Mjerenje i analiza struje pokretanja asinkronog motora napajanog pomoću frekvencijskog pretvarača

Anđelić, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:306397

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Stručni studij

MJERENJE I ANALIZA STRUJE POKRETANJA ASINKRONOG MOTORA NAPAJANOG POMOĆU FREKVENCIJSKOG PRETVARAČA

Završni rad

Matej Anđelić

Osijek, 2016.



IZJAVA O ORGINALNOSTI RADA

Osijek,

Ime i prezime studenta:	
Studij:	
Mat. br. studenta, godina upisa:	

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom:

Izrađen pod vodstvom mentora:

Izađen samostalno, isključivo znanjem stečenim na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD 4
2. ASINKRONI MOTORI 5
2.1. Konstrukcijska izvedba 6
2.2. Podjela 7
3. DINAMIČKA STANJA ASINKRONOG MOTORA 8
3.1. Mehanička karakteristika i režimi rada 8
3.2. Pokretanje 10
3.2.1. Pokretanje elektroničkim pretvaračem 11
3.3. Brzina vrtnje 13
3.3.1. Skalarna regulacija brzine vrtnje 13
3.3.2. Vektorska regulacija brzine vrtnje 14
4. FREKVENCIJSKI PRETVARAČ DANFOSS FC-302 16
4.1. Načini upravljanja frekvencijskim pretvaračem Danfoss FC-302 17
5. MJERENJE I ANALIZA STRUJE POKRETANJA ASINKRONOG MOTORA NAPAJANOG POMOĆU FREKVENCIJSKOG PRETVARAČA 18
5.1 Zadatak 18
5.2 Shema spoja i tehnički podaci 18
5.3. Provođenje mjerenja 21
5.3.1. Zalet asinkronog motora u praznom hodu 22
5.3.2. Zalet asinkronog motora sa opterećenjem 29
6. ZAKLJUČAK 36
LITERATURA 37
SAŽETAK 38
ŽIVOTOPIS 39
7. PRILOZI 40

1. UVOD

U svakom elektromotornom pogonu pojavljuju se mehaničke, električne, magnetske i toplinske fizikalne veličine. Mehaničkim fizikalnim veličinama smatramo brzinu vrtnje, moment tereta i moment motora. Električnim fizikalnim veličinama smatramo struje, napone, otpore, gubitke te induktivitet. Magnetskim fizikalnim veličinama smatramo tokove i indukciju, dok su toplinske fizikalne veličine temperatura, zagrijanje te količina temperature. Dva su moguća osnovna stanja elektromotornog pogona, a to su statičko i dinamičko stanje. Elektromotorni pogon se nalazi u statičkom ili nepromijenjivom stanju ako su tijekom vremena promatranja fizikalne veličine pogona stalne. Elektromotorni pogon se nalazi u dinamičkom ili promjenjivom stanju ako se tijekom vremena promatranja mijenja barem jedna fizikalna veličina.

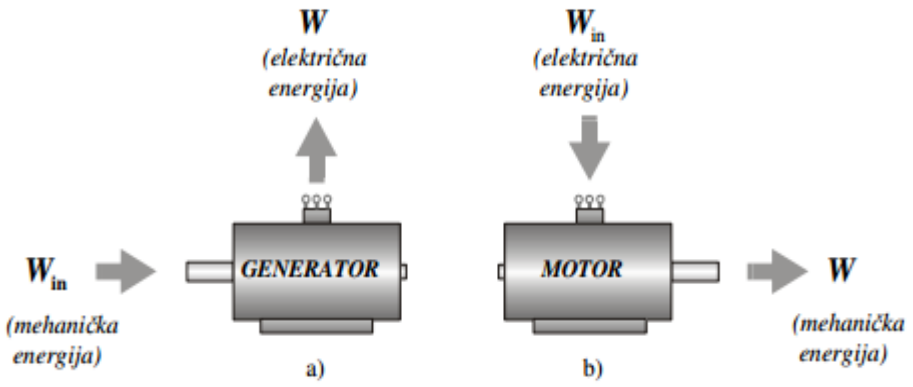
U ovom završnom radu razmatrat će se dinamička stanja asinkronog motora. Zadatak rada je mjerenje struje pokretanja asinkronog motora, a uz struju određivali smo još i napon, frekvenciju, električnu snagu, moment i brzinu vrtnje u praznom hodu te pri opterećenju motora. Motor je bio napajan preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC-302 koji je korišten u VVC plus načinu upravljanja. Za komunikaciju sa frekvencijskim pretvaračem korišten je računalni program MCT10. Praktični dio rada odrađen je u specijaliziranom laboratoriju za električne strojeve i pogone 0-21 na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.

Prvi dio zadatka je mjerenje navedenih veličina u praznom hodu za vrijeme zaleta od 3, 5, 7, 10 i 15 sekundi. Drugi dio zadatka je mjerenje pri opterećenom motoru za vrijeme zaleta od 5, 7, 10 i 12 sekundi.

2. ASINKRONI MOTORI

Asinkroni motori su motori izmjenične struje kod kojih je brzina vrtnje različita od brzine vrtnje okretnog polja i mijenja se s promjenom opterećenja. Asinkroni motori izvode se najčešće kao trofazni. Trofazni asinkroni motor danas je najviše upotrebljavani motor. Skup njegovih ekonomskih i tehničkih svojstava stavlja ga u cijelom mnoštvu primjene na prvo mjesto. Izvjesna neprikladnost za pogone s promjenjivom brzinom vrtnje najčešće ograničava njegovu upotrebu, ali njegova sigurnost u pogonu, jednostavnost i cijena dovode ga na prvo mjesto, posebno za jednostavnije pogone. Asinkroni motor napaja se priključkom statorskog namota na vanjski izvor (mrežu), dok se u rotorskom namotu inducira napon putem elektromagnetske indukcije. Zbog toga se ovi motori često nazivaju i indukcijski motori.

Hoće li asinkroni motor raditi kao generator ili kao motor, ovisi o načinu uporabe. Ako mu preko osovine dovodimo mehaničku energiju, raditi će kao generator (Sl. 2.1. a)), ako mu dovodimo električnu energiju, na izlazu preko osovine dobiti ćemo mehaničku energiju i tada stroj radi kao motor (Sl. 2.1. b)).

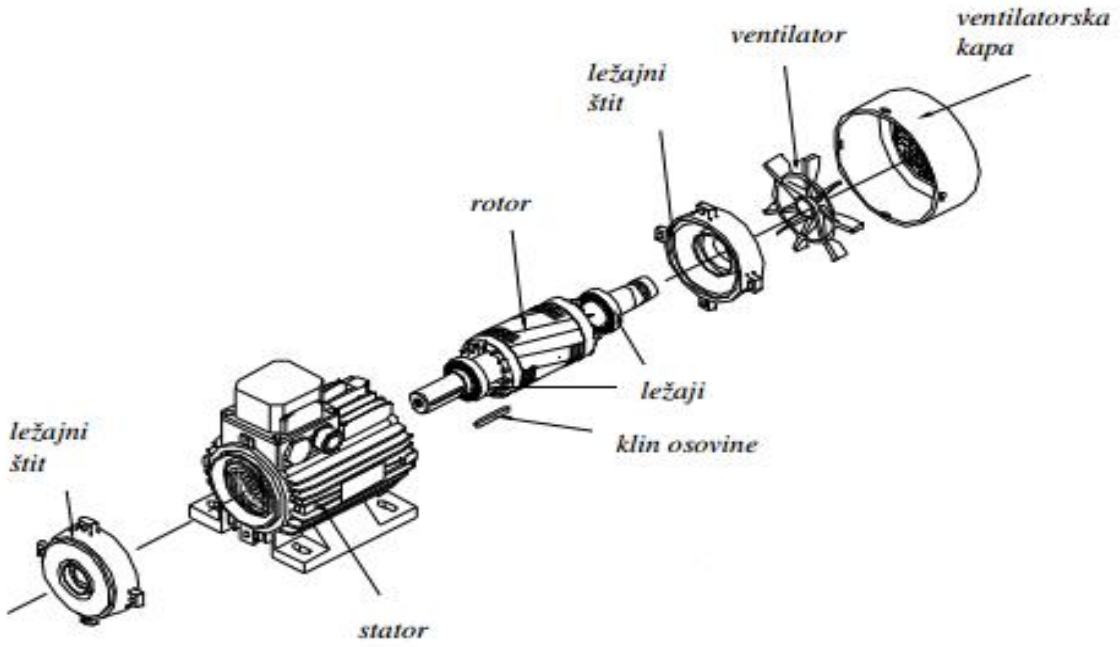


Sl. 2.1. Pretvorba energije kod asinkronog stroja [1]

Asinkroni motori se najčešće upotrebljavaju kada rade kao generatori, slabije se upotrebljavaju kada rade kao motori zbog toga što sinkroni generatori pri velikim snagama imaju bolje karakteristike [1].

2.1. Konstrukcijska izvedba

Dva osnovna dijela asinkronog motora su stator i rotor. Stator je nepomični dio asinkronog motora, a rotor dio koji se može vrtiti oko svoje osovine. Stator trofaznog asinkronog motora čine trofazni namot i jezgra statora, koja je izvedena od dinamolimova. Namoti statora se mogu spajati u spoju zvijezda ili trokut. Namoti statora pojedinih faza prostorno su, jedan u odnosu na drugi, pomaknuti za kut od 120º [2].



Sl. 2.2. Osnovni mehanički dijelovi asinkronog stroja [1]

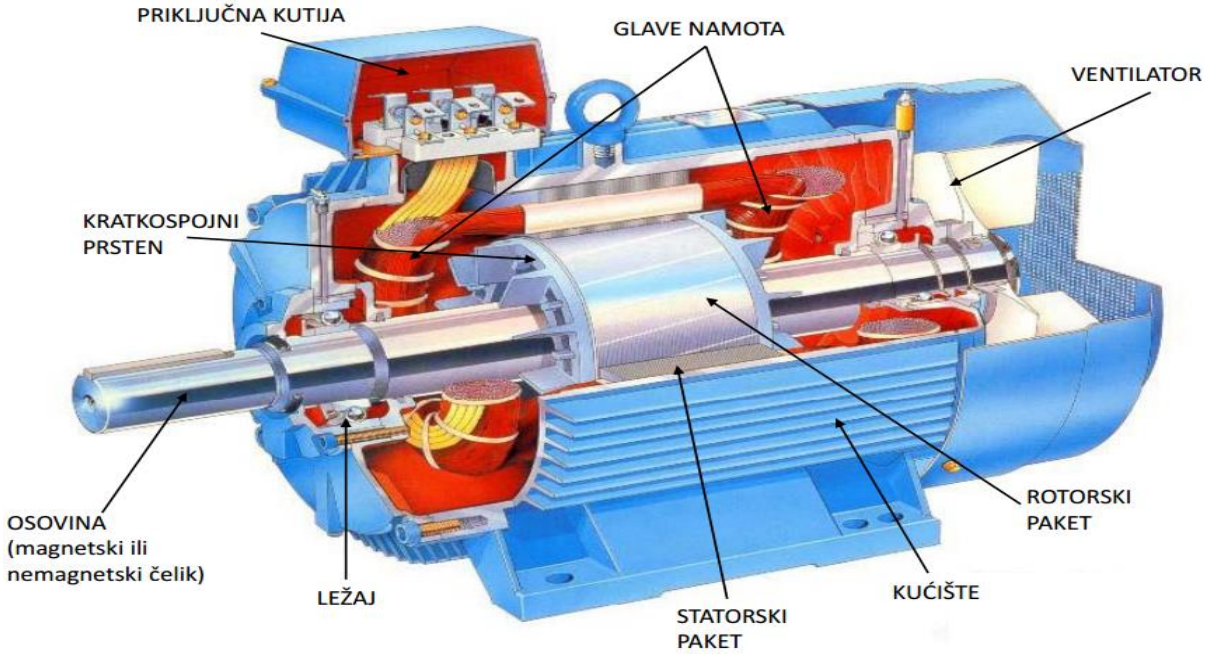
Prema slici 2.2. vidimo da se asinkroni motor osim rotora i statora sastoji još od ležajnog štita, klina osovine, ležaja, ventilatora te od ventilatorske kape.

Kućište statora je napravljeno od željeza, a služi za mehaničku zaštitu statora motora. Rotor je u kontaktu sa statorom samo preko kliznih ležajeva koji omogućavaju mali otpor trenja, a time ujedno i smanjuju gubitke. Klizni ležajevi su na kućište statora pričvršćeni pomoću nosača ležajeva. Unutar kućišta statora se nalazi jezgra statora, koja je sastavljena od tankih željeznih limova, koji su međusobno povezani i čine statorski paket. Limovi imaju utisnute utore u koje se postavlja namot. Namoti i jezgra statora čine elektromagnet, koji stvara elektromagnetno polje kad njegovim namotom proteku struje.Na kućištu statora su izvedeni priključci za vanjski napon. Rotor se također pravi u formi paketa željeznih limova sa utisnutim utorima u koje se postavlja namot [2].

2.2. Podjela

Prema izvedbi rotorskog namota asinkroni motori mogu biti kliznokolutni i kavezni.

Kavezni asinkroni motor ima stator isti kao kolutni. Razlika je u izvedbi rotora. Namot je izgrađen od bakrenih ili mesinganih štapova uloženih u utore koji su sa svake strane prstenima kratko spojeni. Kavezni asinhroni motor je najjednostavniji, specifično najlakši i najjeftiniji te najpouzdaniji i najčešće korišteni elektromotor. Broj faza i broj pari polova kaveznog rotora prilagođuje se broju faza i broju pari polova statorskog namota.



Sl. 2.3. Presjek trofaznog asinkronog kaveznog elektromotora [3]

Prema slici 2.3. vidimo koji su osnovni dijelovi asinkronog kaveznog motora.

3. DINAMIČKA STANJA ASINKRONOG MOTORA

Analiza dinamičkih stanja asinkronih motora je usmjerena prema istraživanju struja, a najviše je usmjerena prema trajanju prijelaznih pojava. Zbog male osjetljivosti na velike struje češća je pojava asinkronih motora u velikim pogonima gdje nastupaju struje komutacije te kod takvih velikih pogona dolazi do istraživanja toplinskih pitanja. To je posebno opravdano zbog toga što se za većinu velikih pogona uopće ne zahtijeva podešavanje brzine vrtnje, odnosno ne zahtijeva se podešavanje brzine vrtnje u malim intervalima, već kada je potrebno ono bude u većim intervalima. Zbog svih tih razloga za velike pogone najpovoljniji je asinkroni motor.

Analitička obrada općih dinamičkih stanja elektromotornih pogona s asinkronim motorima znatno je teža od onih s drugim motorima. Za temeljnu jednadžbu pogona preko momenta vrijedi jednadžba [4]:

$$M_m = M_t + M_u \tag{3-1}$$

Prema jadnadžbi (3-1) M_m predstavlja moment motora, M_t moment tereta, a M_u moment ubrzanja.

Kada je moment motora veći od momenta tereta tada motor ubrzava, kada je moment motora manji od momenta tereta tada motor koči, a motor radi stacionarno kada je moment motora jednak momentu tereta [4].

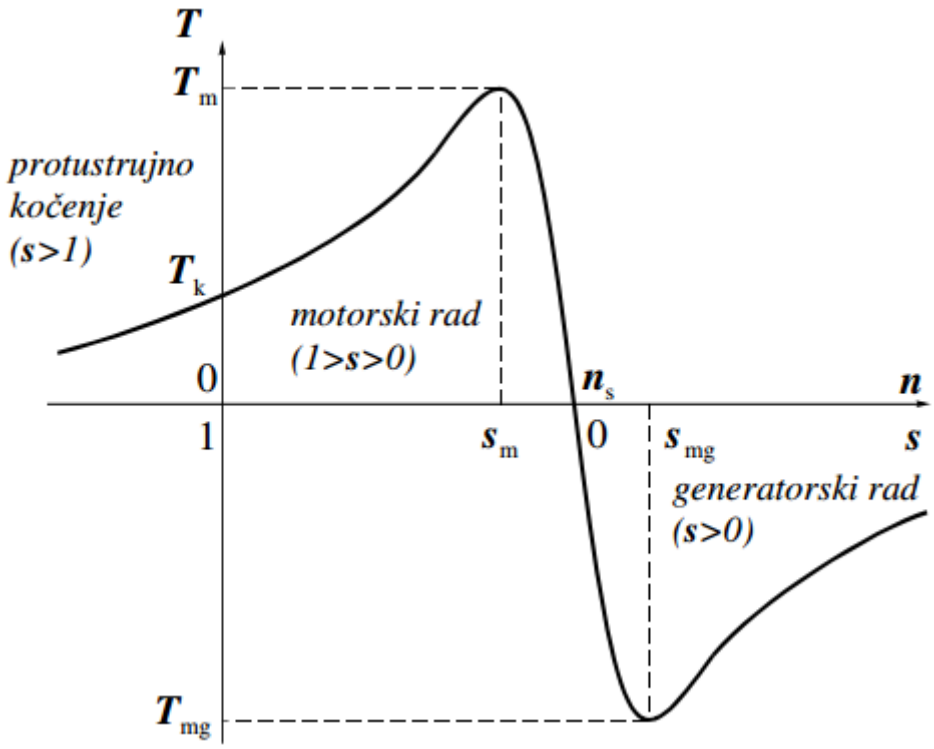
3.1. Mehanička karakteristika i režimi rada

Najznačajnija karateristika za svaki asinkroni motor je zavisnost momenta od brzine vrtnje, koju nazivamo još i mehaničkom karakteristikom. Ako se moment predstavi u zavisnosti od klizanja, za klizno-kolutne motore dinamička stanja se mogu analizirati pomoću Klossove jednadžbe, koja daje mahaničku karakteristiku asnkronog motora.

$$\frac{M}{M_P} = \frac{2}{\frac{s}{s_P}+\frac{s_P}{s}} \tag{3-2}$$

Prema jednadžbi (3-2) koja predstavlja Klassovu jednadžbu M predstavlja moment, M_p predstavlja prekretni moment, s predstavlja klizanje, s_p predstavlja prekretno klizanje [1,4].

Karakteristika momenta u cijelom području rada je prikazana na slici 3.1.



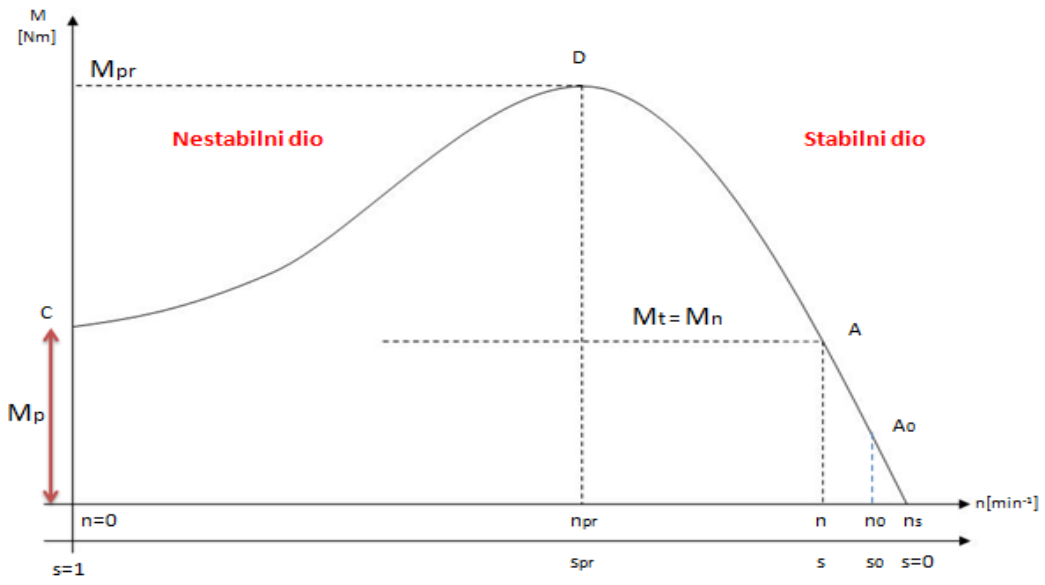
Sl. 3.1. Mehanička karakteristika asinkronog motora u cijelom području rada [1]

Na dijelu karakteristike od $0 < n < n_s$ motor radi u motorskom režimu rada i proizvodi mehanički moment. Klizanje poprima vrijednosti od s = 1 do s = 0, s tim što ne može dostići vrijednost 0.

Za $n > n_s$ motor radi u generatorskom režimu rada, a brzina vrtnje je veća od sinkrone brzine vrtnje, uslijed toga što je na osovinu motora privedena mehanička snaga iz vanjskog izvora. Klizanje je u ovom slučaju manje od nule (s < 0).

Za vrijednosti brzine vrtnje n < 0, motor ulazi u režim protustrujnog kočenja. Tada motor uzima snagu iz električne mreže, a na osovinu se dovodi snaga iz vanjskog izvora s tim što vanjski moment prevladava. Klizanje je veće od 1 (s > 1).

Grafički, mehanička karakteristika najčešće se crta samo za motorski rad i označava se prema slici 3.2.



Sl. 3.2. Mehanička karakteristika motorskog rada asinkronog motora

Mehanička karakteristika motorskog rada asinkronog motora (Sl.3.2.) predstavlja ovisnost momenta motora M o brzini vrtnje n, odnosno o klizanju s. Ona prikazuje razvijanje momenta vrtnje u raznim pogonskim stanjima. U trenutku pokretanja asinkronog motora kada je klizanje s = 1, a brzina vrtnje n = 0, motor razvija moment vrtnje određen točkom C. U toj točki potezni moment M_p je maksimalan i on omogućava motoru da se sam pokrene u trenutku priključenja na mrežu. S obzirom da se motor pokrenio, brzina mu počinje rasti, a klizanje opada te motor razvija sve veći moment vrtnje i to do točke D u kojoj je motor razvio maksimalni moment vrtnje. Taj maksimalni moment vrtnje naziva se još i prekretni moment, a označava se sa M_{pr}. Iz točke prekretnog momenta motor prelazi u radnu točku, gdje je brzina vrtnje konstantna i jednaka nazivnoj brzini motora. Moment tereta M_t u radnoj točki jednak je nazivnom momentu, a moment ubrzanja M_u jednak je nuli. Motor iz radne točke prelazi u točku praznog hoda, gdje brzina motora raste te je ona veća od nazivne, a moment tereta je manji od nazivnog i jednak nuli, dok moment ubrzanja raste.

3.2. Pokretanje

U trenutku pokretanja asinkronog motora (n = 0, s = 1) maksimalni je inducirani rotorski napon i maksimalna struja pokretanja. Povećanjem brzine vrtnje tokom zaleta smanjuje se klizanje, inducirani napon i struja pokretanja. Kod direktnog pokretanja struja pokretanja je velika, a potezni moment relativno mali.

Problemi prilikom pokretanja asinkronog motora su:

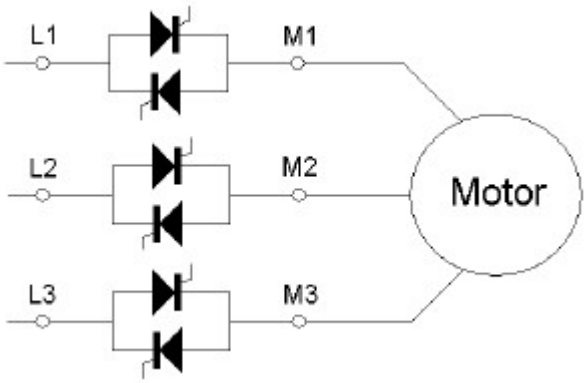
- velike struje pokretanja, obično 5-8 puta veće od nazivnih,
- preveliki ili nedovoljno veliki momenti pokretanja (nedovoljno veliki momenti ubrzavanja),
- predugo trajanje zaleta motora i pogona.

Četiri su načina pokretanja asinkronog kaveznog motora:

1. direktno pokretanje,
2. preklopkom zvijezda-trokut,
3. elektroničkim pretvaračem,
4. izvedbom rotora s potiskivanjem struje [5].

3.2.1. Pokretanje elektroničkim pretvaračem

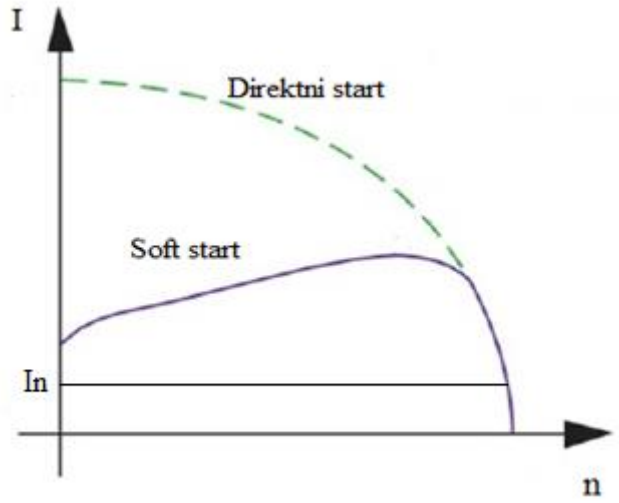
Elektronički uređaj je takozvani soft starter kojim se može regulirati napon statora motora tako da se smanji struja pokretanja na neki dozvoljeni iznos. Dodatno se smanjuje i mehaničko naprezanje na motor i osovinu, a također smanjuju se i elektrodinamička naprezanja na kabele te na električnu mrežu. Meko upuštanje asinkronog motora u principu svodi se na postupak kontroliranog povećanja statorskog napona, a time se ujedno kontrolira statorska struja, kao i okretni moment. Soft starter upravlja kutom vođenja tiristora te na taj način mijenja efektivnu vrijednost izlaznog napona [6,7].



Sl. 3.3. Tiristorski soft starter [8]

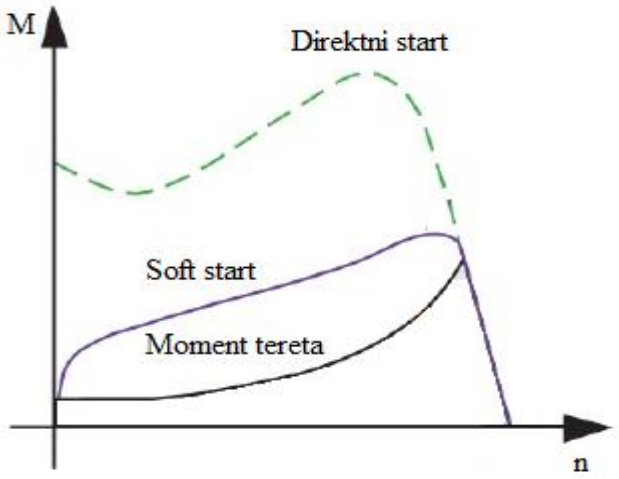
Za rješavanje tehničkog problema kontroliranog povećanja statorskog napona pri upuštanju motora u rad najčešće se koriste tiristorski podešavači napona (Sl.3.3.). Uz pomoć odgovarajuće upravljačke elektronike moguće je vrlo jednostavno ograničiti polaznu struju,

odnosno moment na najmanju moguću vrijednosti koja omogućuje potrebno ubrzanje, sve do granice termičke preopterećenosti motora.



Sl. 3.4. Ovisnost struje o brzini vrtnje kod soft starta u odnosu na direktni start [9]

Prema slici 3.4. vidimo da je struja pokretanja prilikom korištenja soft startera veća od nazivne struje, ali je puno manja u odnosu na struju direktno pokretanja što je i glavni razlog njegovog korištenja.



Sl. 3.5. Ovisnost momenta o brzini vrtnje kod soft starta u odnosu na direktni start [9]

Prema slici 3.5. zaključujemo da je moment tereta prilikom pokretanja asinkronog motora puno manji ako koristimo soft starter, nego u slučaju direktnog pokretanja.

3.3. Brzina vrtnje

Brzina vrtnje asinhronog motora je [1,3]:

$$n = \frac{60 \times f_s}{p} \times (1 - s) \tag{3-3}$$

Prema jednadžbi (3-3) p predstavlja broj pari polova, f_s frekvenciju napona napajanja statora te s predstavlja klizanje.

Na tri načina možemo mijenjati brzinu vrtnje:

- promjenom klizanja,
- promjenom broja pari polova,
- promjenom frekvencije [1,3].

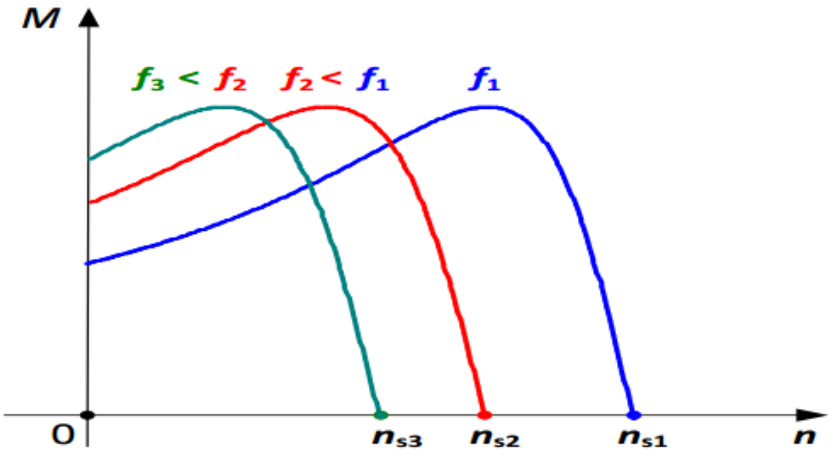
3.3.1. Skalarna regulacija brzine vrtnje

Skalarna regulacija je naziv za istovremenu promjenu napona i frekvencije. Ona ima ograničeno područje u kojemu se primjenjuje, zbog toga što je promjena napona motora ograničena do nazivne vrijednosti, a preko nazivne vrijednosti ne smijemo ići. Povećanje frekvencije iznad nazivne je ograničeno zbog mehaničkih razloga te zbog promjene mehaničke karakteristike motora jer ako koristimo frekvenciju veću od nazivne tada se smanjuje magnetski tok. Skalarno upravljanje se općenito primjenjuje tamo gdje se ne zahtijeva velika preciznost i dinamička svojstva pogona. Samim razvojem uređaja energetske elektronike postalo je moguće mijenjati brzinu vrtnje asinkronog motora promjenom frekvencije izvora, a to daje mogućnost promjene brzine vrtnje u širokom opsegu. Promjena frekvencije direktno utječe na promjenu magnetnog toka prema jednadžbi [5]:

$$\Phi = \mathrm{k}_1 \times \frac{U_1}{f_1} \tag{3-4}$$

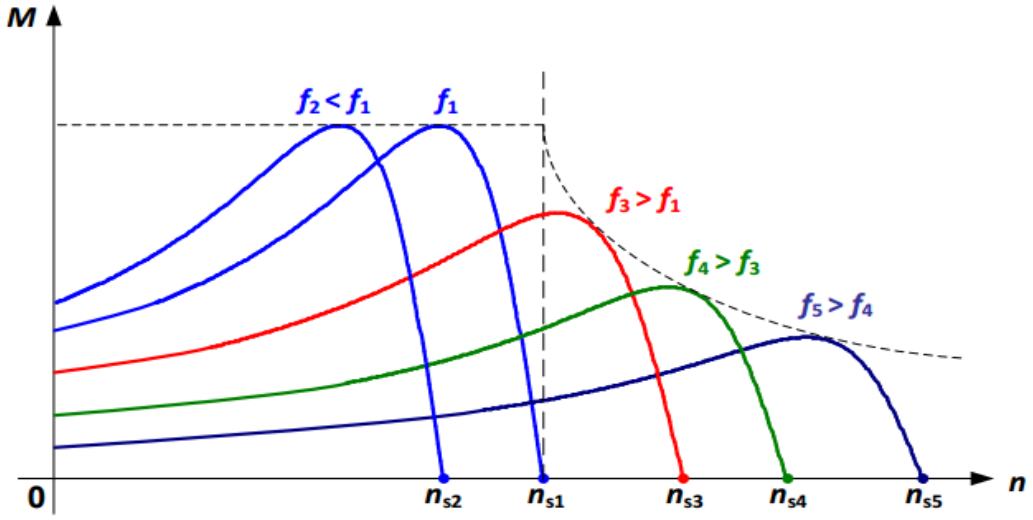
Prema jednadžbi (3-4) U_1 predstavlja narinuti napon, f_1 frekvenciju, Φ magnetski tok, a k_1 je konstrukcijska konstanta motora [5].

Da bi se moment motora održao konstantnim, zajedno sa naponom potrebno je mijenjati i frekvenciju, čije smanjenje utječe na povećanja momenta te time balansira utjecaj napona na moment (Sl. 3.6.).



Sl. 3.6. Regulacija brzine vrtnje istovremenom promjenom napona i frekvencije [5]

Kada se napon napajanja drži konstantnim, a frekvencija se mijenja, tada se povećanjem frekvencije povećava i brzina vrtnje, odnosno kada smanjujemo frekvenciju smanjuje se i brzina vrtnje (Sl. 3.7.).



Sl. 3.7. Regulacija brzine vrtnje promjenom frekvencije uz konstantan napon [5]

3.3.2. Vektorska regulacija brzine vrtnje

Pored jednostavnije i manje precizne skalarne regulacije, razvijenija je i više se koristi vektorska regulacija izmjeničnih elektromotornih pogona. Temelj vektorske regulacije je matematički model motora koji obuhvaća statička i dinamička stanja električkih, magnetskih i mehaničkih pojava u motoru. Svi sustavi vektorskog upravljanja zahtjevaju točno poznavanje

nekih ili čak svih parametara motora. Koje parametre motora je potrebno poznavati ovisi o konkretnom sustavu vektorskog upravljanja. Omski otpori statora i rotora se mijenjaju pod utjecajem temperature namota motora. Rasipni induktiviteti statora, rotora i međuinduktivitet su oni parametri koji su ovisni o magnetskom zasićenju u željezu i o frekvenciji napona napajanja. Vektorskom regulacijom se povećava preciznost i dinamička svojstva reguliranog pogona.

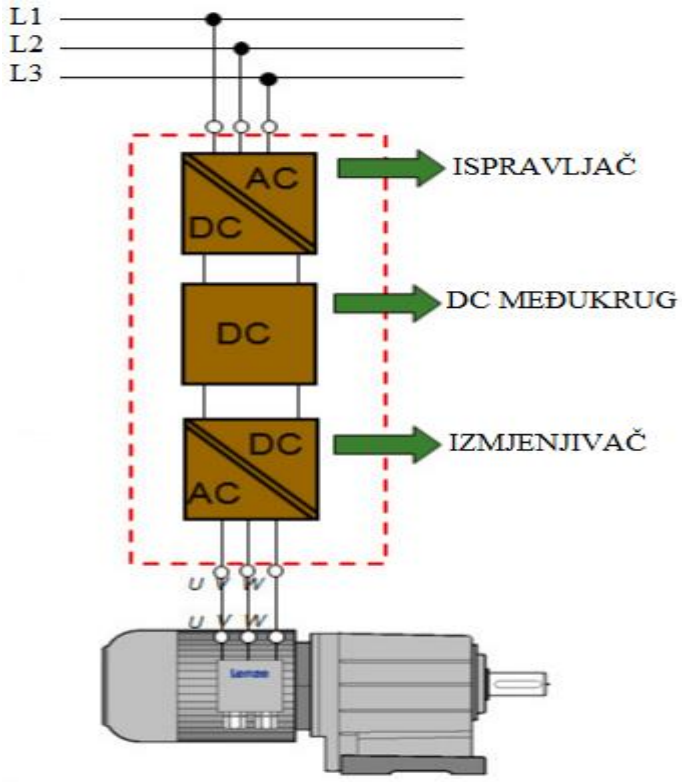
Tijekom vremena razvili su se različiti sustavi vektorskog upravljanja asinkronim motorima. Zajedničko za sve njih je utemeljenost na raspregnutom dvoosnom upravljanju, pri čemu je referentna veličina u jednoj osi odgovorna za brzinu vrtnje ili moment, a u drugoj osi za magnetiziranje stroja.

Vektorski upravljani asinkroni motor podrazumijeva postojanje regulacije elektromagnetskog momenta, brzine vrtnje rotora ili pozicije. Najveću osjetljivost na promjene parametara motora ima sustav vektorskog upravljanja koji se zasniva na direktnoj regulaciji momenta [10].

4. FREKVENCIJSKI PRETVARAČ DANFOSS FC-302

Prema jednadžbi (3-3) brzina vrtnje asinkronog motora ovisi o frekvenciji napona napajanja. Ako imamo konstantnu brzinu vrtnje onda imamo i konstantnu brzinu vrtnje samog motora. U praksi je u mnogo slučajeva potrebna promjenjiva brzina vrtnje, a podešavanje obavljamo pomoću frekvencijskog pretvarača [11].

Frekvencijski pretvarač Danfoss FC-302 sastoji se od ispravljača koji se nalazi na mrežnoj strani, od istosmjernog (DC) međukruga te od izmjenjivača koji se nalazi na motorskoj strani. (Sl. 4.1.)



Sl. 4.1. Građa frekvencijskog pretvarača [11]

Ispravljač je diodni, neupravljivi, šest pulsni u trofaznom mosnom spoju. S obzirom da se istosmjerni međukrug sastoji od kondenzatora, zavojnice i prigušnice, ispravljeni napon mreže se filtrira u istosmjernom krugu pomoću kondenzatora te se dovodi na izmjenjivač, dok prigušnica prigušuje struje viših harmonika. Izmjenjivač se sastoji od šest IGBT-a s povratnim diodama te je to najosjetljiviji dio energetskog pretvarača [12].

Pretvaračke funkcije programiraju se pomoću parametara. Parametrima se pristupa pritiskom na Quick Manu ili na Main Manu, a također parametrima se može pristupiti i putem

računala uz pomoć programskog paketa MCT 10. Quick Manu je namjenjen za pristup tvornički zadanim parametrima te za početno brzo pokretanje motora, dok Main Manu ima pristup svim parametrima te on omogućava napredne primjene pretvarača [11,12].

4.1. Načini upravljanja frekvencijskim pretvaračem Danfoss FC-302

Postoji više načina upravljanja frekvencijskim pretvaračem Danfoss FC-302, a neki od njih su sljedeći:

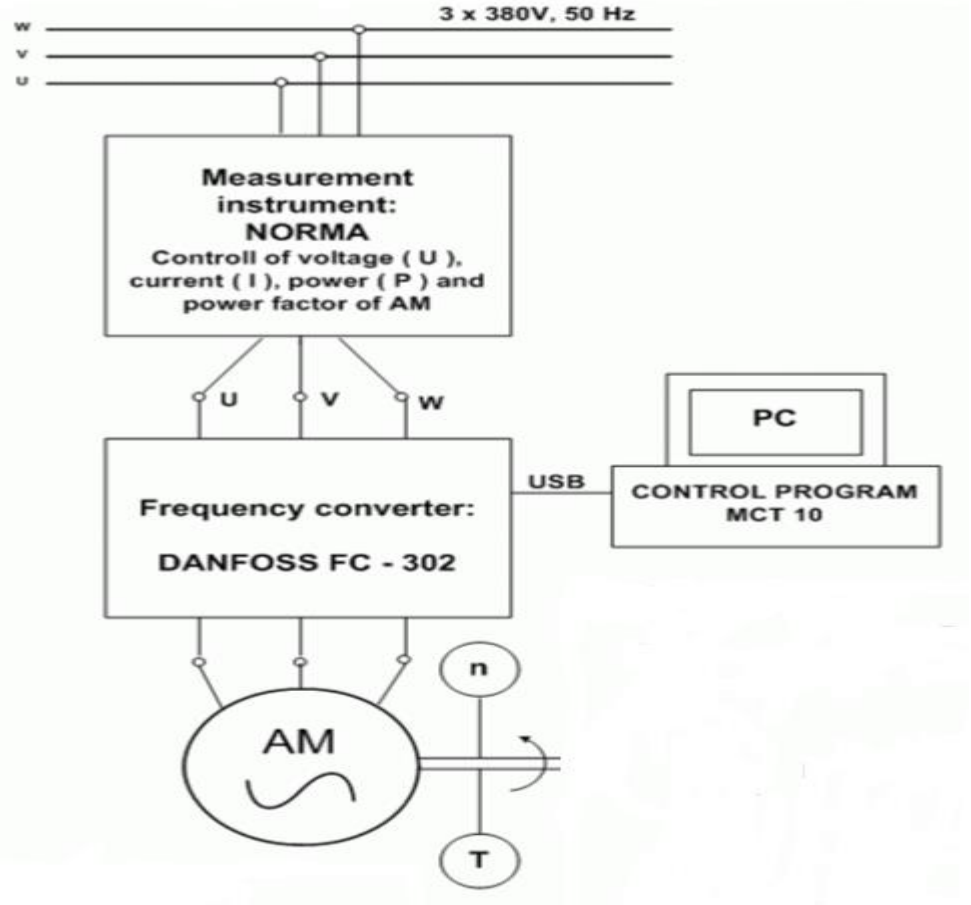
- skalarno upravljanje (U/f) – daleko najpopularnija metoda kontrole brzine zbog svoje jednostavnosti. Tipovi motora sa ovakvim načinom upravljanja imaju široku primjenu u industriji. Da bi magnetski tok ostao konstantan, napon mora biti proporcionalan frekvenciji, a to uzrokuje maksimalan moment motora koji ostaje konstantan i ovisi o opskrbi frekvencije.
- VVC plus – služi za otvaranje petlje bez povratne veze na senzor. Ovaj način poboljšava dinamiku i stabilnost i to kada je brzina upućena na promjenu i povezana sa opterećenjem momenta. Ovaj način se prilagođava opterećenju motora i promjeni brzine i momenta u manje od 3 ms. Moment motora može ostati konstantan bez obzira na promjenu brzine.
- FVC – ovaj način se također koristi za otvaranje petlje bez povratne veze na senzor. U ovom slučaju procjena povratne veze brzine je generirana do PID regulatora za kontrolu izlazne frekvencije. PID regulator mora biti postavljen sa P, I i D parametrima. Ovaj princip kontrole može biti korišten u zatvorenim petljama ako je signal brzine dostupan. FVC način upravljanja se koristi za visoko zahtjevne motore [13].

5. MJERENJE I ANALIZA STRUJE POKRETANJA ASINKRONOG MOTORA NAPAJANOG POMOĆU FREKVENCIJSKOG PRETVARAČA

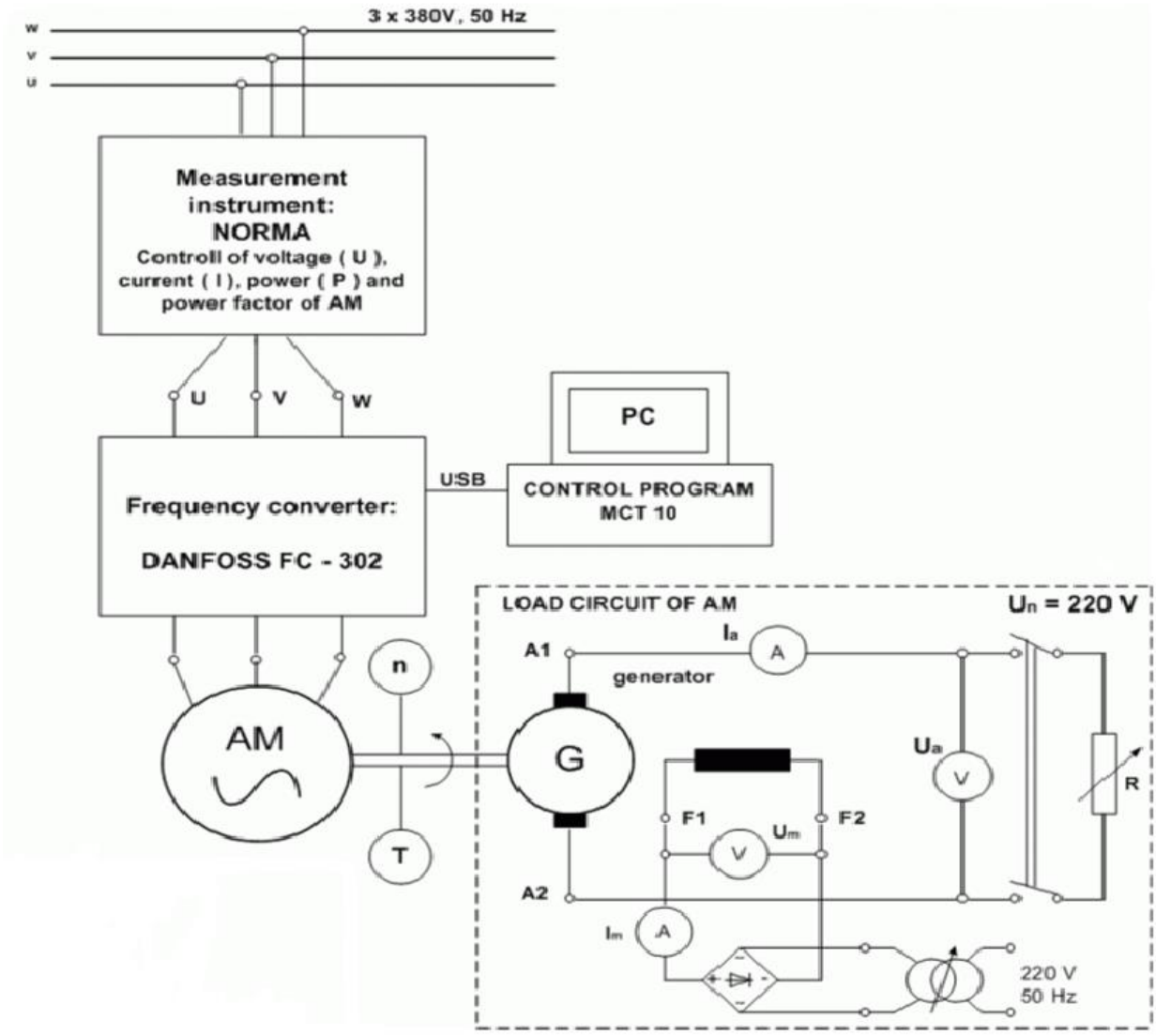
5.1 Zadatak

Potrebno je izmjeriti struju pokretanja laboratorijskog asinkronog motora snage 4 kW napajanog pomoću frekvencijskog pretvarača Danfoss FC-302. Za snimanje struje pokretanja potrebno je koristiti računalni program MCT 10 koji je sastavni dio pretvarača Danfoss FC-302 te on služi za podešavanje postavki pretvarača i mjerenje različitih veličina. Mjerenje je potrebno izvršiti u različitim vremenima zaleta asinkronog motora u praznom hodu te pri opterećenju u VVC plus načinu upravljanja frekvencijskog pretvarača. Potrebno je snimiti struju, moment, brzinu vrtnje, frekvenciju, električnu snagu i napon pri pokretanju u različitim vremenima zaleta. Dobivene rezultate je potrebno analizirati i objasniti.

5.2 Shema spoja i tehnički podaci



Sl. 5.1. Shema spoja za snimanje karakteristika upravljanja asinkronim motorima u praznom hodu [12]



Sl. 5.2. Shema spoja za snimanje karakteristika upravljanja asinkronim motorom sa teretom [12]

Tab. 5.1. Tehnički podaci frekvencijskog pretvarača Danfoss FC-302

Parametri	**Informacije o frekvencijskom pretvaraču**	**Informacije o bazi podataka**
Tip serije uređaja	FC - 302	FC – 302
Snaga uređaja	5,5 kW	5,5 kW
Osnovna SW verzija	380 V – 500 V	380 V – 500 V
Opcija A	-	-
Opcija B	-	-
Opcija C0	04,32 MCO 305	MCO 305
Opcija C1	-	-

Tab. 5.2. Tehnički podaci asinkronog motora

Končar		
Code 27666	N° 528011	
Tip	5AZ142M-4B3	
Snaga	4 kW	1420 okr/min
Trokut	380V	8,7A
Zvijezda	660V	5A
50Hz	0,82 cosφ	3~
Made in Croatia		

5.3. Provođenje mjerenja

Na frekvencijskom pretvaraču odabiremo VVC plus način upravljanja i to na sljedeći način:

Tab. 5.3. Odabir načina upravljanja

Redni broj radnje	Broj parametra	Značenje parametra
1-**	1	Load and motor
1-*	1-0	General settings
	1-01	Motor control principle
	1-010	U/f
	1-011	VVC +
	1-012	Flux sensorless
	1-013	Flux w/motor

Na frekvencijskom pretvaraču vrijeme zaleta postavljamo na sljedeći način:

Tab. 5.4. Postavljanje vremena zaleta

Redni broj radnje	Broj parametra	Značenje parametra
3-**	3	Refference/Ramps
3-4*	3-4	Ramp 1
	3-40	Ramp 1 Type
	3-400	Linear
	3-41	Ramp up Time

Napredne parametre asinkronog motora isčitavamo na sljedeći način:

Tab. 5.5. Isčitavanje naprednih parametara

Redni broj postupka	**Broj parametra**	**Značenje parametra**	**Vrijednost**
1-**	1	Load and motor	-
1-3*	1-3	Advanced motor data	-
	1-30	Otpor statora	1,3247 Ω
	1-31	Otpor rotora	1,0213 Ω
	1-32	Rasipna reaktancija statora	1,9224 Ω
	1-33	Rasipna reaktancija rotora	1,9224 Ω
	1-34	Glavna reaktancija	45,3040 Ω
	1-35	Gubici u željezu	1069,666 Ω

Mjerenje radimo za dva slučaja:

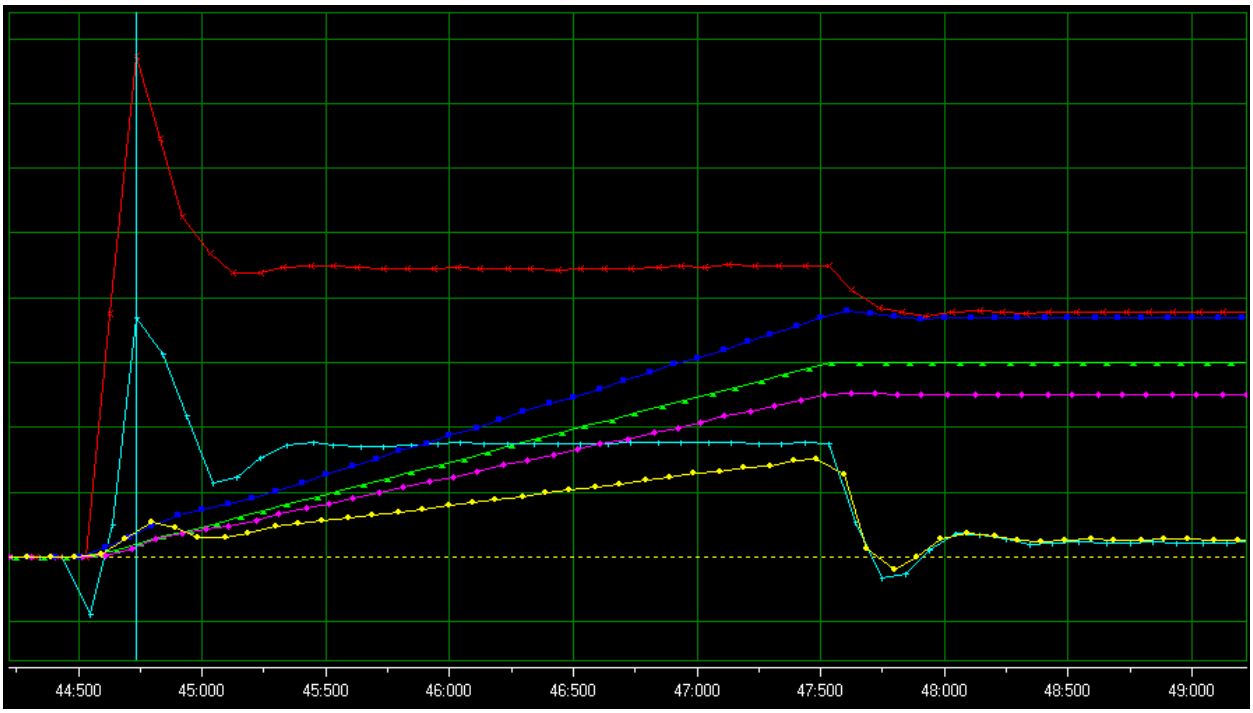
- kada je zalet asinkronog motora u praznom hodu,
- kada je zalet asinkronog motora sa opterećenjem.

5.3.1. Zalet asinkronog motora u praznom hodu

U tablici 5.6. prikazane su veličine koje određujemo u mjerenju s pripadajućom bojom te s vrijednostima po kvadratu koje vrijede za zalet asinkronog motora u praznom hodu za 3, 5, 7, 10 i 15 sekundi.

Tab. 5.6. Iznos mjerenih veličina po kvadratu

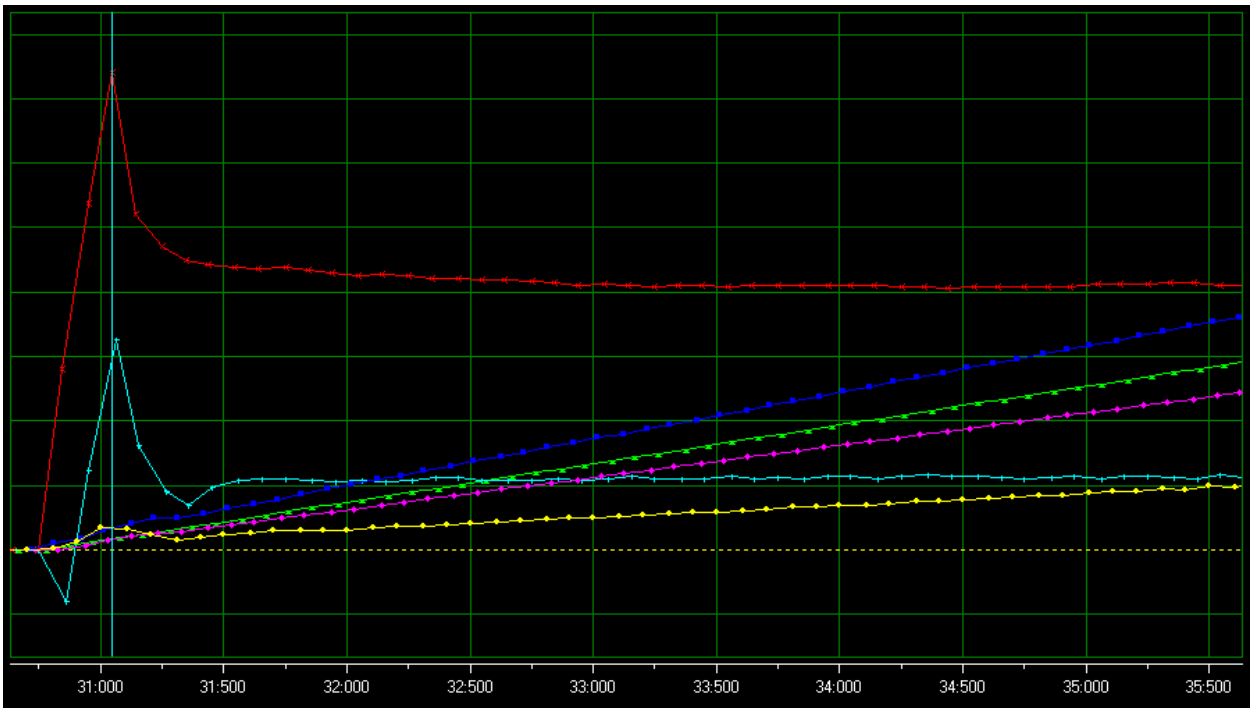
Br.	Boja	Ime	Vrijednost po kvadratu
1.		Snaga [kW]	1
2.		Napon [V]	100
3.		Frekvencija [Hz]	20
4.		Struja [A]	1
5.		Moment [Nm]	5
6.		Brzina vrtnje [okr/min]	500



Sl. 5.5. Zalet za 3 sekunde u praznom hodu

	Snaga [kW]	0,38
	Napon [V]	35,14
	Frekvencija [Hz]	3,09
	Struja [A]	7,72
	Moment [Nm]	18,50
	Brzina vrtnje [okr/min]	99,18

U prvom mjerenju pri praznom hodu asinkronog motora na frekvencijskom pretvaraču postavljeno je vrijeme zaleta od tri sekunde. Referentna vrijednost brzine vrtnje je postavljena na 1500 okr/min. Prema slici 5.5. vidimo da nakon nekoliko trenutaka od pokretanja motora struja postiže maksimalnu vrijednost u iznosu od 7,72 A, nakon toga struja naglo pada te se takva zadržava konstantnom, dok se motor u potpunosti ne zaleti. Kada se motor zaletio, struja koja se povlači iz mreže se još spustila te onda nastavila sa konstantnom vrijednošću. Napon, brzina vrtnje i frekvencija rastu linearno s vremenom zaleta te nakon zaleta motora nastavljaju s konstantnom vrijednošću. S obzirom da je snaga jednaka umnožku struje i napona, pri pokretanju motora snaga raste dok raste struja, kada struja dosegne svoj maksimum snaga pada te onda konstantno raste uz porast napona. Moment je u trenutku pokretanja motora negativnog predznaka, a nakon toga doseže maksimalnu vrijednost od 18,50 Nm.

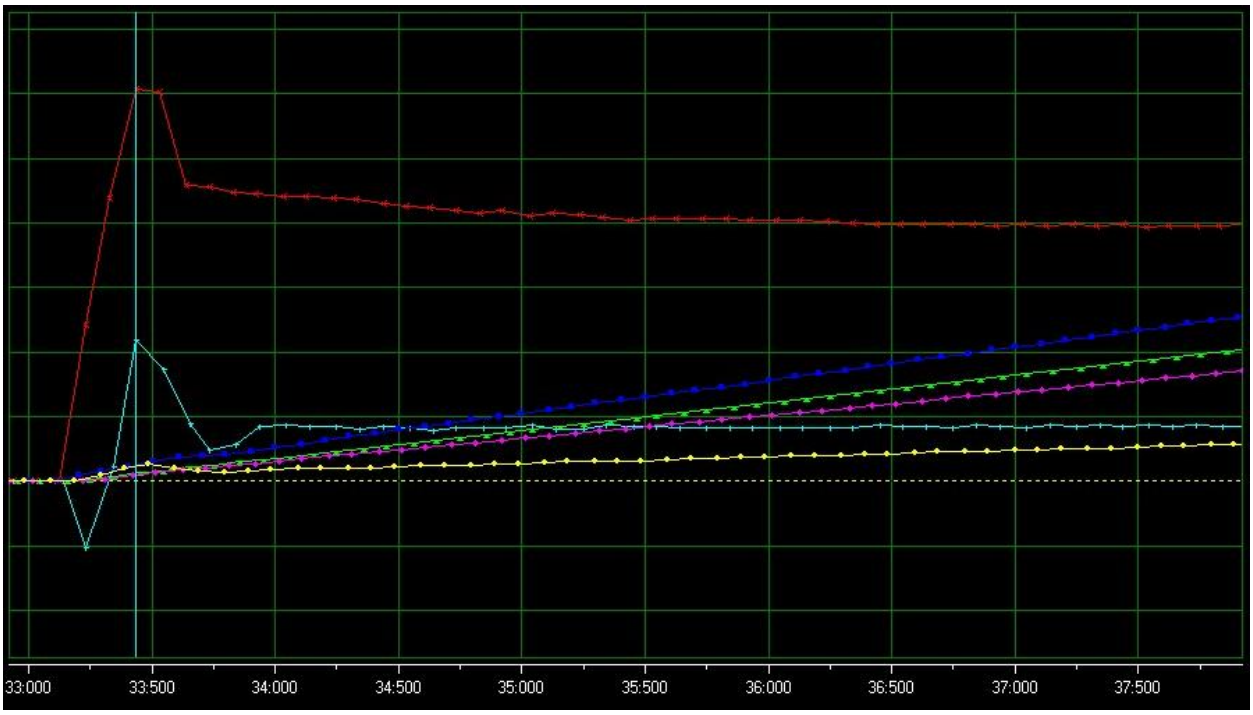


Sl. 5.6. Zalet za 5 sekundi u praznom hodu

	Snaga [kW]	0,34
	Napon [V]	33,44
	Frekvencija [Hz]	3,19
	Struja [A]	7,40
	Moment [Nm]	14,79
	Brzina vrtnje [okr/min]	82,00

U drugom mjerenju pri praznom hodu asinkronog motora na frekvencijskom pretvaraču postavljeno je vrijeme zaleta od pet sekundi. Referentna vrijednost brzine vrtnje je postavljena na 1500 okr/min. Prema slici 5.6. vidimo da nakon nekoliko trenutaka od pokretanja motora struja postiže maksimalnu vrijednost u iznosu od 7,40 A, nakon toga struja naglo pada te se takva zadržava konstantnom, dok se motor u potpunosti ne zaleti. Kada se motor zaletio, struja koja se povlači iz mreže se još spustila te onda nastavila sa konstantnom vrijednošću. Napon, brzina vrtnje i frekvencija pokretanjem asinkronog motora rastu linearno s vremenom zaleta te nakon što se postigne zalet, motora nastavljaju s konstantnom vrijednošću. S obzirom da je snaga jednaka umnožku struje i napona, pri pokretanju motora snaga raste dok raste struja, kada struja

dosegne svoj maksimum snaga pada te onda konstantno raste uz porast napona. Moment je u trenutku pokretanja motora negativnog predznaka, a nakon toga doseže maksimalnu vrijednost od 14,79 Nm.

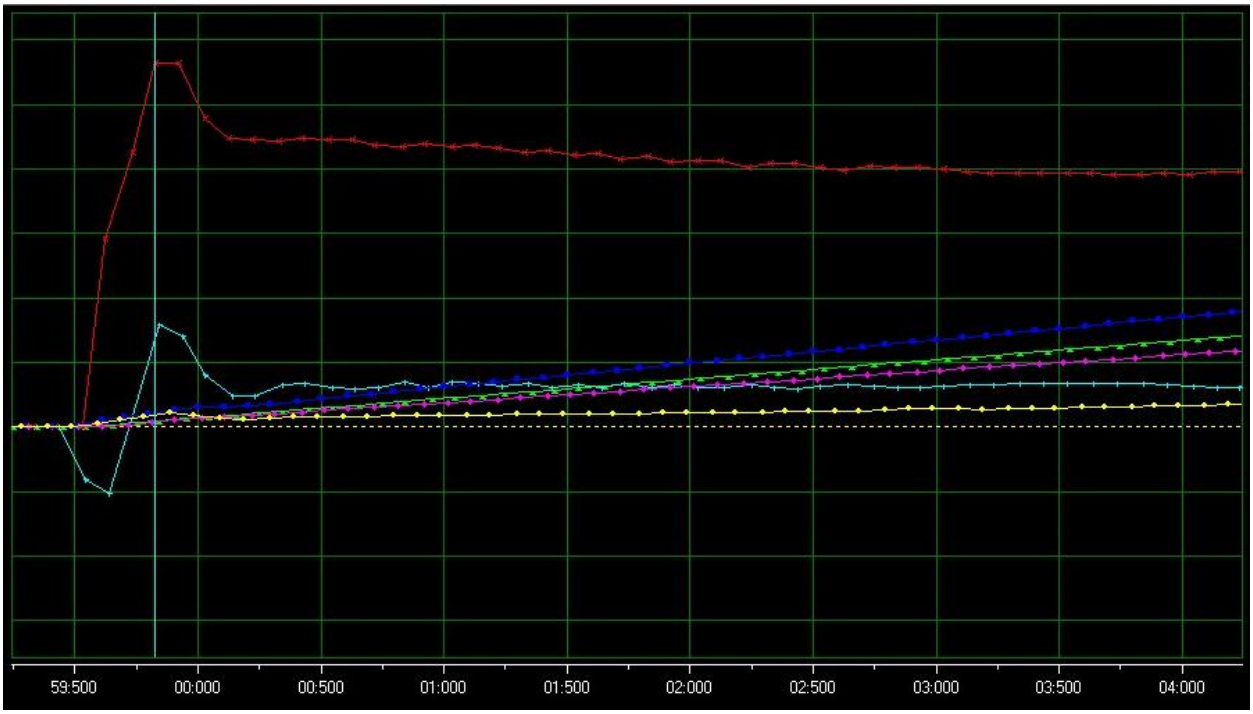


Sl. 5.7. Zalet za 7 sekundi u praznom hodu

	Snaga [kW]	0,24
	Napon [V]	25,20
	Frekvencija [Hz]	1,94
	Struja [A]	6,07
	Moment [Nm]	10,90
	Brzina vrtnje [okr/min]	59,37

U trećem mjerenju pri praznom hodu asinkronog motora na frekvencijskom pretvaraču postavljeno je vrijeme zaleta od sedam sekundi. Referentna vrijednost brzine vrtnje je postavljena na 1500 okr/min. Prema slici 5.7. vidimo da nakon nekoliko trenutaka od pokretanja motora struja postiže maksimalnu vrijednost u iznosu od 6,07 A, nakon toga struja naglo pada te

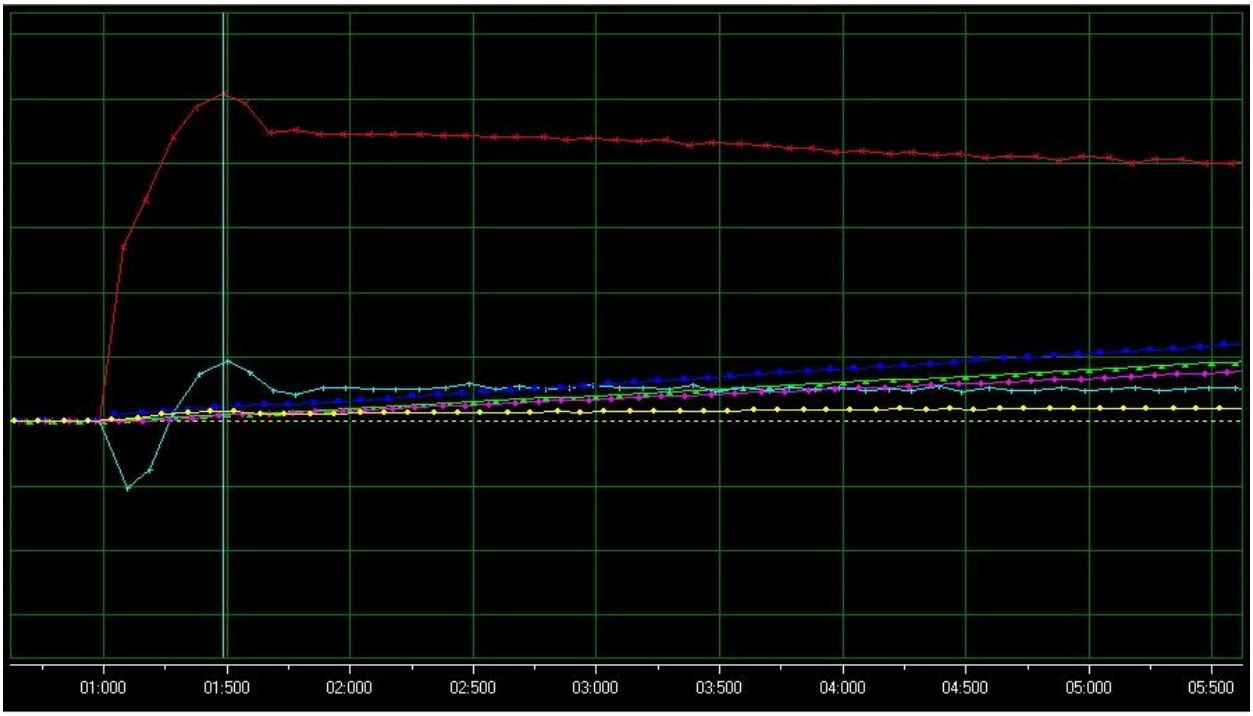
se takva zadržava konstantnom, dok se motor u potpunosti ne zaleti. Kada se motor zaletio, struja koja se povlači iz mreže se još spustila te onda nastavila sa konstantnom vrijednošću. Napon, brzina vrtnje i frekvencija rastu linearno s vremenom zaleta te nakon zaleta motora nastavljaju s konstantnom vrijednošću. S obzirom da je snaga jednaka umnožku struje i napona, pri pokretanju motora snaga raste dok raste struja, kada struja dosegne svoj maksimum snaga pada te onda konstantno raste uz porast napona. Moment je u trenutku pokretanja motora negativnog predznaka, a nakon toga doseže maksimalnu vrijednost od 10,90 Nm.



Sl. 5.8. Zalet za 10 sekundi u praznom hodu

	Snaga [kW]	0,19
	Napon [V]	21,93
	Frekvencija [Hz]	1,50
	Struja [A]	5,64
	Moment [Nm]	6,79
	Brzina vrtnje [okr/min]	46,19

U četvrtom mjerenju pri praznom hodu asinkronog motora na frekvencijskom pretvaraču postavljeno je vrijeme zaleta od deset sekundi. Referentna vrijednost brzine vrtnje je postavljena na 1500 okr/min. Prema slici 5.8. vidimo da nakon nekoliko trenutaka od pokretanja motora struja postiže maksimalnu vrijednost u iznosu od 5,64 A, nakon toga struja naglo pada te se takva zadržava konstantnom, dok se motor u potpunosti ne zaleti. Kada se motor zaletio, struja koja se povlači iz mreže se još spustila te onda nastavila sa konstantnom vrijednošću. Napon, brzina vrtnje i frekvencija rastu linearno s vremenom zaleta te nakon zaleta motora nastavljaju s konstantnom vrijednošću. S obzirom da je snaga jednaka umnožku struje i napona, pri pokretanju motora snaga raste dok raste struja, kada struja dosegne svoj maksimum snaga pada te onda konstantno raste uz porast napona. Moment je u trenutku pokretanja motora negativnog predznaka, a nakon toga doseže maksimalnu vrijednost od 6,79 Nm.



Sl. 5.9. Zalet za 15 sekundi u praznom hodu

	Snaga [kW]	0,15
	Napon [V]	22,38
	Frekvencija [Hz]	1,85
	Struja [A]	5,08
	Moment [Nm]	4,55
	Brzina vrtnje [okr/min]	50,06

U petom i posljednjem mjerenju u praznom hodu asinkronog motora na frekvencijskom pretvaraču postavljeno je vrijeme zaleta od petnaest sekundi. Referentna vrijednost brzine vrtnje je postavljena na 1500 okr/min. Prema slici 5.9. vidimo da nakon nekoliko trenutaka od pokretanja motora struja postiže maksimalnu vrijednost u iznosu od 5,08 A, nakon toga struja naglo pada te se takva zadržava konstantnom, dok se motor u potpunosti ne zaleti. Kada se motor zaletio, struja koja se povlači iz mreže se još spustila te onda nastavila sa konstantnom vrijednošću. Napon, brzina vrtnje i frekvencija rastu linearno s vremenom zaleta te nakon zaleta motora nastavljaju s konstantnom vrijednošću. S obzirom da je snaga jednaka umnožku struje i napona, pri pokretanju motora snaga raste dok raste struja, kada struja dosegne svoj maksimum snaga pada te onda konstantno raste uz porast napona. Moment je u trenutku pokretanja motora negativnog predznaka, a nakon toga doseže maksimalnu vrijednost od 4,55 Nm.

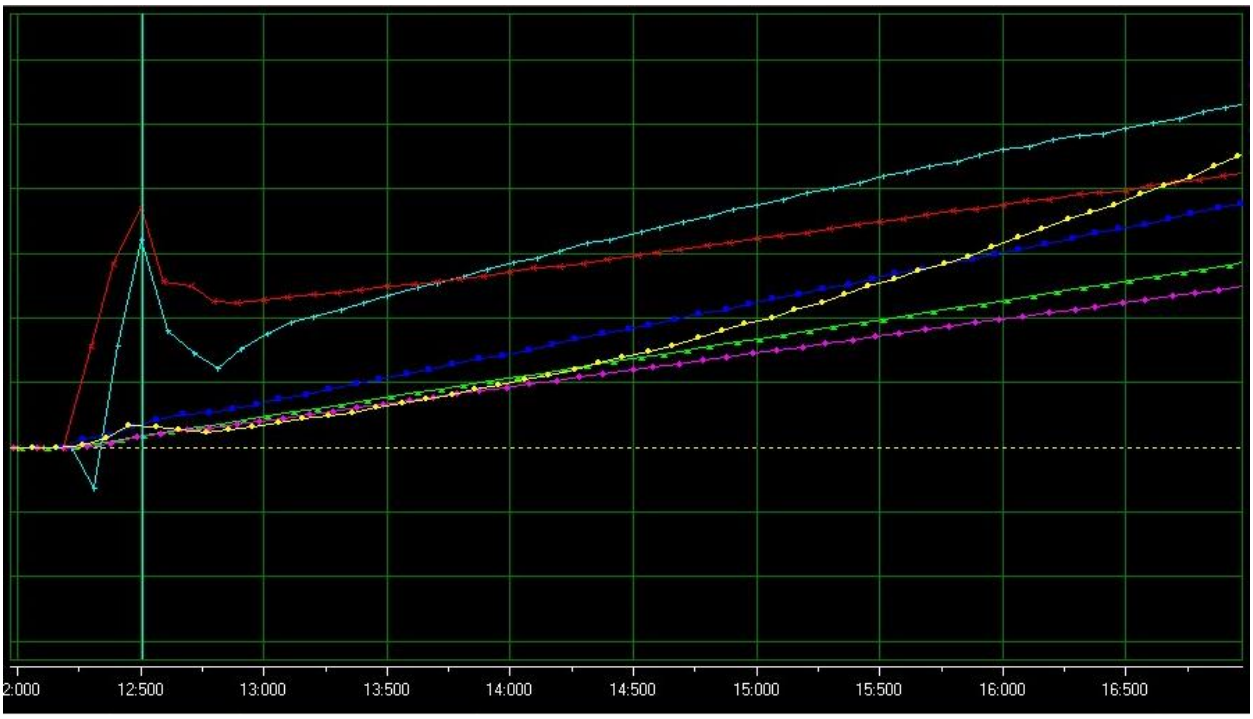
5.3.2. Zalet asinkronog motora sa opterećenjem

Pri pokretanju asinkronog motora s opterećenjem postavljena vrijednost struje je 18 A (I=18A), a postavljena vrijednost napona je 180 V (U=180V). Kada se motor zaleti, maksimalna snaga koju može postići jednaka je umnožku napona i struje te ona iznosi 3240 W.

U tablici 5.7. prikazane su veličine koje određujemo u mjerenju sa pripadajućom bojom te sa vrijednostima po kvadratu koje vrijede za zalet asinkronog motora pod opterećenjem za 5, 7, 10 i 12 sekundi.

Tab. 5.7. Iznos mjerenih veličina po kvadratu

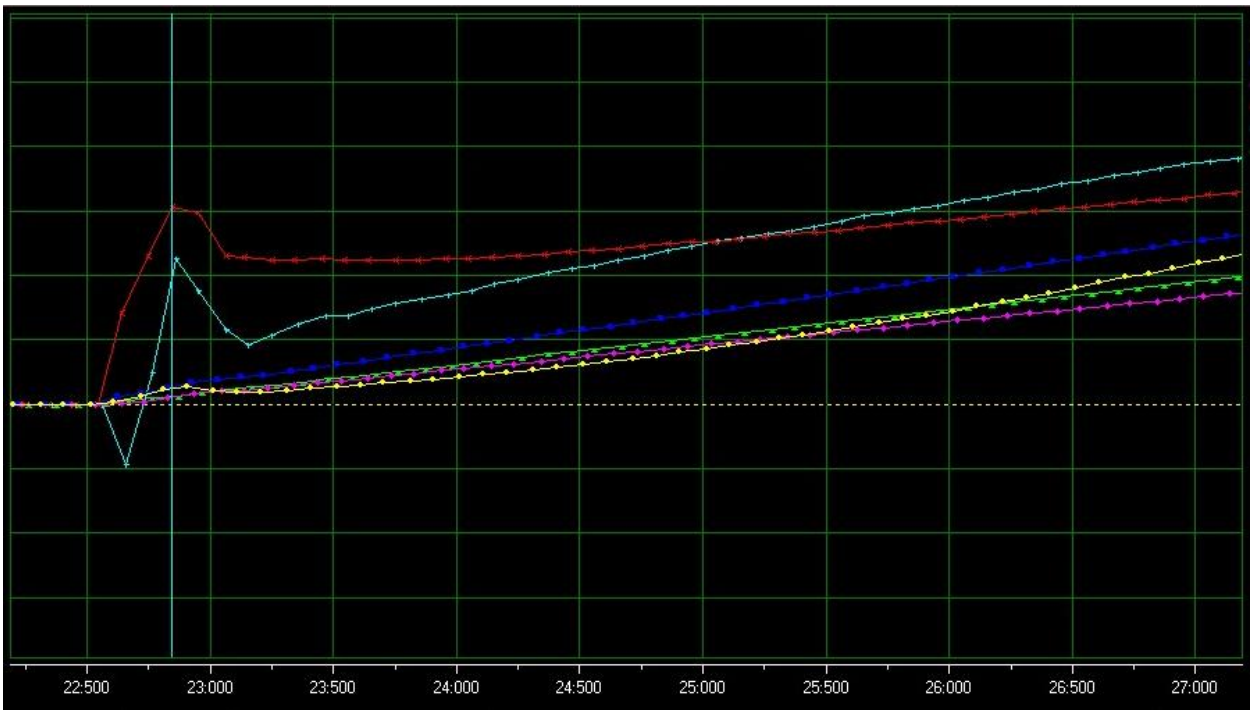
Br.	Boja	Ime	Vrijednost po kvadratu
1.		Snaga [kW]	1
2.		Napon [V]	100
3.		Frekvencija [Hz]	20
4.		Struja [A]	2
5.		Moment [Nm]	5
6.		Brzina vrtnje [okr/min]	500



Sl. 5.10. Zalet za 5 sekundi pod teretom

	Snaga [kW]	0,33
	Napon [V]	36,19
	Frekvencija [Hz]	3,46
	Struja [A]	7,26
	Moment [Nm]	15,73
	Brzina vrtnje [okr/min]	90,13

U prvom mjerenju s opterećenjem asinkronog motora na frekvencijskom pretvaraču postavljeno je vrijeme zaleta od pet sekundi. Prema slici 5.10. vidimo da nakon nekoliko trenutaka od pokretanja motora struja postiže vrijednost u iznosu od 7,26 A, nakon toga struja naglo pada te se zatim linearno povećava s trajanjem vremena zaleta. Kada se motor zaletio, struja koja se povlači iz mreže je dosegla svoju maksimalnu vrijednost te se tada vrijednost iste spušta i nastavlja s konstantnom vrijednosti u radu. Napon, brzina vrtnje i frekvencija rastu linearno s vremenom zaleta te u trenutku postignutog zaleta oni postižu maksimalne vrijednosti, a nakon toga nastavljaju s konstantnom vrijednošću. Kao i ostali elementi i snaga dostiže svoju maksimalnu vrijednost u trenutku postignutog zaleta. Moment je u trenutku pokretanja motora negativnog predznaka, a nakon toga doseže vrijednost od 15,73 Nm, nakon toga naglo pada i zatim raste te maskimalnu vrijednost doseže u trenutku postignutog zaleta. U tom trenutku postignutog zaleta koji je kao što je i postavljano trajao pet sekundi frekvencija f je iznosila 52,2 Hz, napon U je iznosio 394 V, snaga P je iznosila 4,05 kW, dok je brzina vrtnje 1522 okr/min. Masa je iznosila 4,66 kg. Umnožkom mase i koeficijenta koji iznosi 4,679 dobije se moment koji stoga iznosi 21,80 Nm.

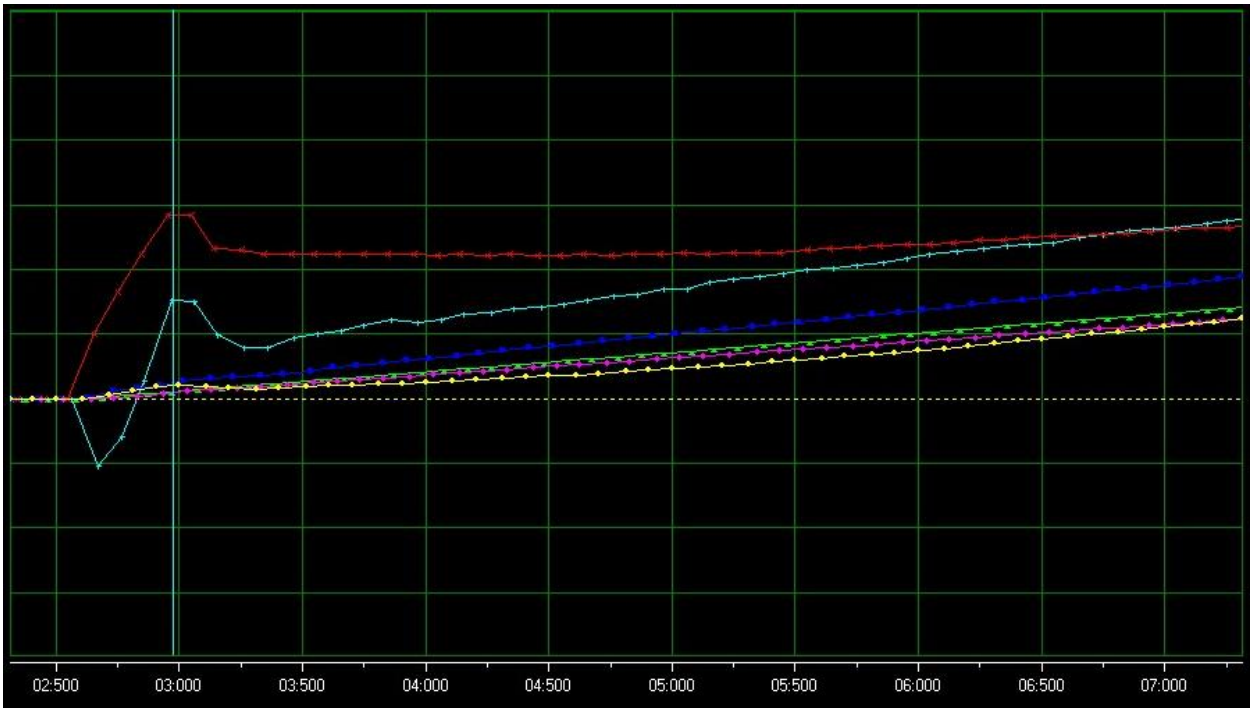


Sl. 5.11. Zalet za 7 sekundi pod teretom

	Snaga [kW]	0,25
	Napon [V]	25,85
	Frekvencija [Hz]	2,21
	Struja [A]	6,12
	Moment [Nm]	9,73
	Brzina vrtnje [okr/min]	60,74

U drugom mjerenju s opterećenjem asinkronog motora na frekvencijskom pretvaraču postavljeno je vrijeme zaleta od sedam sekundi. Prema slici 5.11. vidimo da nakon nekoliko trenutaka od pokretanja motora struja postiže vrijednost u iznosu od 6,12 A, nakon toga struja naglo pada te se zatim linearno povećava s trajanjem vremena zaleta. Kada se motor zaletio, struja koja se povlači iz mreže je dosegla svoju maksimalnu vrijednost te se tada vrijednost iste spušta i nastavlja s konstantnom vrijednosti u radu. Napon, brzina vrtnje i frekvencija rastu linearno s vremenom zaleta te u trenutku postignutog zaleta oni postižu maksimalne vrijednosti, a nakon toga nastavljaju s konstantnom vrijednošću. Kao i ostali elementi i snaga dostiže svoju

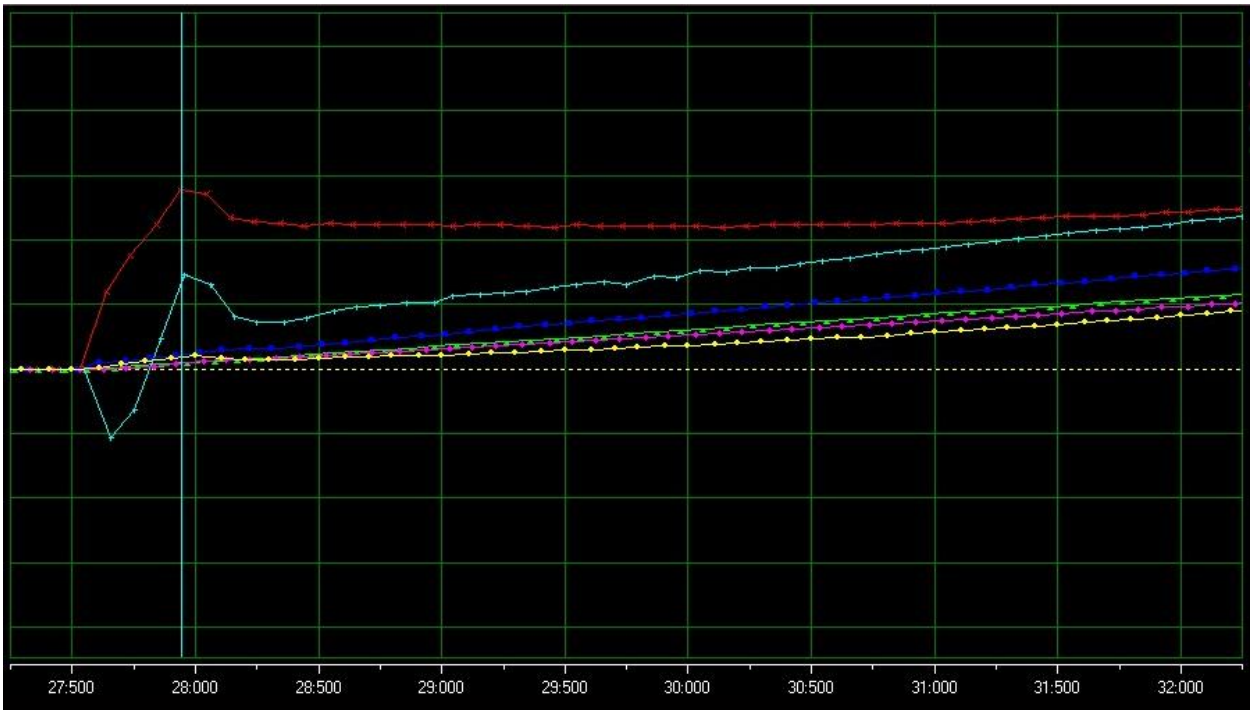
maksimalnu vrijednost u trenutku postignutog zaleta. Moment je u trenutku pokretanja motora negativnog predznaka, a nakon toga doseže vrijednost od 9,73 Nm te nakon toga naglo pada i zatim raste i maskimalnu vrijednost doseže u trenutku postignutog zaleta. U tom trenutku postignutog zaleta koji je kao što je i postavljano trajao sedam sekundi frekvencija f je iznosila 52,2 Hz, napon U je iznosio 393 V, snaga P je iznosila 3,94 kW, dok je brzina vrtnje 1521 okr/min. Masa je iznosila 4,52 kg. Umnožkom mase i koeficijenta koji iznosi 4,679 dobije se moment koji stoga iznosi 21,15 Nm.



Sl. 5.12. Zalet za 10 sekundi pod teretom

	Snaga [kW]	0,21
	Napon [V]	24,89
	Frekvencija [Hz]	1,97
	Struja [A]	5,68
	Moment [Nm]	7,59
	Brzina vrtnje [okr/min]	55,79

U trećem mjerenju s opterećenjem asinkronog motora na frekvencijskom pretvaraču postavljeno je vrijeme zaleta od deset sekundi. Prema slici 5.12. vidimo da nakon nekoliko trenutaka od pokretanja motora struja postiže vrijednost u iznosu od 5,68 A, nakon toga struja naglo pada te se zatim linearno povećava s trajanjem vremena zaleta. Kada se motor zaletio, struja koja se povlači iz mreže je dosegla svoju maksimalnu vrijednost te se tada vrijednost iste spušta i nastavlja s konstantnom vrijednosti u radu. Napon, brzina vrtnje i frekvencija rastu linearno s vremenom zaleta te u trenutku postignutog zaleta oni postižu maksimalne vrijednosti, a nakon toga nastavljaju s konstantnom vrijednošću. Kao i ostali elementi i snaga dostiže svoju maksimalnu vrijednost u trenutku postignutog zaleta. Moment je u trenutku pokretanja motora negativnog predznaka, a nakon toga doseže vrijednost od 7,59 Nm te nakon toga naglo pada i zatim raste i maskimalnu vrijednost doseže u trenutku postignutog zaleta. U tom trenutku postignutog zaleta koji je kao što je i postavljano trajao deset sekundi frekvencija f je iznosila 52,2 Hz, napon U je iznosio 393 V, snaga P je iznosila 3,9 kW, dok je brzina vrtnje 1521 okr/min. Masa je iznosila 4,46 kg. Umnožkom mase i koeficijenta koji iznosi 4,679 dobije se moment koji stoga iznosi 20,87 Nm.



Sl. 5.13. Zalet za 12 sekundi pod teretom

	Snaga [kW]	0,18
	Napon [V]	22,15
	Frekvencija [Hz]	1,58
	Struja [A]	5,54
	Moment [Nm]	6,71
	Brzina vrtnje [okr/min]	46,47

U četvrtom mjerenju s opterećenjem asinkronog motora na frekvencijskom pretvaraču postavljeno je vrijeme zaleta od dvanaest sekunde. Prema slici 5.13. vidimo da nakon nekoliko trenutaka od pokretanja motora struja postiže vrijednost u iznosu od 5,54 A, nakon toga struja naglo pada te se zatim linearno povećava s trajanjem vremena zaleta. Kada se motor zaletio, struja koja se povlači iz mreže je dosegla svoju maksimalnu vrijednost te se tada vrijednost iste spušta i nastavlja s konstantnom vrijednosti u radu. Napon, brzina vrtnje i frekvencija rastu linearno s vremenom zaleta te u trenutku postignutog zaleta oni postižu maksimalne vrijednosti, a nakon toga nastavljaju s konstantnom vrijednošću. Kao i ostali elementi i snaga dostiže svoju maksimalnu vrijednost u trenutku postignutog zaleta. Moment je u trenutku pokretanja motora negativnog predznaka, a nakon toga doseže vrijednost od 6,71 Nm te nakon toga naglo pada i zatim raste i maskimalnu vrijednost doseže u trenutku postignutog zaleta. U tom trenutku postignutog zaleta koji je kao što je i postavljano trajao dvanaest sekundi frekvencija f je iznosila 52,1 Hz, napon U je iznosio 392 V, snaga P je iznosila 3,85 kW, dok je brzina vrtnje 1521 okr/min. Masa je iznosila 4,42 kg. Umnožkom mase i koeficijenta koji iznosi 4,679 dobije se moment koji stoga iznosi 20,68 Nm.

6. ZAKLJUČAK

Elektromotorni pogon se nalazi u dinamičkom ili promjenjivom stanju ako su tijekom vremena promatranja fizikalne veličine pogona promjenjive. U svakom pogonu nakon pokretanja motora javlja se dinamičko stanje, osim u pogonima gdje je motor nominalno opterećen, a ostale veličine vezane za elektromotorni pogon konstantne. Dinamičko stanje za elektromotorni pogon vrlo je bitno jer svaki pogon ima unaprijed određene maksimalne fizikalne veličine na kojima radi i te veličine se ne smiju prijeći, u suprotnom doći će do grijanja, oštećenja te na kraju i uništenja.

Uporabom frekvencijskih pretvarača i suvremenih metoda upravljanja poput vektorskog upravljanja, asinkronim motorima je postalo moguće upravljati u širokom razmjeru brzina te brzo i precizno kao što je slučaj kod istosmjernih motora. Upravljanje frekvencijskim pretvaračem pomoću računalnog programa je jednostavno i brzo. Najznačajnija karakteristika računalnog programa je snimanje grafova, pomoću kojih je u ovom završnom radu razmatrana struja pokretanja asinkronog motora kao i druga dinamička stanja.

U okviru završnog rada, za upravljanje frekvencijskim pretvaračem Danfoss FC-302 korišten je VVC plus način, a frekvencijski pretvarač je povezan sa računalnim programom MCT 10. U prvom dijelu mjerenja izvršen je zalet asinkronog motora u praznom hodu za 3, 5, 7, 10 i 15 sekundi. Iz provedenog mjerenja može se zaključiti da je struja pokretanja nekoliko trenutaka od samog starta dosegla svoju vršnu vrijednost te nakon toga vrijednost joj se smanjivala, te u trenutku potpunog zaleta na referentnu vrijednost brzine vrtnje ona je još pala te nastavila sa konstantnim iznosom. Što se povećavalo vrijeme zaleta, vršna vrijednost struje se smanjivala. U drugom dijelu mjerenja izvršen je zalet asinkronog motora pod opterećenjem za 5, 7, 10 i 12 sekundi. Iz provedenog mjerenja može se zaključiti da struja pokretanja doseže svoju vršnu vrijednost u trenutku potpunog zaleta koji je namješten pri postizanju snage od 3240 W. U trenutku pokretanja struja skokovito poraste i onda se konstantno povećava do vršne vrijednosti. Što se vrijeme zaleta povećavalo, skokoviti porast struje u trenutku pokretanja motora se smanjivao a i vršna vrijednost struje se smanjivala.

LITERATURA

[1] I. Mandić, V. Tomljenović, M. Pužar: Sinkroni i asinkroni električni strojevi, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, 2012.

[2] R. Wolf, Osnove električnih strojeva, Školska knjiga, Zagreb, 1995.

[3] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/EEPE_2010_2011_AM.pdf (pristupljeno 14. travnja 2016.)

[4] B. Jureković, Elektromotorni pogoni, Školska knjiga, Zagreb, 1978.

[5] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ELEAKT_P1_2012%5B1%5D.pdf (pristupljeno 19. travnja 2016.)

[6] http://www.softstarter.org/how-does-soft-start-work-959233.html (pristupljeno 2. svibnja 2016.)

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/Motor_soft_starter (pristupljeno 2. svibnja 2016.)

[8] https://www.google.hr/search?q=soft+starter&espv=2&biw=1600&bih (pristupljeno 2. svibnja 2016.)

[9] https://www.google.hr/search?q=soft+starter&espv=2&biw=1600&bih=755&source (pristupljeno 2. svibnja 2016.)

[10] https://bib.irb.hr/datoteka/236091.CIJELI_RAD1.pdf

[11] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/DANFOSS_upute.pdf (pristupljeno 3. svibnja 2016.)

[12] Ž. Špoljarić, Laboratorijske vježbe iz MiSES, 2015/2016.

[13] V. Jerković, Ž. Špoljarić, K. Miklošević, Z. Valter: Department of Electro-mechanical Engineering, Faculty od Electrical Engineering, Osijek

SAŽETAK

Glavni nedostatak asinkronih motora za njihovu široku primjenu bila je mala mogućnost podešavanja brzine vrtnje. Efikasno i sa malo gubitaka to je postalo moguće razvojem energetske elektronike. Zahvaljujući tomu, primjena asinkronih motora u širokom spektru industrijskih procesa i pogona postala je moguća.

U ovom završnom radu mjerio sam i analizirao struju pokretanja asinkronog motora pomoću frekvencijskog pretvarača Danfoss FC-302. Za komunikaciju korišten je računalni program MCT 10, koji omogućava jednostavno i efikasno podešavanje parametara pretvarača i snimanje grafova karakterističnih veličina motora. Na osnovu snimljenih grafova analizirao sam struju, napon, frekvenciju, snagu, moment i brzinu vrtnje.

Measurement and analysis starting current of induction motor feded by frequency converter

ABSTRACT

The main disadvantage od induction motors for their wide use was small posibility adjusting the speed of rotation. Efficientaly and with little loss it becomes possible with development of power electronics. Thanks to that, use of induction motors becomes possible in wide spectrum of industrial processes and sections.

In this final work I have measured and analyzed starting current of induction motors feded by frequency converter Danfoss FC-302. For communication was used computer program MCT 10, which enables simple and efficientaly setting the converter parameters and recording charts characteristics engine sizes. Using recoreded charts I analyzed current, voltage, frequency, power, torque and speed of rotation.

ŽIVOTOPIS

Matej Anđelić rođen je 20.03.1995. u Slavonskom Brodu, sa prebivalištem u Osijeku. U Velikoj Kopanici je 2009. godine, sa vrlo dobrim uspjehom, završio osnovnu školu „IvanFilipović“, te u Slavonskom Brodu, upisuje srednju Tehničku školu koju završava 2013. godine. Na stručni preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku se upisuje 2013. godine.

Aktivno se služi engleskim jezikom, računalom i informatički je pismen (MS Word, MS Excel, MS PowerPoint).

Stručnu praksu je obavljao u HEP ODS d.o.o Elektri Slavonski Brod u trajanju od 360 sati.

Nakon završetka stručnog preddiplomskog studija namjera mu je upisati razlikovnu godinu pa diplomski studij na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku te po završetku studija raditi u struci.

U Osijeku, _____ 2016.godine Matej Anđelić

_____

(potpis)

7. PRILOZI



Sl. P.1. Frekvencijski pretvarač Danfoss FC-302



Sl. P.2. Asinkroni motor