Energetska učinkovitost frekvencijskog pretvarača DANFOSS FC-302

Kraljević, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:200:233432

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

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

ENERGETSKA UČINKOVITOST FREKVENCIJSKOG PRETVARAČA FC - 302

Završni rad

Ivan Kraljević

Osijek, 2017. godina

1. UVOD 5
2. ASINKRONI MOTORI 7
2.1. Kavezni elektromotor 10
2.2. Klizno - kolutni asinkroni motor 16
3. ENERGETSKI UČINSKI PRETVARAČI 18
3.1. Energetski frekvencijski pretvarači 18
3.2. Frekvencijski pretvarač Danfoss FC - 302 19
3.3 Strukturna shema i konfiguriranje frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 20
3.4. Parametriranje i komunikacija frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 23
4. ISPITIVANJE ENERGETSKE UČINKOVITOSTI FC - 302 27
4.1. Mjerenje energetske učinkovitosti motora bez frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 29
4.2. Mjerenje energetske učinkovitosti motora s frekvencijskim pretvaračem Danfoss FC – 302 30
4.2.1. Mjerenje energetske učinkovitosti motora spojenog na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC -302 pri kompenzaciji klizanja 0 % 31
4.2.2. Mjerenje energetske učinkovitosti motora spojenog na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC -302 pri kompenzaciji klizanja 50 % 32
4.2.3. Mjerenje energetske učinkovitosti motora spojenog na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC -302 pri kompenzaciji klizanja 75% 33
4.2.4. Mjerenje energetske učinkovitosti motora spojenog na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC -302 pri kompenzaciji klizanja 100 % 34
5. USPOREDBA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI ASINKRONOG KAVEZNOG MOTORA 35
6. ZAKLJUČAK 36
LITERATURA 37
SAŽETAK 38
ABSTRACT 38
ŽIVOTOPIS 39

1. UVOD

Završni rad na temu *Energetska učinkovitost frekvencijskog pretvarača FC-302* odabrao sam jer želim saznati više o funkcioniranju i energetskoj učinkovitosti frekvencijskog pretvarača FC – 302.
Cilj završnog rada jest istražiti i analizirati koje zahtjeve u pogledu razreda energetske učinkovitosti moraju zadovoljavati električni motori koji se napajaju iz krute mreže. Na osnovu dostupnih laboratorijskih mjerenja analizirati utjecaj ugradnje frekvencijskog pretvarača Danfoss FC - 302 na energetsku učinkovitost pogona.
Rad se, osim uvoda i zaključka, sastoji od četiri poglavlja koja definiraju i opisuju vrste i načine rada elektromotra te svojstva, primjenu i energetsku učinkovitost frekvencijskog pretvarača FC – 302.

U prvom poglavlju dana je kratka uvodna riječ, te je ukratko opisan plan rada.

U drugom poglavlju su opisani asinkroni izmjenični motori. Nadalje, opisani su kavezni i klizno-kolutni elektromotori, po čemu su specifični, iz kakve mreže se napajaju i gdje se koriste. Opisana je njihova konstrukcija, prikazane su mehaničke i momentne karakteristike, sheme spajanja, vrste pokretanja. Prikazana je i funkcionalna blokovska shema upravljanja asinkronog motora.

U trećem poglavlju detaljno su opisani energetski učinski pretvarači, za što služe i gdje nalaze svoju primjenu. Opisane su karakteristike frekvencijskih pretvarača, područja njihove primjene i prednosti takvih uređaja u elektroenergetskom sustavu. Jedan od takvih uređaja konstruiran je od firme Danfoss pod nazivom FC – 302 koji se koristi u različite svrhe te posjeduje niz mogućnosti. Najvažnije svojstvo je štednja energije, tj. smanjenje troškova. Detaljno je opisan, te je prikazana je njegova strukturna shema i konfiguriracija. Opisan je ispravljač, međukrug i izmjenjivač. Opisan je program MCT 10 Set-up te njegovo parametriranje

U četvrtom poglavlju prikazani su strojevi s danim tehničkim podacima koji se nalaze u prostorijama Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Dani su tablični i grafički prikazi elektromotora spojenog na mrežu bez i s frekvencijskim pretvaračem, te s različitim kompezacijama klizanja. Za potrebe izrade grafičkih prikaza korišten je Microsoft Excell, proizvod kompanije Microsoft, sastavni dio programskog paketa Microsoft Office. Excell je prvobitno namijenjen riješavanju matematičkih problema pomoću tablica i polja koja je

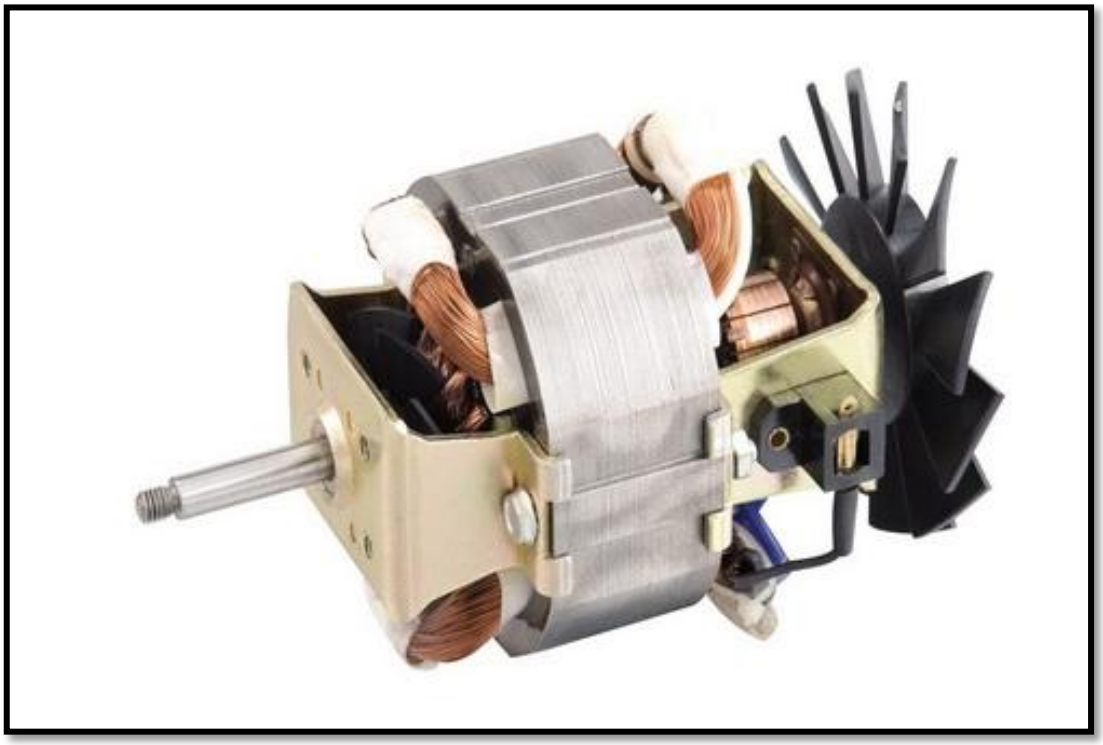
moguće povezati različitim formulama. Može poslužiti za izradu jednostavnih baza podataka, iz kojih se mogu napraviti različiti grafikoni.

U petom poglavlju napravljena je usporedba energetske učinkovitosti kaveznog motora.

U šestom poglavlju napisan je zaljučak, tj. kratak osvrt na cjelokupan završni rad.

2. ASINKRONI MOTORI

Asinkroni motori pripadaju motorima na izmjeničnu struju. Specifični su po tome što se brzina vrtnje rotora i brzina vrtnje okretnog magnetskog polja razlikuju. Asinkroni motori su pretežito motori manjih i srednjih snaga. Izmjenični asinkroni (indukcijski motor) napajan iz trofazne ili jednofazne mreže najviše se koristi u industrijskim postrojenjima. Asinkroni motori proizvedeni za napajanje iz jednofazne mreže koristimo i u kućanskim uređajima (hladnjaci, perilice posuđa, perilice rublja, crpke).



Slika 2.1. Asinkroni motor koji se koristi u kućanskim aparatima [1]

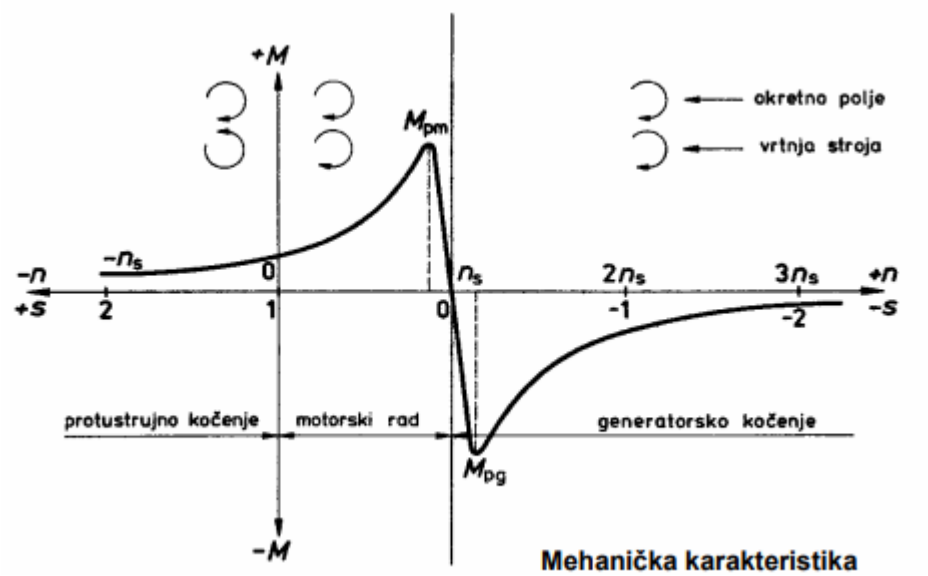
Nedostaci asinhronog stroja su : a) takav stroj treba induktivnu struju magnetiziranja, uslijed čega se pogoršava cos φ mreže; b) slabo zadovoljavaju regulacijske karakteristike, naročito pri kontinuiranom reguliranju brzine vrtnje u širokim granicama, i c) loše karakteristike pokretanja najekonomičnijeg kaveznog motora. Nastojanja da se te teškoće svladaju postigla su tek djelomičan uspjeh. U pogledu cos φ asinhroni motor ustupa prednost sinhronom motoru, a u pogledu regulacionih karakteristika istosmjernim motorima. [13]

Indukcijski motor ili asinkroni motor (elektromotor) ima rotirajući dio (rotor) na koji se električna energija prenosi beskontaktno (indukcijom) djelovanjem okretnog magnetskog polja koje stvara sustav višefaznih struja u statoru. Prema izvedbi rotorskog namota dijele se na kavezne i klizno - kolutne strojeve. Ovakvi električni strojevi su jednostavne konstrukcije, robusni i pouzdani u pogonu pa se i najčešće koriste u svim vrstama elektromotornih pogona. Brzina vrtnje rotora je različita od brzine okretanja statorskog polja iz čega je i izveden naziv asinkroni. Razlika brzina, takozvano klizanje, je ključna veličina u teoriji djelovanja i prijenosa energije u stroju. Klizanje kod asinkronih motora je pojava, da se rotor vrti brzinom vrtnje, koja je uvijek manja od sinkrone, to jest manja je od brzine vrtnje okretnog magnetskog polja. Kod sinkronih motora klizanja nema zahvaljujući dodatnom istosmjernom napajanju ili korištenju permanentnih magneta u rotoru. [2]

U asinkronom motoru okretno se magnetsko polje stvara prolaskom trofazne struje kroz trofazne namote smještene u statoru. To okretno magnetsko polje može se stvoriti i tako da priključimo motor na jednofaznu mrežu, ako se preostala dva fazna namota prostorno pomaknu za prikladan kut i ako u jedan namot dodamo kondenzator, kojim se ostvari fazni pomak među strujama. Okretno statorsko magnetsko polje koje je nastalo inducira u rotorskim vodičima napone i struje koje stvaraju svoje okretno magnetsko polje. Međudjelovanjem tih dvaju polja stvaraju se elektromagnetske sile i zakretne sile uzrokuju vrtnju rotora. Te sile i momenti postoje samo dok silnice okretnog magnetskog polja sijeku vodiče rotora, a nestale bi kada bi se brzine okretnog magnetskog polja i rotora izjednačile. Za ispravan rad motora nužno je da brzina vrtnje rotora bude neznatno manja od sinkrone brzine (klizanje rotora), pa iz toga i potiče naziv asinkroni motor.

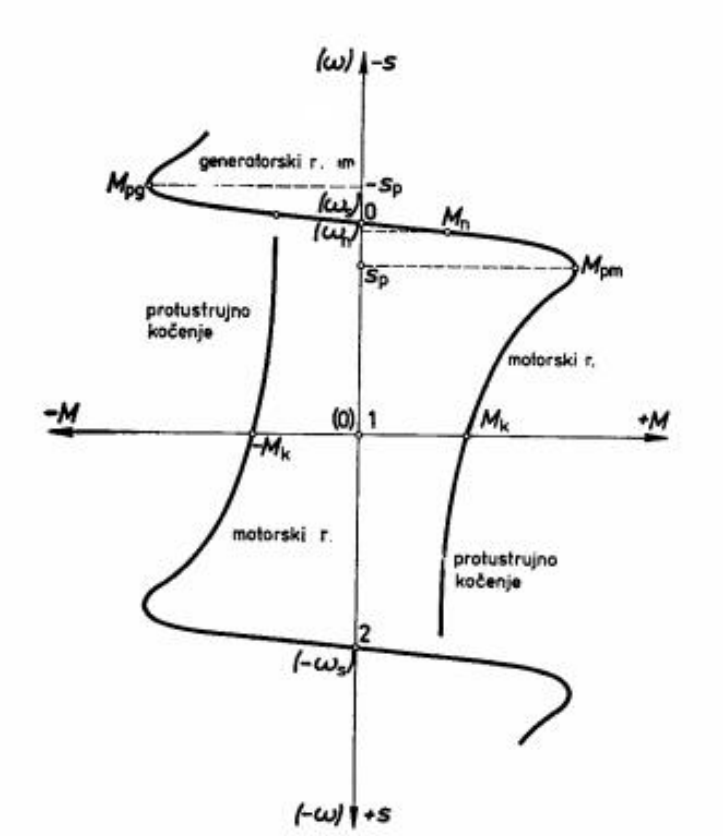


Slika 2.2. Laboratorijski asinkroni kavezni motor



Slika 2.3. Mehanička karakteristika asinkronog motora [3]

Na slici 2.3. prikazana je mehanička karakteristika za kavezni i klizno-kolutni asinkroni motor. M_{pm} koji označuje motorski prektetni moment nešto je manji od generatorskog M_{pg}, jer su prekretno klizanje s_p i odnos među otporima β za motor pozitivni, a za generator negativni. Ako se promijeni smjer okretnog polja, karakteristika se mijenja te se motor vrti u suprotnom smijeru, što je vidljivo iz iduće slike.



Slika 2.4. Mehanička karakteristika pri različitim smijerovima vrtnje [3]

Izvedene karakteristike mogu se dobiti promjenom frekvencije i napona te dodavanjem otpora u rotorski ili statorski krug. Ekonomski i tehnički je isplativo jedino dodavanje ohmskog otpora u rotorski krug i to je jedino izvedivo kod klizno - kolutnih motora. Mijenja se prekretno klizanje, a prekretni moment ostaje nepromijenjen. Kod kaveznih elektromotora različite mehaničke karakteristike postižu se konstrukcijskim izvedbama štapova rotora, tj. potiskivanjem struje.

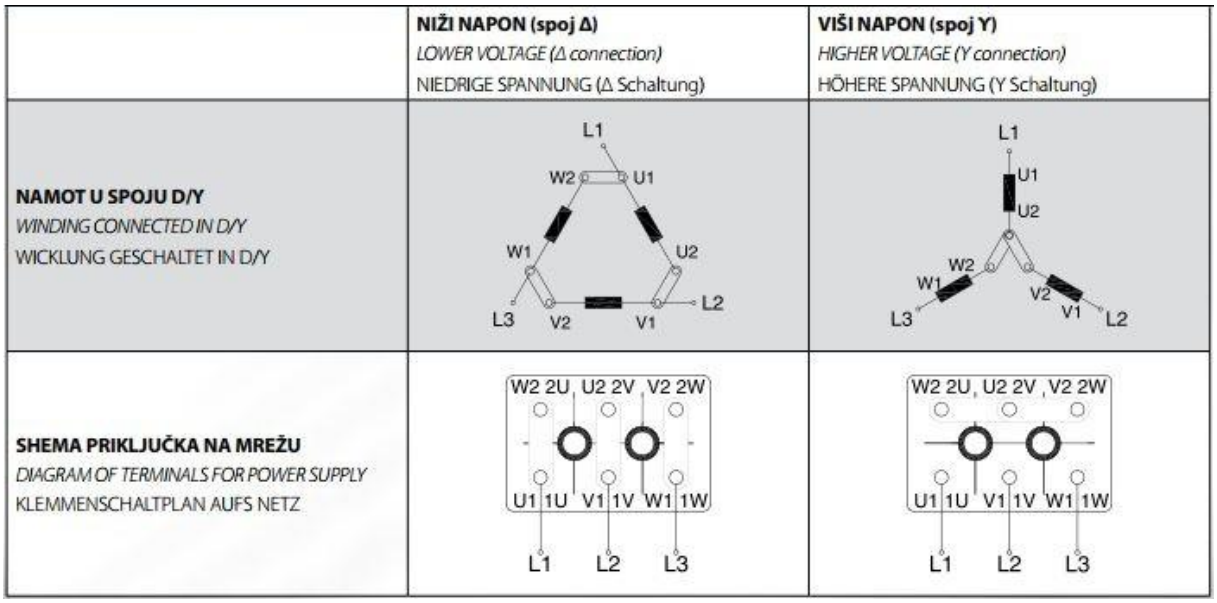
2.1. Kavezni elektromotor

Kavezni motor se najviše koristi od svih vrsta asinkronog motora. Nazvan je prema rotorskom namotu koji se sastoji od neizoliranih, najčešće aluminijskih vodiča simetrično raspoređenih po obodu željezne jezgre rotora i kratko spojenih na oba kraja što nalikuje kavezu, pa radi toga se i zove kavezni motor.



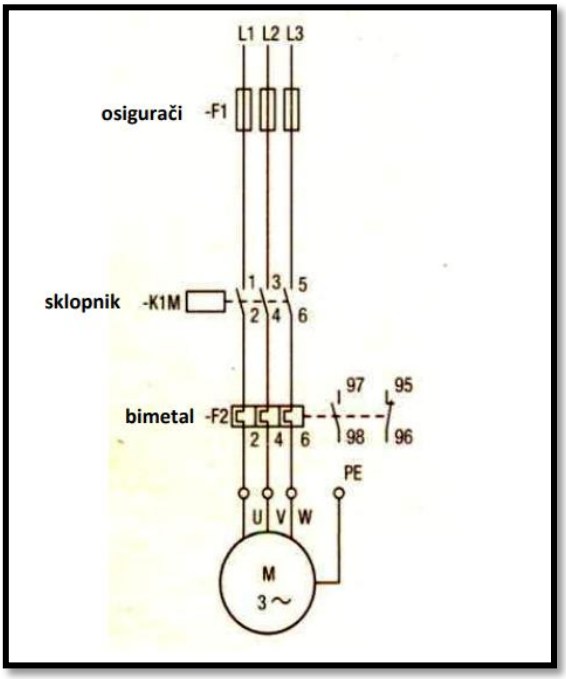
Slika 2.5. Kavezni asinkroni elektromotor [4]

Na slici 2.5 prikazan je kavezni elektromotor marke Končar. Ti motori nalaze najrašireniju primjenu u svim dijelovima proizvodnih i procesnih aktivnosti u industriji te u brodogradnji. Projektirani su prema visokim zahtjevima moderne pogonske tehnike, te su prilagodljivi različitim zahtjevima korisnika. Ekološka svojstva usklađena su s pouzdanošću u svakodnevoj uporabi.

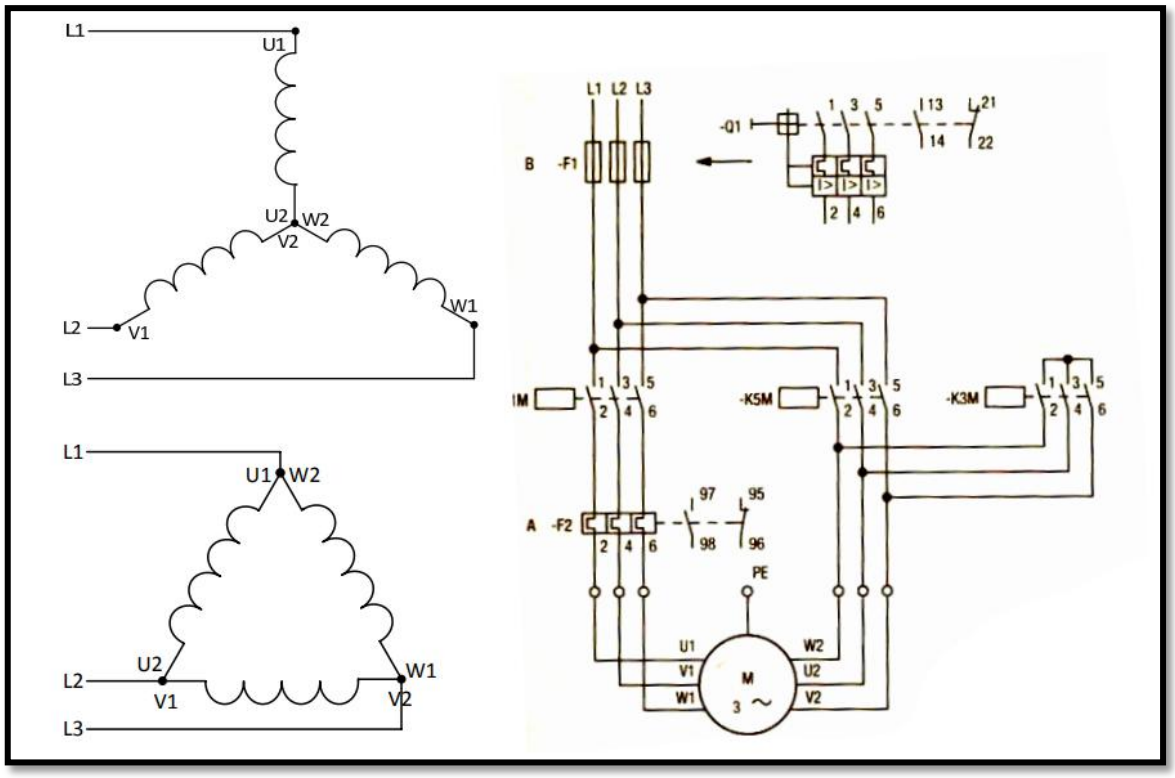


Slika 2.6. Shema spoja trofaznog jednobrzinskog asinkronog motora [4]

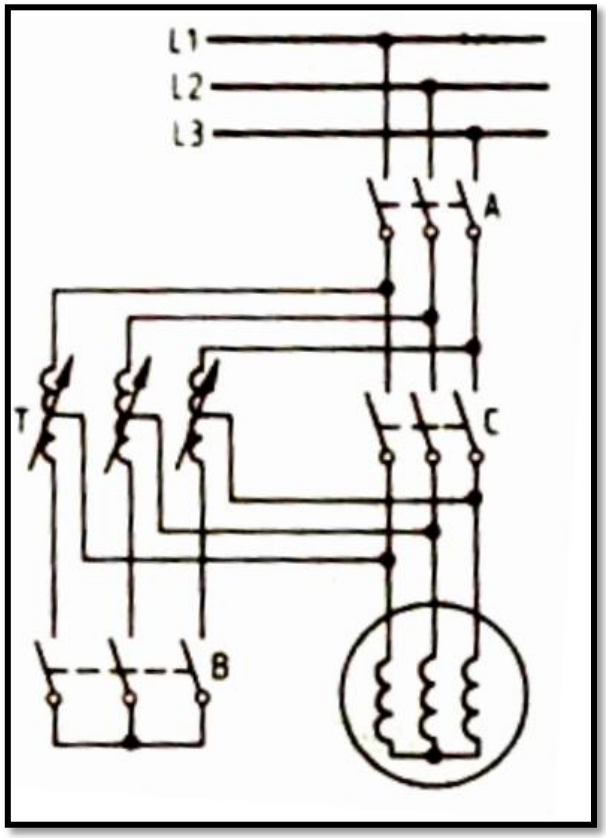
Na slici je vidiljiva shema namota u spoju i priključka na mrežu za niži i viši napon za slučaj spoja zvijezda i trokut. Kavezni elektromotor na mrežu se može spojiti na nekoliko načina, neki od tih načina prikazani su u nastavku.



Slika 2.7. Shema spoja za pokretanja kaveznog asinkronog motora priključenog direktno na mrežu [5]

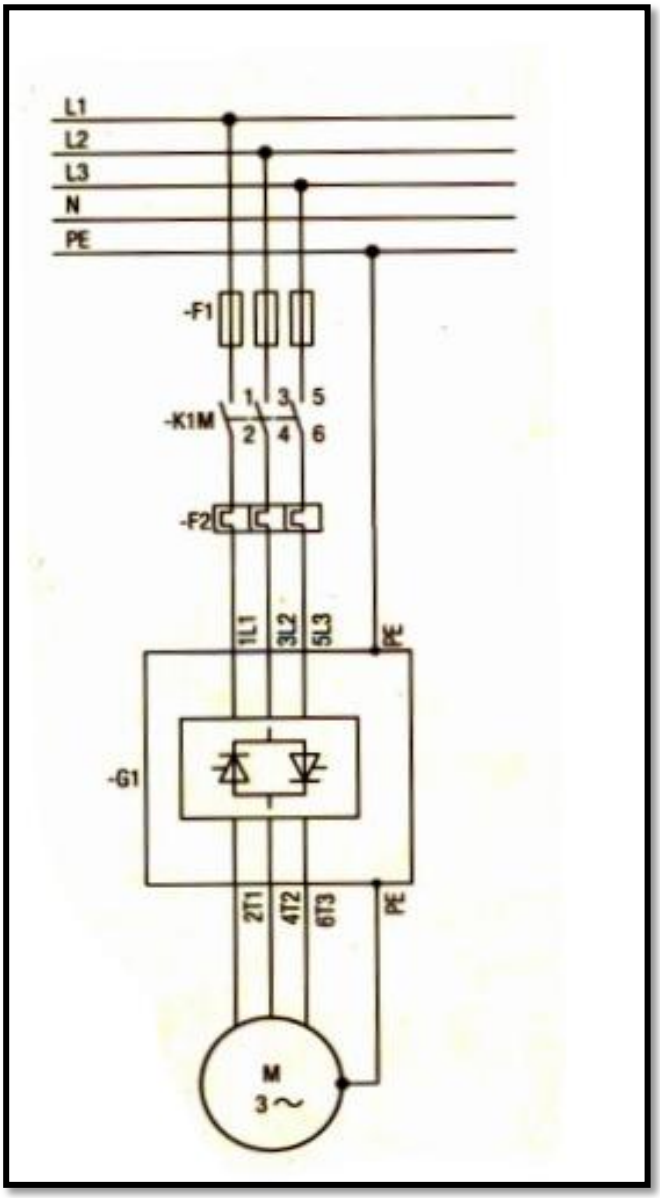


Slika 2.8. Shema spoja kaveznog elektromotora na mrežu preklopom zvijezda – trokut [5]



Slika 2.9. Pokretanje elektromotora autotransformatorom [5]

Za pokretanje kaveznog elektromotora autotransformatorom potrebna su tri prekidača i autotransformator. Struja pokretanja se mora prilagoditi zahtijevima mreže. Za pokretanje elektromotora na ovakav način potrebno je da su sklopke A i B zatvorene, dok za normalan pogon sklopka B je otvorena, a sklopke A i C su zatvorene.

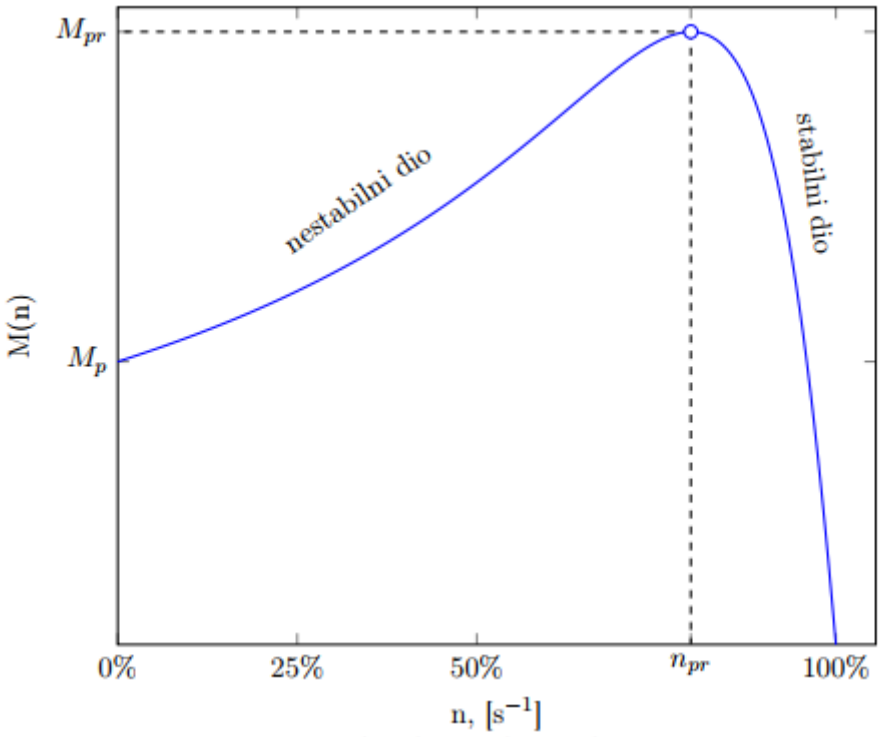


Slika 2.10. Shema pokretanja kaveznog asinkronog motora preko Soft start uređaja [5]

Soft start je uređaj kojim se regulira napon statora da se smanji struja pokretanja na povoljan iznos. Smanjuju se mehanička opterećenja na pogonskim elementima, opterećenje električne mreže je manje.



Slika 2.11. Primjer izgleda soft-start uređaja [6]



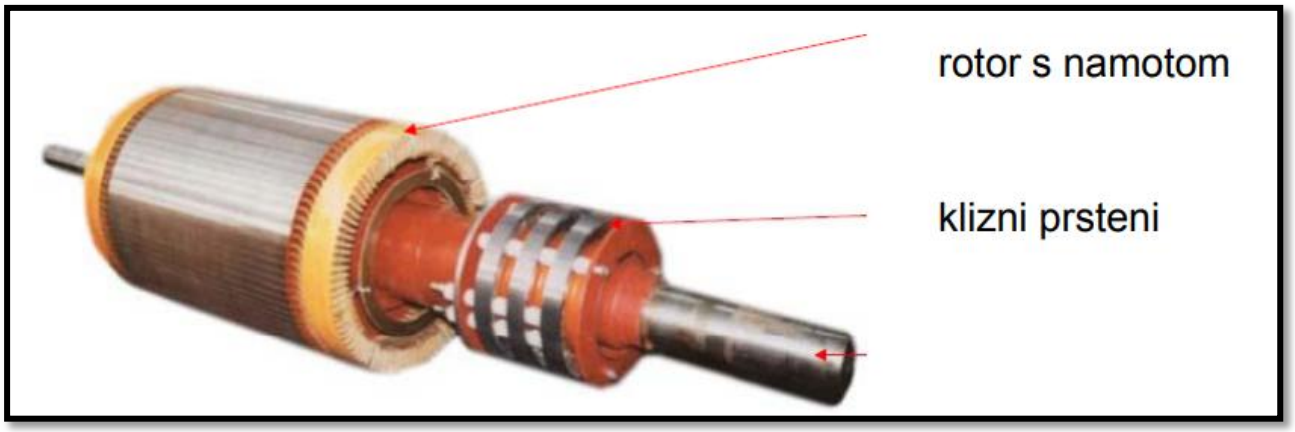
Slika 2.12. Momentna karakteristika asinkronog motora [7]

Momentna karakteristika asinkronog motora predstavlja ovisnost momenta M o brzini vrtnje motora n. Oznaka M_p predstavlja potezni moment i to je moment motora u trenutku uključenja,

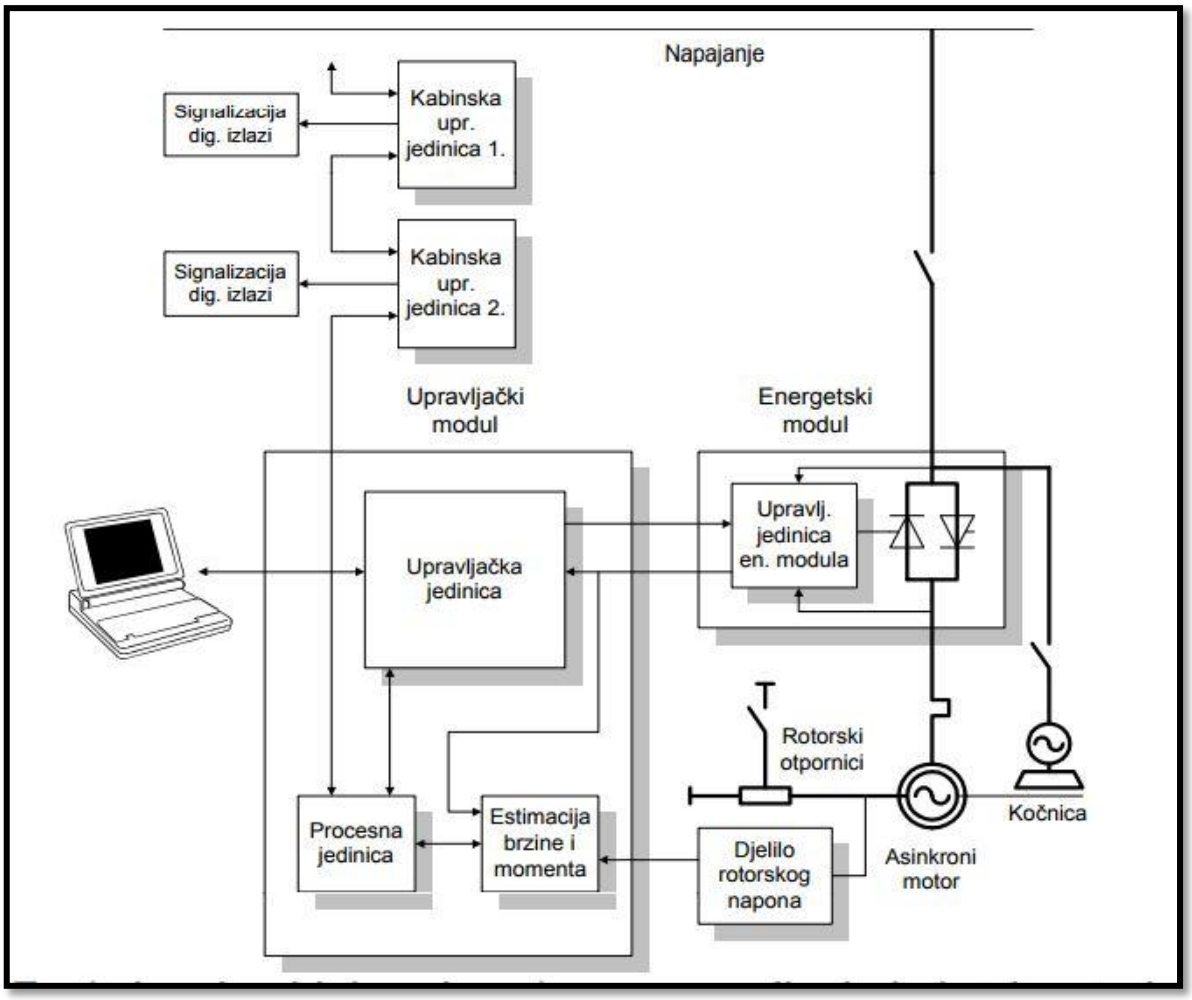
kod njega je bitno da bude veći od momenta tereta kako bi se motor mogao pokrenuti. Oznaka M_{pr} predstavalja maximalni moment koji taj motor može postići. Do prekretne brzine (n_{pr}) karakteristika je nestabilna, a nakon toga je stabilni dio karakteristike i u tom dijelu je radna točka.

2.2. Klizno - kolutni asinkroni motor

, Klizno-kolutni motor je specifičan po tome što na rotoru ima raspoređen višefazni namot, najčešće trofazni. Početak namota rotora najčešće bude spojen u zvijezdu, dok su krajevi izvedeni do kliznih koluta. Uvijek se pokreće preko pokretača-otpornika u rotorskom krugu kojim se podešava struja i moment zaleta.



Slika 2.13. Dijelovi klizno - kolutnog asinkronog motora [8]



Slika 2.14. Funkcionalna blokovska shema upravljanja klizno - kolutnim motorom [4]

Upravljanje brzinom vrtnje se vrši na više načina, jedan od tih je dodavanje otpora u rotorskom krugu. Ovaj način podešavanja brzine je moguć samo kod klizno-kolutnih motora. Ako se poveća radni otpor u rotorskom krugu, struja rotora i statora postaju manje. Istovremeno se poveća faktor snage i potezni moment. Drugi način je je promjena napona i frekvencije, mora se mijenjati oboje jer ako se poveća samo frekvencija ulaznog napona motoru se mijenja magnetski tok, pa to utječe na mehaničku karakteristiku. Ako se želi to izbjeći mora se istovremeno mijenjati visina ulaznog napona.

3. ENERGETSKI UČINSKI PRETVARAČI

3.1. Energetski frekvencijski pretvarači

Frekvencijski pretvarači su uređaji koji služe za kontinuiranu promjenu brzine vrtnje. Frekvencijski pretvarači bez međukruga zovu se još i izravni frekvencijski pretvarači dok se frekvencijski pretvarači s međukrugom zovu neizravni pretvarači. Oni se mogu napajati s promjenjivim ili konstantnim naponom napajanja. Frekvencijski pretvarači s međukrugom su bolji i imaju niz prednosti pred frekvencijskim pretvaračima bez istosmjernog kruga, a to su:

1. Manji harmonici napojne mreže
2. Manja jalova struja napojne mreže
3. Izbor frekvencije izlaznog napona motora ne ograničuje frekvencija napojne mreže, ograničuje je sklopna karakteristika poluvodičkih elemenata

Izravni frekvencijski pretvarači mogu biti komutirani izmjeničnom napojnom mrežom ili vlastitim komutacijskim krugom. Ciklopretvaračem je ograničena maximalna izlazna frekvencija na najviše 66% frekvencije napojne mreže. Primjenjuju se za sporohodne motore velikih snaga do 50 MW. Takvi pretvarači su složeni i skupi pa se zato manje koriste.

Neizravni frekvencijski pretvarači ograničeni su sa maximalnom dozvoljenom vrijednosti ulaznog napona trošila. Postoje pretvarači sa strujnim i naponskim ulazom u izmjenjivač. Pretvarači s naponskim ulazom mogu biti s konstatnim ili promjenjivim naponom međukruga. Struja trošila je sinusnog oblika jer trošilo svojim induktivitetom dovoljno prigušuje više harmonike.



Slika 3.1. Danfoss VLT® frekvencijski pretvarači opće namjene [9]

Na slici 3.1 prikazan je VLT ® Micro Drive FC51 industrijski frekvencijski pretvarači iznimno malih dimenzija, snaga do 22 kW. Karakteristike spomenutog pretvarača su:

- 0,18 kW – 2,2 kW, 1/3x(200-240) V
- 0,37 kW – 22 kW, 3x(380-480) V
- Stupanj mehaničke zaštite: IP20
- Lakirane kartice elektronike
- Za terete konstantne i varijabilne momentne karakteristike
- Ugrađen čoper za kočenje
- Procesno PI upravljanje
- 150% preopterećenje kroz 1 minutu
- Pametni logički kontroler (SLC)
- Ugrađeno RS-485 sučelje s Modbus RTU protokolom
- Uklonjiv numerički upravljački panel
- Izvedba panela sa potenciometrom i bez potenciometra

3.2. Frekvencijski pretvarač Danfoss FC - 302

VLT® AutomationDrive je dizajnirao standardnu verziju frekvencijskog pretvarača pod nazivom FC - 301 i zatim naprednu verziju FC - 302 s dodatnim funkcijama koje nam pomažu da štedimo energiju, povećamo fleksibilnost, smanjimo troškove vezane uz rezervne dijelove i servise, optimiziramo kontrolu procesa. Za rukovanje nam nije potrebno znanje nekog programskog jezika što znači da je lagan za rukovanje. Ima mogućnost pokretanja sinkronih motora s permanetnim magnetima kao i kaveznih asinkronih motora.



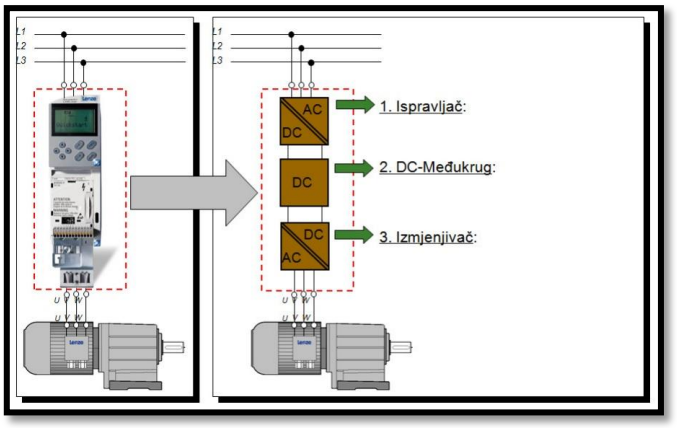
Slika 3.2. Frekvencijski pretvarač Danfoss FC-302

Pretvarač frekvencije koristimo zato što što brzina vrtnje asinkronog motora ovisi o frekveciji napona napajanja asinkronog motora, zato što je pri čvrstoj frekvenciji mreže brzina vrtnje asinkronog motora konstantna i zato što je nam je najčešće potrebna promjenjiva, podesiva brzina vrtnje. Potreba nam je asinkroni motor napajati naponom promjeniva izvora i frekvencije i zbog toga koristimo pretvarač frekvencije.

Najvažnije područje primjene su im izmjenični elektromotorni pogoni. Dva procesa pretvorbe, ispravljanje i izmjenjivanje, odvijaju se praktički neovisno jedan od drugoga. Zbog toga je za razumijevanje rada neizravnih izmjeničnih pretvarača frekvencije dovoljno razumjeti rad ispravljača i autonomnih izmjenjivača. [14]

3.3 Strukturna shema i konfiguriranje frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302

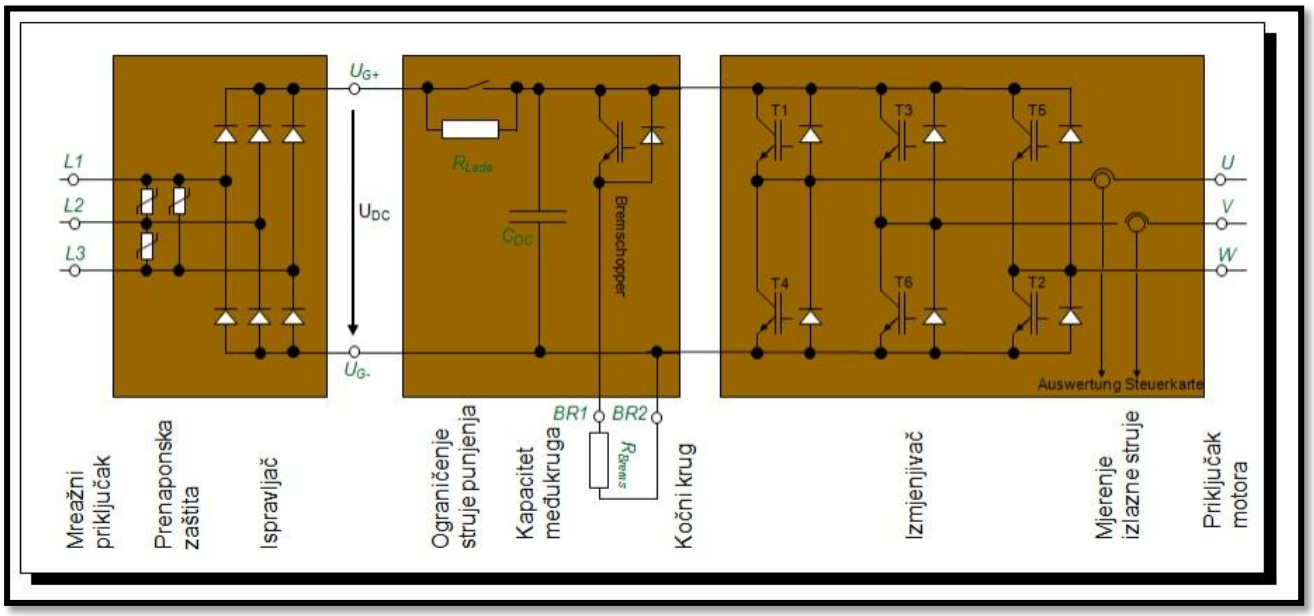
Shema frekvencijskog pretvarača dana je na slici 3.3. Frekvencijski pretvarač sastoji se od ispravljača na mrežnoj strani, istosmjernog međukruga kojeg čine zavojnica i kondenzator i izmjenjivača na motornoj strani.



Slika 3.3. Shema frekvencijskog pretvarača [10]

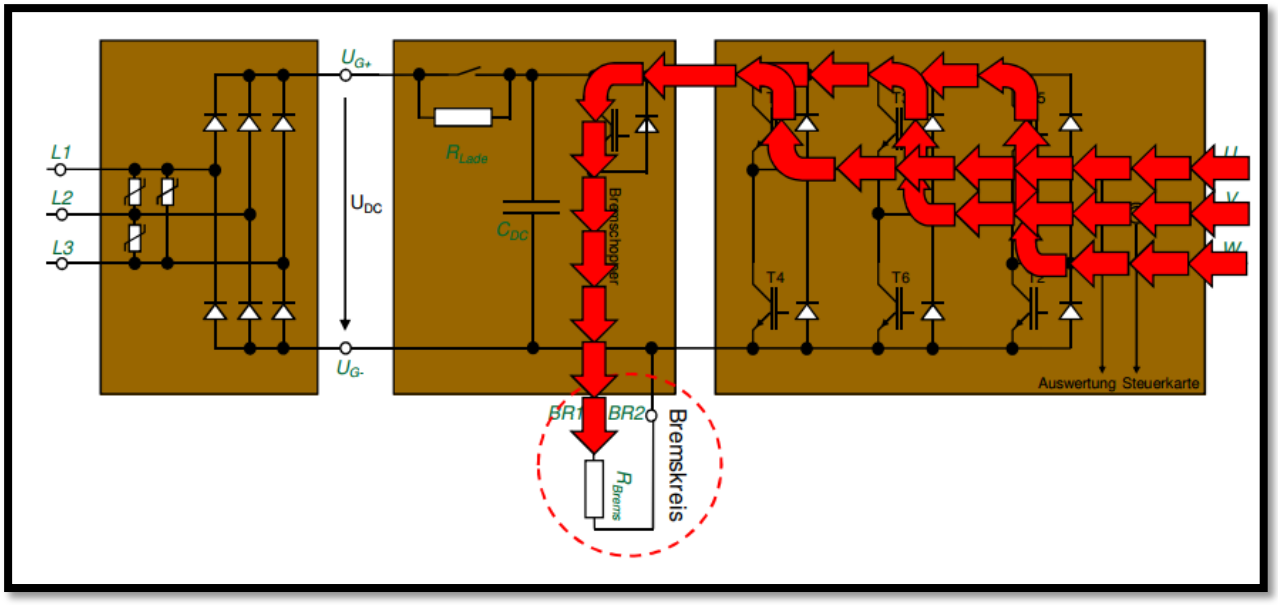
Ispravljač na mrežnoj strani je elektronični sklop koji služi za pretvaranje izmjenične struje u istosmjernu. Najčešće se u ispravljačima koriste poluvodičke diode kao glavni elektronički elementi kojima se vrši ispravljanje. Osim dioda koriste se i tiristori koji su poluvodički elementi koji imaju svojstvo okidne sklopke jer prelaze u vodiljivo stanje kada se na upravljačku elektrodu dovede impuls struje i to stanje održava dok je struje tereta dovoljno velika. Pod ispravljanjem izmjenične struje u istosmjernu često se podrazumjeva glađenje izlaznog napona, te stabilizacija napona. U ispravljaču imamo i transformator koji nam smanjuje napon na nama pogodnu vrijednost.

Izmjenjivači su vrste pretvarača koji pretvaraju istosmjernu struju u izmjeničnu, dakle suprotno od ispravljača pa ih zovemo još i *Inverteri.*



Slika 3.4. Konfiguracija energetskog pretvarača [10]

Kod pretvarača sa naponskim međukrugom istosmjerni je međukrug niskopropusni filtar koji se sastoji od prigušnice i kondenzatora, a ispravljač može biti i upravljiv i neupravljiv. Niskopropusni filtar smanjuje valovitost izlaznog napona ispravljača. Kod neupravljivog ispravljača ulazni napon izmjenjivača je konstantan, dok kod upravljivog ispravljača napon se može mijenjati. Kočni krug sa kočnim čoperom služi da se disipira višak energije u međukrugu i na taj način štiti međukrug od prenapona, tj. od oštećenja.



Slika 3.5. Tok energije u sklopu za kočenje [10]

Problem je što generatorki rad kod pretvarača nije moguć zbog dioda. Dio energije se skladišti u kondenzatorima, no to je ograničeno na maximalni dopustivi radni napon kondenzatora. Radi toga se u međukrug dodaje kočni krug.

3.4. Parametriranje i komunikacija frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302

Postavljanje parametara pretvarača moguće je na 2 načina:

1.) Pomoću lokalnog upravljačkog panela
2.) Pomoću programa MCT 10 Set-up

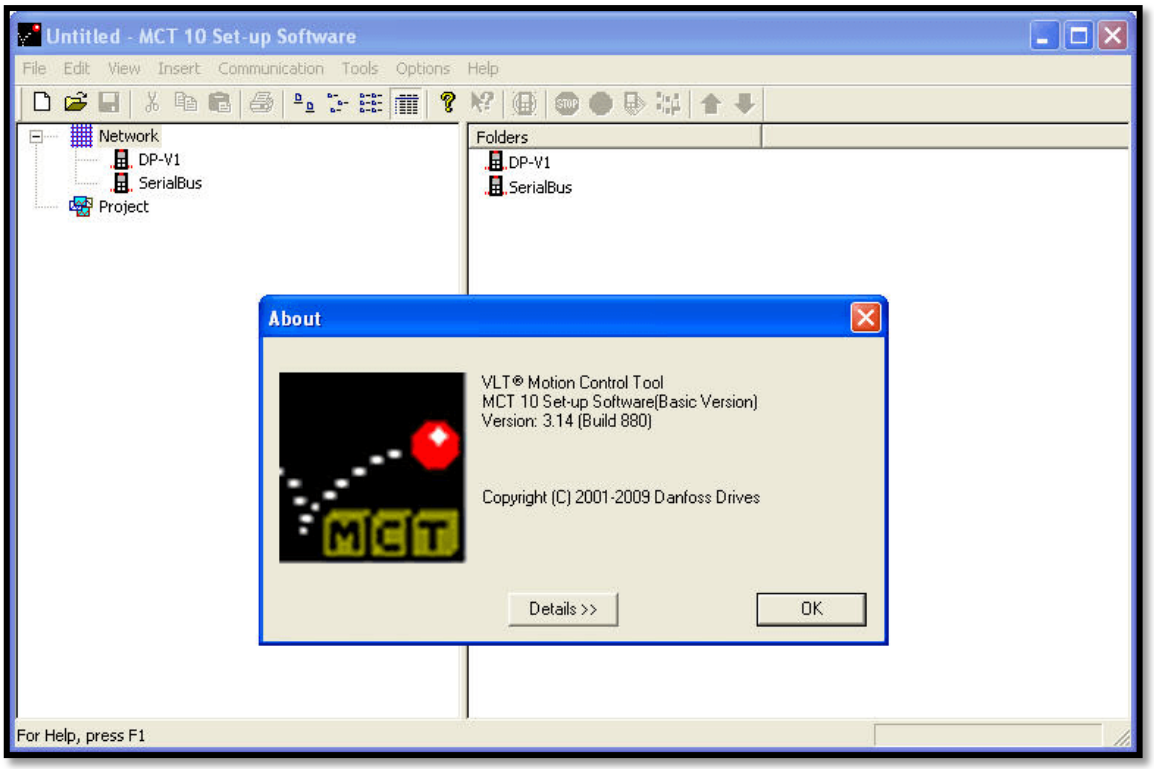
Tablica 3.1. Grupe parametara frekvencijskog pretvarača FC 302 [11]

Naziv grupe parametara	Oznaka grupe parametara
Rukovanje/Displej	0
Opterećenje i motor	1
Kočnice	2
Reference/Rampe	3
Granične vrijednosti/Upozorenja	4
Digitalni ulaz/izlaz	5
Analogni ulaz/izlaz	6
Kontroleri	7
Komunikacije i opcije	8
Napredna logika	13
Posebne funkcije	14
Informacije o pretvaraču	15
Očitanje podataka	16

Nakon parametriranja pretvarača možemo spojiti motor, ali prije priključka asinkronog motora na frekvencijski pretvarač potrebno je uskladiti snage pretvarača i motora.

Program MCT 10 Set-up je računalni program koji nam služi za brzo i jednostavno puštanje frekvencijskih pretvarača Danfoss u pogon. Može se koristiti za planiranje nove komunikacijske mreže odvojeno od strane mreže jer sadrži potpunu bazu podataka za sve Danfoss-ove proizvode. Bazu podataka programa moguće je nadograditi DLL datotekama iz korištenog frekvencijskog pretvarača. Program se koristi i za puštanje u pogon frekvencijskih pretvarača u stvarnom vremenu, zamjenu pretvarača, proširenje komunikacijske mreže novim pretvaračem te za sigurno kopiranje svih podataka.

MCT 10 Set-up podržava komunikaciju Profibus DP V1 pomoću Master class 2 priključka koji omogućuje priključak na Profibus mrežu u stvarnom vremenu i upis/učitavanje parametara što uklanja potrebu za dodatnom komunikacijskom mrežom. Program omogućuje istovremeno upravljanje i konfiguraciju sustava i praćenje cijelog sustava za efikasnije i brže dijagnosticiranje. Program je moguće povezati sa svim aplikacijama operativnog sustava Windows. Povezivanje frekvencijskog pretvarača i računala je vrlo jednostavno. Frekvencijski pretvarač Danfoss FC-302 ima USB priključak tako da računalo i pretvarač povezujemo USB kablom i nije potrebno nikakvo dodatno sklopovlje.

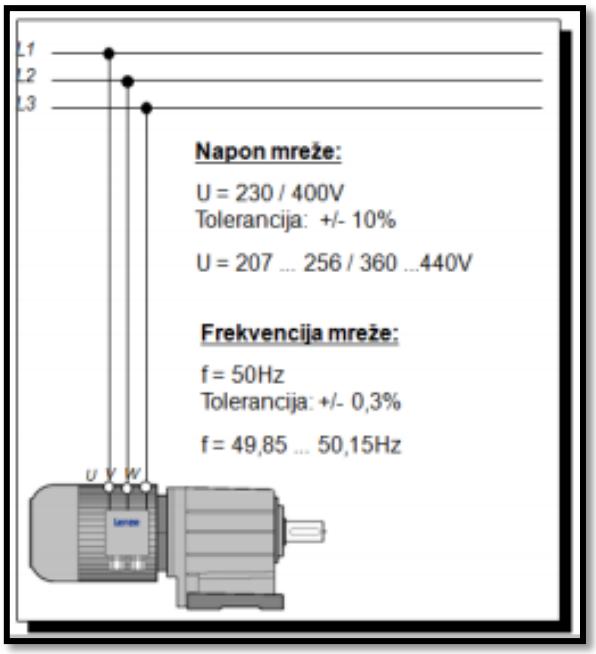


Slika 3.6. Izgled programa MCT 10 Set-up [12]

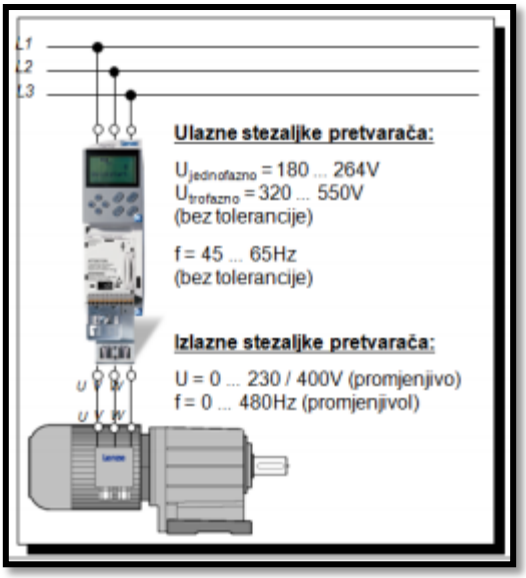
Kada se program MCT 10 Set-up otvori on se prikazuje u dva dijela, desnom i lijevom pregledniku. U desnom pregledniku se prikazuju detalji elemenata označenih u lijevom pregledniku i u desnom pregledniku imamo mogučnost programiranja elemenata frekvencijskog pretvarača, dok se u lijevom pregledniku mogu dodavati nove mape, postojeće mape i elementi se mogu brisati, moguće je snimiti promjene učinjene u stvarnoj instalaciji u mapu projekta, kako bi bile dostupne i za kasniju uporabu, kada je frekvencijski pretvarač odspojen, također možemo smanjivati i raširivati preglednik, ovisno o tome kako samom korisniku odgovara.

Mapa mreže prikazuje detalje frekvencijskog pretvarača kako izgledaju u stvarnom vremenu. U mrežnom načinu rada korisnik može mijenjati parametre u frekvencijskom pretvaraču jednako kao da ih mjenja na lokalnom upravljačkom panelu samog frekvencijskog pretvarača. Podaci koji se unose u mrežnom načinu rada biti će spremljeni samo na frekvencijskom pretvaraču, ali ne i na računalu. U mrežnom načinu rada program će prikazivati trenutne postavke parametara frekvencijskog pretvarača u desnom izborniku. Ako je potrebno zamrznuti određeni trenutak zbog analize potrebno je zaustaviti učitavanje podataka iz pretvarača. Nastavljanje prikazivanja trenutnih vrijednosti se omogućuje nastavkom učitavanja podataka iz pretvarača. Mapa projekta prikazuje posredni pregled mreže frekvencijskog pretvarača, kakav je postavio korisnik. Ovdje korisnik može pohraniti neke dijelove stvarne instalacije za kasniju uporabu, možda daleko od fizičke mreže. Mapa projekta je također mjesto gdje se mogu spremiti ostale datoteke koje su povezane s projektom. Te druge datoteke mogu biti bilo kojeg formata, kao npr.: doc, pdf i sl. Dok program automatski prepoznaje priključeni frekvencijski pretvarač, u projektu je osnovne postavke pretvarača potrebno definirati i to je moguće korištenjem funkcije " Insert a new drive."

Da bi se smanjila potrošnja energije i ispuštanje ugljičnog dioksida u atmosferu u budućnosti će se sve više koristiti frekvencijski pretvarači. Procjenjuje se da je na području EU instalirano oko 85 milijuna ekektromotora nazivnih snaga većih od 7,5 kW i da oni ostvaruju 30% do 40% ukupne potrošnje električne energije u Europi. Zaključak EU komisije za energetsku učinkovitot je da će se kad svi elektromotori budu napajani iz frekvencijskih pretvarača potrošnja elekrtične energije u industriji smanjizi za 20% do 30%. Ta ušteda je ekvivalentna količini od 7% ukupne potrošnje električne energije u EU, odnosno ta ušteda odgovra ukupnoj godišnjoj potrošnji električne energije u Švedskoj. U nastavku su prikazane slike motora sa konstantnom frekvencijom i brzinom i podesivom frekvencijom i brzinom.



Slika 3.7. Motor spojen bez pretvarača [10]

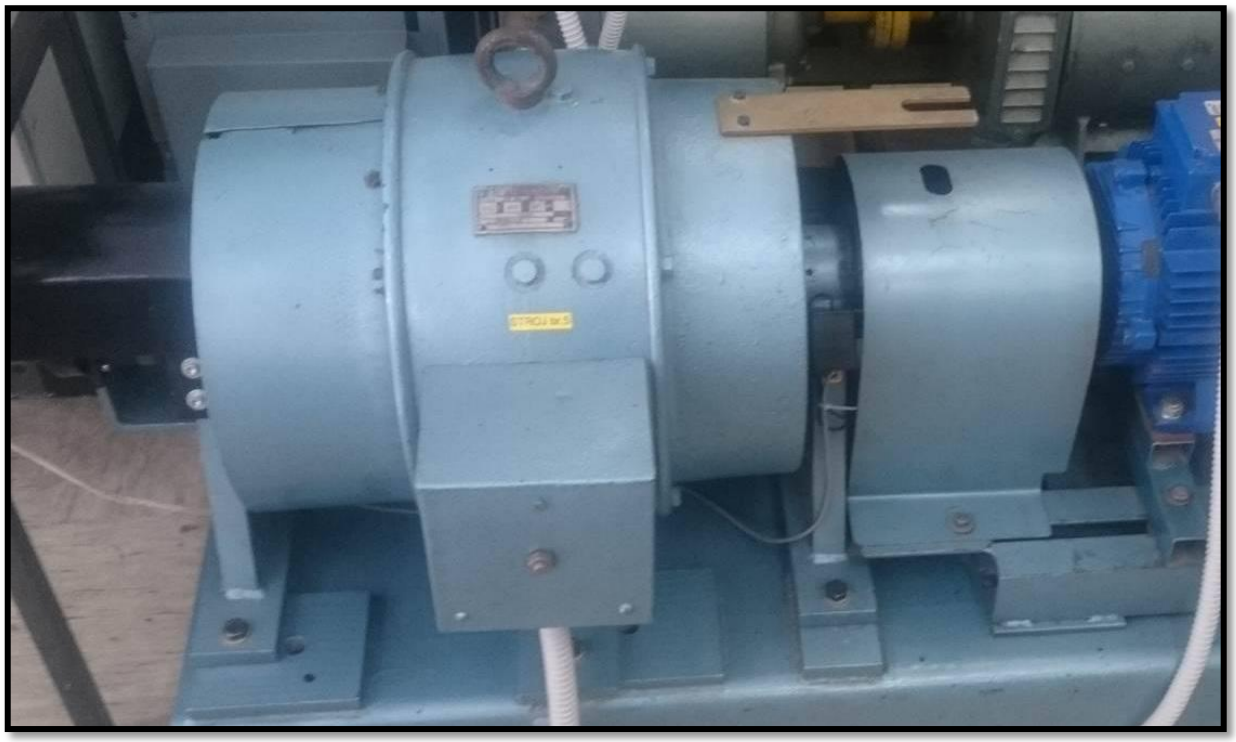


Slika 3.8. Motor spojen preko pretvarača [10]

Kako je vidljivo na slici kada je motor direktno spojen na mrežu ne može se mijenjati frekvencija, što bi značilo da imamo konstantnu brzinu vrtnje. U slučaju kada je motor spojen na mrežu preko pretvarača može se mijenjati frekvencija, a samim time imamo podesivu brzinu vrtnje.

4. ISPITIVANJE ENERGETSKE UČINKOVITOSTI FC - 302

Prilikom mjerenja učinkovitosti motora bez i sa frekvencijskim pretvaračem Danfoss FC – 302 korišteni su strojevi koji su prikazani u nastavku.



Slika 4.1. Istosmjerni generator marke Siemens – Schuckert

Na slici 4.1 je prikazan istosmjerni generator marke Siemens – Schuckert sa slijedećim tehničkim podacima:

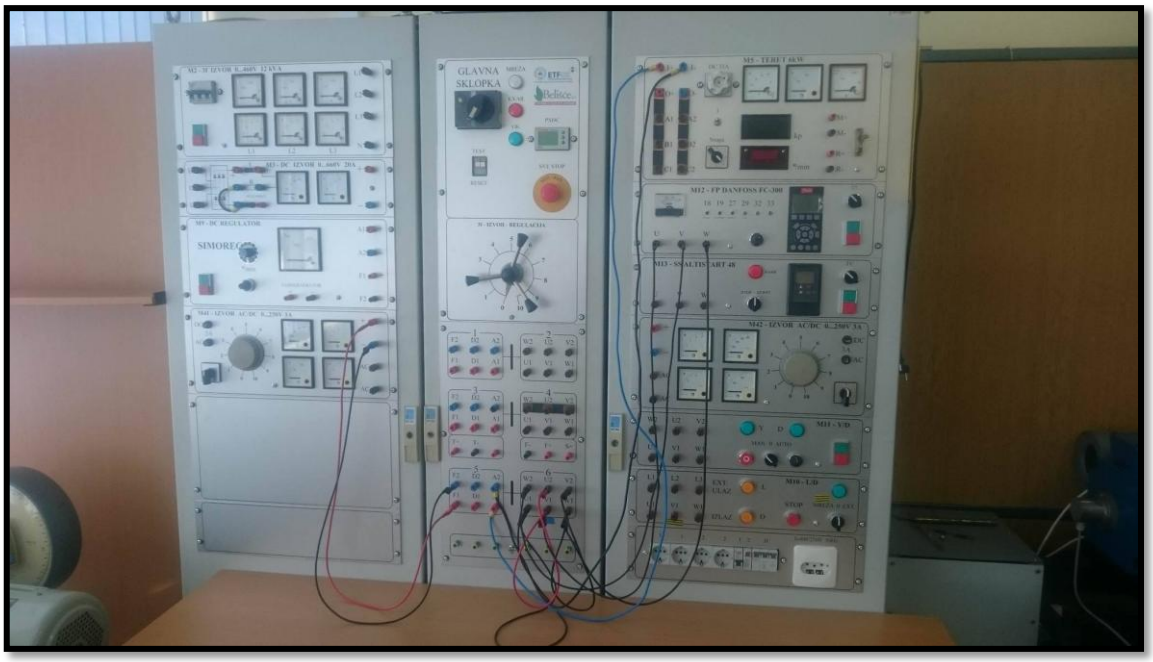
- Code: 1855060
- Model: GM 85
- Snaga: 4 kW
- Nazivna brzina vrtnje: 1460 o/min
- Napon: 220 V
- Struja: 36,5 A



Slika 4.2. Laboratorijski asinkroni motor marke Končar

Na slici 4.2. je prikazan asinkroni motor marke Končar sa slijedećim tehničkim podacima:

- Code: 27666
- Nº 528011
- Tip: 5AZ142M-4B3
- Snaga: 4 kW
- Nazivna brzina vrtnje: 1420 o/min
- Napon spoja trokut: 380 V
- Struja spoja trokut: 8,7 A
- Napon spoja zvijezda: 660 V
- Struja spoja zvijezda: 5 A
- Frekvencija: 50 Hz
- Faktor snage: 0,82
- Isol.: F
- IP: 54
- Standard: IEC34 – 1, VDE0530



Slika 4.3. Slika spoja motora preko frenkvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302

4.1. Mjerenje energetske učinkovitosti motora bez frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302

Kako bi se izmjerila učinkovitist motora bez frekencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 bilo je potrebno spojiti elektromotor bez frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 i zatim izmjeriti podatke koje sam kasnije usporedio s podacima motora kad je motor bio spojen preko frekvencijskog pretvarača i saznati kolika je njegova učinkovitost.

Legenda tablice:

U_{mr} [V] = napon mreže izražen u Voltima

P_1 [kW] = ulazna snaga izražena u kilowatima

n [o/min] = broj okretaja motora izražena u okretajima u minuti

m [kp]= masa izražena u kilopondima

M [Nm] = moment izražen u njutnmetrima

P_{2meh}[kW] = mehanička snaga izražena u kilowatima

f_{mr} [Hz] = frekvencije mreže izražena u Hertzima

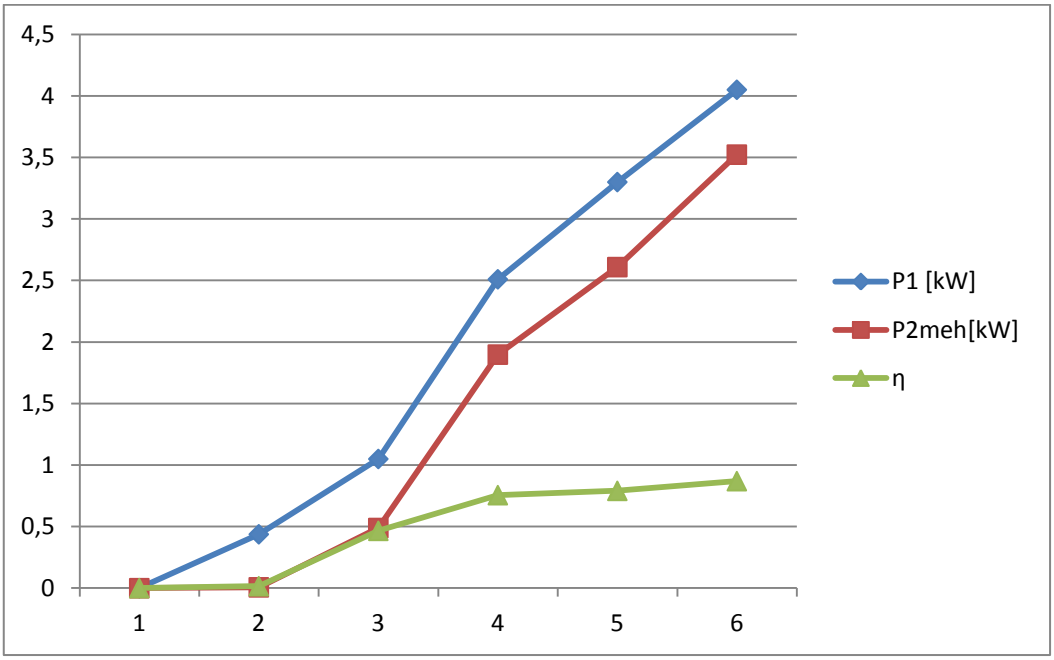
η = korisnost

U nastavku slijedi tablični prikaz s vrijednostima motora spojenog bez frekvencijskog pretvarač Danfoss FC – 302. Snaga je u položaju 3, tj. 4,5 kW koji je priključen na armaturni namot.

Tablica 4.1. Izmjerene vrijednosti motora spojenog direktno na mrežu

Mjerenje	*U_{mr} [V]*	*P_1 [kW]*	*n [o/min]*	*m [kp]*	*M [Nm]*	*P_{2meh}[kW]*	*f_{mr} [Hz]*	*η*
1.	219,3	0	1498	0	0	0	50,01	0
2.	220,9	0,438	1497	0,01	0,047	0,007	50,01	0,016
3.	219,7	1,05	1490	0,67	3,134	0,489	50,02	0,466
4.	219,5	2,51	1473	2,63	12,303	1,898	50,01	0,756
5.	218,9	3,3	1463	3,64	17,082	2,609	50,02	0,791
6.	219,1	4,05	1453	4,57	21,378	3,523	50,01	0,870

Slijedi grafički prikaz izlazne snage i korisnosti temeljem obavljenog mjerenja i izračuna.



Slika 4.3. Izlazna snaga i korisnost asinkronog kaveznog motora

4.2. Mjerenje energetske učinkovitosti motora s frekvencijskim pretvaračem Danfoss FC – 302

U nastavku slijede tablični prikazi obavljenih mjerenja motora spojenog na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja 0, 50, 75 i 100 %. Promjenom kompenzacije klizanja zapisane su vrijednosti u tablice i na osnovu tih tablica su izrađivani grafikoni iz kojih se vidi razlika u energetskoj učinkovitosti.

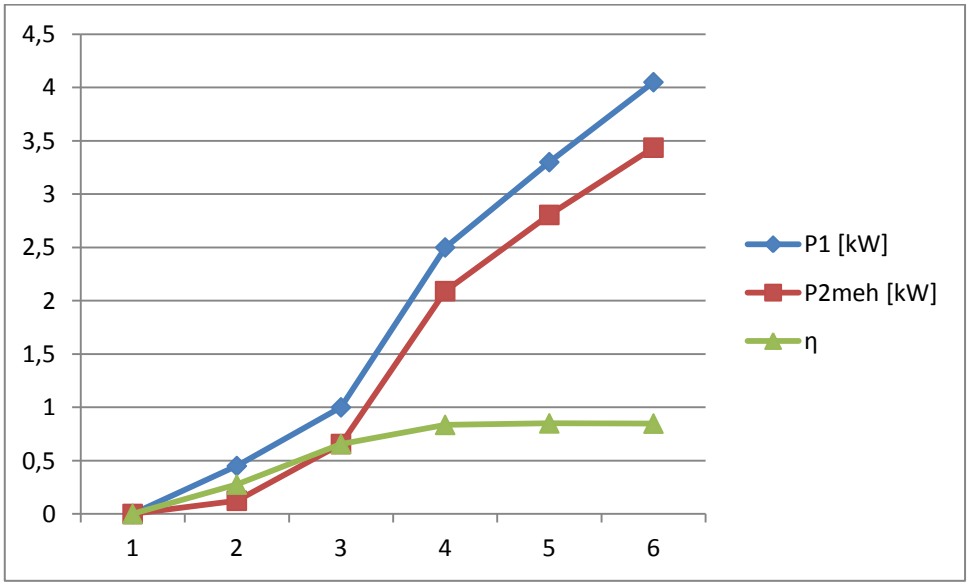
4.2.1. Mjerenje energetske učinkovitosti motora spojenog na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC -302 pri kompenzaciji klizanja 0 %

U nastavku slijedi tablični prikaz vrijednosti dobivenih mjerenjem nakon spajanja motora preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja 0 %.

Tablica 4.2. Vrijednosti motora spojenog preko frekvencijskoga pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja od 0 %

Mjerenje	*U [V]*	*P_1 [kW]*	*n_n [o/min]*	*n_1 [o/min]*	*m [kp]*	*M [Nm]*	*P_{2meh} [kW]*	*f_{mr} [Hz*	*η*
1.	350	0	1420	1418	0	0	0	47,3	0
2.	350	0,45	1420	1416	0,18	0,842	0,124	47,3	0,276
3.	350	1,0	1420	1409	0,95	4,444	0,656	47,3	0,656
4.	354	2,5	1420	1390	3,07	14,361	2,090	47,3	0,836
5.	357	3,3	1420	1380	4,15	19,414	2,805	47,3	0,850
6.	359	4,05	1420	1370	5,12	23,951	3,436	47,3	0,848

U ovoj tablici motor je priključen na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC-302. Postavili smo snagu kao i u prethodnom slučaju na 4,5 kW. Kompenzacija klizanja je na 0. Frekvenciju i nazivnu brzinu vrtnje mjerimo na frekvencijskom pretvaraču. Slijedi grafički prikaz izlazne snage i korisnosti temeljem obavljenog mjerenja i izračuna pri kompenzaciji klizanja od 0 %.



Slika 4.4. Izlazna snaga i korisnost motora spojenog preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja od 0 %

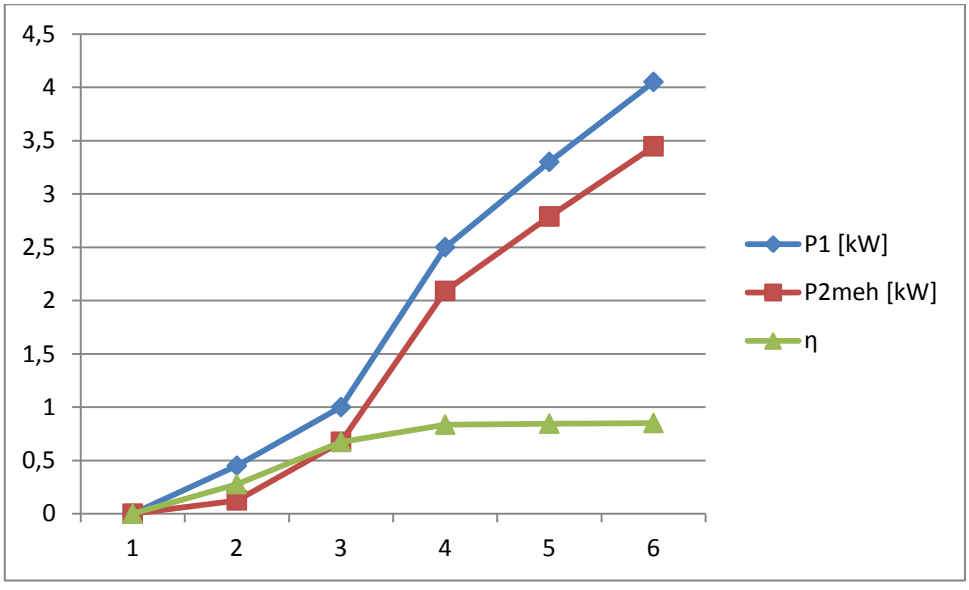
4.2.2. Mjerenje energetske učinkovitosti motora spojenog na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC -302 pri kompenzaciji klizanja 50 %

U nastavku slijedi tablični prikaz vrijednosti dobivenih mjerenjem nakon spajanja motora preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja 50 %.

Tablica 4.3. Vrijednosti motora spojenog preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja od 50 %

Mjerenje	*U [V]*	*P_1 [kW]*	*n_n [o/min]*	*n_1 [o/min]*	*m [kp]*	*M [Nm]*	*P_{2meh} [kW]*	*f_{mr} [Hz]*	*η*
1.	350	0	1420	1420	0	0	0	47,4	0
2.	351	0,45	1420	1420	0,18	0,842	0,125	47,5	0,278
3.	352	1,0	1420	1418	0,97	4,538	0,674	47,6	0,674
4.	359	2,5	1420	1412	3,02	14,128	2,089	48,1	0,836
5.	364	3,3	1420	1409	4,04	18,899	2,788	48,3	0,845
6.	368	4,05	1420	1407	5,00	23,390	3,446	48,5	0,851

U ovoj tablici motor je priključen na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC-302. Postavili smo snagu kao i u prethodnom slučaju na 4,5 kW. Kompenzacija klizanja je na 50. Frekvenciju i nazivnu brzinu vrtnje mjerimo na frekvencijskom pretvaraču Slijedi grafički prikaz izlazne snage i korisnosti temeljem obavljenog mjerenja i izračuna pri kompenzaciji klizanja od 50 %.



Slika 4.5. Izlazna snaga i korisnost motora spojenog preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja od 50 %

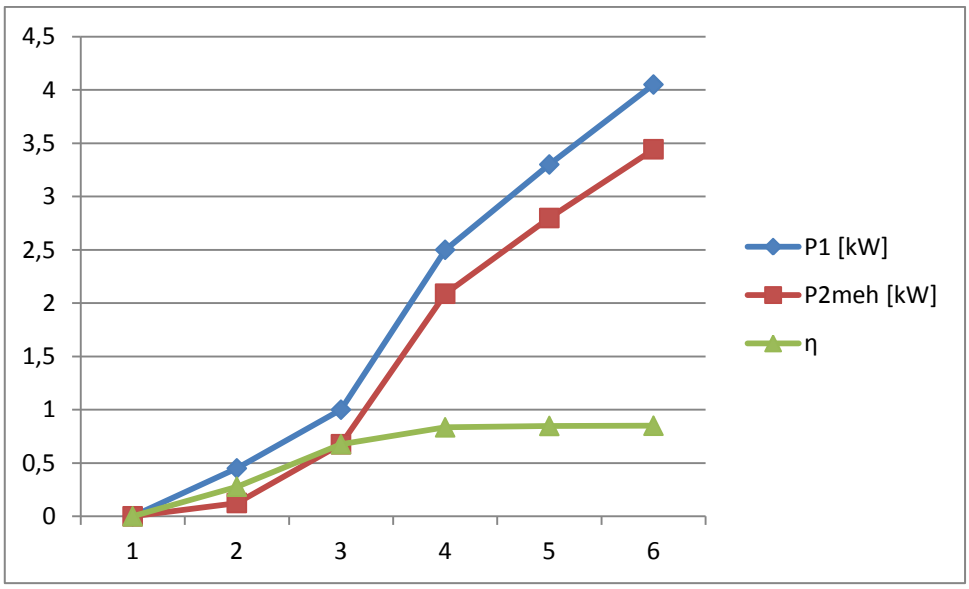
4.2.3. Mjerenje energetske učinkovitosti motora spojenog na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC -302 pri kompenzaciji klizanja 75%

U nastavku slijedi tablični prikaz vrijednosti dobivenih mjerenjem nakon spajanja motora preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja 75 %.

Tablica 4.4. Vrijednosti motora spojenog preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja od 75 %

Mjerenje	*U [V]*	*P_1 [kW]*	*n_n [o/min]*	*n_1 [o/min]*	*m [kp]*	*M [Nm]*	*P_{2meh} [kW]*	*f_{mr} [Hz]*	*η*
1.	350	0	1420	1421	0	0	0	47,4	0
2.	352	0,45	1420	1421	0,18	0,842	0,125	47,5	0,278
3.	354	1,0	1420	1422	0,97	4,538	0,676	47,8	0,676
4.	361	2,5	1420	1421	3,00	14,034	2,088	48,4	0,835
5.	366	3,3	1420	1421	4,02	18,806	2,798	48,7	0,848
6.	371	4,05	1420	1420	4,95	23,156	3,443	49,0	0,850

U ovoj tablici motor je priključen na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC-302. Postavili smo snagu kao i u prethodnom slučaju na 4,5 kW. Kompenzacija klizanja je na 75. Frekvenciju i nazivnu brzinu vrtnje mjerimo na frekvencijskom pretvaraču. Slijedi grafički prikaz izlazne snage i korisnosti temeljem obavljenog mjerenja i izračuna pri kompenzaciji klizanja od 75 %.



Slika 4.6. Izlazna snaga i korisnost motora spojenog preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja od 75 %

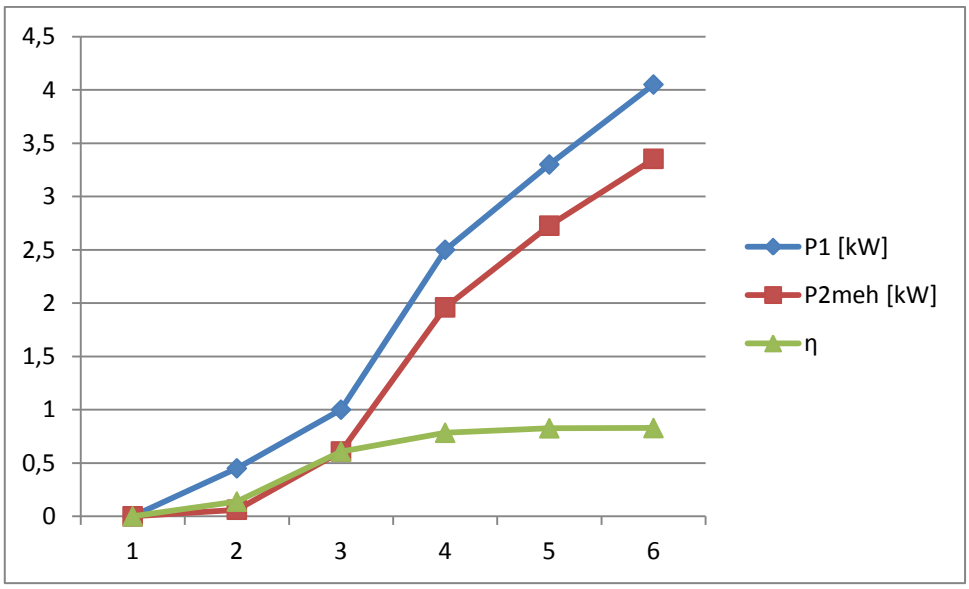
4.2.4. Mjerenje energetske učinkovitosti motora spojenog na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC -302 pri kompenzaciji klizanja 100 %

U nastavku slijedi tablični prikaz vrijednosti dobivenih mjerenjem nakon spajanja motora preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja 100 %.

Tablica 4.5. Vrijednosti motora spojenog preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja od 100 %

Mjerenje	*U [V]*	*P_1 [kW]*	*n_n [o/min]*	*n_1 [o/min]*	*m [kp]*	*M [Nm]*	*P_{2meh} [kW]*	*f_{mr} [Hz]*	*η*
1.	350	0	1420	1422	0	0	0	47,5	0
2.	352	0,45	1420	1423	0,09	0,421	0,062	47,6	0,138
3.	355	1,0	1420	1427	0,87	4,070	0,608	47,9	0,608
4.	364	2,5	1420	1434	2,79	13,052	1,960	48,8	0,784
5.	371	3,3	1420	1438	3,87	18,104	2,726	49,3	0,826
6.	376	4,05	1420	1441	4,75	22,220	3,353	49,7	0,828

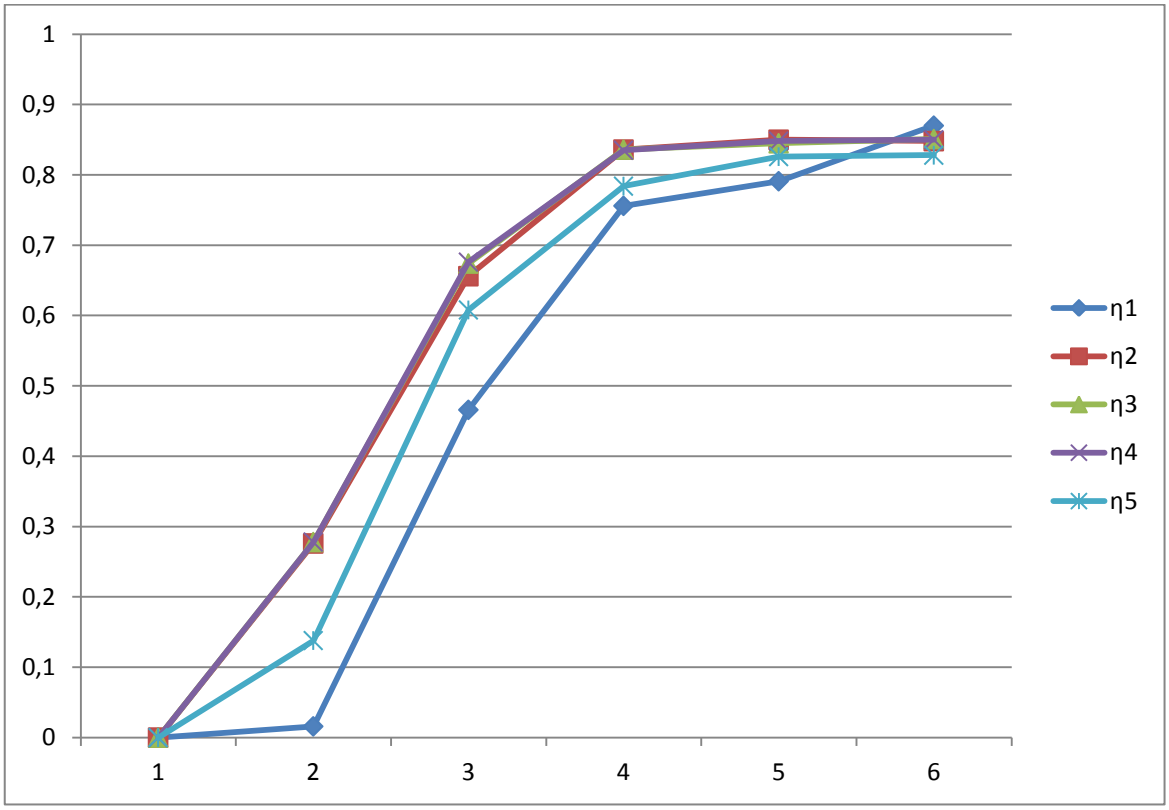
U ovoj tablici motor je priključen na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC-302. Postavili smo snagu kao i u prethodnom slučaju na 4,5 kW. Kompenzacija klizanja je na 100. Frekvenciju i nazivnu brzinu vrtnje mjerimo na frekvencijskom pretvaraču. Slijedi grafički prikaz izlazne snage i korisnosti temeljem obavljenog mjerenja i izračuna pri kompenzaciji klizanja od 100 %.



Slika 4.7. Izlazna snaga i korisnost motora spojenog preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzaciji klizanja od 100 %

5. USPOREDBA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI ASINKRONOG KAVEZNOG MOTORA

Nakon obavljenih mjerenja uspoređene su korisnosti motora spojenog direktno na mreži i spojenog bez i sa frekvencijskim pretvaračem pri kompenzacijama od 0 %, 50 %, 75 % i 100 %. U nastavku slijedi grafički prikaz dobivenih rezultata.



Slika 5.1. Usporedba energetske učinkovitosti kaveznog asinkronog motora sa i bez frekvencijskoga pretvarača Danfoss FC - 302

Kako je vidljivo na slici 5.1., najmanju korisnost ima motor spojen direktno na mrežu za slučaj do 3,3 kW, dok za maksimalnu mjerenu snagu od 4,05 kW motor spojen direktno na mrežu ima najveću korisnost. Motor koji je spojen preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri kompenzacijama klizanja od 0 %, 50 % i 75 % približno su jednake za sve mjerene snage, a motor koji je spojen pri klizanju od 100 % ima manju korisnost od prethodna 3 slučaja, ali veću od motora spojenog direktno na mrežu do snage od 3,3 kW. Iz tih podataka je vidiljivo da najveću energetsku učinkovitost imaju motori koji su spojeni preko frekvencijskog pretvarača pri kompenzacijama klizanja od 0 %, 50 % i 75 %, osim za slučaj maksimalne snage, tada najveću korisnost ima motor koji je spojen direktno na mrežu.

6. ZAKLJUČAK

Svaki elektromotorni pogon se nalazi u dinamičkom, tj. promjenjivom stanju ako mu se tijekom rada njegovi parametri mogu promijeniti. Poznavanje dinamičkog stanja za elektromotorni pogon je vrlo bitno jer svaki elektromotorni pogon unaprijed ima određene maksimalne fizikalne veličine na kojima, stoga se kod odabira uzimaju nazivni podaci koji su veći od maksimalnih predviđenih veličina kako taj pogon ne bi došao u opasnost od pregrijavanja, oštečenja i kvara.

Za izradu ovog završnog rada student je imao na raspolaganju mjerni laboratorij Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Uz nadzor i pomoć mentora spojena je vježba i provedeno je mjerenje. Za potrebe mjerenja korišten je asinkroni kavezni motor marke "*Končar*", istosmjerni generator marke *"Siemens - Schuckert"*, frekvencijski pretvarač Danfoss FC – 302, kablovi i panel za izvođenje vježbi. Prvo je motor spojen direktno na mrežu pa preko frekvencijskog pretvarača pri različitim faktorima kompenzacije klizanja. Motor spojen direktno na mrežu ima najmanju korisnost osim za maksimalnu mjerenu snagu gdje mu je korisnost veća od svih ostalih slučajeva pri toj snazi. Kad je motor spojen preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302 pri faktorima kompenzacijama klizanja od 0, 50 i 75 korisnost je približno jednaka, dok pri faktoru kompenzacije klizanja 100 motor ima jako lošu korisnost, a opet bolju nego motor spojen direktno na mrežu. Iz provedenog mjerenja može se zaključiti kako korištenje frekvencijskog pretvarača u elektromotornom pogonu za rezultat daje uštedu energije, povećanje fleksibilnosti, smanjenje troškova vezanih za servisiranje i rezervne dijelove. Frekvencijski pretvarač Danfoss FC – 302 dizajniran je tako da ima svestranu uporabu. Radi same konstrukcije uređaja ima jako dugačak radni vijek. Opremljen je standardnom opremom koja se može proširiti s 'plug-and-play' opcijama. Poboljšan je izlazni medij pa je korisnicima olakšano rukovanje uređajem.

LITERATURA

[1] http://www.tradekorea.com/product/detail/P413956/Food-Blender-motor(HC70-30A).html, kolovoz 2017.

[2] https://hr.wikipedia.org/wiki/Indukcijski_motor, kolovoz 2017.

[3] Zdravko Valter, Električni strojevi, ETF Osijek 2008, kolovoz 2017.

[4] http://www.koncar-mes.hr/wp-content/uploads/katalog/katalog_elektromotori_2014_trofazni-kavezni-asinkroni-elektromotori.pdf, lipanj 2017.

[5] FER, Asinkroni strojevi i pogoni, https://www.fer.hr/_download/repository/EEPE_2010_2011_AM.pdf , lipanj 2017.

[6] https://www.vfds.com/604-amp-ssw06-weg-soft-starter-SSW060604T2257ESZ , kolovoz 2017.

[7] http://e-elektro.blogspot.hr/2013/08/trofazni-asinkroni-motor-s-kaveznim.html , kolovoz 2017.

[8] https://www.fer.hr/_download/repository/ELESUS_ES_asinkroni_KOLUTNI_WEB_11-12.pdf , kolovoz 2017.

[9] http://www.aip.com.hr/danfoss-vlt-frekvencijski-pretvaraci-opce-namjene/60/ , lipanj 2017.

[10] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/DANFOSS_upute.pdf , prosinac 2016.

[11] Z. Valter / Ž. Špoljarić / K. Miklošević 2008./2009., Laboratorijske vježbe iz Električnih strojeva, srpanj 2017.

[12] https://www.google.hr/search?q=mct+10+set+up+software&espv=2&biw=667&bih=586&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjh0oa3pJXSAhUL3SwKHSqfB4EQ_AUIBigB#imgrc=UWrXDu-DlPX8EM, prosinac 2016.

[13] L. M. Piotrovskij, Električni strojevi, srpanj 2017.

[14] Ivan Flegar, Elektronički energetski pretvarači, kolovoz 2017.

SAŽETAK

U povijesti najveći problem asinkronih motora bila je njihova promjena brzine vrtnje. Ta mogućnost postala je jednostavnija razvojem energetske elektronike, najviše izumom frekvencijskih pretvarača nakon kojih se asinkroni motori koriste u puno više pogona. U svom završnom radu mjerio sam parametre asinkronog motora spojenog direktno na mrežu i spojenog na mrežu preko frekvencijskog pretvarača Danfoss FC – 302. Pomoću izmjerenih parametara izračunao sam izlaznu snagu motora i korisnost. Nakon toga sam napravio slike korisnosti motora i na temelju tih saznanja saznao kako frekvencijski pretvarač djeluje na elektromotorni pogon.

Ključne riječi: Danfoss FC – 302, frekvencijski pretvarač, asinkroni motor, energetska elektronika, elektromotorni pogon, brzina vrtnje

ABSTRACT

Energy efficiency of frequency converter FC – 302

In history, the biggest problem with the asynchronous motors was their change in speed. This possibility has become simpler with the development of energy electronics, the most inventor of frequency converters after which asynchronous motors are used in many more drives.In my final work I have measured the parameters of an asynchronous motor connected directly and connected to the grid via the frequency converter Danfoss FC - 302. Using the measured parameters, I calculated the output power of the motor and its usefulness. After that, I made the graphs of the utility of the engine and learned from these findings how the frequency converter works on the electric drive.

Keywords: Danfoss FC - 302 frequency converter, asynchronous motor, energy electronics, electric motor drive, speed of rotation

ŽIVOTOPIS

Ivan Kraljević rođen je 27.03.1994. godine u Vinkovcima, s prebivalištem u Ivankovu. U Ivankovu je 2008. godine završio osnovnu školu „ August Cesarec.“ Iste godine upisuje „Tehničku školu Ruđera Boškovića“ u Vinkovcima koju završava 2012. godine. Na stručni preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku upisuje se 2012. godine. Aktivno se služi engleskim i njemačkim jezikom, računalom i informatički je pismen. Stručnu praksu obavljao je u Vinkovcima u Vinkovačkom vodovodu i kanalizaciji d.o.o. u trajanju od 360 sati. Nakon završetka stručnog preddiplomskog studija namjera mu nastavak školovanja na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku te po završetku studija raditi u struci.