

**REALIZACIJA ELEKTROMOTORNOG POGONA VRELOVODNOG KOTLA
SNAGE 35 MW****REALIZATION OF ELECTRIC MOTOR DRIVE OF
35 MW HOT WATER BOILER**

Darja Lazić, *Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu su predstavljene osnovne i kompleksne zaštite asinhronog motora, kao i njihova primena na konkretnom primeru projekta. Takođe, pokazano je povezivanje zaštitnih komponenti u softverskom programu Eplan. Prikazana je primena frekventnih pretvarača sa generisanim zaštitnim funkcijama. Dat je i osvrt na primenu programabilno logičkih kontrolera u sistemima automatizacije elektromotornih pogona, kao i implementacija SCADA sistema radi lakšeg upravljanja i vizualizacije samog elektromotornog pogona.

Ključne reči: Asinhroni motor, zaštita elektromotora, karakteristike asinhronog motora, programabilno logički kontroler, SCADA sistemi

Abstract – This paper presents the basic and complex protections of an induction motor, as well as their application on a specific project example. Also, the connection of protection components in the Eplan software program is shown. The application of frequency converters with generated protection functions is presented. The review of the application of programmable logic controllers in automation systems of electric motor drives is given, as well as the implementation of SCADA systems for easier management and visualization of the electric motor drive itself.

Keywords: Induction motor, motor protection, characteristics of an induction motor, programmable logic controller, SCADA systems

1. UVOD

Energetski pretvarači pretvaraju jedan vid energije u drugi i među njima su najbitniji obrtni energetski pretvarači (električni motori i generatori). Poseban problem u industriji predstavlja zaštita elektromotora. Ovaj problem je posebno izražen kod većih elektromotornih pogona, gde se zahteva velika bezbednost, kao i gde dolazi do velikih šteta prouzrokovanih prekidima u radu pogona. Najbitnije zaštite elektromotora su prekostrujna zaštita, zaštita od termičkog preopterećenja, zaštita od neujednačenosti struja i napona po fazama, zaštita od zaštita od pregrevanja namotaja i ležajeva motora, zaštita od vlage, kao i zaštita od vibracija. Jedan od bitnih asekata zaštite elektromotora jeste primena frekventnih pretvarača i

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dejan Jerkan, docent.

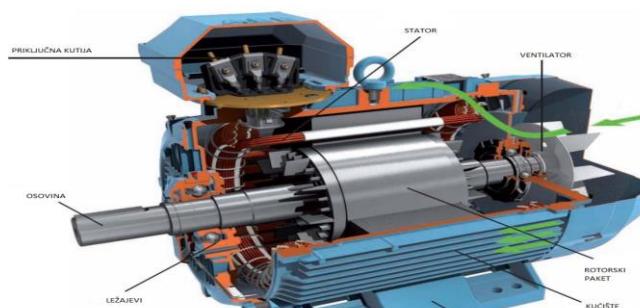
programabilno logičkih kontrolera (PLC-a) pri regulaciji rada elektromotora, što će, kao i zaštite biti pojašnjeno u narednim poglavljima na konkretnom primeru projekta.

2. OPŠTA ZNANJA O AM

Zbog svoje jednostavnosti i ekonomičnosti, asinhroni motori su najrasprostranjenije električne mašine. Osnovni princip rada električnih mašina je zasnovan na delovanju magnetnog polja na provodnike. Konstrukcija asinhronih motora se razlikuje u zavisnosti od vrste pogona, načina pokretanja motora, nominalnih parametara, uglova pod kojim motor radi i dr.

2.1. Konstrukciona izvedba

Električne mašine su cilindričnog oblika i sastoje se od statora i rotora. Stator asinhronih mašina je nepokretni deo električne mašine i izrađuje se u obliku šupljeg cilindra u čijoj se sredini nalazi rotor, pokretni deo mašine. Paketi dinamo limova od kojih se sastoje stator i rotor, predstavljaju magnetno kolo električne mašine između čijih delova se nalazi vazdušni zazor, kroz koji se prenosi elektromagnetsko polje sa pokretnog na nepokretni deo mašine i obrnuto. Na statoru i rotoru se nalaze namotaji koji su smešteni u žlebove i na osnovu načina izvedbe namotaja na rotoru, postoje mašine sa namotanim rotorom i kavezne asinhronih mašina.



Slika 1. Poprečni presek asinhronih mašina

U ovom radu će biti korišćena kavezna asinhrona mašina. Kod njih je rotor izgrađen od provodnika koji su sa obe strane kratko spojeni prstenovima i taj namotaj je od bakra ili aluminijuma i ne postoji električni pristup namotaju jer je kavezni namotaj kratko spojen [4].

U nastavku rada pažnja će biti posvećena raznim tipovima elektromotorne zaštite.

3. ZAŠTITA

Zaštu motora ostvaruju uređaji koji imaju zadatak da spreče nedopušteno zagrevanje, trajno oštećenje i da svedu vreme isključenosti pogona na minimum.

3.1. Vrste pogonskih stanja

Nenormalna stanja u elektroenergetskom sistemu su:

1. Stanja sa kvarom
2. Opasna pogonska stanja

Neki od karakterističnih kvarova asinhronih motora su:

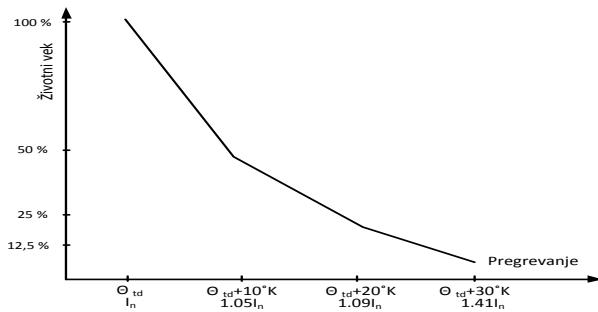
1. preopterećenje,
2. kratak spoj,
3. prekid ili ispad faze,
4. inverzni redosled faza,
5. neuravnoteženost struja po fazama,
6. kvar izolacije između namotaja,
7. previsok napon dodira na motoru,
8. prenizak ili previsok napon na motoru i nepotpun proces pokretanja motora.

Takođe, postoje kvarovi koji su povezani sa tehnološkim procesom, odnosno sa radnom mašinom:

1. prečesto pokretanje,
2. predugačko trajanje pokretanja,
3. zakočen rotor i
4. preveliko opterećenje na vratilu.

Za ove kvarove i nenormalna stanja je svakako potrebna zaštita, sa tim što se u zavisnosti od stepena kompleksnosti, funkcije koje ima, zaštita deli na tri nivoa, obaveznu, naprednu i kompleksnu.

Obavezne su zaštite od kratkog spoja, za koju se koriste topljni osigurači i prekidači, zaštita od termičkog preopterećenja u kojoj je najrasprostranjeniji bimetalni rele, kao i zaštita od zemljospoja koja se izvodi pomoću relea nulte komponente struje priključenog na obuhvatni strujni transformator.



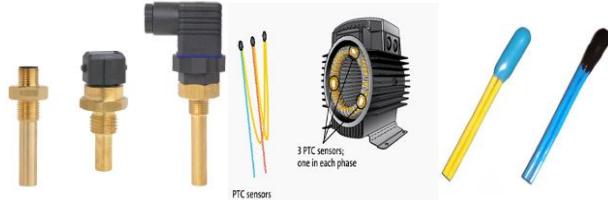
Slika 2. Ilustracija smanjenja životnog veka izolacije kao posledica njenog pregrevanja

Među napredne zaštite spadaju zaštita od neujednačenosti faznih struja, od predugačkog pokretanja, od blokiranja rotora, kao i zaštita od preniske vrednosti struje [2].

Kompleksne zaštite se primenjuju kod pogrešnog redosleda faza, previsoke temperature motora, previsokog broja pokretanja, rasterećenja motora, neujednačenosti napona po fazama, ispada faze, preniskog ili previsokog napona, podopterećenja ili preopterećenja snage, kao i kod niskog ili visokog faktora snage.

Kod asinhronih mašina moguće je vršiti direktno merenje temperature motora. Za motore na niskonaponskoj mreži koriste se temperaturni merači (termistori), od kojih su najvažniji:

- Bimetala sonda
- Poluprovodnički otpornici sa pozitivnim temperaturnim koeficijentom, PTC sonda
- Poluprovodnički otpornici sa negativnim temperaturnim koeficijentom, NTC sonda.



Slika 3. Bimetal sonda PTC sonda NTC sonda

Od kompleksnijih zaštita bitno je pomenuti zaštitu od vlage u motoru, pogotovo u pogonima sa hidro pumpama, kao i zaštitu od vibracija u motoru. Vibracije kod asinhronih motora su generalno nepoželjne jer intenziviraju proces habanja svih pokretnih elemenata, izazivaju lom mehaničkih komponenata, dovode do slabljenja razdvojivih veza, dovode do otkaza elektronskih komponenata i sistema, dovode do oštećenja izolacije kablova koji se dodiruju, prouzrokuju buku i izazivaju oštećenja i oboljenja kod čoveka.

4. PRIMENA ZAŠTITE MOTORA NA KONKRETNOM PRIMERU PROJEKTA VRELOVODNI KOTAO 35 MW, UPRAVLJANJE I REGULACIJA, JKP SUBOTIČKA TOPLANA

U Toplani na prirodnji gas, vrelovodni kotao predstavlja glavni deo postrojenja, koji se koristi za grejanje gradskih mreža. Vrelovodni kotao radi na nadpritisak, koji stvara potisni vazdušni ventilator. Poseduje motorne klapne na ulazu i izlazu vode. Uredaj koji služi za sagorevanje prirodnog zemnog gasa čine dva gorionika, armatura i automatika gorionika. Vazduh za sagorevanje gase se dovodi preko ventilatora svežeg vazduha kotla, a njegovo vrtloženje se ostvaruje pomoću sistema lopatica. Pomoću centrifugalnog ventilatora i vazdušnih kutija gorionika se vazduh koji se zagreva dovodi do vazdušnih kutija gorionika. Kao neželjeni nusproizvod, tokom procesa tog sagorevanja se pojavljuju dimni gasovi koji se pomoću ventilatora recirkulacije dimnih gasova izbacuju iz kotla. U celom sklopu je veoma bitna i recirkulaciona pumpa kotla koja vrši recirkulaciju vode u kotlu, čime se postiže adekvatna temperatura vode za grejanje krajnjih potrošača. Bitno je da se za svaki sklop celokupnog sistema odabere adekvatna zaštita, kao i precizna automatizacija, kako ne bi došlo do havarije.

U projektu se zahtevala ugradnja i napajanje elektromotornih pogona vrelovodnog kotla 35MW, kao i upravljanje postrojenjem kotla preko programabilnog logičkog kontrolera (PLC-a), a vezu između PLC-a i operatera je trebalo predvideti preko ekrana za komandovanje dodirom (Touch Screen) i preko radne stanice (PC računar sa pratećom opremom) sa koje će se vršiti nadzor i upravljanje kompletnim sistemom iz SCADA okruženja.

U projektu su od već pomenutih zaštita elektromotora korišćene zaštita od kratkog spoja i termičkog opterećenja, zaštita od pregrevanja motora, kao i zaštita od vibracija. Sve ostale zaštite su obuhvaćene frekventnim pretvaračem, što će biti opisano u daljem radu [1].

Prekostruju zaštitu sa motorno zaštitnim prekidačem ćemo pokazati na primeru motora pokretača ventila od 0,75 kW, za koju je korišćen motorni zaštitni prekidač proizvođača Omron. Pri odabiru motornog zaštitnog pretvarača, dva glavna faktora su napon i struja natpisne pločice motora. Motor od 0,75 kW ima struju od 1,9 A, pa samim tim, pri odabiru motorno zaštitnog prekidača, uzet je onaj koji ima opseg podešavanja od 1,5-2,5 A.

Kao što je već spomenuto, zaštita motora od vibracija, može da izazove velika oštećenja izolacije motora, kao i samog motora. U pogonu je za merenje vibracija na prednjem i zadnjem ležaju motora, kao i na vratilu motora korišćen vibrosenzor proizvođača ‘Hansford Sensors’. Digitalni signal sa senzora za detekciju vibracija motora, vibrosenzora, koje je doveden na ulaz PLC-a, usloviće pokretanje dela algoritma PLC-a koji prepoznaje da je došlo do poremećaja u radu motora, odnosno do povećanja vibracija motora, pa će početi sa preprogramiranom sekvencom isključenja elektro motora kako bi se isti zaustavio.



Slika 4. Pt100 senzor na ležaju motora

Za zaštitu od prevelike temperature u namotaje ili ležajevi motora može se ugraditi više senzora temperature čiji se signali šalju direktno u PLC ili u uređaj koji namenski obavlja funkciju detekcije previsoke temperature, a zatim prosleđuje svoj digitalni izlaz nadzornom sistemu. Na slici je prikazan Pt100 senzor ugrađen u ležaj motora.

5. PRIMENA ZAŠTITE MOTORA NA KONKRETNOM PRIMERU PROJEKTA POMOĆU FREKVENTNOG PRETVARAČA

Statički frekventni pretvarači su elektronski uređaji koji omogućavaju upravljanje brzinom obrtanja i regulaciju asinhronih i sinhronih elektromotora pretvarajući mrežni napon i frekvenciju, koji su fiksirane vrednosti, u promenljive veličine.

Elektromagnetna kompatibilnost (EMC) je sposobnost uređaja da rade bez uticaja ili izazivanja elektromagnetskih smetnji (EMI). Na frekventne pretvarače i motore se ugrađuju dodatni ulazni i izlazni filteri koji štede i samu napajajuću mrežu i motor koji se napaja pomoću ovog frekventnog pretvarača od štetnih faktora. Ulagani filteri dizajnirani su za suzbijanje buke koju stvaraju ispravljač i PWM pretvarač frekventnog pretvarača, štiteći na taj način

mrežu, a izlazni filteri su dizajnirani da zaštite sam motor od buke koju generiše PWM pretvarač frekventnog pretvarača. Ulagani filteri su prigušnice i EMI filteri, a izlazni filteri su uobičajeni filteri, motorne prigušnice, sinusni filteri i dU / dt filteri.

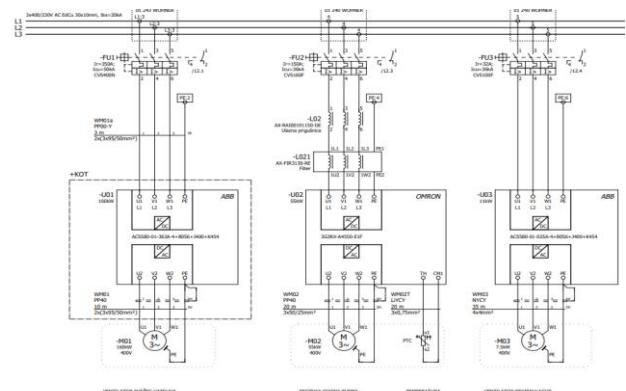
Za upravljanje i regulaciju recikurlacione pumpe kotla je korišćen frekventni pretvarač proizvođača Omron, serije RX. Pored njega je stavljen ulazna prigušnica, takođe istog proizvođača, kao i ulazni EMC filter, što se može vi-

deti na slici 5. Takođe, direktno u frekventni pretvarač je priključena PTC sonda za merenje temperature namotaja.



Slika 5. Frekventni pretvarači RX2 u elektro ormanu

Korišćenjem RX frekventnog pretvarača, postignuta je funkcija minimalnog usporavanja, funkcija povećanja limitiranja obrtnog momenta, kao i funkcija suzbijanja prekomerne struje, čime je omogućena veća zaštita elektromotora, kao i same opreme. Takođe, jedna od funkcija RX frekventnog pretvarača je da u slučaju kvara ili greške hardverski isključuje pretvarač, zaobilazeći centralno procesorsku jedinicu (CPU) i tako postiže funkciju sigurnog zaustavljanja (sve-stop).



Slika 6. Šema povezivanja frekventnih pretvarača

Za upravljanje i regulaciju ventilatora svežeg vazduha i recirkulacije je korišćen frekventni pretvarač proizvođača ABB model ACS580-01 koji u sebi ima integriran EMC filter i linijsku prigušnicu.

6. PROGRAMABILNO LOGIČKI KONTROLER, PLC

PLC (programabilno logički kontroler) je mikrokontrolerski sistem u kome su i softver i hardver adaptirani industrijskom okruženju. Operativni sistem PLC-a podržava razne oblike komunikacionih protokola kao što su: RS485, PROFIBUS, MODBUS, Ethernet, TCP/IP... U upravljačkim sistemima na PLC se gleda kao na srce upravljačkog sistema.

PLC se u osnovi sastoji od centralne procesorske jedinice koja izvršava program, memorije u kojoj je smešten program i podaci nad kojima se vrši obrada, ulaznih i izlaznih interfejsa jedinica na koje su direktno povezane ulazne i izlazne jedinice u polju, i komunikacionog interfejsa [3].

U primeru vrelovodnog kotla, PLC ima ulogu upravljanja funkcijama kotla i cirkulacionog sistema, a osim toga, takođe ima zadatak prikupljanja i memorisanja svih pogonskih događaja, alarmnih stanja, kao i funkciju

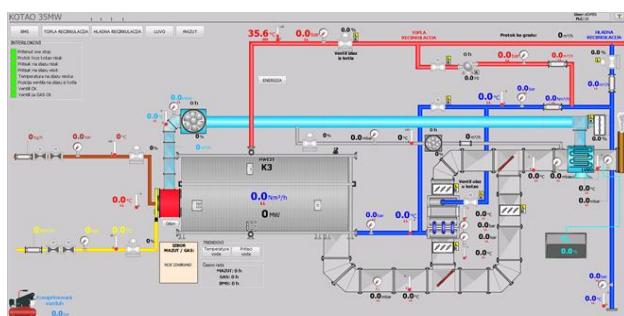
komunikacije sa SCADA sistemom. Zadavanje inicijalnih komandi, upisivanje parametara algoritma, prezentacija veličina analognih merenja, prikaz dijagrama u realnom vremenu, vrši se putem računara radne stanice (SCADA sistema) i putem ekrana za upravljanje dodirom (“touch screen”). Funkcije frekventnog pretvarača su takođe generisane u PLC-u, tako da su omogućene funkcije regulacije. Softverski se u PLC i komandni ekran upisuju kompletni algoritmi upravljanja. Sintetizovane su sve funkcionalne veze digitalnih davača iz periferije sistema (položaji krajnjih kontakata i sl.), obrađene su sve izmerene veličine parametara sistema (temperature, pritisci, protoci,

vibracije i dr.) i upisane granične vrednosti ovih veličina tako da one mogu uticati na funkcije upravljanja i funkcije alarmiranja ili zaštite postrojenja. Sintetizovana su i sva vremena zadrške delovanja.

U elektromotornom pogonu za realizaciju svih zahteva i zadataka je implementiran PLC proizvođača Omron, serije CJ2.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) predstavlja sistem za merenje, praćenje i kontrolu industrijskih sistema. Prikupljeni podaci se obično posmatraju na jednom ili više SCADA računara u centralnoj stanicici i u realnosti sistem može da prati i upravlja i do stotinama hiljada ulazno-izlaznih vrednosti. Uobičajeni analogni signali koje SCADA sistem nadzire su nivoi, temperature, pritisci, brzine protoka i brzine motora.

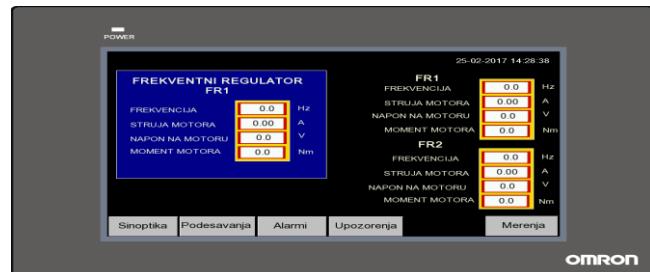
Učitavanjem Windows operativnog sistema, automatski se startuje FAST/TOOLS SCADA aplikacija. Klikom na desktopu na Operator Interface ili SCADA, startuje se grafički interfejs SCADA aplikacije na kom se dobija vizuelna reprezentacija pogona Kotla 35 MW. Sistem koji upravlja kotлом zove se BCS (Boiler Control System).



Slika 7. Vrelovodni kotao

Na slici 8. prikazan je ekran sinoptike vrelovodnog kotla, na kojem je prikazana približna konfiguracija kotla sa svim merenjima i upravljačkim uređajima. Merenje ima simbol termometra ako je u pitanju temperatura, barometra ako je u pitanju pritisak i merač protoka ako je u pitanju protok. Klikom na ove simbole otvara se ekran sa prikazom trenda odgovarajućeg merenja. Simboli termometra i barometra prikazuju aktuelnu vrednost merenja. Poseban upravljački sistem vodi proces rada gorionika (BMS – Burning Management System) i sa tim sistemom komunicira sistem za kontrolu kotla (BCS – Boiler Control System) preko ProfiBus komunikacione mreže. Kao što smo već spomenuli, vibracije su veoma bitne, a pomoću SCADA sistema ih možemo pratiti na ekranu, kao i još mnogo drugih merenja i opcija. Takođe

operatori imaju mogućnost praćenja rada kotla i komandovanja pumpama i ventilima na operator panelu na vratima PLC ormana. Na ekranu se mogu pratiti alarmi i upozorenja, menjati podešavanja, komandovanje ventilima i još mnoge druge opcije, kao što su npr. prikazi merenja sa frekventnih regulatora...



Slika 8. Frekventni regulator pumpe tople recirkulacije

7. ZAKLJUČAK

U radu su obradene osnovne i kompleksne zaštite asinhronih motorova u elektromotornim pogonima u primeru projekta ‘Vrelovodni kotao 35 MW, JKP Subotička Toplana’, kako bi postrojenje imalo stabilan i pouzdan rad u procesu snabdevanja grada toplotnom energijom. Takodje su u konkretnom primeru projekata date šeme povezivanja izabranih zaštita i njihov prikaz u softverskom programu Eplan.

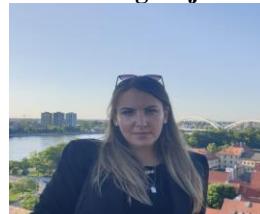
Kao vrlo bitan faktor obradena je i primena frekventnog pretvarača, koji se pored automatizacije i upravljanja koristi kao zaštita samog asinhronog motora, a prikazane su opcije zaštite koje ima integrisane unutar svog algoritma upravljanja. Prikazani su koncepti programabilnih logičkih kontrolera u sistemima automatizacije elektromotornih pogona, kao i SCADA sistemi.

Kao rezime samog rada se može zaključiti da je pored izbora elektromotora, veoma bitno i odabrati adekvatne zaštite, pravilno ih implementirati i povezati u sistem upravljanja kako bi korisnik mogao brzo i jednostavno uočiti kada dodje do nepravilnosti rada.

8. LITERATURA

- [1] Interni dokumenti projekta “JKP Subotička Toplana”
- [2] Strahil J. Gušavac, Osnovni principi projektovanja u mrežama srednjeg i niskog napona, FTN Novi Sad, Novi Sad 2014
- [3] Darko P. Marčetić (2013), Programabilno logički kontroleri i komunikacioni protokoli u elektroenergetici, FTN izdavaštvo
- [4] Veran Vasić, Đura Oros (2012) Energetska elektronika u pogonu i industriji FTN Izdavaštvo

Kratka biografija:



Darja Lazić rođena je 1992. godine u Kruševcu. Diplomski rad iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – energetska elektronika i električne mašine je odbranila 2018. godine.