

**STRUJNI LIMITERI – IZBOR LOKACIJE ZA OGRANIČENJE VREDNOSTI STRUJE
KRATKOG SPOJA****CURRENT LIMITERS – SELECTION OF LOCATION FOR LIMITING THE VALUE OF
SHORT CIRCUIT CURRENT**Jelena Šavija, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast - ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu su detaljno objašnjeni tipovi strujnih limitera, kao i kratki spojevi. Detaljnije su pojašnjeni određeni algoritmi za određivanje optimalne lokacije strujnih limitera. Dati su rezultati proračuna kratkog spoja određene distributivne mreže bez i sa strujnih limitera, kao i rezultati pretrage optimalne lokacije tih strujnih limitera.

Ključne reči – Trofazni kratak spoj bez zemlje, Strujni limiteri, Distributivna mreža

Abstract – In this document, the types of current limiters as well as short circuits are explained in detail. Certain algorithms for determining the optimal location of current limiters are explained in more detail. The results of the calculation of the short circuit of a certain distribution network without and with current limiters are given, as well as the results of the search for the optimal location of these current limiters.

Keywords – Three-phase short-circuit, Current limiters, Distribution network

1. UVOD

U ovom radu obrađuju se strujni limiteri, kao i njihov izbor lokacije za ograničenje struja kratkog spoja. U drugom poglavlju objašnjeni su različiti tipovi strujnih limitera. Algoritmi za pronalaženje optimalne lokacije strujnih limitera, kao i njihovih parametara detaljno su objašnjeni u trećem poglavlju. U četvrtom poglavlju prikazani su rezultati struja kratkog spoja u mreži sa 20 čvorova, sa i bez upotrebe strujnih limitera. U petom poglavlju proračunava se optimalna lokacija strujnog limitera, gde struja kratkog spoja ne sme da bude manja od određene vrednosti. Šesto poglavlje je zaključak, a u sedmom poglavlju je dat spisak korišćene literature.

2. STRUJNI LIMITERI

Strujni limiteri (FCL – Fault Current Limiters) otpornog i induktivnog tipa obezbeđuju skoro nultu impedanciju pri normalnim uslovima rada, dok pri nenormalnim uslovima obezbeđuju otpornosti visoke impedanse [1,2].

Postoji više tipova strujnih limitera kao što su superprovodni i nesuperprovodni strujni limiteri. elektroenergetskog sistema kao što su proizvodnja, prenos, distributivna mreža za poboljšanje dinamičkih performansi ograničavanjem struje kvara [1,2].

NAPOMENA:

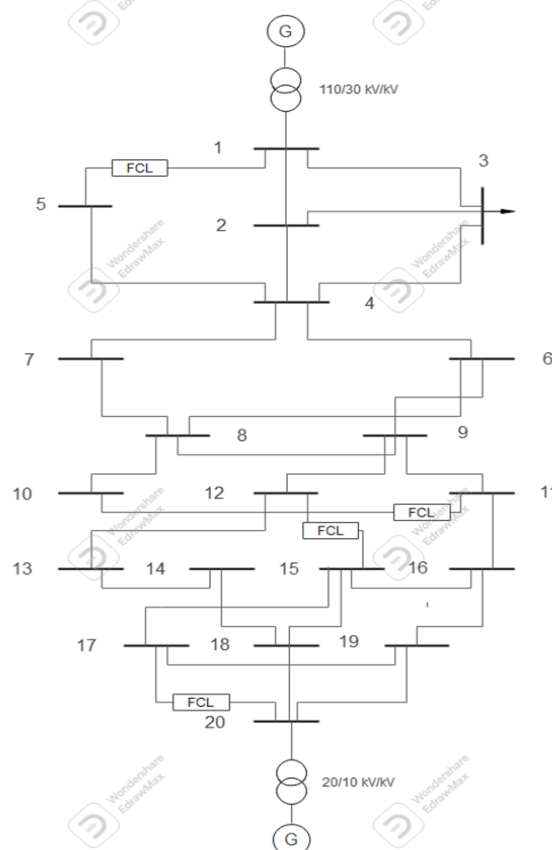
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Duško Bekut, red. prof.

**3. OPTIMALNA LOKACIJA STRUJNIH
LIMITERA**

Optimalna lokacija strujnih limitera (FCLs – Fault Current Limiters) u mrežama ima veliku važnost i prednosti, kao što su povećanje sigurnosti i stabilnosti sistema, smanjenje struje kvara i pada napona, kao i poboljšanje sposobnosti sistema tokom kvara.

**4. REZULTATI PRORAČUNA STRUJA KRATKOG
SPOJA BEZ I SA STRUJNIH LIMITERA**

U ovom poglavlju su prikazani rezultati proračuna struja kratkog spoja (3FKS – trofaznog kratkog spoja bez zemlje) [3] bez postavljenih strujnih limitera, kao i sa postavljenim limiterima u četiri grane [4]. U ovom slučaju se posmatra distributivna mreža sa 20 čvorova (sa ukupno 30 grana), gde su limiteri struja kvara (kratkog spoja) postavljeni u izabrane grane 1-5, 10-11, 12-15 i 17-20. Nominalan linijski napon čvora 1 iznosi 30 kV. Na slici 4.1 prikazana je šema razmatrane distributivne mreže.



Slika 4.1. – Šema razmatrane distributivne mreže

4.1. Prvi slučaj – proračun struja kratkog spoja bez limitera

Moduli struja [A] kratkog spoja I_{3PKS} u svih 20 čvorova bez dodatih strujnih limitera se mogu videti u tabeli 4.2.

Tabela 4.2 – Moduli struja kratkog spoja u 20 čvorova

Čvorovi	I_{3PKS}
1	663.3
2	657.7
3	653.3
4	647.4
5	645.2
6	638.4
7	634.7
8	629.5
9	624.8
10	621.7
11	616.5
12	611.9
13	608.4
14	603.7
15	598.6
16	594.2
17	591.0
18	585.7
19	582.0
20	555.3

4.2. Drugi slučaj – proračun struja kratkog spoja sa dodatim strujnim limiterima

Strujni limiteri su dodati u granama 1-5, 10-11, 12-15 i 17-20. U tabeli 5.3 prikazani su moduli struja kratkog spoja sa dodatim strujnim limiterima $I_{3PKSfcl}$, pri čemu su označene zelenom bojom vrednosti struja koje su se smanjile sa postavkom limitera.

Tabela 5.3 – Vrednosti struja $I_{3PKSfcl}$

Čvorovi	$I_{3PKSfcl}$
1	521.0
2	657.7
3	653.3
4	647.4
5	507.0
6	638.4
7	634.7
8	629.5
9	624.8
10	489.5
11	437.0
12	482.5
13	608.5
14	603.7
15	472.0
16	594.2
17	465.0
18	585.7
19	582.0
20	349.6

Može se primetiti da je struja kratkog spoja značajno smanjena u onim čvorovima u kojima su postavljeni strujni limiteri.

5. REŠENJE OPTIMIZACIONOG PROBLEMA STRUJNIH LIMITERA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

U ovom poglavlju je pokazan način na koji odabrati optimalne lokacije za četiri strujna limitera u prethodno prikazanoj distributivnoj mreži na slici 4.1 u četvrtom poglavlju. Cilj je da se amplituda struje u izabranim čvorovima 1, 5, 10, 11, 12, 15, 17 i 20 prilikom kratkog spoja ograniči na vrednost od $560A$ i da se pronađu optimalne lokacije za strujne limitera. Postoje dva koraka da se ovo ostvari. Treba naglasiti da se koriste strujni limiteri impedanse 35Ω .

5.1. Prvi korak

Potrebno je odabrati jedan strujni limiter, zatim ga postaviti u prvu od izabranih grana (1-5), izračunati struju u izabranim čvorovima, zatim ga ukloniti iz te grane, pa postaviti u sledeću, te ponoviti proračun. Ovaj postupak se ponavlja po svim granama i beleže se vrednosti struje u izabranim čvorovima. Na osnovu ovoga, može se odrediti gde je najbolja pozicija za prvi strujni limiter i to će biti prva lokacija sa strujnim limiterom koja se dalje neće menjati. Isti postupak se ponavlja za svaki sledeći limiter do ukupno 4-tog limitera.

Nakon ovog koraka, dobija se da su idealne grane u kojima se trebaju postaviti strujni limiteri 1-5, 8-10, 12-13 i 15-17. U tabeli 5.1 prikazani su moduli struja kratkog spoja. Žuta boja je iskorišćena za vrednosti koje su se malo povećale.

Tabela 5.1 – Moduli struja kratkog spoja posle odrađenog prvog koraka

Čvorovi	$I_{3PKSfcl}$
1	523.6
5	507.0
8	496.4
10	489.5
11	554.4
12	482.5
13	479.0
15	472.0
17	465.0
20	444.2

Rezultati koji se dobijaju zadovoljavaju kriterijum da amplituda struje kratkog spoja nije veća od $560A$.

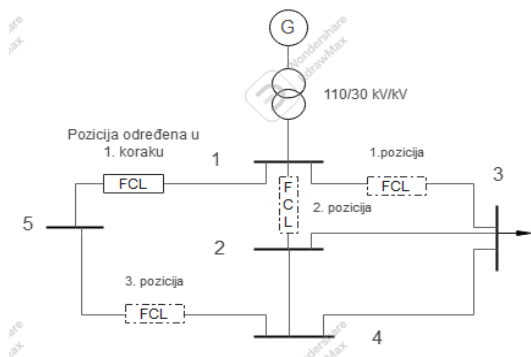
5.2. Drugi korak

Ovde se predloženim postupkom pokušava naći bolji lokalni optimum u odnosu na ovaj inicijalno dobijeni. Ta pretraga se radi tako što se izabere npr. prvi od limitera, pa se postavlja u susedne grane sa obe strane u odnosu na njegovu početnu poziciju.

Kada se postigao optimum, četiri strujna limitera pomerati jednu poziciju ulevo i jednu poziciju udesno u mreži i proveriti kako se menjaju struje kratkog spoja u čvorovima.

Na slici 5.2.1 prikazane su lokacije gde se postavlja prvi strujni limiter u susedne grane 1-3, 1-2 i 4-5 u odnosu na početnu poziciju 1-5.

U tabeli 5.2 prikazani su moduli struja kratkih spojeva (SKS) u zavisnosti od postavke prvog strujnog limitera. Crvena boja je korišćena za vrednosti koje su se značajnije povećale.

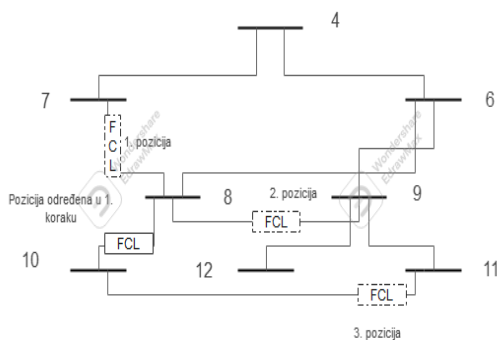


Slika 5.2.1 – Prvi strujni limiter postavljen u granama 1-3, 1-2 i 4-5

Tabela 5.2 – Moduli SKS ako je strujni limiter postavljen u grane 1-3, 1-2 i 4-5

Čvor	$I_{3PKS1-5}$	$I_{3PKS1-3}$	$I_{3PKS1-2}$	$I_{3PKS4-5}$
1	523.6	521.0	521.0	663.3
2	657.7	657.7	517.5	657.7
3	653.3	514.0	653.3	653.3
4	647.4	647.4	647.4	510.4
5	507.0	645.2	645.2	507.0

Iz table 5.2 se može videti da je optimalna lokacija strujnog limitera u grani 1-5. Drugi strujni limiter se prethodno nalazio u grani 8-10, a sada će biti postavljen u granama 7-8, 8-9 i na kraju u grani 10-11, što je prikazano na slici 5.2.2.



Slika 5.2.2 – Postavka drugog strujnog limitera u grani 7-8, 8-9 i 10-11

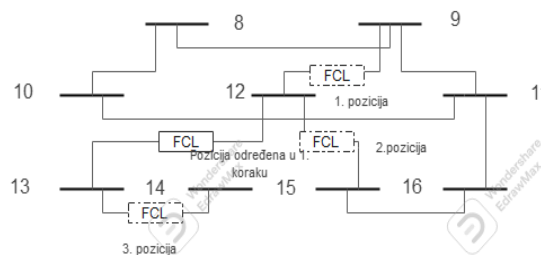
U tabeli 5.3 prikazani su moduli struja kratkog spoja kada je strujni limiter postavljen u prethodno navedene grane.

Tabela 5.3 – Moduli SKS u zavisnosti od postavke drugog strujnog limitera u grane 7-8, 8-9 i 10-11

Čvor	$I_{3PKS8-10}$	$I_{3PKS7-8}$	$I_{3PKS8-9}$	$I_{3PKS10-11}$
7	634.7	500.0	634.7	634.7
8	496.4	496.4	496.4	629.5
9	624.8	624.8	492.9	624.8
10	489.5	621.7	621.7	489.5
11	554.4	554.4	554.4	437.0

Zaključuje se da je optimalnija lokacija drugog strujnog limitera u grani 10-11, zato što se javlja manja vrednost struje od 437.0646A u čvoru 11, u odnosu na struju od 554.4776A, ako je limiter postavljen u grani 8-10.

Treći strujni limiter se sada postavlja u grane 9-12, 12-15 i 13-14, što je prikazano na slici 5.2.3.



Slika 5.2.3 – Postavka trećeg strujnog limitera u grani 9-12, 12-15 ili 13-14

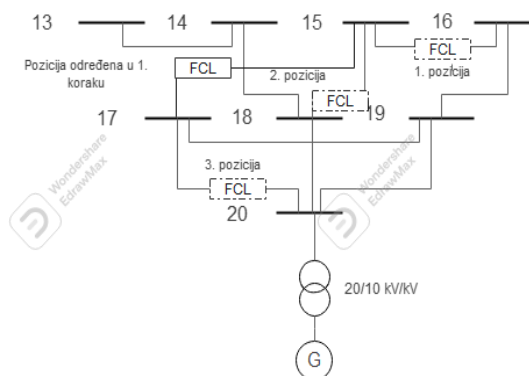
Vrednosti struja kratkog spoja $I_{3PKS12-13}$, $I_{3PKS9-12}$, $I_{3PKS12-15}$ i $I_{3PKS13-14}$ prikazane su u tabeli 5.4.

Tabela 5.4 – Moduli SKS u zavisnosti od postavke trećeg strujnog limitera u grane 9-12, 12-15 i 13-14

Čvor	$I_{3PKS12-13}$	$I_{3PKS9-12}$	$I_{3PKS12-15}$	$I_{3PKS13-14}$
9	624.8	492.9	624.8	624.8
12	489.5	489.5	489.5	489.5
13	479.0	608.4	608.4	479.0
14	603.7	603.7	603.7	475.5
15	472.0	472.0	323.6	472.0

Iz prethodne table se zaključuje da je idealna pozicija u grani 12-13.

Poslednji, četvrti strujni limiter se postavlja u granu 15-16, 15-18 ili 17-20. Ove pozicije prikazane su na slici 5.2.4. Vrednosti modula struja kratkog spoja $I_{3PKS15-17}$, $I_{3PKS15-16}$, $I_{3PKS15-18}$ i $I_{3PKS17-20}$ prikazane su u tabeli 5.5.



Slika 5.2.4 – Postavka četvrtog strujnog limitera u grani 15-16, 15-18 ili 17-20

Tabela 5.5 – Moduli SKS u zavisnosti od postavke četvrtog strujnog limitera u grane 15-16, 15-18 i 17-20

Čvor	$I_{3PKS15-17}$	$I_{3PKS15-16}$	$I_{3PKS15-18}$	$I_{3PKS17-20}$
15	472.0	472.0	472.0	598.6
16	594.2	468.5	594.2	594.2
17	465.0	591.0	591.0	465.0
18	585.7	585.7	461.5	585.7
20	444.2	444.2	444.2	444.2

Iz tabele 5.6 se može zaključiti da je idealna pozicija četvrtog strujnog limitera u grani 15-17, koja je određena u 1. koraku. Idealne lokacije strujnih limitera su sada u granama 1-5, 10-11, 12-13 i 15-17.

6. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati proračuna struja kratkih spojeva sa i bez korišćenja limitera. Kroz primer je pokazano koliko se struja kratkog spoja može ograničiti ako se na pojedine lokacije u mreži postave strujni limiteri. Takođe, prikazani su rezultati optimizacije lokacije strujnog limitera u dva koraka uz potvrdu da se obezbeđuje dodatna optimizacija i unapređenje rezultata vezano za ograničavanje vrednosti struja.

7. LITERATURA

- [1] Saumen Dhara, Alok Kumar Shrivastav, Pradip Kumar Sadhu, Ankur Ganguly, *A Fault Current Limiter Circuit to Improve Transient Stability in Power System*, International Journal of Power Electronics and Drive Systems, Vol 7, No 3, DOI:10.11591/ijpeds.v7.i3. pp769-780.
- [2] R. Parashar, C. Sasse, R. Banks, L. Falkingham, Fault current limiters for transmission & distribution networks, Electricity Distribution, 2005. CIRED 2005, DOI:10.1049/cp:20050911.
- [3] V.C.Strezoski: Analiza elektroenergetskih sistema, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.
- [4] Alam, Md S., Mohammad A.Y. Abido, and Ibrahim El-Amin. 2018. "Fault Current Limiters in Power Systems: A Comprehensive Review" *Energies* 11, no. 5: 1025. <https://doi.org/10.3390/en11051025>.

Kratka biografija:



Jelena Šavija rođena je u Somboru 1995. godine. Osnovne studije završila je na Fakultetu tehničkih nauka 2020. godine. iz oblasti Elektrotehnika i računarstvo, smer Elektroenergetski sistemi. Master rad, na istom fakultetu, je odbranila 2022. godine.

Kontakt: shavija.jelena@gmail.com