

PREDLOG REŠENJA ZA MONITORING STANJA ASINHRONOG MOTORA**PROPOSED SOLUTION FOR MONITORING STATUS OF AN INDUCTION MOTOR**Marko Živković, Dejan Jerkan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je dat predlog za monitoring asinhronog motora koji je realizovan mikrokontrolerom ESP32, koji merene i obrađene podatke šalje ka serveru. Obradeni podaci se čuvaju na serveru i prikazuju se operateru koji može da prati stanje asinhronog motora i uvidi da li postoji potencijalni kvar u elektromotornom pogonu.

Ključne reči: Asinhroni motor, elektromotorni pogoni, monitoring, mikrokontroler ESP32, server, operater

Abstract – The paper presents an example of monitoring the status of the asynchronous motor which is realized by microcontroller ESP32. The microcontroller sends the data to the server. Processed data is stored on the server and it is shown to the operator who can follow the status of the asynchronous motor and check if the electric drive potentially has some fault.

Keywords: Induction motor, electric drive, monitoring, microcontroller ESP32, server, operator

1. ASINHRONI MOTOR

Asinhronne mašine su rotacione električne mašine koje spadaju u grupu naizmeničnih električnih mašina. Nikola Tesla je prvi konstruisao asinhroni motor 1887. godine, čiji se princip rada zasniva na obrtnom polju, koje je Nikola Tesla otkrio 1882. godine. Asinhroni motori su najzastupljeniji elektromehanički pretvarači u industriji zbog njihovih osnovnih osobina, a to su: robusnost, mala masa i zapremina, mogućnost rada sa veliki brzinama obrtaja, jednostavno održavanje, visok stepen korisnog dejstva.

U današnje vreme, najčešće se proizvode kavezne asinhronne mašine. Štapovi od kojih se sastoji kavez, prave se od aluminijuma (asinhronne mašine manje snage) ili od bakra (asinhronne mašine veće snage).

Rotor je sa obe strane kratkospojen prstenovima. Žlebovi u koje treba smestiti provodnike u vidu štapova, izoluju se tako što se tretiraju rastvorom kiseline, da bi se stvorio tanak izolacioni sloj soli gvožđa. Stator asinhronne mašine sastoji se od tri fazna namotaja, čije su ose prostorno pomerene za 120°.

Statorski namotaji mogu se povezati u zvezdu ili u trougao. Magnetno kolo statora i rotora izrađuje se od paketa limova, da bi se umanjili gubici usled vihornih struja.

NAPOMENA:

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

1.1. Zaštita asinhronog motora

Asinhroni motori zbog robusnosti i pouzdanosti su široko rasprostranjeni u današnjim elektromotornim pogonima. Oko 95% električnih motora u pogonima su asinhroni motori. Niskonaponski asinhroni motori se proizvode za snage do nekoliko stotina kilovata, dok se za veće snage, odnosno snage do 10MW proizvode za napone od 6kV, 10kV i 20kV.

Posledice kvara se mogu grupisati na sledeći način:

1. previsok napon dodira opasan po ljudski život,
2. obustava proizvodnje i oštećenje radne mašine,
3. troškovi popravke asinhronog motora i troškovi zamene oštećenih delova.

Zaštita elektromotornog pogona ima ulogu da kontroliše karakteristične veličine posmatranog uređaja (električni motor ili radne mašine ili električnog motora i radne mašine) i da u slučaju kvara ili opasnog pogonskog stanja, zaštitna oprema automatski preuzme sve neophodne mere da se kvar izbegne ili da se na minimum svedu posledice kvara ili opasnog pogonskog stanja, a takođe zaštita treba da upozori operatera ili osoblje koje se bavi monitoringom elektromotornog pogona.

Podela zaštitnih funkcija asinhronog motora u zavisnosti od vrste zaštite:

- zaštita od termičkog preopterećenja – isključuje motor u slučaju preopterećenja motora. Detekcija preopterećenja se vrši merenjem struja ili temperature motora,
- zaštita od neujednačenosti faznih struja – isključuje motor u slučaju pojavljivanja visokih neujednačenosti struja, koje za rezultat imaju povišenje gubitaka i temperature motora,
- zaštita od pogrešnog redosleda faza – usled pogrešnog redosleda faza motor će se obrtati u suprotnom smeru od željenog, što može dovesti do mehaničkih oštećenja radne mašine ili delova motora,
- zaštita od ispada faze – usled ispada jedne faze, zaštita isključuje motor da bi se sprečio jednofazni rad trofaznog motora, koji kao rezultat ima povećanje struje motora, smanjenje momenta i nemogućnost pokretanja.

1.1.1. Zaštita asinhronog motora od preopterećenja

Asinhroni motori kao i drugi električni uređaji poput sinhronih mašina, mašina jednosmerne struje i transformatora izrađuju se za odgovarajuće opterećenje koje u električnim uređajima rezultuje pojavu određenih temperatura. Maksimalnu temperaturu električnog motora određuje konstrukcija električne mašine, odnosno određuje je temperaturna klasa izolacije. Na natpisnoj pločici električnog uređaja stoji klasa izolacije i u zavisnosti od klase

izolacije propisana je dozvoljena maksimalna temperatura.

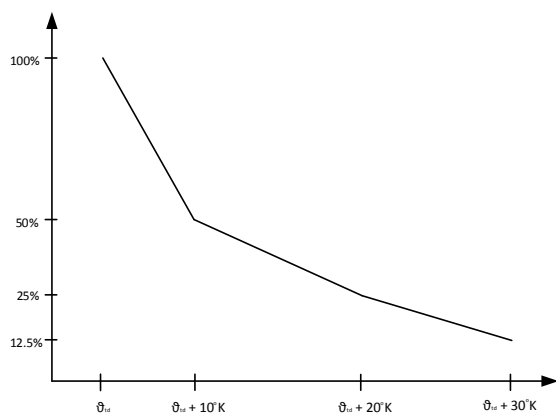
U tabeli 1 date su maksimalne dozvoljene vrednosti temperature u zavisnosti od klase izolacije upotrebljene za izolaciju namotaja električnog uređaja:

Tabela 1. dozvoljena nadtemperatura u zavisnosti od TKI

Klasa izolacije	A	E	B	F	H
Dozvoljena nadtemperatura [°C]	60	70	80	100	125

Da bi se ovi uslovi obezbedili, neophodno je obezbediti odgovarajuću zaštitnu opremu i zaštitne elemente, koje isključuju motor u slučaju opterećenja ili pojave temperature veće od dozvoljene.

Ako se u mašini ima temperatura veća od dozvoljene (slika 1), ona skraćuje životni vek izolacije.



Slika 1. Smanjenje životnog veka izolacije u zavisnosti od povećanja temperature

Najjednostavniji način zaštite motora od preopterećenja se izvodi ugradnjom uređaja koji isključuje motor sa mreže prilikom nastanka kvara ili ako nastane strujno ili termičko preopterećenje ili bilo kog drugog stanja koje bi moglo da ošteti asinhroni motor.

Za dozvoljene vrednosti struja motora zaštita ne sme da reaguje, a u slučaju da se te vrednosti struje premaše, potrebno je podesiti i izabrati zaštitu tako da brzina delovanja zaštite zavisi od veličine i trajanja prekoračenja opterećenja.

Potrebno je podesiti zaštitu tako da ona ne reaguje prilikom struje pokretanja asinhronog motora. Takvu karakteristiku delovanja imaju uređaji koji se koriste za zaštitu od preopterećenja:

- bimetalni releji,
- topljivi osigurači,
- elektronski releji za preopterećenje.

1.1.2. Zaštita asinhronog motora od jednofaznog rada

Zaštita motora od jednofaznog rada može se obaviti na dva načina, odnosno može se obaviti preko dva zaštitna uređaja:

- prekostrujna termička zaštita može da spreči jednofazni rad motora, jer ako se to desi, motor će biti preopterećen i prekostrujna termička zaštita će reagovati,

- postoje posebne vrste uređaja koji isključuju motor ako se pojavi jednofazni rad motora, a neki uređaji ne dozvoljavaju da se motor uključe ako je potencijalno takav rad moguć. U svakoj fazi kod ovog uređaja nalazi se elektromagnet kojeg struja faze drži uključenog. U slučaju da dođe do prekida faze, elektromagnet se aktivira i taj elektromagnet deluje na okidački mehanizam prekidača.

Ako se pravilno odabere prekostrujna termička zaštita i ako se pravilno podesi ova zaštita, ona može dobro da obuhvati i preopterećenje motora izazvano jednofaznim radom, tako da se u većini slučajeva odustaje od posebne zaštite od jednofaznog rada motora.

1.1.3. Zaštita asinhronog motora od obrnutog redosleda faza

Zaštita od obrnutog redosleda faza koristi se u slučajevima ako bi obrnut smer obrtanja asinhronog motora imao negativne posledice po rad radne mašine, poput mehaničkih oštećenja asinhronog motora ili mehaničkih oštećenja radne mašine.

Zaštita od obrnutog redosleda faza izvodi se primenom releja priključenog na filter inverzne komponente napona ili struja. U normalnim uslovima na izlazu filtra nema napona ili struje inverzne komponente. Ako bi se promenio redosled faza (na primer zamene se faze L1 i L2), pojavice se pun iznos ove komponente i zaštita isključuje motor, tj. zaštita neće dozvoliti uključivanje motora i signaliziraće da je potrebno zameniti redosled faza.

1.1.4. Zaštita asinhronog motora od prekida faze i neuravnoteženosti struja

Motor se štiti od prekida faze i neuravnoteženosti struja zbog dva razloga:

- povećanja struje motora,
- dodatnog povećanja struje kao posledice gubitaka uzrokovanih inverznom struje dvostruke učestanosti.

Kvarovi ovog tipa se detektuju filterom komponente inverznog redosleda. U slučaju rada asinhronog motora na dve faze, ako je došlo do pregorevanja osigurača u jednoj fazi, ovakav rad će dovesti do preopterećenja motora i može se otkloniti delovanjem zaštite od preopterećenja.

1.1.5. Zaštita od blokiranja rotora

U slučaju zaglavlivanja motora, odnosno rotora motora iz mehaničkih razloga, struje će se povećati do vrednosti polazne struje motora, a to za posledicu ima povećanje gubitaka u rotoru, a takođe kako je rotor zaglavljen, nema strujanja vazduha u motoru, odnosno nema ventilacije koja se dobija kao posledica kretanja rotora. Ako u pogonu postoji mogućnost da se rotor blokira, potrebno je obezbediti zaštitu. Prekostrujni releji koj se koriste za detektovanje ovog kvara se podešavaju na vrednost struje koja je manja od polazne struje.

1.1.6. Zaštita od učestalog pokretanja

Ako motor nije projektovan za pogon u kojem se ima učestalo pokretanje, takav način eksploatacije motora može uzrokovati oštećenja motora. Zaštita od učestalog pokretanja obezbeđuje se relejom koji obezbeđuje

vremensko kašnjenje pokretanja motora, koja se automatski ograničava i to na:

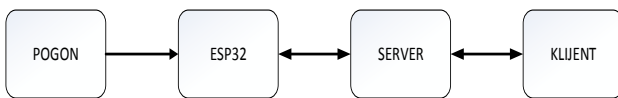
- broj pokretanja tokom nekog perioda,
- vremenski interval između dva pokretanja.

1.1.7. Zaštita od predugačkog trajanja pokretanja motora

Zaštita motora od predugačkog trajanja pokretanja obezbeđuje se primenom releja sa zadržskom čije je delovanje veće od vremena pokretanja motora, gde se meri struja ili brzina. Merenjem brzine ili struje može se jasno videti da li je proces pokretanja izvršen pravilno, odnosno da li su brzina ili struja jednake naznačenim vrednostima.

2. PREDLOŽENO REŠENJE SISTEMA ZA MONITORING

Sistem i predloženo rešenje za monitoring kvara asinhronog motora sastavljen je iz nekoliko komponenti i podsistema (slika 2), a komponente koje se nalaze u sistemu su: pogon i mrežni merni uređaj, mikrokontroler ESP32 koji koristi mrežni merni uređaj za merenje i za očitavanje karakterističnih veličina (poput napona, struje, faznog stava struje, aktivne snage, reaktivne snage, harmonijskog izobličenja napona i struje) i napajanje mikrokontrolera ESP32, server koji dobija podatke od strane mikrokontrolera ESP32, obrađuje podatke i čuva ih u bazi podataka i takođe u zavisnosti od merenih vrednosti dobija se mejl da je sistem u redu ili postoji neki kvar, klijentski deo aplikacije koji prikazuje podatke u human-readable formatu, odnosno formatu u kojem čovek može da ih pročita.



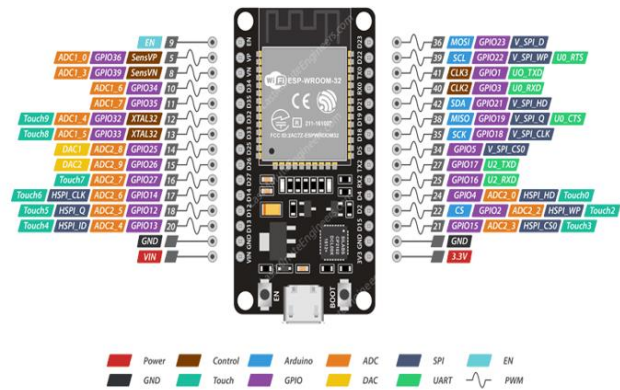
Slika 2. Blok dijagram sistema za monitoring

Strelicama na slici 2 prikazan je tok merenja i tok slanja podataka. Mrežnim mernim uređajem se očitava vrednost karakterističnih veličina, i merena veličine se šalje ka mikrokontroleru ESP32. Mikrokontroler ESP32 čita karakteristične veličine za elektromotorni pogon i obrađuje ih.

Nakon obrade struja, putem HTTP zahteva, podaci se šalju ka serveru. U slučaju da je zahtev validan, server dobija podatke i obrađuje ih. Nakon što server obradi podatke, u zavisnosti od izmerene vrednosti struje sa mrežnog mernog uređaja i postavljenog uslova (mejla upozorenja se šalje u slučaju da je merena struja veća od dvostruke vrednosti nominalne struje motora), vrednosti se smeštaju u bazu podataka i ispisuje se poruka na klijentskoj strani aplikacije i šalje se mejl upozorenja sa kompletnim izveštajem u trenutku kada je izmerena kritična vrednost struje.

Izgled korišćenog mikrokontrolera ESP32 predstavljen je na slici 3.

Mikrokontroler ESP32 šalje podatke ka serveru u JSON formatu i podaci koji se šalju ka serveru su napon, nominalna struja, struja sve 3 faze (struje faza L1, L2 i L3), fazni stavovi struja L1, L2 i L3, aktivna snaga, reaktivna snaga, totalno harmonijsko izobličenje struje i totalno harmonijsko izobličenje napona koje server dodatno obrađuje i čuva u bazi podataka.



Slika 3. Izgled mikrokontrolera ESP32

Stranica se osvežava na svakih 10 minuta, tako da se imaju uvek sveže mereni podaci i ukoliko postoji greška u elektromotornom pogonu (ako je merena struja jednaka ili veća od dvostruke vrednosti nominalne struje), poslaće se mejl. Mikrokontroler ESP32 šalje podatke ka serveru na svakih 30 minuta.

Home Logs Reports		Logout
Data measured	2020/10/25 07:55:09 pm	
Voltage [V]	399.9 [V]	
Nominal current [A]	24 [A]	
Current phase L1 [A]	23.1 [A]	
Current phase L2 [A]	13.2 [A]	
Current phase L3 [A]	41.3 [A]	
Fazni stav L1 [degrees]	50 [degrees]	
Fazni stav L2 [degrees]	50 [degrees]	
Fazni stav L3 [degrees]	50 [degrees]	
P [kW]	110.1 [kW]	
Q [kVAR]	34.2 [kVAR]	
THDI [%]	23.2 [%]	
THDU [%]	4.3 [%]	

ADDRESS
Novi Sad, 21000, Serbia
Faculty of Technical Science
Master dissertation

Slika 4. Početna stranica sistema za monitoring

Primer merenih podataka, kao i izgled početne stranice dat je na slici 4.

4. VERIFIKACIJA PREDLOŽENOG REŠENJA

Za verifikaciju predloženog rešenja korišćen je asinhroni motor nominalnog napona 400V, nominalne snage 22kW, faktora snage 0.88. Motor je priključen direktno na mrežu. Pretpostavlja se da su asinhroni motor i električna mreža na koju je priključen asinhroni motor idealno simetrični i da su fazni stavovi jedne faze u odnosu na drugu pomereni idealno za 120 stepeni. Zbog preglednosti tabele, nisu dodati ukupno izobličenje napona i ukupno izobličenje struje koje se takođe šalju putem mikrokontrolera ESP32 i takođe data je samo struja faze L1, jer je pretpostavljeno da se radi o simetričnom režimu i struje faza L2 i L3 imaju istu merenu vrednost kao struja faze L1, samo su fazno pomerene za 120 stepeni jedna u odnosu na drugu.

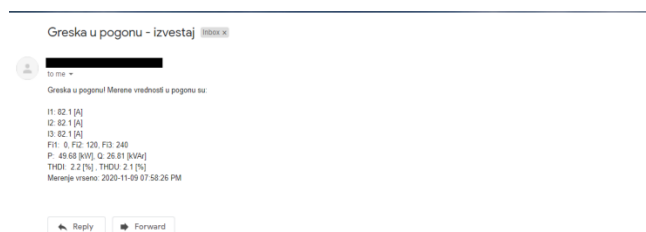
U rešenju je predviđeno da ako struja motora dostigne vrednost od dvostruke vrednosti nominalne vrednosti, da se u tom trenutku pošalje mejl upozorenja sa kompletnim izveštajem merenih vrednosti.

U tabeli 2 može se primetiti jedna kritična vrednost od 82.1A što je više od dvostruke vrednosti nominalne struje gde se očekuje da predloženo rešenje pošalje mejl.

Tabela 2. podaci dobijeni od mrežnog mernog uređaja koji se šalju mikrokontrolerom ESP32 (podaci mereni pola smene)

U	I _n	I _l	φ ₁	φ ₂	φ ₃	P	Q
400.0	36.1	36.1	0	120	240	22023.40	11887.63
399.8	36.1	36.1	0	120	240	22012.39	11881.69
397.8	36.1	36.1	0	120	240	21902.27	11822.25
400.2	36.1	35.2	0	120	240	21496.99	11603.49
400.3	36.1	37.1	0	120	240	22663.00	12232.87
396.5	36.1	82.1	0	120	240	49675.72	26813.60
395.5	36.1	36.1	0	120	240	21775.64	11753.89
400.1	36.1	34.2	0	120	240	20881.06	11271.03

Predloženo rešenje je poslalo mejl u trenutku kada se imala struja vrednosti 82.1 A (slika 5), odnosno čim je primećena kritična vrednost struje, poslat je mejl upozorenja sa svim merenim parametrima dobijenim od strane mikrokontrolera ESP32.



Slika 5. Izveštaj pogona za kritičnu vrednost struje

5. ZAKLJUČAK

Predloženim sistemom za monitoring moguće je posmatrati i proveravati periodično karakteristične veličine poput napona mreže, struje faza L1, L2 i L3, faznih stavova struja L1, L2 i L3, aktivna snaga, reaktivna snaga i totalno harmonijsko izobličenje napona i totalno harmonijsko izobličenje struje. Sve posmatrane veličine su bitne za praćenje stanja jednog elektromotornog pogona, a takođe predloženo rešenje omogućava slanje mejla upozorenja i izveštaja u slučaju greške u elektromotornom pogonu u slučaju struje veće od dvostruke vrednosti nominalne struje motora.

Predloženi sistem za monitoring može se koristiti za integraciju nekog postojećeg sistema za nadzor ili monitoring, gde je potrebno obezbediti mikrokontroler ESP32, mrežni merni uređaj koji će komunicirati sa mikrokontrolerom ESP32 i slati mu neophodne podatke i potrebno je obezbediti server.

Predloženim rešenjem moguće je daljinsko praćenje podataka elektromotornog pogona, koje će povećati stepen složenosti elektromotornog pogona, ali ima višestruke prednosti, poput da operater ne mora da bude direktno u neposrednoj blizini asinhronog motora da bi pratio njegovo stanje, već može da bude u kontrolnoj sobi i prati stanje više asinhronih motora u pogonu, takođe u trenutku kada se desi greška u elektromotornom pogonu dobiće se automatski mejl sa upozorenjem.

Predloženo rešenje zbog korišćenih tehnologija moguće je nadograditi novim opcijama i omogućiti detaljnije praćenje stanja elektromotornog pogona.

6. LITERATURA

- [1] Vladan Vučković, „Električni pogoni“, Akademska misao, 2002.
- [2] Slobodan N. Vukosavić, „Električne mašine“, Akademska misao, 2010.
- [3] Emil Levi, Vladan Vučković, Vladimir Strezoski, „Elektroenergetski pretvarači“, FTN Izdavaštvo, 2013.
- [4] Vladislav Teodorović, „Električne pogonske mašine I“, HORIZONT Beograd, 1967.
- [5] Strahil J. Guševac, „Osnovni principi projektovanja u mrežama srednjeg i niskog napona“, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, 2014.

Kratka biografija:

Marko Živković rođen je u Novom Sadu 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2020.god.

Dejan Jerkan je docent na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na Katedri za Energetsku elektroniku i pretvarače. Oblast interesovanja su mu modelovanje i dijagnostika električnih mašina, kao i metoda konačnih elemenata