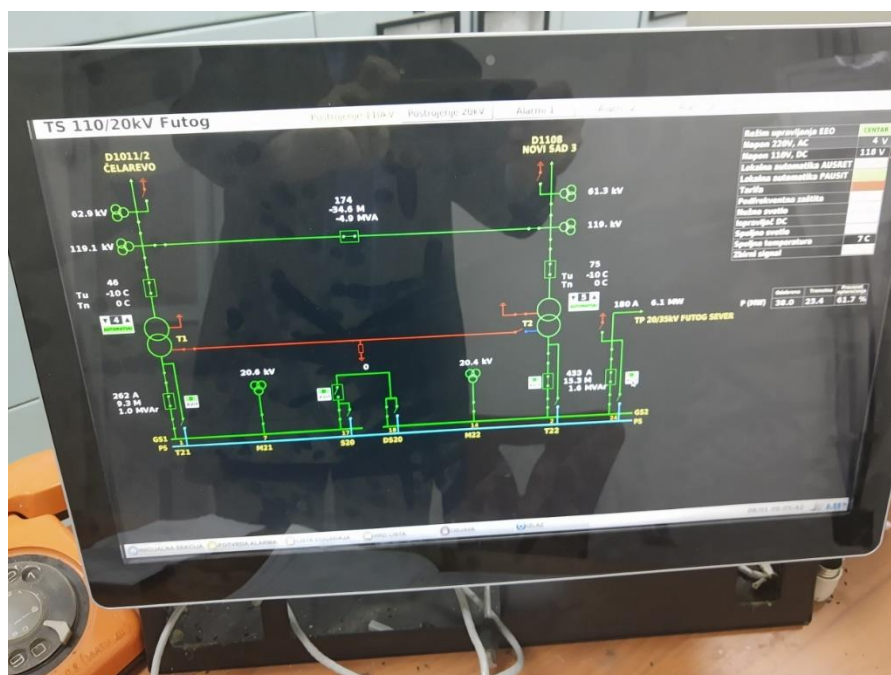
3.1 Greške SCADA sistema kod određivanja položaja RS

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 ili prekid ažuriranja podataka na SCADA sistemu koje ponekad obuhvata samo neki podatak, ne sve.

Primer se može videti na slici 2 gde nije ažuriran primarni međufazni napon sa desne strane prema dalekovodu D1131 i na slici 3 gde nije ažuriran primarni fazni napon sa desne strane prema dalekovodu D1108. Kod slike 2 postoji mogućnost da je do problema došlo prilikom isključenja T1 jer su na svim drugim snimcima vrednosti primarnog međufaznog napona približno jednake uz razliku od 0,1 kV i 0,2 kV što je uticaj grešaka svih uključenih uređaja. Na slici 3 se vidi da postoji značajna razlika u vrednostima primarnih faznih napona. Kod napona koji su na istim sabirnicama je lako uočiti problem dok se kod struja to teže uočava i potrebno je analizu i proveru vršiti kontinualno.

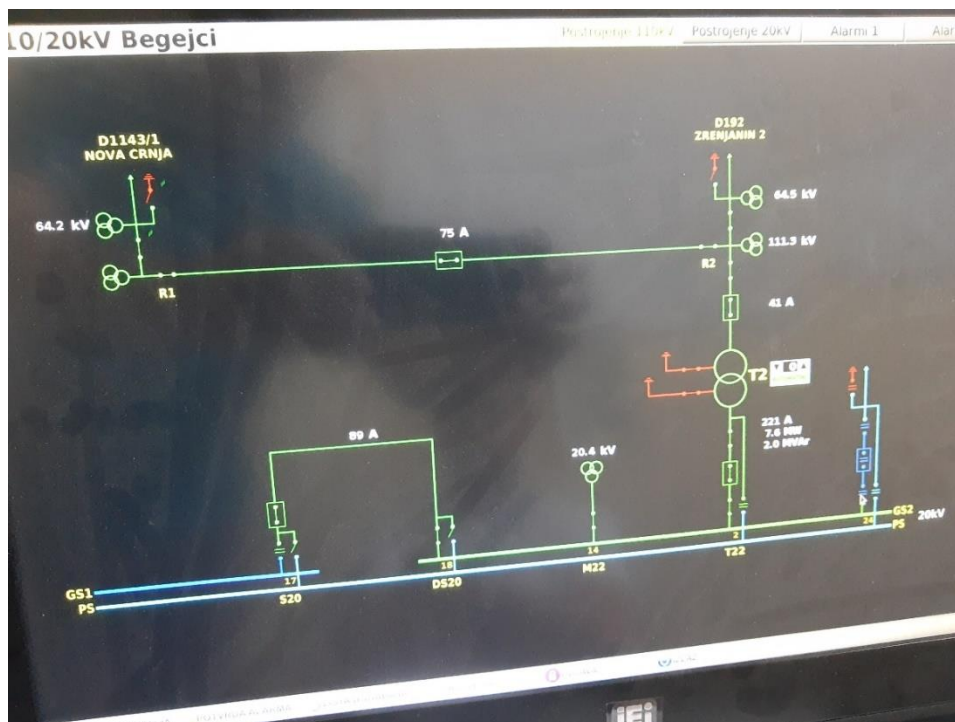


Slika 2: Razlika napona zbog neažuriranja podataka o primarnom međufaznom naponu

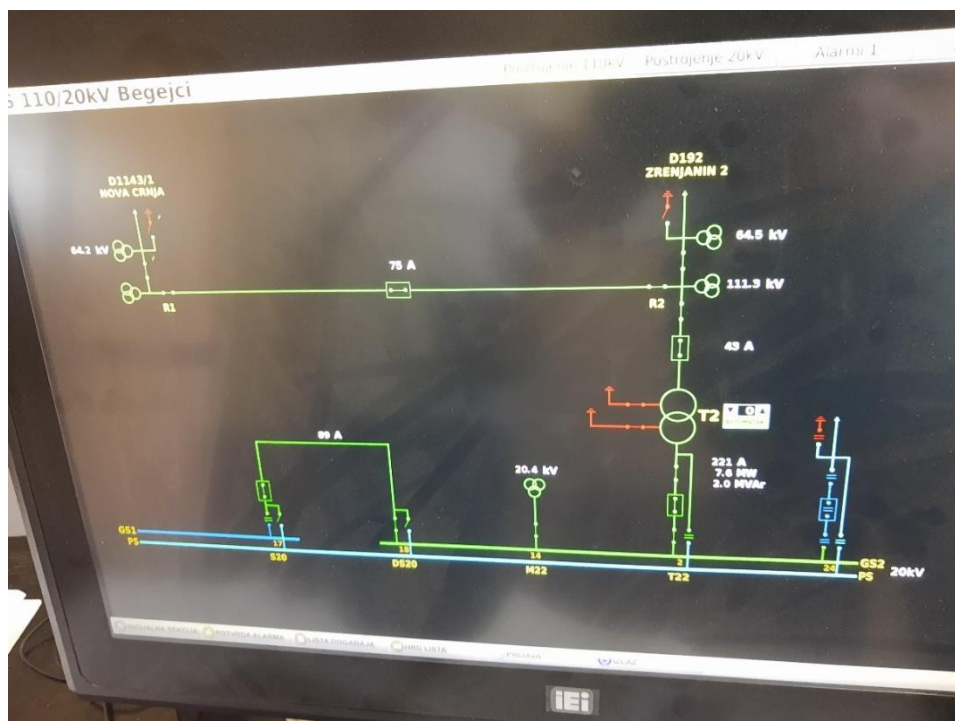


Slika 3: Razlika napona zbog neažuriranja podataka o primarnom faznom naponu

Primer neažuriranja podatka o sekundarnoj struji je dat na slikama 4 i 5. Ovo između ostalog dovodi do toga da se razlika položaja RS iz struje primara i sekundara promeni sa $-0,82$ do $2,176$.



Slika 4: Prikaz struje sekundara



Slika 5: Prikaz odsustva promene struje sekundara iako se struja primara promenila

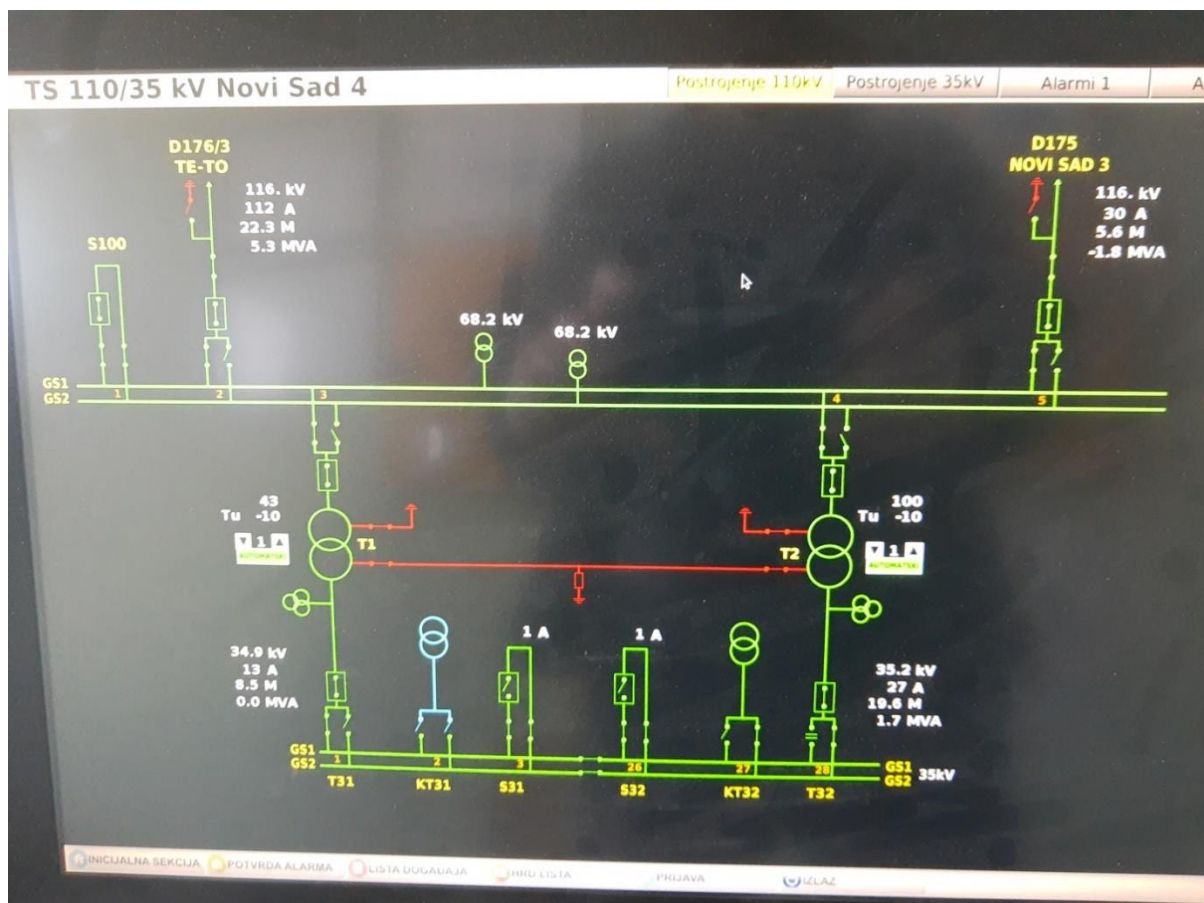
Razlog mogu biti i neodgovarajuća podešenja na SCADA sistemu pa se prikazuju podaci sa greškom. Svakako je neophodno da se podaci o položaju RS sa SCADA sistema uzmu sa rezervom i da se dodatno provere kako bi se otklonili nedostaci.

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. To se može videti na slici 6 za T2, dok je za T1 neispravan miliamperski pretvarač tako da položaj RS na SCADA sistemu i uređaju ARN nisu ispravni. Podatak o položaju RS je očitavan na motornom pogonu RS na transformatoru.



Slika 6: Neispravan podatak o položaju RS na T2

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 široki tako da se ne vide poslednje cele brojke podatka o položaju RS ili struje. Na primer pokaže položaj RS do 9 dobro, a viši položaji RS od 10 do 19 su svi 1 dok ne dođe do 20. položaja kad će se prikazati drugi položaj RS. Prilikom reinstalacije ili dorade SCADA sistema nije primećeno zbog rada transformatora na položajima nižim od desetog. Otklanjanje, tj. proširenje kućica se može obaviti daljinski iz kancelarije po uočenom problemu. Slično, ali samo u jednom slučaju, je primećeno i kod struja. Primer za sekundarne struje oba transformatora je dat na slici 7 gde se ne vidi poslednja cifra trocifrenog broja, tj. jedinice. Kod ovog primera se radi o staroj trafostanici u kojoj položaj RS nije uveden u SCADA sistem. Za ovu TS bi mogao da se koristi računati položaj RS iz struja ili napona primara i sekundara uz uvažavanje moguće greške.



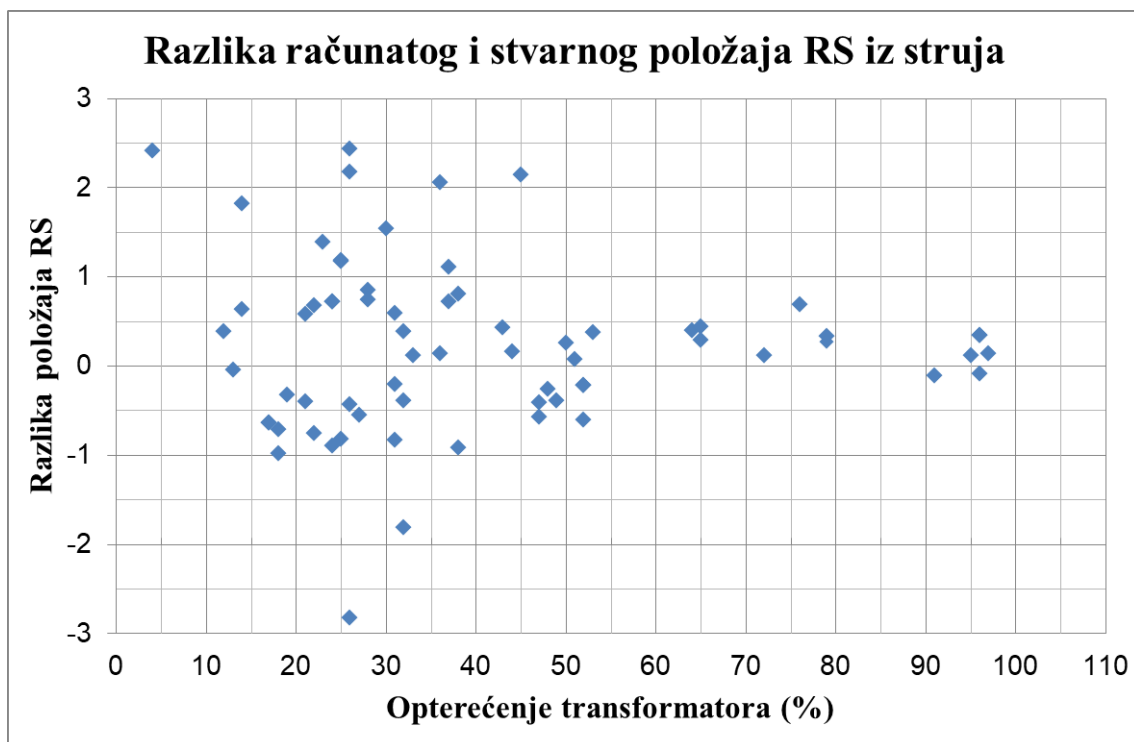
Slika 7: Nedovoljno široke kućice za podatak o sekundarnim strujama

3.2 Rezultati

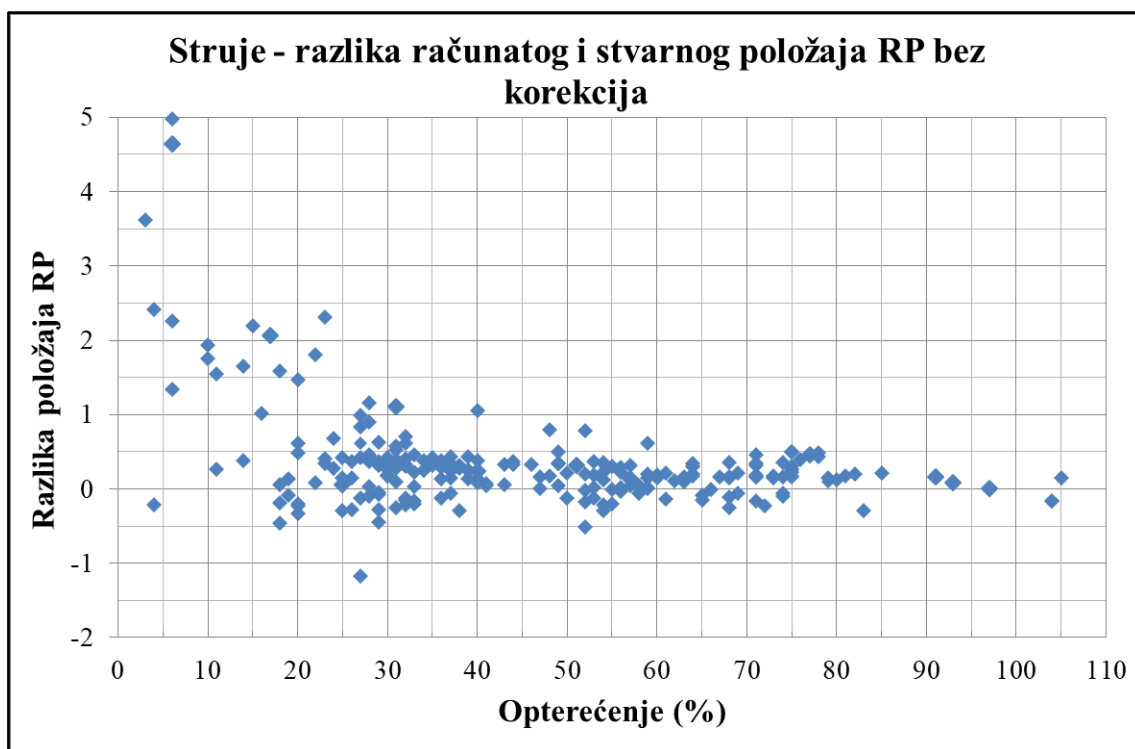
Obradeno je 70 snimaka za 32 transformatora. Veliki deo obrađenih podataka je za manja opterećenja gde je greška veća prvenstveno zbog greške strujnih transformatora i uticaja struje praznog hoda. Strujni transformatori imaju grešku manju od deklarisanu za opterećenja veća od 25 %. Za opterećenja manja od 25% strujni transformatori mogu da imaju grešku veću od deklarisanu. Odabir strujnih transformatora primarne i sekundarne strane je uslovljen nominalnim strujama primara i sekundara transformatora. Struje primara strujnih transformatora su uglavnom nešto veće od nominalnih struja primara i sekundara transformatora. Na primer kod transformatora snage 31,5 MVA prenosnog odnosa 110/21 kV/kV je nominalna primarna struja 165 A, a strujni transformatori su 200/1 A/A sa više jezgara. Na slici 8 su prikazani snimljeni rezultati sa SCADA sistemom. Na slici 9 su prikazani snimljeni rezultati sve tri struje primara i sekundara snimljeni sa mikroprocesorskih uređaja na transformatorskim stanicama [5].

Opterećenje prikazano na slikama 8 i 9 su opterećenja energetskih transformatora tako da je opterećenje strujnih transformatora uglavnom manje za oko 20% zavisno od snage i prenosnog odnosa energetskog transformatora. Korišćenje struja primara i sekundara transformatora sa SCADA sistema za određivanje položaja RS pri opterećenjima nižim od 30% dovodi do razlika koje idu do tri položaja RS.

U jednom slučaju su snimljeni podaci transformatora koji su kratko bili u paraleli sa opterećenjima od 31% i 32% i dobijene su razlike od stvarnog položaja RS od 0,591 i 0,393.



Slika 8: Snimljeni podaci sa SCADA sistema



Slika 9: Snimljeni podaci iz [5]

Neki sumnjivi podaci su provereni korišćenjem proračuna pada napona u transformatoru uz poznate parametre transformatora i podatke o strujama i naponima sa SCADA sistema. Uočeno je da određene greške postoje u SCADA sistemu.

Veoma značajan uticaj na grešku ima i zaokruživanje vrednosti struja na celi broj na monitorima pogotovo kod malih struja, a to je uglavnom slučaj svuda jer se prilikom podešenja izgleda monitora na SCADA sistemu ostavljaju celi brojevi. Zbog ovog se razlika položaja RS izračunatog iz primarnih i sekundarnih struja u odnosu na stvarni položaj RS može povećati za jedan ili više. U slučaju korišćenja vrednosti struja primara i sekundara sa SCADA sistema za izračunavanje položaja RS neophodno je da se vrednosti struja zaokružuju na ne manje od dve decimalne zbog veće tačnosti.

Rezultati razlike položaja RS dobijeni iz SCADA sistema su slični rezultatima snimljenim sa mikroprocesorskih uređaja. Može se pretpostaviti da će za opterećenja veća od 30% većina položaja RS izračunatih iz struja primara i sekundara zaokruženih na celobrojnu vrednost biti jednaka stvarnom položaju RS. Ukoliko bi se koristile vrednosti struja sa barem jednom decimalom moguće je da bi za opterećenja veća od 30% još veći broj izračunatih položaja RS zaokružen na celobrojnu vrednost bio jednak stvarnim položajima RS, a preostali bi imali razliku od jednog položaja.

4 ZAKLJUČAK

Podatak o položaju RS dobijen iz primarne i sekundarne struje iz SCADA sistema bi mogao da se, za opterećenja transformatora veća od oko 30% ili strujnih transformatora većih od 25%, koristi kao rezervni, kontrolni ili glavni uz uvažavanje moguće razlike od jednog položaja RS u odnosu na stvarni položaj RS. 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 detaljnije razmatranje položaja RS iz struja sa SCADA sistema većeg broja transformatora sa velikim brojem očitavanja sa što širim opsegom opterećenja.

5 LITERATURA

- [1] S. Spremić, M. Sentin, D. Petrović, Z. Ristanović, 2015., „Tap changer position determination using new algorithm and possibilities of intelligent electronic devices“, 23rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Lyon, France), paper 0008
- [2] IEC 60076-1:1993+A1:1999 "Power transformers – Part 1: General"
- [3] S. Spremić, D. Petrović, Z. Ristanović, M. Sentin, 2012., „Unapređenje funkcija uređaja mikroprocesorske zaštite transformatora“, CIRED Srbija – VIII savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije sa regionalnim učešćem, Vrnjačka Banja, Srbija, R-4.14, p.8
- [4] S. Spremić, 2019., „Praktična provera mogućnosti određivanja položaja regulacione sklopke korišćenjem struja i napona i mogućnosti korekcije“, 34. savetovanje CIGRE Srbija, Vrnjačka Banja, Srbija, R B5.16
- [5] S. Spremić, D. Obradović, 2021., „Korekcija određivanja položaja regulacione preklapke iz struja i napona primara i sekundara po snimljenim vrednostima pojedinačnog transformatora“, XXXVI savetovanje Energetika 2021, Zlatibor, Srbija