

# Parametriranje i ispitivanje zaštite asinkronog motora

---

**Tadić, Josip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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:200:150749>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**

*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**

**PARAMETRIRANJE I ISPITIVANJE ZAŠTITE  
ASINKRONOG MOTORA**

**Diplomski rad**

**Josip Tadić**

**Osijek, 2019.**

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

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 10.09.2019.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada**

|   |  |
|---|--|
| <b>Ime i prezime studenta:</b>  | Josip Tadić  |
| <b>Studij, smjer:</b>   | Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika  |
| <b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>   | D-1134, 24.09.2018..   |
| <b>OIB studenta:</b>  | 96504195414  |
| <b>Mentor:</b>  | Izv. prof. dr. sc. Marinko Barukčić  |
| <b>Sumentor:</b>  | Prof. dr. sc. Željko Hederić   |
| <b>Sumentor iz tvrtke:</b>  |  |
| <b>Predsjednik Povjerenstva:</b>  | Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić   |
| <b>Član Povjerenstva:</b>   | Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš   |
| <b>Naslov diplomskog rada:</b>  | Parametriranje i ispitivanje zaštite asinkronog motora   |
| <b>Znanstvena grana rada:</b>   | <b>Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)</b>   |
| <b>Zadatak diplomskog rada:</b>   | U diplomskom radu potrebno je proučiti literaturu koja se odnosi na načine zaštite asinkronih motora te na primjeru odabranog zaštitnog uređaja prezentirati podešavanje postavki zaštite motora |
| <b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):</b>                                 | Izvrstan (5)   |
| <b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b> | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda<br>Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda<br>Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda<br>Razina samostalnosti:3 razina |
| <b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>   | 10.09.2019.  |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:         | Potpis:  |
|   | Datum:   |

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

Osijek, 10.11.2019.

**Ime i prezime studenta:**

Josip Tadić

**Studij:**

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

D-1134, 24.09.2018.

**Ephorus podudaranje [%]:**

0

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Parametriranje i ispitivanje zaštite asinkronog motora**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Marinko Barukčić

i sumentora Prof. dr. sc. Željko Hederić

moj 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:

## IZJAVA

Ja, Josip Tadić, OIB: 96504196414, student/ica na studiju: Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, dajem suglasnost Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek da pohrani i javno objavi moj **diplomski rad**:

**Parametriranje i ispitivanje zaštite asinkronog motora**

u javno dostupnom fakultetskom, sveučilišnom i nacionalnom repozitoriju.

Osijek, 10.11.2019.

---

potpis

# SADRŽAJ

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1      | UVOD .....  | 1  |
| 1.1    | Zadatak rada.....   | 3  |
| 2      | RANIJI MODELI RELEJA ZA ZAŠTITU MOTORA.....   | 4  |
| 3      | PROBLEMI KOJI UZROKUJU PRORADU ZAŠTITE .....  | 6  |
| 3.1    | Porast temperature pri normalnom pokretanju.....                                    | 6  |
| 3.2    | Struje motora tijekom zaustavljanja i pokretanja motora .....                       | 7  |
| 3.3    | Struje motora prilikom momenta tereta većeg od momenta motora .....                 | 7  |
| 3.4    | Nesimetrično napajanje.....   | 9  |
| 3.5    | Zemljospoji i kratki spojevi .....  | 10 |
| 4      | SEPAM M40.....  | 12 |
| 4.1    | SFT2841 programska podrška .....  | 13 |
| 4.2    | Instalacija SEPAM M40 .....   | 14 |
| 5      | ISPITNI UREĐAJ CMC 353.....   | 16 |
| 6      | POKUS PODEŠENJA I ISPITIVANJA ZAŠTITE.....  | 18 |
| 6.1    | Popis korištene opreme i vrsta zaštite koja se ispituje .....                       | 18 |
| 6.2    | Parametriranje SEPAM M40 uređaja.....   | 19 |
| 6.2.1  | Zaštita od preopterećenja (ANSI 49) .....   | 22 |
| 6.2.2  | Prekostrujna zaštita sa inverznom vremenskom karakteristikom (ANSI 51) .....        | 25 |
| 6.2.3  | Kratkospojna zaštita (ANSI 50).....   | 27 |
| 6.2.4  | Osjetljiva usmjerena zemljospojna zaštita (ANSI 67Ns).....                          | 28 |
| 6.2.5  | Prenaponska zaštita (ANSI 59).....  | 30 |
| 6.2.6  | Podnaponska zaštita (ANSI 27) .....   | 31 |
| 6.2.7  | Podstrujna zaštita .....  | 32 |
| 6.2.8  | Greška prekidača.....   | 32 |
| 6.2.9  | Zaštita od nesimetričnog opterećenja (ANSI 46).....                                 | 33 |
| 6.2.10 | Preveliko vrijeme pokretanja motora i zakočeni rotor .....                          | 34 |
| 6.2.11 | Broj pokretanja po satu .....   | 35 |
| 6.2.12 | Nadzor i signalizacija.....   | 36 |
| 6.2.13 | Mrežna dijagnostika.....  | 37 |
| 6.3    | Ispitivanje SEPAM M40 releja pomoću uređaja za sekundarno ispitivanje CMC 353 ..... | 38 |
| 6.3.1  | Ispitivanje prekostrujne zaštite s inverznom vremenskom karakteristikom .....       | 40 |
| 6.3.2  | Ispitivanje kratkospojne zaštite .....  | 42 |
| 6.3.3  | Ispitivanje podnaponske zaštite .....   | 43 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 6.3.4 | Ispitivanje prenaponske zaštite .....                                      | 43 |
| 6.3.5 | Ispitivanje neusmjerene zemljospojne zaštite s dva stupnja podešenja ..... | 44 |
| 6.3.6 | Ispitivanje zaštite od preopterećenja .....                                | 45 |
| 7     | ZAKLJUČAK .....  | 47 |
| 8     | LITERATURA .....   | 48 |
| 9     | SAŽETAK .....  | 49 |
| 10    | ABSTRACT .....   | 49 |
| 11    | ŽIVOTOPIS .....  | 50 |
| 12    | PRILOZI .....  | 51 |

# 1 UVOD

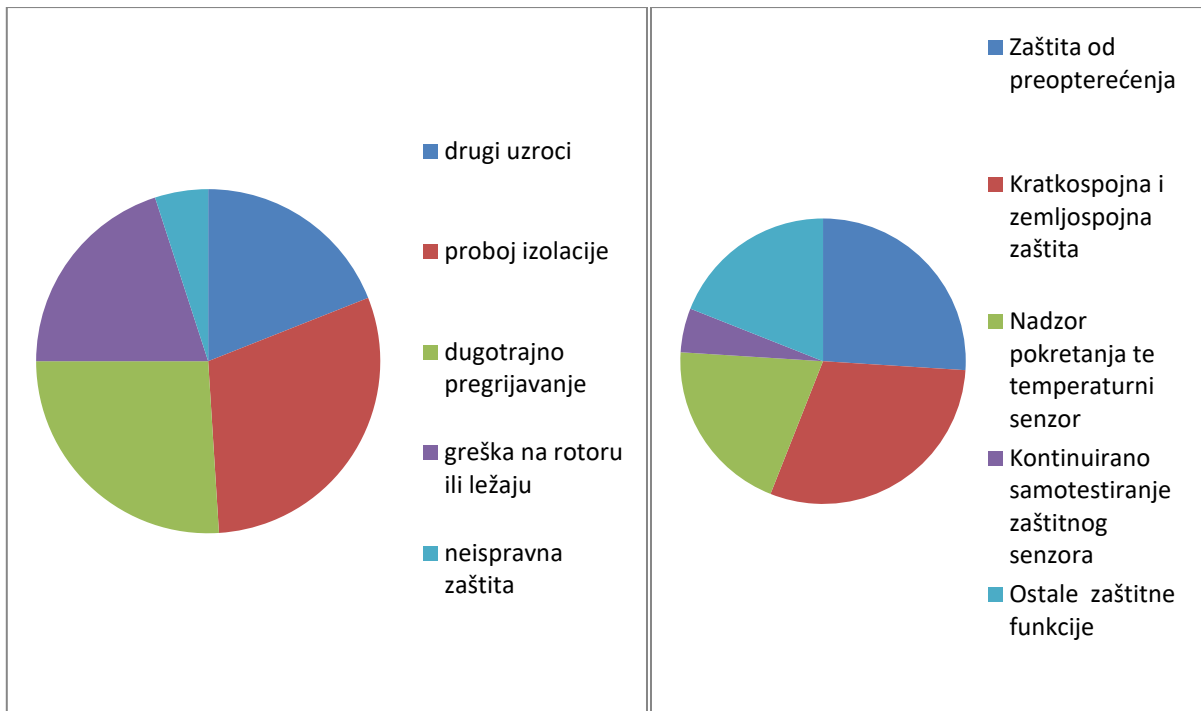
Osnovne komponente zaštitnog sustava su:

- Naponski i strujni mjerni transformatori koji vrše prilagodbu razine mjernog signala mjernom instrumentu ili releju te na taj način daju informacije zaštitnom releju o ispravnosti sustava,
- Zaštitni releji koji daju naloge za otvaranje strujnih krugova u kvarnim situacijama ili daju alarme u slučajevima kada mjerene veličine dostignu opasno visoke vrijednosti,
- Osigurači koji isključuju strujne krugove u slučaju pojave prevelikih struja
- Prekidači koji imaju sposobnost provođenja velikih struja kao i prekidnu moć za te struje kada od zaštitnog releja dobije nalog za isključenje,
- Akumulatorske baterije daju neprekidan izvor napajanja relejima i prekidačima kako bi bili neovisni o glavnom napajanju koje se štiti.

U ovom radu za šticeći uređaj odabran je 6 kV sredjenaponski asinkroni motor te će biti izvršeno parametriranje i sekundarno ispitivanje zaštitnog releja SEPAM M40 proizvođača Schneider Electric.

Električni motori predstavljaju radne uređaje u industriji koji se primarno koriste za pretvorbu električne energije u rotacijsku mehaničku energiju. Asinkroni kavezni motori su postali izuzetno popularni, prvenstveno zbog svoje jednostavne, robusne konstrukcije te dobre karakteristike poteznog i radnog momenta. Ovakvi motori su se pokazali izuzetno pouzdanima sa predviđenim vijekom trajanja od 40 godina ukoliko se pravilno koriste. Uzroci kvarova na motorima su dani na slici 1.1. Na slici 1.2 se vidi da se 81% problema koji se dešavaju na motorima može izbjeći uporabom preciznih i pouzdanih releja.





**Slika 1.1.** *Najčešći uzroci kvarova kod motora u industrijskim pogonima*

**Slika 1.2.** *Zaštitne funkcije potrebne za detekciju kvarova na motoru*

Životni vijek motora je određen vijekom trajanja mehaničkih i električnih komponenti. Trajanje mehaničkih dijelova kao što su ležajevi, vratilo, ventilatori te kućište ovise od utjecaja okoline (prašina, vlaga, kemikalije i sl.), vibracija te učestalosti podmazivanja. Trajanje mehaničkih dijelova može se produžiti redovitim inspekcijama i pravilnim održavanjem. Životni vijek električnih dijelova kao što su namoti i izolacije statora i rotora te terminali vodiča se može produžiti tako da osiguramo da namoti i izolacije nisu podložni visokim temperaturama, koje su obično posljedica povećanih strujnih i naponskih naprezanja. Uloga dobre zaštite motora je kontinuirani nadzor nad strujom koja teče kroz namotaje motora zbog detekcije preopterećenja i kvarnih stanja i automatskog isključenja motora kada se pojavi kvar.

Mehaničke karakteristike rada motora su relativno lako uočljive u odnosu na njihov utjecaj na električna, odnosno toplinska opterećenja. Pojednostavljeno, mehaničko preopterećenje uzrokuje strujno preopterećenje odnosno pregrijavanje namota rotora i statora. Ova pregrijavanja namota mogu dovesti do proboja izolacije namota. Takva vrsta kvara uzrokuje dugotrajan zastoj pogona jer je potrebno premotati namot motora ili ga zamijeniti drugim motorom.

U ovom diplomskom radu bit će prikazan jedan moderan način zaštite asinkronog motora pomoću mikroprocesorski upravljanoog zaštitnog releja. Za pravilnu zaštitu moraju se podesiti i parametri releja u skladu s karakteristikama motora. Na kraju diplomskog rada će se prikazati ispitivanje zaštite motora pomoću mikroprocesorski upravljanoog zaštitnog releja (parametriranog prema nazivnim podacima motora) korištenjem uređaja za sekundarno ispitivanje zaštita.

## **1.1 Zadatak rada**

U diplomskom radu potrebno je proučiti literaturu koja se odnosi na načine zaštite asinkronih motora te na primjeru odabranog zaštitnog uređaja prezentirati podešavanje postavki zaštite motora.

## 2 RANIJI MODELI RELEJA ZA ZAŠTITU MOTORA

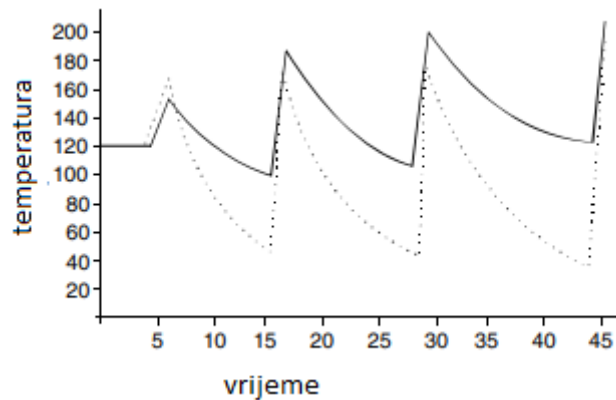
Većina ranijih modela zaštitnih releja su imali samo jednu funkciju – zaštita od struja većih od nazivnih struja namota štíćenog motora, čime se ostvarivala osnovna funkcija zaštite od preopterećenja. U slučaju detekcija nadstruja zaštitni relej bi davao signal prekidaču za isključivanje napajanja motora. Pri tome je funkcija isklapanja bila obrnuto proporcionalna iznosu strujnog nadvišenja. Ovo vrijeme isključenja se ostvarivalo na različite načine. Na primjer, kod bimetalnog tipa relej isključuje motor kada struja koja prolazi kroz otpornik, koji je napravljen u obliku bimetalne trake, uzrokuje toplinsko istežanje materijala, odnosno savijanje trake uslijed nejednakog istežanja različitih materijala bimetalne trake. Količina topline proporcionalna je kvadratnoj funkciji struje, pa se pri pojavi nadstruje traka savijala dovoljno da fizički odvoji signalne kontakte releja i time pokrenu mehanizam isklapanja štíćenog motora.

U prošlosti je redovna praksa bila da se za detekciju temperatura koje su iznad dozvoljenih, koriste temperaturno-ovisni elementi koji se instaliraju u namote motora. No ova metoda se pokazala nedovoljno preciznom jer se temperatura ne mjeri direktno s vodiča. Temperatura se mjeri kroz izolator, što dovodi do određenih odstupanja. Zbog drukčijeg starenja izolacije termo elementa u odnosu na izolaciju namota, to dugoročno može dovesti do mehaničkih oštećenja namota što je iznimno učestalo kod visokonaponskih motora.

Danas se zaštita motora bazira na praćenju struja namota koje direktno utječu na porast temperature motora, odnosno signaliziraju moguć kvar.

Performanse motorne zaštite ovise o tome koliko točno i precizno zaštita može estimirati stanja rada i zagrijavanja motora iz mjerenja struja namota, što uvelike ovisi o ispravnim podacima vremenskih konstanti zagrijavanja i hlađenja namota motora za sva radna stanja. U nekim prijašnjim modelima, model estimacije koji se temeljio samo na podacima za nazivno opterećenje nije pravilno procijenio zagrijavanje zbog krivih vremenskih konstanti, neprilagođenih za pokretanje tereta koji imaju veliku inercijalnu masu. S druge strane, tijekom više uzastopnih pokretanja i zaustavljanja, zaštitni uređaj bi podcijenio vrijeme hlađenja namota, te tako dozvolio pregrijavanje namota motora. Ova situacija se dešava kod bimetalnih termičkih releja koji se kod zaštite motora koriste još i danas. Bimetalni termički releji ne pružaju potpunu zaštitu zato što nemaju istu termičku karakteristiku zagrijavanja i hlađenja motora. Vremenske konstante zagrijavanja i hlađenja bimetalnih releja su gotovo jednake, što je problem u slučaju da se motor u određeno vrijeme zaustavi. Tada ventilator ne

hladi motor te se on sporije hladi nego bimetalne trake. Jednostavni bimetalni senzor se kalibrira za ustaljeni rad motora pri nominalnom opterećenju, pa pri svakoj promjeni rada motora dolazi do odstupanja u modeliranju temperature motora..Prethodno opisani problem može se prezentirati na primjeru motora koji radi pod nekim teretom određeno vrijeme i rotor se odjednom zaglavi. Slika 2.1 prikazuje karakterističnu krivulju za temperature namota (puna linija) u odnosu na krivulju zagrijavanja i hlađenja zaštitnog uređaja (točkasta linija). Počevši od normalne radne temperature od 120 °C, struja se povećava do temperature od 140 °C kada reagira zaštita nakon nekoliko trenutaka. Nakon 10 minuta bimetal se ohladi na temperaturu okoline ali temperatura namota pada na samo 100 °C. Resetiranjem bimetala, moguće je restartirati motor. Kako se motor nalazi u mirovanju, velike struje pokretanja će uzrokovati brzi porast temperature. Zbog ovog naglog porasta temperature zaštita reagira sa zakašnjenjem tek na 165 °C.



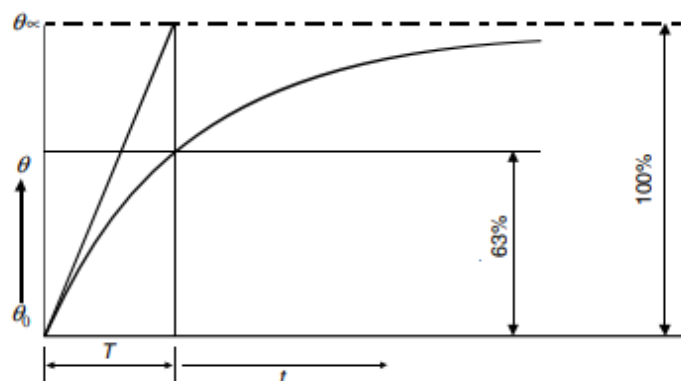
**Slika 2.1.** Ovisnost porasta temperature o vremenu kod asinkronog motora

Ukoliko dođe do više uzastopnih ponavljanja, gdje različita vremena hlađenja motora i bimetala dozvoljavaju bimetalu da se resetira prije nego što se namoti ohlade na predviđenu temperaturu i motor se ponovno pokrene, nakon 10 minuta moguće je da temperatura dostigne 180 °C što je kritična temperatura za neke izolatore. Na ovaj način je prikazana važnost ispravne estimacije od strane zaštitnog uređaja u oba stanja, i kada se motor nalazi u stanju rada i kada je zaustavljen.

### 3 PROBLEMI KOJI UZROKUJU PRORADU ZAŠTITE

#### 3.1 Porast temperature pri normalnom pokretanju

S ciljem ostvarivanja maksimalne učinkovitosti, električni uređaji koji se nalaze pod teretom trebaju imati radnu temperaturu koja je po iznosu što bliža dozvoljenoj temperaturi. No svako dodatno temperaturno naprezanje treba biti izbjegnuto, ukoliko to isto naprezanje uzrokuje skraćenje trajanja izolacije. Pri normalnom pokretanju temperatura motora raste eksponencijalno zbog rasipanja topline u okolinu ili medij za hlađenje sve dok se ne dostigne radna temperatura. Kako motor nije homogeno tijelo, toplina se rasprostire u nekoliko faza. Porast i pad temperature određuje nekoliko vremenskih konstanti (slika 3.1). Neovisno o velikom broju vremenskih konstanti, dovoljno je za zaštitu od preopterećenja pri normalnom pokretanju da se zaštita motora podesi prema dominantnoj vremenskoj konstanti. To pojednostavljeno znači da se u obzir uzimaju samo gubitci u bakru. Mjerenje napona bi bilo nužno kako bi se uključili i gubitci u željezu, ali generalno to nije moguće jer su naponski transformatori postavljeni na sabirnici, a ne uz svaki motor. Većina modernih temperaturnih releja svoju zaštitu temelji na mjerenju struje i to tako što se filtrira struja s najvećim iznosom od svih struja trofaznog sustava. Kritični slučajevi kao što su prekid faze ili pokretanje s produženim trajanjem se rješavaju preko nekih drugih zaštitnih uređaja.



Slika 3.1. Porast temperature pri stacionarnom stanju

$$\theta = \theta_N (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \left(\frac{I}{I_N}\right)^2 \quad (3-1)$$

$\theta_N$  – nazivna temperatura

$I_N$  – nazivna struja

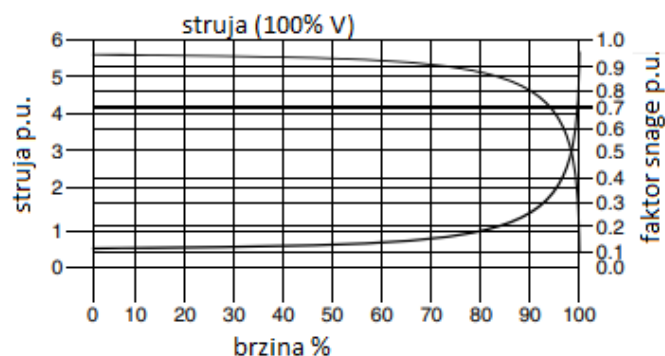
$t$  – vrijeme trajanja porasta temperature

$T$  – vremenska konstanta

Vremenska konstanta  $T$  se definira kao vrijeme u minutama potrebno da se temperatura promijeni od inicijalne temperature  $\Theta_0$  do 63 % iznosa razlike između  $\Theta_0$  i novog stacionarnog stanja. Vremenska konstanta  $T$  za hlađenje je aproksimativno ista kao i za zagrijavanje.

### 3.2 Struje motora tijekom zaustavljanja i pokretanja motora

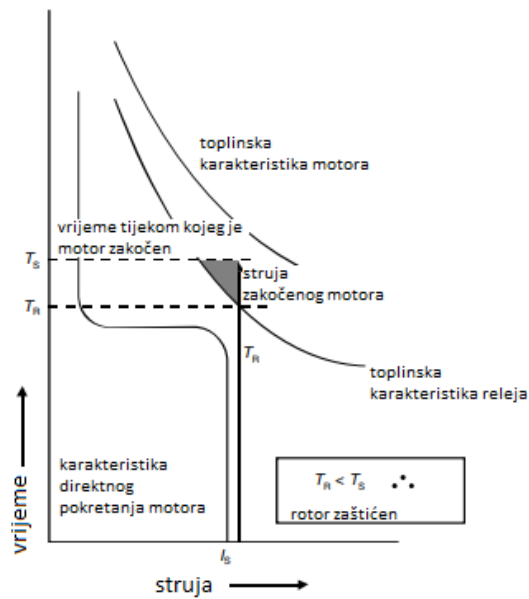
Iznos i trajanje struja pokretanja te struja zaustavljanja su dva veoma bitna faktora na koja je bitno obratiti pozornost kod zaštite motora. Kriva pretpostavka je da se kod izravnog pokretanja strojeva iznos struje linearno smanjuje kako se brzina vrtnje povećava. 80-90% vremena od ukupnog vremena trajanja pokretanja motora struja ima konstantan iznos. Sa slike 3.2 prilikom određivanja postavke vremena i struje zaštite za slučaj preopterećenja, može se pretpostaviti da struja pokretanja motora ima konstantan iznos tijekom cijelog vremena pokretanja.



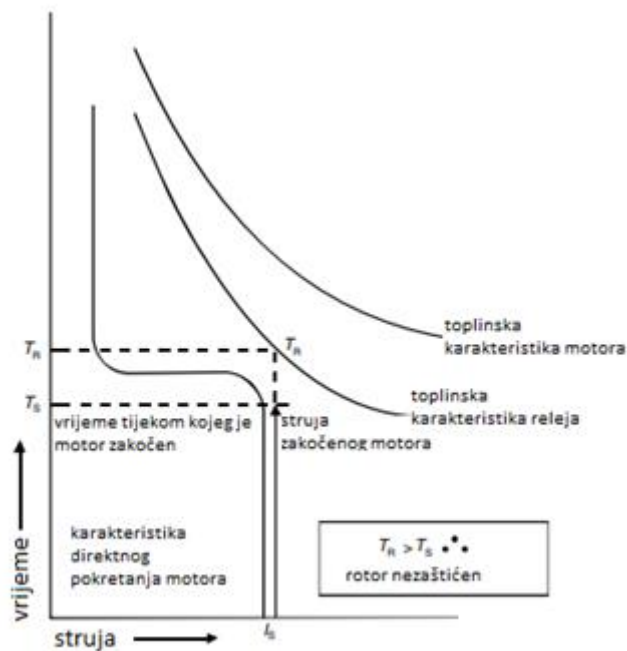
Slika 3.2 Struja motora prilikom pokretanja motora

### 3.3 Struje motora prilikom momenta tereta većeg od momenta motora

Ukoliko se stroj opteretiti teretom čiji je moment veći od momenta motora on uzima iz napajanja struju koja je po iznosu jednaka strujama koje teku kroz rotor, kada se rotor nalazi u kratkom spoju. Očigledno je da treba izbjeći ovakva stanja i to na način da se motor isključi što je prije moguće. Suština samog problema je što ponekad nije moguće razlikovati ovakvo stanje od normalnog pokretanja samo na osnovu iznosa struje.



**Slika 3.3** Vrijeme prorade releja manje od vremena zakočenog rotora



**Slika 3.4** Vrijeme prorade releja veće od vremena zakočenog rotora

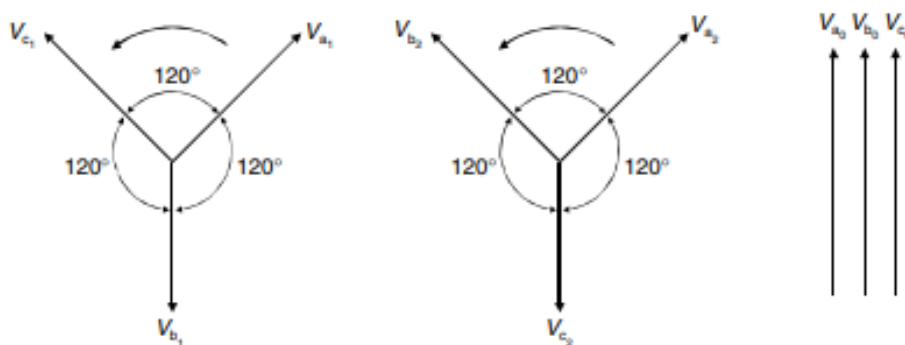
U većini slučajeva je vrijeme normalnog pokretanja motora oko 10 sekundi, dok je vrijeme trajanja zakočenog rotora pri kojem dolazi do oštećenja rotora 15 sekundi. Ukoliko se zaštita podesi na 15 sekundi rotor je zaštićen (slika 3.3). U slučaju da je vrijeme prorade podešeno na vrijeme veće od vremena trajanja zakočenog rotora pri kojem dolazi do oštećenja rotora, rotor nije zaštićen (slika 3.4).

### 3.4 Nesimetrično napajanje

Uzroci nesimetričnosti napona napajanja trofaznog motora su: jednofazni teret, pregorjeli osigurači kod kondenzatora za kompenzaciju reaktivne energije. Nadalje, isključivanje jedne faze napajanja može ostaviti motor još uvijek u pogonu, ali se napaja preko dvije preostale faze.

Postoji dojam da nesimetričnost napona pri normalnim uvjetima ne stvara velike probleme motoru. No treba imati na umu da problem u većini slučajeva nije nesimetričan napon nego relativno velika negativna komponenta struje, koja nastaje zbog nesimetričnog napona.

Teorija je da se svaki nesimetrični trofazni sustav može prikazati preko 3 sustava simetričnih komponenti: pozitivni sustav komponenti, negativni sustav komponenti i nulti sustav komponenti (slika 3.5). Komponenta pozitivne sekvence struje sastavljena od 3 vektora jednaka po iznosu i pomaknuta za  $120^\circ$  rotira jednakim sustavom kao i sustav napajanja. Negativni sustav komponenti je jednak pozitivnom sustavu komponenti samo je komponenta negativne komponente suprotnog smjera od smjera pozitivne. Nulti sustav se sastoji od 3 vektora koji su jednaki po amplitudi.



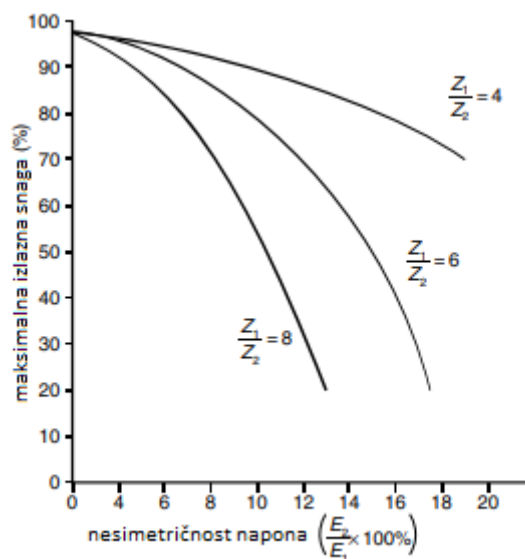
Slika 3.5. Pozitivni, negativni i nulti sustav

U većini slučajeva kod nesimetričnog trofaznog napona, ne postoji direktna veza između pozitivne i negativne komponente struje. Vrijednost negativne komponente struje ovisi o stupnju nesimetričnosti napona napajanja i o omjeru impedancije negativnog i pozitivnog sustava. Kod asinkronih motora iznos otpora je obično znatno manji u odnosu na iznos reaktancije. Omjer impedancija negativnog i pozitivnog sustava pri normalnoj brzini vrtnje može se aproksimirati omjeru struje pokretanja koja se pak može predstaviti umnoškom negativne komponente napona i omjera struje pokretanja i nazivne struje.

Na primjer, kod motora kod kojeg je struja pokretanja 6 puta veća od nazivne struje, 5% negativne komponente u sustavu napajanja će rezultirati aproksimativno 30% negativne komponente struje.



Negativna komponenta struje ne doprinosi stvaranju pozitivnog momenta; ona naprotiv stvara negativni moment. Iznos tog negativnog momenta je obično manji od 0.5% nazivnog momenta, a momenti ovakvog tipa čiji iznos ne prelazi 10% nazivnog momenta se mogu zanemariti. No problem negativne komponente struje se ne ogleda kroz moment nego kroz povećanje gubitaka motora. Uglavnom se tu radi o gubicima u bakru zbog kojih se smanjuje raspoloživa snaga motora. Smanjenje raspoložive snage motora zbog utjecaja negativne komponente je prikazan na slici 3.6, gdje se na osnovu omjera struje pokretanja i nazivne struje (što predstavlja omjer impedancija pozitivnog i negativnog sustava) može vidjeti pad izlazne snage i nesimetričnost napona.



Slika 3.6. Omjer maksimalne izlazne snage i nesimetričnosti napona

### 3.5 Zemljospoji i kratki spojevi

Greške koje se dešavaju unutar namota motora su u većini slučajeva zemljospoji koji nastaju zbog proboja izolacije namota. Ovo se može jednostavno riješiti uporabom releja koji reagira na struju koja je po iznosu veća od 20% nazivne vrijednosti struje motora. Zbog velike količine izolacije između faznih namota međufazni kratki spojevi su veoma rijetki.

Bimetalni toplinski relej preopterećenja pokazao se učinkovitim i ekonomičnim rješenjem za male i srednje motore do oko 22 kW. Na većim, skupljim motorima ili u slučaju kada je potrebno maksimalno iskorištavanje motora, nužno je razmotriti sofisticirane, fleksibilne i precizne mikroprocesorske zaštitne releje.

Moderniji releji obično uključuju:

- Toplinsku zaštitu od preopterećenja, nadgledanje svih trofaznih toplinskih replika za izravne i frekventne pretvarače s upravljanjem frekvencije
- Zaštitu od kratkog spoja
- Zaštitu od zaustavljanja i pokretanja
- Zaštitu od neravnoteže
- Jednofaznu zaštitu
- Zemljospojnu zaštitu
- Protuprovalnu zaštitu
- Digitalno očitavanje zadanih vrijednosti, stvarnih izmjerenih i pohranjenih vrijednosti
- Self - nadzorni sustav
- Izvanrednu točnost
- Optimalnu filozofiju.

Današnji koncept upotreba je mikroprocesorskih numeričkih releja za HV i LV motore (više od 50 kW), jer releji dolaze s puno značajki koje omogućuju međusobnu izmjenu i daju vrijedne povratne informacije o opterećenju bilo da se dogodi okidanje ili ne.

## 4 SEPAM M40

SEPAM M40 je zaštitni uređaj tvrtke Schneider Electric. Ova serija zaštitnih i mjernih uređaja je dizajnirana za rad s motorima, distribucijskim mrežama te industrijskim instalacijama. Može se koristiti na svim naponskim razinama. Sastoji se od jednostavnih, visokoučinkovitih rješenja, prilagođenih primjenama koje zahtjeva mjerenje struje i napona.

### Glavne funkcije:

#### 1. Zaštita

- Nadstrujna zaštita i zemljospojna zaštita sa podesivim vremenom resetiranja i prebacivanjem aktivne grupe postavki i zona selektivnog zaključavanja
- Zaštita uzemljenja neosjetljiva na uključenje transformatora
- RMS zaštita od termičkog preopterećenja koja uzima u obzir vanjsku radnu temperaturu te rad ventilacije
- Usmjerenja zaštita od zemljospoja pogodna za sve sustave uzemljenja
- Usmjerenja prekostrujna zaštita sa memorijom napona
- Funkcije zaštite napona i frekvencije (podnaponi, prenaponi..)

#### 2. Komunikacija

Uređaj se može povezati u nadzornu komunikacijsku mrežu na temelju sljedećih komunikacijskih protokola: Modbus RTU, DNP3, IEC 60870. Svi podaci potrebni za centralizirano upravljanje opremom sa sustava daljinskog praćenja i upravljanja dostupni su putem dva komunikacijska porta:

Čitanje: mjerenja, alarmi, zaštitne funkcije

Pisanje: naredbe daljinskog upravljanja

#### 3. Dijagnostika

Tri vrste dijagnostičkih podataka za poboljšani rad:

- Dijagnostika mreže i stroja: isključenje struje, pamćenje zadnjih pet isključenja, omjer neravnoteže, snimanje poremećaja
- Dijagnostika rasklopnih uređaja: ukupna struja prekida, nadzor struje isključenja, radno vrijeme
- Dijagnostika zaštitne jedinice i dodatnih modula: kontinuirano samotestiranje, watchdog

#### 4. Kontrola i nadzor

- Logika prekidača spremna za upotrebu, ne zahtijeva pomoćne releje ili dodatno ožičenje
- Prilagođavanje upravljačkih funkcija pomoću uređivača logičke jednadžbe
- Unaprijed programirani, prilagođeni alarmi na UMI-ju



**Slika 4.1** SEPAM M40 zaštitni uređaj

Na slici 4.1 je prikazano sučelje preko kojeg se mogu unositi naredbe direktno u zaštitni uređaj ili se naredbe mogu unositi preko računala tako što se ostvari komunikacija između računala i zaštitnog uređaja.

#### 4.1 SFT2841 programska podrška

Programska podrška koja se koristi za parametrisiranje zaštitnog uređaja je SFT2841 koji se koristi za rad sa Sepamovim uređajima iz serije 20, 40 i 80. Ova programska podrška se može koristiti za:

- Puštanje u pogon izvanmrežno za pripremu Sepam zaštite i postavki parametara
- Učitavanje, uklanjanje i izmjena postavki zaštite i parametara Sepam uređaja
- Pribavljanje svih mjerenja i korisnih informacija tijekom puštanja u rad
- Upravljanje zaštitnim sustavom
- Nadgledanje stanja električne mreže
- Pokretanje dijagnostike o bilo kojim incidentima koji utječu na električnu mrežu

Priprema parametara Sepam uređaja i postavki zaštite vrši se u offline načinu rada, a neke od operacija koje se vrše u ovom načinu su:

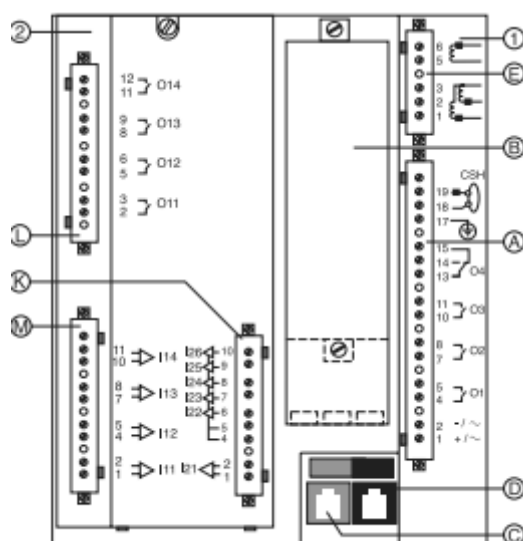
- Konfiguracija Sepama i dodatnih modula
- Omogućavanje / onemogućavanje funkcija i unos postavki zaštite
- Prilagođavanje unaprijed definiranih funkcija upravljanja i nadzora
- Izrada personaliziranih mimičkih dijagrama za lokalni prikaz

Puštanje u upotrebu softvera vrši se u mrežnom načinu, a neke od operacija koje se vrše u ovom načinu su:

- Pristup svim funkcijama koje su dostupne u nepovezanom načinu rada nakon unosa lozinke
- Prijenos parametara Sepam i postavke postavke zaštite, pripremljene u offline načinu rada, zaštićene lozinkom
- Prikaz svih mjerenja i korisnih informacija tijekom puštanja u rad
- Prikaz logičkog ulaza, logičkog izlaza i statusa LED-a
- Ispitivanje logičkih izlaza
- Postavljanje konfiguracijskih bitova, tajmera itd.

## 4.2 Instalacija SEPAM M40

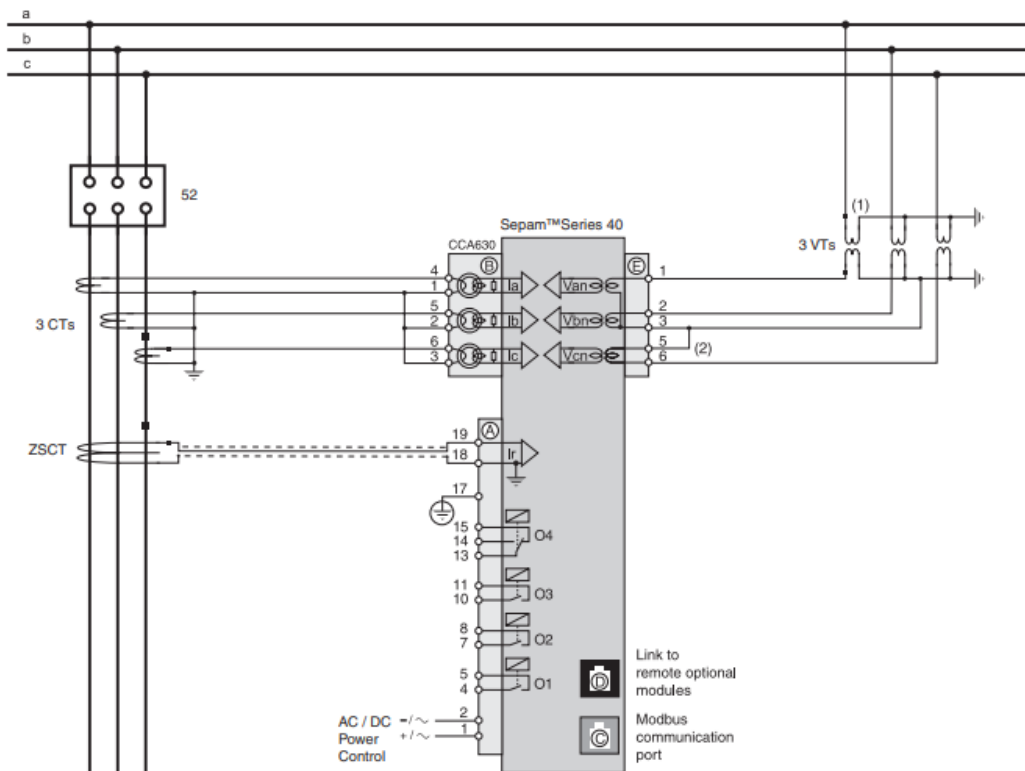
Na pozadini SEPAM M40 uređaja se nalaze konektori preko kojih se ostvaruje konekcija s drugim uređajima i strojevima.



**Slika 4.2** komponente SEPAM M40 uređaja

Na slici 4.2 brojem 1 je prikazana osnovna grupa konektora, dok su brojem 2 prikazani konektori koji se mogu dodavati po potrebi. Slovom A je prikazana grupa konektora preko kojih se spaja napajanje, izlazni releji te ulazi za struju koju daje osjetljivi obuhvatni strujni senzor u slučaju zemljospoja. Slovom B su prikazani strujni ulazi, slovom C komunikacijski modul, slovom D modul za daljinsko upravljanje, slovom E naponski ulazi. Slova L, K i M prikazuju module koje se dodaje po potrebi.

Način povezivanja zaštitnog uređaja sa šticeim objektom (u ovom slučaju se radi o asinkronom motoru, točnije kontrolnoj ploči na kojoj se nalaze kontrole za upravljanje motorom) prikazan je na sljedećoj slici.



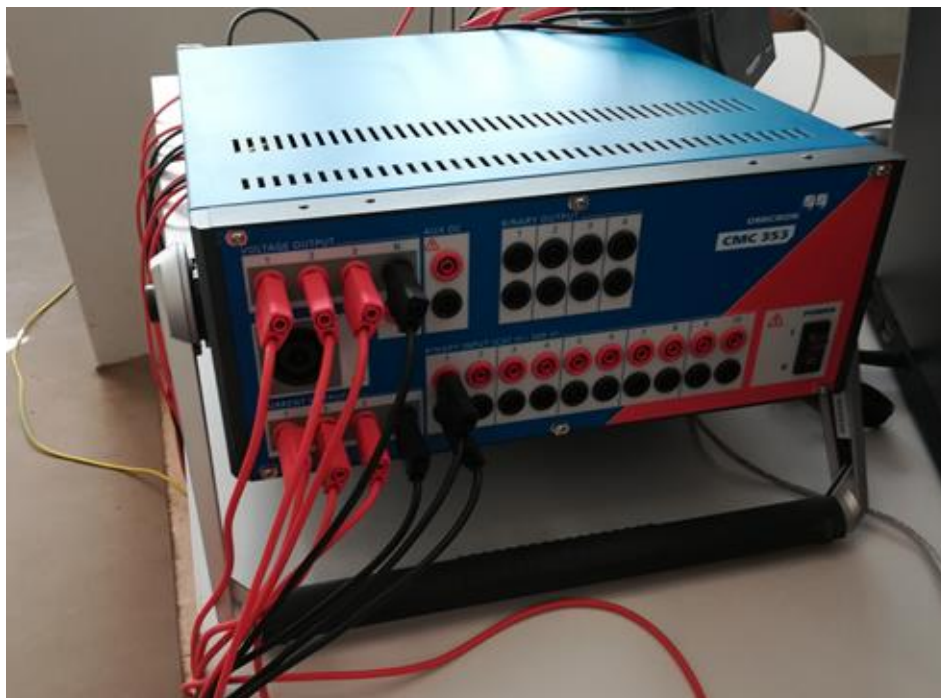
**Slika 4.3** Povezivanje zaštitnog uređaja sa šticeim objektom

Sa slike 4.3 se vidi da se stezaljke sa strujnog mjernog transformatora spajaju na modul B i to tako da se priključnice faza spajaju na priključnice 4, 5 i 6 dok se priključnice nule spajaju na priključnice 1, 2 i 3. Stezaljke naponskog mjernog transformatora se spajaju na modul E i to tako da se priključnice faza spajaju na 1, 2 i 6 dok se priključnica nule spaja na 3. Na modul A se spaja se spaja napajanje i to na priključnice 1 i 2. Na priključnice 19 i 18 se spaja obuhvatni strujni mjerni transformator koji se koristi za zaštitu od zemljospoja. S

priključnicom C ostvaruje se komunikacija s drugim uređajima dok priključnicom D ostvarujemo daljinsko upravljanje.

## 5 ISPITNI UREĐAJ CMC 353

CMC 353 je ispitni uređaj tvrtke OMICRON (slika 5.1). Omicron-ovi uređaji su najtraženiji u oblasti ispitivanja zaštitno-upravljačkih uređaja, prije svega zbog velikih mogućnosti koje nudi prateći program kojim se upravlja hardverskim uređajem - Test Universe. Analogni ispitni signali generiraju se digitalno koristeći DSP tehnologiju (obrada diskretnih vremenskih signala, tako što se inženjerski problem pretvara u matematički). To, u kombinaciji s korištenjem dodatnih algoritama za ispravljanje pogrešaka, rezultira u točnim ispitnim signalima čak i na malim amplitudama. Tri strujna i četiri naponska izlazna kanala su kontinuirano i neovisno podesivi u amplitudi, fazi i frekvenciji. Svi su izlazi otporni na preopterećenje i kratki spoj te su zaštićeni od vanjskih visokonaponskih prolaznih signala i previsoke temperature. Na stražnjoj strani testnog skupa dostupno je 12 neovisnih kanala s niskonaponskim signalima koji se mogu koristiti za ispitivanje releja koji imaju ulazni uređaj niske razine ili za upravljanje vanjskim jedinicama pojačala.



**Slika 5.1** Ispitni uređaj CMC 353

Set ispitivanja releja zaštite:

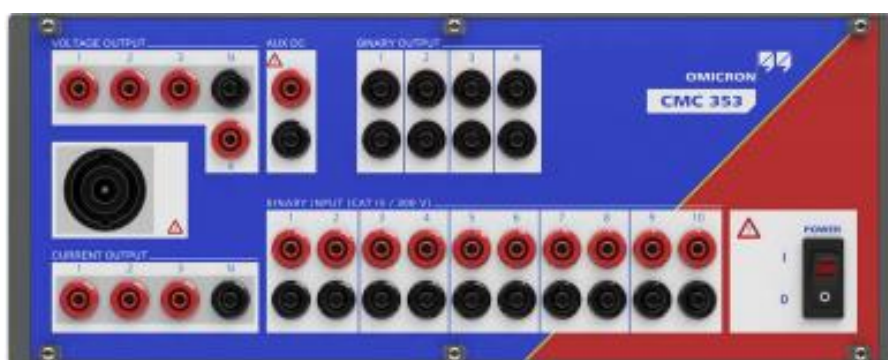
- Elektromehanički releji
- statički releji
- Numerički releji
- Relejne ploče
- Ispitivanje s kraja na kraj s GPS-om

Područja primjene: industrija, pružatelji usluga, projektne tvrtke, komunalije, proizvođač opreme za podstanice, distribuirana proizvodnja, željeznica.

Ključne značajke:

- Kompaktan dizajn i mala težina pružaju visok stupanj prenosivosti
- Visoke amplitude struje za ispitivanje releja od 5 A
- Snažni izvori struje za ispitivanje elektromehaničkih releja
- Visoka preciznost i svestranost za testiranje statičkih i numeričkih releja
- Integrirana mreža za testiranje IEC 61850 IED (IEC 61850 definira značenje imena i podataka npr. značenje za prekidač, uklopno stanje, konfiguracijske podatke, razmjenu podataka)
- Softver Test Universe s ručnim i automatiziranim funkcionalnostima testiranja
- Upravljanje na prednjoj ploči s jedinstvenom CMControl (opcija)
- Pouzdan i robustan

Na slici 5.2 je prikazano sučelje CMC 353 uređaja.



**Slika 5.2** Sučelje CMC 353 uređaja za ispitivanje

Na slici se vidi da se sučelje sastoji od 4 naponska kanala, jednim dodatnim naponskim kanalom za napajanje testnog objekta, četiri relejna kontakta bez potencijala, 10 binarnih ulaza u 5 galvaniski odvojenih skupina te od 3 strujna kanala i prekidačem napajanja.



## 6 POKUS PODEŠENJA I ISPITIVANJA ZAŠTITE

### 6.1 Popis korištene opreme i vrsta zaštite koja se ispituje

1. Zaštitni uređaj  
Proizvođač: Schneider electric  
Tip: SEPAM M40  
Nazivni napon: 110 V DC  
Nazivna frekvencija: 50 Hz  
Nazivna struja (prema fazi): 1 A  
Nazivna struja (prema zemlji): 1 A
2. Ispitni uređaj  
Proizvođač OMICRON  
Tip: CMC 353  
Nazivni napon 220 V DC  
Nazivna frekvencija: 50 Hz  
Nazivna struja: 10-12 A
3. Asinkroni motor  
Nazivni napon: 6 kV  
Nazivna frekvencija: 50 Hz  
Nazivna struja: 32 A  
Nazivna brzina vrtnje: 1476 o/min
4. Strujni mjerni transformator  
Nalaze se na fazama L1 i L2  
Prijenosni omjer: 50/1 A
5. Obuhvatni strujni mjerni transformator  
Prijenosni omjer: 20/1 A
6. Naponski mjerni transformator  
Prijenosni omjer:  $6/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}$  kV

Pokus ispitivanja ispravnosti zaštitnog uređaja se provodio na asinkronom motoru koji se koristio za pokretanje vakuumpumpe. Radno mjesto na kojem je izvršen proces ispitivanja prikazano je na sljedećoj slici .



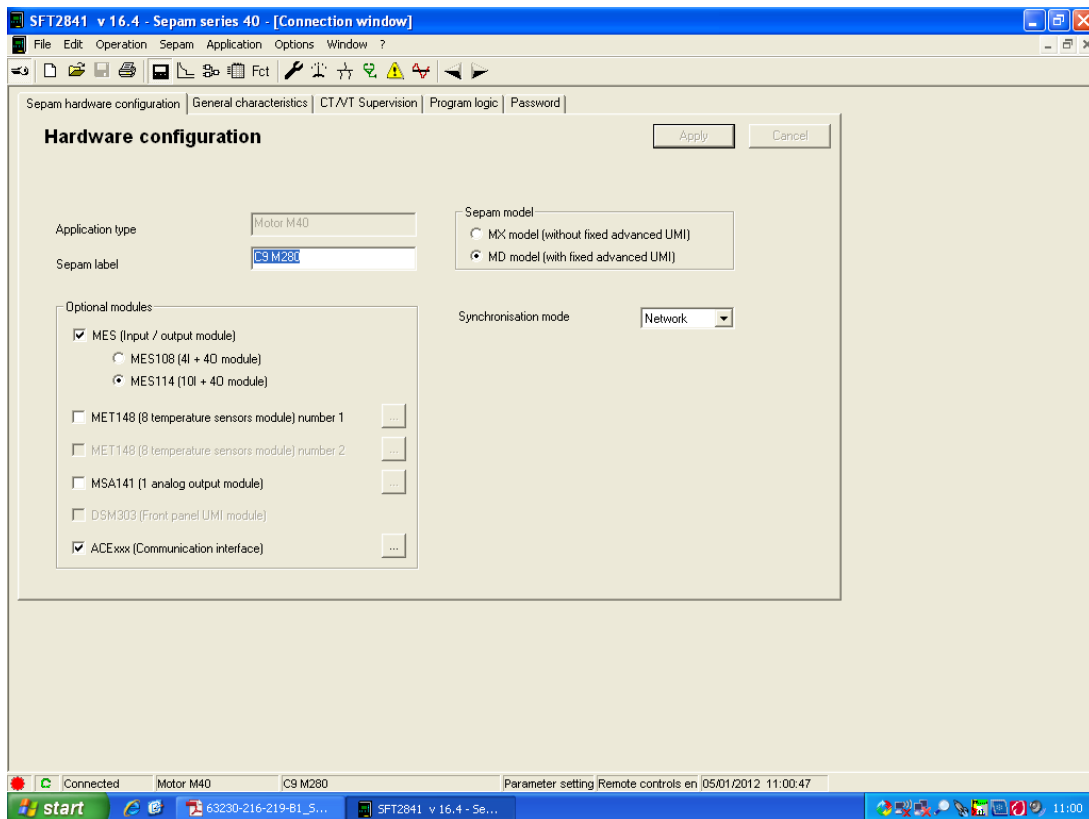
*Slika 6.1 Oprema korištena u procesu parametriranja i ispitivanja zaštitnog releja*

Vrste zaštite koje se u pokusu ispituju ovim uređajem su:

- prekostrujna zaštita sa strujno-zavisnom karakteristikom
- prekostrujna zaštita sa strujno-nezavisnom karakteristikom
- zaštita od temperaturnog preopterećenja
- podnaponska zaštita (prvi stupanj)
- podnaponska zaštita (drugi stupanj)
- prenaponska zaštita (prvi stupanj)
- prenaponska zaštita (drugi stupanj)
- zemljospojna zaštita (prvi stupanj)
- zemljospojna zaštita (drugi stupanj)

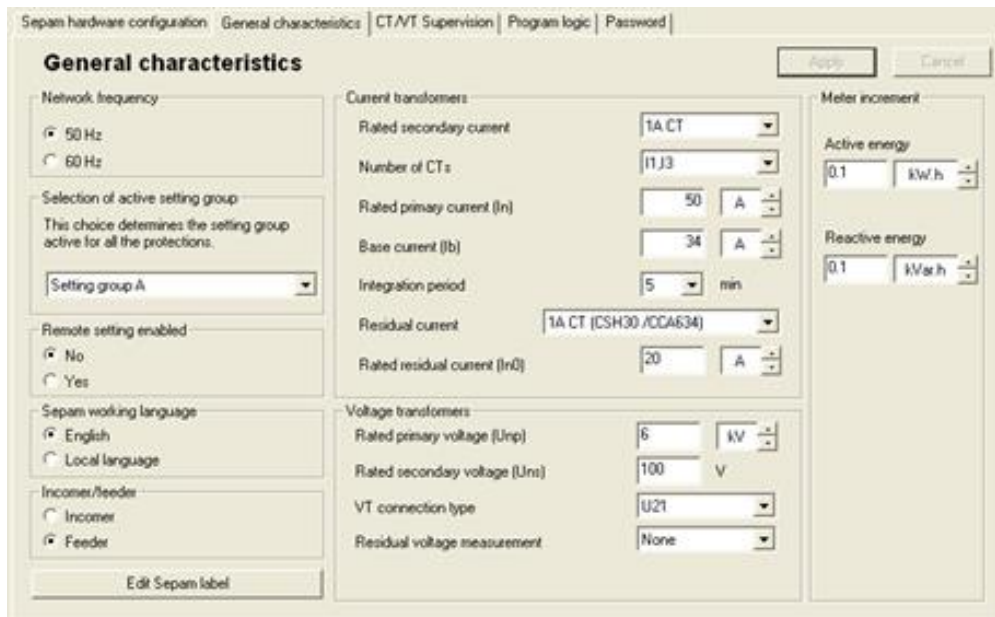
## **6.2 Parametriranje SEPAM M40 uređaja**

Nakon uspostavljanja komunikacije između zaštitnog uređaja ( kao što je prikazano na slici 6.2) i računala pokrenuta je Sepamova programska podrška SFT2841 koja se nalazi na računalu. Kada se otvori prozor software na njemu se može vidjeti sljedeće:



**Slika 6.2** prozor SFT2841 programske podrške

Prozor sadrži pojedine standardne trake kao što su naslovna traka, tekstualni izbornik. Ispod radnog prostora namijenjenog korisniku nalazi se statusna traka, na kojoj se nalaze alarmi, te vrsta SEPAM uređaja koja je spojena sa software-om. Na alatnoj traci nalaze se neke standardne naredbe kao što su pohrana, ispis i sl. Prva funkcija alatne trake koja je bitna za prametriranje zaštitnog uređaja je *Sepam parameters* preko koje se unose podaci o zaštitnom uređaju i asinkronom motoru na koji se postavlja zaštita. Pod *Sepam hardware configuration* vrši se određivanje SEPAM dodatnih modula. Tu se nudi više opcija u ovisnosti o vrsti modula koji je spojen na zaštitni uređaj. U ovom slučaju radi se o MES114(10I+40 module). Sve ostale postavke ostaju nepromijenjene. Sljedeći izbornik je *General characteristics* (slika 6.3).



**Slika 6.3** SFT2841-opće karakteristike

Ovdje se dodaje iznos frekvencije, grupa spoja (ukoliko postoji više grupa), neke standardne postavke za uređaj kao što su jezik te postoji li upravljanje s udaljenog uređaja. Sljedeće je potrebno postaviti strujne transformatore. Kao što je navedeno, u korištenoj opremi postoje 2 strujna transformatora koja se nalaze na fazama 1 i 3. Potrebno je unijeti struju primara koja iznosi 50 A te struju sekundara koja je 1. Nazivna struja motora je 34 A, dok je nazivna diferencijalna struja (nazivna struja obuhvatnog strujnog mjernog transformatora) 20 A. Iznos diferencijalne struje kada prekidač mora reagirati pod specifičnim uvjetima iznosi 1 A. Kod naponskog transformatora primarni napon je 6 kV dok je sekundarni napon 100 V. Kod vrste konekcije naponskog transformatora odabrano je mjerenje napona između dvije faze. Sljedeća tri izbornika služe za sigurnosne postavke kao što su nadzor mjernih transformatora ili dodavanje lozinke za promjenu parametara.

**Program logic** Apply Cancel

Circuit breaker control  
 No  
 Yes

Logic discrimination  
 No  
 Yes

Relay output parameters

|     | Used | Characteristics | Impuls. |
|-----|------|-----------------|---------|
| O1  | Yes  | normally open   |         |
| O2  | Yes  | normally closed |         |
| O3  | Yes  | normally open   |         |
| O4  | Yes  | normally closed |         |
| O11 | Yes  | normally open   |         |
| O12 | No   |                 |         |
| O13 | No   |                 |         |
| O14 | No   |                 |         |

Standard assignment

Assignment of logic inputs

|     | Logic Input     | Negative | Latch. |
|-----|-----------------|----------|--------|
| I11 | Open position   |          |        |
| I12 | Closed position |          |        |
| I13 | Not used        | ▼        |        |
| I14 | Not used        | ▼        |        |
| I21 | Not used        | ▼        |        |
| I22 | Not used        | ▼        |        |
| I23 | Not used        | ▼        |        |
| I24 | Not used        | ▼        |        |
| I25 | Not used        | ▼        |        |
| I26 | Not used        | ▼        |        |

**Slika 6.4** Logika kontakata

Pod *Program logic* možemo vidjeti logiku rada kontakata (slika 6.4). U slučaju relejnih izlaza O1 i O2 za koje će se kasnije vidjeti da su korišteni tako da je O1 signalizacija nepovoljnog stanja, dok je O2 prekid za signalizaciju korišten normalno otvoreni kontakt dok je za prekid korišten normalno zatvoreni kontakt. Razlog tome je što se za prekid, tj. kada nastane hitno stanje, mora uvijek postojati mogućnost prekida. Stoga ukoliko npr. uređaj ostane bez napajanja, a potrebno je prekinuti kontakt, ako se koristi normalno otvoreni prekidač neće se moći izvršiti naredba, dok se kod normalno zatvorenog prekida može izvršiti. Sljedeći korak je postavljanje same zaštite. Odaberemo izbornik *Protection* i prva na redu zaštita koju podešavamo je termička zaštita ili zaštita od preopterećenja.

### 6.2.1 Zaštita od preopterećenja (ANSI 49)

Za osnovnu zaštitu od preopterećenja odvoda za električne motore, direktno priključene na srednjenaponska postrojenja 6 kV, predviđena je funkcija termičke zaštite s memorijom s ANSI oznakom „49“.

Podešenje termičke zaštite od preopterećenja treba biti u skladu sa sljedećim principima:

- usvojeno dozvoljeno preopterećenje za motorske odvode je 110%;
- usvojena vremenska konstanta 10 min (600 s).

Funkcija termičke zaštite ukoliko motor kreće od hladnog stanja određena je sljedećom matematičkom relacijom:

$$t = \tau \cdot \ln \frac{\left(\frac{I}{I_N}\right)^2}{\left(\frac{I}{I_N}\right)^2 - Es2} \quad (6-1)$$

gdje je:

- $t$  – vrijeme do isključenja (s);
- $\tau$  – vremenska konstanta porasta temperature (s);
- $I$  – struja opterećenja (A);
- $I_N$  – nazivna struja zaštitnog uređaja (A).
- $Es2$  – postotak nazivne vrijednosti na kojoj se uključuje zaštita

Predložena termička konstanta za zaštitu od preopterećenja SN motora u ovoj studiji selektivnosti je:

$$\tau = 10 \text{ min} = 600 \text{ s} \quad (6-2)$$

Na osnovu nazivne struje motora  $I_{NMOT}$ , koja je poznata iz kataloških podataka motora, određuje se faktor preopterećenja  $k$  na osnovu slijedeće relacije:

$$k = \frac{1,1 \cdot I_{NMOT}}{I_{NMOT}} \cdot \frac{I_{NMOT}}{I_{STPRIM}} \quad (6-3)$$

gdje je:

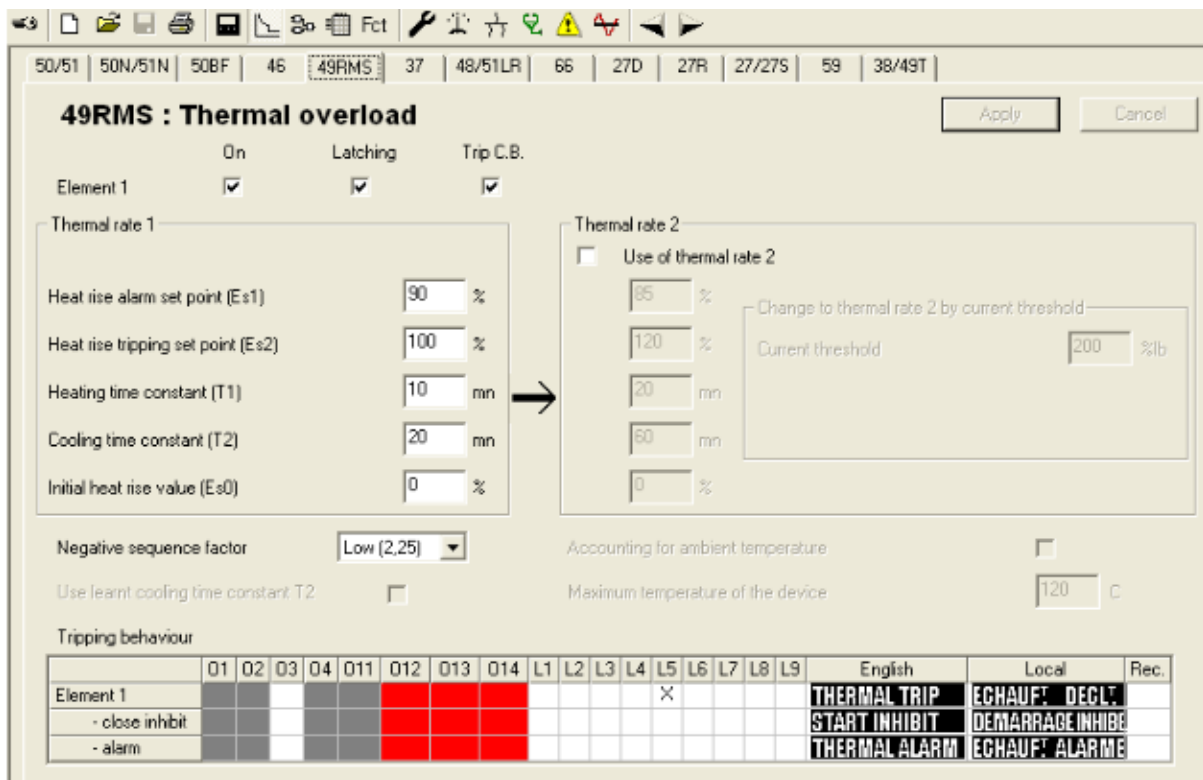
- $I_{NMOT}$  – nazivna struja motora;
- $I_{STPRIM}$  – primarna struja strujnog transformatora.

U ovom slučaju on iznosi:

$$k = \frac{1,1 \cdot 34}{34} \cdot \frac{34}{50} = 0.748 \quad (6-4)$$

Termička zaštita od preopterećenja podešava se tako da se pojava preopterećenja alarmira u određenom stupnju, prije nego što dođe do stupnja u kojem se izdaje naredba za isključenje. Na taj način se osoblje pravovremeno upozorava i dobiva određeno vrijeme u kojem će pokušati poduzeti mjere u cilju smanjenja ili eliminacije uzroka preopterećenja, ako je to zaista potrebno. Predloženo podešenje alarmiranja opterećenja je 85% vrijednosti termičkog isključenja.

**VAŽNO:** Termička zaštita od preopterećenja se ograničava do dvostruke vrijednosti  $I_{NMOT}$ , kako ne bi utjecala na rad prekostrujne zaštite i kako se ne bi bespotrebno aktivirala, ili čak eventualno davala nalog za isključenje u slučaju velikih poteznih struja kod normalnih zaleta motora.



**Slika 6.5** Postavke zaštite od preopterećenja

Kod postavke zaštite od preopterećenja (slika 6.5) prvo se podešavaju dva bitna parametra, a to su  $Es1$  i  $Es2$ .  $Es1$  govori pri kojem postotku od nazivne vrijednosti struje će se upaliti signalizacija, dok  $Es2$  određuje pri kojem postotku će reagirati zaštita.  $T1$  je termička konstanta koja se u tekstu prije označavala kao  $\tau$ .  $T2$  je toplinska konstanta hlađenja i nije korištena u ovom pokusu.  $Es0$  je početni porast topline koji se koristi za smanjenje trajanja hlađenja. Ovaj parametar također nije korišten u ovom pokusu. Sljedeća veličina je faktor

preopterećenja koji je izračunat i iznosi 0.748 te se u programu odabire kao iznos (low) do 2.25. Također, moguće je koristiti drugu grupu parametara npr. za pokretanje iz toplog stanja.

## **6.2.2 Prekostrujna zaštita sa inverznom vremenskom karakteristikom (ANSI 51)**

Dok termička zaštita od preopterećenja pokriva preopterećenja motora iznad 110%, prekostrujna zaštita s inverznom vremenskom karakteristikom podešava se za područje iznad 150% nazivne struje motora. U tom području, sa znatno većim preopterećenjima, koja se više i ne smatraju normalnim preopterećenjima, ova zaštita djeluje znatno brže od termičke zaštite. Ujedno, ova zaštita se može smatrati i zaštitom od predugog zaleta motora, jer će reagirati ako zalet traje duže od normalnog.

ANSI oznaka prekostrujne zaštite sa strujno-zavisnom (inverznom) vremenskom karakteristikom je „51“.

Prekostrujna zaštita se podešava tako da normalni zalet motora ne uzrokuje njeno djelovanje. U tom smislu, u studiji selektivnosti je pretpostavljena struja zaleta motora od  $6 \times I_{NMOT}$ , gdje je  $I_{NMOT}$  nazivna struja motora. Pretpostavljeno najduže vrijeme trajanja normalnog zaleta motora je 10 s. U tom smislu parametri prekostrujne zaštite ANSI 51 podešavaju se kako slijedi (sekundarna podešenja zaštitnog uređaja):

$$I \geq 1,5 \cdot I_{NMOT} \cdot \frac{I_{STSEK}}{I_{STPRIM}} \quad (6-5)$$

gdje je:

- $I_{NMOT}$  – nazivna struja motora (A);
- $I_{STSEK}$  – sekundarna struja strujnog transformatora (A);
- $I_{STPRIM}$  – primarna struja strujnog transformatora (A).

Ovdje svakako treba uzeti u obzir koeficijent kod kojeg se pobuđuje prekostrujna zaštita s inverznom karakteristikom, a koji je različit za različite proizvođača zaštitnih uređaja (npr. 1,10 kod SIEMENS-a, 1,20 kod ABB, Schneider Electric 1,00 ili 1,20 i sl.).



Odabrana inverzna karakteristika za zaštitne uređaje proizvođača I SEPAM je IEC karakteristika IEC Normal Inverse tipa, sa vremenskim multiplikatorom  $T_p = 3,0$ .

Normalno inverzna IEC karakteristika određena je slijedećom matematičkom relacijom:

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,02} - 1} \cdot T_p \quad (6-6)$$

gdje je:

$t$  – vrijeme do isključenja (s);

$T_p$  – podešena vrijednost za vremenski multiplikator;

$I$  – struja kvara (A);

$I_p$  – podešena vrijednost proradne struje (A).

Prema gornjoj relaciji i prema usvojenim podešenjima, npr. za zalet motora sa  $6 \times I_{NMOT}$  prekostrujnoj zaštiti će trebati vrijeme od 14,94 s do isključenja, što je sigurno duže od tipičnih zaleta SN motora koji traju najviše 6 – 8 s, eventualno do 10 s.

U slučaju da zalet iz nekog razloga traje duže od normalnog, prekostrujna zaštita će djelovati na isključenje prekidača, djelujući u tom slučaju kao zaštita od predugog zaleta motora.

Kod podešenja prekostrujne zaštite s inverznom vremenskom karakteristikom za primjer promatran u ovom radu, kao što je navedeno u primjerima iznad, potrebno se pozvati na graf selektivnosti i podešenja zaštitnih uređaja (prilog 1). Iz ovog grafa vidi se da je za vrijeme od 10 sekundi struja za promatrani motor iznosila 38.5 A. Stoga se u programu odabere padajući izbornik *Phase overcurrent* te za element 1 unese struja od 38.5 A (slika 6.6). Također potrebno je odabrati krivulju po kojoj se mijenja struja. Tu se odabire *Standard inverse time*, kako je određeno prema studiji selektivnosti i podešenja zaštitnih uređaja. Također je potrebno navesti i da je potrebno označiti da, ukoliko se dostigne ovaj iznos struje, treba doći do prorade zaštite te signalizacije. Stoga se potvrđuju okviri *Latching* i kod *Trip*.

50/51 | 50N/51N | 50BF | 46 | 49RMS | 37 | 48/51LR | 66 | 27D | 27R | 27/27S | 59 | 38/49T

### 50/51 : Phase overcurrent

Open advanced parameters | Apply | Cancel

|           | On                                  | Latching                            | Trip C.B.                           |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Element 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element 3 | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Element 4 | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

| Group A (Active group) | Tripping curve        | Current threshold | Delay  |
|------------------------|-----------------------|-------------------|--------|
| 1                      | Standard inverse time | 38.5 A            | 2.99   |
| 2                      | Definite time         | 330 A             | 50 ms  |
| 3                      | Definite time         | 125 A             | 3 s    |
| 4                      | Definite time         | 200 A             | 200 ms |

| Group B | Tripping curve | Current threshold | Delay  |
|---------|----------------|-------------------|--------|
| 1       | Definite time  | 1.2 kA            | 100 ms |
| 2       | Definite time  | 1.2 kA            | 100 ms |
| 3       | Definite time  | 1.2 kA            | 100 ms |
| 4       | Definite time  | 1.2 kA            | 100 ms |

| Tripping behaviour | O1 | O2 | O3 | O4 | O11 | O12 | O13 | O14 | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 | L8 | L9 | English     | Local         | Rec. |
|--------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|---------------|------|
| Element 1          |    |    |    |    |     |     |     |     | X  |    |    |    |    |    |    |    |    | PHASE FAULT | DEFAULT PHASE | X    |
| Element 2          |    |    |    |    |     |     |     |     |    | X  |    |    |    |    |    |    |    | PHASE FAULT | DEFAULT PHASE | X    |
| Element 3          |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | PHASE FAULT | DEFAULT PHASE | X    |
| Element 4          |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | PHASE FAULT | DEFAULT PHASE | X    |

**Slika 6.6** Konfiguriranje Prekostrujne zaštite sa inverznom vremenskom karakteristikom i kratospojne zaštite

Potrebno je definirati i vremenski multiplikator za koji je rečeno da kod SEPAM uređaja iznosi 3.

### 6.2.3 Kratkospojna zaštita (ANSI 50)

Za kvarove koji mogu nastati uslijed dvopolnih ili trolnih kratkih spojeva na samom motoru, a čije je djelovanje destruktivno za motor ili priključni energetska kabl, potrebno je aktivirati zaštitu od kratkog spoja. Zaštita od kratkog spoja mora biti dovoljno osjetljivo podešena da djeluje u slučaju minimalnog kratkog spoja na priključcima motora, uz uzetu u obzir određenu rezervu. S druge strane, kratkospojna zaštita mora ostati neosjetljiva u slučaju normalnog zaleta motora.

ANSI oznaka prekostrujne ili kratkospojne zaštite sa strujno nezavisnom (direktnom) vremenskom karakteristikom je „50“.

U tom smislu, podešenje kratkospojne zaštite motora preporučuje se na slijedeći način:

$$I \gg \geq 1,7 \cdot I_{STMOT} = 1,7 \cdot 6 \cdot I_{NMOT} = 10,2 \cdot I_{NMOT} \quad (6-8)$$

$$I \gg \leq 0,8 \cdot I_{KSMIN} \quad (6-9)$$

U gornjim relacijama je:

$I_{STMOT}$  – startna (potezna) struja motora (A);

$I_{NMOT}$  – nazivna struja motora (A);

$I_{KSMIN}$  – minimalna struja kratkog spoja na priključcima motora (doprinos iz mreže) (A).

Vrijednosti minimalne struje kratkog spoja bit će za svaki motor preuzete iz studije proračuna kratkih spojeva, a u kojoj je za svaki konkretan element mreže proračunata minimalna struja kratkog spoja na osnovu osnovnih scenarija napajanja. Prilikom određivanja vrijednosti za podešenje struje izvršeno je zaokruživanje decimalnih vrijednosti većih od 0,5 na prvi veći cijeli broj, dok su decimalne vrijednosti manje od 0,5 zaokružene na 0,5.

Vremensku zadržku kratkospojne zaštite potrebno je postaviti na nešto veću vrijednost od trenutnog djelovanja, kako bi se izbjegla neželjena djelovanja u slučaju „pikova“ kod zaleta motora. Preporučeno podešenje je:

$$t \gg = 50 \text{ ms} \quad (6-10)$$

U ovom konkretnom slučaju nazivna struja iznosi 34 A te je stoga za ovo mjerenje potrebno podesiti struju koja je po jednadžbi (6-8) 10 puta veća. Stoga za struju kratkog spoja uzimamo 330 A. Ove podatke je potrebno unijeti u program pod element 2 (slika 6.6).

#### **6.2.4 Osjetljiva usmjerena zemljospojna zaštita (ANSI 67Ns)**

Obzirom da 6 kV mreža na kojoj je rađeno u pokusu može raditi s izoliranom neutralnom točkom, ili neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika, potrebno je razmotriti dva slučaja podešenja zemljospojne zaštite.

Osjetljiva usmjerena zemljospojna zaštita nosi ANSI oznaku „67Ns“.

## 1. slučaj – mreža s izoliranom neutralnom točkom

U slučaju da se 6 kV elektroenergetska mreža u firmi napaja iz generatora G3 i iz 35 kV elektroenergetske mreže preko transformatora T01 i T02, ili u bilo kojoj kombinaciji ova dva izvora, 6 kV mreža radi s izoliranom neutralnom točkom. U tom slučaju struje zemljospoja određene su samo dozemnim kapacitetima elemenata 6 kV mreže (uglavnom kablova, čiji dozemni kapacitet raste s njihovom dužinom) i imaju relativno niske vrijednosti reda nekoliko ampera, do nekoliko desetina ampera.

Ovakve niske vrijednosti struje zemljospoja mogu se otkriti primjenom isključivo osjetljive zemljospojne zaštite, koja se mora podesiti na dovoljno niske vrijednosti. U tu svrhu koristi se poseban strujni ulaz na zaštitnom uređaju namijenjen za mjerenje struje zemljospoja, a priključuje se na kablovski obuhvatni strujni mjerni transformator.

Obuhvatni strujni transformator ima veću osjetljivost od strujnih transformatora u fazama. Njegov prijenosni odnos može se postaviti relativno nisko jer za njega nije bitna struja opterećenja i osjetljiv je samo na struje zemljospoja. Za razliku od njega, prijenosni odnosi strujnih transformatora u fazama često nisu idealno isti, tako da se i u normalnom pogonu, a pogotovo kod većih struja dvopolnih ili trolnih kratkih spojeva, može pojaviti lažna struja  $3I_0$  i pod određenim uvjetima uzrokovati neželjeno djelovanje zemljospojne zaštite.

Iz navedenog razloga, za detekciju zemljospojeva poželjno je da se koriste kablovski obuhvatni strujni transformatori.

U cilju zaštite 6 kV elektroenergetske mreže u slučaju rada s izoliranom neutralnom točkom, prvi stupanj usmjerene zemljospojne zaštite na motornim odvodima, podešava se kako slijedi:

**Princip rada =  $\sin\phi$**  (namijenjen za mreže s izoliranom neutralnom točkom, s dominantnom reaktivnom (kapacitivnom) komponentom struje)

**Usmjerenje = Naprijed** (prema motoru)

**$I_0 > 3 \text{ A}$** (primarna vrijednost)

**$U_0 > 20 \text{ V}$**  (sekundarna vrijednost)

**$t_0 > 1,0 \text{ s}$**

## 2. slučaj – 6 kV elektroenergetska mreža s neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika

U slučaju da se 6 kV elektroenergetska mreža napaja i iz generatora G4, čije zvjezdište je uzemljeno preko otpornika, tada kompletna 6 kV mreža radi s neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika vrijednosti  $36,37 \Omega$ , pri čemu je struja zemljospoja ograničena na maksimalnu vrijednost od 100 A.

U cilju zaštite 6 kV elektroenergetske mreže u slučaju rada s neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika, drugi stupanj usmjerene zemljospojne zaštite na motornim odvodima, podešava se kako slijedi:

**Princip rada =  $\cos\phi$**  (namijenjen za mreže s neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika, s dominantnom aktivnom komponentom struje)

**Usmjerenje = Naprijed** (prema motoru)

**$I_0 \gg 30 \text{ A}$**  (primarna vrijednost)

**$U_0 \gg 5 \text{ V}$**  (sekundarna vrijednost)

**$t_0 \gg 0,5 \text{ s}$**

### 6.2.5 Prenaponska zaštita (ANSI 59)

Zbog destruktivnog djelovanja koje povišen napon može imati na izolaciju motora, podešavaju se dva stupnja prenaponske zaštite (slika 6.8). Prenaponska zaštita nosi ANSI oznaku „59“.

#### 1. stupanj $U >$ , alarm:

$$U > = 1,10 \times U_N \quad (6-11)$$

$$t_{U>} = 5,0 \text{ s} \quad (6-12)$$

gdje je:

- $U >$  - podešavanje prvog stupnja prenaponske zaštite;
- $t_{U>}$  - podešena vremenska zadržka za prvi stupanj prenaponske zaštite.

Prvi stupanj treba biti konfiguriran kao alarm, odnosno upozorenje, i ne treba djelovati na isključenje prekidača.

#### 2. stupanj $U \gg$ , isključenje:

$$U_{>>} = 1,15 \times U_N \quad (6-13)$$

$$t_{U_{>>}} = 3,0 \text{ s} \quad (6-13)$$

gdje je:

- $U_{>>}$  - podešavanje drugog stupnja prenaponske zaštite;
- $t_{U_{>>}}$  - podešena vremenska zadržka za drugi stupanj prenaponske zaštite.

| Tripping behaviour | 01 | 02 | 03 | 04 | 011 | 012 | 013 | 014 | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 | L8 | L9 | English     | Local      | Rec. |
|--------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|------------|------|
| Element 1          |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | OVERVOLTAGE | TENSION >> | X    |
| Element 2          |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | OVERVOLTAGE | TENSION >> | X    |

Slika 6.8 Podešavanje prenaponske zaštite

## 6.2.6 Podnaponska zaštita (ANSI 27)

Za zaštitu motora od neželjenog rada sa sniženim naponom, koji uzrokuje povećanje struje koju motor uzima iz mreže i samim time veće zagrijavanje, podešavaju se dva stupnja podnaponske zaštite (slika 6.9). Podnaponska zaštita nosi ANSI oznaku „27“.

### 1. stupanj $U_{<}$ , alarm:

$$U_{<} = 0,90 \times U_N \quad (6-14)$$

$$t_{U_{<}} = 5,0 \text{ s} \quad (6-15)$$

gdje je:

- $U_{<}$  - podešavanje prvog stupnja podnaponske zaštite;
- $t_{U_{<}}$  - podešena vremenska zadržka za prvi stupanj podnaponske zaštite.

Prvi stupanj treba biti konfigurisan kao alarm, odnosno upozorenje, i ne treba djelovati na isključenje prekidača.

### 2. stupanj $U_{<<}$ , isključenje:

$$U_{<<} = 0,85 \times U_N \quad (6-16)$$

$$t_{U_{<<}} = 3,0 \text{ s} \quad (6-17)$$

gdje je:

- $U_{<<}$  - podešenje drugog stupnja podnaponske zaštite;
- $t_{U_{<<}}$  - podešena vremenska zadržka za drugi stupanj podnaponske zaštite

| Tripping behaviour |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |    | English | Local | Rec. |    |               |            |   |
|--------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|---------|-------|------|----|---------------|------------|---|
|                    | 01 | 02 | 03 | 04 | 011 | 012 | 013 | 014 | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6      | L7    | L8   | L9 |               |            |   |
| Element 1          |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |    | X       |       |      |    | UNDERSVOLTAGE | TENSION << | X |
| Element 2          |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |    | X       |       |      |    | UNDERSVOLTAGE | TENSION << | X |

Slika 6.9 Podešavanje podnaponske zaštite

### 6.2.7 Podstrujna zaštita

Ovo je jednofazna zaštita: uključuje se kada faza struje padne ispod postavljene vrijednosti i neaktivna je kada je struja manja od 10% IB. Neosjetljiva je na propad struje zbog okidanja prekidača i uključuje određeno vrijeme kašnjenja.

Uključenje podstrujne zaštite može se blokirati logičkim ulazom "Block undercurrent". Ova zaštita ne koristi se u pokusu i općenito ima vrlo malu primjenu.

### 6.2.8 Greška prekidača

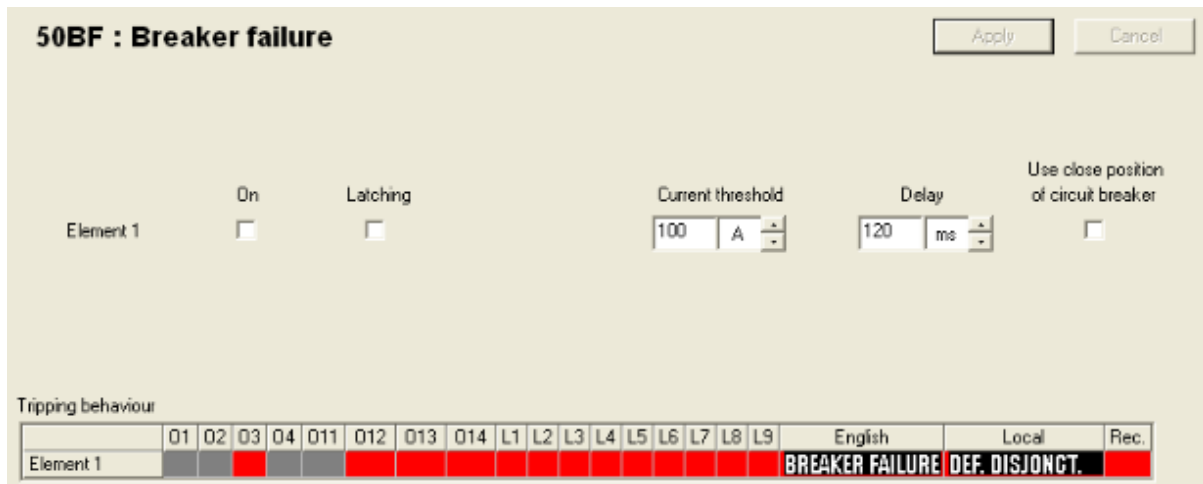
Ova je funkcija osmišljena za otkrivanje kad se prekidač ne otvori kad se pošalje naredba za okidanje i njena konfiguracija je prikazana na slici (6.10).

Zaštitna funkcija "greške prekidača" aktivira se preko O1 izlazne naredbe isključenja koja je primljena od funkcija zaštite od prekomjerne struje (50/51, 50N / 51N, 46, 67N, 67). Provjerava nepostojanje struje tijekom vremenskog intervala određenog vremenskim kašnjenjem T.

Također može uzeti u obzir položaj prekidača koji se čita na logičkim ulazima da bi utvrdio stvarni položaj prekidača.

Automatsko aktiviranje ove zaštitne funkcije zahtijeva uporabu funkcije upravljanja prekidačem logičke sklopke.

Pokretanje i zaustavljanje vremenskog kašnjenja T brojač uvjetovan je prisutnošću struje iznad zadane vrijednosti ( $I > I_s$ ).



Slika 6.10. Greška prekidača

## 6.2.9 Zaštita od nesimetričnog opterećenja (ANSI 46)

Zaštita od nesimetričnog opterećenja, koja nosi ANSI oznaku „46“, radi na principu mjerenja inverzne komponente struje ( $I_2$ ).

S obzirom na to da nesimetrično opterećenje ima negativan utjecaj na motor, i na posljedice zagrijavanja koje izaziva, potrebno je svakako podesiti ovu zaštitu na sljedeći način:

### 1. stupanj $I_2 >$ - samo alarm:

$$I_2 > = 10\% \cdot I_{NMOT} \quad (6-18)$$

$$t_2 \geq 5,0 \text{ s} \quad (6-19)$$

gdje je:

- $I_2 >$  - podešavanje prvog stupnja zaštite od nesimetričnog opterećenja;
- $t_2 >$  - podešena vremenska zadržka za prvi stupanj zaštite od nesimetričnog opterećenja



Prvi stupanj treba biti konfiguriran kao alarm, odnosno upozorenje, i ne treba djelovati na isključenje prekidača (slika 6.11)

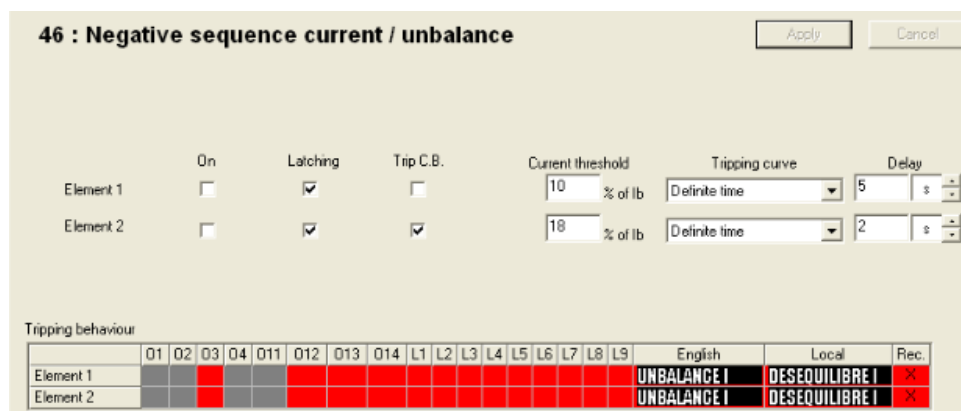
## 2. stupanj $I_{2>>}$ - isključenje:

$$I_{2 \gg} = 20\% \cdot I_{NMOT}, \quad (6-20)$$

$$t_{2 \gg} = 2,0 \text{ s} \quad (6-21)$$

gdje je:

- $I_{2>>}$  - podešenje drugog stupnja zaštite od nesimetričnog opterećenja;
- $t_{2>>}$  - podešena vremenska zadržka za drugi stupanj zaštite od nesimetričnog opterećenja.



Slika 6.11 Nesimetrično opterećenje

### 6.2.10 Preveliko vrijeme pokretanja motora i zakočeni rotor

Preveliko vrijeme pokretanja: tijekom početnog slijeda, zaštita se uključuje kada je jedna od tri fazne struje veća od postavljene vrijednosti  $I_s$  za vremensko razdoblje veće od kašnjenja početnog vremena koje je označeno sa  $ST$  (slika 6.12).

Zakočeni rotor: pri normalnoj radnoj brzini (nakon pokretanja) zaštita se uključuje kada je jedna od tri fazne struje veća od postavljene vrijednosti  $I_s$ , za razdoblje veće od određenog vremenskog kašnjenja  $LT$ .

Zakočeni rotor na startu: veliki motori mogu imati vrlo dugo vrijeme pokretanja (zbog inercije) ili smanjenog napona. Ovo vrijeme pokretanja je duže od vremena dopuštenja za blokiranje rotora. Da bi zaštitio takav motor, LTS timer uključuje prekidač ako je detektiran start ( $I > I_s$ ) ili ako je brzina motora jednaka nuli. Za normalan start, ulazni signal onemogućuje ovu zaštitu.

**48/51LR : Excessive starting time and locked** Apply Cancel

On     Latching     Trip C.B.     Current threshold  %Ib    Delay for excessive starting time (ST)  s    Delay for locked rotor (LT)  s    Delay for locked rotor on start (LTS)  s

Tripping behaviour

|                            | 01 | 02 | 03 | 04 | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 | L8 | L9 | English | Local | Rec. |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|-------|------|
| Element 1                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |         |       |      |
| - excessive starting ti... |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 7       | 7     |      |
| - locked rotor             |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 6       | 6     |      |
| - locked rotor on start    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27      | 27    |      |

Slika 6.12 Preveliko vrijeme pokretanja i zakočeni rotor

### 6.2.11 Broj pokretanja po satu

Ovo je trofazna funkcija. Uključuje se kad broj pokretanja dosegne sljedeće granice:

- najveći dopušteni broj pokretanja ( $Nt$ ) (vremenski period) ( $P$ )
- maksimalno dozvoljeni broj uzastopnih vrućih pokretanja ( $Nh$ )
- maksimalno dozvoljeni broj uzastopnih hladnih startova ( $Nc$ ) (slika 6.13).

Pokretanje se detektira kada struja pokretanja postane veća od 10%  $IB$  struje.

Broj uzastopnih startova je broj startova tijekom zadnjih  $P / Nt$  minuta.  $Nt$  je broj dopuštenih pokretanja po razdoblju.

Vruće stanje motora odgovara prelasku 50% zadane temperature funkcije toplinskog preopterećenja.

Kad se motor ponovno ubrza, podvrgnut će se naponu sličnom pokretanju, a da prva struja ne prijeđe vrijednost manju od 10%  $IB$ , broj pokretanja se ne povećava.

Moguće je povećati broj pokretanja kada dođe do ponovnog ubrzanja pomoću unosa podataka (logički ulaz "motor re-acceleration"). "Stop / start" time delay  $T$  može se koristiti za blokiranje pokretanja nakon zaustavljanja dok ne prođe kašnjenje.

**66 : Starts per hour** Apply Cancel

Element 1    On     Latching     Time period  h    Total number of starts     Number of consecutive hot starts     Number of consecutive cold starts     Time delay between stop/start  mn

Tripping behaviour

|           | O1 | O2 | O3 | O4 | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 | L8 | L9 | English | Local | Rec. |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|-------|------|
| Element 1 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 8       | 8     |      |

Slika 6.13 Broj pokretanja po satu

## 6.2.12 Nadzor i signalizacija

Sljedeći tekstualni izbornik koji je bitno spomenuti pri parametriranju zaštite je *Control matrix*. Unutar ovog izbornika klikom na *Protections-Characteristics* se jasno vidi koja je zaštita u datom trenutku uključena, te koja zaštita je podešena samo kako bi dala alarm o nekom stanju, a koja zaštita je podešena da reagira i prekine dotok struje (slika 6.14).

Characteristics | Outputs | Indicators | Events

|             | On | Latching | Trip C.B. |
|-------------|----|----------|-----------|
| 50/51 - 1   | X  | X        | X         |
| 50/51 - 2   | X  | X        | X         |
| 50/51 - 3   |    | X        | X         |
| 50/51 - 4   |    | X        | X         |
| 50N/51N - 1 | X  | X        | X         |
| 50N/51N - 2 | X  | X        | X         |
| 50N/51N - 3 |    | X        | X         |
| 50N/51N - 4 |    | X        | X         |
| 50BF        |    |          |           |
| 46 - 1      |    | X        |           |
| 46 - 2      |    | X        | X         |
| 49RMS       | X  | X        | X         |
| 37          |    | X        | X         |
| 48/51LR     |    | X        | X         |
| 66          | X  | X        |           |
| 27D - 1     |    | X        | X         |
| 27D - 2     |    | X        | X         |
| 27R         |    | X        |           |
| 27/27S - 1  | X  | X        |           |

Slika 6.14 Popis zaštite

Ukoliko odaberemo *Protections-Indicators* može se vidjeti koje LED žarulje na SEPAM uređaju signaliziraju da je neka od zaštite proradila.

|                           | Led 1 | Led 2 | Led 3 | Led 4 | Led 5 | Led 6 | Led 7 | Led 8 | Led 9 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 50/51 - 1                 | X     |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 50/51 - 2                 |       | X     |       |       |       |       |       |       |       |
| 50/51 - 3                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 50/51 - 4                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 50N/51N - 1               |       |       | X     |       |       |       |       |       |       |
| 50N/51N - 2               |       |       |       | X     |       |       |       |       |       |
| 50N/51N - 3               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 50N/51N - 4               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 50BF                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 46 - 1                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 46 - 2                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 49RMS - 1                 |       |       |       |       | X     |       |       |       |       |
| - close inhibit           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| - alarm                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 37                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 48/51LR - 1               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| - excessive starting time |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| - locked rotor            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| - locked rotor on start   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Slika 6.15 Indikatori stanja zaštite

### 6.2.13 Mrežna dijagnostika

Pod izbornikom *Network diagnostics* brojčano su dani podaci o veličinama koje su bitne za pokus. Klikom na *Transfo/Motor* otvara se prozor gdje su dane vrijednosti kao što su diferencijalna struja, broj sati koje je motor u pogonu, zagrijavanje motora, te podaci vezani za pokretanje motora (slika 6.16)

Transfo/Motor | Tripping context

#### Network diagnosis

Unbalance ratio: 0 % of I<sub>b</sub>

Phi0 (Input I<sub>0</sub>): \*\*\*\*\* +      Phi0 (Sum 3I): \*\*\*\*\* +

Phi1: \*\*\*\*\* +      Phi2: \*\*\*\*\* +      Phi3: \*\*\*\*\* +

Maximum of negative / positive sequence current: 0 %      <- Reset Max of neg / pos. sequence current

Running hours counter: 0 h      <- Modification of running time

Heating: 0 %      <- Heating reset

Time before tripping: \*\*\*\*\* min      Re-starting time delay: \*\*\*\*\* min

Motor starts

Number of allowed starts: 3      <- Reset number of starts

Start inhibit time delay: 0 min

Starting current: 67.8 A

Starting duration: 91.6 s

Slika 6.16 Dijagnostika motora

Klikom na *Tripping context* otvara se prozor u kojem se može pratiti promjena iznosa faznih struja, napona te promjena radne i jalove snage (slika 6.17).

The screenshot shows a software window titled 'Tripping context' with a dropdown menu set to '2001/01/16 20:19:00'. The window is divided into several sections:

- Selected tripping:** A text box containing the date and time '2001/01/16 20:19:00'.
- Powers:** Two input fields showing 'Active power' at 0.0 kW and 'Reactive power' at 0.0 kVar.
- Frequency:** An input field showing 'Frequency' with a value of '\*\*\*\*\*'.
- Fault localisation:** A section with 'Fault phase' (\*\*\*\*\*), 'Fault resistance' (\*\*\*\*\*), and 'Fault distance' (\*\*\*\*\*).
- Currents:** A table with columns for Phase 1, Phase 2, and Phase 3.
 

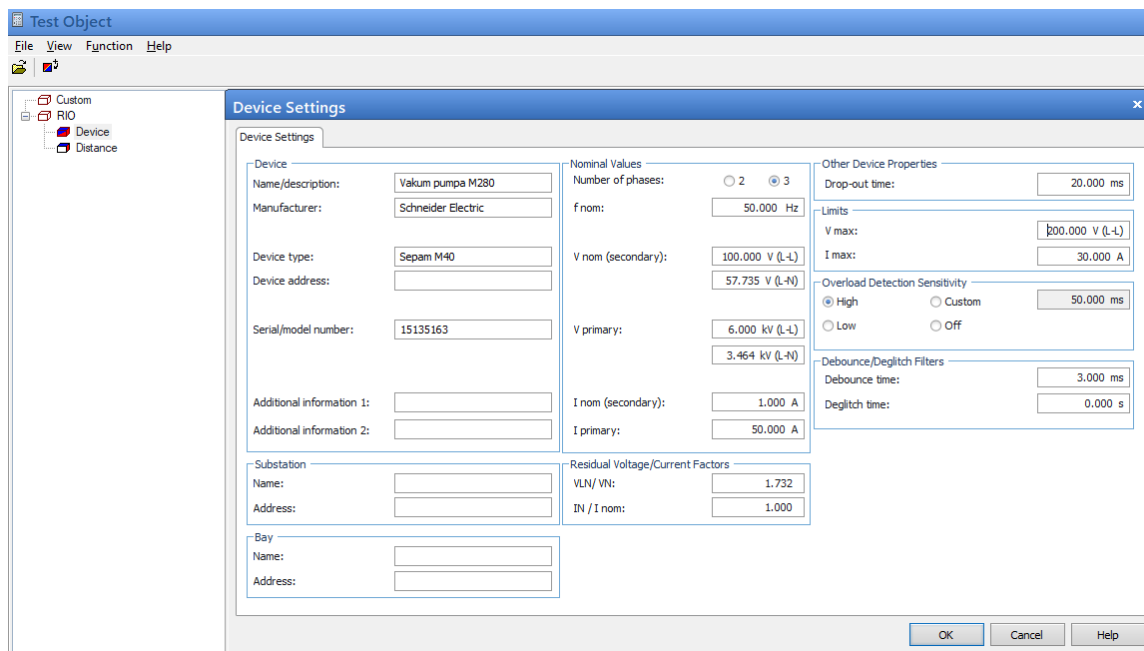
|                             | Phase 1 | Phase 2 | Phase 3 |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| Tripping values             | 0.0 A   | 0.0 A   | 0.0 A   |
| Residual current (Input Io) | 0.0 A   | Sum 3I  | 0.0 A   |
| Positive sequence current   | 0.0 A   |         |         |
| Negative sequence current   | 0.0 A   |         |         |
- Voltages:** A table with columns for Phase 1, Phase 2, and Phase 3.
 

|                           | Phase 1 | Phase 2 | Phase 3 |
|---------------------------|---------|---------|---------|
| Phase-to-neutral voltages | 0.0 V   | 0.0 V   | 0.0 V   |
|                           | U21     | U32     | U13     |
| Phase-to-phase voltages   | 0.0 V   | 0.0 V   | 0.0 V   |
| Residual voltage          | 0.0 V   |         |         |
| Positive sequence voltage | 0.0 V   |         |         |
| Negative sequence voltage | 0.0 V   |         |         |

Slika 6.17 Nadzor promjene iznosa električnih veličina

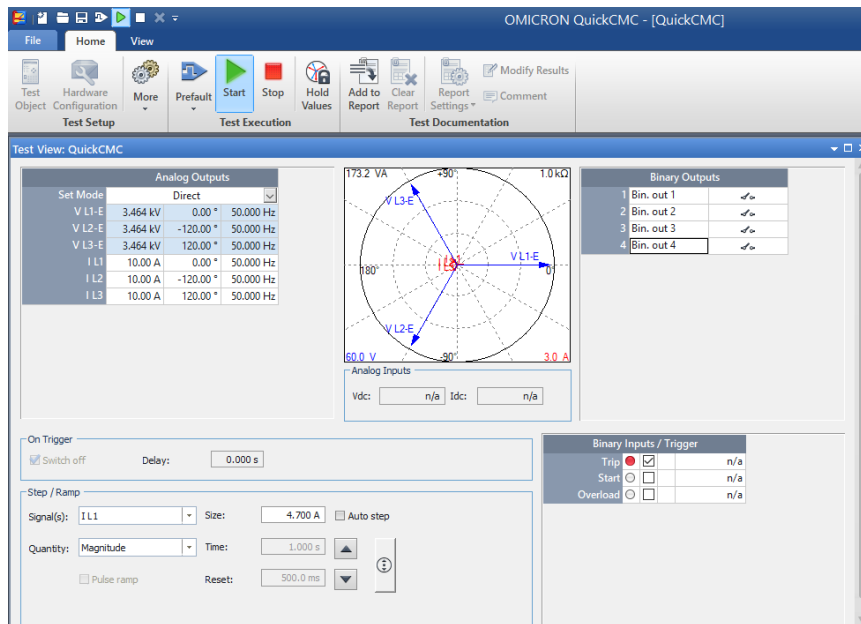
### 6.3 Ispitivanje SEPAM M40 releja pomoću uređaja za sekundarno ispitivanje CMC 353

Ukoliko je CMC 353 uređaj spojen sa zaštitnim uređajem kojeg je potrebno ispitati, potrebno je pokrenuti *software* ispitnog uređaja na računalu s kojim je ispitni uređaj spojen. Vrsta ispitivanja koju provodimo je *QuickCMC*, stoga se odabire *QuickCMC* u sekciji *Test Modules*. Ukoliko je potrebno konfigurirati *software*, to se vrši tako što se klikne na *Test Object* na alatnoj traci (slika 6.18). Tu se dodaje naziv vrsta štice objekta, proizvođač zaštitnog uređaja, vrsta zaštitnog uređaja. Također tu se mogu mijenjati nazivne vrijednosti napona, struje i frekvencije.



**Slika 6.18.** Test object

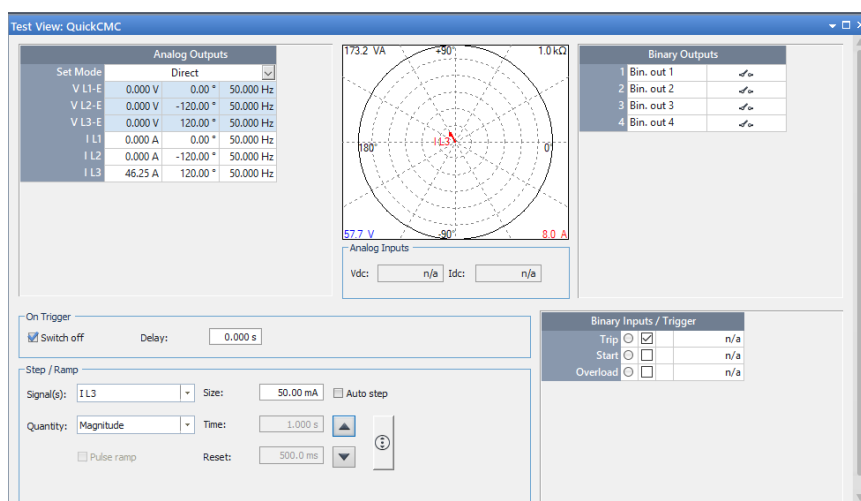
U QuickCMC testnom prikazu (slika 6.19) za specificiranje svih potrebnih ispitnih parametara, odabere se postavljeni način rada "Direktno", koji omogućuje izravno upravljanje električnim vrijednostima u fazi, amplitudi i frekvenciji. U polju za amplitudu  $V_L$  i  $I_L$  postavi se vrijednost napona i struja. Desnom tipkom miša na polje za amplitudu otvara se kontekstni izbornik i odabire se *EQUAL MAGNITUDES*. Time se iznosi struja ili napona u sve tri faze postavljaju na jednaku vrijednost. Fazni kutovi i frekvencija unose se na isti način. Desnom tipkom miša na vektorski dijagram otvara se kontekstni izbornik i odabere se "Optimiziraj" kako bi se prilagodilo skaliranje. Vektorski dijagram grafički prikazuje vektore napona i struje. Ako je računalo spojeno na CMC ispitni uređaj, status binarnih ulaza prikazan je on-line.



Slika 6.19. QuickCMC testni prikaz

### 6.3.1 Ispitivanje prekostrujne zaštite s inverznom vremenskom karakteristikom

Kao što je navedeno u poglavlju 6.2.2, struja kojom se vrši ispitivanje iznosi 38.5 A dok vremenski multiplikator iznosi 3. To znači da je početna struja s kojom se vrši ispitivanje 38.5 A. Iznos amplitude struje se povećava malim “koracima” sve dok zaštita ne reagira. Korak povećanja postavlja se pod *Step/Ramp*. Na primjeru treće faze zaštita je odreagirala na 46.25 A (slika 6.20).

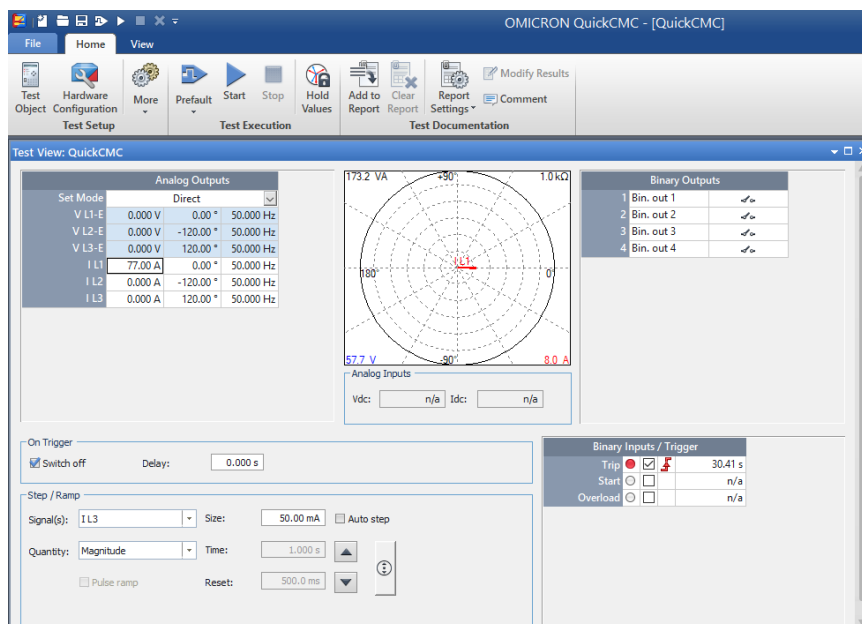


Slika 6.20 Ispitivanje prorade prekostrujne zaštite s inverznom vremenskom karakteristikom

Isti postupak ponovljen je i za fazu jedan te se dobije iznos od 46.15 A. Sljedeći korak je ispitati proradu zaštite pri dvostruko i trostruko većoj struji od podešene. Pri 38.5 A vrijeme prorade je 10 sekundi. Potrebno je bilo ispitati koliko će biti vrijeme pri većim iznosima struje. Prema jednadžbi ukoliko je ispitna struja dvostruko veća od podešene struje zaštite uz vremenski multiplikator 3 dobije se vrijeme prorade od:

$$t = \frac{0,14}{(2)^{0,02-1}} \cdot 3 = 30.08 \text{ s} \quad (6-22)$$

Znači da pri dvostruko većoj struji vrijeme prorade iznosi otprilike 30 sekundi. Isti postupak ponovimo za trostruko veću struju. Iznos vremena koji se dobije iznosi 18.9 sekundi. Nakon što se unesu podaci u program (slika 6.21) pokrenuta je simulacija te su izvršena mjerenja za obje faze i za dvostruko i trostruko veću struju.



**Slika 6.21** Ispitivanje prekostrujne zaštite za dvostruko veću struju

Tablica 1: Rezultati ispitivanja prekostrujne zaštite s inverznom vremenskom karakteristikom

| Prekostrujna zaštita sa inverznom vremenskom karakteristikom |       |  |       |
|--|-------|--|-------|
| Ispitivanje struje prorade                                   | L1    |  | L3    |
| Podešenje struje (A)   | 38.5  |  |       |
| Prorada pobude (A)   | 46.15 |  | 46.25 |
| Ispitivanje vremena prorade                                  | L1    |  | L3    |
| Podešenje Tp (s)   | 3     |  |       |



|   |       |  |       |
|---|-------|--|-------|
| Prorada pri dvostruko većoj Ipodešeno (s) | 30.41 |  | 30.44 |
| Prorada pri trostruko većoj Ipodešeno (s) | 19.06 |  | 19.08 |
| Podešenje zaštite                         |       |  |       |
| I>38.5 ; Tp=3 s; standard inverse time    |       |  |       |

Iz tablice 1 vidi se da se za vremena prorade zaštite dobiju iznosi od 30.41 i 30.44 sekunde te 19.06 i 19.08 sekundi što je u zadovoljavajućem odstupanju od željenih vrijednosti koje iznose 30 sekundi i 18.9 sekundi.

### 6.3.2 Ispitivanje kratkospojne zaštite

Kao što je navedeno u poglavlju 6.2.3, kratkospojna zaštita se ispituje s vrijednošću koja je deset puta veća od nazivne vrijednosti struje asinkronog motora. Stoga je ispitna struja u ovom pokusu 330 A. Kao što je navedeno prije, vremensku zadržku kratkospojne zaštite potrebno je postaviti na nešto veću vrijednost od trenutnog djelovanja, kako bi se izbjegla neželjena djelovanja u slučaju „pikova“ kod zaleta motora te se uzima vrijeme od 50 ms. Kao i kod ispitivanja prekostrujne zaštite s inverznom vremenskom karakteristikom ispituje se struja prorade zaštite te vrijeme prorade zaštite. Za faze L1 i L3 dobiju se sljedeći rezultati:

Tablica 2: Rezultati ispitivanja kratkospojne zaštite

|                             |       |  |       |
|-----------------------------|-------|--|-------|
| Kratkospojna zaštita        |       |  |       |
| Ispitivanje struje prorade  | L1    |  | L3    |
| Podešenje struje (A)        | 330   |  |       |
| Prorada pobude (A)          | 331.9 |  | 332.2 |
| Ispitivanje vremena prorade | L1    |  | L3    |
| Podešenje (ms)              | 50    |  |       |
| Prorada (ms)                | 65.1  |  | 71    |
| Podešenje zaštite           |       |  |       |
| I>330; Tp=50 ms             |       |  |       |

Iz tablice 2 se vidi da se za faze L1 i L3 dobiju pri podešenoj struji od 330 A dobije struja prorade od 331.9 A te 332.2 A, te pri podešenom vremenu prorade od 50 ms dobije vrijeme od 65.1 i 71 ms što je odstupanje u dozvoljenim granicama.

### 6.3.3 Ispitivanje podnaponske zaštite

Kod ispitivanja podnaponske zaštite ispituju se 2 nivoa: alarmna signalizacija i prorada zaštite. Alarmna signalizacija treba proraditi kada vrijednost napona padne na 90% nazivne vrijednosti, dok prorada zaštite treba reagirati kada vrijednost napona padne na 85% nazivne vrijednosti. Vrijednosti koje su dobivene u procesu ispitivanja zaštite dane su u tablici 3.

Tablica 3. Ispitivanje podnaponske zaštite

| Podnaponska zaštita  |      |
|--|------|
| Ispitivanje napona prorade prve razine   | L12  |
| Podešenje napona (V)   | 90   |
| Prorada napona (V)   | 90.1 |
| Ispitivanje napona prorade druge razine  | L12  |
| Podešenje napona (V)   | 85   |
| Prorada napona (V)   | 85.1 |
| Podešenje zaštite  |      |
| Up=0.9 x Un; Up= 0.85 x Un; tp ≤ 5 s (za prvu razinu); tp << 3 s (za drugu razinu) |      |

Kod ispitivanja podnaponske zaštite za prvu i drugu razinu zaštite čije su zadane vrijednosti 85 i 90 V dobiju se vrijednosti od 85.1 V i 90.1 V što su vrijednosti koje su u dozvoljenim granicama odstupanja.

### 6.3.4 Ispitivanje prenaponske zaštite

Kod ispitivanja prenaponske zaštite ispituju se 2 nivoa: alarmna signalizacija i prorada zaštite. Alarmna signalizacija treba proraditi kada vrijednost napona poraste na 110% nazivne vrijednosti dok prorada zaštite treba reagirati kada vrijednost napona poraste na 115% nazivne vrijednosti. Vrijednosti koje se dobivene u procesu ispitivanja zaštite su dane u tablici 4.

Tablica 4. Ispitivanje prenaponske zaštite

| Prenaponska zaštita                    |       |
|--|-------|
| Ispitivanje napona prorade prve razine | L12   |
| Podešenje napona (V)                   | 110   |
| Prorada napona (V)                     | 110.1 |

|  |       |
|--|-------|
| Ispitivanje napona prorade druge razine  | L12   |
| Podešenje napona (V)   | 115   |
| Prorada napona (V)   | 115.1 |
| Podešenje zaštite  |       |
| Up=1.1 x Un; Up= 1.15 x Un; tp <= 5 s (za prvu razinu); tp<< 3 s (za drugu razinu) |       |

Kod ispitivanja prenaponske zaštite za prvu i drugu razinu zaštite čije su zadane vrijednosti 110 V i 115 V dobiju se vrijednosti od 110.1 V i 115.1 V što su vrijednosti koje su u dozvoljenim granicama odstupanja.

### 6.3.5 Ispitivanje neusmjerene zemljospojne zaštite s dva stupnja podešenja

Ispituju se dva slučaja podešenja neusmjerene zemljospojne zaštite. Pošto su vrijednosti struje zemljospoja male u odnosu na ostale struje kvarova u ovom dijelu pokusa se radilo s obuhvatnim strujnim transformatorom. Ispitivala se struja prorade za oba slučaja te vrijeme prorade za oba slučaja. Za slučaj mreže s izoliranom neutralnom točkom definirana je struja prorade od 3 A te vrijeme prorade od 1 sekunde. Za slučaj elektroenergetske mreže s neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika definirana je struja prorade od 30 A te vrijeme prorade od 500 ms. Kod ovog dijela pokusa dobiveni su rezultati koji su prikazani u tablicama 5 i 6:

Tablica 5 Mreža s izoliranom nultočkom

|   |       |
|---|-------|
| Zemljospojna zaštita – Mreža s izoliranom neutralnom točkom |       |
| Ispitivanje struje prorade                                  | $I_N$ |
| Podešenje struje (A)  | 3     |
| Prorada struje (A)  | 3     |
| Ispitivanje vremena prorade                                 | $t_N$ |
| Podešenje (s)   | 1     |
| Prorada (s)   | 1.031 |
| Podešenje zaštite   |       |
| $I_N > 3 \text{ A}; t_N = 1 \text{ s}$                      |       |

Tablica 6 Mreža s izoliranom neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika

| Zemljospojna zaštita- Mreža s izoliranom neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika |       |
|---|-------|
| Ispitivanje struje prorade  | $I_N$ |
| Podešenje struje (A)  | 30    |
| Prorada struje (A)  | 30.1  |
| Ispitivanje vremena prorade   | $t_N$ |
| Podešenje (ms)  | 500   |
| Prorada (ms)  | 542.1 |
| Podešenje zaštite   |       |
| $I_N > 30 \text{ A}; t_N = 500 \text{ ms}$  |       |

U slučaju za mrežu s izoliranom neutralnom točkom uz podešenu struju prorade od 3 A dobije se struja prorade od 3 A, te za vrijeme prorade podešeno na 1 sekundu dobije se vrijeme prorade od 1.031 sekunda što je odstupanje u dozvoljenim granicama.

Kod mreže s izoliranom neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika, uz podešenu struju prorade od 30 A dobije se struja prorade od 30.1 A, te za vrijeme prorade podešeno na 0.5 sekundu dobije se vrijeme prorade od 542.1 milisekunda što je odstupanje u dozvoljenim granicama.

### 6.3.6 Ispitivanje zaštite od preopterećenja

Kod ispitivanja prenaponske zaštite, struja ispitivanja je dvostruko veća od nazivne struje. Kao što je navedeno u poglavlju 6.2.1 vremenska konstanta je 10 minuta. Postotak zagrijavanja pri kojem treba doći do prorade zaštite je 100%. Prema jednadžbi očekivano vrijeme prorade zaštite od preopterećenja je:

$$t = \tau \cdot \ln \frac{\left(\frac{I}{I_N}\right)^2}{\left(\frac{I}{I_N}\right)^2 - Es^2} = 600 \cdot \ln \frac{2^2}{2^2 - 1} = 172.609 \text{ s} \quad (6-23)$$

U ovom slučaju rezultati ispitivanja zaštite od preopterećenja su dani u tablici 7:

Tablica 7: Rezultati ispitivanja zaštite preopterećenja

| Zaštita od preopterećenja       |         |  |       |
|---------------------------------|---------|--|-------|
| Ispitivanje struje prorade      | L1      |  | L3    |
| Podešenje struje (A)            | 68      |  |       |
| Izračunato vrijeme prorade (ms) | 172.609 |  |       |
| Prorada (ms)                    | 169.3   |  | 170.1 |
| Podešenje zaštite               |         |  |       |
| Es2=100%; T1=10 min; Ib=34A     |         |  |       |

Iz tablice 7 se vidi da se pri struji podešenja koja je dvostruko veća od nazivne struje dobiju vrijednosti vremena prorade zaštite od 169.3 i 170.1 ms što je u dozvoljenim granicama odstupanja od izračunate vrijednosti koja iznosi 172.60 ms.

## 7 ZAKLJUČAK

Opći problem koji je postojao tijekom godina u vezi sa zaštitom motora je nedostatak dostupnosti cjelovitih podataka o sustavu koji motor pokreće inženjeru zaštite. Inženjeri elektrotehnike odgovorni za određivanje i postavljanje zaštite motora često ne komuniciraju s inženjerima strojarstva koji su upoznati s prirodom pogonskih opterećenja. Kao rezultat toga, zaštita motora često se primjenjuje na temelju najboljih procjena, standarda i na podacima na pločici s nazivima motora. Ako su motori podešeni prema uvjetima pokretanja, podešavanje se popravlja u malim koracima dok smetnje ne nestanu. Ova praksa može biti zadovoljavajuća za male opće namjene u kojima je ulaganje malo, a postupak nije presudan. Međutim, za veće ili kritičnije primjene, inženjer zaštite trebao bi uložiti sve napore kako bi razumio pojedinosti o teretu koje su povezane s motorom, kao i radne karakteristike motora, tako da se odgovarajuća zaštita može ispravno odrediti i postaviti kako bi štetu oštećenja sveli na minimum na motoru ili se proces obustavi.

## **8 LITERATURA**

[1] Les Hewitson, Mark Brown, Ben Ramesh: Practical Power Systems Protection-Elsevier, 2004

[2] J. Lewis Blackburn, Thomas J. Domin: Protective Relaying-Principles and Applications-CRC Press, 2006

[3] SepamTM Series 40 Protective Relays User's Manual

[4] Omicron Test Universe user manual

[5] CMC 353 Reference manual

## **9 SAŽETAK**

Najčešći uzroci kvarova na motorima te solucije za rješenje tih problema. Prikaz načina zaštite asinkronog motora. Podešenje parametara SEPAM M40 uređaja za zaštitu koji će biti u skladu sa parametrima motora. Na kraju će se podešena zaštita motora ispitati putem CMC 353 uređaja koji se koristi sa ispitivanje zaštite pojedinih električnih uređaja, u našem slučaju radi se o asinkronom motoru.

Ključne riječi: podešavanje zaštite, asinkroni motor, ispitivanje zaštite, SEPAM M40, CMC 353

## **10 ABSTRACT**

The most common causes of engine failures and solutions to solve these problems. Shows how to protect the induction motor. Setting the parameters of the SEPAM M40 protection device to match the engine parameters. Finally, the set motor protection will be tested through the CMC 353 device used for testing the protection of individual electrical devices, in our case it is an asynchronous motor.

Keywords: protection adjustment, induction motor, protection test, SEPAM M40, CMC 353



## 11 ŽIVOTOPIS

Rođen 1995. u Žepču. Živi u mjestu Vinište nedaleko od Žepča. Osnovnu školu je pohađao u Žepču. Nakon završene osnovne škole 2010. godine upisuje srednju školu u Katoličkom školskom centru „Don Bosco“ u Žepču. Smjer koji odabire je tehničar za mehatroniku. Srednju školu završava 2014. godine. 2014. godine upisuje prvu godinu preddiplomskog studija elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Kroz svoje obrazovanje stekao je brojna znanja na polju elektrotehnike te rad s programima kao što su Auto Cad, Step7.

Josip Tadić

---

Vlastoručni potpis

## 12 PRILOZI

Prilog 1: graf selektivnosti i podešenja zaštitnih uređaja

