



DOI: 10.46793/CIGRE36.1959M

Ц6 14

PRORAČUN SKLOPNIH PRENAPONA ZA SLUČAJ METALNOG TROFAZNOG KRATKOG SPOJA NA SN-IZVODU SA PRIKLJUČENIM INDUKCIONIM I/ILI SINHONIM GENERATORIMA

**VLADICA MIJAILOVIĆ*, ALEKSANDAR RANKOVIĆ
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**

ČAČAK

SRBIJA

Kratak sadržaj - U radu je izložen postupak proračuna sklopnog prenapona na glavnom prekidaču kablovskog SN-izvoda na kome su priključeni indukcion i/ili sinhroni generatori tokom trofaznog kratkog spoja. Kada se dogodi kvar, izvod se isključuje prekidačem na početku izvoda. Nakon podešenog vremena reagovanja, pošto ostrvski rad nije dozvoljen, isključiće se i priključeni distribuirani izvori. Pokazuje se da, tokom perioda kada je mreža isključena a generatori uključeni, faktor prenapona dostiže vrednost između 2.2 i 2.5, zavisno od tipa generatora i mesta priključenja.

Pojedinačni odzivi distributivne mreže i pomenutih tipova distribuiranih generatora za slučaj kvara su poznati i oni se međusobno bitno razlikuju.

Korišćenjem teoreme superpozicije pokazano je kako se izračunava sklopni prenapon, uz elementarnu upotrebu računara.

Ključne reči - Sklopni prenapon, Indukcioni generator, Sinhroni generator, Distributivna mreža, Superpozicija.

1 LISTA SIMBOLA

d_{XY} - rastojanje između tačke X i tačke Y ; t -vreme; α_0 - fazni ugao napona u trenutku nastanka kvara; $\omega_s = 2\pi \cdot f_n$ - sinhrona ugaona brzina obrtanja, $f_n = 50\text{Hz}$; $i(t)$ - opšta oznaka za struju u vremenskom domenu;

U_{ns} , S''_s , T_{as} - parametri napojne mreže (naznačeni napon, subtranzijentna snaga kratkog spoja, vremenska konstanta prigušenja jednosmerne komponente struje kvara, respektivno);

*vladica.mijailovic@ftn.kg.ac.rs

R - aktivna otpornost, L - induktivnost;
indeksi n , IG i SG označavaju Napojnu mrežu, Indukcioni Generator i Sinhroni Generator, respektivno;

$$Z_n = \sqrt{(\omega \cdot L_n)^2 + R_n^2}, \quad \varphi_n = \arctg\left(\frac{\omega \cdot L_n}{R_n}\right), \quad T_n = \frac{L_n}{R_n};$$

$S_{n,IG}$, $U_{ns,IG}$, r_s , r_r , $x_{\sigma s}$, $x_{\sigma r}$, x_m - parametri indukcionog generatora;

R_r , $X_{\sigma r}$ - aktivna otpornost i reaktansa rasipanja namotaja rotora, respektivno;

R_s , $X_{\sigma s}$ - aktivna otpornost i reaktansa rasipanja namotaja statora, respektivno;

X_m - reaktansa magnećenja; s - klizanje;

$Z'_s = \sqrt{R_s^2 + X_s'^2}$ - tranzijentna impedansa indukcione mašine;

X'_s - tranzijentna reaktansa indukcione mašine: $X'_s = X_{\sigma s} + X_m \parallel X_{\sigma r}$;

T'_s - vremenska konstanta prigušenja jednosmerne komponente struje kvara u namotajima

$$\text{statora: } T'_s = \frac{1}{\omega_s} \frac{X'_s}{R_s};$$

T'_r - vremenska konstanta prigušenja jednosmerne komponente struje kvara u namotajima

$$\text{rotora: } T'_r = \frac{1}{\omega_s} \frac{X'_r}{R_r}; \quad X'_r = X_{\sigma r} + X_m \parallel X_{\sigma s};$$

$$\sigma - \text{faktor rasipanja generatora: } \sigma = 1 - \frac{X_m^2}{(X_{\sigma s} + X_m) \cdot (X_{\sigma r} + X_m)};$$

$S_{n,SG}$, $U_{n,SG}$, $x''_{n,SG}$, $x'_{n,SG}$, $x_{n,SG}$, T''_{d0} , T'_{d0} , T_a - parametri sinhronog generatora;

Z''_d , Z'_d , Z_d - subtranzijentna, tranzijentna i sinhrona impedansa po d -osi SG-a, respektivno;

X''_d , X'_d , X_d - subtranzijentna, tranzijentna i sinhrona reaktansa po d -osi SG-a, respektivno;

T''_d , T'_d , T_a - vremenske konstante SG-a (subtranzijentna, tranzijentna i vremenska konstanta prigušenja jednosmerne komponente struje kvara);

$$R_G - \text{aktivna otpornost SG-a; } \varphi_{SG} = \arctg\left\{\frac{X''_d}{R_G}\right\};$$

$m_{T,IG}$, $S_{nT,IG}$, $x_{T,IG}$, $r_{T,IG}$ - parametri energetskog transformatora preko koga se IG priključuje na mrežu;

$m_{T,SG}$, $S_{nT,SG}$, $x_{T,SG}$, $r_{T,SG}$ - parametri energetskog transformatora preko koga se SG priključuje na mrežu;

r_{feeder} - podužna aktivna otpornost voda; l_{feeder} - podužna induktivnost voda, C_l - kapacitivnost napojnih sabirnica i prateće opreme;

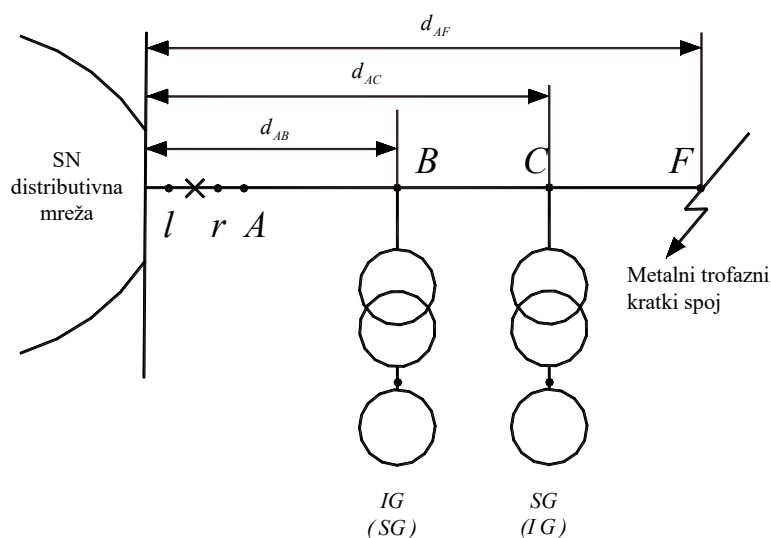
2. UVOD

Najčešći kvar u EES-u je jednofazni zemljospoj. Ako se kvar dogodi pri vršnom naponu, koeficijent prenapona može imati vrednost do 2.7. Pri otklanjanju trofaznog kvara koeficijent prenapona, takođe, može imati visoke vrednosti. Na primer, u pasivnoj mreži 10 kV koeficijent prenapona na glavnom prekidaču za slučaj sabirničkog trofaznog kratkog spoja iznosi 1.997 [1].

U radu će biti predložen postupak proračuna prenapona u aktivnoj distributivnoj mreži, u kojoj

su na izvodu priključeni distribuirani izvori različitog tipa, za slučaj trofaznog kratkog spoja. Proračun je urađen za slučaj nastanka kvara u najnepovoljnijem trenutku i uz uvažavanje dve činjenice:

- Prekidači prekidaju struju u trenutku kada ona ima nultu vrednost;
- Na izvodu na kome su priključene male elektrane struje kvara koje teku iz generatora ne dostižu maksimalnu vrednost u istom trenutku kao struja koja teče iz mreže [2, 3]. Proračuni u radu će biti urađeni za deo aktivne distributivne mreže naznačenog napona 10 kV , čija je jednopolna šema data na sl.1, a za koju je proračun struja trofaznog kratkog spoja urađen u [2, 3]. Vod se napaja iz SN-mreže, a u tačkama B i C mogu biti priključeni različiti tipovi DG-a (ako je u tački B priključen IG, onda je u tački C - SG i obratno). Snage IG-a i SG-a su određene tako da ni u jednom trenutku normalnog pogona ni u jednoj tački ne dođe do nedozvoljenog povišenja napona niti da dođe do preopterećenja bilo koje deonice voda. Za slučaj nastanka kvara u najnepovoljnijem trenutku, vremena dostizanja maksimalnih vrednosti struja kvara su u opsegu od $t = 0.005\text{ s}$ do $t = 0.011\text{ s}$.



Sl.1 Šema analiziranog dela distributivnog sistema [2, 3]

Nakon prekidanja struje kvara prekidačem u tački A kolo se razdvaja na dva dela, u kojima se odvijaju nezavisni prelazni procesi: prelazni proces sa strane SN-mreže i prelazni proces na strani voda.

Prelazni proces sa strane mreže se karakteriše sa dve komponente: jedna je posledica dejstva pobude i naziva se prinudna (ustaljena), dok druga predstavlja prirodni odziv kola, prigušuje se sa vremenom i naziva se prolazna (jednosmerna) komponenta [1].

Prelazni proces na strani voda je posledica struja koje teku iz priključenih distribuiranih generatora (DG) ka mestu kvara i koje treba da se prekinu pripadajućim prekidačima uz DG. Tek nakon prekidanja pomenutih struja ulazi se u „fazu“ prelaznog procesa koji je posledica zaostale elektrostatičke i elektromagnetne energije (na kapacitivnostima i induktivnostima voda), a koji se odvija u klasičnim (pasivnim) distributivnim mrežama.

Struja se prekida u trenutku t_p . Za $t < t_p$ prekidač je zatvoren i kroz njega teče struja $i(t)$. Za $t \geq t_p$ prekidač je otvoren. Pretpostavlja se da je prekidač idealan: ako je zatvoren njegova impedansa je jednaka nuli, a ako je otvoren impedansa trenutno dostiže beskonačnu vrednost. Napon $u_{lr}(t)$ između kontakata prekidača nakon prekidanja struje iznosi:

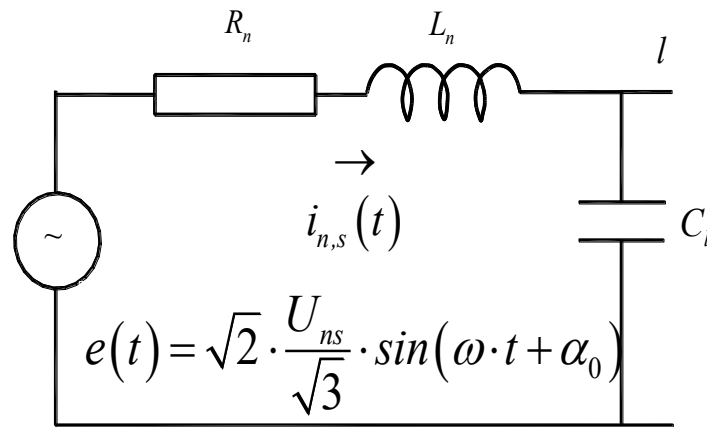
$$u_{lr}(t) = u_l(t) - u_r(t) \quad (1)$$

gde su $u_l(t)$ i $u_r(t)$ napon tačke l i tačke r prekidača, respektivno [1].

Razlika $u_{lr}(t)$ napona koja se uspostavlja na krajevima prekidača neposredno nakon prekidanja struje naziva se *prelazni povratni napon* (PPN) [1].

3. PRORAČUN NAPONA $u_l(t)$

Nakon prekidanja struje kvara iz mreže, deo levo od prekidača se može predstaviti zamenskom šemom na sl.2.



Sl.2 Zamenska šema mreže za proračun napona $u_l(t)$

Struja $i_{n,s}(t)$ koja teče ka mestu kvara može se izračunati preko izraza:

$$i_{n,s}(t) = \sqrt{2} \cdot \frac{U_{ns}}{\sqrt{3}} \frac{1}{Z_n} \cdot \sin(\omega_s \cdot t + \alpha_0 - \varphi_n) - \sqrt{2} \cdot \frac{U_{ns}}{\sqrt{3}} \frac{1}{Z_n} \cdot \sin(\alpha_0 - \varphi_n) \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_n}\right) \quad (2)$$

a napon $u_l(t)$ prema izrazu [1]:

$$u_l(t) = \frac{\omega_i^2}{\omega_i^2 - \omega^2} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{U_{ns}}{\sqrt{3}} \cdot [\cos(\omega \cdot t) - \exp(-\delta \cdot t) \cdot \cos(\omega_i \cdot t)] \quad (3)$$

$$\delta = \frac{R_n}{2 \cdot L_n}, \quad \omega_i = \frac{1}{\sqrt{L_n \cdot C_l}} \quad (4)$$

4. MODEL INDUKCIONOG GENERATORA

U slučaju trofaznog kratkog spoja na krajevima generatora dovoljno je tačan model sa naponskim izvorom koji je redno vezan sa tranzijentnom impedansom direktnog redosleda indukcionog generatora, sl.3. Na sl.3 je:

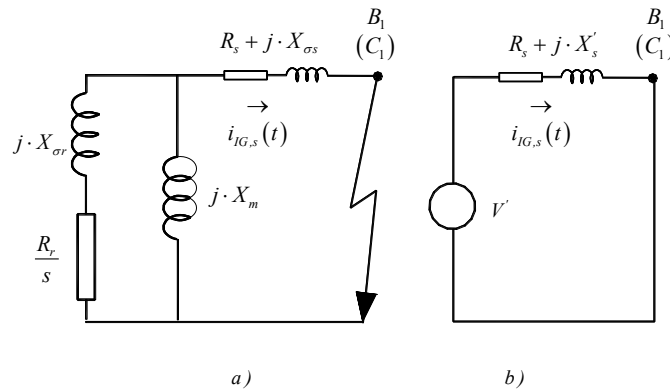
$$V' = \left| U_{s,0} + (R_s + j \cdot X'_s) \cdot I_{-s,0} \right| \quad (5)$$

gde su:

$U_{s,0}$, $I_{s,0}$ - napon na krajevima statora i struja IG-a pre nastanka kvara, respektivno.

Struja $i_{IG,s}(t)$ koja iz IG-a teče mestu kvara računa se iz izraza:

$$i_{IG,s}(t) = \sqrt{2} \cdot \frac{U_{ns}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{Z'_s} \cdot \left[\exp\left(-\frac{t}{T'_s}\right) \cdot \sin \alpha_0 - (1 - \sigma) \cdot \exp\left(-\frac{t}{T'_r}\right) \cdot \sin(\omega_s \cdot t + \alpha_0) \right] \quad (6)$$



Sl.3 a) Zamenska šema indukcionog generatora sa kaveznim rotorom za određivanje impedanse direktnog redosleda

b) Model sa naponskim izvorom koji je redno vezan sa tranzijentnom impedansom direktnog redosleda IG-a

5. MODEL SINHRONOG GENERATORA

Za slučaj metalnog trofaznog kratkog spoja na krajevima SG-a struja $i_{SG,s}(t)$ koja teče iz SG-a ka mestu kvara može se izračunati prema izrazu:

$$\begin{aligned} i_{SG,s}(t) = & -\sqrt{2} \cdot \frac{U_{ns}}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{1}{Z''_d} - \frac{1}{Z'_d} \right) \cdot \exp\left(-\frac{t}{T''_d}\right) \cdot \cos\left(\omega_s \cdot t + \frac{\pi}{2} - \varphi_{SG}\right) \\ & -\sqrt{2} \cdot \frac{U_{ns}}{\sqrt{3}} \cdot \left[\left(\frac{1}{Z'_d} - \frac{1}{Z_d} \right) \cdot \exp\left(-\frac{t}{T'_d}\right) + \frac{1}{Z_d} \right] \cdot \cos\left(\omega_s \cdot t + \frac{\pi}{2} - \varphi_{SG}\right) \\ & +\sqrt{2} \cdot \frac{U_{ns}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{Z'_d} \cdot \exp\left(-\frac{t}{T'_a}\right) \cdot \sin \varphi_{SG} \end{aligned} \quad (7)$$

6. PRORAČUN NAPONA $u_r(t)$

Nakon otvaranja prekidača u tački A , struje koje iz priključenih distribuiranih generatora teku ka mestu kvara se određuju primenom teoreme superpozicije, kao što je pokazano u [2, 3]. Nakon određivanja struja, napon u tački r biće određen prema tome koji DG je bliži datoj tački, sl. 4 i sl. 5.

Primenom postupka iz [2, 3], za struje koje iz IG i SG teku ka mestu kvara dobija se:

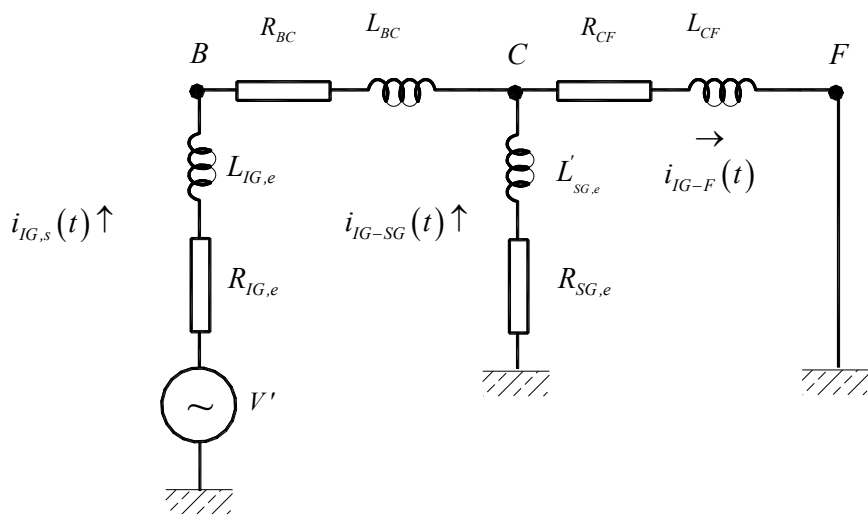
$$\begin{aligned} i_{IG}(t) &= i_{IG,s}(t) + i_{SG-IG}(t) \\ i_{SG}(t) &= i_{SG,s}(t) + i_{IG-SG}(t) \end{aligned} \quad (8)$$

Ako je tačka priključenja IG bliža tački r napon $u_r(t)$ se računa prema izrazu:

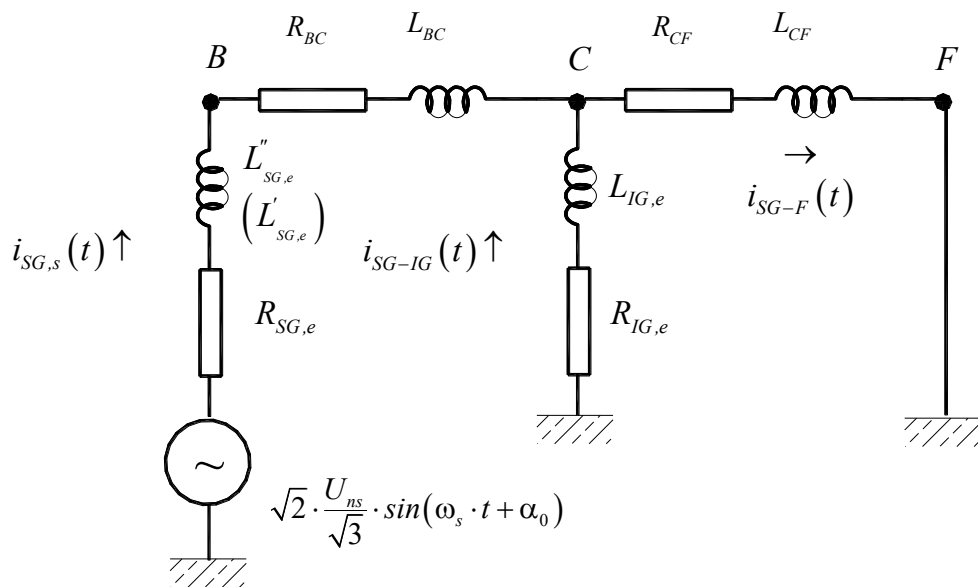
$$u_r(t) = -L_{IG,e} \cdot \frac{di_{IG}(t)}{dt} - R_{IG,e} \cdot i_{IG}(t) + V' \quad (9)$$

a ako je tačka priključenja SG bliža tački r :

$$u_r(t) = -L''_{SG,e} \cdot \frac{di_{SG}(t)}{dt} - R_{SG,e} \cdot i_{SG}(t) + \sqrt{2} \cdot \frac{U_{ns}}{\sqrt{3}} \cdot \sin(\omega_s \cdot t + \alpha_0) \quad (10)$$



Sl. 4 Šema za određivanje napona $u_r(t)$ za slučaj kada je IG bliži tački r



Sl. 5 Šema za određivanje napona $u_r(t)$ za slučaj kada je SG bliži tački r

7. ANALIZIRANI SLUČAJEVI I PODACI ZA PRORAČUN

Primenom prethodno izloženog postupka biće izvršena analiza vrednosti koeficijenta

prenapona $K_{lr} = \max \left| \frac{u_{lr}(t)}{\sqrt{2} \cdot \frac{U_{ns}}{\sqrt{3}}} = \frac{u_l(t) - u_r(t)}{\sqrt{2} \cdot \frac{U_{ns}}{\sqrt{3}}} \right|$ u zavisnosti od toga da li su i gde na izvodu

priključeni DG datog tipa, sl.1. Vrednost napona $u_l(t)$ ne zavisi od konfiguracije na potrošačkoj strani.

Vrednost napona $u_r(t)$ će biti izračunata za sledeće slučajeve:

- na izvodu je priključen jedan IG u jednoj od tačaka A, B, C i F . Ovi slučajevi su označeni oznakom E_{X-IG} , $X = A, B, C, F$.

- na izvodu je priključen jedan SG u jednoj od tačaka A, B, C i F . Ovi slučajevi su označeni oznakom E_{Y-SG} , $Y = A, B, C, F$.

- na izvodu su priključeni jedan IG i jedan SG pri čemu je IG bliže napojnim sabirnicama od SG. Ovi slučajevi su označeni oznakom $E_{X-IG} - E_{Y-SG}$ pri čemu važi:

*) ako je $X = A$ tada je $Y = B, C, F$;

*) ako je $X = B$ tada je $Y = C, F$;

*) ako je $X = C$ tada je $Y = F$.

- na izvodu su priključeni jedan SG i jedan IG pri čemu je SG bliže napojnim sabirnicama od IG. Ovi slučajevi su označeni oznakom $E_{Y-SG} - E_{X-IG}$ pri čemu važi:

*) ako je $Y = A$ tada je $X = B, C, F$;

*) ako je $Y = B$ tada je $X = C, F$;

*) ako je $Y = C$ tada je $X = F$.

Dakle, analiza se će biti urađena za 20 slučajeva priključenja, za po tri vremena t_p prekidanja struje. Imajući u vidu karakteristike elemenata sistema relejne zaštite prve dve vrednosti t_p su teorijske. Parametri potrebni za proračun su navedeni u Tabeli 1.

Tabela 1 Parametri za proračun dela sistema prikazanog na sl.1

	Podaci
Dužine sekcija voda	$d_{AB} = 0.5 \text{ km}$, $d_{AC} = 1.0 \text{ km}$, $d_{AF} = 1.5 \text{ km}$
Kablovski vod	- Tri jednofazna kabla, bakarni provodnici, poprečni presek jednog kabla 150 mm^2 , naznačena struja $I_{n, \text{cabl}} = 350 \text{ A}$; $-r_{Feeder} = 0.12 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $l_{Feeder} = 0.32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{H}}{\text{km}}$.
SN-mreža	- Za $S_s'' = 250 \text{ MVA}$ i $T_{as} = 0.05 \text{ s}$: $R_n = 0.025 \Omega$, $L_n = 1.27 \cdot 10^{-3} \text{ H}$, $C_l = 50 \text{ pF}$
IG	$S_{n,IG} = 2.5 \text{ MVA}$, $U_{n,IG} = 0.69 \text{ kV}$, $r_s = 0.004843$, $r_r = 0.004347$, $x_{\sigma s} = 0.1248$, $x_{\sigma r} = 0.1791$, $x_m = 6.77$
Energetski transformator uz IG	$m_{T,IG} = \frac{10 \text{ kV}}{0.69 \text{ kV}}$, $S_{nT,IG} = 4 \text{ MVA}$, $x_{T,IG} = 0.05$, $r_{T,IG} = 0.01$
SG	$S_{n,SG} = 2.5 \text{ MVA}$, $U_{n,SG} = 0.48 \text{ kV}$, $x_{n,SG}'' = 0.125$, $x_{n,SG}' = 0.227$, $x_{n,SG} = 3.064$, $T_{d0}'' = 0.0132 \text{ s}$, $T_{d0}' = 4.965 \text{ s}$, $T_{aG} = 0.0262 \text{ s}$.
Energetski transformator uz SG	$m_{T,SG} = \frac{10 \text{ kV}}{0.48 \text{ kV}}$, $S_{nT,SG} = 4 \text{ MVA}$, $x_{T,SG} = 0.05$, $r_{T,SG} = 0.01$
Početni uslovi	Pre nastanka kvara, SN-mreža i priključeni distribuirani generatori su bili u režimu praznog hoda

8. REZULTATI PRORAČUNA

Najpre je određen najnepovoljniji trenutak nastanka kvara, odnosno vrednost ugla α_0 . Najveći uticaj na naprezanje elemenata ima struja $i_n(t)$ koja teče iz mreže. Ako se kvar dogodi u trenutku kada je $\alpha_0 = 0.84 \cdot \pi$ pomenuta struja će imati najveću vrednost. Proračun prenapona je sproveden od momenta kada je struja $i_n(t)$ prekinuta, u trenutku t_p .

Rezultati proračuna su dati u Tabelama 2, 3, 4 i 5, na osnovu kojih možemo da zaključimo sledeće:

- Vrednost prenapona opada sa porastom vremena t_p prekidanja struje $i_n(t)$;
- Ako je na izvodu priključen samo jedan DG (IG ili SG) vrednost koeficijenta prenapona raste sa udaljavanjem tačke priključenja od napojnih sabirnica. Prenapon je veći kada je na izvodu priključen samo SG;
- Ako su na izvodu priključena oba tipa generatora vrednost prenapona je manja nego kada je na izvodu priključen samo jedan DG;
- Ako su na izvodu priključena oba tipa generatora vrednost prenapona je veća kada je IG bliži napojnim sabirnicama (SG je bliži mestu kvara).

Tabela 2 Vrednosti koeficijenta prenapona za slučaj kada je na izvodu priključen samo IG

	Analizirani slučaj			
	E_{A-IG}	E_{B-IG}	E_{C-IG}	E_{F-IG}
$t_p [s]$	Vrednost koeficijenta prenapona			
0.01639	2.230	2.237	2.244	2.249
0.03581	2.202	2.206	2.211	2.215
0.05572	2.177	2.177	2.177	2.176

Tabela 3 Vrednosti koeficijenta prenapona za slučaj kada je na izvodu priključen samo SG

	Analizirani slučaj			
	E_{A-SG}	E_{B-SG}	E_{C-SG}	E_{F-SG}
$t_p [s]$	Vrednost koeficijenta prenapona			
0.01639	2.501	2.509	2.517	2.526
0.03581	2.450	2.455	2.460	2.465
0.05572	2.422	2.426	2.431	2.435

Tabela 4 Vrednosti koeficijenta prenapona za slučaj kada su na izvodu priključena oba tipa generatora pri čemu je IG bliži napojnim sabirnicama

	Analizirani slučaj					
	$E_{A-IG} - E_{B-SG}$	$E_{A-IG} - E_{C-SG}$	$E_{A-IG} - E_{F-SG}$	$E_{B-IG} - E_{C-SG}$	$E_{B-IG} - E_{F-SG}$	$E_{C-IG} - E_{F-SG}$
$t_p [s]$	Vrednost koeficijenta prenapona					
0.01639	2.248	2.240	2.233	2.245	2.243	2.242
0.03581	2.220	2.208	2.203	2.211	2.207	2.212
0.05572	2.183	2.179	2.177	2.182	2.178	2.180

Tabela 5 Vrednosti koeficijenta prenapona za slučaj kada su na izvodu priključena oba tipa generatora pri čemu je SG bliži napojnim sabirnicama

	Analizirani slučaj					
	$E_{A-SG} -$ E_{B-IG}	$E_{A-SG} -$ E_{C-IG}	$E_{A-SG} -$ E_{F-IG}	$E_{B-SG} -$ E_{C-IG}	$E_{B-SG} -$ E_{F-IG}	$E_{C-SG} -$ E_{F-IG}
$t_p [s]$	Vrednost koeficijenta prenapona					
0.01639	2.083	2.081	2.079	2.083	2.082	2.084
0.03581	2.060	2.064	2.063	2.064	2.065	2.064
0.05572	2.055	2.056	2.055	2.058	2.052	2.054

Na kraju, na sl. 6-sl. 9 prikazane su vremenske promene prenapona za neke od analiziranih slučajeva. Generalno, isti oblik imaju i ostali analizirani slučajevi, razlika je jedino u amplitudama. Na osnovu datih grafika možemo da zaključimo sledeće:

- Prelazni proces se brže prigušuje kada je na izvodu priključen samo IG;
- Ako su na izvodu priključena oba tipa DG-a, prelazni proces se brže prigušuje kada je IG bliži napojnim sabirnicama od SG.

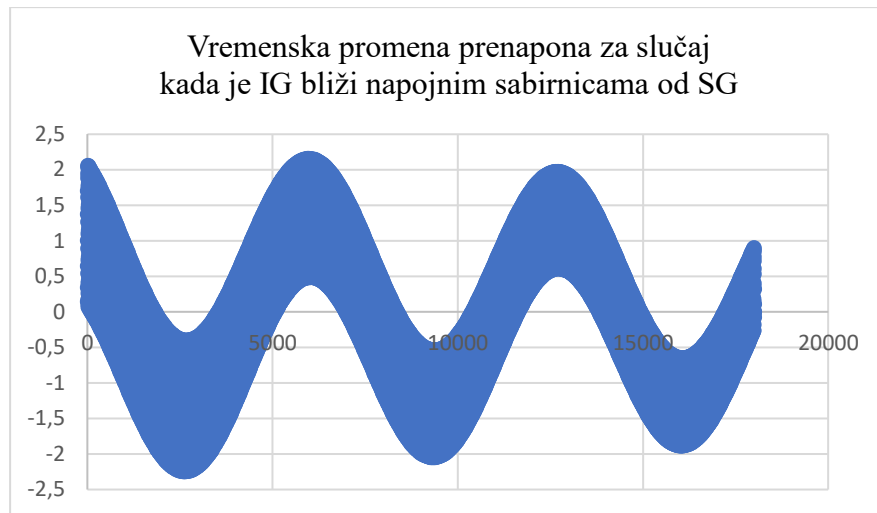


Sl. 6 Vremenska promena prenapona za slučaj kada je IG priključen u tački A
(korak proračuna $3 \mu s$)

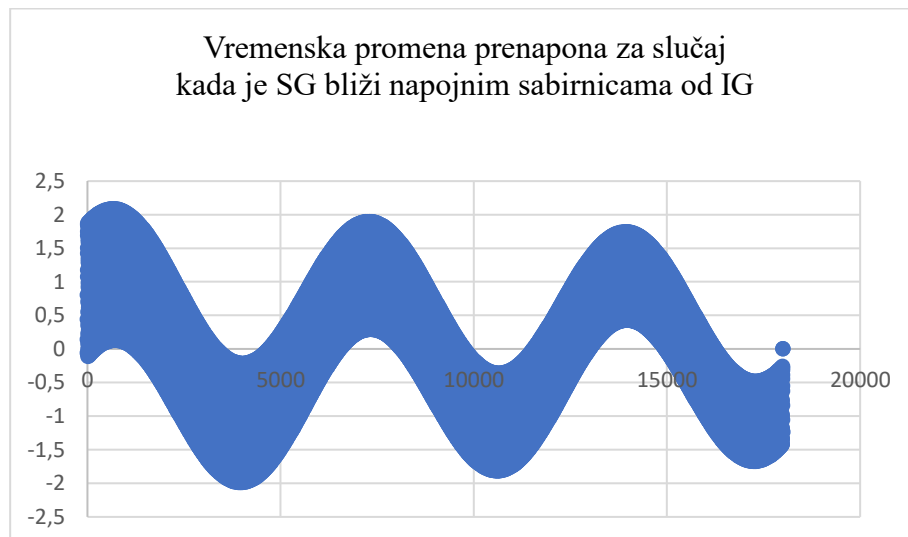


Sl. 7 Vremenska promena prenapona za slučaj kada je SG priključen u tački A

(korak proračuna $3 \mu s$)



Sl.8 Vremenska promena prenapona za slučaj kada je IG bliži napojnim sabirnicama od SG



Sl. 9 Vremenska promena prenapona za slučaj kada je SG bliži napojnim sabirnicama od IG

9. ZAKLJUČAK

U radu su izloženi postupak i rezultati proračuna sklopnog prenapona na glavnom prekidaču kablovskog SN-izvoda na kome su priključeni indukcioni i/ili sinhroni generatori tokom trofaznog kratkog spoja. Modeli svih elemenata sistema su poznati. Izvršena je analiza uticaja tipa priključenih DG-a i tačaka priključenja na visinu prenapona. Pokazano je sledeće:

- Vrednost prenapona opada sa porastom vremena t_p prekidanja struje $i_n(t)$;
- Ako je na izvodu priključen samo jedan DG (IG ili SG) vrednost koeficijenta prenapona raste sa udaljavanjem tačke priključenja od napojnih sabirnica. Prenapon je veći kada je na izvodu priključen samo SG;
- Ako su na izvodu priključena oba tipa generatora vrednost prenapona je manja nego kada je na izvodu priključen samo jedan DG;
- Ako su na izvodu priključena oba tipa generatora vrednost prenapona je veća kada je IG bliži napojnim sabirnicama (SG je bliži mestu kvara).
- Prelazni proces se brže prigušuje kada je na izvodu priključen samo IG;

- Ako su na izvodu priključena oba tipa DG-a, prelazni proces se brže prigušuje kada je IG bliži napojnim sabirnicama od SG.

ZAHVALNICA

Rad je rezultat istraživanja na projektu No. 451-03-47/2023-01/200132 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije. Autori se najiskrenije zahvaljuju na podršci.

LITERATURA

[1] J. Nahman, V. Mijailović, "Razvodna postrojenja –drugo izdanje", Akademska misao, Beograd, 2015.

[2] V. Mijailović, A. Ranković, "Proračun struje metalnog trofaznog kratkog spoja na SN-izvodu sa priključenim indukcionim i sinhronim generatorima–predlog modela–", 35. Savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor, 2021., R-C6.06

[3] V. Mijailović, A. Ranković, "Proračun struje metalnog trofaznog kratkog spoja na SN-izvodu sa priključenim indukcionim i sinhronim generatorima–rezultati proračuna–", 35. Savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor, 2021., R-C6.08

CALCULATION OF SWITCHING OVERVOLTAGES FOR THE CASE OF A BOLTED THREE-PHASE SHORT CIRCUIT ON MV-FEEDER WITH CONNECTED INDUCTION AND/OR SYNCHRONOUS GENERATORS

**VLADICA MIJAILOVIĆ, ALEKSANDAR RANKOVIĆ
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES**

ČAČAK

SERBIA

Abstract- The paper presents the procedure for calculating the switching overvoltage on the supplying circuit breaker of the MV cable feeder to which induction and/or synchronous generators are connected during a bolted three-phase short circuit. When a fault occurs, the feeder is disconnected by a circuit breaker at the beginning of the feeder. After the set delay time has expired, since island operation is not allowed, the connected distributed generators will also be switched off. It is shown that, during the period when the grid is off and the generators are on, the overvoltage factor reaches a value between 2.2 and 2.5, depending on the type of generator and the connection location.

The individual responses of the distribution network and the mentioned types of distributed generators in case of failure are known and they differ significantly from each other.

By using the superposition theorem, it is shown how to calculate the switching overvoltage, with the elementary use of a computer.

Key words- Switching overvoltage- Induction generator- Synchronous generator- Distribution network- Superposition