

## GREŠKE AUTOMATSKE REGULACIJE NAPONA SA PRIMERIMA

S. SPREMIĆ<sup>1</sup>, J.P. EPS – Tehnički centar Novi Sad - Sektor održavanja EEO VN i MM, Srbija

### UVOD

Automatska regulacija napona pod opterećenjem u delatnosti distribucije električne energije je veoma značajna automatika čija upotreba omogućava željenu promenu položaja regulacione sklopke pod opterećenjem čime se vrši promena prenosnog odnosa transformatora tako da se na sekundarnoj strani transformatora dobija željena veličina napona. Ovakvom regulacijom napona ne može se u potpunosti obezbediti stabilnost napona na elektrodistributivnoj mreži. Uvažavanjem parametara mreže i parametara opterećenja sa odgovarajućim podešenjima besteretnih menjača transformatora nižeg naponskog nivoa može se obezbediti da se kod najvećeg broja potrošača veličine napona nalaze u propisima određenim granicama. Podrazumeva se da i parametri automatskog regulatora napona moraju biti odgovarajuće podešeni. U automatsku regulaciju napona su uključeni i drugi uređaji, pomoćni releji, ožičenje, mehanički kontakti, oprema u motornom pogonu regulacione sklopke tako da postoji mogućnost da svaki deo može da uzrokuje neispravan rad automatske regulacije napona. Uzrok neispravnog rada automatske regulacije napona su u nekim slučajevima ljudske greške bilo kroz neispravno projektovanje, izvođenje ili parametrisanje. Dat je prikaz mogućih uzroka neispravnog rada automatske regulacije napona transformatora pod opterećenjem. Podrobno je opisano i razmotreno nekoliko posebnih slučajeva neispravnog rada automatske regulacije napona koji se odnose na neispravno uvezivanje, grešku uređaja uključenog u automatsku regulaciju napona i grešku projektovanja.

### POTREBA KORIŠĆENJA AUTOMATSKE REGULACIJE NAPONA

Regulacija napona u distributivnoj delatnosti obuhvata regulaciju napona transformatora (u daljem tekstu: ET) 110/x/y kV/kV/kV pod opterećenjem i odgovarajuće podešavanje besteretnih menjača na ET 35/x kV/kV i x/0,4 kV/kV. Automatska regulacija napona obuhvata korišćenje regulacionih sklopki i pridruženog motornog pogona u/na transformatoru, uređaja automatske regulacije napona (u daljem tekstu: uređaj ARN) i odgovarajućih automatika. Uređaji ARN su neophodni za potrebe održavanja napona na sredjenaponskoj strani distributivnih ET prenosnog odnosa 110/x/y kV/kV/kV na odgovarajućem nivou. Pored održavanja osnovne veličine napona na sekundarnoj strani rešava problem kompenzacije pada napona na jedinstvenom vodu.

Regulisanje napona se vrši skokovitim promenom broja navojaka na 110 kV strani ET korišćenjem regulacione sklopke u normalnom radu pod opterećenjem, a prati se i podešava napon na niženaponskoj strani ili niženaponskim stranama. Regulisanje se vrši na 110 kV strani zbog manjih struja i zbog toga lakše izvedbe prekidačkog dela. Uobičajeni opseg regulacije je  $\pm 10 \times 1,6$  % kod novijih ET prenosnog odnosa 110/21/10,5 kV/kV/kV i  $\pm 10 \times 1,5$  % kod starijih ET prenosnog odnosa 110/36,75/10,5 kV/kV/kV iako ima nekoliko tipova

---

<sup>1</sup> Siniša Spremić, J.P. EPS-Tehnički centar Novi Sad – Sektor održavanja EEO VN i MM, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (sinisa.spremic@ev.rs)

starijih ET kojima je korak regulacije malo različit od navedenih vrednosti (1,518 % za ET 110/36,75/10,5 kV/kV/kV te 1,636 % i 1.6545 % za ET 110/21/10,5 kV/kV/kV).

Srednjenaponski izvodi iz distributivnih trafostanica 110/x/y kV/kV/kV su radijalni. Zbog promena napona na višenaponskoj strani i različitih uslova korišćenja delova srednjenaponske i niskonaponske distributivne mreže (tip potrošnje, fizičke karakteristike izvoda) te posebno zbog značajnih promena opterećenja tokom dana i po sezonama regulacija napona na distributivnim ET 110/x/y kV/kV/kV ima osnovnu svrhu da obezbedi osnovno regulisanje napona za srednjenaponsku i niskonaponsku mrežu koje zadovoljava za najveći deo mreže bez obzira na prostorne i vremenske promene opterećenja, a time i padove napona na elementima mreže. Pored ovog odgovarajuća podešenja besteretnih regulatora na distributivnim ET 35/x kV/kV i x/0,4 kV/kV mogu obezbediti odgovarajuću veličinu napona na najvećem delu mreže koja ne treba da odstupa više od  $\pm 10$  % prema [1].

Podešenjem parametara uređaja ARN bi se napon u delovima mreže (udaljenim od samog ET) mogao podići na veću vrednost, ali bi u tom slučaju na srednjenaponskoj ili srednjenaponskim stranama (ukoliko se koriste obe srednjenaponske strane kao npr. 21 kV i 10,5 kV) ET, a time i na bližim delovima srednjenaponske mreže imali previsok napon. Za slučajeve razuđenih mreža sa dugačkim srednjenaponskim vodovima gde se ne može obezbediti odgovarajući napon na krajevima srednjenaponskih izvoda dodatno regulisanje napona se može sprovesti besteretnim regulatorima napona na distributivnim ET x/0,4 kV/kV, ali i to treba obaviti uz odgovarajuće proračune zbog velikih promena veličine napona na srednjenaponskom vodu zbog opterećenja i velikih promena opterećenja na niskonaponskim izvodima.

## UZROCI NEISPRAVNOG RADA AUTOMATSKE REGULACIJE NAPONA

Uzroci neispravnog rada automatske regulacije napona mogu biti:

- greške (kvarovi) svih uređaja uključenih u automatsku regulaciju napona i
- ljudske greške.

Neispravan rad je u prvom redu kvar (blokada) koji onemogućava regulaciju napona. Pored toga neispravnost rada se ogleda u prečestom radu regulacione sklopke, neodržavanju napona na željenom nivou, ispadu transformatora i paralelnom radu u položajima koji nisu optimalni u smislu obezbeđenja najmanjih struja izjednačenja.

Greške uređaja uključenih u automatsku regulaciju napona obuhvataju sledeće:

- Kvar uređaja ARN koji može biti manjeg obima (otkaz ili neispravan rad nekog dela) tako da uzrokuje održavanje napona na previsokoj ili preniskoj vrednosti, neodgovarajuću brzinu davanja komande, učestale komande,... Kvarovi većeg obima su oni koji uzrokuju potpuni prestanak rada regulacije napona kao što su kvar napojne jedinice ili oni koji uzrokuju blokadu rada zbog kvara analognog ulaza napona, struje ili položaja regulacione sklopke, kvara elektronike ili mikroprocesora, kvara komunikacione jedinice, kvara binarnog ulaza ili izlaza i oštećenja nekog drugog dela zavisno od izvedbe uređaja ARN.

- Kvarovi na motornom pogonu regulacione sklopke koji mogu biti električni i mehanički. Električni kvarovi obuhvataju kvarove električnih komponenti kao što su električni motor, zaštitna motorna sklopka, kontakti, pomoćni releji, živina klackalica koji mogu potpuno onemogućiti automatsku regulaciju napona, a u nekim slučajevima regulaciju naviše ili naniže. U električne kvarove se mogu ubrojiti i neispravnosti u pokazivanju položaja regulacione sklopke što, izuzev u slučaju paralelnog rada metodom koja zahteva poznavanje podatka o položaju regulacione sklopke, neće proizvesti blokadu rada već samo nedostatak podatka o položaju regulacione sklopke ili neispravno pokazivanje. Mehanički kvarovi obuhvataju pucanje veze motornog pogona i vratila do regulacione sklopke (oslabljeno mesto ili neko drugo mesto), lom nekog od delova prenosa (zupčastog ili remenastog) usled različitih uzroka kao što su gubitak ulja ili trošenje delova, a ovi kvarovi gotovo uvek uzrokuju blokadu automatske regulacije. U mehaničke kvarove se mogu ubrojati i kvarovi mehaničkih prekidača koji uglavnom uzrokuju blokadu ispadom zaštitne motorne sklopke ili onemogućće regulaciju u jednom smeru.

- Kvarovi na regulacionoj sklopki su najopasniji, a obuhvataju električne i mehaničke. Ovde se kvarovi uglavnom mogu podvesti pod mehaničke kvarove delova kao što su opruge, osovine, zupčanici, prenosnici, nosači elemenata, ali i kontakata, elastičnih (pletence) i krutih električnih veza (krivljenje, pucanje, kidanje, razlabavljenje, trošenje,...). Mehanički kvarovi gotovo uvek uzrokuju blokadu rada automatske regulacije napona, a veoma često i ispad ET delovanjem zaštitnog releja regulacione sklopke. U određenim uslovima ovi kvarovi mogu da dovedu do značajnijeg oštećenja regulacione sklopke što za posledicu ima potrebu fabričke popravke ET. Pod električne kvarove se mogu podvesti kvar otpornika i kvarovi električnih spojeva kako u prekidačkom delu (koji je najčešće u posebnom sudu) tako i na biračkom delu (koji je najčešće u sudu ET). Kvar (prekid) otpornika uvek uzrokuje ispad ET, a ređe i potrebu fabričke popravke. Kvarovi električnih spojeva regulacione sklopke mogu da izazovu ispad ET. Ovi problemi, barem kod biračkog dela koji se nalazi u sudu ET mogu biti otkriveni analizom gasova rastvorenih u ulju i potvrđeni odgovarajućim merenjima. Kod prekidačkog dela koji se nalazi u posebnom sudu mogu da se otkriju vizuelnim pregledom, ali također i merenjima.

- Kvarovi ili neispravan rad drugih uređaja uključenih u davanje uslova i potrebnih podataka i obezbeđenje komunikacije, kvarovi dodatnih automatika, kao i kvarovi na ožičenju se neće detaljnije razmatrati, ali mogu da

dovedu do blokade automatske regulacije napona i ispada ET.

Ljudske greške obuhvataju sledeće:

- Neodgovarajuće podešenje jednog ili više parametara uređaja ARN što može da dovede do neodgovarajućih vrednosti napona, a zavisno od parametara i do blokade rada, prečestog rada, a kod paralelnog rada i do oscilacija položaja regulacione sklopke (gore - dole), ali i do ispada ET usled razilaska položaja regulacionih sklopki usled velikih vrednosti struja izjednačenja.
- Neispravno isprojektovano i/ili izvedeno ožičenje može kod određenih uslova da uzrokuje nepotrebnu blokadu ili ispad ET.
- Neispravno odrađeni uslovi u mikroprocesorskim uređajima zaštite ili upravljanja mogu kod određenih uslova uzrokovati blokadu rada automatske regulacije napona.

## **OPIS I RAZMATRANJE POSEBNIH SLUČAJEVA NEISPRAVNOG RADA ARN**

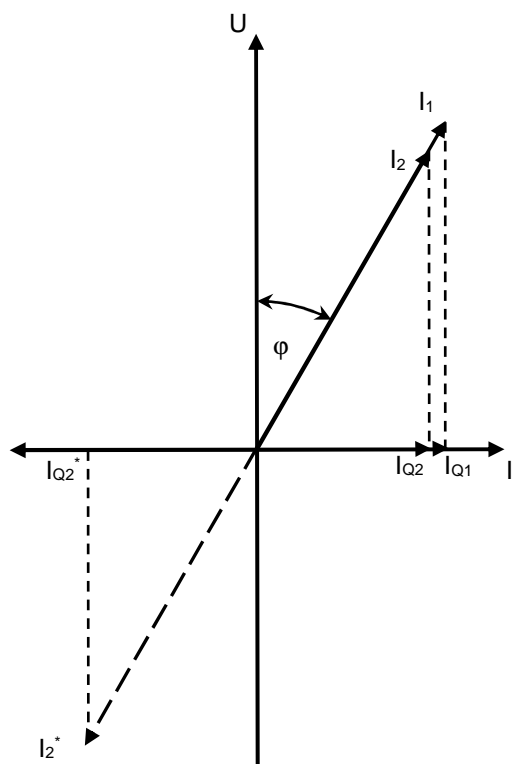
U prethodnih nekoliko godina su se pojavile neispravnosti rada automatske regulacije napona usled različitih uzroka i u pojedinačnom radu i u paralelnom radu. Ovde će se prikazati tri zanimljiva primera iz prakse neispravnog rada automatske regulacije napona od kojih su sva tri vezana za neki oblik paralelnog rada ET.

### **Slučaj 1 - Višestruko neispravno uvezivanje uređaja ARN i dodataka za paralelan rad**

U trafostanici sa dva ET prenosnog odnosa 110/21/10,5 kV/kV/kV snaga 31,5 MVA istog proizvođača i tipa sa veoma sličnim karakteristikama ET ne rade u trajnom paralelnom radu, ali se zbog izvedbe 110 kV postrojenja i odgovarajuće automatike kod trajnog ispada jednog od dalekovoda 110 kV usled delovanja distantne zaštite ET mogu naći u paralelnom radu u trajanju od pola sata naviše (do isključenja spojke 20 kV od strane manipulant u trafostanici). Trajni ispadi dalekovoda 110 kV usled delovanja distantne zaštite su retki, ali je u tim slučajevima dolazilo do potpunog razilaska položaja regulacionih sklopki (jedan ET u prvom položaju, a drugi u 21. položaju). Zbog ovog se mogu pojaviti struje izjednačenja vrednosti od oko 1000 A sa posledicom ispada spojke 20 kV (zaštita spojke je podešena na 600 A), a do ispada spojke 20 kV velikih odstupanja željenog napona što zavisi od veličine napona na 110 kV strani i od opterećenja ET. Druga posledica može biti ispad ET zbog previsoke struje opterećenja, posebno onog kojem se reaktivnom delu struje dodaje također reaktivna struja izjednačenja.

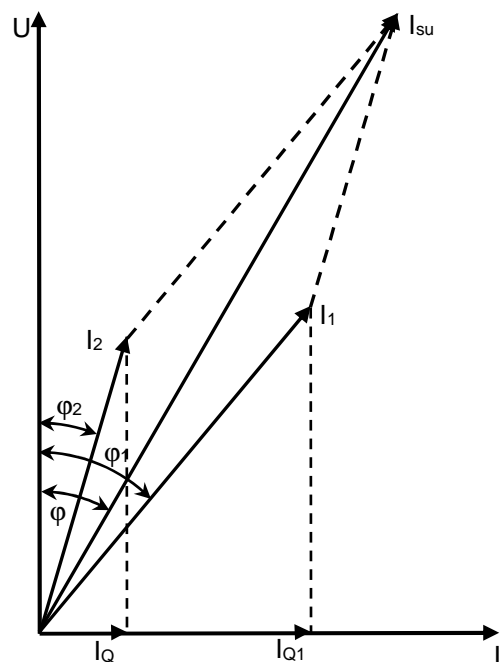
Nakon prijave neispravnog rada uočenog prilikom probe paralelnog automatskog rada pristupilo se proveriti. Parametri uređaja ARN (REG 5A [2]) su imali približno jednaka podešenja dok su dodaci za paralelan rad imali podešenja od 3 % (ET 1) i 2 % (ET 2). Dodaci za paralelan rad su tipa V014 koji koriste međufazni napon R-S i struju faze T, ali alternativno može da se veže i međufazni napon S-T i struja faze R ili kombinacija T-R S. Provereno je pri ručnom paralelnom radu postojanje uticaja od dodataka za paralelan rad promenom vrednosti podešenja i taj uticaj se mogao videti na indikatoru uređaja ARN. U ručnom pojedinačnom radu u istim položajima regulacione sklopke, ET su bili u okviru željeni napon  $\pm$  dozvoljeno odstupanje. Nakon uključanja spojke 20 kV, tj. ručnog paralelnog rada kazaljka indikatora je kod oba uređaja ARN imala značajno pomeranje i izlazak iz zone nedelovanja iako se ukupno opterećenje i primarni napon nisu promenili. Izostanak promene ukupnog prividnog opterećenja pokazuje da u istim položajima regulacione sklopke nema struje izjednačenja ili je ona veoma mala. Uključenje automatike u paralelnom radu je i kod istih položaja regulacionih sklopki oba transformatora vodilo u razilazak položaja. Zaključeno je da postoji problem u smerovima struje, napona i/ili uticaja dodataka za paralelan rad, tj. neispravnost ožičenja. Proverom je najpre ustanovljena neispravna veza napona na uređaju ARN ET2, a time i na dodatku za paralelan rad jer koriste isti napon. Umesto da faza T dođe na stezaljku 1 i faza R na stezaljku 2 na uređaju ARN je bilo obrnuto. Na slici 1 je prikazano šta se dogodilo zbog zamene smera napona. Zbog jasnijeg prikaza pretpostavljena je razlika u naponima kratkog spoja i time različite veličine struja uz iste položaje.

Na slici 1 je umesto napona obrnut smer struje za 180° zbog jasnijeg prikaza šta "vide" dodaci za paralelan rad. Stvarne struje su  $I_1$  i  $I_2$  dok je prikazana struja  $I_2^*$  u trećem kvadrantu onako kako je vidi dodatak za paralelan rad zbog neispravno uvezanog napona. Dodaci za paralelan rad na osnovu veličine razlike u reaktivnim strujama ET ( $I_{L1}-I_{L2}$ ) daju odgovarajući uticaj na uređaje ARN tako da kod ET sa većom vrednošću reaktivne struje daje uticaj u cilju smanjenja položaja regulacione sklopke.



Slika 1 - Grafik struja i napona ET u paralelnom radu - jednak položaj

Izvršena je zamena i opet je nakon probe dolazilo do razilaska položaja, ali sada samo samo kad nisu u istom položaju u automatskom paralelnom radu. ET kojem bi povećali položaj u ručnom paralelnom radu bi nakon prebacivanja na automatski rad, umesto da smanji položaj nastojao da poveća položaj, dok je kod drugog ET regulacija napona išla na smanjivanje položaja, tj. na razilazak što se videlo i na položaju kazaljki indikatora uređaja ARN. Zaključeno je da je kod oba ET obrnut polaritet dodatnog uticaja prema uređajima ARN i nakon



Slika 2 - Grafik struja i napona ET u paralelnom radu - razlika položaja

Vidi se da je kod ispravnog uvezivanja razlika ( $I_{LJ1}-I_{LJ2}$ ) u prvom kvadrantu mala i da će proizvesti mali uticaj koji nije dovoljan da utiče na promenu položaja regulacionih sklopki.

Kod neispravnog uvezivanja je očigledno da je razlika ( $I_{LJ1}-I_{LJ2}^*$ ) veoma velika već kod iole većih opterećenja i vrednosti faktora snage nešto manjeg od 1. Ovo će kod ET1 proizvesti veliki uticaj koji će delovati u cilju smanjenja položaja, a kod ET2 u suprotnom smeru. Promena položaja oba transformatora će biti takva da će ET1 smanjiti reaktivnu struju, a ET2 će je povećati, ali će razlika reaktivnih struja (kako je vide dodaci za paralelan rad) ostati približno jednaka uz manje promene zbog promena napona kratkog spoja po položajima, tj. impedansi kratkog spoja. Ukoliko se u slučaju sa slike 1 ET1 poveća položaj povećaće mu se reaktivna struja izjednačenja, a time i ukupna struja pa bi uticaj od kompenzacije pada napona delovao u cilju povećanja položaja. Kod visokih vrednosti sačinioća snage i manjih opterećenja bi naizgled sve dobro radilo jer bi razlika ( $I_{LJ1}-I_{LJ2}^*$ ) u istim položajima bila nedovoljna da proizvede dovoljan uticaj koji bi vodio u raskorak. Prilikom radova na otklanjanju greške opterećenje je iznosilo oko 60 % ukupne snage oba ET.

zamene provodnika i dodatnog podešenja dodatka za paralelan rad, za ET 1 na 1,5 % i za ET 2 na 2,5 % u datom položaju i okolini (ručno stvarana razlika od 1 i dva položaja oba ET u oba smera sve je radilo ispravno). Na slici 2 je prikazano šta se dogodi kada ET1 ode položaj gore u odnosu na struje u prvom kvadrantu slike 1 gde su ET u istom položaju. Vidi se da struja izjednačenja deluje tako da će povećati reaktivnu struju ET1, dok će je kod ET2 smanjiti. Kod ispravne veze uticaja od dodatka za paralelan rad dobili bi uticaj koji bi kod ET1 smanjio položaj regulacione sklopke, a kod ET2 obrnuto. Kako su veze bile neispravne i uticaji su bili obrnuti to pri datim uslovima povlači da kad jednom izađu iz stabilnosti i dođe do razlike položaja taj način delovanja se nastavlja sa stalnim povećanjem uticaja od razlika reaktivnih struja ( $I_{LJ1}$  se stalno povećava, a  $I_{LJ2}$  se stalno smanjuje i može da postane negativan - kapacitivan) i od razlika u uticajima od kompenzacije pada napona zbog razlika prividnih struja.

Razmatranje zajedničkog uticaja obe greške uvezivanja vodi do zaključka da će kod induktivnog opterećenja kao na slikama 1 i 2 (slično stvarnim uslovima) doći do uzastopnih komandi gore za ET1, a na dole za ET2, bez obzira da li se nalaze u istom položaju i da li se neki od ET pomeri gore ili dole. Za neke druge uslove rada moguće je i drugačije ponašanje.

## Slučaj 2 - Paralelovani sekundari naponskih transformatora 20/0,1/√3 kV/kV

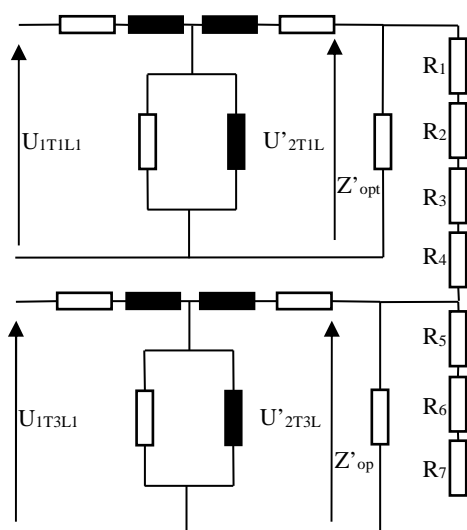
U trafostanici sa dva ET prenosnog odnosa 110/21/10,5 kV/kV/kV snaga 31,5 MVA istog proizvođača i tipa sa veoma sličnim karakteristikama ET ne rade u trajnom paralelnom radu. Povremeni paralelan rad u ručnom načinu rada se uspostavlja samo prilikom potrebe za isključenjem jednog od ET. Parametri uređaja ARN (REG 5A [2]) na oba ET su približno jednaki.

U toku automatskog pojedinačnog rada ET, a prilikom uvođenja naponske redukcije na ET1, primećeno je da u toku spuštanja nekoliko položaja regulacione sklopke tog ET odgovarajućim komandama uređaja ARN, uređaj ARN ET3 počne da daje komande naviše.

Provereno je i ustanovljeno da nema uslova paralelnog rada (uključenost prekidača trafopolja 110 kV i 20 kV i spojke 20 kV), tj. nije pobuđen odgovarajući pomoćni relej. U ručnom načinu rada je na ET1 podešenjem potencijometra „uvedena“ naponska redukcija, a posmatranjem indikatora uređaja ARN tog ET se videlo da je kazaljka otišla daleko u + što povlači potrebu za snižavanjem položaja (uređaj ARN ET1 je zatvarao odgovarajući kontakt), a kazaljka indikatora na uređaju ARN ET3 se nije pomerila što je bilo u redu.

Izvršena je provera ožičenja u relejnom stalku ARN i nije bilo neispravnosti. Više funkcionalnih provera i merenja napona na priključcima mernog napona na uređajima ARN u zatečenom stanju i pri promeni položaja regulacione sklopke u ručnom i automatskom načinu rada i merenje naizmeničnog napona sa kućnog transformatora 20/0,4 kV je dovelo do zaključka da je negde u naponskim kolima sekundara naponskih mernih transformatora mernih ćelija trafo polja 20 kV ET1 i ET3 došlo do paralelovanja istih. Na jednoj 20 kV izvodnoj ćeliji je došlo do kvara signalne kutije rastavljača i na tom mestu je došlo do paralelovanja sekundara naponskih mernih transformatora trafo polja 20 kV ET1 i ET3. Nakon otklanjanja nedostatka automatska regulacija napona je radila ispravno.

Na slici 3 je data zamenska šema faze L1 naponskih mernih transformatora trafopolja ET1 i ET3 gde su  $U_{IT1L1}$  i  $U_{IT3L1}$  naponi primarne, a  $U'_{2T1L1}$  i  $U'_{2T3L1}$  sekundarne strane. Na šemi su prikazana opterećenja sekundarnih kola naponskih mernih transformatora  $Z'_{opt}$  kao i neispravna veza između faza sekundarnih kola naponskih transformatora (paralelovanje) otporima  $R_1$  do  $R_7$  koji pojedinačno predstavljaju delove petlje mernih napona, tj. provodnike od jedne do druge ćelije.



Na slici 3 je mesto gde je došlo do paralelovanja sekundara naponskih mernih transformatora u ćeliji broj 5. Jasno je da je  $Z'_{opt} \gg R_i$ . Veoma je bitno mesto paralelovanja sekundara naponskih mernih transformatora jer zavisno od toga i međusobnog položaja trafo ćelija iz kojih uređaji ARN dobijaju napon, može biti veća ili manja razlika napona na uređajima ARN. U slučaju da se izvodi sekundara naponskih transformatora paraleluju u istu tačku na oba uređaja ARN bi imali gotovo isti napon. Zbog padova napona na otporima  $R_i$  između trafo ćelija usled proticanja struje izjednačenja imaćemo razliku napona na uređajima ARN, a ta razlika može biti veća ili manja što zavisi od broja otpora  $R_i$  uključenih u paralelovanje sekundara i sa time povezane veličine struje izjednačenja. Zbog paralelovanja sekundara naponskih mernih transformatora će kod onog koji ima viši napon sekundara zbog većeg primarnog napona poteći reaktivna struja izjednačenja prema drugom koji ima niži sekundarni napon (kao kod ET) čime će se mereni napon onog koji bi trebao imati viši napon smanjivati i obrnuto.

Slika 3 - Zamenska šema jedne faze za slučaj paralelovanja sekundara naponskih transformatora

Posledice paralelovanja sekundara naponskih mernih transformatora po kojima se može utvrditi ta greška su:

- Kod pojedinačnog rada ET promena za jedan položaj regulacione sklopke na jednom ET uzrokuje promenu napona sekundara naponskog mernog transformatora za oko polovine koraka regulacije napona. Uvažavajući greške mernih transformatora, mernog instrumenta i pada napona na provodnicima koji povezuju sekundare naponskih mernih transformatora moguće je da promena napona sekundara bude i manja od polovine koraka napona regulacije. Dobija se sličan rezultat kao kod promene jednog položaja regulacione sklopke jednog ET kod paralelnog rada dva ET.
- U pojedinačnom radu ET promenom položaja jednog ET se menja napon primara naponskih transformatora tog ET što uzrokuje struju izjednačenja naponskih transformatora čime se menja napon na sekundarima naponskih transformatora i prvog i drugog ET i tako stvara dodatni uticaj - u slučaju uređaja ARN tipa REG 5A [2] za drugi ET se dobija pomeranje kazaljke indikatora iako ga ne bi smelo biti.
- U obrađenom slučaju je promena položaja regulacione sklopke ET1 naniže za tri položaja i ET3 naviše za jedan položaj izazvala smanjenje mernog napona na priključcima uređaja ARN ET3 (kao da je otišao za jedan položaj dole) dok se kod ET1 merni napon veoma malo smanjio iako je trebao da bude smanjen za oko 5 %.

U normalnim uslovima rada (bez redukcije napona) uz približno jednake parametre uređaja ARN i uz opterećenja ET koja se ne razlikuju za više od 15 % u normalnom radu, ET su u jednakim položajima ili sa razlikom od jednog položaja tako da se uticaj peralelovanja sekundara naponskih mernih transformatora ne primećuje. Kad bi se parametri uređaja ARN značajnije razlikovali i/ili kad bi postojale značajnije razlike opterećenja neispravan rad automatske regulacije napona bi se primetio odmah uz neispravne vrednosti napona za date uslove uz pritužbe potrošača na previsok ili prenizak napon.

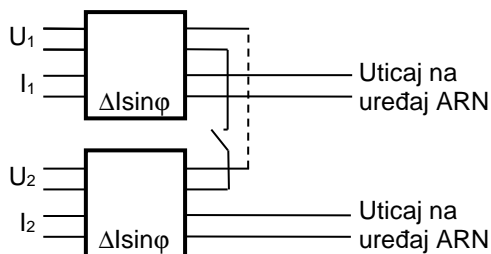
### Slučaj 3 - Neispravno uvezivanje dodataka za paralelan rad

U transformatorskoj stanici su dva ET prenosnog odnosa 110/21/10,5 kV/kV/kV snaga 31,5 MVA različitih proizvođača sa različitim karakteristikama napona kratkog spoja. Jedan od ET ima značajan skok vrednosti napona kratkog spoja između dva položaja. ET ne rade u trajnom paralelnom radu. Povremeni paralelan rad u ručnom načinu rada se uspostavlja samo prilikom potrebe za isključenjem jednog od ET. Na uređajima ARN (REG 5A [2]) na oba ET se značajno razlikuju parametri osnovnog napona i kompenzacije pada napona.

U nekoliko slučajeva prilikom paralelovanja transformatora u automatskom načinu rada je primećeno da dolazi do raskoraka položaja regulacionih sklopki.

Provereni su parametri uređaja ARN i dodataka za paralelan rad i sve je izgledalo u redu. ET su paralelovani u ručnom načinu rada. ET kojem su veće vrednosti parametara osnovnog napona i kompenzacije pada napona je kazaljka indikatora otišla značajno u minus što povlači da želi viši napon dok je kod dugog bilo suprotno, a oboje je bilo očekivano. Ovi parametri bi za trajan paralelan rad ovih uređaja trebali biti jednaki. Uređaji ARN su za date parametre i uslove rada ET pušteni u automatski način rada i došlo je do očekivanog, ali neželjenog raskoraka sa težnjom daljeg povećanja raskoraka položaja regulacionih sklopki umesto da se paralelan rad ustali, doduše u različitim položajima regulacionih sklopki.

Pregledom projekta je uočeno da je neispravno projektovana veza između dodataka za paralelan rad. Dodaci za paralelan rad međusobno upoređuju podatke o veličini reaktivnih struja pretvarajući ih u jednosmerni napon. Ova veza treba da je izvedena sa dva provodnika, ali je bila izvedena samo jednim provodnikom preko odgovarajućih rednih stezaljki u relejnom stalku, dok je drugi provodnik i sa jednog i sa drugog uvezan u odgovarajuće redne stezaljke na relejnom stalku, ali veza između njih nije projektovana ni izvedena. Na slici 4 se vidi uprošćena šema vezivanja dodataka za paralelan rad gde je isprekidanom linijom označena nedostajuća veza.



Slika 4 - Uprošćena šema povezivanja dodataka za paralelan rad

Izvršeno je spajanje i nakon podešenja parametara dodataka za paralelan rad i funkcionalne probe dobijen ispravan paralelan rad u automatskom načinu rada. Prvenstveno zbog različitih parametara uređaja ARN, ali i zbog različitih karakteristika napona kratkog spoja paralelan rad sa razlikom od jednog položaja regulacionih sklopki se u određenim uslovima ne može izbeći.

Zbog značajnih razlika u vrednostima parametara uređaja ARN i izostanka uticaja od struja izjednačenja zbog nepostojanja veze između dodataka za paralelan rad uređaj ARN ET koji želi viši napon bi stalno davao nalog da ode položaj gore čime bi povećavao struju zbog struje izjednačenja i time povećavao uticaj u cilju povećanja položaja, a uređaj ARN drugog ET bi stalno davao nalog da ode položaj dole. Stvarao bi se raskorak koji bi mogao da ima za posledicu velika odstupanja napona do ispada spojke i/ili ispada transformatora kao u slučaju 1 iz ove tačke.

## ZAKLJUČAK

Automatska regulacija napona pod opterećenjem je veoma važan deo zaštite i upravljanja čiji je osnovni zadatak da održava veličinu napona na željenom nivou, a u slučaju paralelnog rada povećanje pouzdanosti napajanja (izbegavanjem prekida napajanja potrošača) i smanjenja gubitaka ravnomernom raspodelom opterećenja po transformatorima.

Uzroci neispravnog rada automatske regulacije napona mogu biti greške (kvarovi) svih uređaja uključenih u automatsku regulaciju napona i ljudske greške. Neispravan rad je blokada regulacije napona, prečest rad regulacione sklopke, neodržavanje napona na željenom nivou, ispad transformatora i paralelan rad u položajima koji nisu optimalni.

Ovde prikazani posebni slučajevi neispravnog rada automatske regulacije napona su u dva slučaja izazvani ljudskom greškom (neispravno uvezivanje i neispravno projektovanje) i u jednom slučaju greškom uređaja koji nije direktno uključen u automatsku regulaciju napona (signalna kutija u izvodnoj ćeliji).

Prilikom funkcionalnog ispitivanja je neophodno ispravno podesiti parametre uređaja ARN predviđenih za kratkotrajan ili trajan paralelan rad i parametre dodataka za paralelan rad (ukoliko postoje) koristeći simulacije u određivanju parametara. Ukoliko uslovi dozvoljavaju u okolini položaja regulacione sklopke za trenutne uslove opterećenja proveriti ispravnost paralelnog rada ET.

## **LITERATURA**

1. "Uredba o uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom" Sl. glasnik RS, br. 63/2013, 2013
2. Gossen, Operational Sets Electronic Regulator REG 5 A, Instructions for Use