

ZAŠTITA KABLOVA CABLE PROTECTION

Marija Sarić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu se razmatra zaštita kablova, osnovne karakteristike i izvođenje krivih oštećenja kablova, kao i koordinacija sistema. Cilj je da se prikažu prednosti primene korišćenja vremensko-strujnih krivih kao grafičke tehnike za ilustraciju selektivne koordinacije zaštite. Za softversku verifikaciju rada se koristi program za koordinaciju releja.

Ključne reči: kablovi, prekostrujna zaštita, prekostrujna koordinacija

Abstract – The paper deals with cable protection, basic characteristics and performance of cable damage curves as well as system coordination. The aim is to show the benefits of applying the use of time-current curves as a graphical technique to illustrate selective system coordination. A program for relay coordination is used for software verification of operation.

Keywords: cables, overcurrent protection, overcurrent coordination

1. UVOD

Električna energija predstavlja univerzalni vid energije bez kojeg se ne može zamisliti funkcionisanje savremenog društva.

Da bi elektroenergetski sistem mogao da funkcioniše potrebno je obezbediti zaštitu svakog njegovog elementa, a takođe i pojedinih celina u okviru elektroenergetskog sistema od kvarova.

Da bi se razumeli osnovni principi zaštite opreme potrebno je poznavanje osnovnih karakteristika mogućeg opterećenja opreme. Ovaj rad ce se baviti zaštitom kablova, osnovnim karakteristikama i razmatranjem krivih mogućih opterećenja kablova.

U drugom delu rada su predstavljeni osnovni principi zaštite elektroenergetskih sistema, a u trećem prekostrujna zaštita. Četvrti deo je posvećen zaštiti kablova. U petom delu je napisano uopšteno o prekostrujnoj koordinaciji zaštite. Šesti deo je softverska verifikacija koordinacije zaštitnih uređaja sa krivama oštećenja kabla, a poslednja dva dela su zaključak i literatura.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Duško Bekut, redovni profesor.

2. OSNOVNI PRINCIPI ZAŠTITE ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Zaštita elektroenergetskih sistema se vrši od nenormalnih stanja. Pod nenormalnim stanjima se podrazumevaju:

- Opasna pogonska stanja.
- Stanja sa kvarom (kvarovima).

Stanje u kom osnovni parametri sistema, napon, struja i frekvencija, ne izlaze iz dozvoljene tolerancije naziva se normalno pogonsko stanje sistema.

Opasno pogonsko stanje predstavlja "lakši vid" odstupanja od normalnog pogonskog stanja, dok se stanja sa kvarom kategorizuju kao "teži vid" odstupanja.

Osnovni cilj primene relejne zaštite je najbrže moguće isključenje elementa ili dela EES-a sa kvarom uz očuvanje funkcionalnosti ostalog dela sistema [1].

2.1 Opšti zahtevi koji se postavljaju pred relejnu zaštitu

Osetljivost:

Osetljivost je sposobnost releja da odreaguje na najmanju očekivanu struju kvara. Relejna zaštita na fiderima mora biti podešena tako da odreaguje i u uslovima minimalne proizvodnje, kada je struja kvara takođe minimalna.

Selektivnost:

Cilj selektivno podešene zaštite je da minimalan broj opreme reaguje i da se izolovanjem sekcije sa kvarom bez napajanja ostavi najmanji mogući broj potrošača.

Brzina:

Brzina je sposobnost releja da reaguje u predviđenom vremenskom intervalu otkloniti što je pre moguće.

Pouzdanost:

Pouzdanost predstavlja sigurnost da će relejna zaštita pravilno raditi, bez obzira na spoljne faktore.

Jednostavnost:

Jednostavnost predstavlja zahtev da se uz minimalno angažovanje zaštite obezbede prethodno navedeni zahtevi.

Ekonomičnost:

Ova karakteristika predstavlja obezbeđenje maksimuma zaštite uz minimalne troškove.

2.2 Zaštitni uređaji u EES-u

Uređaji koji se koriste za izolaciju kvara su osigurači, prekidači i releji.

Relej je uređaj koji služi za detekciju nenormalnih pogonskih stanja uređaja i delova elektroenergetskih sistema i inicijalizaciju odgovarajućih upravljačkih akcija

za obezbeđenje normalnog pogona. Pod nenormalnim pogonskim stanjima se podrazumeva stanje sa kvarom ili opasno pogonsko stanje [1].

Za zaštitu manjih delova sistema se koriste osigurači, koji ujedno detektuju i izoluju kvar. Osnovna funkcija osigurača je da prekine protok struje nakon kvara ili preopterećenja.

2.3 Podela releja prema principu rada

Prema principu rada releji se dele na [1]:

- Elektromehaničke.
- Statičke.
- Mikroprocesorske.

2.3.1 Elektromehanički releji

Osobina elektromagnetne indukcije u kombinaciji sa mehaničkim delovima je korišćena za detekciju prekostrujnih i prenaponskih kvarova u sistemu.

2.3.2 Statički releji

Statički releji su se pojavili šezdesetih godina dvadesetog veka. Najveća prednost ovih releja je što nemaju pokretne delove i mogu se daljinski kontrolisati. Takođe, brzina delovanja je bila znatno veća, kao i vreme potrebno za reset.

2.3.3 Mikroprocesorski releji

Mikroprocesorski releji predstavljaju vrlo savremen i kvalitetan vid zaštite. Osnovna prednost je što je omogućen daljinski pristup i daljinska kontrola sa brojnim naprednim funkcijama.

2.4 Podela releja prema vrsti kontrolisane veličine

Prema vrsti kontrolisane veličine releji se dele na:

- Strujne – ovi releji deluju pri povećanju struje.
- Naponske – deluju kada napon na koji su priključeni odstupa od definisanih granica.
- Frekventne – deluju kada frekvencija odstupa od definisanih granica.
- Releje snage – kod kojih delovanje zavisi samo od smera snage.
- Impedantne – kod kojih delovanje zavisi od vrednosti impedance.
- Termičke – kojima se deluje pri porastu temperature ($T >$).
- Mehaničke – kojima se deluje pri povećanju broja obrtaja $n >$.

3. PREKOSTRUJNA ZAŠTITA

Za zaštitu vodova se koriste sledeće vrste zaštita:

- prekostrujna,
- distantna,
- diferencijalna.

Na vodovima srednjih napona najčešće se koristi prekostrujna zaštita.

Prekostrujna zaštita je najjednostavnija zaštita i ona se ostvaruje delovanjem prekostrujnih releja. Ovi releji su dizajnirani tako da reaguju kada kroz njih teče struja koja je veća od predefinisane vrednosti.

3.1 Trenutni prekostrujni releji

Ovim relejima se deluje čim struja premaši određenu vrednost. Trenutni nadstrujni releji u praksi se koriste za trenutno isključivanje jako velikih struja kvara. Njihova svrha je sprečavanje velike štete na skupim uređajima, kao što su transformatori, usled delovanja struje kratkog spoja.

3.2 Prekostrujni releji sa strujno nezavisnom vremenskom karakteristikom

Prekostrujni releji sa strujno nezavisnom vremenskom karakteristikom se pobuđuju kada struja premasi određenu vrednost ali se njima deluje tek nakon nekog vremena (vremena kašnjenja). Kod trenutnih nema razlike između pojma delovanje i pobuđivanje.

3.3 Prekostrujni releji sa strujno zavisnom vremenskom karakteristikom

Ovim relejima se deluje u zavisnosti od intenziteta struje. Što je struja veća, vreme delovanja je kraće i obrnuto. Vreme delovanja releja se može izračunati prema formuli:

$$t = k \frac{I}{I_{\text{podešenja}}} \alpha \quad (3.1)$$

gde su:

- t – vreme delovanja releja pri struji I ,
- I – struja kvara koju relej meri,
- $I_{\text{podešenja}}$ - podešena vrednost struje,
- α, k – koeficijenti osnovnog podešenja,
- k_f – koeficijent finog podešenja.

4. ZAŠTITA KABLOVA I ODREĐIVANJE KRIVIH OŠTEĆENJA KABLOVA

U ovoj glavi je dat kratak opis vrsta povodnika, temperaturni rast zbog struje opterećenja, a zatim i izvođenje vremensko-strujnih karakteristika (engleski *time current characteristic TCC*) kablova.

Zadatak provodnika kablova je da provodi električnu energiju od izvora do potrošača. Pri tom prenosu se stvaraju gubici koji zavise od dužine, preseka i tipa provodnika. Dva su materijala za provodnike koji se najčešće koriste: bakar i aluminijum.

Mora se biti oprezan kod postavljanja provodnika u prostorijama sa visokom temperaturom okoline, tako da radna temperatura ne prelazi onu koja je određena kao maksimalna za dati tip izolovanog provodnika [2].

Zaštita kablova podrazumeva primenu uređaja za zaštitu od kratkog spoja i prevelike struje, kao i pravilno dimenzionisanje kabla. Cela šema zaštite se zasniva na rejtingu kablova koja je prilagođena okolini i uslovima rada.

Kabl treba zaštititi od pregrevanja usled prekomerne struje kratkog spoja u provodniku. Kvar može biti na delu zaštićenog kabla ili na bilo kom drugom delu električnog sistema. Deo kabla sa kvarom se treba zameniti nakon čišćenja kvara.

Tokom jednofaznog kvara I^2R gubici u faznim provodnicima prvo podižu temperaturu provodnika, zatim izolacije kabla, zaštitnoj oblozi (omotača) i konačno okoline [3].

Za gole provodnike, provodnike bez izolacije, dozvoljena vrednost struje kratkog spoja je znatno veća od one koja je navedena za izolovane provodnike [4].

Zavisnost vremena t i struje I za ove provodnike je data sledećim jednačinama:

Aluminijumski provodnici bez izolacije:

$$t = \left(0.0671 \frac{A}{I} \right)^2, \quad (4.1)$$

Al/Če provodnici bez izolacije:

$$t = \left(0.0862 \frac{A}{I} \right)^2, \quad (4.2)$$

gde je:

A – površina poprečnog preseka kabla,

I – struja kratkog spoja [A].

Za izolovane kablove, "Damage curve" je kriva koja opisuje granicu struje kratkog spoja koja, ako se prekorači, oštećuje izolaciju kabla. Kriva se računa pod pretpostavkom da provodnik adijabatski zagreva pri kratkom spoju [5].

Ove vrednosti su povezane sledećom jednačinom:

$$t = k \log_{10} \frac{T_2 + m \left(\frac{A}{I} \right)^2}{T_1 + m}, \quad (4.3)$$

gde je:

t – vreme trajanja kratkog spoja 0,01s-10s,

T_1 – radna temperatura kabla [°C],

T_2 – maksimalna temperatura kabla prilikom kratkog spoja [°C],

k i m su konstante koje zavise od tipa provodnika. Vrednosti za ove konstante su dati u tabeli 4.1.

Tabela **Error! No text of specified style in document..1**

Vrednosti konstanti k i m za različite tipove provodnika

Tip provodnika	k	m
Cu	0,0297	234
Al	0,0125	228

5. PREKOSTRUJNA KOORDINACIJA

Dobrom koordinacijom među zaštitnim elementima se omogućuje selektivnost u radu sistema. Selektivnost obezbeđuje da se pri trajnim kvarovima, taj kvar izoluje na vreme, tako da ostavlja bez napajanja najmanji broj potrošača.

S druge strane postoji zabrinutost za zaštitu komponenti sistema. Step en štete koja nastaje prilikom kvara je proporcionalan količini vremena za koje kvar postoji i kvadrata struje kratkog spoja. Energija koja se tako

oslobađa je ogromna, zato se oprema mora zaštititi. Najbolja zaštita se dobija upotrebom uređaja koji su osetljivi na minimalnu količinu struje kvara koja bi mogla teći, a uređaj bi trebao izolovati grešku što je brže moguće.

5.1 Selektivnost

Deo sistema koji mora da se izoluje treba da bude najmanji mogući. Više zaštitnih uređaja može odgovoriti na grešku, cilj je da prvi zaštitni uređaj iznad kvara reaguje i tako isključi minimalnu oblast pod kvarom. Ako reaguje neki drugi, neki iznad njega, može doći do nepotrebnog izolovanja dela sistema, dela koji nije pod kvarom.

5.2 Vremensko-strujne karakteristike

Razumevanje vremensko-strujnih karakteristika (engleski *time current characteristic TCC*) je osnova za izvođenje koordinacione studije.

TCC kriva određuje vreme rada zaštitnog uređaja za različite vrednosti radnih struja.

Vremensko-strujna kriva je kriva zaštitnog uređaja iscrtana na grafiku sa logaritamskom skalom gde vertikalna osa predstavlja vreme a horizontalna osa predstavlja struju.

5.3 Koordinacija zaštitnih uređaja sa krivama oštećenja kablova

TCC grafik takođe prikazuje i krive oštećenja elemenata sistema. U ovom radu pažnja će se posvetiti kablovima. Izvođenje krivih je u glavi 4. Zaštitu treba postaviti tako da svaki kabl može izdržati struju kvara koja teče kroz njega. Da bi se sprečilo oštećenje kabla uređaj za prekid struje mora ograničiti struju kvara na levo od krive oštećenja.

Krive kablova obično se crtaju na vremensko-strujnim graficima i koriste se za osiguranje da će zaštitni sistem sprečiti oštećenja zbog struje koje prolaze kroz te provodnike. Krive oštećenja komponenti takođe se mogu nazvati 'Damage' krivama, jer pokazuju nivo struje i količinu vremena za koje komponenta može da održi potencijalno oštećujuću struju bez pregrevanja i oštećenja [6].

6. SOFTVERSKA VERIFIKACIJA KOORDINACIJE ZAŠTITNIH UREĐAJA SA KRIVAMA OŠTEĆENJA KABLA

Funkcionalnost koja se koristi za koordinaciju zaštite u programu za koordinaciju releja je Relay Protection – Coordination Analysis.

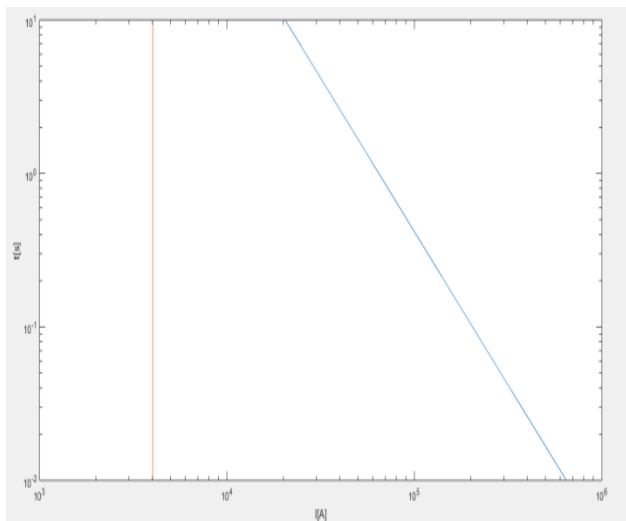
Za softversku verifikaciju je puštana funkcija za određeno mesto kvara i dobijen je tabelarni prikaz koordinacije zaštitnih uređaja na putanji kvara kao i vrednost struje kratkog spoja, a zatim je primenom MATLAB-a nacrtan grafik krive oštećenja kablova kroz koje prolazi struja kratkog spoja.

Rezultat funkcije je prikazan u tabeli 6.1.

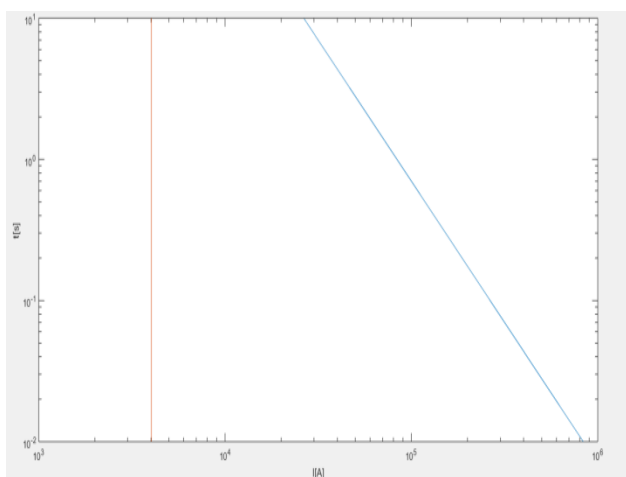
Struja kratkog spoja na mestu kvara i kroz kablove iznosi 4022.31A. Na osnovu formula (4.2) i (4.3) dobijaju se krive oštećenja Al/Če provodnika i Cu kabla. Grafici su prikazani na slikama 6.1 i 6.2 [7].

Tabela **Error! No text of specified style in document..1**
 – Tabelarni prikaz rezultata analize koordinacije releja

Tip zaštite	Redni broj delovanja	Strujno podešenje uređaja [A]	Struja kvara [A]	Vreme delovanja [s]
51 - Fast	1	220.0	4022.3	0.402
Fuse	2	900.0	4022.3	0.419
Fuse	2	900.0	4022.3	1.079
51 - Slow	3	270.0	4022.3	1.544
51	4	420.0	4022.3	3.460
50	N\A	7670.0	4022.3	-



Slika **Error! No text of specified style in document..1**
 Dijagram struje kvara i kriva oštećenja Al/Če provodnika



Slika **Error! No text of specified style in document..2**
 Dijagram struje kvara i kriva oštećenja kabla

Rezultat softverske verifikacije jeste da su kablovi dobro zaštićeni, jer su napravljeni da mogu da izdrže izračunatu struju kvara.

Na osnovu tabele 6.1 vidi se da su uređaji su dobro koordinisani i da reaguju na struju kvara.

Prilikom kvara reagovala je brza karakteristika reklozera. Prekidač će se otvoriti, izolovaće mesto kvara, sačekati neko vreme i zatvoriti. Ako kvar i dalje postoji, onda će biti izvršena akcija reklozera. Posle dva otvaranja smatra se da je kvar trajni, karakteristika reklozera se prebacuje na sporu i otvara se fuses koji trajno izoluje kvar.

7. ZAKLJUČAK

Sa povećanjem snage i napona povećavaju se i potencijalne opasnosti i štete. Visoka temperatura koja nastaje zbog kontinuiranog preopterećenja, nelinearnih opterećenja ili neusklađene zaštite od kvarova je čest uzrok smanjenog veka kabla i njegovog kvara. Pravilan izbor osobina kabla osigurava da je kabl dovoljno siguran za očekivanu struju. Pogodna zaštita osigurava da porast temperature kabla ne postane preteran i sprečava kvar kablova.

Korišćenje vremensko-strujnih krivih kao grafičke tehnike za ilustraciju selektivne koordinacije zaštite olakšava prikazivanje da li je dobijena selektivnost zaštite i da li zaštitni uređaji adekvatno štite distribucijsku opremu. Na više primera u radu je pokazano kao se koriste ove krive kao i da su dobijeni rezultati zadovoljavajući, odnosno, da su izabrani provodnici dobro dimenzionisani.

8. LITERATURA

- [1] Duško Bekut, „Relejna zaštita”, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.
- [2] IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, IEEE Std 141-1993
- [3] IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., IEEE Std 242-2001™
- [4] <http://www.skm.com/applicationguides8.html>
- [5] Thomas P. Smith, The ABC's of Overcurrent Coordination, P.E. January 2006
- [6] David Paul P.E., Understanding Time Current Curves, MAVERICK Technologies
- [7] ETAP ADMS demo software.

Kratka biografija:



Marija Sarić rođena je u Valjevu 1993. godine. Osnovne studije je završila na Fakultetu tehničkih nauka 2016. godine na departmanu Elektrotehnika i računarstvo – Elektroenergetski sistemi. Iste godine je upisala master studije na istom smeru.