

MODELIRANJE LSI ZAŠTITNE KARAKTERISTIKE NN PREKIDAČA U EASYPOWER PROGRAMU

Svalina, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:803272>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science
and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni studij

**MODELIRANJE LSI ZAŠTITNE KARAKTERISTIKE NN
PREKIDAČA U EASYPOWER PROGRAMU**

Završni rad

Tomislav Svalina

Osijek, 2022.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 14.09.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Ime i prezime Pristupnika:	Tomislav Svalina
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4426, 26.07.2017.
OIB Pristupnika:	71307887016
Mentor:	Prof.dr.sc. Srete Nikolovski
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Modleiranje LSI zaštitne karakteritike NN prekidača u DigSILENT programu
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rad:	Opisati LSi zaštitnu karakteristiku NN prekidača. Odabrati neki tip prekidača i nacrtati koristeći program EasyPower zaštitnu karakteristiku na jednostavnom primjeru mreža-trafo --kabel trošilo
Prijedlog ocjene završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	14.09.2022.
Datum potvrde ocjene od strane Odbora:	21.09.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 21.09.2022.

Ime i prezime studenta:

Tomislav Svalina

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4426, 26.07.2017.

Turnitin podudaranje [%]:

11

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Modleiranje LSI zaštitne karakteritike NN prekidača u DlgSILENT programu**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Srete Nikolovski

i sumentora ,

mog vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	2
2. PREKIDAČI.....	3
2.1. Vrste prekidača	4
2.2. Električni luk.....	5
2.3. Osnove teorije prekidanja struje.....	5
2.4. Svojstva prekidača	6
3. NISKONAPONSKI KOMPAKTNI PREKIDAČI	7
3.1. Schneider – MasterPact NT i NW	7
3.1.1. MicroLogic A „ammeter“.....	9
3.2. SIEMENS – 3VA prekidači u lijevanom kućištu	12
3.2.1. 3VA1 prekidači u lijevanom kućištu	13
3.2.2. 3VA2 prekidači u lijevanom kućištu	13
3.2.3. Strujno ograničenje.....	17
3.2.4. Selektivnost	18
4. PRAKTIČNI DIO ZAVRŠNOG RADA.....	20
5. ZAKLJUČAK	26
6. LITERATURA.....	27
7. SAŽETAK	28
8. ŽIVOTOPIS	29

1. UVOD

Glavna zadaća elektroenergetskog sustava je pouzdana proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije kupcima. Pouzdanost opskrbe električnom energijom mjera je kvalitete elektroenergetskog sustava, a uvjetovana je:

- načinom uzemljenja neutralne točke
- vrstama kvarova i smetnji kojima je mreža izložena
- ugrađenim sustavom relejne zaštite
- oblikom i načinom pogona mreže

Bitni segmenti pogona elektroenergetskog sustava su pravilan izbor, podešenje, usklađivanje i održavanje uređaja relejne zaštite. Pogon elektroenergetskog sustava osjetljiv je na poremećaje (kvarove i smetnje) i upravo sama svrha relejne zaštite je smanjivanje njihovih utjecaja na najmanju moguću mjeru, jer ih u praksi nije moguće izbjeći u cijelosti. Tijekom pogona mogući su poremećaji koji nastaju zbog unutarnjih događaja (npr. proboj izolacije ili preopterećenje voda) i vanjskih događaja (npr. rušenje stupa ili udar munje u vod). Prema literaturi [1]: “Postoji niz uzroka poremećaja u elektroenergetskom sustavu. Najčešći uzroci su mehanička naprezanja, električna naprezanja izolacije, onečišćenje izolacije, premoštenja ili oštećenja izolacije stranim predmetima, te termički i kemijski utjecaji na izolaciju zbog kojih ona postepeno stari i gubi svoja osnovna svojstva. Potpuno otklanjanje uzroka kvarova je nemoguće, te se zbog toga u elektroenergetska postrojenja ugrađuju zaštitni uređaji sa zadaćom da otkriju i dojavu nastanak poremećaja, te brzo i selektivno izoliraju mjesto pogođeno kvarom od preostalog zdravog dijela elektroenergetskog sustava.“ Pravodobnim i selektivnim isključenjem postrojenja u kvaru sprječavaju se štetni utjecaji kvarova, od kojih su najvažniji:

- oštećenja postrojenja zbog dinamičkog djelovanja struja kvara
- oštećenja postrojenja zbog toplinskog djelovanja struja kvara
- oštećenja postrojenja zbog pojave električnog luka
- gubitak stabilnosti sustava
- prekidi napajanja krajnjem korisniku (neisporučena energija)

- opasnost za život i zdravlje ljudi.

Zadaća zaštitnih uređaja elektroenergetskog sustava su slijedeće:

- otkriti svaki poremećaj
- selektivno isključiti pogođeni element sustava (prostorno ograničiti poremećaj)
- brzo djelovati radi smanjivanja rizika nastanka štete (vremenski ograničiti poremećaj)
- ne smije djelovati kada je zaštitni uređaj u kvaru

Prema literaturi [1]: „Izvedba ovih zaštitnih uređaja se mijenjala tijekom vremena. Prvotno su se ugrađivali elektromehanički releji, potom su se razvili statički releji (elektronički zaštitni uređaji s analognom obradom signala), dok se danas proizvode i ugrađuju numerički releji (elektronički zaštitni uređaji s digitalnom obradom signala).“

U ovom završnom radu biti će obrađeni niskonaponski prekidači i njihove zaštitne karakteristike. Kako bi prekidači pravodobno otkrili i reagirali na pojavu kvara važno ih je pravilno podesiti. Prekidači dolaze u raznim izvedbama, ovisno o proizvođaču. Razlike između prekidača ovise prvenstveno o nazivnom naponu, struji i frekvenciji. Uz prekidače koriste se i releji koji služe za davanje signala, tj. naredbe prekidaču da proradi. Da bi zaštita bila učinkovita potrebno je pravilno podesiti krivulje prorade za svaku zaštitu koja je prisutna na prekidaču. Pod podešenjem se podrazumijevaju postavke iznosa struje prorade i vremena u kojem će zaštita proraditi. Kod projektiranja zaštite potrebno je uzeti u obzir i dopuštenja odstupanja kod krivulja prorade. Također, bitno je uvijek zadovoljiti uvjete brzine, selektivnosti i pouzdanosti.

1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak ovog završnog rada je opisati LSI zaštitnu karakteristiku nisko-naponskih prekidača. Odabrati neki tip prekidača i nacrtati koristeći program EasyPower zaštitnu karakteristiku na jednostavnom primjeru mreža – trafo – kabel – trošilo.

2. PREKIDAČI

Električni prekidač strujnog kruga je sklopni uređaj s ručnim i automatskim upravljanjem koji se koristi za upravljanje i zaštitu sustava napajanja. Budući da suvremeni sustav napajanja radi s velikim strujama, potrebno je posvetiti posebnu pozornost prilikom projektiranja prekidača tako da može sigurno prekinuti električni luk koji nastaje kada je prekidač zatvoren. Suvremeni energetska sustav nosi se s velikom elektroenergetskom mrežom i velikim brojem pripadajućih električnih uređaja. Tijekom kvara kratkog spoja ili drugog električnog kvara (kao što je kvar kabela za napajanje), velika struja kvara teći će kroz ovu opremu kao i kroz sam sustav napajanja. Ova struja može trajno oštetiti opremu i mrežu. Kako bi se zaštitili ovi uređaji i elektroenergetska mreža, zaostalu struju treba ukloniti iz sustava što je prije moguće. I ovdje se sustav nakon otklanjanja greške mora što prije vratiti u normalno radno stanje kako bi se prihvatna mjesta pouzdano i kvalitetno opskrbljivala električnom energijom. Osim toga, za pravilno upravljanje sustavom napajanja potrebno je izvršiti različite sklopne operacije. Stoga, za pravodobno isključivanje i ponovno uključivanje različitih dijelova elektroenergetske mreže radi zaštite i upravljanja, moraju postojati neki posebni tipovi sklopnih uređaja koji mogu sigurno raditi u uvjetima jake struje. Tijekom prekida struje, veliki luk bi se pojavio između kontakata prekidača, stoga treba paziti da se ti lukovi sigurno ugase u prekidaču. Prekidač je poseban uređaj koji obavlja sve potrebne komutacijske operacije tijekom trenutnih stanja. Prekidač se uglavnom sastoji od fiksnih i pokretnih kontakata. U normalnom „uključenom“ stanju prekidača, ova dva kontakta su fizički povezana zbog mehaničkog pritiska koji se vrši na pokretne kontakte. U radnom mehanizmu prekidača nalazi se niz pohranjene potencijalne energije koja se oslobađa kada se prekidaču signalizira uključenje. Potencijalna energija može se pohraniti u sklopku na više načina, kao što je deformacija metalne opruge, komprimirani zrak ili hidraulični tlak. Međutim, bez obzira na izvor potencijalne energije, ona se mora osloboditi tijekom rada. Oslobađanje potencijalne energije uzrokuje brzo klizanje pokretnog kontakta. Svi prekidači imaju radne zavojnice (zavojnicu za isključivanje i zavojnicu za zatvaranje) kada se te zavojnice napajaju promjenjivim impulsom, klip u njima se pomiče. Ovaj klip zavojnice obično je pričvršćen na pogonski mehanizam prekidača, koji oslobađa mehanički pohranjenu potencijalnu energiju u mehanizmu prekidača u obliku kinetičke energije, uzrokujući pomicanje pokretnog kontakta, dok su ti pokretni kontakti mehanički pričvršćeni sklopom poluge prekidača na pogonski mehanizam. Nakon ciklusa

rada prekidača, sva pohranjena energija se oslobađa i tako se potencijalna energija ponovno pohranjuje u pogonskom mehanizmu prekidača pomoću opružnog motora, zračnog kompresora ili na neki drugi način. Prekidač mora nositi veliku nazivnu snagu ili snagu kvara. Zbog ove velike snage, uvijek postoji opasno veliki luk između pokretnih i fiksnih kontakata tijekom rada prekidača. Luk u prekidaču može se sigurno ugasiti ako podesivi napon između energetskih kontakata prekidača brzo raste pri svakom prelasku izmjenične struje u nulu. Dielektrična čvrstoća medija između kontakata može se povećati na različite načine, kao npr. komprimiranje ioniziranog lučnog medija (kompresija ubrzava proces deionizacije medija), hlađenjem lučnog medija (hlađenje povećava otpor putanje luka) ili zamjena ioniziranog lučnog medija sa svježim plinovima. Stoga bi neki procesi gašenja luka trebali biti uključeni u rad prekidača. Iako prekidači obavljaju svoju funkciju neovisno i bez nadzora, postoje i prekidači s daljinskim upravljanjem kojima se po potrebi može upravljati na zahtjev na daljinu. [2]

2.1. Vrste prekidača

Prema različitim kriterijima postoje različite vrste prekidača. Prema mediju koji služi za gašenje električnog luka prekidače možemo podijeliti na sljedeći način:

- 1) uljni prekidači
- 2) zračni prekidači
- 3) SF₆ prekidači
- 4) vakuumski prekidači.

Prema svrsi prekidači mogu biti:

- za vanjsku upotrebu
- za unutarnju upotrebu.

Prema radnom mehanizmu prekidači se mogu podijeliti na sljedeći način:

- 1) prekidači s oprugom
- 2) zračni prekidači

3) uljni prekidači

Prema visini napona priključka razlikujemo:

- 1) visokonaponske prekidače
- 2) srednjenaponske prekidače
- 3) niskonaponske prekidače

[2]

2.2. Električni luk

Električni luk je pojava električnog izboja između dviju elektroda u zraku ili razrijeđenome plinu pri čemu nastaje plazma uz prisustvo intenzivne svjetlosti i topline. U prirodi električni luk pojavljuje se u obliku munje. Pravilno kontroliran, električni luk može se upotrijebiti u industriji za:

- zavarivanje
- rezanje plazmom
- kao vrsta rasvjete.

S druge strane u elektroenergetici pojava električnog luka predstavlja opasnost za sigurnost i stabilnost elektroenergetskog sustava. Električni luk se pojavljuje prilikom kratkog spoja kada dolazi do pojave višestruko većih struja od nazivnih. [3]

2.3. Osnove teorije prekidanja struje

U većini slučajeva prekidači se služe mehaničkom silom prilikom prekidanja strujnog kruga (razdvajanje kontakata). Prilikom razdvajanja dolazi do pojave električnog luka. Bitno je razlikovati gašenje električnog luka pri istosmjernim i izmjeničnim strujama. Električni luk u izmjeničnim krugovima osigurava da se struja ne prekine trenutno, čime bi se izazvali veliki prenaponi u krugu, nego je omogućeni da se luk sam gasi pri prolasku sinusoida kroz nulu. Međutim, jako je bitno osigurati da ne dođe do ponovne pojave električnog luka. [4]

2.4. Svojstva prekidača

Prema literaturi [1]: „Svojstva prekidača slijede iz četiri temeljne činjenice:

- prekidač mora otkriti poremećaj
- poremećaj se prostorno ograničava (treba isključiti samo pogođeni element sustava)
- poremećaj se vremenski ograničava (šteta koja nastaje na pogođenom elementu je veća što kvar dulje traje)
- prekidači djeluju neispravno zbog kvarova u njima samima“

Prema literaturi [1]: „Prema tome svojstva prekidača su: osjetljivost, selektivnost, brzina djelovanja, pouzdanost, rezerva, fleksibilnost primjene, ekonomičnost. Prekidač je osjetljiv kada još sigurno djeluje pri očekivanoj najmanjoj vrijednosti mjerne veličine. Prekidač selektivno djeluje ukoliko isključi kvar samo na upravo pogođenom elementu mreže. To znači da prekidač ne smije isključiti kvar na susjednim elementima elektroenergetskog sustava. Selektivnost zaštite osigurava se izvedbom ili vremenskim stupnjevanjem. Prekidač je brz ako mu je vrijeme djelovanja kraće od 100 ms. Prekidač je pouzdan ako mu je pouzdanost veća od pouzdanosti bilo kojeg uređaja ili dijela postrojenja u štíćenom području. Prekidač djeluje rezervno kada isključi kvar na susjednom elementu elektroenergetskog sustava čiji prekidač nije djelovao iz bilo kojeg razloga. Prilagodljivost primjene je mogućnost ugradnje prekidača na bilo koje mjesto, za zaštitu istovrsnog uređaja, u elektroenergetskom sustavu. Ekonomičnost primjene ovisi o objektu koji zaštita štiti. Uobičajena vrijednost sustava zaštite je 2 do 5 % vrijednosti štíćenog objekta.“



Slika 2.1. Primjer NN prekidača – Končar [5]

3. NISKONAPONSKI KOMPAKTNI PREKIDAČI

3.1. Schneider – MasterPact NT i NW

Tijekom godina, drugi veliki proizvođači pokušavali su držati korak razvoj proizvoda koji uključuju najinovativnije značajke MasterPact-a, uključujući načelo lomljenja, modularni dizajn i upotrebu kompozitnih materijala. Osim tradicionalnih značajki prekidača (mogućnost izvlačenja, selektivnost i malo održavanja), MasterPact NT i NW rasponi nude ugrađene komunikacijske i mjerne funkcije, sve u optimiziranim veličinama okvira. MasterPact NT i NW uključuju najnoviju tehnologiju za poboljšanje performansi i sigurnosti. [5]



Slika 3.1. Primjer Schneider MasterPact prekidača [5]

MasterPact zadovoljava potrebe svih vrsta niskonaponske električne distribucijske mreže. Ovi prekidači mogu se koristiti za bilo koju potrebu:

- 1000 V za aplikacije u rudarstvu

- Mreže istosmjerne struje
- Zaštita od korozije
- Prekidači i uzemljivači
- Oprema za automatsko prebacivanje prijenosa (ATSE) za hitne sustave napajanja
- Primjene visoke električne izdržljivosti: MasterPact NT H2 je visokih performansi uređaj koji nudi visoku prekidnu sposobnost (I_{CU} : 50 kA/480 V) i visoku razinu selektivnosti, sve u malom volumenu

MasterPact UR je niskonaponski automatski prekidač s ultra brzim odzivom. Njegova stopa otkrivanja grešaka i brzina reakcije znači da će zaustaviti kratki spoj od razvijanja. Kao rezultat toga, ovo je ključna komponenta u instalacijama vrlo velike snage opremljenim brojnim izvorima snage povezanih paralelno. MasterPact UR doista dolazi do izražaja kada struje kratkog spoja mogu doseći vrlo visoke razine i kada je kontinuitet usluge neophodan: off-shore instalacije, tvornice cementa, petrokemijska industrija. Također je posebno prikladan za električne instalacije na trgovačkim brodovima. [5]

Asortiman električnih prekidača uključuje podjelu na dvije kategorije:

- MasterPact NT (od 630 do 1600 A)
- MasterPact NW (od 800 do 4000 A i od 4000 A do 6300 A)

Dijele se i na 5 razina performansi:

1. N1 – za standardne primjene s niskim razinama struja kratkog spoja
2. H1 – za industrije s visokim razinama struja kratkog spoja ili instalacije s dva paralelno spojena transformatora
3. H2 – visokih performansi za tešku industriju gdje može doći do vrlo visokih struja kratkog spoja
4. H3 – za dolazne uređaje koji opskrbljuju kritične aplikacije koje zahtijevaju i visoke performanse i visoku razinu selektivnosti
5. L1 – za visoku sposobnost ograničavanja struje i razinu selektivnosti (37 kA); namijenjen za zaštitu kablskog tipa napajanja ili za podizanje razine performansi razvodne ploče kada se poveća nazivna snaga transformatora

[5]

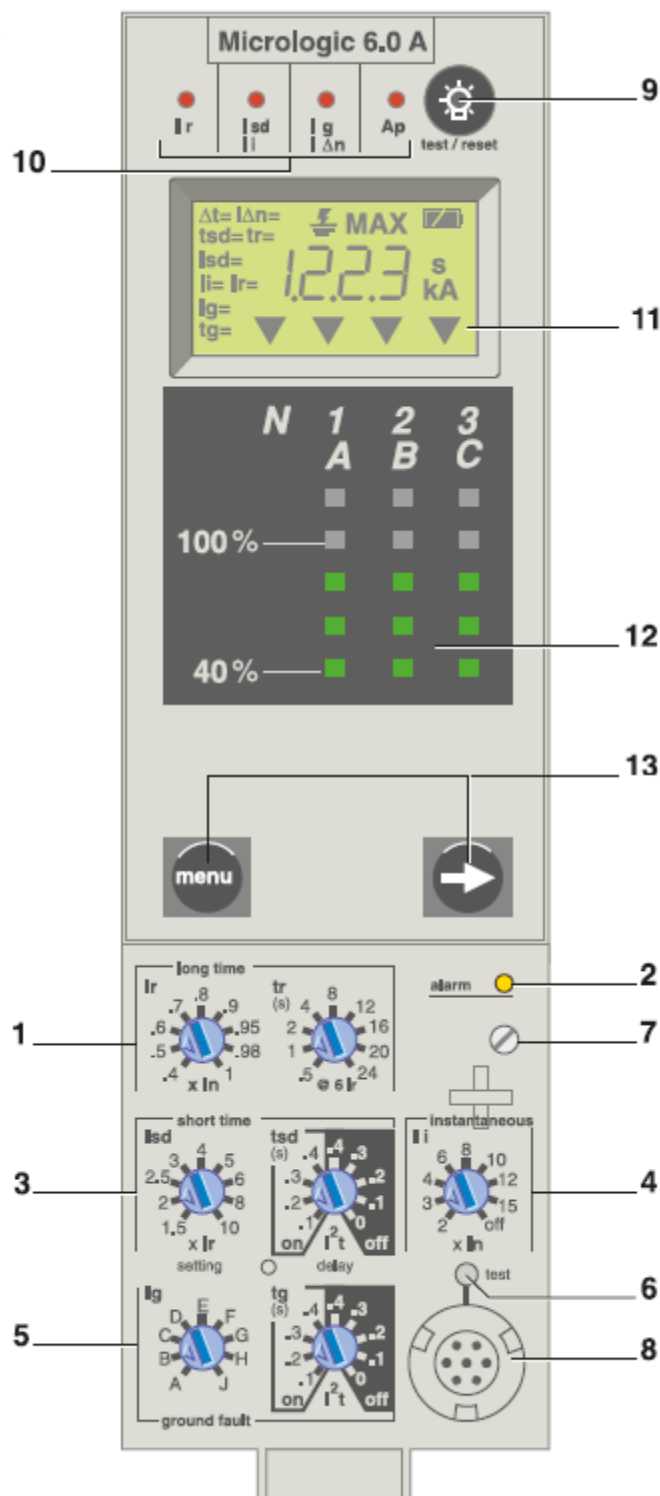


Slika 3.2. MasterPact NT 630 do 1600 A ; MasterPact NW 800 do 4000 A ; MasterPact NW 4000 do 6300 A [5]

MasterPact NT predstavlja inovaciju nudeći sve performanse strujnog prekidača u iznimno malom volumenu. Razmak stupova od 70 mm znači da se trofazni izvlačivi prekidač može ugraditi u dio razvodne ploče širine 400 mm i dubine 400 mm. Lučni kanali upijaju energiju koja se oslobađa tijekom loma, čime se ograničavaju naprezanja na instalaciju. Oni filtriraju i hlade proizvedene plinove, smanjujući učinke vidljive izvana. [5]

3.1.1. MicroLogic A „ammeter“

Upravljačke jedinice MicroLogic A štite strujne krugove. Također, nude mjerenja, prikaz, komunikaciju i maksimetre struje. Verzija 6 pruža zaštitu od zemljospoja, verzija 7 pruža zaštitu od odvoda struje. Upravljačke jedinice MicroLogic A mjere stvarnu (rms) vrijednost struja. Omogućuju kontinuirana mjerenja struje od 0.2 do $1.2 \cdot I_n$ i točna su unutar 1.5% (uključujući senzore). Digitalni LCD zaslon kontinuirano prikazuje najopterećeniju fazu (I_{max}) ili prikazuje I_1 , I_2 , I_3 , I_n , I_g , $I_{\Delta n}$, pohranjenu struju (maksimetar) i vrijednost postavki uzastopnim pritiskom navigacijske tipke. Dodatno vanjsko napajanje omogućuje prikaz struja $<20\% I_n$. Ispod $0.1 I_n$, mjerenja nisu značajna. Između 0.1 i $0.2 I_n$, točnost se linearno mijenja od 4% do 1.5%. Zaštitni pragovi i odgode postavljaju se pomoću kotačića za podešavanje. [5]

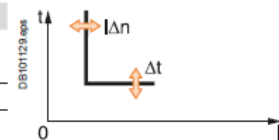
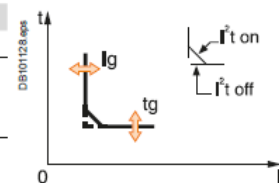
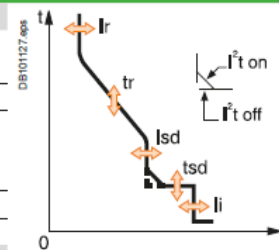


- 1 – dugotrajni prag i odgoda okidanja
- 2 – alarm preopterećenja (LED) na 1.125 Ir
- 3 – kratkotrajna odgoda uključivanja i okidanja
- 4 – trenutno preuzimanje
- 5 – odgoda propuštanja ili kvara zemljospoja
- 6 – gumb za testiranje curenja uzemljenja ili kvara zemljospoja
- 7 – vijak
- 8 – ispitni konektor
- 9 – test LED-ica, resetiranje i test baterije
- 10 – indikacija uzroka okidanja
- 11 – digitalni zaslon
- 12 – trofazni bargraf i ampermetar

Slika 3.3. MicroLogic 6.0 A upravljačka jedinica [5]



Protection		MicroLogic 5.0 / 6.0 / 7.0 A										
Long time		ANSI Code 49	MicroLogic 5.0 / 6.0 / 7.0 A									
Current setting (A)	$I_r = I_n \times \dots$		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	0.98	1	
Tripping between 1.05 and 1.20 x I_r		Other ranges or disable by changing long-time rating plug										
Time setting	t_r (s)		0.5	1	2	4	8	12	16	20	24	
Time delay (s)	Accuracy: 0 to -30 %	$1.5 \times I_r$	12.5	25	50	100	200	300	400	500	600	
	Accuracy: 0 to -20 %	$6 \times I_r$	0.7 ⁽¹⁾	1	2	4	8	12	16	20	24	
	Accuracy: 0 to -20 %	$7.2 \times I_r$	0.7 ⁽²⁾	0.69	1.38	2.7	5.5	8.3	11	13.8	16.6	
Thermal memory		20 minutes before and after tripping										
(1) 0 to -40 % - (2) 0 to -60 %												
Short time		ANSI Code 51										
Pick-up (A)	$I_{sd} = I_r \times \dots$		1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	
Accuracy: ± 10 %												
Time setting t_{sd} (s)	Settings	I^2t Off	0	0.1	0.2	0.3	0.4					
		I^2t On	-	0.1	0.2	0.3	0.4					
Time delay (ms) at 10 x I_r	t_{sd} (max resettable time)		20	80	140	230	350					
		t_{sd} (max break time)	80	140	200	320	500					
Instantaneous		ANSI Code 50										
Pick-up (A)	$I_i = I_n \times \dots$		2	3	4	6	8	10	12	15	off	
Accuracy: ± 10 %												
Time delay		Max resettable time: 20 ms Max break time: 50 ms										
Earth fault		ANSI Code 51N	MicroLogic 6.0 A									
Pick-up (A)	$I_g = I_n \times \dots$		A	B	C	D	E	F	G	H	J	
Accuracy: ± 10 %	$I_n \leq 400$ A		0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
	400 A < I_n < 1250 A		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
	$I_n \geq 1250$ A		500	640	720	800	880	960	1040	1120	1200	
Time setting t_g (s)	Settings	I^2t Off	0	0.1	0.2	0.3	0.4					
		I^2t On	-	0.1	0.2	0.3	0.4					
Time delay (ms)	t_g (max resettable time)		20	80	140	230	350					
		t_g (max break time)	80	140	200	320	500					
Residual earth leakage (Vigi)		ANSI Code 51G	MicroLogic 7.0 A									
Sensitivity (A)	$I_{\Delta n}$		0.5	1	2	3	5	7	10	20	30	
Accuracy: 0 to -20 %												
Time delay Δt (ms)	Settings		60	140	230	350	800					
		Δt (max resettable time)	60	140	230	350	800					
		Δt (max break time)	140	200	320	500	1000					



Ammeter		MicroLogic 2.0 / 5.0 / 6.0 / 7.0 A		
Type of measurements		Range	Accuracy	
Instantaneous currents	I_1, I_2, I_3, I_N	$0.2 \times I_n$ to $1.2 \times I_n$	± 1.5 %	
	I_g (6.0 A)	$0.2 \times I_n$ to I_n	± 10 %	
	$I_{\Delta n}$ (7.0 A)	0 to 30 A	± 1.5 %	
Current maximeters of	I_1, I_2, I_3, I_N	$0.2 \times I_n$ to $1.2 \times I_n$	± 1.5 %	

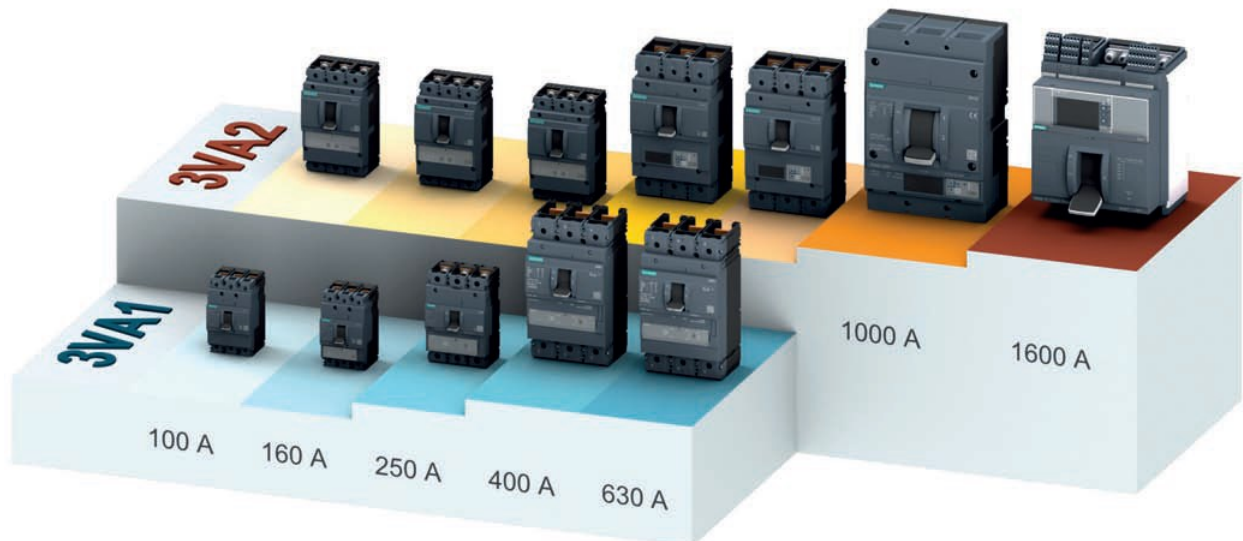
Slika 3.4. Tablica specifikacija MicroLogic upravljačke jedinice [5]

3.2. SIEMENS – 3VA prekidači u lijevanom kućištu

Prekidači 3VA u lijevanom kućištu mogu se koristiti u raznim područjima gdje obavljaju različite zadaće zaštite. Prvenstveno su dizajnirani za sljedeće primjene:

- podrazvodni sustavi,
- industrijski distribucijski sustavi,
- sustavi finalne distribucije,
- izolacija na licu mjesta,
- upotreba u strojevima.

3VA prekidači u lijevanom kućištu postavljaju nove standarde u fleksibilnosti i raznolikosti dostupnog modularnog pribora. Standardizirani pribor prikladan za korištenje s nekoliko veličina prekidača do 1000 A zajedno s brзом i jednostavnom instalacijom pomaže u smanjenju troškova i uštedi vremena. Integrirani 3VA portfolio sastoji se od dva različita niza prekidača u lijevanom kućištu u dvanaest veličina okvira.



Slika 3.7. Modeli 3VA prekidača u lijevanom kućištu [6]

Automatski prekidači 3VA1 u lijevanom kućištu dostupni su u 1 do 4-polnim izvedbama (3VA1 160 A) ili u 3 i 4-polnim izvedbama (3VA1 100 A do 630 A). 3VA2 prekidači u lijevanom kućištu

dostupni su u 3 i 4-polnim izvedbama. Prekidači su prikladni za nazivne struje u rasponu od 16 A do 1600 A i nazivne napone do 690 V AC, ovisno o rasponu i veličini okvira. [6]

3.2.1. 3VA1 prekidači u lijevanom kućištu

3VA1 prekidači u lijevanom kućištu pouzdano obavljaju sve zadatke potrebne za zaštitu vodova. Ključne karakteristike ovih prekidača su:

- Kompaktan dizajn
- 1 i 2-polne izvedbe veličine 160 A; 3 i 4-polne verzije u veličinama 100 A, 160 A, 250 A, 400 A i 630 A
- Isključna moć od 16 kA...70 kA pri 415 V ili 110 kA, (u veličinama 400 A i 630 A), 3-polni ili 4-polni prekidači i 36 kA pri 240 V, 1-polni prekidači (ovisno o veličini)
- Fiksno montirana, plug-in verzija
- Termalno-magnetske okidačke jedinice
- AC/DC aplikacije
- Nema smanjenja do +50 °C
- Modularni unutarnji dodaci koji se lako postavljaju s različitim funkcijama
- Jedinствена platforma za dodatnu opremu na svim 3VA prekidačima u lijevanom kućištu

Automatski prekidači 3VA1 u lijevanom kućištu imaju termalno-magnetski okidač sa zaštitom od preopterećenja i kratkog spoja. Razvijen je za provedbu ekonomičnih, troškovno učinkovitih instalacija do 630 A. Pogodan je za korištenje u trofaznim mrežama, mrežama izmjenične struje, aplikacijama do 400 Hz i s istosmjernim strujama. [6]

3.2.2. 3VA2 prekidači u lijevanom kućištu

3VA2 sklopke u lijevanom kućištu pouzdano obavljaju sve zadatke povezane sa zaštitom vodova i generatora. Ovaj model je dizajniran za primjene sa zahtjevnijim zadacima:

- Povećana prekidna sposobnost
- Izvrsna selektivna zaštita
- Integrirana funkcija mjerenja
- Spajanje na komunikacijski sustav sabirnice

Ključne karakteristike ovih prekidača su:

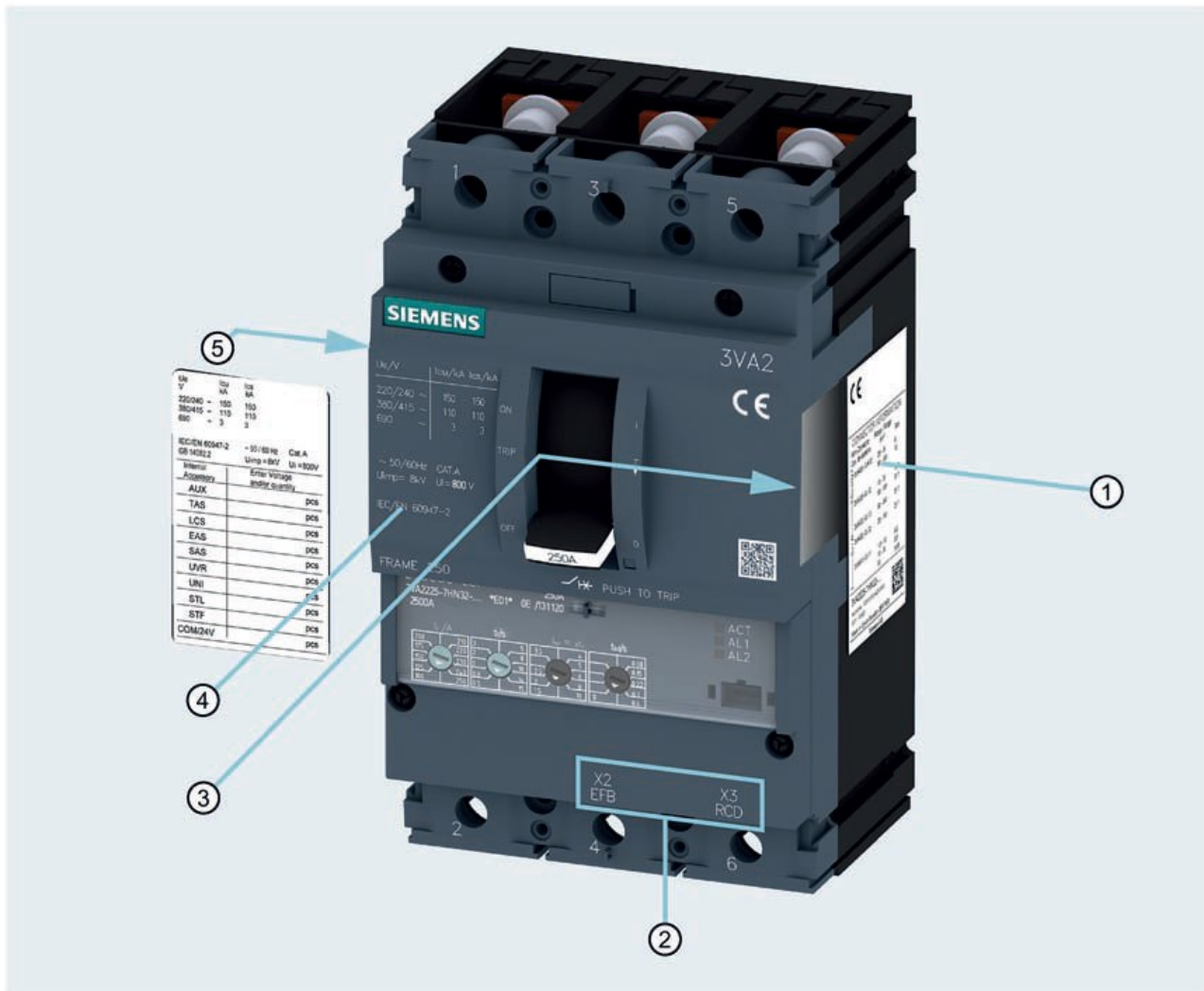
- Kompaktne dimenzije
- 3 i 4-polne verzije
- Četiri klase prekidne moći od 55 kA ... 150 kA (na 415 V)
- Fiksna montaža; plug-in tehnologija
- Ovisno o veličini: selektivno okidanje pri nazivnoj radnoj strujnoj razlici 1:2.5 ili s ELISA 1 okidačkim jedinicama :1.6
- Elektroničke okidačke jedinice
- Mogućnost komunikacije (ETUs 5-serija i ETUs 8-serija)
- AC aplikacije
- Nema smanjenja do +50 °C
- Modularni unutarnji dodaci koji se lako postavljaju s različitim funkcijama
- Jedinstvena dodatna platforma za sve prekidače strujnog kruga u lijevanom kućištu od 3VA do 1000 A
- Elektroničke okidačke jedinice (ETU) s različitim vrijednostima postavki

Senzor struje 3VA2 prekidača u lijevanom kućištu sastoji se od transformatora sa željeznom jezgrom za unutarnje napajanje i Rogovskijevog svitka za precizno mjerenje struje. Svaki se transformator može u skladu s tim optimizirati za svoj specifični zadatak. Zahvaljujući visokoj točnosti mjerenja struje, 3VA2 prekidač prikladan je za mjerenje snage/energije. Osim toga, moguće je finije podešavanje nadzora struje zemljo spoja. Elektroničke okidačke jedinice (ETU) pružaju sljedeće zaštitne funkcije:

- Zaštita od preopterećenja L („L“ – dugotrajna odgoda) podesiva u koracima od 40% do 100% nazivne radne struje prekidača u lijevanom kućištu
- Kratkotrajna zaštita od kratkog spoja S („S“ – kratkotrajna odgoda) za vremenski selektivni odgovor u slučaju kratkog spoja

- Trenutna zaštita od kratkog spoja I („I“ – trenutna)
- Zaštita neutralnog vodiča od preopterećenja i kratkog spoja („N“ – neutralni)
- Zaštita od zaostalih struja prema zemlji („G“ – zemljo spoj)

Svaki 3VA prekidač u lijevanom kućištu ima naljepnice koje prikazuju sve važne tehničke podatke, što omogućuje jedinstvenu identifikaciju:



Slika 3.8. 3VA prekidač u lijevanom kućištu [6]

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| ① Oznaka s informacijama o vezi | ④ Ključni električni podaci |
| ② Oznake ETU priključka | ⑤ Oznaka unutarnjeg pribora |

③ Umetak ljepljive naljepnice (u odjeljku za pribor)

Sljedeće informacije prikazane su na prednjoj strani prekidača:



Slika 3.9. Prednja strana 3VA prekidača [6]

① Oznaka prekidača

⑦ Verzija proizvoda

② Odobrenja

⑧ Broj artikla

③ Nazivna radna struja

⑨ Vrsta putne jedinice

④ Upravitelj znanja

⑩ Klasa veličine i prekidne sposobnosti

⑤ Nazivna radna struja

⑪ Ključni električni podaci

⑥ Datum proizvodnje

Naljepnica s ključnim električnim podacima ① sadrži sljedeće podatke:

U_e/V	I_{cu}/kA	I_{cs}/kA
220/240 ~	150	150
380/415 ~	110	110
690 ~	3	3
250 =		

~50/60Hz	CAT.A
$U_{imp}= 8kV$	$U_i= 800V$

IEC/EN 60947-2
GB 140482 / 50Hz

Slika 3.10. Naljepnica na 3VA prekidaču [6]

① IEC vrijednosti prekidne moći pri različitim naponima

③ Podaci o izolaciji

② Frekvencija, kategorija korištenja

④ Podržani standardi

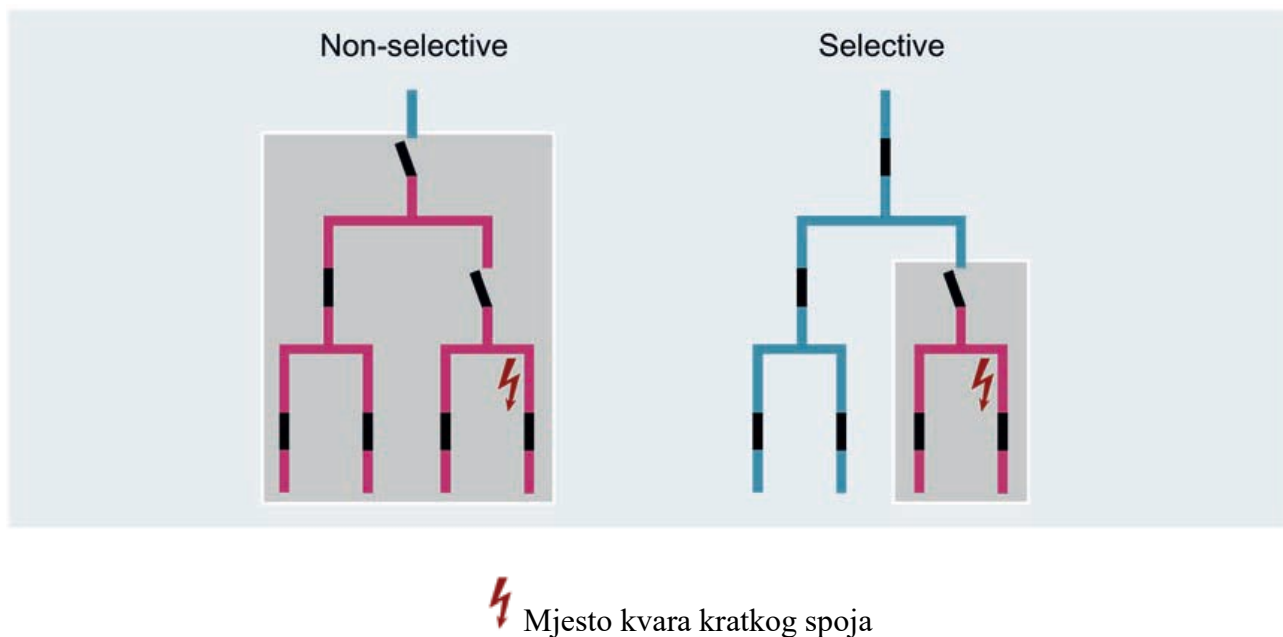
[6]

3.2.3. Strujno ograničenje

„Strujno ograničenje“ znači da je vršna vrijednost očekivane impulsne struje kratkog spoja i_p ograničena na manju propuštenu struju i_D . Kompaktan dizajn prekidača omogućen je njihovim izvrsnim mogućnostima ograničenja struje. U slučaju kratkog spoja, prekidač u lijevanom kućištu značajno smanjuje veličinu propuštenih struja, tj. smanjuje opterećenje koje dolazi od opreme (manje toplinsko opterećenje, manje dinamičke sile). Razina propuštene energije također je znatno smanjena. [6]

3.2.4. Selektivnost

Preklopni uređaji spojeni u seriju, npr. prekidači i osigurači u lijevanom kućištu rade zajedno kako bi osigurali stupnjevano okidanje svih sklopnih uređaja. Najbliži, uzvodni sklopni uređaj prije mjesta kratkog spoja mora se isključiti. Ostali sklopni uređaji na istom strujnom pogonu ne okidaju se. Svrha selektivnosti je minimizirati učinke kvara u smislu njegovog trajanja i područja zahvaćenog kvarom. Selektivnost se postiže kada se prekidači međusobno usklađuju pomoću odabira, konfiguriranja i postavki isključivanja na takav način da se, u slučaju kvara, aktivira samo prekidač koji je najbliži mjestu kvara.



Slika 3.11. Primjer selektivnosti preklopnih uređaja [6]

Na selektivno ponašanje prekidača u lijevanom kućištu uglavnom utječu sljedeći čimbenici:

- Postavke vrijednosti okidanja okidačke jedinice
- Vremena okidanja i prekida
- Vrijednosti prolazne struje
- Načini uključivanja odgovarajućih prekidača (nulti strujni prekidač, ograničivač struje)

Selektivno ponašanje prekidača može se tehnički implementirati različitim konceptima selektivnosti, a neka od njih su:

1. Strujna selektivnost

Selektivnost se može izračunati u području preopterećenja usporedbom karakteristika vrijeme/struja. U području kratkog spoja ova usporedba dovodi do preniskih vrijednosti. Razlog tome je što se okidač ponaša drugačije u slučaju struja kratkog spoja u usporedbi sa svojim dugotrajnim ponašanjem, npr. u slučaju preopterećenja. Ako se struje kratkog spoja dovoljno razlikuju na mjestima ugradnje dvaju prekidača u lijevanom kućištu, trenutni okidači kratkog spoja mogu se normalno postaviti tako da ako do kratkog spoja dođe iza prekidača ispod strujnog kruga, aktivira se samo ovaj prekidač nizvodno. Ako su struje kratkog spoja približno jednake na mjestima ugradnje prekidača s lijevanim kućištem, stupnjevanje struja okidanja okidača kratkog spoja omogućuje selektivnost samo do određene struje kratkog spoja.

2. Vremenska selektivnost

Selektivnost se može postići vremenskom selektivnošću do graničnih vrijednosti trenutnih okidača kratkog spoja. Da bi se to postiglo, gornji prekidač zahtijeva odgođene okidače kratkog spoja, tako da će u slučaju kvara samo nizvodni prekidač odspojiti dio električne instalacije zahvaćen kvarom od napajanja. I kašnjenja okidanja i struje okidanja okidača kratkog spoja su stupnjevani.

3. Potpuna selektivnost

Postoji sve veći zahtjev za potpunom selektivnošću kako bi se očuvao kontinuitet usluge distribucijskih sustava električne energije. Kaže se da je elektroenergetski sustav potpuno selektivan ako se samo zaštitni uređaj koji se nalazi uzvodno od mjesta kvara, gledano u smjeru toka energije, tj. od dovoda do opterećenja, aktivira u slučaju kvara. Potpuna selektivnost uvijek se odnosi na struju kratkog spoja koja se javlja na mjestu instalacije.

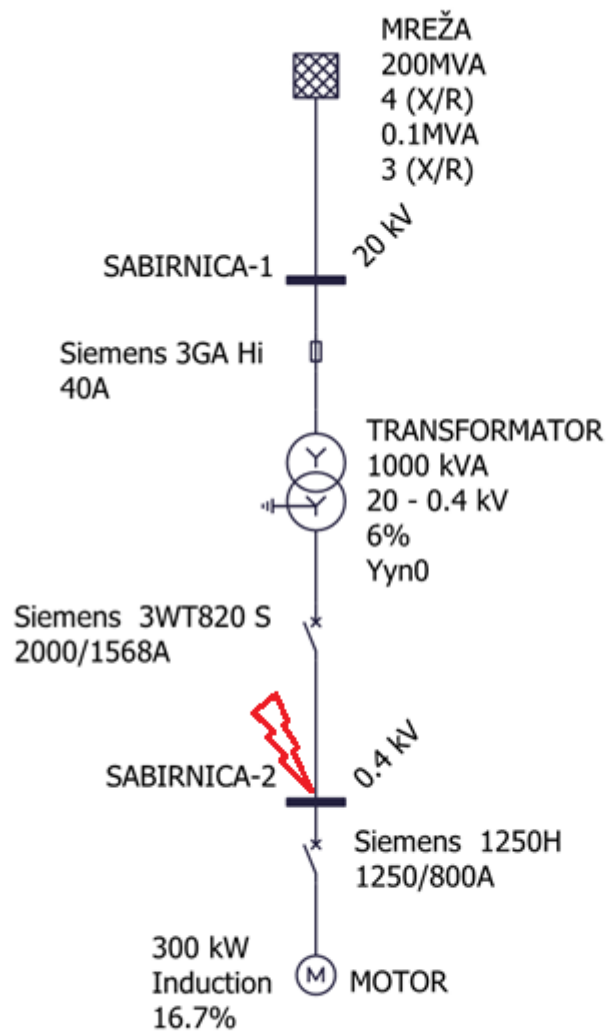
4. Djelomična selektivnost

Za sustav se kaže da je djelomično selektivan kada selektivno isključivanje kao odgovor na grešku sustava nije osigurano do najveće krajnje prekidne moći kratkog spoja I_{CU} rasklopnih uređaja. Selektivnost je tada osigurana samo do određene vrijednosti struje I_S (krajnja vrijednost selektivnosti). Ako je izračunata očekivana struja kratkog spoja na mjestu ugradnje nizvodnog zaštitnog uređaja niža od konačne vrijednosti selektivnosti navedene za sklop sklopnog uređaja, tada je još uvijek moguće sustav opisati kao potpuno selektivan.

[6]

4. PRAKTIČNI DIO ZAVRŠNOG RADA

Praktični dio rada rađen je u programskom paketu EasyPower 10.6.1.8045. EasyPower je programski alat koji omogućuje provedbu analize tokova snage, kratkih spojeva, koordinacije zaštite, utjecaja harmonika i stabilnosti. Na slici 4.1. je prikazana shema jednostavnog spoja mreže, 2 sabirnice, transformatora, motora i 3 prekidača na kojoj je urađena simulacija kratkog spoja i koordinacija zaštite.



Slika 4.1. Shema jednostavnog spoja mreža-trafo-motor iz programskog alata EasyPower [8]

Motor Data

Connection Information

ID Name: MOTOR Phase: 3PH
 To Bus: SABIRNICA-2 Base kV: 0.4 Conn: D Y YG

Model
 Individual
 Group

Specifications Short Circuit TCC Power Flow Motor Starting Harmonics Stability Reliability Location Comments Hyperlinks

Unit: Metric Power Type: NPS
 kv: 0.4 kW: 300 Sync RPM: 1500
 kVA = 402.037
 FLA: 580.29 PF: 0.82 Eff: 0.91
 Service Factor: 1.15 Demand Factor: 1 Load Class: Non-essential
 Quantity: 1

One-line Graphics
 With Adjustable Frequency Drive (AFD)
 Type: Induction

OK Cancel Help

Slika 4.2. Podaci motora iz programskog alata EasyPower [8]

Utility Data

Connection Information

ID Name: MREŽA Phase: 3PH
 To Bus: SABIRNICA-1 Base kV: 20 Service: 3PH-4W

Specifications Power Flow Harmonics Reliability Location Comments Hyperlinks

Utility kV: 20 Fault Duty Unit: MVA
 3 Phase Short Circuit MVA: 200 X/R: 4
 SLG Short Circuit MVA: 0.1 X0/R0: 3

OK Cancel Help

Slika 4.3. Podaci nadomjesne mreže iz programskog alata EasyPower [8]

Two Winding Transformer Data

Collected Data >

Connection Information

ID Name: TRANSFORMATOR Phase: 3PH Lock Auto-Sizing

From Bus: bus: SABIRNICA-1 Base kV: 20 Conn: D Y YN

To Bus: bus: SABIRNICA-2 Base kV: 0.4 Conn: D Y YN

Specifications Impedance TCC LTC Harmonics Stability Reliability Location Comments Hyperlinks

Standard: IEC Type: Oil Class: ONAN Temp: 65 Form: Core Shell

Winding Information

Rated kV: Tap kV: kVA Rating: 1000 kVA kVA O/L: Calculate

From: 20 To: 0.4

Design: (default)

OK Cancel Help

Slika 4.4. Podaci transformatora iz programskog alata EasyPower [8]

Fused Switch Data

Collected Data >

Connection Information

ID Name: FS-1 Open Closed Lock Auto-Sizing

On Bus: SABIRNICA-1 Phase: 3PH Lock Auto-Coordination

Base kV: 20

Connection Type: Feeder

Specifications Short Circuit Switch Mtr O/L Harmonics Stability Reliability Comments Hyperlinks

Mfr: Siemens Type: HRC [IEC] Style: 3GA Hi Find Style

Standard: IEC

One-line Graphics Fuse Only Fused Switch Fused Contactor

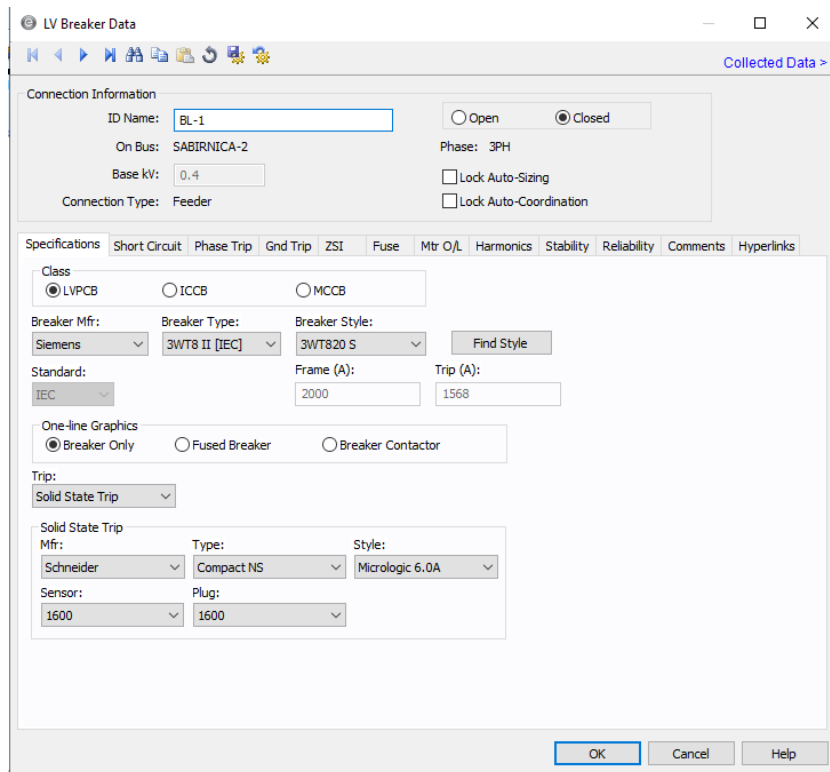
Plot Phase TCC Conn. Auto-Scale

Model: Fuse Links Library kV: 24 Size: 40A View Notes...

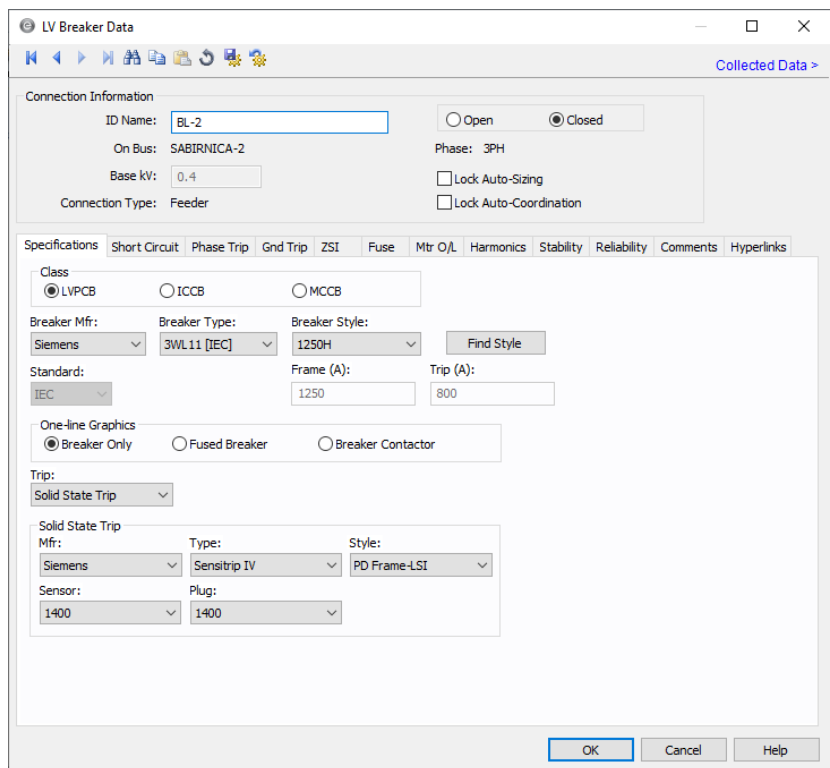
One-line Data Text Automatic (Based on 'Size') User Specified Field:

OK Cancel Help

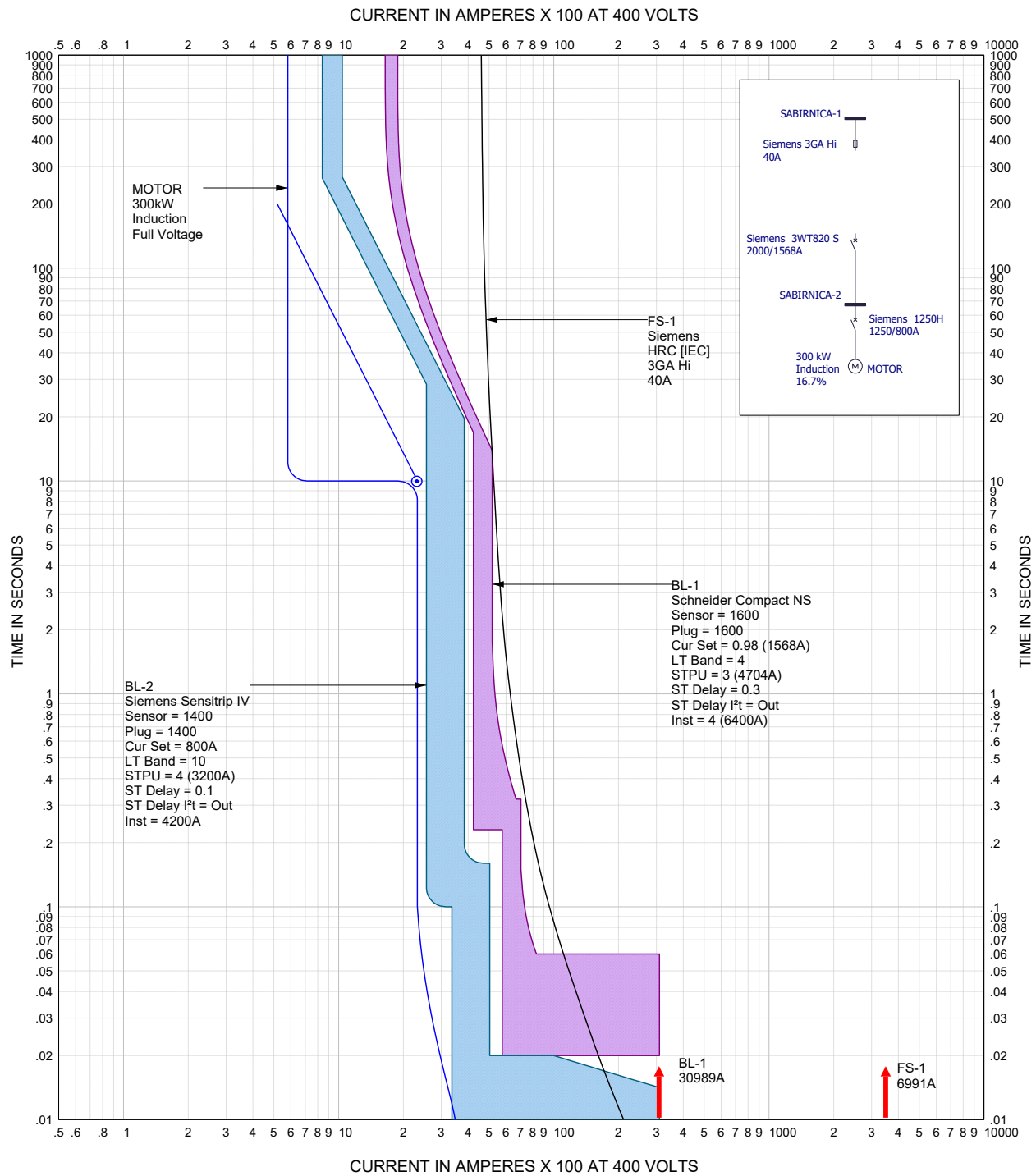
Slika 4.5. Podaci Siemens osigurača (ispod SABIRNICA-1) iz programskog alata EasyPower[8]



Slika 4.6. Podaci Schneider prekidača (iznad SABIRNICA-2) iz programskog alata EasyPower [8]



Slika 4.7. Podaci Siemens prekidača (ispod SABIRNICA-2) iz programskog alata EasyPower [8]



Slika 4.8. Krivulja prorade zaštite pri kratkom spoju u programskom alatu EasyPower [8]

Prilikom kratkog spoja na SABIRNICI-2 prvo se uključuje prekidač BL-2 (Siemens Sensitrip IV) ,zatim prekidač BL-1 (Schneider Compact NS) dok prekidač FS-1 (Siemens 3GA Hi) čini rezervnu zaštitu. Prekidači BL-2 i BL-1 će proraditi trenutačno, dok će prekidač FS-1 proraditi s kratkoročnim zakašnjenjem.

5. ZAKLJUČAK

Elektroenergetski sustav je pod stalnim rizikom od kvarova i opasnih pogonskih uvjeta zbog stohastičnosti rada elektroenergetskog sustava i degradacije izolacije elemenata sustava tijekom vremena. Zadatak relejne zaštite je minimiziranje posljedica neželjenih pojava u elementima sustava napajanja, tj. kontinuirano pratiti karakteristične veličine (električne ili druge) štice objekta te u slučaju kvara ili opasnog pogonskog stanja automatski poduzeti sve potrebne mjere kako bi se kvar izbjegao i posljedice neželjenog stanja svele na najmanju moguću mjeru. Kako bi se omogućio pouzdan i siguran rad elektroenergetskog sustava, potrebno je što brže identificirati element sustava, potrebno je što brže identificirati element sustava koji je u kvaru ili opasnom pogonskom stanju te ga izolirati od ostatka elektroenergetskog sustava. Sustav zaštite je skup svih uređaja o kojima ovisi djelovanje zaštitnog releja, a to su: mjerni transformatori ili pretvarači, rastavni uređaji, uređaji i pomoćni strujni krugovi istosmjernog ili izmjeničnog napona i drugi pomoćni uređaji. Niskonaponski prekidači sa sklopnim jedinicama nude izvrsnu mogućnost za prilagođavanje krivulja, kako vremena okidanja tako i oblika krivulja. Razlikujemo 3 vrste prorade: trenutnu, kratkoročnu i dugotrajnu proradu. Trenutačno okidanje označeno je veličinom struje kvara pri kojoj sklopka reagira bez odgode, tj. odmah. Kratka vremenska odgoda se koristi u slučaju prolaznog kvara, dok se duga vremenska odgoda koristi kao zaštita od preopterećenja. Kod samog podešavanja potrebno je voditi računa o selektivnosti zaštite i pravilnom odabiru skupa postavki pojedinih komponenata na kojima zaštita radi. Svaka od sklopnih funkcija može se jednostavno podesiti zahvaljujući unaprijed definiranim umnošcima nazivne struje.

6. LITERATURA

- [1] MARUŠIĆ, Ante; Zaštita elektroenergetskog sustava – dopunjeno izdanje; Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2006.
- [2]<https://www.electrical4u.com/electrical-circuit-breaker-operation-and-types-of-circuit-breaker/>
- [3] <https://www.techtarget.com/whatis/definition/electric-arc>
- [4] https://bib.irb.hr/datoteka/323001.Prekidanje_struje.pdf
- [5] „MasterPact NT and NW, Catalog 2020, LV air circuit breakers and switch-disconnectors“ – Schneider katalog
- [6] “3VA molded case circuit breakers with IEC-certificate“ – Siemens katalog
- [7] NIKOLOVSKI, Srete; Zaštita u elektroenergetskom sustavu; Osijek: Elektrotehnički fakultet; 2007.
- [8] EasyPower 10.6. ; EasyPower LLC 15862 SW 72nd Avenue, Suite 100, Portland OR 97224

7. SAŽETAK

U ovom završnom radu izrađena je simulacija u EasyPower programu za koordinaciju zaštite. Pri koordinaciji koristili su se niskonaponski prekidači SIEMENS i SCHNEIDER. U drugome poglavlju kratko je opisan rad prekidača te je dana podjela istih. Također, tijekom rada dan je uvid u osnovne pojmove i definicije vezane za električni luk i njegovo prekidanje. Treće poglavlje daje detaljniji uvid u neke od niskonaponskih prekidača i način na koji oni rade te njihove pripadajuće krivulje prorade. U četvrtom poglavlju objašnjena i opisana je simulacija te su dani rezultati iste.

Ključne riječi: niskonaponski prekidač, kratak spoj, isklopna jedinica, krivulja prorade, koordinacija.

Abstract

In this thesis, a simulation was created in the EasyPower program for protection coordination. SIEMENS and SCHNEIDER low-voltage switches were used for coordination. In the second chapter, the operation of switches is briefly described and their division is given. Also, during the work, an insight into the basic terms and definitions related to the electric arc and its breaking was given. The third chapter gives a more detailed insight into some of the low-voltage circuit breakers and how they work and their associated performance curves. In the fourth chapter, the simulation is explained and described, and its results are given.

Keywords: low-voltage switch, short circuit, switching unit, operating curve, coordination.

8. ŽIVOTOPIS

Tomislav Svalina rođen je 14. siječnja 1999. godine u Osijeku (HR). Osnovnu školu završio je u „OŠ J.A. Čolnća“ u Đakovu. Nakon završetka osnovne škole upisuje Prirodoslovno-matematičku gimnaziju u „Gimnazija A.G. Matoša“ u Đakovu. Srednju školu završava 2017.godine. Iste godine upisuje sveučilišni preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku kao redovni student. Na drugoj godini studija upisuje smjer elektroenergetika.