

Proračun snaga trofaznog kratkog spoja u aktuelnoj i perspektivno sagledanoj distributivnoj mreži ED Vranje

Petar Kovačević¹, Maja Marković²

¹Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Koste Glavinića 8a,
11000 Beograd, Srbija

petar.kovacevic@ieent.org

²Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Koste Glavinića 8a,
11000 Beograd, Srbija

maja.markovic@ieent.org

Kratak sadržaj: U radu je prikazana kraća teorijska postavka za proračun snaga trofaznih kratkih spojeva. Izračunate su vrednosti snaga trofaznih kratkih spojeva na sabirnicama 35 kV i 10 kV u mreži ED Vranje za aktuelno stanje i za perspektivnu mrežu u 2030. godini koja je razrađena u okviru Studije dugoročnog razvoja ED Vranje. Izračunate snage kratkih spojeva su komentarisane u odnosu na dozvoljene vrednosti za pojedine naponske nivoe kao i sa stanovišta ugrožavanja opreme.

Ključne reči: trofazni kratki spoj, snaga kratkog spoja, ED Vranje, distributivna mreža, perspektivna mreža

1. Uvod

Podaci o vrednostima snage trofaznog kratkog spoja (u daljem tekstu kad se napiše snaga kratkog spoja ili snaga kvara misli se na snagu trofaznog kratkog spoja) na karakterističnim mestima u distributivnoj mreži predstavljaju vrlo značajan pokazatelj o samoj mreži. Ako se uzmu u obzir uklopno stanje mreže, planirani investicioni zahvati i dugoročni planovi razvoja mreže, izračunate snage kratkog spoja na karakterističnim mestima u mreži predstavljaju veoma kvalitetan skup podataka koji može biti koristan kako za eksploataciju mreže tako i za utvrđivanje kriterijuma razvoja mreže, priključenja novih proizvođača, potrošača, itd.

Što se tiče karakterističnih mesta u distributivnim mrežama gde se analiziraju snage kratkih spojeva, to su najčešće sabirnice u trafostanicama ili neke tačke u mreži određene specifičnim zahtevima. U ovom radu to su sabirnice 35 i 10 kV u trafostanicama prenosnog odnosa 110/X/(y) kV, i 35/10 kV. Vrednosti snage trofaznog kratkog spoja su tipizirane, i za naponske nivoe 10 kV i 35 kV iznose 250 MVA i 750 MVA [1]. One praktično predstavljaju maksimalnu snagu isključenja prekidača. Analizi dobijenih rezultata snage kratkog spoja može se pristupiti na više načina. Ukoliko su snage kratkog spoja velike, jasno je da to više opterećuje prekidačku opremu, ne dozvoljava pojedina uklopna stanja u mreži ili jednostavno ukoliko prelaze dozvoljene vrednosti mreža ne sme tako funkcionisati. Međutim, interesantno je analizirati i izvoditi zaključke za one mreže ili njene delove gde su snage kratkih spojeva male (često se kaže „slaba mreža“). Male vrednosti snaga kratkih spojeva u nekim delovima mreže dovode do zaključka da stanje u mreži nije povoljno npr. da su napojni vodovi veoma dugački, poprečni preseci provodnika vodova mali, itd.

Sagledavanje promena struja tj. snaga kratkih spojeva sa aspekta razvoja mreže je takođe bitno. Kao podaci ulazni u ovakvim analizama koriste se parametri elemenata mreže koji su planirani u budućnosti.

2. Teorijska postavka proračuna snage trofaznog kratkog spoja

Snaga trofaznog kratkog spoja na nekom mestu u EES je određena izrazom:

$$S_{k3} = \frac{c U_n^2}{|Z_{ek}|} = \frac{c U_n^2}{\sqrt{R_{ek}^2 + X_{ek}^2}} \quad (1)$$

Gde su:

c - naponski faktor;

U_n - napon na mestu kvara pre kvara;

R_{ek} - vrednost ekvivalentne aktivne otpornosti petlje kvara;

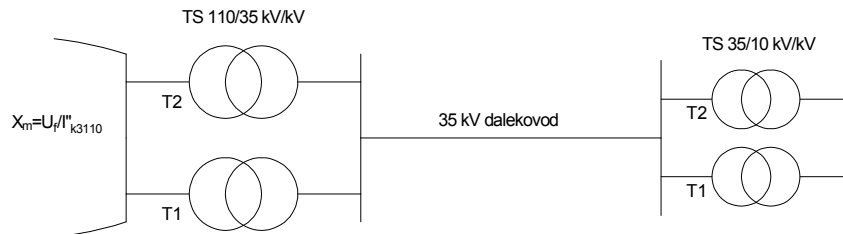
X_{ek} - vrednost ekvivalentne reaktanse petlje kvara.

Vrlo često se u proračunima snage kratkog spoja zanemaruje aktivna otpornost. Na taj način se ide na stranu sigurnosti proračuna. Kako raspolažemo pouzdanim podacima o elementima mreže ED Vranje, a želeći da što tačnije izračunamo vrednosti snage kratkog spoja, u radu nije zanemaren uticaj aktivne otpornosti. Naponski faktor c uvažava eventualne varijacije napona sa vremenom i lokacijom mesta kvara, promene položaja regulacionih otecepa transformatora, itd. Izračunava se po formuli:

$$c \leq \frac{U_m}{U_n} . \quad (2)$$

U formuli (2) U_m je maksimalno dozvoljeni napon za određeni naponski nivo, a U_n je nazivni napon mreže. Konkretni proračuni su izvedeni sa maksimalnom vrednošću naponskog faktora c . Za 10 kV naponski nivo $c=1.1$ [2]. Za 35 kV nivo pretpostavljeno je da se kvar desio pri naponu od 38 kV, što predstavlja maksimalni napon koji sme da se javi u 35 kV mreži. Ovo iz razloga što proizvod $c \cdot U_n$ ne sme da pređe maksimalno dozvoljeni napon za određeni stepen izolacije, a u slučaju mreže nazivnog napona 35 kV to iznosi 38 kV.

Principijelno napajanje trafostanica u distributivnim sredjenaponskim mrežama izgleda kao na slici 1.



Slika 1: Principijelni izgled napajanja distributivnih trafostanica

Uz male varijacije to je ujedno najčešći slučaj napajanja i u mreži ED Vranje. Uglavnom postoje i rezervni 35 kV dalekovodi, ali kako su oni isključeni i ne utiču na proračun nisu ni prikazani. Takođe je razmatran slučaj najčešćeg uklopnog stanja u mreži. To znači da periodi kada u TS 110/X kV/kV ili TS 35/10 kV/kV radi samo jedan transformator npr. zbog remonta, ili kada je iz nekog razloga došlo do prinudne promene pravca napajanja trafostanice nisu uzimani u obzir.

Ekvivalentna impedansa sistema prikazanog na slici 1 data je izrazom:

$$\underline{Z}_{ek} = jX_m + \underline{Z}_{TS110/35} + \underline{Z}_{DV35} + \underline{Z}_{TS35/10} . \quad (3)$$

Gde su:

\underline{Z}_{ek} - ekvivalentna impedansa petlje kvara,

X_m - ekvivalentna reaktansa 110 kV mreže određena strujom kratkog spoja,

$\underline{Z}_{TS110/35}$ - ekvivalentna impedansa transformatora u TS 110/35 kV,

\underline{Z}_{DV35} - impedansa napojnog dalekovoda 35 kV i

$\underline{Z}_{TS35/10}$ - ekvivalentna impedansa transformatora u TS 35/10 kV.

Ekvivalentna mreža 110 kV je modelovana preko reaktanse koja se računa po formuli:

$$X_m = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}''} \quad (4)$$

Gde su:

I_{k3}'' - početna simetrična struja trofaznog kratkog spoja na sabirnicama 110 kV,

U_n - nazivni napon mreže.

Kako se kod proračuna kratkih spojeva zanemaruju otočni parametri, elementi sistema se modeluju preko rednih parametara. Parametri transformatora se određuju iz formula:

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_{1n}^2}{100 \cdot S_n} \quad (5)$$

$$R_T = P_{Cun} \cdot \left(\frac{U_{1n}}{S_n} \right)^2 \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (7)$$

Gde su:

Z_T - impedansa redne grane transformatora (Ω),

R_T - aktivna otpornost transformatora (Ω),

X_T - reaktansa transformatora (Ω),

U_{1n} - naznačeni napon primara transformatora (kV),

u_k - relativna vrednost napona kratkog spoja (%),

S_n - naznačena snaga transformatora (MVA) i

P_{Cun} - gubici u bakru transformatora (kW).

Redni parametri ekvivalentne šeme dalekovoda se jednostavno izračunavaju na osnovu dužine dalekovoda l (km), njegove podužne aktivne otpornosti r (Ω/km) i podužne reaktanse x (Ω/km):

$$\underline{Z} = (r + jx) \cdot l \quad (8)$$

3. Proračun snaga trofaznog kratkog spoja za aktuelno stanje u mreži ED Vranje

Matematički model mreže ED Vranje završen je pred kraj 2008. godine. Kako od tada mreža nije pretrpela izmene na 35 kV vodovima a takođe do danas nije bilo zamena transformatora, ovaj model će predstavljati aktuelno stanje. U 10 kV mreži je došlo do izmena ali te izmene ne utiču na rezultate, jer snage kratkih spojeva računamo na sabirnicama 10 kV.

Uticaj 110 kV mreže kojom se područje ED Vranje napaja iz pravca HE Vrla 3 modelovan je preko struje kratkog spoja na sabirnicama 110 kV u TS 110/35 kV Vranje. Preciznije, vrednost struje trolejnog kratkog spoja na pomenutim sabirnicama je uzeta iz tehničke dokumentacije EMS-a [3] i iznosi $I_{k3}=4.3$ kA. Interesantno je napomenuti da se u preliminarnim proračunima, kada podatak o struji I_{k3} na 110 kV sabirnicama nije bio poznat, pretpostavilo da je 110 kV mreža beskonačne snage tj. da se njen uticaj može zanemariti. Iako je stanje u mreži navodilo da je ovo vrlo diskutabilna pretpostavka, prvi proračuni su odrađeni na taj način. Kada je kasnije modelovana i mreža 110 kV preko prethodno pomenute impedanse, vrednosti snaga kratkih spojeva na nekim sabirnicama su se prilično razlikovale. Na 10 kV sabirnicama u TS 35/10 razlike nisu bile osetne. Razlike su mogle da se uoče na sabirnicama 35 kV, takođe u TS 35/10 kV. Napomene radi, te razlike su išle čak i do 240 MVA za kratak spoj na sabirnicama 35 kV u TS 35/10 kV Vranje 2. Ovo navodi na zaključak da se pri zanemarivanju uticaja nekih elemenata na snagu kratkog spoja mora dobro poznavati koliki je taj uticaj. Mreža 110 kV od TS 110/35 kV Vranje nastavlja dalje i napaja TS 110/10 kV Ristovac, TS 110/35/10 kV Bujanovac i TS 110/10 kV Preševo. Kako za ove tri trafostanice ne postoji podatak o vrednosti struje kratkog spoja na njihovim 110 kV sabirnicama, ta mreža je modelovana na osnovu parametara 110 kV dalekovoda a kao napojna tačka za ove trafostanice uzete su sabirnice 110 kV u TS 110/35 kV Vranje.

U celom području ED Vranje postoji jedna trafostanica prenosnog odnosa 110/35 kV Vranje i jedna trafostanica prenosnog odnosa 110/35/10 kV Bujanovac. Snaga trofaznog kratkog spoja na sabirnicama 35 kV u TS 110/35 kV Vranje iznosi 387.4 MVA, a u TS 110/35/10 kV Bujanovac 89.4 MVA. Obe snage su daleko od dozvoljene granice za ovaj naponski nivo od 750 MVA. Mala snaga kvara na sabirnicama 35 kV u TS 110/35/10 kV Bujanovac je posledica dugačkih vodova 110 kV do ove trafostanice.

Kako su autori imali detaljan uvid u stanje mreže i pre ovih proračuna, očekivalo se da su vrednosti snage kvara na sabirnicama 10 kV manje od maksimalno dozvoljene vrednosti (250 MVA). Proračuni su to i potvrdili. U tabeli 1 su date vrednosti snaga trofaznih kratkih spojeva na sabirnicama 10 kV u ED Vranje. Kao što se vidi vrednosti snaga kratkih spojeva se ne približavaju granici od 250 MVA. Nešto veće vrednosti su u samom gradu Vranju. To se odnosi na prvih pet trafostanica u tabeli 1. One su najbliže napojnoj trafostanici TS 110/35 kV Vranje pa je to i očekivano. Najveća

vrednost snage kvara je u TS 35/10 kV PKV i iznosi 180.9 MVA. Pored relativno male dužine napojnog voda 95/15-Al/Č od 900 m na ovu vrednost utiču i tri transformatora snage 8 MVA, koja rade u paraleli u ovoj trafostanici. Kako je praksa da se u ovoj trafostanici često isključuje jedan transformator, snaga kratkog spoja kada dva transformatora rade u paraleli na sabirnicama 10 kV je 146.7 MVA.

Tabela 1. Vrednosti snaga trofaznih kratkih spojeva na sabirnicama 10 kV u 2010. godini na području ED Vranje

Naziv trafostanice	Snaga kratkog spoja na 10 kV sabirnicama [MVA]
TS 35/10 kV Vranje 1	145.4
TS 35/10 kV Vranje 2	157.8
TS 35/10 kV Vranje 3	110.7
TS 35/10 kV PKV	180.9
TS 35/10 kV Senjak	150.3
TS 35/10 kV Vranjska Banja	99.2
TS 35/10 kV Bujanovac	52.6
TS 35/10 kV Svetlost	53.2
TS 35/10 kV Trgovište	45.5
TS 35/10 kV Vladičin Han	66.9
TS 35/10 kV Vlase	27.7
TS 35/10 kV Sloga	59.9
TS 110/35/10 kV Bujanovac	76.6
TS 110/10 kV Ristovac	91.3
TS 110/10 kV Preševo	152.4

Snaga kvara na sabirnicama u TS 35/10 kV Vranjska Banja je relativno visoka u odnosu na ostale trafostanice, i na njenu vrednost utiče blizina napojnoj trafostanici TS 110/35 kV Vranje. Što se tiče trafostanica na području Bujanovca, snaga kvara u TS 110/35/10 kV Bujanovac je najveća jer je ona napojna trafostanica za ovo područje. Na sabirnicama TS 35/10 kV Bujanovac dobijena vrednost je veoma mala. To se i očekivalo jer se ova trafostanica napaja dalekovodom sa tri različite deonice 95/15-Al/Č dužine 1.2 km, 50/8-Al/Č dužine 0.8 km i deonice preseka Cu 35 mm² dužine 1 km. Impedansa ovog dalekovoda najviše utiče na ovako niske vrednosti snage kratkog spoja. Vrednosti snage kvara u trafostanici 35/10 kV Svetlost diktira njeno napajanje iz TS 110/35/10 kV Bujanovac i ona je relativno niska. Iako se TS 35/10 kV Trgovište napaja dalekovodom dužine od oko 25 km iz TS 110/35 kV Vranje, činjenica da je taj dalekovod poprečnog preseka 150/25-Al/Č i namenjen da radi pod 110 kV naponom na neki način je kompenzovalo da snaga kvara na sabirnicama u ovoj trafostanici ne bude daleko najmanja obzirom da je dužina ovog dalekovoda oko 25.5 km. Dobijene vrednosti za trafostanice na području Vladičinog Hana TS 35/10 kV Vladičin Han i Sloga, praktično određuje njihova

blizina hidroelektranama Vrla 3 i Vrla 4. Što se tiče TS 35/10 kV Vlase, njeno napajanje dalekovodom 95/15-Al/Č u dužini od oko 21.5 km do TS 35/10 kV Sloga i još dodatnih 12 km dalekovoda do HE Vrla 3 uslovljava da ova trafostanica ima daleko najmanju vrednost snage trofaznog kratkog spoja. Na ovako malu vrednost utiče i snaga transformatora od 2.5 MVA u ovoj trafostanici.

Kako se očekivalo, snage trofaznog kratkog spoja na sabirnicama 10 kV u trafostanicama 110/10 kV su relativno velike. TS 110/10 kV Ristovac se napaja dalekovodom 110 kV 150/25-Al/Č iz pravca TS 110/35 kV Vranje, i dalje taj isti dalekovod preko TS 110/35/10 kV Bujanovac napaja TS 110/10 kV Preševo. Dužina ovog dalekovoda do Ristovca iznosi oko 10 km a do Preševa ukupno 40 km. Interesantno je da je snaga trofaznog kratkog spoja u TS 110/10 Preševo veća za 61.1 MVA nego u TS 110/10 Ristovac iako je mnogo dalje od napojne tačke (sabirnice 110 kV u trafostanici 110/35 kV Vranje). Razlog je transformator ($u_k=10.46\%$, $S_n=10$ MVA) u TS 110/10 kV Ristovac čija je impedansa za oko 43% veća od impedanse transformatora u TS 110/10 kV Preševo ($u_k=14.37\%$, $S_n=31.5$ MVA).

4. Proračun snaga trofaznog kratkog spoja u perspektivno sagledanoj mreži ED Vranje u 2030. godini

Kao krajnji rezultat studije [4] predložena su rešenja u konfiguraciji mreže za 2030. godinu. Važno je napomenuti da su u studiji data detaljna rešenja za 35 kV i 110 kV mrežu iako se u naslovu studije ne pominju ovi naponski nivoi. Očekivana izgradnja novih trafostanica, pogotovo naponskog nivoa 400/110 kV i 110/X/(y) kV, povećanje snage transformatora, povećanje prenosne moći dalekovoda svakako će uticati na snagu trofaznog kratkog spoja i mreži. Na samom početku proračuna otvoreno je pitanje modelovanja 110 kV mreže. Naravno da je pristup morao da bude isti kao i kod proračuna snaga trofaznih kratkih spojeva u mreži 2010. Taj pristup je nametnuo pitanje kolike vrednosti struja kratkih spojeva na sabirnicama 110 kV uzeti za 2030. godinu kako bi se modelovao uticaj 110 kV mreže. Kako u petogodišnjem planu razvoja prenosne mreže do 2014. JP EMS [5], postoje vrednosti struja kratkih spojeva u 2014. godini, taj podatak je autorima bio od velikog značaja za dalju analizu. Razvoj distributivne i prenosne mreže u području ED Vranje će do 2014. godine zaista biti dinamičan, pa je učinjena pretpostavka da nakon te godine neće biti izgradnje tako značajnih objekata kao do 2014. god. Naime, izgradnja TS 110/35/10 kV Vranje 2 je pri kraju, ulazak u pogon TS 110/35/10 kV Vladičin Han se nadzire, a sa velikom verovatnoćom se očekuje izgradnja objekata TS 400/110 kV Vranje 4 do 2014. Iz ovog razloga će u prvom koraku biti načinjen jedan konzervativniji pristup i pretpostaviće se da se struje kratkih spojeva na 110 kV sabirnicama neće menjati do 2030. Zatim će se, u drugom koraku izvršiti variranje vrednosti ovih struja i sagledati njihov potencijalni rast na dobijene rezultate.

Vrednosti struja trofaznih kratkih spojeva na sabirnicama 110 kV 2014. godine [5], koje se korišćene za proračune su: TS 110/35 kV Vranje, $I_{k3}=4.3$ kA, TS 110/35/10 kV Vranje 2, $I_{k3}=8.7$ kA, TS 110/35/10 kV Vladičin Han, $I_{k3}=4.7$ kA i TS 400/110 kV Vranje 4, $I_{k3}=10.6$ kA.

Vrednosti snaga trofaznih kratkih spojeva u 2030. godini na sabirnicama 35 kV u trafostanicama TS 110/35 kV Vranje, TS 110/35/10 kV Vranje 2, TS 110/35/10 kV Bujanovac, TS 110/35/10 kV Vladičin Han su date u tabeli 2. Kao što se vidi sve vrednosti su manje od dozvoljene maksimalne snage trofaznog kratkog spoja na sabirnicama 35 kV koja iznosi 750 MVA. Najveća vrednost je, što je i očekivano, na sabirnicama 35 kV u TS 110/35 kV Vranje i ona je veća za 165.9 MVA u odnosu na 2010. godinu. Što se tiče vrednosti za TS 110/35/10 kV Vranje 2 i Vladičin Han, one su manje od dozvoljene za 35 kV nivo. Vrednost snage kvara na sabirnicama 35 kV u TS 110/35/10 kV Bujanovac je za 162.2 MVA veća u 2030. nego u 2010. godini. Porast snage kvara na sabirnicama 35 kV neki način prikazuje efekte izgradnje trafostanice TS 400/110 kV Vranje 4, i koliki će njen uticaj biti na porast snaga trofaznih kratkih spojeva. Pored ovoga predložena promena snage transformatora [4] u TS 110/35/10 kV Bujanovac sa 31.5/31.5/10.5 MVA na 40/26.67/26.67 MVA je dodatno uticala na vrednost snage kvara u ovoj trafostanici.

Što se tiče proračuna za sabirnice 10 kV ove vrednosti su date u tabeli 3. Odmah se može uočiti da su sve vrednosti snaga trofaznih kratkih spojeva na sabirnicama 10 kV manje od dozvoljene granice od 250 MVA. U trafostanicama u gradu Vranju značajnije promene u izračunatim vrednostima u odnosu na 2010. godinu su u TS 35/10 kV PKV i TS 35/10 kV Vranje 3.

Tabela 2. Vrednosti snaga trofaznih kratkih spojeva na sabirnicama 35 kV u 2030. godini na području ED Vranje

Naziv trafostanice	Snaga kratkog spoja na 35 kV sabirnicama [MVA]
TS 110/35 kV Vranje 1	358.4
TS 110/35/10 kV Vranje 2	416.5
TS 110/35/10 kV Vladičin Han	166
TS 110/35/10 kV Bujanovac	200.2

Uticaj predloženog rešenja, [4] da u TS 35/10 kV PKV ostanu dva transformatora snage 8 MVA u paralelnom radu u 2030. u odnosu na tri koja su radila u 2010. godini je takav da je vrednost snage trofaznog kratkog spoja opadne za 23.4 MVA. Vrednosti snage kratkog spoja na sabirnicama 10 kV u 2030. godini u TS 35/10 kV Vranje 3 je za 40 MVA veća nego u 2010. godini, a najveći razlog za to je što je u [4] predloženo da se njeno napajanje u budućnosti prebaci sa TS 110/35 kV Vranje na TS 110/35/10 kV Vranje 2. Time će se smanjiti dužina napojnog voda za oko 7.5 km. Pored ovoga i izgradnja TS 400/110 kV Vranje 4 tj. TS 110/35/10 kV Vranje 2 utiču na ovo povećanje. U TS 35/10 kV Vranjska Banja takođe dolazi do porasta snage kvara od 36.3 MVA, što je rezultat predloženih povećanja snage

transformatora sa 4MVA i 8 MVA na 2x12.5 MVA, ali je i dalje daleko od dozvoljene granice. Značajno je uvideti i razliku između vrednosti prilikom kvara na sabirnicama 10 kV u TS 35/10 kV Bujanovac. Ta razlika iznosi 37.4 MVA i posledica je kako predložene zamene napojnog voda 95/15-Al/Č dužine 1.2 km, 50/8-Al/Č dužine 0.8 km i deonice preseka Cu 35 mm² dužine 1 km, kablovskim vodom XHE-A 3x1x240 mm² dužine 3 km, tako i predloženim [4] zamenama transformatora sa 2x4 MVA na 2x8 MVA. Razlika vrednosti dobijenih za TS 35/10 kV Svetlost u 2010. i 2030. godini iznosi 30.8 MVA a posledica je predložene zamene transformatora sa 2x4 MVA na 2x8 MVA. Efekat porasta snage trofaznog kratkog spoja je i posledica predloženih promena u snazi napojnog transformatora u TS 110/35/10 kV Bujanovac sa 31.5/31.5/10.5 MVA na 40/26.67/26.67 MVA.

Povezivanje TS 110/35/10 Vladičin Han na 110 kV napon u vrlo bliskoj budućnosti uticaće na vrednosti snage kvara, ali te vrednosti će i dalje biti daleko manje od dozvoljenih. Vrednosti snage trofaznog kratkog spoja na sabirnicama 10 kV u TS 35/10 Vladičin Han u 2030. i u 2010. godini se razlikuju za 24.2 MVA. Prebacivanje napajanja ove trafostanice na buduću TS 110/35/10 kV Vladičin Han praktično smanjuje dužinu dalekovoda 35 kV kojom se TS 35/10 kV Vladičin Han napajala iz pravca HE Vrla 3 i HE Vrla 4 za oko 11.6 km.

Ne tako veliko povećanje u 2030. godini od 11.2 MVA javlja se u TS 35/10 kV Vlase i posledica je predloženog rešenja u [4], da se snaga transformatora poveća sa sadašnjih 2.5 MVA na 4 MVA do 2030. godine, ali uticaj na ovo povećanje ima takođe i to što će se napajanje ove trafostanice obavljati takođe preko TS 110/35/10 kV Vladičin Han. Na sabirnicama 10 kV buduće trafostanice 35/10 kV Vladičin Han 2, 2x4 MVA vrednost snage trofaznog kratkog spoja je značajno manja od dozvoljene i iznosi 70.5 MVA.

Najznačajniji objekat koji će se izgraditi na ovom području je sigurno TS 400/110 kV Vranje 4. Uticaj ove trafostanice na promene snage kratkog spoja se ogleda u povećanju od čak 110.2 MVA na sabirnicama 10 kV u TS 110/35/10 kV Bujanovac u 2030. u odnosu na 2010. godinu. Njena izgradnja je dovela do značajnog povećanja snage kvara i na sabirnicama 10 kV u Ristovcu u iznosu od 57.1 MVA. Naravno da su i predložena povećanja snage transformatora [4] sa 10 MVA na 16 MVA takođe doprinela ovom efektu. Nešto je manji uticaj izgradnja ove trafostanice imao na snagu trofaznog kratkog spoja na sabirnicama 10 kV u TS 110/10 kV Preševo, i ogleda se u povećanju snage kvara od 16.1 MVA.

Tabela 3. Vrednosti snaga trofaznih kratkih spojeva na sabirnicama 10 kV u 2030. godini na području ED Vranje

Naziv trafostanice	Snaga kratkog spoja na 10 kV sabirnicama [MVA]
TS 35/10 kV Vranje 1	141.3
TS 35/10 kV Vranje 2	157.5
TS 35/10 kV Vranje 3	150.7
TS 35/10 kV PKV	157.6
TS 35/10 kV Vranjska Banja	135.5
TS 35/10 kV Trgovište	57.2
TS 35/10 kV Bujanovac	90
TS 35/10 kV Svetlost	84.1
TS 35/10 kV Vlase	38.9
TS 35/10 kV Vladičin Han	91.1
TS 35/10 kV Vladičin Han 2	70.5
TS 110/35/10 kV Vranje 2	150.7
TS 110/35/10 kV Vladičin Han	168.3
TS 110/35/10 kV Bujanovac	186.8
TS 110/10 kV Senjak	208.4
TS 110/10 kV Ristovac	148.4
TS 110/10 kV Preševo	168.5

Predloženo rešenje u [4] da napajanje trafostanice TS 35/10 kV Senjak u perspektivi sa 35 kV pređe na 110 kV naponski nivo i naravno izgradnja TS 400/110 kV Vranje 4, sa koje bi se TS 110/10 kV Senjak napajala, izazvalo je povećanje snage kvara od 58.1 MVA. Ujedno kvar na ovim sabirnicama je najbliži dozvoljenoj granici od 250 MVA, što je i očekivano jer je najbliža izvoru napajanja - TS 400/110 kV Vranje 4.

Prethodno pomenuto variranje struja kratkih spojeva koje su prognozirane u [5] je izvršeno i to za trafostanice čije su izračunate vrednosti snaga trofaznog kratkog spoja najbliže granici od 250 MVA (jer su one najugroženije). Autori su smatrali da se stabilnost rešenja mora proveriti jer je pretpostavljeno da se struje kvara iz 2014. godine na sabirnicama 110 kV, pomoću kojih se modelovala mreža 110 kV, neće menjati do 2030. Zaključak koji se nametnuo nakon variranja vrednosti struja kvara je da su rešenja vrlo stabilna. Praktično, povećanje struje kvara na sabirnicama TS 400/110 kV Vranje 4 za 50% nije značajno povećalo snage kratkih spojeva na 10 kV sabirnicama. Recimo samo da je na sabirnicama TS 110/10 kV Senjak ovo povećanje izazvalo porast snage kvara za 3% (sa 208.4 MVA na 215 MVA). Vrednosti na ostalim sabirnicama 10 kV su takođe nakon variranja ostale manje od 250 MVA i nisu značajno povećane. Slučaj sa kvarom u TS

110/10 kV Senjak je ovde naveden jer je dobijena vrednost snage kvara na sabirnicama 10 kV u ovoj trafostanici bila najbliža granici od 250 MVA.

Sličan zaključak se može izvesti i za snage kratkih spojeva na 35 kV sabirnicama. Isto povećanje struje kratkog spoja na 110 kV nivou za 50% dovelo je do ne tako značajnih povećanja snaga kvara na sabirnicama 35 kV. U TS 110/35 kV Vranje za 15.5%, u TS 110/35/10 Vranje 2 za 8.4%, u TS 110/35/10 kV Bujanovac za 21.2% a u TS 110/35/10 kV Vladičin Han za 6%, i nijedna vrednost nije veća od maksimalne.

5. Zaključak

Ovaj rad je nastao kao odgovor na pitanje, kako su na snage trofaznih kratkih spojeva uticala rešenja predložena u perspektivno sagledanoj distributivnoj mreži na području ED Vranje. Kako će velika investiciona aktivnost koja je u toku, i koja se očekuje u na području ED Vranje, uticati na vrednosti snaga kvara?

Prvo je sagledavano aktuelno stanje i izračunate du vrednosti snaga trofaznih kratkih spojeva na svim sabirnicama 35 kV u TS 110/35/10 kV i TS 110/35 kV. Dat je komentar za dobijene vrednosti i ukratko obrazložen razlog za veličinu snage kvara. Dobijene snage su manje od dozvoljene maksimalne vrednosti od 750 MVA za ovaj naponski nivo. Zatim su izračunate vrednosti snage trofaznog kratkog spoja na 10 kV sabirnicama u svim TS 110/X/(y) kV i TS 35/10 kV. Nijedna od dobijenih vrednosti nije značajno blizu gornje granice od 250 MVA, što su autori i očekivali. Nakon ovoga izračunate su vrednosti snaga trofaznih kratkih spojeva na sabirnicama 10 kV i 35 kV ali za perspektivno sagledanu mrežu u 2030. godini. Veliki razvoj prenosne i distributivne mreže koji predstoji na ovom području će dovesti do povećanja snaga kratkih spojeva ali njihove vrednosti neće preći dozvoljene granice ni na 10 kV ni na 35 kV naponskom nivou. Vrednosti prognoziranih struja kratkih spojeva na sabirnicama 110 kV u 2014. su u prvim proračunima zadržane do 2030. godine. Zatim je izvršeno njihovo povećanje za 50% i sagledavan je njihov uticaj. Zaključak je da su snage trofaznih kratkih spojeva ostale i dalje u propisanim granicama, pa čak i ovako teorijsko povećanje od 50% ne bi ugrozilo opremu i premašilo dozvoljene granice.

Literatura

- [1] Zbirka tehničkih preporuka ED Srbije. Tehnička preporuka br. 12b, 1 izdanje, mart 2001.
- [2] IEC 60909-0 Short-circuit current in three-phase a.c. systems-Part 0: Calculation of current.

- [3] Osnovna tehnička dokumentacija trafostanica EMS-a (stanje 31. 12. 2009.)
- [4] „Studija perspektivnog i dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 10 kV na području ogranka Vranje“, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd 2010 godine.
- [5] Petogodišnji plan razvoja prenosne mreže do 2014. godine, Struje kratkih spojeva, www.ems.rs

Abstract: This paper presents a brief theoretical assumption for the calculation of three-phase short circuits powers. Values of three-phase short circuit powers on buses 35 kV and 10 kV in ED Vranje network were calculated, for current situation and perspective network in the year of 2030, which was developed within the study of long-term development of ED Vranje. The calculated values of short circuit powers were discussed in relation to the allowed values for individual voltage levels and from the point of endangering the equipment.

Key words: three-phase short circuit, short circuit power, ED Vranje, distribution network, perspective network

Calculation of Three-Phase Short Circuit Power in Current and Elaborated Perspective Distribution Network of ED Vranje

Rad primljen u uredništvo 10.11.2010. godine
Rad prihvaćen 16.11.2010. godine