

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

ZAŠTITA SUSTAVA ISTOSMJERNIH NAPAJANJA U
ELEKTROENERGETSKIM POSTROJENJIMA

Rijeka, svibanj 2016.

Patrik Lukež
0069052414

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

ZAŠTITA SUSTAVA ISTOSMJERNIH NAPAJANJA U
ELEKTROENERGETSKIM POSTROJENJIMA

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Srđan Skok

Rijeka, svibanj 2016.

Patrik Lukež
0069052414

TEHNIČKI FAKULET

Povjerenstvo za završne ispite
prediplomskog stručnog studija elektrotehnike
Br.: 602-04/15-14/28
Rijeka, 06.03.2015.

Z A D A T A K
za završni rad

Pristupnik: Patrik Lukež

Matični broj:0069052414
Lokalni matični broj: 10800022

Naziv zadatka:

**ZAŠTITA SUSTAVA ISTOSMJERNIH NAPAJANJA U
ELEKTROENERGETSKIM POSTROJENJIMA**

Naziv zadatka na
engleskom jeziku:

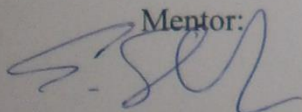
Protection of DC power supply in power system facilities

Sadržaj zadatka:

Opisati sustave za istosmjernih napajanja u elektroenergetskom postrojenjima. Opisati osnovne dijelove predmetnih sustava. Odrediti metodologiju izbora, pojedinih dijelova predmetnog sustava, te posebno opisati korištene zaštite i način njihovog projektiranja.

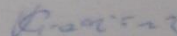
Zadano: 17.03.2015.

Mentor:



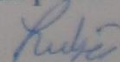
Izv. prof. dr. sc. Srđan Skok

Predsjednica Povjerenstva:



Izv. prof. dr. sc. Vera Gradišnik

Zadatak preuzeo dana: 17.03.2015.



(potpis pristupnika)

Dostaviti:

- Predsjednica Povjerenstva
- Mentor
- Djelovođa Povjerenstva

- Evidencija studija
- Pristupnik
- Arhiva Zavoda

Sukladno članku 9. pravilnika o završnom radu Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad u razdoblju od ožujka do svibnja 2016. Rad sam izradio prema zadatku povjerenstva za završne ispite stručnog studija elektrotehnike pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Srđana Skoka.

Patrik Lukež

Sadržaj:

1. UVOD	7
2. SUSTAVI ISTOSMJERNIH NAPAJANJA.....	9
2.1. Osnovni dijelovi sustava istosmjernog razvoda	11
2.1.1. Akumulatorska baterija	11
2.1.2. Ispravljač	14
2.1.3. Sklopna i rastavna oprema	15
2.1.4. Uređaji zaštite, mjerenja i signalizacije.....	15
2.1.5. Kabeli	16
3. ZAŠTITA SUSTAVA ISTOSMJERNIH NAPAJANJA	17
3.1. Uređaji zaštite	17
3.1.1. Osigurači	17
3.1.2. Prekidači.....	19
3.2. Selektivnost isklopa zaštitnih uređaja.....	25
3.2.1. Vremenska selektivnost.....	26
3.2.2. Zonska selektivnost	27
3.2.3. Strujna selektivnost	28
3.2.4. Energetska selektivnost i selektivno ograničenje.....	29
3.3. Projektiranje zaštite sustava istosmjernog napajanja.....	29
3.3.1. Struja kratkog spoja.....	30
4. Zaključak.....	32
5. LITERATURA	33
6. SAŽETAK	34

1. UVOD

Od pojave električne energije pa do danas, elektroenergetska postrojenja postala su jedna od najbitnijih postrojenja za čovječanstvo. Nekad, ljudi skeptični prema električnoj energiji u njezinim ranim stadijima razvoja smatrali su da je takav oblik energije veoma opasan i da neće nikada zaživjeti. Danas, nakon gotovo 200 godina razvoja, električna energija postala je osnovni izvor energije u industriji i kućanstvima. Budući da će tako ostati i u daljnjoj budućnosti, veoma se intenzivno radi na razvoju elektroenergetskih postrojenja te su ona od svoje pojave do danas postala vrlo kompleksna postrojenja koja uključuju proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije.

Prva elektrana izgrađena je 1868. godine u Engleskoj. Bila je to hidroelektrana za proizvodnju istosmjerne struje kojom se napajalo imanje te koristilo za rasvjetu, proizvodnju tople vode, grijanje, dizalo i uređaje za rad. U 70-tim godinama 18. stoljeća razvijen je generator dovoljne snage za industrijsku primjenu, da bi se 1881. godine u Engleskoj izgradila hidroelektrana za proizvodnju električne energije kojom se napajao gradić Godalming. Zbog određenih problema, nakon vrlo kratkog vremena električna energija u Godalming-u je odbačena.

1882. godine izgrađena je javna elektrana u New York-u te se ta godina smatra početkom elektrifikacije. Ta je elektrana koristila parni stroj za proizvodnju električne energije. Budući da je proizvodila istosmjernu struju, snaga i distribucija energije bili su veoma ograničeni.

1887. godine razvijen je prvi transformator te se proizvodnja električne energije započela rapidno širiti, ponajviše zbog razvoja izmjenične struje koja je ukinula mnoga ograničenja istosmjerne struje.

Današnje elektrane koriste mnogo izvora energije za pokretanje generatora električne energije te se one dijele na:

- Termoelektrane (ugljen, plin, tekuća goriva, nuklearno gorivo)
- Hidroelektrane (klasične i reverzibilne)
- Solarne elektrane (energija sunca)
- Vjetroelektrane (energija vjetra)
- Elektrane na valove (energija valova, plima-oseka)

Za rad elektroenergetskih postrojenja, od proizvodnje do distribucije električne energije potrošačima, nalazi se kompleksan sustav uređaja raznih namjena, a namjenjen nesmetanoj distribuciji električne energije potrošačima. Rad svih tih uređaja mora biti nadgledan (od strane čovjeka-operatera ili računala). Uređaj mora biti upravljan (bilo zbog promjena parametara ili radnih uvjeta) te međusobno komunicirati sa drugim uređajima koji su povezani određenom namjenom, odnosno zajedničkom svrhom. Za većinu sustava mjerenja, komunikacije i međusobne povezanosti sustava u elektroenergetskim postrojenjima koriste se sustavi istosmjernih napajanja. Uz to, sustavi istosmjernih napajanja opskrbljuju većinu tih uređaja energijom, a služe i za razna rezervna napajanja najbitnijih sustava u elektroenergetskim postrojenjima kako prilikom nepredviđenih ispada sustava nebi došlo do gubitka kontrole i većih materijalnih šteta, a posebice ugrožavanja života ljudi, kako na radnom mjestu, tako i ljudi koji se nalaze u neposrednoj blizini sustava elektroenergetskih postrojenja.

U ovom radu baviti ćemo se zaštitom sustava istosmjernih napajanja u elektroenergetskim postrojenjima. Biti će obuhvaćen opis sustava istosmjernih napajanja i opis pojedinih dijelova predmetnih sustava. Nadalje, biti će obuhvaćena metodologija izbora, opis korištene zaštite i način njihovog projektiranja.

2. SUSTAVI ISTOSMJERNIH NAPAJANJA

Sustavi istosmjernih napajanja imaju veoma važnu funkciju u današnjim elektroenergetskim postrojenjima. Osim napajanja samih uređaja (mjernih, zaštitnih, komunikacijskih), sustavi besprekidnog istosmjernog napajanja napajaju najbitnije elemente elektroenergetskih postrojenja koji imaju ulogu sprječavanja većih katastrofa prilikom bilo kakvih kvarova u samom postrojenju. Posebno je važno zato obratiti pozornost na kapacitet akumulatorske baterije te njezinu opterećenost, kako bi u izvanrednim situacijama imala kapacitet dovoljan za održavanje trošila sve do povratka postrojenja u normalni režim rada, ili pak dovoljno za sigurno gašenje postrojenja sa što manjim posljedicama.

Sustave istosmjernih napajanja najčešće možemo svrstati u nekoliko skupina gledajući izlazni napon:

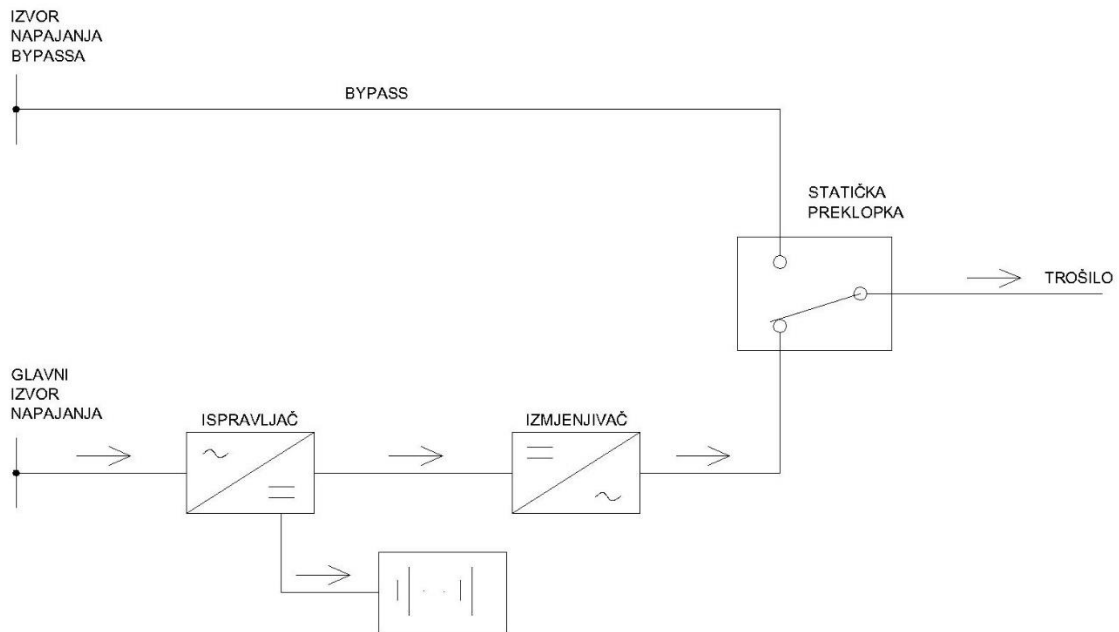
- 220V/110V (napajanje većine trošila)
- 48V (napajanje komunikacijske opreme)
- 24V (napajanje regulacijske opreme vođenja)

Kako bi se postigla maksimalna sigurnost sustava, sustavi koji za svoji rad zahtjevaju izmjenično napajanje, a od bitne su funkcije u zaštiti postrojenja, također su vezani na sustave istosmjernih napajanja. Za napajanje izmjeničnih trošila preko sustava istosmjernih napajanja koriste se tako zvani UPS-ovi (Uninterruptible Power Supply).

Glavni dijelovi UPS-a su:

- Izmjenjivač
- Ispravljajući
- Akumulatorska baterija
- Statička preklopka

UPS sustavi razlikuju se ovisno o broju i snazi potrošača priključenih na njih, a obično se njihove snage kreću u granicama između 250VA pa sve do 20 kVA. Izlazni izmjenični napon također se može razlikovati ovisno o potrebama potrošača, iako je najčešći izlazni napon 220/230 V frekvencije 50 Hz.



Slika 2.1. On-line UPS

Kod normalnog režima rada ispravljač puni akumulatorsku bateriju te dovodi napon do izmjenjivača preko kojeg se napajaju trošila. U slučaju ispada napona na glavnom izvoru napajanja isključuju se ispravljači, a izmjenjivaču se dovodi napon iz akumulatorske baterije koji tada napaja trošila.

Kao najbitniji dio UPS sustava nameće se akumulatorska baterija, koja može biti sama ili u kombinaciji sa dizelskim agregatom. U nekim slučajevima dizelski agregat može biti direktan izvor napajanja te raditi bez prisustva baterije.

2.1. Osnovni dijelovi sustava istosmjernog razvoda

Prilikom projektiranja sustava istosmjernog napajanja potrebno je obratiti posebnu pažnju na svaki njegov dio. Isto tako, svaka promjena na njemu (dodavanje trošila, promjene trošila) treba biti popraćena detaljnom analizom kako bi se utvrdilo kako će promjena utjecati na sam sustav. Iako sustav istosmjernog napajanja nije kompleksan kao neki dijelovi elektroenergetskog postrojenja, zbog svoje izuzetne važnosti mora biti izveden po najvišim standardima sigurnosti, te se nad njim moraju vršiti česte kontrole i ispitivanja kako bi u slučaju ispada sustava mogli biti sigurni da je sustav sposoban preuzeti na sebe napajanje najpotrebnijih uređaja neko vrijeme.

Sustav istosmjernog napajanja sastoji se od sljedećih odnovnih dijelova:

- Akumulatorska baterija
- Ispravljač
- Sklopna i rastavna oprema
- Uređaji zaštite, mjerenja i signalizacije
- Kabeli

Svi dijelovi istosmjernog napajanja čine jednu cjelinu. Iako svaki od njih treba analizirati zasebno, potrebno je voditi računa i o njihovoj međusobnoj povezanosti. Projekti odabira sustava moraju uzimati u obzir sve njihove dijelove, njihovu kompatibilnost i potrebne među-sisteme koji omogućuju povezivanje.

U nastavku teksta biti će objašnjena uloga i vrste osnovnih dijelova sustava istosmjernog napajanja, kriteriji njihovih odabira i ispitivanja.

2.1.1. Akumulatorska baterija

Akumulatorska baterija je najvažniji dio sustava besprekidnog napajanja. Koristeći kemijsku energiju, akumulatorska baterija služi za pohranu električne energije u normalnim uvjetima rada te kao izvor električne energije u slučaju kvara elektroenergetskog postrojenja. Kao takva, omogućava besprekidnost napajanja te o njenim karakteristikama ovisi trajanje besprekidnog napajanja u slučaju nestanka druge vrste napajanja. Akumulatorske baterije počinju se koristiti sredinom 19. stoljeća, a do danas u konstantnom su razvoju kako bi se postigle što bolje karakteristike.

Razvojem akumulatorskih baterija pojavile su se različite vrste koje koriste različite konstrukcije, materijale i zakonitosti kako bi što bolje koristile određenim namjenama. Iako se karakteristike akumulatorskih baterija razvojem poboljšavaju, niti jedan tip akumulatorskih baterija ne objedinjuje prednosti svake od karakteristika, te je prilikom odabira akumulatorskih baterija bitno voditi računa o namjeni i optimizaciji potrebnih karakteristika.

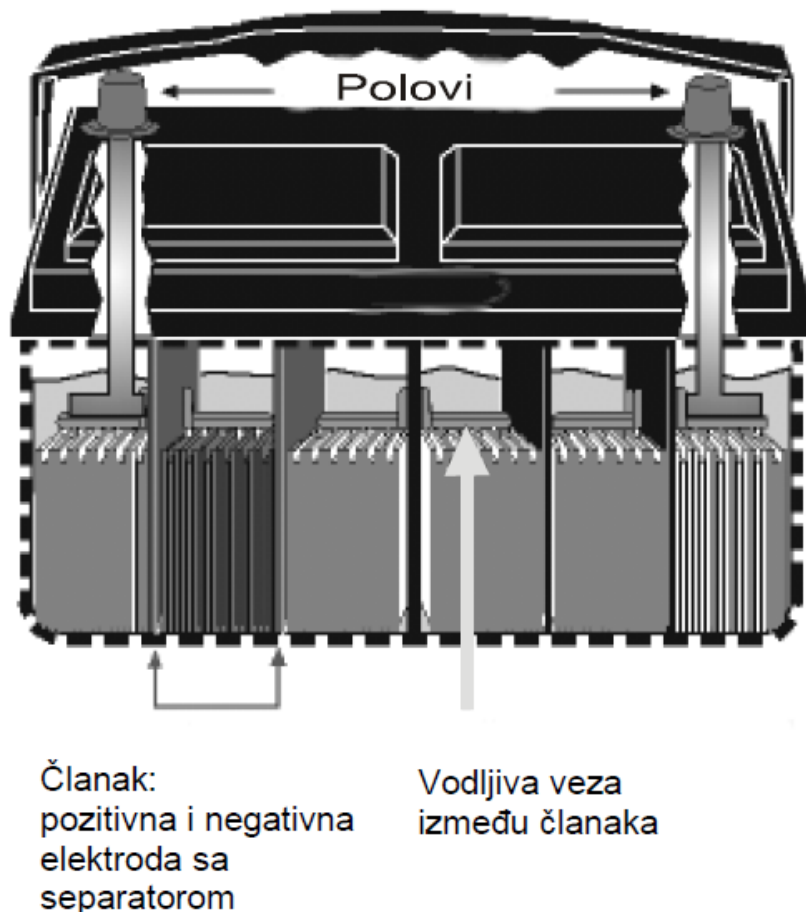
Neki od tipova akumulatorskih baterija su:

- Otvorene (klasične) olovne akumulatorske baterije
- Zatvorene olovne akumulatorske baterije (VRLA)
- Zatvorene olovne akumulatorske baterije s absorbiranim elektrolitom
- Zatvorene olovne akumulatorske baterije s gel elektrolitom
- Ni-Cd baterije
- Litijeve baterije
- ...

Karakteristike koje očekujemo od akumulatorskih baterija su:

- Dugotrajnost
- Niski iznos samopražnjenja
- Velika specifična energija [Ah/kg]
- Veliki broj ciklusa punjenja i pražnjenja
- Otpornost na niske i visoke temperature
- Velika brzina punjenja
- Minimalna potreba za održavanjem
- Niske cijene

Kako bi se optimalno prilagodilo okolinu za rad akumulatorske baterije, poželjno je održavanje temperature prostorije u kojoj se akumulatorska baterija nalazi u granicama između 15°C i 25°C. Kod viših temperatura može doći do smanjenja životnog vijeka baterije, dok se kod nižih temperatura javlja smanjenje kapaciteta baterija.



Slika 2.2. Električne veze unutar akumulatorske baterije

Akumulatorske baterije koje se postavljaju i održavaju na neko duže vrijeme u elektroenergetskom postrojenju nazivamo stacionarnim baterijama. Akumulatorska baterija u sustavima besprekidnog napajanja prilikom normalnog rada postrojenja (dok je električna mreža prisutna) pohranjuje energiju. Istosmjerna trošila napajaju se pomoću ispravljača. Prilikom ispada mreže, akumulatorska baterija na sebe preuzima napajanje trošila. Veoma je bitno da akumulatorska baterija u tim slučajevima ima dovoljan kapacitet kako bi potrebne uređaje napajala dovoljno dugi vremenski period za poduzimanje mjera zaštite postrojenja. Ispad električne mreže u pravilu nije predvidiva pojava, te se akumulatorske baterije moraju redovito provjeravati, testirati i servisirati kako bi bile sposobne izvršiti namjenjenu funkciju. Kada se moraju zadovoljiti uvjeti kod kojih je potreban veliki kapacitet baterije (do nekoliko tisuća Ah) još uvijek se koriste olovne ili Ni-Cd baterije.

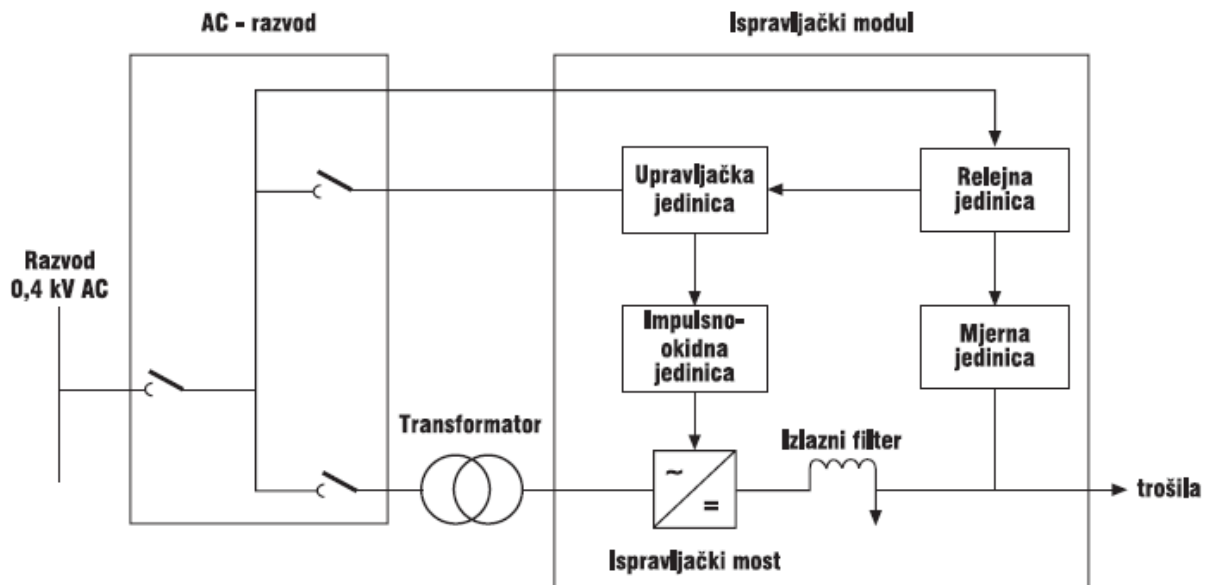
KRITERIJ ZA ODABIR	AGM - olovne	GEL - olovne	Ni-Cd
Dugotrajnost	3 - 20 god.	3 - 20 god.	preko 20 god.
Specifična snaga po težini (Wh/kg)	25 - 30	15 - 20	15 - 20
Iznenadni gubitak kapaciteta	dogođa se	dogođa se	ne dogođa se
Napon održavanja /nazivni napon članka (V)	2.27 / 2	2.23 / 2	1.42 / 1.2
Temperaturna regulacija napona ispravljača	obvezna	obvezna	poželjna
Razina rekombinacije plinova	>95%	>95%	85 - 95%
Potreba za održavanjem (periodičko dolijevanje vode)	bez održavanja	bez održavanja	bez održavanja
Mogućnost smještanja uz ostalu opremu ili u razvodne ormare	moguće	moguće	moguće
Najviša dozvoljena izmjenična komponenta struje punjenja	0.05 - 0.1 C ₁₀	0.05 - 0.1 C ₁₀	0.5 C ₅
Otpornost na povremena duboka pražnjenja	mala	mala	velika
Uobičajen maksimalan broj ciklusa	400	600	1500
Brzina punjenja potpuno prazne baterije	8 - 15 h	8 - 15 h	1 - 8 h
Visina struje kratkog spoja	visoka	srednja	mala
Cijena u odnosu na AGM baterije	1	1.2 - 1.4	2.5 - 3.5

Tablica 2.1.: Karakteristike olovnih i Ni-Cd akumulatorskih baterija

2.1.2. Ispravljač

Ispravljač služi za pretvorbu izmjeničnog napona u istosmjerni. U sustavima istosmjernih napajanja spaja se paralelno sa akumulatorskom baterijom. Kod normalnog režima rada, ispravljač napaja istosmjerne uređaje te nadopunjuje akumulatorsku bateriju. Prilikom ispada mreže, ispravljač se isključuje i napajanje ide preko akumulatorske baterije. U iznimnim situacijama, kada je snaga trošila veća od snage koju može ispravljač isporučiti, iako pri normalnim uvjetima rada, akumulatorska baterija može paralelno sa ispravljačem raditi i napajati trošila, ali takav način rada moguć je samo određeno vrijeme ovisno o kapacitetu akumulatorske baterije te nije preporučljiv jer se time smanjuje napunjenost akumulatorske baterije i samim time dovodi u pitanje spremnost sustava besprekidnog istosmjernog napajanja na izvanredne situacije ispada mreže. Ispravljač se zbog povećanja sigurnosti može opremiti i dizelskim agregatom kako bi imao mogućnost

napajanja trošila i prilikom ispada mreže. Postoje više vrsta ispravljača koji se primjenjuju, ovisno o namjeni i snazi, a mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine: tiristorske i visokofrekventne.



Slika 2.3. Blok-shema tiristorske izvedbe ispravljača

2.1.3. Sklopna i rastavna oprema

Sklopna i rastavna oprema služi za otvaranje i zatvaranje strujnih krugova. Osnovni dijelovi sklopa su rastavljači, prekidači i sklopke. Razlika je ta što rastavljači ne mogu prekidati krugove koji su pod opterećenjem, dok sklopke to mogu ukoliko se radi o manjim strujama. Biranje aparata se vrši prema toj sposobnosti, ovisno o namjeni, a njihovo djelovanje odnosi se i na normalna i izvanredna stanja pogona.

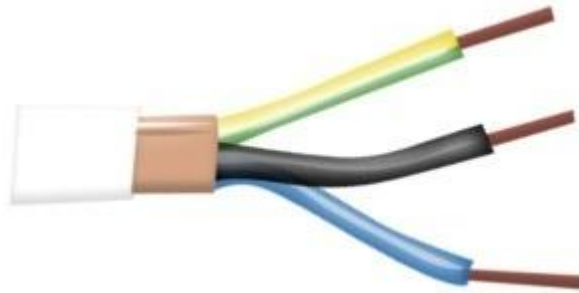
2.1.4. Uređaji zaštite, mjerenja i signalizacije

Uloga zaštitne opreme je zaštita istosmjernih strujnih krugova i trošila. Izvode se kao nadstrujna zaštita pri preopterećenju ili kratkom spoju. Zaštita se vrši selektivnošću, odnosno isključivanjem pojedinih trošila koji su u kvaru, dok se ostali uređaji i oprema ostavlja u funkciji. Time se postiže nastavak rada ostale opreme ukoliko je jedan od elemenata neispravan, a i sama zaštita neispravnog uređaja od daljnjih opasnosti. U nastavku rada detaljnije će se govoriti o vrstama, projektiranju i karakteristikama zaštitne opreme.

U sklopu zaštitne opreme nalaze se i uređaji mjerenja te signalizacije, kao bi zaštita mogla djelovati, odnosno kontrolirati stanja koja se događaju u sustavu. Svaka promjena stanja u sustavu može ukazivati na određene probleme te je poželjno takvu promjenu uočiti pravovremeno kako bi se moglo reagirati na vrijeme. Signalizacija može biti svjetlosna, zvučna, ekranska, lokalna ili daljinska. Mjerenje se može podijeliti na pogonsko i obračunsko.

2.1.5. Kabeli

Kablovi služe za prijenos električne energije, kako u sustavu elektroenergetskih postrojenja, tako i kod svih njegovih podsustava. Sukladno tome, kablova ima veoma različitih presjeka i materijala. U sustavima istosmjerni napajanja najčešće se koriste PVC kablovi s bakrenom oplatom, najmanjeg presjeka $2,5 \text{ mm}^2$. Prilikom konstruiranja sustava i odabira kablova treba voditi računa o snazi sustava, te raznim karakteristikama koje kablovi moraju zadovoljiti, kako u normalnom radu tako i u izvanrednim situacijama.



Slika 2.4. PVC kabel

3. ZAŠTITA SUSTAVA ISTOSMJERNIH NAPAJANJA

Komponente i vitalni uređaji u elektroenergetskim postrojenjima moraju funkcionirati kada se postrojenje nalazi u normalnom pogonu, te u slučaju poremećaja pogona odnosno njegovog kvara. Te komponente i vitalne uređaje iz tog razloga treba spajati na sustave besprekidnog istosmjernog napajanja i adekvatno zaštititi.

Kako bi se postigla raspoloživost sustava istosmjernog napajanja, nije prihvatljivo da se svi zaštitni uređaji koji zatvaraju struju kratkog spoja u isto vrijeme aktiviraju, odnosno da se cijeli sustav isključuje zbog kvara njegovog pojedinog dijela. Iz tih se razloga koristi selektivnost zaštitnih uređaja. Selektivnost se postiže pravilnim konstruiranjem sustava zaštite kako bi se prilikom kvarova isključivali samo pojedini dijelovi sustava, odnosno oni najbliže kvaru. Sustav zaštite istosmjernih napajanja obično je podijeljen na nekoliko zona selektivnosti, te nekoliko razina selektivnosti kako bi se na najbolji način osigurao rad istosmjernih napajanja prilikom kvarova odnosno ispada.

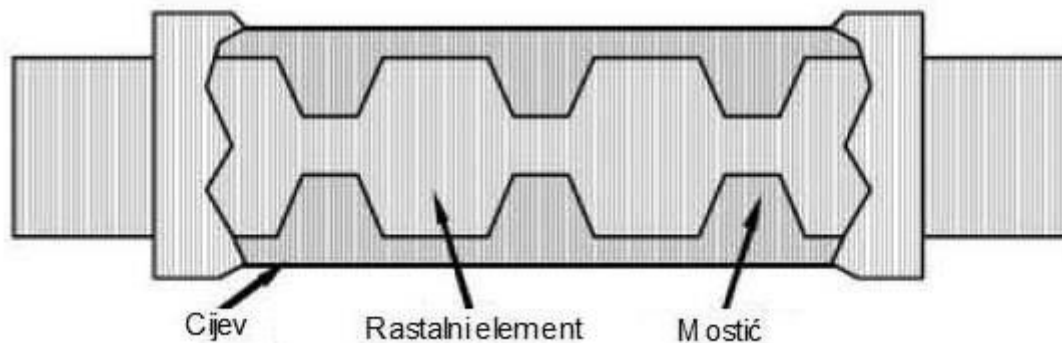
U sustavima istosmjernog napajanja kod elektroenergetskih postrojenja kao zaštitni uređaji najčešće se koriste niskonaponski prekidači i rastalni osigurači.

3.1. Uređaji zaštite

Kao što je ranije spomenuto, za zaštitu istosmjernog napajanja u elektroenergetskim postrojenjima najčešće se koriste prekidači i osigurači. Za postizanje najviše razine sigurnosti, često se koristi i kombinacija s više uređaja zaštite spojenih u seriju između izvora napajanja i krajnjih trošila. S obzirom na zahtjeve koje se pred njih postavljaju, potrebno je promotriti karakteristike svih oblika zaštite prilikom konstruiranja sustava te odabrati kombinacije zaštitnih uređaja sposobnih izvršiti zadanu funkciju.

3.1.1. Osigurači

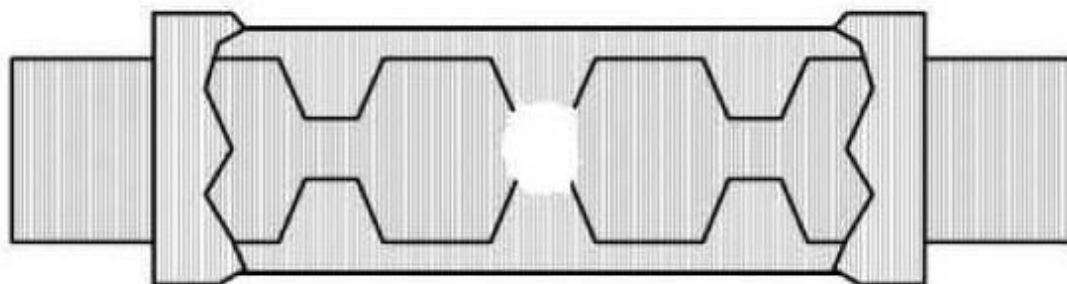
Niskonaponski osigurači su zaštitni uređaji koji taljenjem svojih rastalnih elemenata prekidaju strujni krug kada kroz njih prolazi kvadrat struje tereta u određenom vremenskom intervalu. Kao rastalni element u osiguračima najčešće se koristi bakar ili srebro. Osigurači većih snaga mogu imati preko sto rastalnih elemenata spojenih paralelno, dok se kod osigurača manjih snaga obično nalazi samo jedan rastalni element.



Slika 3.1. Poprečni presjek NN osigurača

Svaki rastalni element ima nekoliko mostića kako bi se moglo ustanoviti mjesto prekida kratkog spoja. Mostići su mjesta na kojima se događa suženje vodljivog puta te imaju nešto veći otpor od rastalnog elementa, a samim time se i oko njih povisuje temperatura više nego kod ostalih dijelova.

Kod normalnog rada, kada kroz osigurač prolazi niža struja od njegove nazivne struje, osigurač se ponaša kao vodič, odnosno ima mali pad napona zbog unutrašnjeg otpora. Prilikom kratkog spoja ili preopterećenja dolazi do pregaranja, odnosno taljenja unutar samog osigurača. U tom slučaju osigurač prekida struju te se na njemu pojavi nazivni napon podsustava istosmjernog sustava napajanja.



Slika 3.2. Pregaranje NN osigurača zbog malog preopterećenja

Osigurači imaju različiti broj mostića spojenih serijski, a njihov broj obično se odabire tako da pad napona na jednom mostiću bude manji od 150 V (100 V u nekim slučajevima). Najčešće se kod manjih preopterećenja događa da u osiguraču pregori samo jedan mostić, a na njemu se tada razvija električni luk, dolazi do povećanja pada napona na osiguraču i smanjuje se struja

preopterećenja. Ako osigurač štiti dio izmjeničnog napona, prilikom pregaranja u trenucima od jedne poluperiode kada prolazi kroz nulu gasi se električni luk te osigurač prekine struju preopterećenja. Kod istosmjerne struje, periodički iznos se ne mijenja (ne prolazi kroz nulu) a električni luk potrebno je ugaziti dok kroz osigurač prolazi struja različite vrijednosti od nule. Što je energija električnog luka veća, smanjuje se sposobnost osigurača, odnosno mogućnost osigurača da prekine struju.

3.1.2. Prekidači

Niskonaponski prekidači su zaštitni uređaji koji pri normalnom radu pogona isklapaju, vode i uklapaju struju, a prilikom kratkog spoja ili preopterećenja mogu i prekinuti ili uklopiti strujni krug.

Prema načinu izvedbe prekidače je moguće podijeliti na:

- Zračne prekidače
- Kompaktne prekidače
- Male prekidače

Zračni prekidači proizvode se za velike nazivne struje, do 6300 A. U mogućnosti su izdržati velika zagrijavanja i mehaničke sile, robusno su izrađeni te su jednostavni za održavanje. Budući da su napravljeni od više dijelova, neispravnost zračnog prekidača može se ukloniti zamjenom pojedinih dijelova i samo se u rijetkim slučajevima mijenja cijeli prekidač.



Slika 3.3. Zračni prekidač namjenjen prekidanju istosmjerne struje

Kompaktni niskonaponski prekidači manjih su dimenzija od zračnih i obično namjenjeni nešto nižim strujama, do 3200 A. Kućišta su kod ove vrste prekidača napravljena od izolacijskog materijala te veoma kompaktno. Iz tih razloga praktički ih je nemoguće servisirati i popravljati pa je kod neispravnosti prekidača jedino rješenje zamjena istog novim. Obično imaju ručicu prekidača sa tri moguća položaja: uklopljeno, isklopljeno zbog prorade zaštite, isklopljeno.

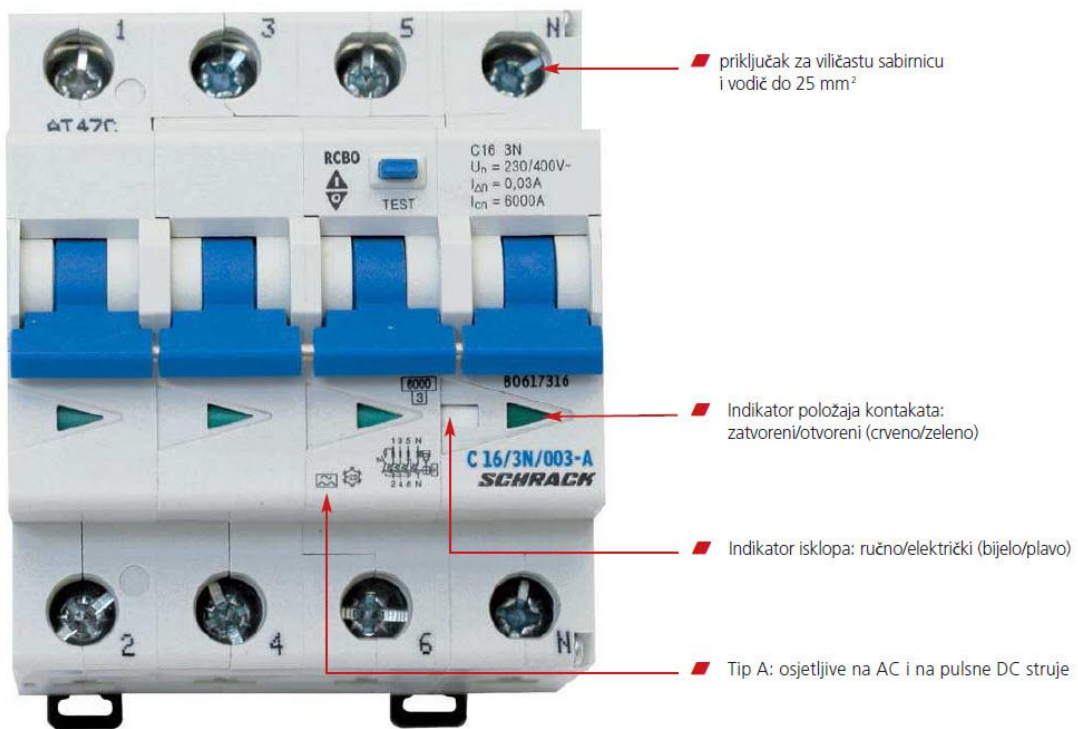


Slika 3.4. Kompaktni prekidač

Mali niskonaponski prekidači najmanjih su dimenzija i snaga. Pogodni su za struje do 100 A. U potpunosti su nedostupni po pitanju održavanja, a samim time i nisu mogući eventualni popravci.



Slika 3.5. Mali istosmjerni prekidač



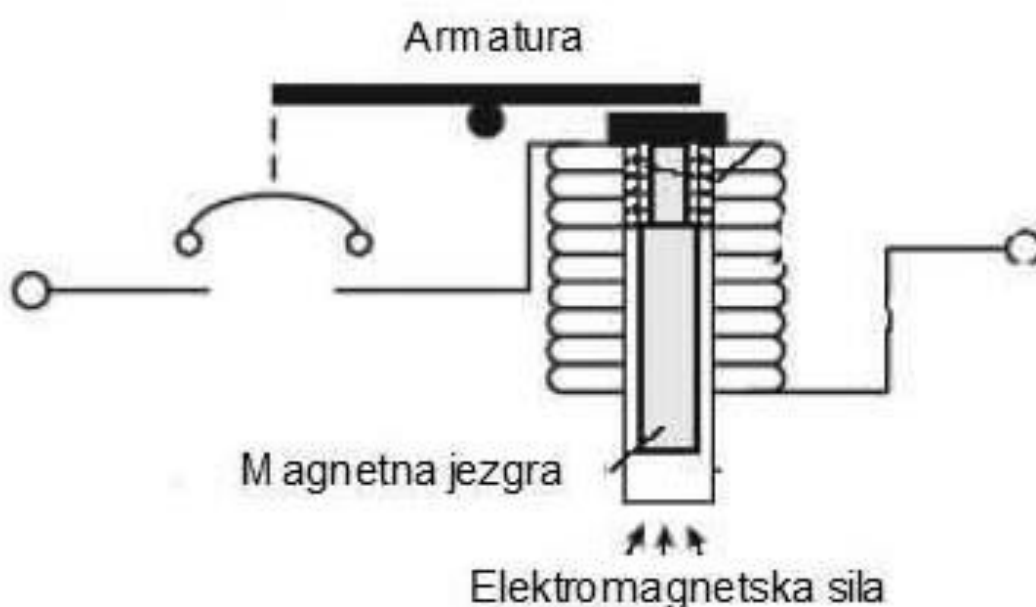
Slika 3.6. Osnovni dijelovi malih istosmjernih prekidača

Niskonaponske prekidače je moguće podijeliti još prema mnogim specifičnostima kao što je prema načinu ugradnje u ormare, vrsti zaštite, namjeni, ali najbitnija podjela prekidača je ona prema ugrađenim isklonim jedinicama. Razni principi iskopčavanja zahtjevaju drukčiju konstrukciju te, ovisno o namjeni, imaju drukčije karakteristike.

Prema ugrađenim isklopnim jedinicama niskonaponski prekidači se mogu podijeliti na:

- Hidno-magnetske prekidače
- Termo-magnetske prekidače
- Magnetske prekidače
- Prekidače s mikroprocesorskim okidačima

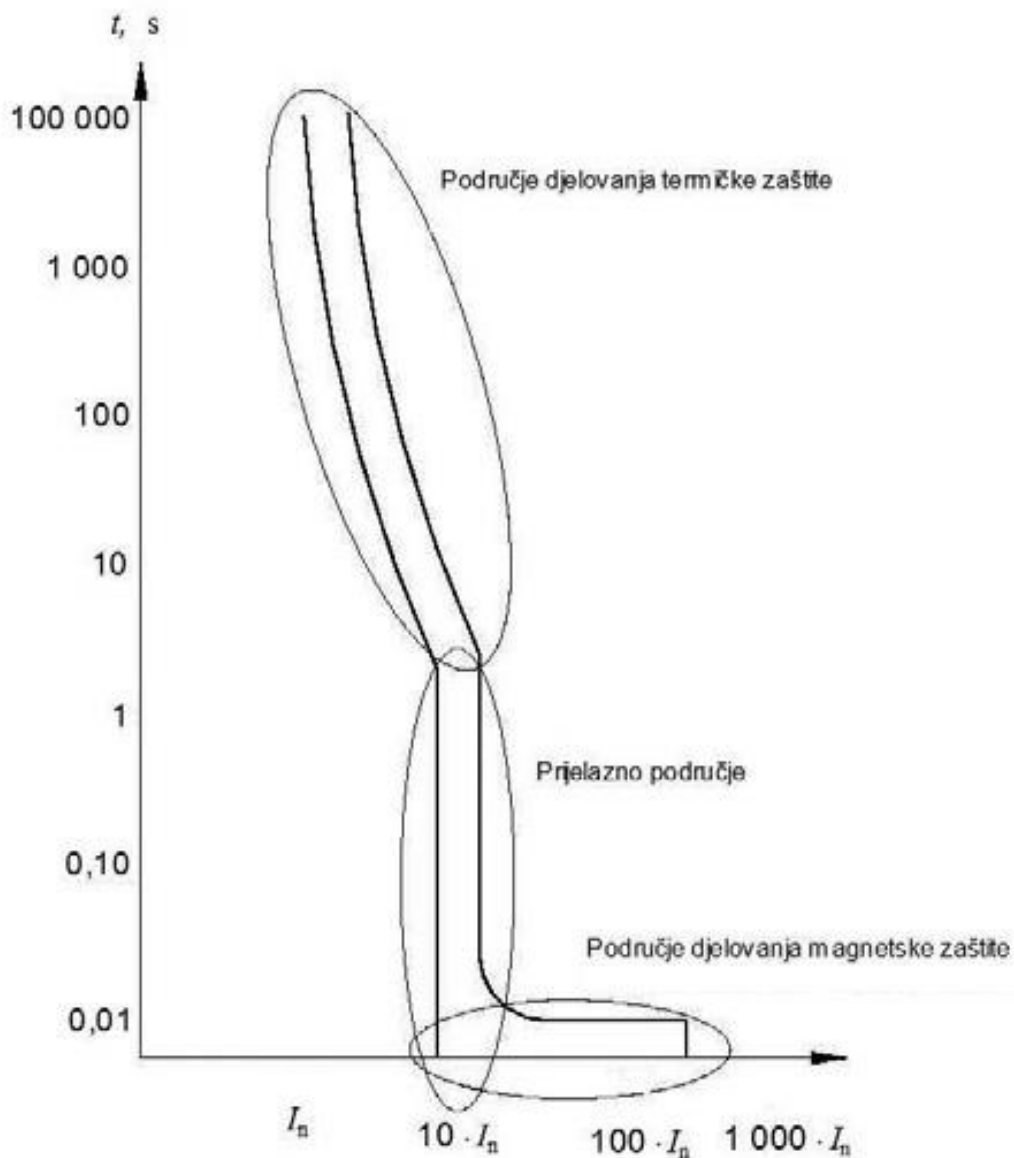
Prekidači sa hidro-magnetskim okidačima su posebne izvedbe malih NN prekidača. Zbog protjecanja struje kvara, hidro-mehanički prekidači koriste elektromagnetnu silu za isklapanje struje kratkog spoja i preopterećenja. Zajedno sa elektromagnetnim sklopom, unutar cijevi prekidača se nalazi i tekućina specifičnog viskoziteta.



Slika 3.6. Presjek hidro mehaničkog okidača

Struja kratkog spoja trenutno aktivira ovakvu vrstu prekidača, dok se karakteristike prekidača pri struji preopterećenja mogu regulirati promjenom viskoziteta tekućine. Povećanjem viskoziteta tekućine postiže se sporije pomicanje magnetske jezgre prekidača te se na taj način produljuje potrebno vrijeme aktivacije zaštite prilikom preopterećenja. Hidro-mehanički prekidači omogućuju postizanje selektivnosti na samo dvije razine, te se koriste u podsustavima niskih istosmjernih napona i podsustavima telekomunikacije.

Termo-magnetski prekidači također koriste elektromagnetnu silu, ali za karakteristike djelovanja koriste toplinska svojstva metala, odnosno toplinsku dilataciju različite vrste metala. Za otvaranje kontakta, odnosno omogućavanje prekidaču prekid strujnog kruga, koristi se bimetal. Grijanjem bimetala mijenja se njegova dimenzija, sve do određenog trenutka kada se dovoljno promjeni da omogući djelovanje prekidača, a samo grijanje izaziva promjena struje. Mjenjanje karakteristike prekidača postiže se promjenama karakteristika bimetala.



Slika 3.7. Tipična krivulja prekidanja termo-magnetskog prekidača

Karakteristika termo-magnetskih prekidača može se podijeliti u tri njezina dijela. Područje djelovanja termičke zaštite koje počinje od nazivne struje prekidača pa do struja većih približno 3 do 12 puta nazivne struje, ovisno o karakteristici bimetala. Nakon područja djelovanja termičke zaštite počinje prijelazno područje koje je poveznica između prvog i trećeg dijela krivulje, a odnosi se na vrijeme potrebno za reakciju magnetske zaštite. U trećem dijelu krivulje nalazi se područje djelovanja magnetske zaštite. To je područje prekidača kada je struja dovoljno velika da sila koja djeluje na elektromagnet isklopi prekidač u kratkom vremenu. Termo-magnetski prekidači koriste se za prekidanje izmjeničnih i istosmjernih struja.

Magnetski prekidači imaju istu magnetsku isklopnu jedinicu poput termo-magnetskih prekidača, ali ne sadržavaju u sebi bimetal. Takvi prekidači služe samo za zaštitu od kratkog spoja, ali ne i od preopterećenja, te je potrebno zaštitu od preopterećenja riješiti nekim drugim putem.

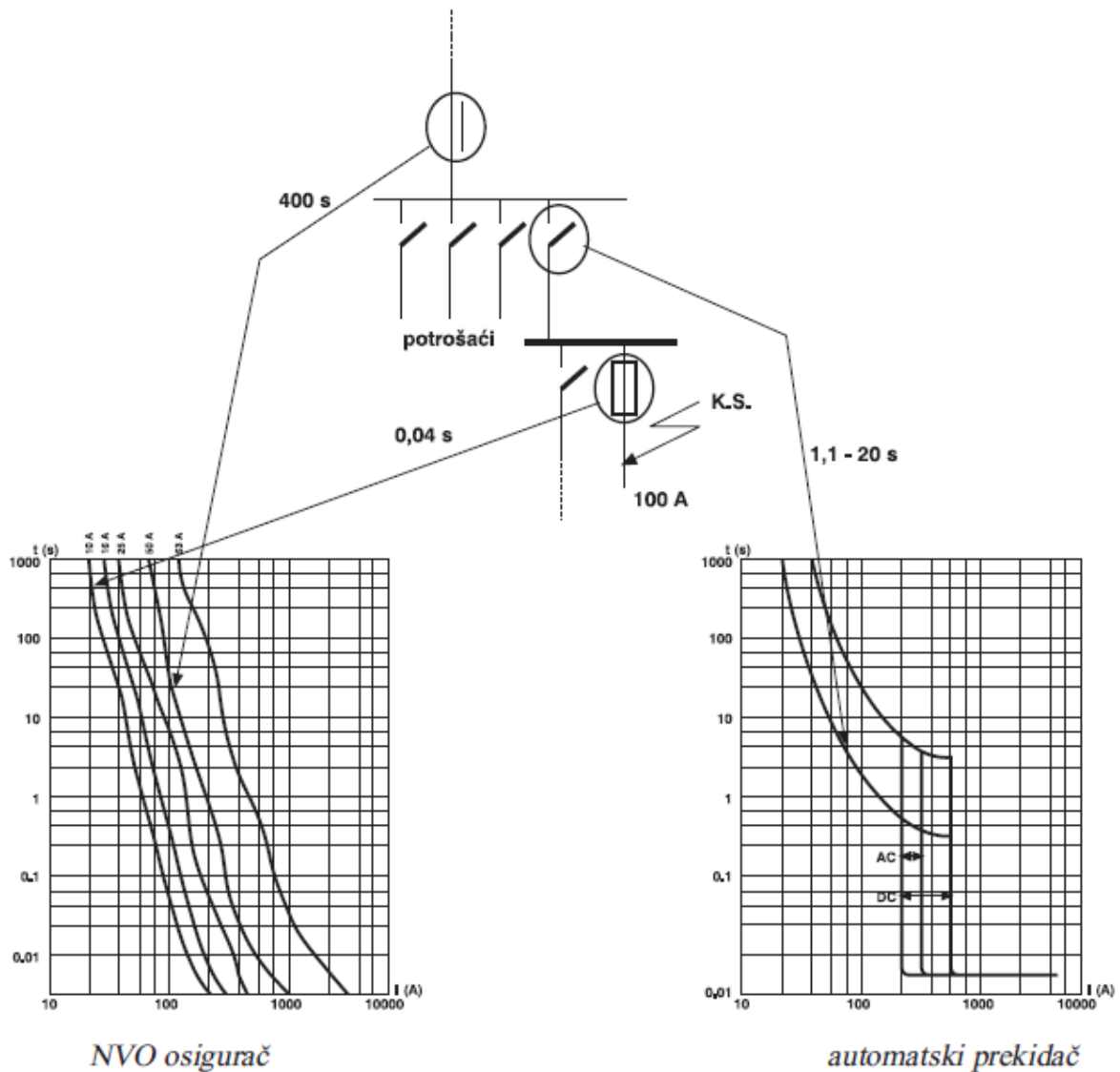
Mikroprocesorski prekidači su prekidači koriste mikroprocesorske okidače za zaštitu strujnog kruga. Takva vrsta prekidača ima velike mogućnosti podešavanja, upravljanja i prijenosa podataka te se danas veoma često koriste. Sve do nedavno, takva vrsta prekidača bila namjenjena isključivo za zaštitu u izmjeničnim strujama jer se za nadzor struje koristilo strujne transformatore koji nisu bili primjenjivi u istosmjernim razvodima. Tek nedavno razvili su se mikroprocesorski prekidači namjenjeni upotrebi u istosmjernim razvodima.



Slika 3.8. Mikroprocesorski prekidač

3.2. Selektivnost isklopa zaštitnih uređaja

Selektivnost je jedan od osnovnih uvjeta pravilnog konstruiranja zaštite istosmjernih napajanja u elektroenergetskim postrojenjima. Selektivnost omogućava isključivanje određenog dijela sustava ili podsustava, bez utjecaja na ostatak sustava. Time se postiže nastavak rada sustava iako je jedan ili više njegovih dijelova neispravan, odnosno prekid strujnog kruga samo na najužem području kvara.



Slika 3.9. Primjer selektivnosti zaštite

Selektivnost se obično izvodi na 3, odnosno 4 razine. Svaka od tih razina ima ulogu zaštite dijelova sustava te, ovisno o veličini i karakteristici problema, svaka razina isključuje različiti dio sustava. Počevši od mjesta kvara, uređaji zaštite sustava trebali bi, ukoliko je sustav pravilno

projektiran, isključivanje vršiti na samom mjestu kvara, a ako je problem veći, iskopčavati dijelove dalje od izvora problema, odnosno više razine. Cilj selektivnosti isključivanje je što manjeg broja trošila, te je sustav kvalitetniji što ima veći broj strujnih krugova i razina zaštite, ali zbog troškova i mogućnosti održavanja potrebno je voditi računa o kompromisnim rješenjima.

Postoje nekoliko načina ostvarivanja selektivnosti, a najčešće se koriste:

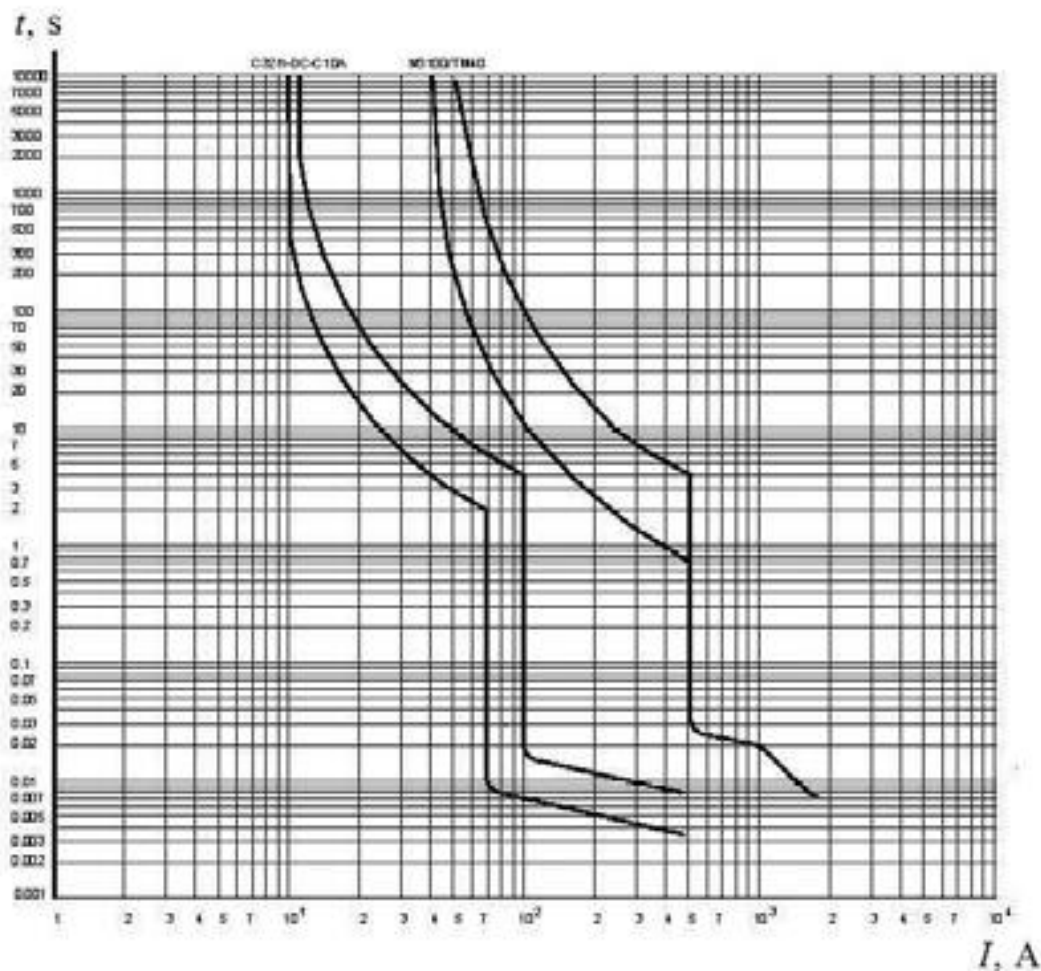
- Vremenska selektivnost
- Zonska selektivnost (blokiranje isklopa predhodne razine)
- Strujna selektivnost
- Energetska selektivnost i selektivno ograničenje (SELLIM)

3.2.1. Vremenska selektivnost

Vremenska selektivnost podrazumjeva usporedbu I-t krivulje prekidanja zaštitnih uređaja koji su smješteni u raznim razinama zaštite. Koristi se kod međusobne provjere selektivnosti, i to između glavnih prekidača međusobno, odnosno između glavnih prekidača i kompaktnih i malih prekidača te nisko naponskih osigurača u istosmjernim razvodima.

Zaštitni uređaji niže razine trebaju prekinuti struju prije zaštitnih uređaja više razine. To se postiže različitim vremenskim intervalima potrebnim za isklop struje. Obično nisko naponski osigurači za prekid struje trebaju vremenski period manji od 10 ms, dok je vremenski period iskopčavanja glavnih prekidača podesiv.

U obzir treba uzimati i određena odstupanja krivulja karakteristika, te se nesigurnost mora predvidjeti i shodno tome konstruirati sustav tako da određena odstupanja ne uzrokuju isklop zaštitnih uređaja sljedeće razine.



Slika 3.10. Isklopna I-t krivulja dva međusobno selektivna prekidača

3.2.2. Zonska selektivnost

Zonska selektivnost je blokiranje predhodne razine od isklopa. Najčešće se postiže niskonaponskim prekidačima koji su opremljeni mikroprocesorskim okidačima. Cilj ove vrste selektivnosti je ograničavanje termičkih gubitaka koji se javljaju u kratkom spoju prilikom korištenja prekidača s fiksnim vremenskim kašnjenjem. Zonska selektivnost se temelji na međusobnoj komunikaciji prekidača, i to tako da se šalju informacije u predhodne razine selektivnosti ukoliko dođe do struje kratkog spoja kako bi se ti zaštitni uređaji blokirali od isklopa. Vrijeme isklopa glavnih prekidača znatno je kraće od korištenja vremenske selektivnosti prilikom velikih struja kratkog spoja.

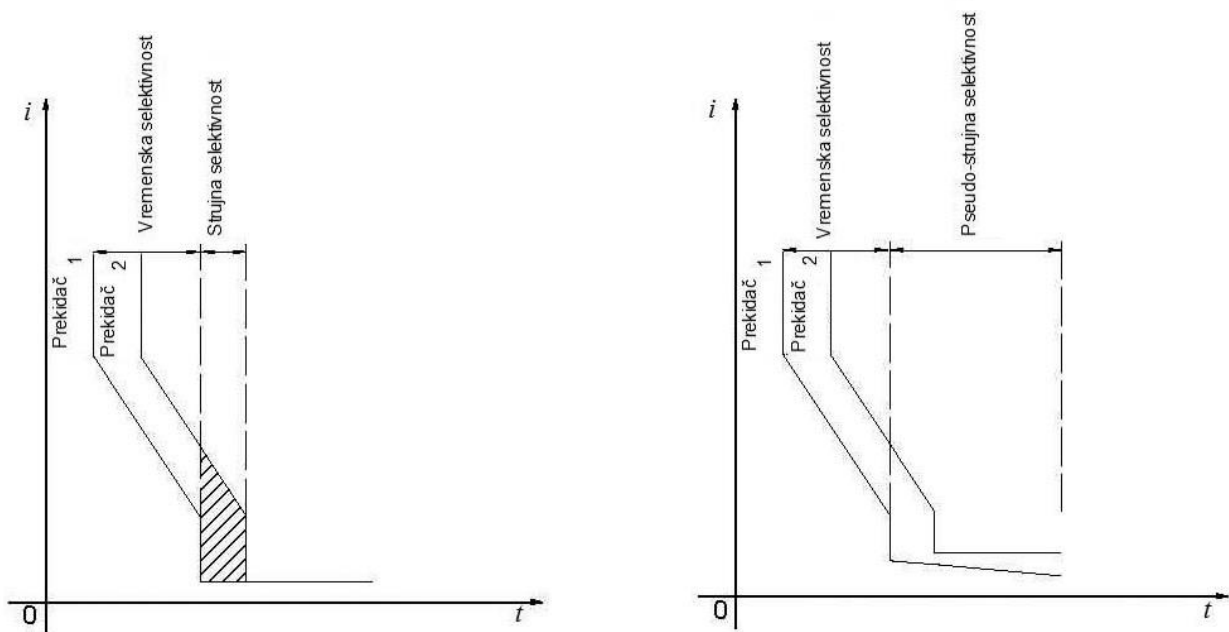
Ovaj oblik zaštite još je u razvoju za upotrebu u istosmjernim sustavima napajanja iz razloga što do nedavno okidači sa mikroprocesorom nisu bili primjenjivi na istosmjernim razvodima.

3.2.3. Strujna selektivnost

Strujna selektivnost koristi za provjeru selektivnosti između niskonaponskih prekidača u području malih preopterećenja. Uspoređuju se I-t krivulje prekidača. Potrebno je voditi računa o tome koliko prekidač mora ograničiti struju kratkog spoja te kad treba u potpunosti otvoriti strujni krug kako se nebi dogodio isklon prekidača predhodne razine.

Vrijeme isklopa niskonaponskog prekidača sastoji se od:

- Potrebno vremena za početak procesa isklopa nakon kojeg se isklon više nemože zaustaviti
- Potrebno vremena za okidanje magnetskog okidača
- Potrebno vremena razvoja električnog luka
- Potrebno vremena za gašenje električnog luka



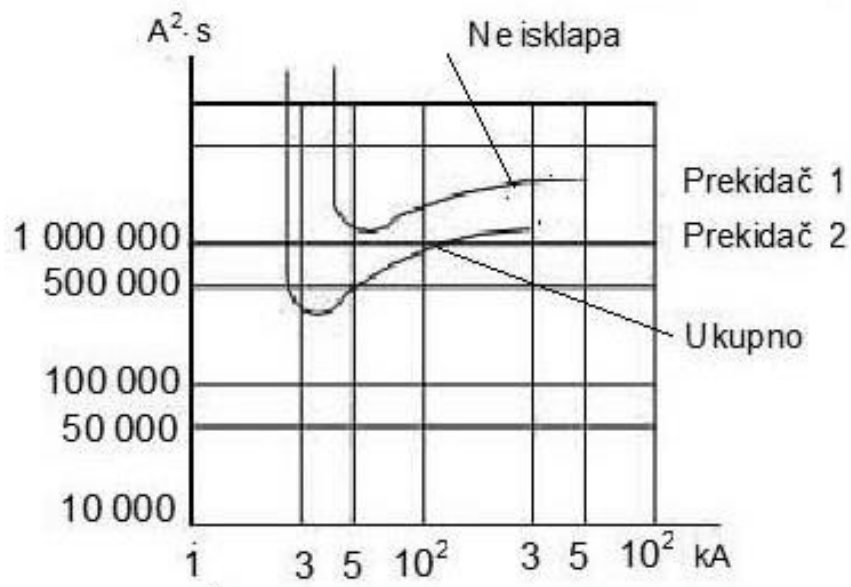
Slika 3.11. Strujna i prividno-strujna selektivnost

Prividna-strujna selektivnost postoji ukoliko je ukupno vrijeme isklopa prekidača neke razine manje od vremena trajanja naloga potrebnog za početak isklopa prekidača predhodne razine, a to je vrijeme ovisno o struji kratkog spoja. Problem strujne selektivnosti je ta da prilikom pojave kratkog spoja struja naglo raste te je vrijeme trajanja naloga prekidača nemoguće očitati iz krivulje. Iz tih razloga provjeru strujne selektivnosti treba obavljati uz određeni stupanj sigurnosti.

3.2.4. Energetska selektivnost i selektivno ograničenje

Energetska selektivnost koristi se za provjeru selektivnosti niskonaponskih osigurača. Postiže se kada poslije osigurač koji je u nizu propusti sveukupno manji kvadrat struje prilikom pregaranja od kvadrata struje koja je potrebna za taljenje prethodnih niskonaponskih osigurača. Energetska selektivnost koristi se i u slučajevima kada je na višoj razini smješten niskonaponski osigurač, a u nižoj niskonaponski prekidač.

Selektivno ograničenje temelji se na principu energetske selektivnosti. Ovaj oblik selektivnosti razrađen je kod proizvođača niskonaponskih prekidača kako bi se osigurala selektivnost različitih tipova prekidača te kaskadnost istih. Koristi se za velike struje kratkog spoja.



Slika 3.12. Usporedba I²t dva niskonaponska prekidača

Na dijagramu je moguće vidjeti da je prekidač 1 izveden tako da ima produljeno vrijeme trajanja naloga potrebnog za početak isklopa. Prilikom ugradnje običnog prekidača-ograničavača u sljedeću razinu, dolazi do prekida struje kratkog spoja u prvoj poluperiodi, odnosno u vremenu manjem od 10 ms, te se postiže selektivnost. Ukoliko korištenjem dva prekidača jedan od prekidača ograničava velike struje kratkog spoja te drugi prekidač ima manju prekidnu moć od struje kratkog spoja mjesta kvara, dolazi do kaskadnosti zaštite.

3.3. Projektiranje zaštite sustava istosmjernog napajanja

Zbog važnosti sustava istosmjernog napajanja bitno je detaljno popratiti sve dijelove konstruiranja te adekvatno ih zaštititi od kratkog spoja i preopterećenja. Podaci prikuljenji

prilikom konstruiranja sustava bitni su za odabir kablova te sklopno-rastavne opreme, odnosno zaštitnih uređaja. Prilikom odabira zaštitnih uređaja najbitnija veličina je minimalna i maksimalna struja koja se javlja prilikom kratkog spoja na karakterističnim mjestima sustava istosmjernog napajanja. Struja kratkog spoja ima svoje karakteristike koje pomažu pri projektiranju zaštite kao što su vrijeme trajanja kratkog spoja. Bitno je pratiti vrijeme prorade odabranih zaštitnih uređaja te selektivnost zaštite, a treba uzeti u obzir i mogućnost zatajenja zaštitnih uređaja, te obzirom na to predvidjeti kablove sposobne podnijeti opterećenja veća od predviđenih, odnosno odabrati zaštitne uređaje sa najmanjom mogućnosti zatajenja, odnosno najsigurnije i najkvalitetnije zaštitne uređaje.

Zaštitne uređaje odabire se prema snazi trošila pri normalnim uvjetima rada koje taj zaštitni uređaj usključuje. Zaštita kablova sustava jedan je od glavnih uvjeta zaštitnih uređaja, ali mogućnost zatajenja zaštitnih uređaja mora se uzeti u obzir te je najbolje poprečne presjeke kablova uzimati za razinu zaštite koja se nalazi u dijelovima sustava istosmjernog napajanja bližim izvorima napajanja. U razmatranje se mora uzeti struje sustava pri normalnim režimima rada, a posebice struje koje se javljaju prilikom havarijskog režima rada. Svaka neispravno konstruirana zaštita sustava istosmjernog napajanja može u nepredvidivim situacijama voditi ka katastrofi cijelog elektroenergetskog postrojenja i ugrožavanju ljudskih života.

3.3.1. Struja kratkog spoja

Struja kratkog spoja javlja se najčešće prilikom neispravnosti trošila i jedna je od najbitnijih veličina prilikom konstruiranja sustava zaštite. Treba razlikovati minimalnu i maksimalnu struju kratkog spoja te shodno tome odabrati prave zaštitne uređaje u svim razinama selektivnosti.

Minimalna struja kratkog spoja određuje se prema sljedećem izrazu:

$$I_{k \min} = \frac{U_{b \min}}{R_{b \max} + R_v} [A] \quad (3.1.)$$

Gdje je:

$I_{k \min}$ - minimalna struja kratkog spoja [A]

$U_{b \min}$ – minimalni napon akumulatorske baterije [V]

$R_{b \max}$ – maksimalni otpor akumulatorske baterije [Ω]

R_v – zbroj otpora vodića od sabirnice akumulatorske baterije do mjesta kratkog spoja [Ω]

Maksimalna struja kratkog spoje određuje se prema sljedećem izrazu:

$$I_{k \max} = \frac{U_{b \max}}{R_{b \min} + R_v} + I_i [A] \quad (3.2.)$$

Gdje je:

$I_{k \max}$ – maksimalna struja kratkog spoja [A]

$U_{b \max}$ – maksimalni napon akumulatorske baterije [V]

$R_{b \min}$ – minimalni otpor akumulatorske baterije [Ω]

R_v – zbroj otpora vodića od sabirnice akumulatorske baterije do mjesta kratkog spoja [Ω]

I_i – nazivna struja ispravljača [A]

Minimalna struja na sabirnicama akumulatorske baterije određuje se prema sljedećem izrazu:

$$I_{k \min} = \frac{U_{b \min}}{R_{b \max} + R_{bv}} [A] \quad (3.3.)$$

Gdje je:

$I_{k \min}$ - minimalna struja kratkog spoja na sabirnicama akumulatorske baterije [A]

$U_{b \min}$ – minimalni napon akumulatorske baterije [V]

$R_{b \max}$ – maksimalni otpor akumulatorske baterije [Ω]

R_{bv} – otpor vodića od akumulatorske baterije do glavne sabirnice [Ω]

Maksimalna struja na sabirnicama akumulatorske baterije određuje se prema sljedećem izrazu:

$$I_{k \max} = \frac{U_{b \max}}{R_{b \min} + R_{bv}} [A] \quad (3.4.)$$

Gdje je:

$I_{k \max}$ - maksimalna struja kratkog spoja na sabirnicama akumulatorske baterije [A]

$U_{b \max}$ – maksimalni napon akumulatorske baterije [V]

$R_{b \min}$ – minimalni otpor akumulatorske baterije [Ω]

R_{bv} – otpor vodića od akumulatorske baterije do glavne sabirnice [Ω]

Dobivene struje kratkog spoja gore nabrojanih izraza koriste se pri projektiranju zaštite sustava istosmjernih napajanja. Kao što je predhodno obrađeno, bitno je voditi računa o selektivnosti zaštite, ali i o mogućnosti smještaja opreme te njezinog servisiranja.

4. Zaključak

Zbog važnosti sustava istosmjernog napajanja, odnosno trošila, njegova zaštita je jako važna za siguran rad postrojenja. Implementacija zaštitnih uređaja unutar sustava omogućava minimalizaciju štete prouzročene nepredvidivim situacijama, kao što su kvarovi trošila ili havarijska stanja. Pravilno konstruiranje zaštite bitan je korak prilikom projektiranja sustava. Nakon izgradnje sustava, uređaje zaštite potrebno je periodički ispitivati i servisirati kako bi u svakom trenutku bili sposobni izvršiti svoju funkciju. Isto tako, promjene u sustavu, bilo promjenom ili dodavanjem trošila, potrebno je popratiti analizom postojećeg sustava te njegove zaštite te, ukoliko je potrebno, izvršiti njegovu modifikaciju.

Iako nemaju ulogu u normalnom radu postrojenja, uporaba zaštitnih uređaja je neophodna, ne samo kod sustava istosmjernog napajanja, nego na cijelom elektroenergetskom postrojenju. Sustavi istosmjernog napajanja omogućavaju da se prilikom ispada mreže ne izgubi svaka mogućnost utjecaja na daljnji tok događaja koji nakon njega sljedi, već da u funkciji ostaju vitalni dijelovi postrojenja, uključujući mogućnost komunikacije i kontrole nad elektroenergetskim postrojenjem.

Ljudski je život najvrijedniji čimbenik koji se prilikom raznih havarijskih stanja može izgubiti, stoga nikakav oblik zaštite nebi trebao biti suviše skup kako be se minimiziralo gubitak istog.

5. LITERATURA

- [1] Skok, S.; Marušić, A.: „Sustavi istosmjernih razvoda u elektroenergetskim postrojenjima“, Kigen d.o.o., Zagreb, 2005.
- [2] Škare, J.; Mesić, M.: „Protection devices and selectivity in DC power distribution sub-systems“, Energija, Zagreb, 2009.
- [3] Škare, J.: „Akumulatorske baterije za sustave besprekidnog napajanja“, Končar, Zagreb.
- [4] Mišćenić, D.: „Analiza sustava besprekidnog napajanja u elektroenergetskim postrojenjima“, HEP, Opatija.
- [5] Srb, N.; Gobov, A.; Horvatić, Ž.; Kurelac, V.; Lukić, K.; Moser, J.; Rašuo, V.: „EDZ PRIRUČNIK '99“, Elektrotehničko društvo Zagreb, Zagreb, 1999.

6. SAŽETAK

Od pojave prvih 1868. u Engleskoj, mnogo se stvari promjenilo i elektroenergetska postrojenja postala su kompleksni sustavi koji uključuju proizvodnju te distribuciju električne energije potrošačima. Jedan od bitnijih sustava elektroenergetskih postrojenja je i sustav istosmjernog napajanja namjenjen opskrbi istosmjernih trošila unutar postrojenja koji omogućava besprekidnost napajanja kako bi u slučajevima kvarova i nestanka napajanja ti uređaji mogli i dalje raditi. Sustav istosmjernog napajanja posebice dolazi do izražaja prilikom havarijskih stanja elektroenergetskog postrojenja kada je potrebno što sigurnije i sa što manje gubitaka zaustaviti postrojenje.

Zaštita istosmjernih sustava napajanja ima važnu ulogu prilikom normalnog rada postrojenja, ona štiti sustav kako bi u slučaju kvara nekog njegovog dijela sustav mogao dalje raditi normalno te biti spreman reagirati ukoliko dođe do nepredvidivih situacija. Uređaji koji se koriste za zaštitu (osigurači, prekidači) moraju biti pomno odabrani, a sam sustav zaštite pravilno projektiran za što sigurnije vođenje postrojenja. Sustavi zaštite nisu kompleksni dijelovi elektroenergetskog postrojenja, ali su nezaobilazni i njihova pravilna uporaba stvara sigurnije okruženje u postrojenju, bilo pri normalnom radu ili havarijskom stanju.