



STACIONARNA DODATNA STRUJA CIRKULACIJE U SN MREŽI USLED POPREČNE KOMPONENTE PADA NAPONA

ADDITIONAL NON-TRANSIENT CIRCULATION CURRENT IN MV NETWORKS DUE TO TRANSVERSAL VOLTAGE DROP COMPONENT

D. CVETINOV, ODS "Elektrodistribucija Srbije" d.o.o, Beograd, Ogranak "ED Novi Sad", Novi Sad, Srbija
G. JOVANOVIĆ, ODS "Elektrodistribucija Srbije" d.o.o, Beograd, NDDC, Novi Sad, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U radu je predstavljen opis i proračun stacionarne dodatne struje cirkulacije koja nastaje usled poprečne komponente pada napona u SN (srednjenaponskoj) mreži. Takođe, priloženi su i grafici izmerenih vrednosti struje dobijenih putem SCADA sistema. Predstavljen je model dva SN izvoda koji se napajaju iz dve različite TS VN/SN kV/kV i koji se uključuju na istovremeno napajanje u distributivnoj transformatorskoj stanici u kojoj se nalazi rastavno mesto. U trenutku uključivanja dolazi do skoka vrednosti struje koji nastaje usled navedene pojave. Pomenuto povećanje struje registruju smenski dispečeri, dok im sama pojava izaziva nedoumicu, obzirom da su naponi na SN sabirnicama sa kojih polaze izvodi približno isti. Sama pojava ne izaziva prorađu zaštite i samim tim isključenje izvoda.

Opisan je i uzrok pojave stacionarne dodatne struje cirkulacije koji se ogleda u nejednakom opterećenju aktivne i reaktivne snage transformatora VN/SN kV/kV u TS VN/SN kV/kV u trenutku uključivanja pri istoj vrednosti napona na sabirnicama SN. Ova dodatna struja se superponira na radnu struju.

Ključne reči: stacionarna dodatna struja cirkulacije, pad napona

ABSTRACT

This paper deals with description and calculation of additional non-transient circulation current due to transversal voltage drop component in MV networks. Also, some graphs of measured current values obtained from SCADA system are depicted. Paper presents model of two MV feeders that are connected to two different HV/MV substations and are switched on in some MV/LV distribution substation at the same time. At that moment the current rise, reaching the peak value, is gained due to this phenomenon. This sudden current rise dispatching staff realize, making them confused, although the voltages of MV busbars in HV/MV substations are nearly the same. This occurrence has no influence on protection devices and consequently does not trigger circuit breakers of the feeders in HV/MV substations.

This paper describes the cause of additional non-transient circulation current due to different values of active and reactive power of HV/MV power transformers in HV/MV substations at the moment of switching on circuit breaker in the MV/LV substation. This additional current is superponed to load current.

Key words: additional circulation current, voltage drop

* *dragan.cvetinov@ods.rs, 021/4821-50**

1. UVOD

U radu je predstavljen opis i proračun stacionarne dodatne struje cirkulacije koja nastaje usled poprečne komponente pada napona u SN (srednjenaponskoj) mreži. Predstavljen je model dva SN izvoda koji se napajaju iz dve različite TS VN/SN kV/kV i koji se uključuju na istovremeno napajanje u distributivnoj transformatorskoj stanici u kojoj se nalazi rastavno mesto. To su TS 110/20/10 kV/kV "Novi Sad 5" i TS 110/35/20 kV "Novi Sad 7". TS 110/20 kV/kV "Novi Sad 5" se napaja sa dva 110 kV dalekovoda DV broj 1135 i DV broj 1136 sa TS 400/220/110kV Novi Sad 3. 110 kV postrojenje je sa dva dalekovodna polja i dva energetska transformatora. Ona je u sistemu daljinskog nadzora kontrole i upravljanja. Transformatorska stanica 110/20/10 kV Novi Sad 5

ima dva energetska transformatora ukupne nominalne snage 63 MVA. Broj kupaca koji se napajaju sa njenog konzuma je 54912. Na konzumu ove napojne trafostanice se nalazi i veliki broj osetljivih kupaca među najznačajnijim su Poliklinika, Urgentni centar, Klinika za ginekologiju i akušerstvo (porodilište), Klinika za stomatologiju, Magnetna rezonanca, Novosadski sajam.

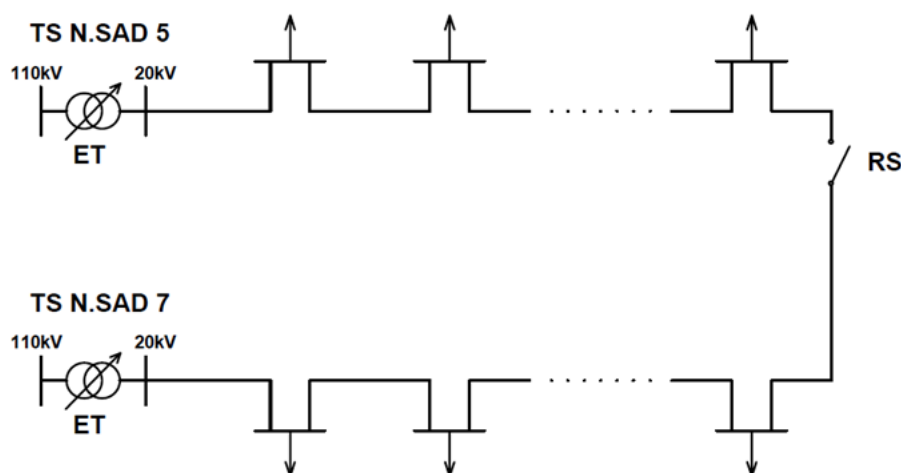
TS 110/20/10 kV Novi Sad 5 je većim delom sredjenaponskog konzuma povezana sa TS 110/35/20 kV Novi Sad 7 na čijem konzumu se nalazi 55654 korisnika. TS 110/35/20 kV "Novi Sad 7" je u sistemu daljinskog nadzora kontrole i upravljanja. TS se sastoji od dva energetska transformatora ukupne nominalne snage 63 MVA. Konzum Ogranka "ED Novi Sad" čini 310233 korisnika distributivnog sistema. Dve navedene napojne trafostanice snabdevaju električnom energijom 110566 kupaca električne energije, što čini 35% ukupnog broja kupaca na konzumu Ogranka "ED Novi Sad".

Rasterećenje energetskih transformatora, pre njihovog gašenja i rekonfiguracija DEES se vrši bez prekida u napajanju kupaca električne energije. Besprekidnost u isporuci električne energije je najvažniji segment našeg preduzeća kao subjekta koji na tržištu nudi svoju uslugu, u ovom slučaju prodaju električne energije.

Posebno važan segment pri rasterećenju energetskih transformatora jeste njihovo paralelovanje sa energetskim transformatorima sa drugih TS 110/x kV. Pre samog paralelovanja posebno je bitno voditi računa o naponima na sistemima sabirnica 20 kV u navedenim TS sa kojih polaze 20 kV izvodi preko kojih se vrši paralelovanje.

2. POJAVA NASTANKA DODATNE STRUJE CIRKULACIJE USLED POPREČNE KOMPONENTE PADA NAPONA

Pojava nastanka dodatne struje cirkulacije u SN mreži nakon zatvaranja rastavljača snage u dubini SN mreže u isto vreme izaziva neočekivanu situaciju za smenske dispečere u datom trenutku, obzirom da je bilo situacija kada je merena struja na početku paralelovanih izvoda iznosila 380 A. Primer obrađen u radu prikazuje slučaj paralelovanja i napajanja SN izvoda iz TS 110/20/10 kV "Novi Sad 5" i TS 110/35/20 kV "Novi Sad 7".



Slika 1 – Jednopolna šema SN mreže

$$S_{NT} = 31.5 \text{ MVA}, m_T = 110/21/10.5 \text{ kV/kV/kV}, R_T = 0.5\%, X_T = 10\%$$

2.1 Dijagrami skoka struje na izvodima

Na dijagramu na slici 2 prikazana su povećanja vrednosti struja u istoj fazi u trenutku uključenja u TS Jastrebačka nakon paralelovanja 20 kV izvoda Mala Privreda i 20 kV izvoda Rudnička.

Pre paralelovanja ova dva izvoda, opterećenje 20 kV izvoda Rudnička je bilo 56 A, a 20 kV izvoda Mala Privreda 99 A. Nakon paralelovanja ova dva 20 kV izvoda opterećenje na njima raste i na 20 kV izvodu Rudnička se povećava na 155 A, dok na 20 kV izvodu Mala Privreda iznosi 200 A. Iz vrednosti struja ova dva 20 kV izvoda zabeleženih na SCADA sistemu, zaključujemo da je struja cirkulacije u petlji dva energetska transformatora ET 110/20/10 kV broj 1 u TS 110/20/10 kV Novi Sad 5 i ET 110/20 kV broj 1 u TS 110/35/20 kV Novi Sad 7 iznosila oko 100 A. Naponi na sabirnicama ovih transformatora pre početka paralelovanja su bili

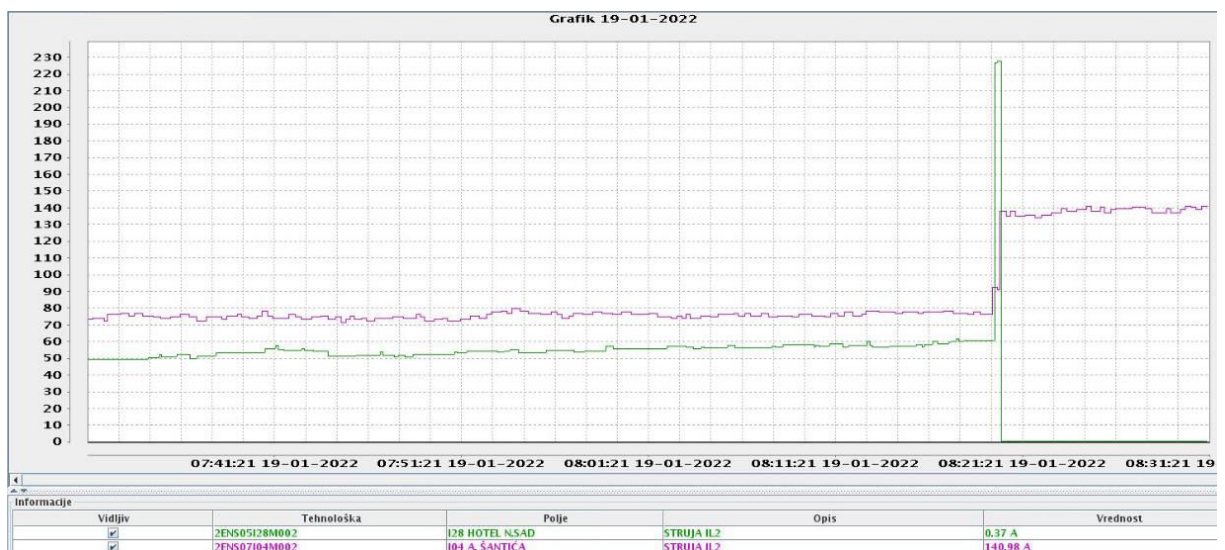
gotovo istih vrednosti. Iste vrednosti na 20 kV sabirnicama pomenutih transformatora za sva paralelovanja SN izvoda su regulisane tako što je sistem za automatsku regulaciju napona (ARN) prebačen na režim ručno i vrednosti su zadate slanjem daljinskih komandi gore/dole regulacionoj sklopki iz dispečerskog centra, sve dok naponi ne budu u granicama koje se dobiju vrednošću jednog položaja regulacije.



Slika 2 – Povećanja vrednosti struja paralelovanjem prvog para izvoda

Na dijagramu na slici 3 prikazana su povećanja vrednosti struja u istoj fazi u trenutku uključanja u TS Ognjena Price nakon paralelovanja 20 kV izvoda Hotel Novi Sad i 20 kV izvoda Aleksa Šantić ukupne dužine kablovskog voda 9962 m.

Pre paralelovanja ova dva izvoda, opterećenje 20 kV izvoda Hotel Novi Sad je bilo 60 A, a 20 kV izvoda Aleksa Šantić 80 A. Nakon paralelovanja ova dva 20 kV izvoda opterećenje na njima raste i na 20 kV izvodu Hotel Novi Sad se povećava na 226 A, dok na 20 kV izvodu Aleksa Šantić iznosi 138 A u stacionarnom stanju nakon isključenja 20 kV izvoda Hotel Novi Sad. Iz vrednosti struja ova dva 20 kV izvoda zabeleženih na SCADA sistemu, zaključujemo da je struja cirkulacije u petlji dva energetska transformatora ET 110/20/10 kV broj 1 u TS 110/20/10 kV Novi Sad 5 i ET 110/20 kV broj 3 u TS 110/35/20 kV Novi Sad 7 bila takva da je struja na 20 kV izvodu Hotel Novi Sad imala povećanje od 160 A (slika 3).



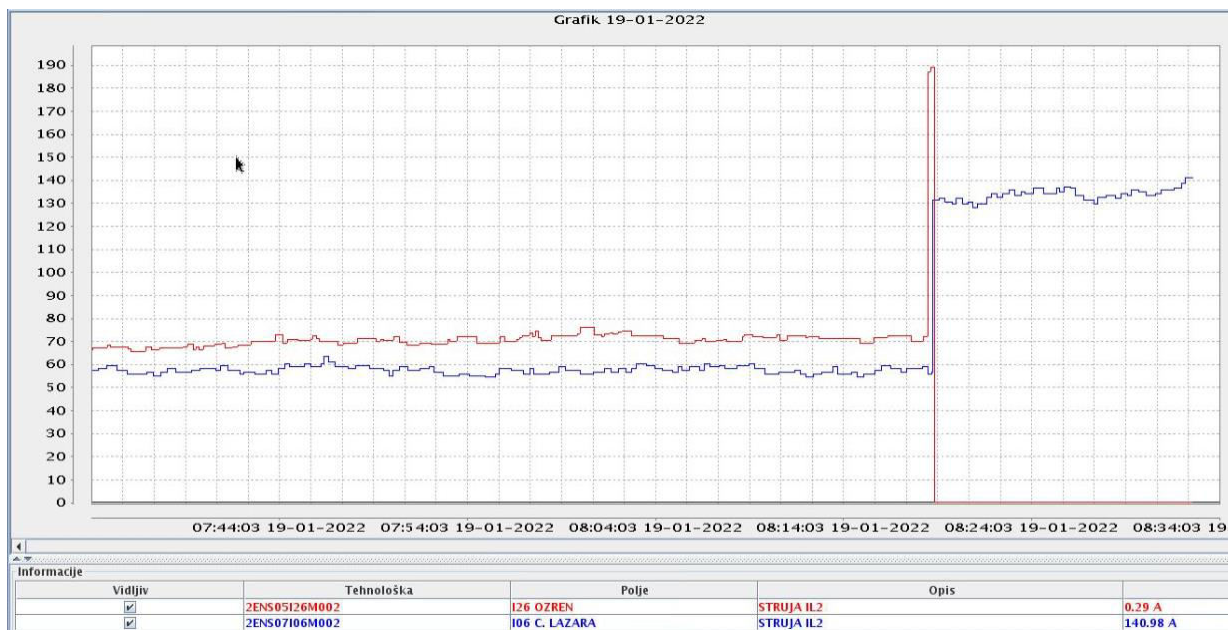
Slika 3 – Povećanja vrednosti struja paralelovanjem drugog para izvoda

Na dijagramu na slici 4 prikazana su povećanja vrednosti struja u istoj fazi u trenutku uključenja u TS Bem Lilike nakon paralelovanja 20 kV izvoda Ozren i 20 kV izvoda Cara Lazara.

Opterećenje 20 kV izvoda Ozren pre i nakon paralelovanja ova dva SN izvoda je iznosilo 72 A, odnosno 190 A, što znači da je struja koja protiče kroz ovaj izvod porasla za 118 A.

Opterećenje 20 kV izvoda Cara Lazara pre i nakon paralelovanja ova dva SN izvoda je iznosilo 58 A odnosno 132 A, što znači da je struja koja protiče kroz ovaj izvod porasla za 74 A.

Iz vrednosti struja ova dva 20 kV izvoda zabeleženih na SCADA sistemu, zaključujemo da je struja cirkulacije u petlji dva energetska transformatora ET 110/20/10 kV broj 1 u TS 110/20/10 kV Novi Sad 5 i ET 110/20 kV broj 3 u TS 110/35/20 kV Novi Sad 7 bila takva da je struja na 20 kV izvodu Ozren imala maksimalno povećanje od 118 A (slika 4).



Slika 4 – Povećanja vrednosti struja paralelovanjem trećeg para izvoda

Iz navedena tri primera paralelovanja 20 kV izvoda se vide situacije različitog povećanja struja na izvodima nakon paralelovanja u odnosu na vrednosti pre paralelovanja izvoda. Najveći zabeležen skok struje u toku ove rekonfiguracije SN mreže je iznosio 160 A.

2.1.1 Proračun dodatne struje

Proračun je izveden za slučaj najvećeg povećanja struje koji je prikazan na slici 3 (paralelovanje drugog para izvoda). Transformatori ET 110/20 kV/kV su identičnih parametara, slika 1, ali je jedan opterećen sa $P = 30$ MW i $Q = 12$ MVar, a drugi sa 83% opterećenja prvog. Naponi na sabirnicama 20 kV su praktično jednaki. Kablovski vodovi 20 kV su XHE 49 A ili XHP 48 A $3 \times 1 \times 150$ mm² ukupne dužine 9962 m i $r_k = 0.1$ Ω /km i $X_k = 0.05$ Ω /km. Stacionarna struja cirkulacije po modulu nastaje usled poprečne komponente pada napona na strani 20 kV kada se zatvori RS. Ova struja nastaje usled nejednakih opterećenja transformatora. Radni napon na sabirnicama 110 kV je 116 kV.

Linijaska vrednost poprečne komponente pada napona je:

$$\delta U = \delta U_1 - \delta U_2 = \frac{P * X_T - Q * R_T}{U_r} - \frac{0,83 * P * X_T - 0,83 * Q * R_T}{U_r}$$

$$\delta U = 0.17 * \frac{P * X_T - Q * R_T}{U_r}$$

$$X_T = \frac{X_T\%}{100} * \frac{U_N^2}{S_{nT}} = \frac{10}{100} * \frac{21^2}{31.5} = 1,40\Omega$$

$$R_T = \frac{R_T\%}{100} * \frac{U_N^2}{S_{nT}} = \frac{0.5}{100} * \frac{21^2}{31.5} = 0.07\Omega$$

$$U_T = 116 * \frac{21}{110} = 22.10 \text{ kV}$$

$$\delta U = \frac{0.17 * (30 * 1.4 - 12 * 0.07)}{22.1} * 10^3 = \frac{0.17 * (42 - 0.84)}{22.1} * 10^3 = 316.60 \text{ V}$$

Impedansa kola cirkulacije je:

$$\underline{Z} = 2 * \underline{Z}_T + 2 * \underline{Z}_K$$

$$|Z| = \sqrt{2^2 * (R_T + R_K)^2 + 2^2 * (X_T + X_K)^2} = \sqrt{2^2 * (1.12)^2 + 2^2 * (1.89)^2} = 4.33 \Omega$$

$$|I_c| = \frac{\delta U}{\sqrt{3} * |Z|} = \frac{316.6}{\sqrt{3} * 4.33} = 43.30 \text{ A}$$

Na vrednost izračunate struje se dodaje i dodatna struja cirkulacije usled uzdužne komponente pada napona koja u stvari predstavlja razliku napona (algebarsku razliku napona) i koja nije predmet proračuna u radu, a čija vrednost se kreće oko 1/2 struje cirkulacije nastale usled poprečne komponente. Takođe, treba uzeti u obzir i dodatnu stacionarnu struju cirkulacije u kolu nastalu usled fazne razlike napona na krajevima RS koja uvek postoji, različita je za određene izvode i čija razlika od nekoliko procenata (u odnosu na nominalnu vrednost) izaziva relativno veliko povećanje struje. Zbir svih struja predstavlja ukupnu vrednost povećanja.

Ako bi na izračunatu struju (sa radnom strujom) dodali i struju usled uzdužne komponente pada napona na 20 kV izvodu Aleksa Šantić bi dobili vrednost od oko 140 A. Ova vrednost se svakako razlikuje od merene vrednosti na početku ovog izvoda u trenutku paralelovanja, a koja iznosi 226 A. Razlika ove dve vrednosti struje od 86 A, predstavlja komponentu struje koja je posledica fazne razlike napona na krajevima rastavljača snage u TS u kojoj se vrši paralelovanje, a koja je mesto sučeljavanja ova dva izvoda. Vrednost struje koja je posledica faznih razlika napona na krajevima izvoda koji se paraleluju, nakon paralelovanja generisaće struju koja će po intenzitetu biti ista u oba izvoda, ali će po smeru biti suprotna, odnosno na jednom izvodu će ukupnu struju povećati, dok će na drugom smanjiti. Da bi detaljnije proračunali ovu struju neophodno je izvršiti merenje napona i struja u tačkama sučeljavanja izvoda. U ovom radu navedeno merenje nije urađeno, što može biti predmet razmišljanja i analize u nekom budućem radu. U toku rekonfiguracije DEES naponi na sabirnicama sa kojih polaze izvodi koji se paraleluju, se neprekidno prate u toku rekonfiguracije, kao što je navedeno u tekstu ranije. Praćenje faznog stava napona u DEES ne postoji niti se prenosi u dispečerski centar. Podatak o faznom stavu napona i struja možemo dobiti samo u slučajevima prorade mikroprocesorske zaštite elemenata u DEES, u trenutku kvara analizom snimka kvara.

U svim navedenim slučajevima paralelovanja sredjenaponskih izvoda prilikom rekonfiguracije DEES se vrši tako što se uključi sklopka rastavljač na normalno rastavnom mestu sučeljavanja ova dva izvoda u DEES. U ovoj situaciji, kratko postoji paralelan rad dva ET 110/x kV preko dva izvoda u DEES. Kao što smo videli u radu ove struje se povećavaju, ali su ispod 300 A. Prva zaštita koja bi mogla reagovati je termička zaštita na početku izvoda i njeno podešenje je 300 A, 15 min. Paralelan rad se nikada ne drži vremenski toliko dugo, da bi termička zaštita isključila izvod. Nakon što se izvodi paraleluju, isključuje se prekidač na početku izvoda (sa dijagarama se vidi da struja na tom izvodu pada na nulu) sa sabirnica koje napaja ET 110/ x kV koji rasterećujemo i koji po završetku kompletne rekonfiguracije DEES isključujemo. Komanda se vrši daljinski iz dispečerskog centra ili ručno na trafostanici ukoliko TS 110/ x kV nije u sistemu SDU. Dešava se da struje cirkulacije budu tolike da ukupna struja kroz prekidač u trenutku paralelovanja, u situacijama kada je rekonfiguracija DEES takva da se na postojeći izvod dodaju još dva SN izvoda, bude veća i od 300 A. Ni u tim situacijama ne dolazi do reagovanja termičke zaštite, jer je vremensko zatezanje zaštite više nego dovoljno da se raskine paralelan rad daljinskom

komadom isključenja na prekidač na početku izvoda koji se rekonfiguriše. Ostale zaštite koje su podešene i štite izvod od svih vrsta kvarova, kao i sve druge zaštite u TS 110/x kV takođe neće reagovati, niti reaguju u bilo kojoj situaciji operativne rekonfiguracije DEES.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu podataka dobijenih sa SCADA sistema i izvršenog proračuna dobijaju se vrednosti povećanja struje (skok struje) na SN izvodima u trenutku uključenja rastavljača snage u njihovo električno kolo. Vrednosti se razlikuju jer deo tih vrednosti nastaje usled opisane poprečne komponente pada napona u kolu (delu SN mreže u kojem se izvodi nalaze), a i zbog drugih komponenata koje nisu razmatrane. Sama pojava ne izaziva proradu zaštite i samim tim isključenje izvoda.

LITERATURA

- [1] A.J.Rjabkov, Električne mreže i dalekovodi, "Nakladni zavod Hrvatske", Zagreb, 1949, strane 88 do 92;
- [2] A.A.Glazunov, A.J.Rjabkov, F.P.Laškov, "Proračun električnih mreža energetske sistema", Moskva, 1935;
- [3] G. Muždeka, N. Rajaković, "Zbirka rešenih zadataka iz prenosa električne energije", "Naučna knjiga", Beograd, 1982.