

## MIKROPROCESORSKA ZAŠTITA ELEKTROMOTORA MICROPROCESSOR PROTECTION OF ELECTRICAL MOTORS

Bilja Sjeran, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

### Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

**Kratak sadržaj** – U radu se razmatraju savremeni mikroprocesorski zaštitni uređaji čija je funkcija da zaštite električne motore kao najzastupljenije električne mašine u elektroenergetskom sistemu. Cilj je da se prikažu prednosti i različite pogodnosti primjene ovakve vrste zaštite koja omogućava pouzdanost, te detaljnu analizu i predviđanje opasnih stanja u cilju njihovog sprečavanja. Razmatranja su izvršena na primjeni zaštitnog uređaja tipa „Sepam M61“ za zaštitu elektromotora.

**Ključne reči:** mikroprocesorska zaštita, zaštitni releji, elektromotori

**Abstract** – This paper deals with modern microprocessor protection devices whose function is the protection of electric motors as the most commonly used electric machine in the electric power system. The aim is to show the benefits and various benefits of applying this kind of protection that enables reliability, detailed analysis and predicting dangerous states in order to prevent it. Considerations have been made on the use of the „Sepam M61“ protective device for the protection of electric motors.

**Keywords:** microprocessor-based protection, protection relays, electric motors

### 1. UVOD

U ovom radu razmatra se realizacija zaštite motora mikroprocesorskim zaštitnim uređajima [1,2]. Mikroprocesorska zaštita podrazumjeva zaštitu koja je potpuno numerički orijentisana. Dakle, svi ulazi u dio u kojem se obrađuju mjerni signali su numeričke vrijednosti koje se dobijaju odgovarajućim proračunom. Do potrebnih veličina za proračune se dolazi mjerenjem naponskih i strujnih signala i njihovom konverzijom u binarne vrijednosti više puta u nekom periodu vremena. Ove veličine su podaci za proračune nakon kojih se dobija rezultat – vrijednost koja se logički poredi sa izabranim podešenjem. Kao rezultat poređenja dobijaju se signali na izlazima koji mogu biti djelovanje prekidačima, upravljanje, startovanje nekih drugih procedura ili samo obavještenje operatera o događajima. Od velikog broja mikroprocesorskih uređaja kojima se može realizovati zaštita motora, u drugom poglavlju ovog rada predstavljen je uređaj “Sepam M61”, njegove mogućnosti u pogledu zaštite, mjerenja, upravljanja i praćenja relevantnih veličina. U glavi tri prikazane su zaštitne funkcije koje su od interesa za zaštitu od kvarova i opasnih stanja električnih motora.

### NAPOMENA:

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

Razmotrene su i informacije koje su od interesa za nadređeni SCADA sistem, kao i benefiti ovakvog načina automatizacije relejne zaštite i sistema za zaštitu i upravljanje. U poslednjim dijelovima izneseni su zaključak i prednosti ovakvog vida zaštite elektromotora, kao i literature korišćena za izradu ovog rada.

### 2. MIKROPROCESORSKA ZAŠTITA

Mikroprocesorski releji jesu savremena vrsta zaštitnih releja koja se sve češće primjenjuje danas. Krajem šezdesetih godina su se počeli razvijati mikroprocesorski zaštitni sistemi. Kao što je i logično pretpostaviti jeste da je tada mikroelektronika bila veoma skupa pa je bilo veoma nepraktično raditi sa ovakvom zaštitom koja pri tom nije imala veliku pouzdanost. Kako je vrijeme prolazilo, uređaji elektronike bivali sve jeftiniji, a način izrade mikroprocesora obezbjeđivao sve veću pouzdanost, tako se sve više išlo ka tome da se njihova primjena u relejnoj zaštiti poveća. Danas se sve češće vide ovakvi uređaji, kojima se zamjenjuju stari (mehanički i elektromagnetni) releji. Stari releji se nastavljaju primjenjivati dokle god mogu da ispune tražene zahtjeve, odnosno, dokle god je to isplativo. S obzirom na borbu za tržištem, proizvođači se konstantno nadmeću tako što iznova dodaju nove mogućnosti ovih releja, proizvode softverske alate za lakšu upotrebu i sl. Na slici 2.1 prikazan je izgled tri mikroprocesorska releja različitih proizvođača [3].



Slika 2.1. Izgled današnjih mikroprocesorskih zaštita različitih proizvođača

Način na koji se bira zaštitni uređaj za zaštitu određenih dijelova sistema određuju funkcije koje taj uređaj ima. Tako su razvijeni specijalizovani zaštitni sistem za zaštitu električnih motora, transformatora, vodova... Jedan od najzastupljenijih uređaja je „Sepam M61“ na čijem primeru će biti izvršena analiza zaštite elektromotora. Ogromne mogućnosti uređaja „SEPAM“ tipa M61, odgovarajućeg za zaštitu motora, predstavljene su u sledećim tabelama. U tabeli 2.1. data je lista zaštitnih funkcija kao i dodatnih funkcija za upravljanje i praćenje dok su u tabeli 2.2. prikazane mogućnosti mjerenja [3].

Tabela 2.1. Zaštitne funkcije uređaja „Sepam M61“ [4]

Zaštita	ANSI kod
Fazna prekostrujna	50/51
Zemljospojna/osjetljiva zemljospojna	50N/51N, 50G/51G
Zaštita od otkaza prekidača	50BF
Nesimetrično opterećenje	46
Termičko preopterećenje za mašine	49RMS
Usmjerena zemljospojna	67N/67NC
Usmjerena prekom.aktivne snage	32P
Usmjerena prekom.reaktivne snage	32Q
Fazna podstrujna	37
Predugačko vrijeme startovanja, ukočen rotor	48/51LR/14
Startovanje na sat	66
Gubitak pobude	40
Podnaponska	27
Podnaponska direktne komponente	27D
Prenaponska	59
Zemljospojna od rezid. Napona	59N
Prenaponska inverzne komponente	49
Nadfrekventna	81H
Podfrekventna	81L
Termostat/Buholc	26/63
Praćenje temperature	38/49T
Provjera sinhronizma	25
Upravljanje i praćenje	
Rasterećenje/automatski restart	
Lečovanje/potvrđivanje	86
Proglašenje	30
Prebacivanje grupa podešenja	

Tabela 2.2. Moguća mjerenja za uređaj „SEPAM M61“ [4]

Mjerenje	M61
Fazna struja I1, I2, I3 eff	+
Rezidualna struja I <sub>0</sub> , zbirna I <sub>0</sub>	+
Struja potrošnje I1, I2, I3	+
Vršna struja potrošnje IM1, IM2, IM3	+
Napon U21, U32, U13, V1, V2, V3	+
Rezidualni napon V0	+
Direktna komponenta napona Vd	+
Inverzna komponenta napona Vi	+
Frekvencija	+
Aktivna snaga P, P1, P2, P3	+
Reaktivna snaga Q1, Q2, Q3	+
Prividna snaga S, S1, S2, S3	+
Vršna potrošnja PM, QM	+
Faktor snage	+
Temperatura (16 RTDs)	Opciono
Brzina obrtaja	Opciono

Objašnjenje funkcija mikroprocesorske zaštite nije moguće, a da se prije toga ne spomene obilježavanje po ANSI standardu. U elektroenergetskim sistemima svijet je na široko prihvatio notaciju američkog ANSI obilježavanja (ANSI/IEEE Standard C37.2 *Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations*) koja služi za olakšanu identifikaciju zaštitnih uređaja kao što su prekidači, zaštitni releji i sl.

Pored zaštitnih funkcija, ovakav uređaj ima funkcije korisne za dijagnostiku sistema kao što su: brojač isključenja kvara faze i zemljospoja, poremećaji usljed viših harmonika (THD), fazni pomjeraj, prikaz korištenog toplotnog kapaciteta, brojač radnih sati/vremena, mjerenje

struja i vremena startovanja, odbrojanje vremena sprečavanja startovanja, nadzor strujnih i naponskih transformatora, nadzor kola za isključenje, broj operacija, vrijeme rada, vrijeme navijanja opruge, broj operacija izvlačenja.

### 3. ZAŠTITA ELEKTROMOTORA

U prethodnom poglavlju predstavljen je uređaj koji je odgovarajući za zaštitu najzastupljenijih električnih mašina u elektroenergetskom sistemu; asinhronih električnih motora, kojima su posvećena razmatranja u ovom radu.

Tokom svog razvoja dimenzije i težine motora bitno su se smanjivale. Smanjene dimenzije smanjile su i toplotnu i električnu preopteretivost. Ipak, s druge strane, rasli su zahtjevi korisnika motora iskoristivosti motora (zalijetanje velikih masa, reverzibilni pogon...). Velike snage kratkih spojeva zahtjevaju što brže isključenje u slučaju pojave kvara da bi se posljedice svele na minimum a omogućio što brži i efikasniji oporavak. Zbog toga, uloga zaštite elektromotora je od velikog značaja.

Na slici 3.1. se može vidjeti asinhrona kavezna mašina specijalne izvedbe, koja se koristi u pumpama visokog pritiska. U pitanju je šestopolni asinhroni motor ukupne snage 1203 kW, na naponskom nivou od 13,8kV i 60Hz, IP 56 zaštite [2].



Slika 3.1. Visokonaponski asinhroni kavezni motor proizvođača WEG

Kao i kod ostalih električnih mašina, tako i kod motora razlikujemo stanja sa kvarom i opasna pogonska stanja. Te dvije stvari je potrebno razdvojiti iz prostog razloga što se pri uspostavljanju istih vrše različiti postupci za povratak pogona u rad.

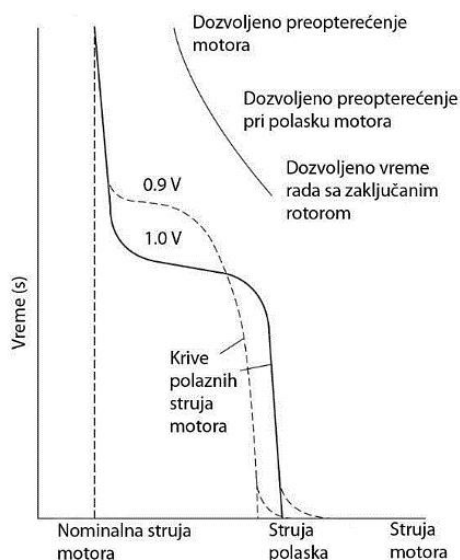
Potencijalni kvarovi asinhronih motora su [1]:

- 1) Kratak spoj između statorskih namotaja.
  - 2) Kratak spoj sa zemljom statorskog namota.
- Dok su opasna pogonska stanja [1]:
- 1) Preopterećenje motora.
  - 2) Zaključan rotor.
  - 3) Prenizak ili previsok napon napanja.
  - 4) Neodgovarajući redosljed faza.
  - 5) Neodgovarajući ambijentalni uslovi (visoka koncentracija prašine, visoka ili niska temperatura).
  - 6) Gubitak faze napajanja.
  - 7) Mehanički kvarovi, kvarovi u ležajevima i sl.

Kvarovi na motorima često prouzrokuju mehaničku, kao i štetu na električnim dijelovima koji nisu pod kvarom. U vezi sa tim zaštita motora od preopterećenja se slobodno može svrstati u najvažniju zaštitu, te je potrebno obratiti posebnu pažnju da njena realizacija bude adekvatna. Pod tim pojmom se podrazumjeva njena odgovarajuća brzina reagovanja i vrijednost na kojoj će zaštita da prouzrokuje isključenje prekidača preko kog se napaja motor. Osobina koju posjeduju motori vezana za struju polaska koja traje

(nekada) i do jednog minuta, dodatno usložnjava podešavanje mikroprocesorske zaštite [5-7].

Na slici 3.2. je prikazana karakteristika struje polaska motora, zajedno sa karakteristikom zaštitnog releja i granice u kojoj je dozvoljen rad motora. Sa te slike se jasno može uočiti da kriva po kojoj radi relej mora da dozvoli direktan start (veliku polaznu struju motora), ali da isto tako ne smije da dozvoli da motor uđe u opseg zabranjenog rada (ne smije da dozvoli da određena struja preopterećenja ili kratkog spoja bude prisutna neko određeno vrijeme, koje zavisi od materijala izrade i gabarita dijelova od kojih je motor sačinjen).



Slika 3.2. Karakteristika struje polaska motora, zajedno sa karakteristikom zaštitnog releja i granice u kojoj je dozvoljen rad motora

### 3.1. Zaštita od preopterećenja

Prekostrujna zaštita, ili zaštita od preopterećenja ima funkciju zaštite od pregrijavanja izolacije namotaja električne mašine, odnosno od oštećenja njenih dijelova pri povišenoj temperaturi. Motori su konstruisani tako da njihove karakteristike dozvoljavaju preopterećenja; kako neki stručnjaci tvrde preopterećenja od 20% su dozvoljena i do dva sata, dok su preopterećenja od 50% dozvoljena nekoliko minuta.

Pomoću releja se realizuje zaštitna funkcija od preopterećenja koja koristi direktno snimanje struje šticeg uređaja pomoću senzora za mjerenje temperature (najčešće su to Pt100 sonde) i na osnovu poređenja tih vrijednosti sa podešenim dolazi do reagovanja releja. Velika pogodnost mikroprocesorske zaštite u odnosu na stare releje jeste u tome da sa jednom sondom za mjerenje temperature (i odgovarajućim podešenjima) vrši i signalizacija i isključenje. Kod starih releja za te dvije funkcije bilo potrebno kupiti dva odvojena uređaja, te se jedan uređaj povezivao u kolo za signalizaciju, a drugi u kolo za isključenje.

Takođe, današnje mikroprocesorske zaštite posjeduju neke funkcije kao što su broj startovanja motora (ANSI 66 - *Starts per hour*), gdje mi u zaštitu upisujemo vrijednosti vremena između zaustavljanja i mogućeg sledećeg startovanja mašine, broj uzastopnih startovanja iz hladnog stanja, broj uzastopnih startovanja iz toplog stanja, period hlađenja mašine itd.

Za motore koji se pokreću sa nominalnim naponom, čije vrijeme polaska je između 5s i 10s, C37.96-2000 standard predviđa da se napravi minimalna margina između vremena polaska i vremena prekidanja definisanog krivom za zaštitu, dok se za motore čije se vrijeme polaska kreće u opsegu od 40s do 50s predviđa margina od 5s.

### 3.2 Zaštita od kratkih spojeva između faznih namotaja

Zaštita od kratkih spojeva treba da bude sposobna da isključi kvarove kao što su kratak spoj između statorskih namotaja, statorskog namotaja sa zemljom, kratak spoj na kabl i sl. Kada se podešava ova zaštita potrebno je obratiti posebnu pažnju da je u pitanju motor i da zaštita ne bi smjela da odreaguje na polaznu struju koja se očekuje. Struja na koju je potrebno podesiti kratkospojnu zaštitu bi trebala da bude u opsegu između 1,65I<sub>pol</sub> i 1,9I<sub>pol</sub>.

### 3.3. Zaštita od kratkih spojeva fazih namotaja sa zemljom (zemljospoja)

Dva najčešće korišćena načina za detekciju struje zemljospoja kod mikroprocesorskih zaštita) jesu da se koriste tri mjerna transformatora, koji su postavljeni tako da pokazuju fazne struje kroz napojni kabal motora, ili korišćenjem jednog obuhvatnog transformatora. Način kada mjerimo tri struje (mjerene sa 3 mjerna transformatora) se dovode na relej, gdje se na osnovu te tri očitane struje proračunava struju zemljospoja. Ta struja se zatim poredi sa strujom koja je podešena i ukoliko je ona veća od podešene, šalje se ili signal za isključenje prekidača ili signal za alarm. Ti signali se šalju putem digitalnih izlaza na releju. Drugi način jeste da se koristi obuhvatni transformator. Taj transformator na svom izlazu direktno daje redukovanu struju zemljospoja, u skladu sa svojim prenosnim odnosom. Tipična vrijednost na koju se podešava zemljospojna zaštita jeste na 20% od nominalne vrijednosti struje motora.

### 3.4. Zaštita od inverznih struja

Malo detaljnijom analizom dolazi se do zaključka da 5% inverzne komponente napona proizvodi oko 30% inverzne komponente struje, što predstavlja veoma visok procenat. Problem kod inverzne komponente struje nije samo u tome što je povećano zagrijavanje mašine, koje je takođe veoma bitan faktor. Ono što se može smatrati bitnijim faktorom jeste upravo to da se stvara negativna vrijednost momenta konverzije, a time i kočioni moment (kontramoment) mašine. U prilog ovome ide i sama činjenica da se motor neće pokrenuti ni u praznom hodu ukoliko mu je isključena jedna faza, pri čemu su direktna i inverzna struja jednake, odnosno rezultatni moment konverzije je jednak nuli. Zaključuje se da je ova zaštita veoma značajna kod asinhronih motora velikih snaga a mikroprocesorski uređaji omogućavaju efikasno podešenje ove zaštite.

### 3.5. Podnaponska zaštita

Propad napona rezultuje povećanom strujom motora. Posljedice niskog napona se mogu ogledati u tome da se motor ne može pokrenuti (s obzirom na to da se smanjenjem napona znatno smanjuje moment motora). Ova zaštita se standardno podešava na 80% nominalnog napona, jer se za tu vrednost napona smatra da je moguće izvršiti pokretanje motora bez većih posledica. Ova karakteristika se obično podešava sa vremenskom zadržkom od nekoliko sekundi.

### 3.6. Realizacija funkcija zaštite

Za proračune parametara u stacionarnim stanjima kod asinhronih motora je moguće koristiti standardnu ekvivalentnu šemu motora koja služi za proračune karakterističnih veličina motora, na osnovu kojih mogu biti određeni parametri zaštite motora. Podešavanje tih proračunatih parametara za svaku od navedenih zaštita vrši se u odgovarajućem softveru u zavisno od korišćenog uređaja, prikazano kao primjer na slici 3.3. Softver „SFT2841“ služi za parametrisanje zaštitnih funkcija za uređaj tipa „Sepam“. Karakteristike ovakvog programa su lako lak rad i intuitivnost [5].



Slika 3.3. Parametrisanje zaštitnog releja

Još jedna od mogućnosti mikroprocesorske zaštite jeste prenos relevantnih informacija do SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) sistema koji služi za automatizaciju procesa; za prikupljanje podataka sa senzora i dislociranih mjernih stanica, za prenos i prikazivanje mjernih i prikupljenih podataka u centralnoj stanici u svrhu nadzora i/ili upravljanja, u realnom vremenu [6].

### 4. ZAKLJUČAK

Koncept zaštite u novijim elektroenergetskim sistemima danas nije moguće zamisliti bez prisustva mikroprocesorske zaštite koja je prevazišla sve ograničavajuće faktore starih tipova relejne zaštite. Posebno bitan aspekt jeste zaštita asinhronih motora, skupocijenih dijelova elektroenergetskih sistema čiji kvarovi za posljedicu mogu imati velike materijalne štete za popravak ili zamjenu oštećenog dijela. Štete prouzrokovane prestankom procesa proizvodnje usljed kvara mogu biti još i veće i zato se velika pažnja posvećuje analizi sistema i zaštititi visokonaponskih asinhronih motora. Primjenom mikroprocesora dobija se kvalitetnija zaštita i znatno širih mogućnosti u odnosu na klasičnu jer je omogućena primjena inteligentnijih funkcija i postupaka u okviru jedne zaštite. Omogućen je nadzor štice objekta i analiza podataka čak i u slučajevima kada nema kvara. U slučaju kvara dostupan je veliki broj informacija o samom kvaru kao i veliki broj informacija od interesa za daljnji nadzor i upravljanje.

### 5. LITERATURA

- [1] Duško Bekut, Relejna Zaštita – FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2009;
- [2] Franjo Božuta, Automatski zaštitni uređaji elektroenergetskih postrojenja, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva Sarajevo, 1986.
- [3] Simon Richards Network protection & automation guide, Third edition, ISBN: 978-0-9568678-0-3, May 2011, Published by *Alstom Grid*,
- [4] Electrical network protection SEPAM 20,40,60,80, Schneider Electric
- [5] <https://docplayer.net/52232862-Proizvodni-programi-production-programme-pp17sren.html>
- [6] E. Veljković Grbić, J. Dragutinović, A. Car, Izrada aplikacije za konfigurisanje SCADA sistema u skladu sa savremenim konceptima modelovanja i konfigurisanja; Institut Mihailo Pupin, Beograd;
- [7] Reimert Donald, Protective relaying for power generation systems“ ISBN-13: 978-0-8247-0700-2 (alk. paper), 2006;

#### Kratka biografija:



**Bilja Sjeran** rođena je u Trebinju 1993. godine. Osnovne studije je završila na Fakultetu tehničkih nauka 2017. godine na departmanu Elektrotehnika i računarstvo – Elektroenergetski sistemi. Master rad je odbranila 2019. godine, na istom fakultetu na smijeru Energetska elektronika i električne mašine