

Primjena Matlab SimPowerSystems alata pri snimanju karakteristike opterećenja asinkronog motora

Majdenić, Franjo

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:243079>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Stručni studij

**PRIMJENA MATLAB SIMPOWERSYSTEMS ALATA
PRI SNIMANJU KARAKTERISTIKE OPTEREĆENJA
ASINKRONOG MOTORA**

Završni rad

Franjo Majdenić

Osijek, 2017.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 06.07.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite**Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada
na preddiplomskom stručnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Franjo Majdenić
Studij, smjer:	Prediplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A4216, 22.07.2014.
OIB studenta:	29008158752
Mentor:	Dr. sc. Željko Špoljarić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Krešimir Miklošević
Član Povjerenstva:	Dr.sc. Vedrana Jerković-Štil
Naslov završnog rada:	Primjena Matlab SimPowerSystems alata pri snimanju karakteristike opterećenja asinkronog motora
Znanstvena grana rada:	Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	Potrebno je uz korištenje simulacijskog modela za terećenje asinkronog motora izrađenog u Matlab SimPowerSystems okruženju snimiti karakteristike opterećenja asinkronog motora (ovisnost brzine, momenta i struje o mehaničkoj snazi motora). Dobivene karakteristike potrebno je usporediti s karakteristikama dobivenim mjerenjem na stvarnom laboratorijskom motoru snage 4 kW. U radu je potrebno opisati osnovne mogućnosti programskog alata Matlab SimPowerSystems.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	06.07.2017.
<i>Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:</i>	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 17.07.2017.

Ime i prezime studenta:

Franjo Majdenić

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A4216, 22.07.2014.

Ephorus podudaranje [%]:

0

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Primjena Matlab SimPowerSystems alata pri snimanju karakteristike opterećenja asinkronog motora**

izrađen pod vodstvom mentora Dr. sc. Željko Špoljarić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

IZJAVA

Ja, Franjo Majdenić, OIB: 29008158752, student/ica na studiju: Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika, dajem suglasnost Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek da pohrani i javno objavi moj **završni rad**:

Primjena Matlab SimPowerSystems alata pri snimanju karakteristike opterećenja asinkronog motora

u javno dostupnom fakultetskom, sveučilišnom i nacionalnom repozitoriju.

Osijek, 17.07.2017.

potpis

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Opis zadatka	1
2. ASINKRONI KAVEZNI MOTORI	2
2.1. Konstrukcije asinkronih strojeva	2
2.2. Princip rada asinkronih motora.....	4
2.3. Energetska bilanca asinkronih motora.....	5
2.4. Osnovni podaci asinkronih motora.....	6
2.5. Nadomjesna shema asinkronih motora.....	7
3. MATLAB PROGRAMSKI ALATI.....	9
3.1. Matlab.....	9
3.2. Simulink.....	11
3.3. SimPower Systems	13
3.4. Simulacijski model asinkronog motora	20
4. TEREĆENJE ASINKRONOG MOTORA	24
5. SIMULACIJA TEREĆENJA ASINKRONOG MOTORA.....	31
5.1. Usporedba rezultata	33
6. ZAKLJUČAK	39
LITERATURA.....	40
SAŽETAK.....	41
ABSTRACT	41
ŽIVOTOPIS	42
PRILOZI.....	43

1. UVOD

Asinkroni motori su električni rotacijski strojevi koje je patentirao Nikola Tesla 1888. godine. Rade na principu transformacije električne energije u mehaničku posredstvom magnetskog polja.

Zbog jednostavnosti izvedbe i konstrukcije, primjenjuju se na većini današnjih područja. Jedna od osnovnih ispitivanja koje se vrše na asinkronim motorima je ispitivanje karakteristika opterećenja.

SimPowerSystems je programski alat koji se dolazi u paketu sa programom Matlab. Sadrži gotove funkcijske blokove električnih strojeva, pogona i komponenti vezanih uz elektrotehniku, preko kojih se simulira ponašanje strujnih krugova, strojeva i pogona u određenim okolnostima.

U drugom poglavlju se opisuju asinkroni motori, njihova konstrukcija, princip rada, energetska bilanca i podaci s natpisne pločice.

Treće poglavlje opisuje programski paket Matlab, njegovu strukturu, način programiranja, Simulink, blokove SimPowerSystems paketa.

U četvrtom poglavlju se posmatra pokus terećenja asinkronog motora, mjerenje njegovih karakteristika pri opterećenjima, izračun i prikazi ovisnosti o mehaničkoj snazi.

U petom poglavlju se opisuje simulacija terećenja motora, te se uspoređuju rezultati simulacije sa stvarnim mjerenjem u laboratoriju.

1.1 Opis zadatka

Potrebno je uz korištenje simulacijskog modela za terećenje asinkronog motora izrađenog u Matlab SimPowerSystems okruženju snimiti karakteristike opterećenja asinkronog motora (ovisnost brzine, momenta i struje o mehaničkoj snazi motora). Dobivene karakteristike potrebno je usporediti s karakteristikama dobivenim mjerenjem na stvarnom laboratorijskom motoru snage 4 kW. U radu je potrebno opisati osnovne mogućnosti programskog alata Matlab SimPowerSystems

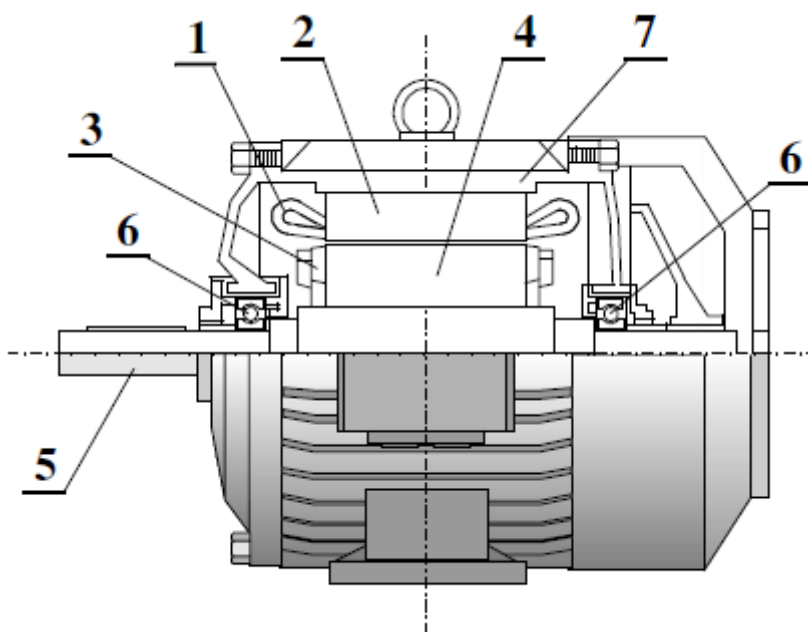
2. ASINKRONI KAVEZNI MOTORI

2.1. Konstrukcije asinkronih strojeva

Asinkroni stroj se može koristiti kao motor i kao generator, najčešće se upotrebljava kao motor. Razlika između sinkronog stroja i asinkronog stroja je u tome što rotor nije napajan iz vanjskog izvora (cilindrični i istaknuti polovi), nego se struje induciraju okretnim poljem, često se takvi strojevi zovu i indukcijski motori.

Kako bi se postigli inducirani naponi u vodičima rotora, potrebna je razlika brzina između brzine okretnog polja i rotora, inače se neće stvoriti okretni moment[1, 2].

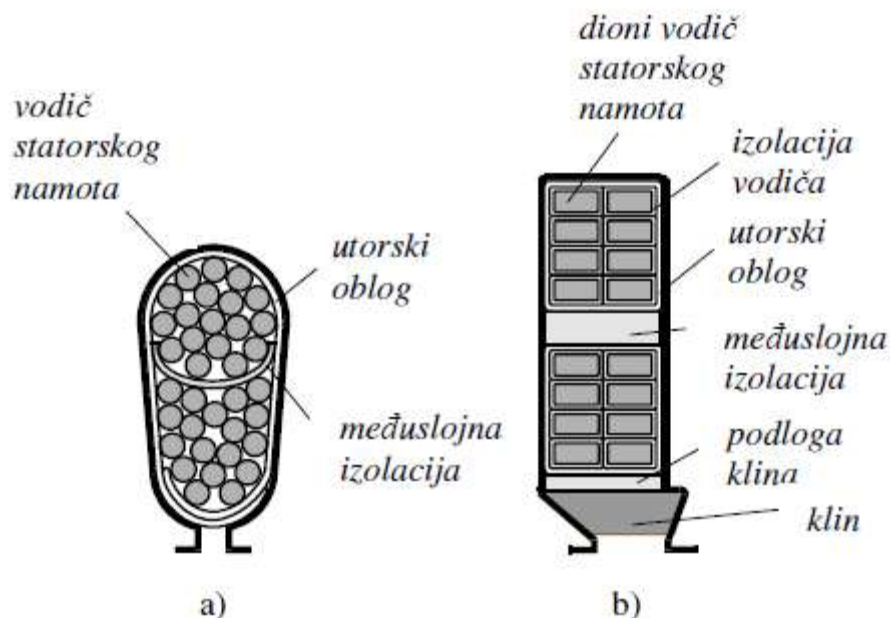
„Upotreba asinkronih motora je vrlo široka, nalazi ga se svugdje, gdje postoji izmjenična struja, u industriji, u kućanstvu, u poljoprivredi itd. Zbog mnogih svojih dobrih svojstava asinkroni motor potisnuo je sve druge električke strojeve iz široke primjene“[3, 198.str.].



Slika 2.1. Uzdužni presjek gornjeg dijela asinkronog kaveznog motora: 1 – statorski namot, 2 – paket statora, 3 – kavezni namot, 4 – paket rotora, 5 – osovina, 6 – ležaj, 7 – kućište [2]

Stator je komponiran od statorskog paketa, statorskog namota, kućišta.

Statorski paket je izrađen u obliku šupljeg valjka od izoliranih prstenastih magnetskih limova (dinamo limovi), a uzduž se postavlja armaturni namot (jednoslojni ili dvoslojni). Statorski namot izvodi se kao trofazni, spojen u trokut ili zvijezdu, okruglog ili pravokutnog presjeka[2].

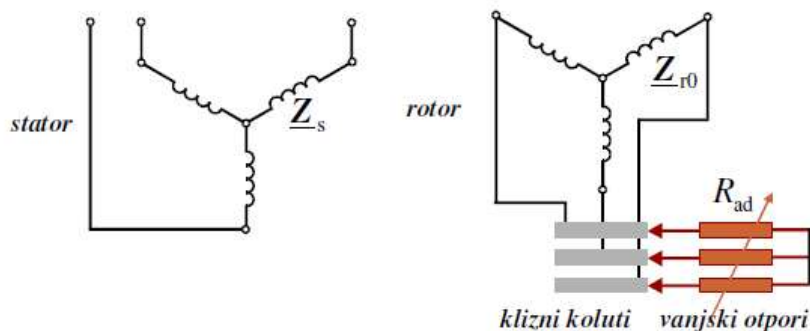


Slika 2.2. Oblici statorski utora s vodičima: a) poluzatvoreni ,b) poluotvoreni [2]

„Kućište stroja služi kao nosač i zaštita željeznog paketa i namota stroja. Izrađuje se od lijevanog željeza, valjanog čelika ili silumina (legura aluminija). S vanjske strane kućište često ima rebra za povećanje površine hlađenja. Bočne strane kućišta su napravljene kao poklopci koji se nazivaju ležajnim štitovima. U srednjem dijelu ležajnih štitova su ležaji za osovinu na kojoj se nalazi rotor. Na kućištu motora se nalazi priključna kutija na kojoj su stezaljke vezane s krajevima statorskog namota“[2, 88.str.].

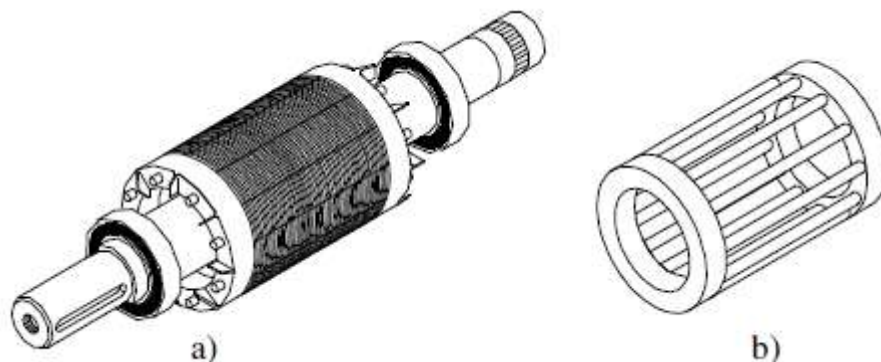
Rotor je komponiran od rotorskog paketa, namota i osovine. Rotorski paket ima oblik valjka s međusobno izoliranim magnetskim limovima. Uzduž paketa su utori za smještaj rotorskog namota. Rotorski namot može biti izveden od svitaka (klizno-kolutni) i od štapova (kavezni).

Klizno-kolutni rotor ima višefazni namot, početci su najčešće spojeni u zvijezdu, te klizne kolutove na koje se mogu spojiti vanjski otpori. Vanjski otpori utječu na ukupni radni otpor, te mijenjaju momentne karakteristike motora. Otpori su spojeni preko četkica na klizne kolutove[2].



Slika 2.3. Shematski prikaz klizno-kolutnih asinkronih motora [2]

Druga izvedba je sa kaveznim rotorom, u utorima su postavljeni vodiči u obliku štapova koji su kratko spojeni prstenovima, te tako čini višefazni namot.



Slika 2.4. Rotor i kavez asinkronog kaveznog motora [2]

„Budući da su utori jednoliko raspoređeni po obodu i da su štapovi međusobno jednaki, ovakav namot je simetričan. Sve dok je namot simetričan može imati proizvoljan broj faza. Ovakav namot će u okretnom polju stvoriti simetričan višefazni sustav induciranih napona i struja koje su nužan uvjet za stvaranje momenta“[2, 90.str.].

Za srednje i velike snage motora se koristi uložni namot od bakrenih štapova, dok kod manjih snaga se koristi lijevani kavezni namot od aluminija ili silumina[2].

U ovome radu se razmatraju asinkroni kavezni motori.

2.2. Princip rada asinkronih motora

Rad asinkronih motora je temeljen na:

Općem zakonu indukcije (Faradayev zakon)[2]:

$$e = \frac{\Delta\phi(t)}{\Delta t} \quad (2-1)$$

Ampereovom zakonu protjecanja[2]:

$$\oint \vec{H} * \Delta \vec{l} = \Theta \quad (2-2)$$

Zakonu sile u magnetskom polju[2]:

$$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B}) \quad (2-3)$$

Na trofazni izmjenični napon se priključuje statorski namot asinkronog motora preko priključne kutije. Iz mreže u trofazni statorski namot protiče izmjenična struja, koja stvara Teslino okreno magnetsko polje sinkrone brzine[3]:

$$n_s = \frac{60*f}{p} \quad (2-4)$$

Okretno polje izlazi iz statora okomito na rotor (radijalni smjer), presijeca vodiče rotora i preko zračnog raspora se zatvara u stator. U rotoru će se inducirati elektromotorna sila (EMS). Da bi potekla struja, rotorski strujni krug mora biti zatvoren (kod kaveznih AM je uvijek ispunjeno). Inducirani napon u rotoru će protjerat kroz vodiče struju, koja ovisi o induciranom naponu u namotu rotora i impedanciji rotorskog namota. Zakretni moment koji okreće osovinu je posljedica struje u rotorskom namotu. Zakretni moment uzrokuje okretanje osovine rotora, koja pokušava dostići sinkronu brzinu magnetskog polja. Motor postiže najveću asinkronu brzinu pri praznom hodu, protumomenti koji se tada javljaju su uzrokovani zbog trenja u ležajevima i otporima zraka. Kada bi brzina rotora bila jednaka sinkronoj brzini okretnog magnetskog polja, motor ne bi postigao okretni moment i ne bi postojala pretvorba električne energije u mehaničku [2, 3].

Kod svih asinkronih strojeva postoje gubitci, te je izlazna energija uvijek manja za određeni W_d [2].

$$W = W_{in} - W_d \quad (2-5)$$

W_{in} – Dovedena energija

W_d – Gubitci energije

Jednaka stvar se odnosi na snage [2]:

$$P = P_{in} - P_d \quad (2-6)$$

P_{in} – Dovedena snaga

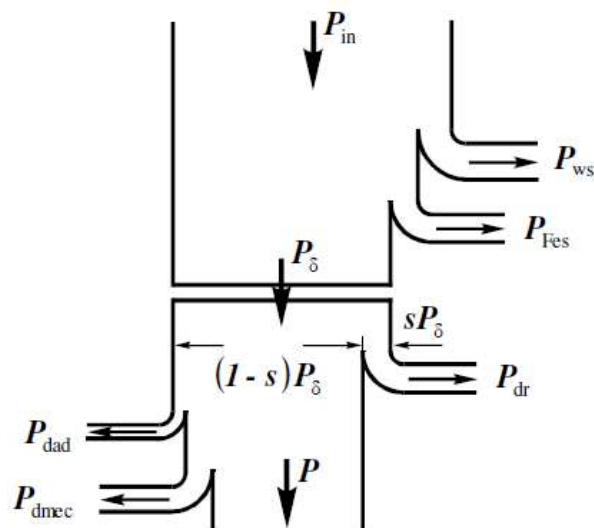
P_d – Gubitci snage

Korisnost ili ekonomičnost [2]:

$$\eta = \frac{P}{P_{in}} < 1, \quad (2-7)$$

2.3. Energetska bilanca asinkronih motora

Dio snage uzete iz statora se gubi u statoru, a veći dio se prenosi elektromagnetskom indukcijom preko zračnog raspora. Dio snage koju uzima stator gubi se u statorskom namotu i u željezu statora. Gubitci u željezu statora su izraženi kod praznog hoda.



Slika 2.5. Energetski dijagram askinkronog motora [2]

Gubitci koji se javljaju u rotoru su uzrokovani trenjem, ventilacijom, zbog viših harmonika i električni gubitci (najčešće gubitci u bakru rotora).

P_{in} – Električna snaga koja se uzima iz mreže

P_{ws} – Gubitci u statorskom namotu

P_{Fes} – Gubitci u željezu statora

P_{δ} – Snaga zračnog raspора

P_{dr} – Električni gubitci u rotoru

P_{dad} – Gubitci uslijed viših harmonika magnetskog polja

P_{dmec} – Gubitci zbog trenja i ventilacije[2, 3]

2.4. Osnovni podaci asinkronih motora

Natpisna pločica prikazuje osnovne podatke o motoru.

KONČAR		made in
Croatia		
Code 276684		Nr 528011
3 $\approx$	Type 5AZ 112-M4	B3
Δ/Y	380/660 V	8,7 / 5 A
4 kW		0,82 cos φ
50 Hz		1420 min ⁻¹
t ₀ °C	Isol.F	IP 54 S1
IEC34-1 VDE0530		

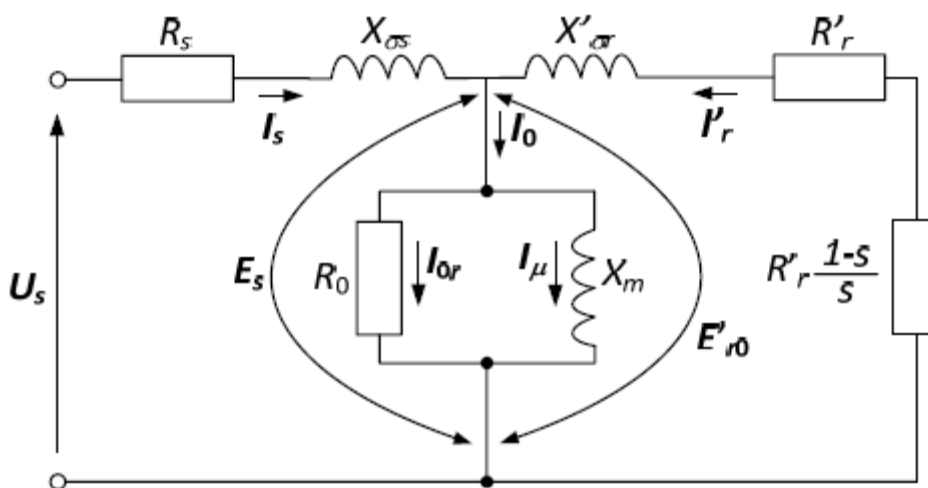
Slika 2.6. Primjer natpisne pločice askinkronog motora [4]

Podaci s natpisne pločice(Sl. 2.6.):

- Pri vrhu pločice su podaci o proizvođaču, zemlji podrijetla i šifri proizvoda.
- 3 $\approx$ trofazni stroj za izmjeniču struju
- Tipna oznaka daje podatke o elektroničkim i mehaničkim izvedbama (5AZ 112-M4)
- Izvedbeni oblik opisuje načine postavljanja i spajanja radnog mehanizma koji su definirani normama(B3)
- Informacije o nazivnom naponu, struji i spoju pri nazivnom opterećenju
- Nazivna snaga i faktor snage
- Nazivna frekvencija i brzina vrtnje pri nazivnom opterećenju
- Temperaturna klasa (F)
- Stupanj zaštite (IP54)
- Vrsta pogona (S1-stalni rad s opterećenjem)[4]

2.5. Nadomjesna shema asinkronih motora

Primjenom nadomjesne sheme možemo prikazati asinkroni motor, te izvoditi izračune za struje, momente i snage.



Slika 2.7. Nadomjesna shema asinkronog motora [5]

$R_s, X_{\sigma s}$ - Statorski otpor, rasipna reaktancija

X_m – Reaktancija uzrokovana magnetiziranjem

R_0 – Otpor uzrokovan gubitcima u željezu

$R'_r, X'_{\sigma r}$ - Rotorski otpor i rasipna reaktancija preračunati na statorsku stranu

E_s – Statorski inducirani fazni napon

E'_{r0} – Rotorski inducirani fazni napon preračunat na statorsku stranu

$R'_r (1 - s)/s$ - ekvivalent mehaničkog rada [5]

Parametri koji se koriste u ovome radu:

Tablica 2.1. Parametri korištenog asinkronog motora

R_s	1,3088 Ω
$X_{\sigma s}$	1,9375 Ω
R'_r	1,0454 Ω
$X'_{\sigma r}$	1,9375 Ω
X_m	48,406 Ω

Podaci u tablici 2.1. su dobiveni pomoću frekvencijskog pretvarača Danfoss FC 302.

Varijable $X_{\sigma s}$, $X'_{\sigma r}$ i X_m se dobiju izračunom iz formule[2]:

$$X_{\sigma s, \sigma r, m} = L_{\sigma s, \sigma r, m} * \omega \quad (2-8)$$

Gdje je kružna frekvencija[2]:

$$\omega = 2 * \pi * f = 2 * \pi * 50 \quad (2-9)$$

Vrijednosti induktiviteta:

Tablica 2.2. Preračunate vrijednosti

L_m	0,154 H
$L_{\sigma s}$	6,167 mH
$L_{\sigma r}$	6,167 mH

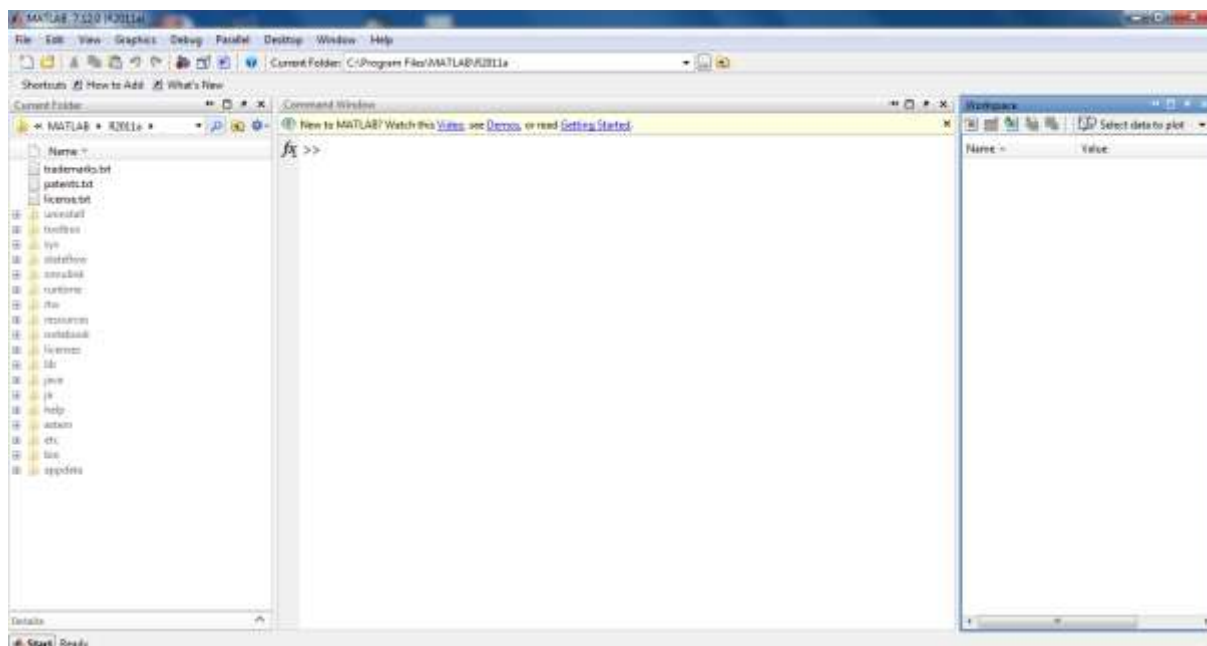
3. MATLAB PROGRAMSKI ALATI

U ovome poglavlju se opisuje programski paket Matlab, njegove osnovne značajke. Alati koji dolaze u programskom paketu: Simulink, SimPowerSystems. Blokovi koji su korišteni u simulink-u, te postavke simulacije. Biblioteke SimPowerSystems, te detaljno opisan simulacijski blok asinkronog motora.

3.1. Matlab

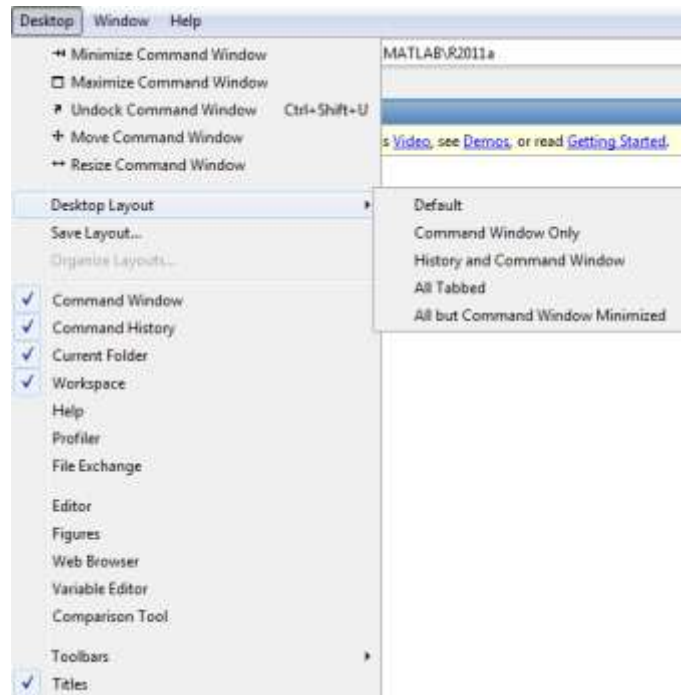
Matlab (engl. **MA**Trix **LAB**oratory) se koristi pri rješavanju raznih matematičkih problema, te izračunavanja i simulacija vezanih za obradu signala, upravljanje, regulaciju sustava. Osim osnovnog paketa za računske operacije, postoje druge razni paketi. SIMULINK je dodatak MATLAB-u za simulaciju kontinuiranih i diskretnih sustava pomoću funkcijskih blokova i dijagrama stanja.

Podaci se promatraju kao matrice, koje se zapisuju u double-float oblika zbog visokog dinamičkog raspona i točnosti[6, 7].



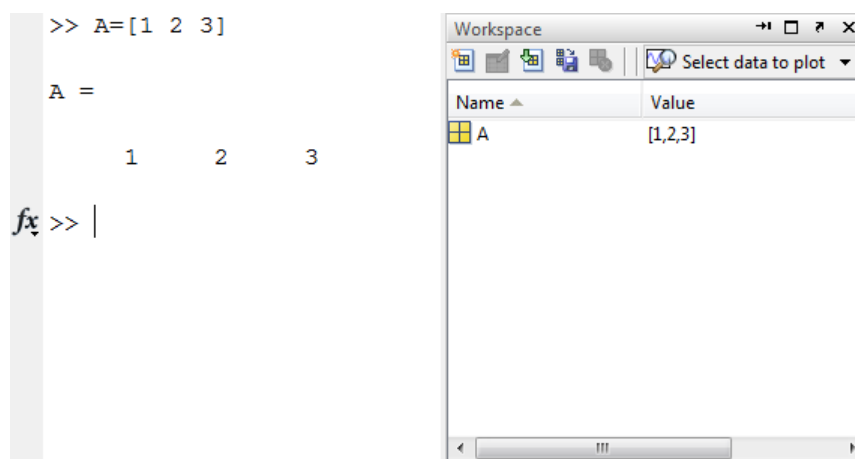
Slika 3.1. Početni prozori Matlaba verzije 7.12.0. R2011a [8]

Početni prozori koji se pojavljuju su: Command Window, Current Folder i Workspace. Command Window služi za unos naredbi, Current Folder sadrži pohranjen datoteke, a Workspace je prozor sa pohranjenim varijablama. Odabir početnih sučelja se može odabrati na traci Desktop[7].



Slika 3.2. Kartica sa izborom sučelja [8]

U Command window se unose varijable te se mogu izvršavati računske operacije



Slika 3.3. Primjer upisa varijable i njeno pohranjivanje u Workspace-u [8]

Osim računskih operacija, mogu se unositi naredbe za grafičke prikaze pojedinih podataka, kao naredba plot, matlab posjeduje svojstvo informacija funkcija, pa je moguće unosom naredbe help plot u command window vidjeti što sve funkcija može izvršiti.

Grafički prikaz na slici 4.3. Dobije se unosom naredbi:

```

>> P1=[5000 4500 4250 4000 3500 3250 2875 2000 1250 875 375]% unos vektora snage P1
>> P2=[4346 4029 3777 3531 3162 2824 2517 1801 1092 650 139]% unos vektora snage P2
>>x=139:1:4346;                %postavljanje x-ordinate za interpolaciju
>>figure                        %otvaranje novog prikaza
>>plot(x,interp1(P2,P1,x,'spline')) %iscrtava 2D prikaz pomoću interpolacijskih polinoma,
                                čime se dobiva glada krivulja
>> title('P2=f(P1)')           %Iznad ovisnosti ispisuje naslov P2=f(P1)
>>ylabel('El.snaga[W]')         %na y-osi daje oznaku El.snaga[W]
>>xlabel('Meh.snaga[W]')        %na x-osi daje oznaku Meh.snaga[W]
>>grid                          %postavlja mrežu na prikaz

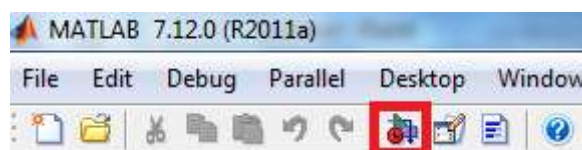
```

Naredbe se mogu unijeti u Command windowu ili preko mfile skripti.

Jedan od važnijih dodatnih paketa matlaba je simulink.

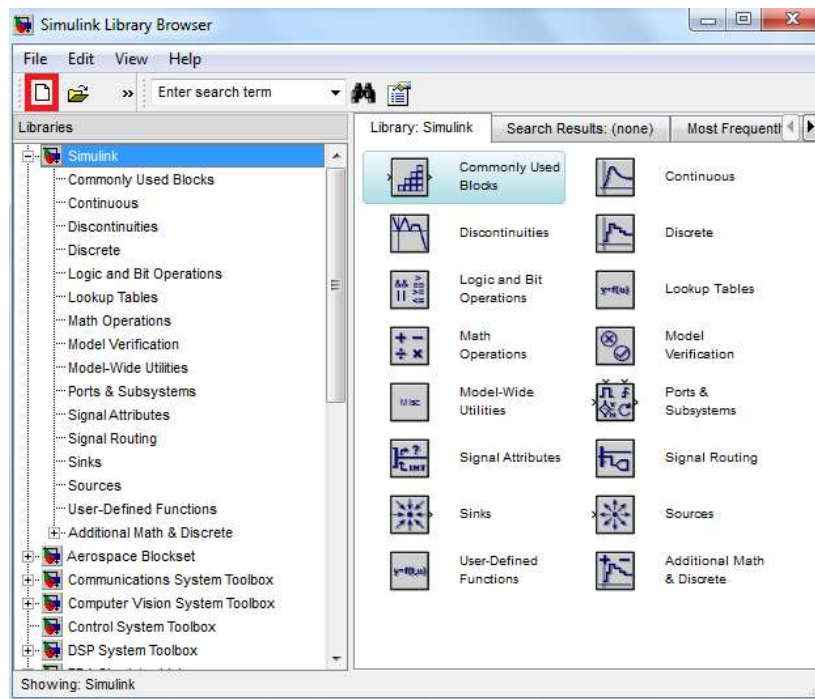
3.2. Simulink

„Simulink predstavlja grafički alat koji koristi matematičku ljusku Matlaba kako bi se provela simulacija sustava. Izgradnja simulacijskog modela unutar Simulinka obavlja se na jednostavan način korištenjem biblioteke gotovih grafičkih blokova. Osim postojećih blokova korisnik može napisati i vlastite blokove koristeći bilo Matlabove m-funkcije ili funkcije napisane u programskom jeziku C/C++ (S-funkcije)“[9]. Simulink se pokreće naredbom „simulink“ u Command Windowu ili pritiskom na gornju ikonu.



Slika 3.4. Ikona za pokretanje simulink-a [8]

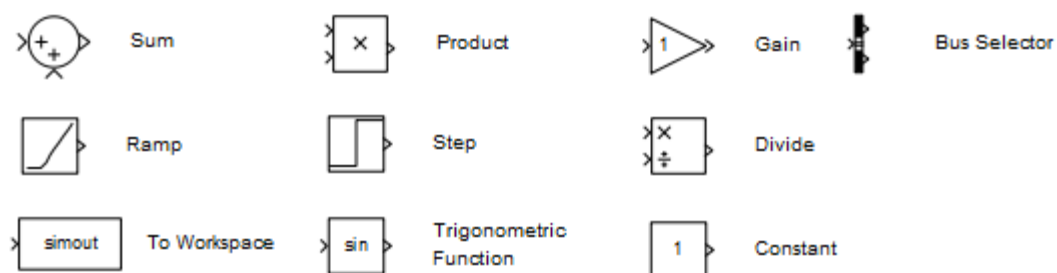
U simulinku se opisuju dinamički sustavi pomoću diferencijalnih jednadžbi, simulink library browser sadrži biblioteke sa blokovima za simulaciju: kontinuiranih signala, diskretnih signala, logičkih operacija, look-up tablice, matematičkih operacija, izvore signala, itd.



Slika 3.5. Simulink Library Browser prozor [8]

Kreiranje novog modela se omogućuje ikonom u gornjem lijevom kutu (Sl. 3.5.), a otvaranje već postojećih modela ikonom pored nje.

Blokovi koji se koriste u ovom radu iz biblioteke simulink:

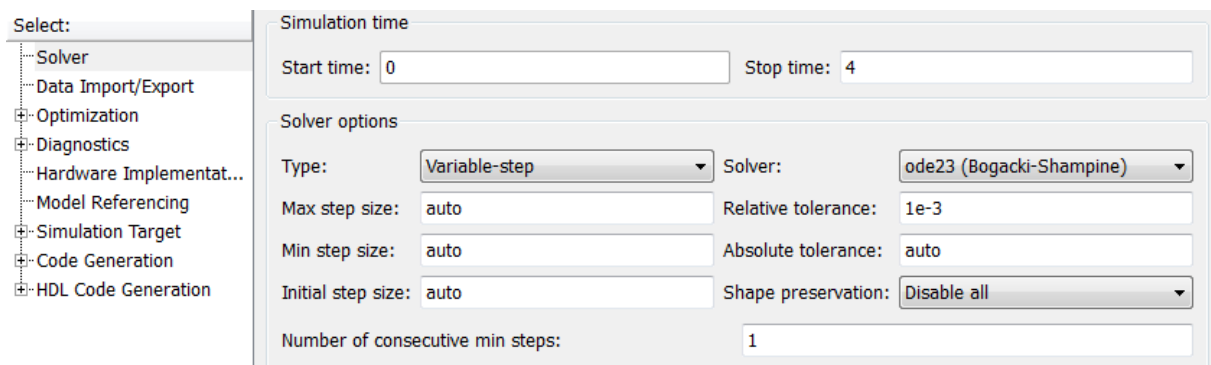


Slika 3.6. Blokovi u simulinku

- **Sum**(zbrajalo) sumira dva signala ili signal s konstantnom,
- **Product** množi dva ulazna signala,
- **Gain**(pojačalo) množi signal s konstantom,
- **Bus Selector** demultipleksiranje ulaznih signala
- **Ramp** je izvor signala koji nakon pokretanja linearno raste
- **Step** je izvor signala koji nakon određenog trenutka postavlja konačnu vrijednost
- **Divide** dijeli ulazne signale
- **To Workspace** blok pohranjuje signal u Workspace

- **Trigonometric Function** blok pretvara ulazni signal u vrijednosti trigonometrijske funkcije ili funkciju u radijane
- **Constant** na izlazu daje konstantnu vrijednost [9]

Simulacija se pokreće pritiskom simbola trokuta na gornjoj traci ili u traci Simulation/Start. Parametri simulacije se postavljaju pod Simulation/Configuration parameters. Pod stavkom solver, se postavlja vrijeme simulacije, numerički način rješavanja diferencijalnih jednačbi, (najkoršteniji ode23 i ode45), te postupci upravljanja sa promjenjivom duljinom koraka(Variable-step i fixed step).

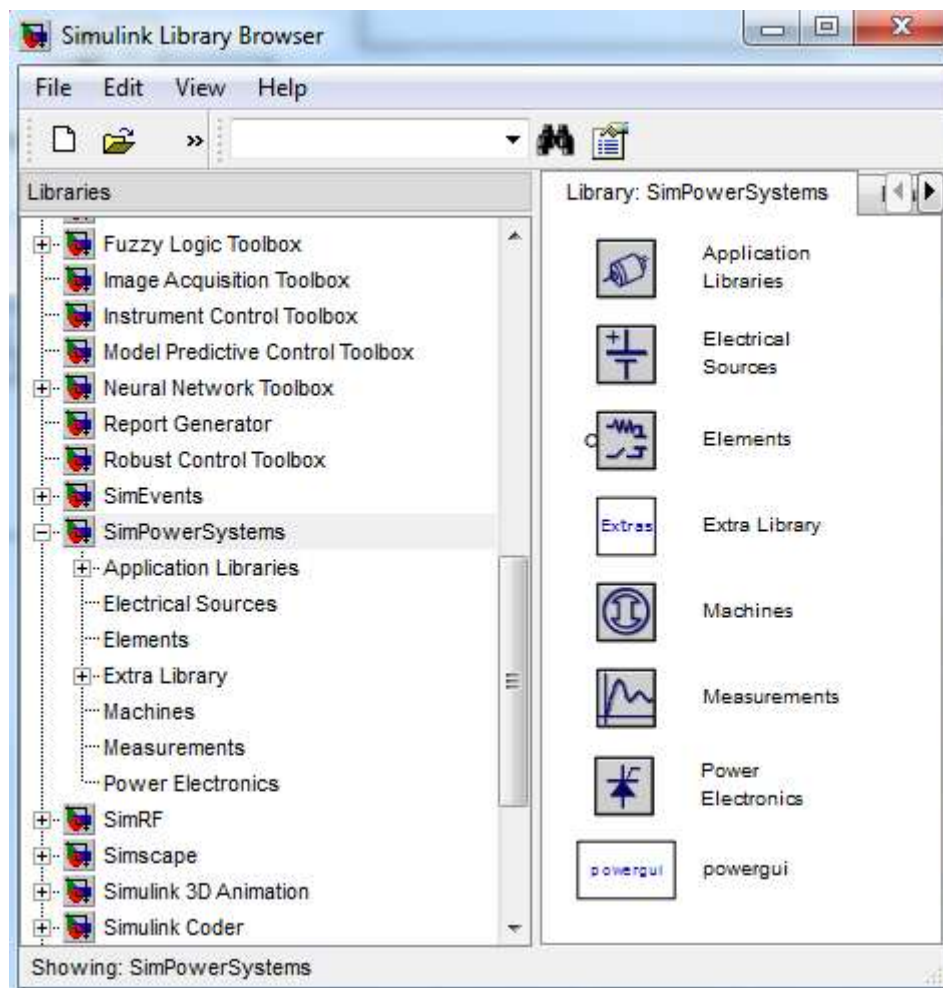


Slika 3.7. Postavke parametara simulacije [8]

Parametri simulacije su postavljeni po uobičajenoj konfiguraciji u matlabu, jedino je promjenjen parametar numeričkih postupaka solver sa ode45(Dormand-Prince) na ode23(Bogacki-Shampine). Metoda ode23 je efikasnija kod grubljih tolerancija, pri tome se dobije „glada“ krivulja[7, 9].

3.3. SimPower Systems

Simulink library browser osim biblioteke simulink sadrži i razne druge, jedna od tih biblioteka je i SimPowerSystems. SimPower Systems sadrži biblioteke sa komponentama i analitičkim alatima za modeliranje i simulaciju električnih sustava. Biblioteka uključuje i modele trofaznih strojeva, električnih pogona i komponenta vezanih uz FACTS sustave i obnovljive izvore energije[10].

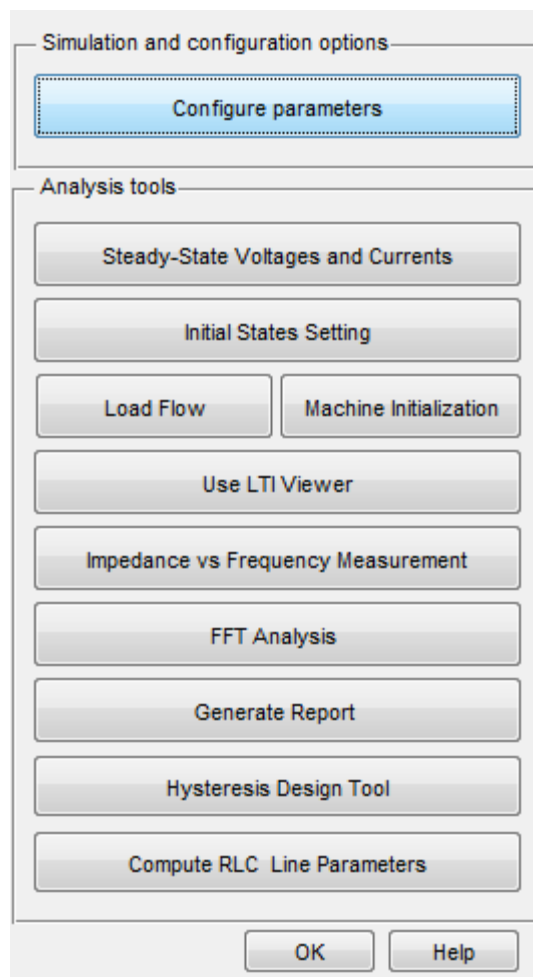


Slika 3.8. Naslovna SimPower biblioteka [8]

Informacije o blokovima mogu se vidjeti, ako se ide na naredbu help/Simulink help pod SimPowerSystems u kartici Contents. Pokretanje SimPower biblioteke moguće je iz Command Window-a unosom naredbe „Powerlib“[7].

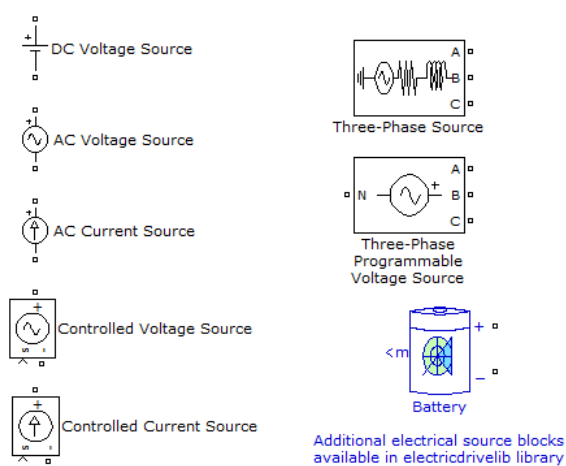
Blok koji je uvijek potreban pri simulaciji s SimPower blokovima je Powergui.

Powergui blok omogućuje metode izvođenja simulacije: kontinuiranu(koristi variable-step solver), diskretnu(fixed-step, postavlja se vrijeme uzorkovanja) i fazorsku metodu[11].



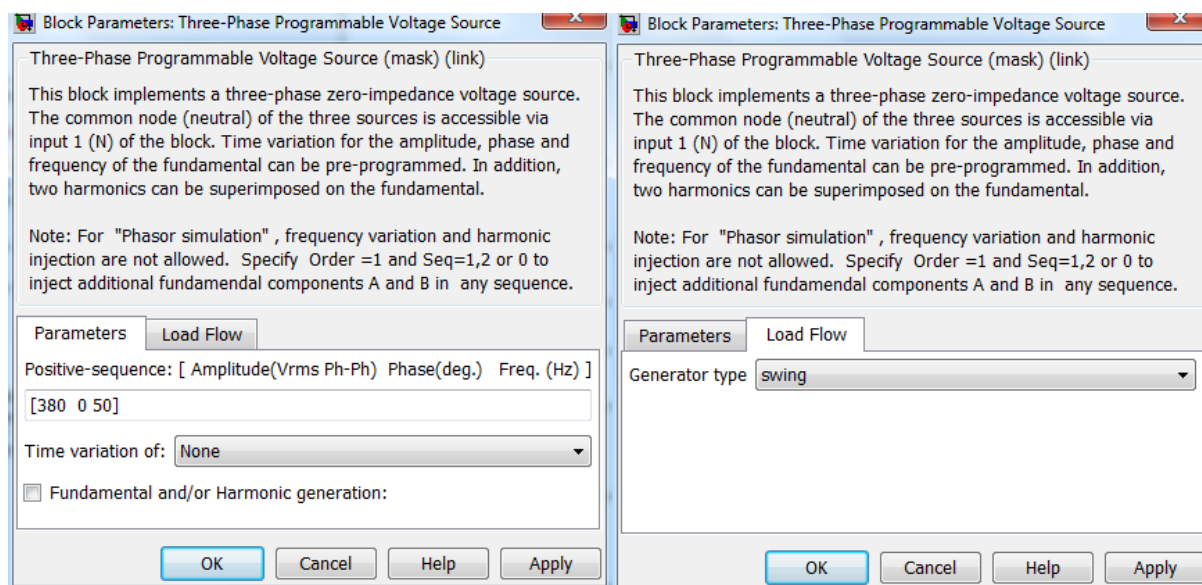
Slika 3.9. Glavne izbornik Powergui bloka [8]

Pod stavkom Configure parameters osim izvođenja simulacije može postavljati load-flow parametre (frekvencija, privdna snaga...), i još ostale postavke simulacije.



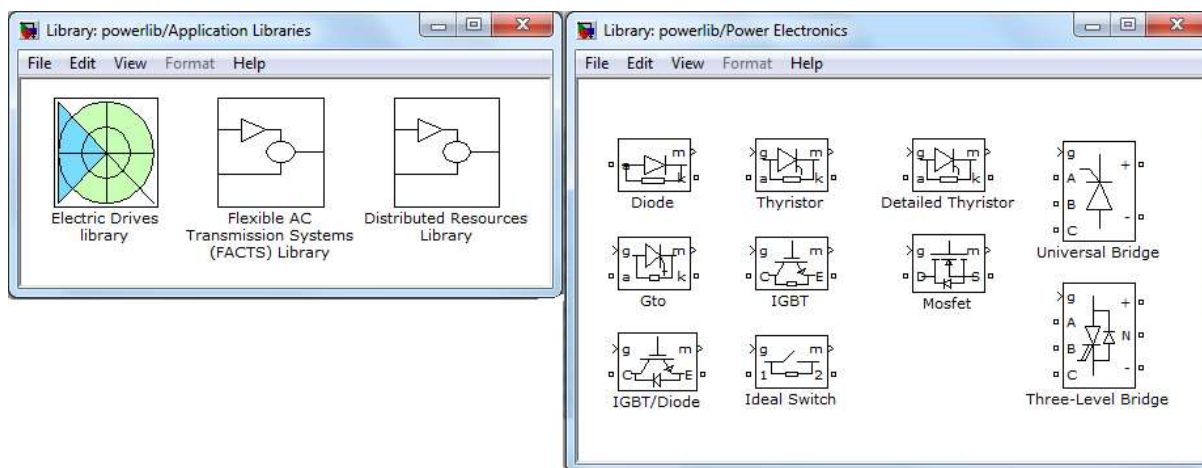
Slika 3.10. Electrical source blokovi [8]

Pod bibliotekom electrical sources imamo izvore napajanja za istosmjerne i izmjenične strujne krugove, u radu se koristi Three-Phase Programmable Voltage Source.



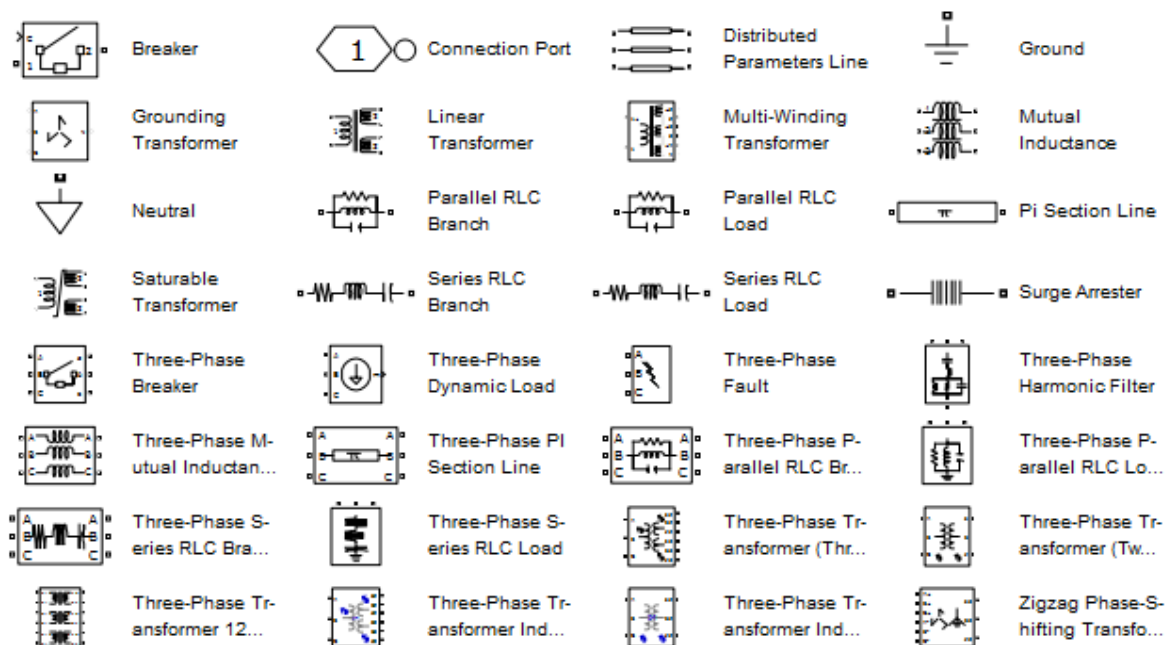
Slika 3.11. Kartice bloka [8]

Napon je postavljen na 380V i frekvenciju 50Hz, vremenske varijacije nisu postavljene, te izlaznom amplitudom ne upravljaju radne i jalove energije[12].



Slika 3.12. Biblioteke Application libraries i Power Electronics [8]

Biblioteka Application libraries sadrži blokove električnih pogona, FACTS sustava i blokove distribuiranih resursa(vjetro-turbine). Power electronics biblioteka sadrži blokove energetske elektronike(diode, tiristore, IGBT tranzistore, mosfete, upravljive mostove, itd.).



Slika 3.13. Biblioteka s električnim elementima [8]

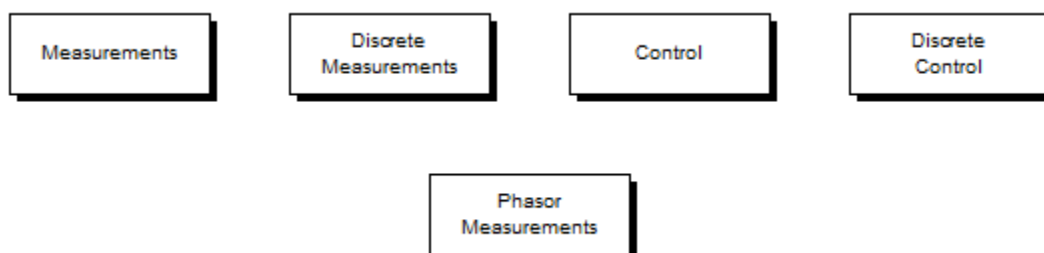
Biblioteka Elements sadrži simulacijske blokove koji implementiraju električne elemente.



Slika 3.14. Biblioteka Measurements [8]

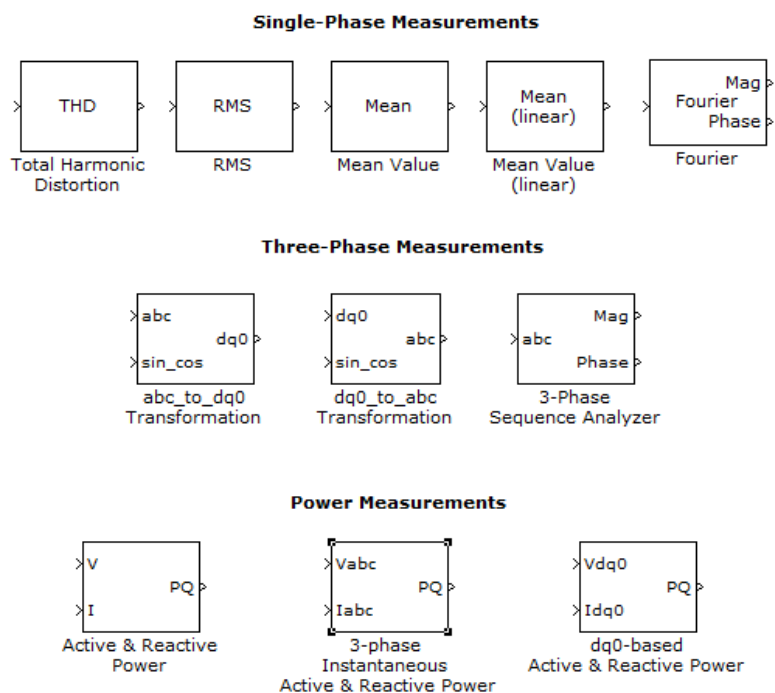
Blokovi biblioteke Measurements se koriste za mjerenje električnih veličina SimPower elemenata.

Biblioteka Extra library sadrži dodatne blokove za mjerenje i reguliranje signala.



Slika 3.15. Extra library biblioteka [8]

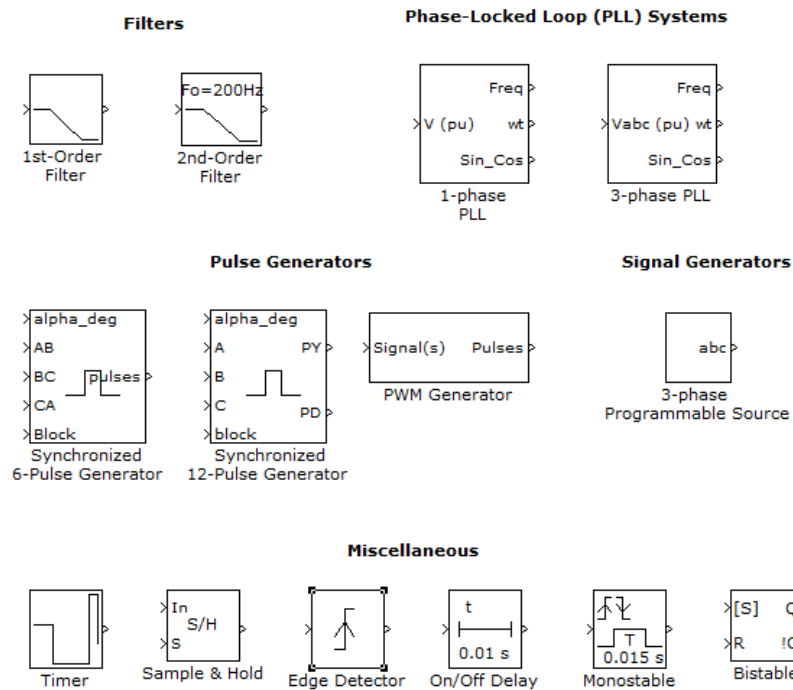
Pod bibliotekom Measurements se koriste blokovi za mjerenje i transformaciju signala u jednofaznim sustavima, trofaznim sustavima i blokovi za mjerenje radne i jalove snage.



Slika 3.16. Blokovi Measurement podbiblioteke [8]

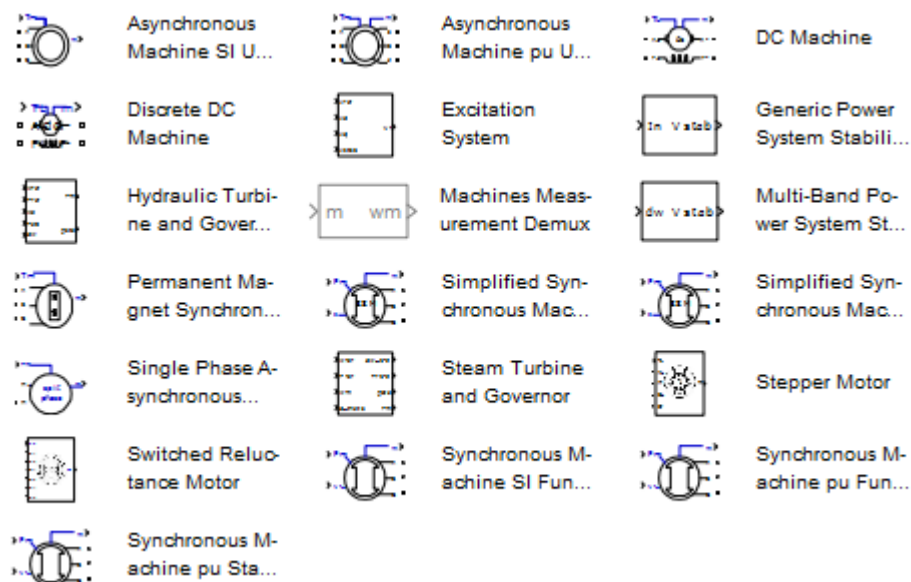
Discrete Measurement i Phasor Measurement podbiblioteke sadrže identične blokove kao i Measurement podbiblioteka samo za rad s diskretnim i fazorskim načinom rada

Control Podbiblioteka sadrži simulacijske blokove: filtara, PLL sustava, generatora impulsa i signala, timere i razne bistabile.



Slika 3.17. Blokovi Control podbiblioteke [8]

Discrete Control sadrži identične blokove Control podbiblioteci, uz dodatne blokove.



Slika 3.18. Blokovi Machine biblioteke [8]

Biblioteka Machines sadrži gotove blokove sa istosmjernim strojevima i motorima (istosmjerni stroj, istosmjerni diskretni stroj, reluktantni motor, koračni motor), sinkronim strojevima (sinkroni stroj, pojednostavljeni sinkroni stroj, sinkroni stroj sa permanentnim magnetom),

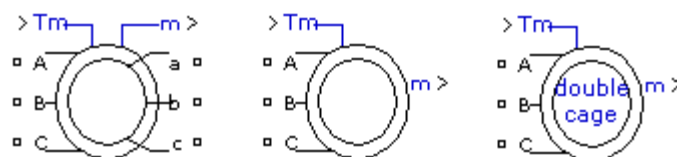
asinkronim strojevima (jednofazni asinkroni stroj, trofazni asinkroni stroj), sustavima uzbude (parna turbina, hidraulična turbina), regulatorima (Multi-Band Power System Stabilizer, Generic Power System Stabilizer) i demultipleksorom (Machines Measurement Demux).

Sve vrste strojeva koje imaju na ulazu T_m , T_L ili T_e , će raditi kao motor kada je moment pozitivne vrijednosti, a pri negativnoj kao generator. Strojevi koji na ulazu imaju P_m , će raditi kao generatori pri pozitivnoj vrijednosti, pri negativnoj kao motor [7].

U radu se koristi blok Asynchronous Machine SI Units.

3.4. Simulacijski model asinkronog motora

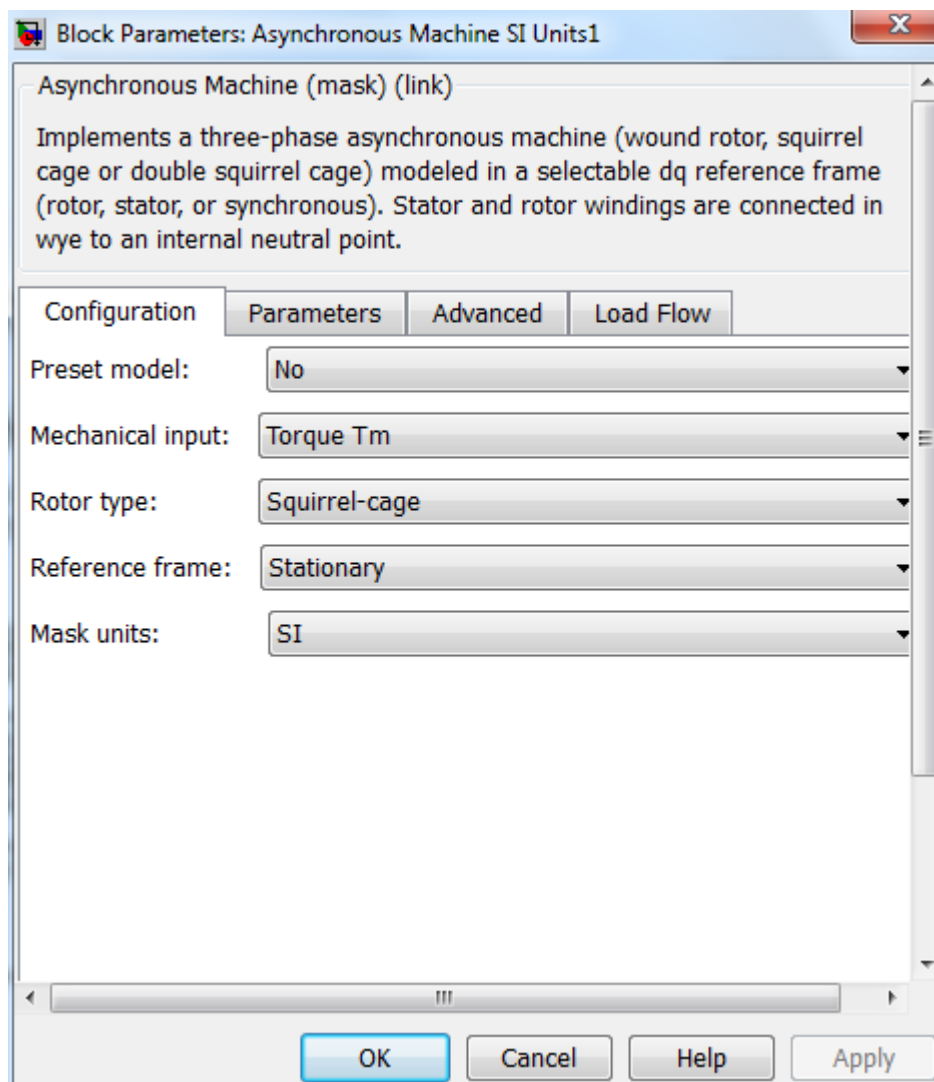
Blok Asynchronous Machine implementira trofazni asinkroni stroj, koji može biti klizno-kolutni (wound), kavezni (squirrel-cage) ili dvostruki kavezni (double squirrel-cage).



Slika 3.19. Izvedbe asinkronog motora [8]

U radu se koristi izvedba asinkronog motora sa SI jedinicama, gdje su ulazi A, B, C priključci za trofazni izvor. T_m je ulazna veličina koja predstavlja moment tereta motora i izlazna veličina m je vektor koji sadrži 21 signal. Signali se razdvajaju blokom Bus selector [7, 13].

Prozor za parametriranje motora sadrži tri kartice.



Slika 3.20. Kartica configuration za parametriranje [8]

U izborniku Preset model se nalaze pretpodešeni modeli asinkronih strojeva, gdje su navedeni podaci: snaga, linijski napon, frekvencija i brzina vrtnje. Preset model je dostupan samo kod izvedbi sa jedno-kaveznim rotorom.

Izbornik Mechanical input omogućuje izbor ulazne mehaničke veličine, okretnog momenta ili kutne brzine.

Izbornik Reference frame omogućuje odabir metoda transformacije varijabli iz abc u dq sustav.

Izbornik Mask units može biti SI ili pu[7, 13].

Block Parameters: Asynchronous Machine SI Units1

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]:

[5726 380 50]

Stator resistance and inductance[Rs(ohm) Lls(H)]:

[1.3088 0.00617]

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]:

[1.0454 0.00617]

Mutual inductance Lm (H):

0.154

Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]:

[0.0131 0.002985 2]

Initial conditions

[1 0 0 0 0 0 0]

☐ Simulate saturation

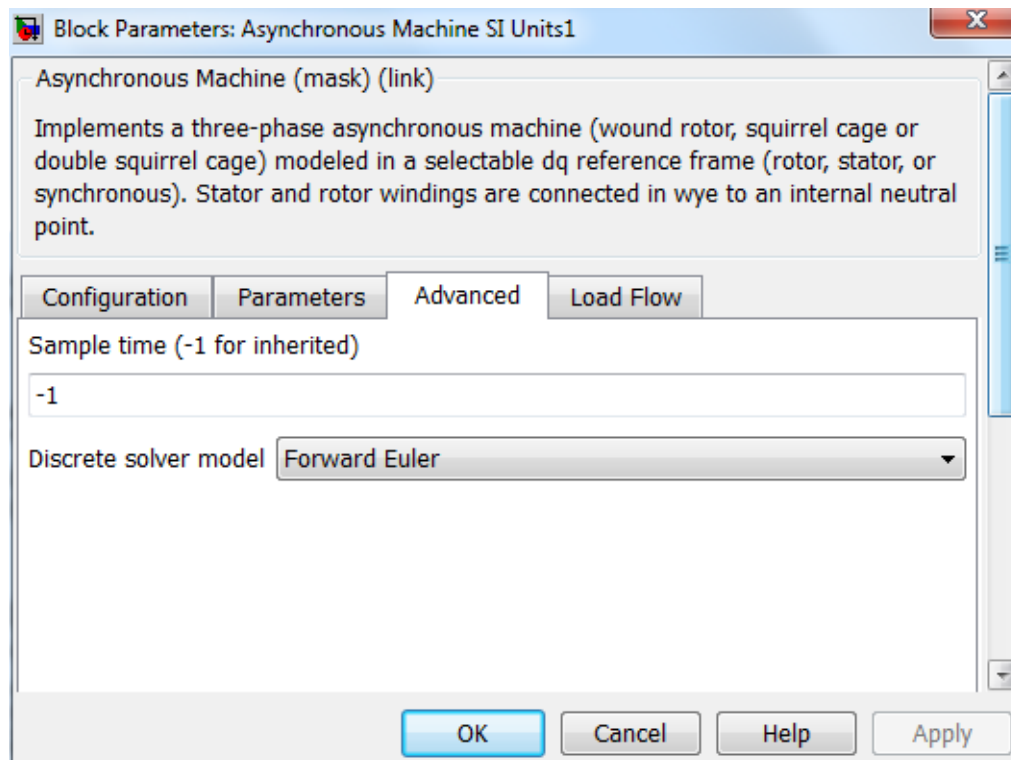
Saturation Parameters [i1,i2,... (Arms) ; v1,v2,...(VrmsLL)]

1, 302.9841135, 428.7778367 ; 230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690]

OK Cancel Help Apply

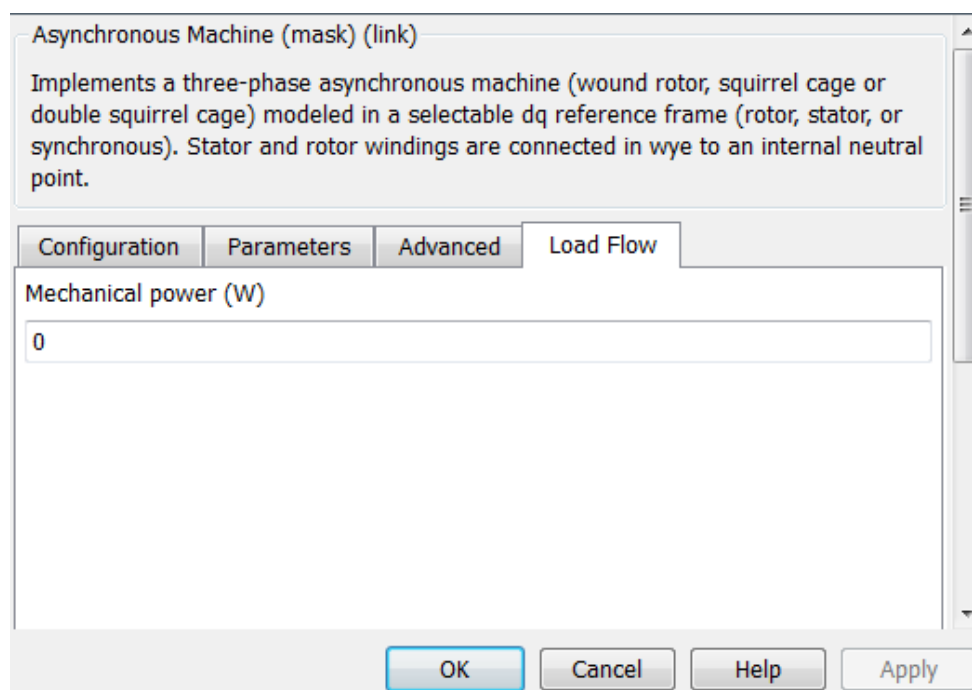
Slika 3.21. Kartica parameters [8]

U kartici parameters se unose električni parametri stroja. U prvom pravokutniku se nalazi nominalna snaga, linijski napon i frekvencija. Od drugog do četvrog pravokutnika su vrijednosti statorskih i rotorskih otpora i induktiviteta (tablica 2.1., tablica 2.2.). Peti pravokutnik se odnosi na inerciju, faktor trenja i broj pari polova. Pravokutnik Initial conditions sadrži vrijednosti početnih vrijednosti klizanja, električnog kuta rotora, amplitude, statorskih struja i fazni pomaci statorskih struja. Za simulaciju u području zasićenja, uključuje se opcija Simulate saturation [7, 13].



Slika 3.22. Kartica Advanced [8]

Kartica Advanced služi za unos vremena uzorkovanja, koje se usklađuje s vremenima cjelokupnog simulacijskog modela.

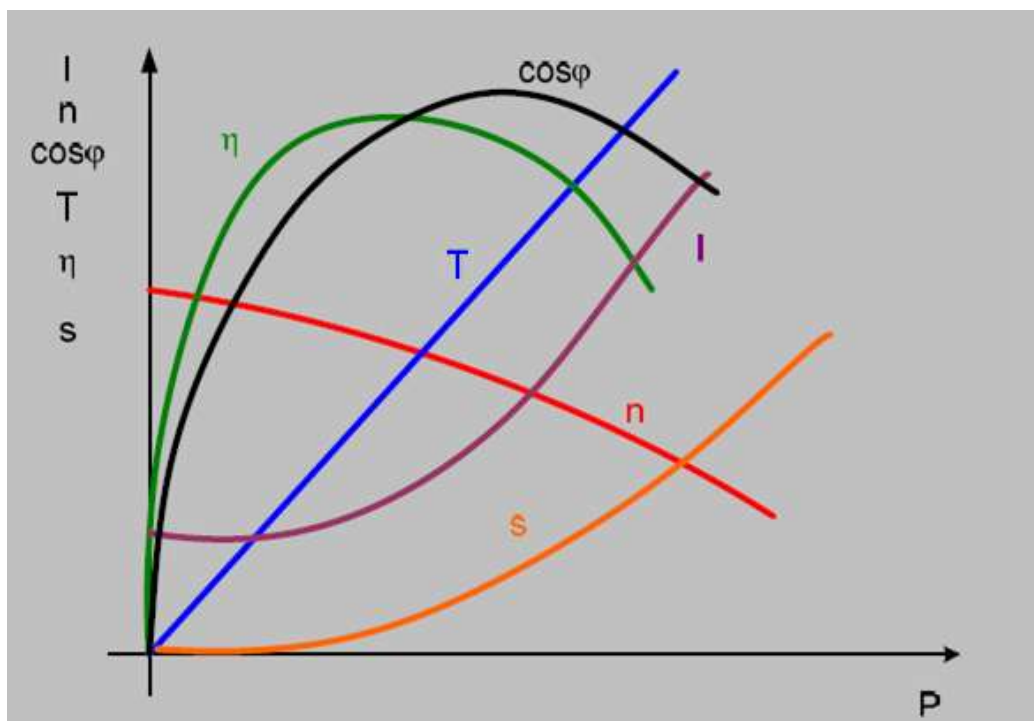


Slika 3.23. Kartica Load flow [8]

Load flow parametar se koristi za inicijalizaciju, nema utjecaja na simulaciju[13].

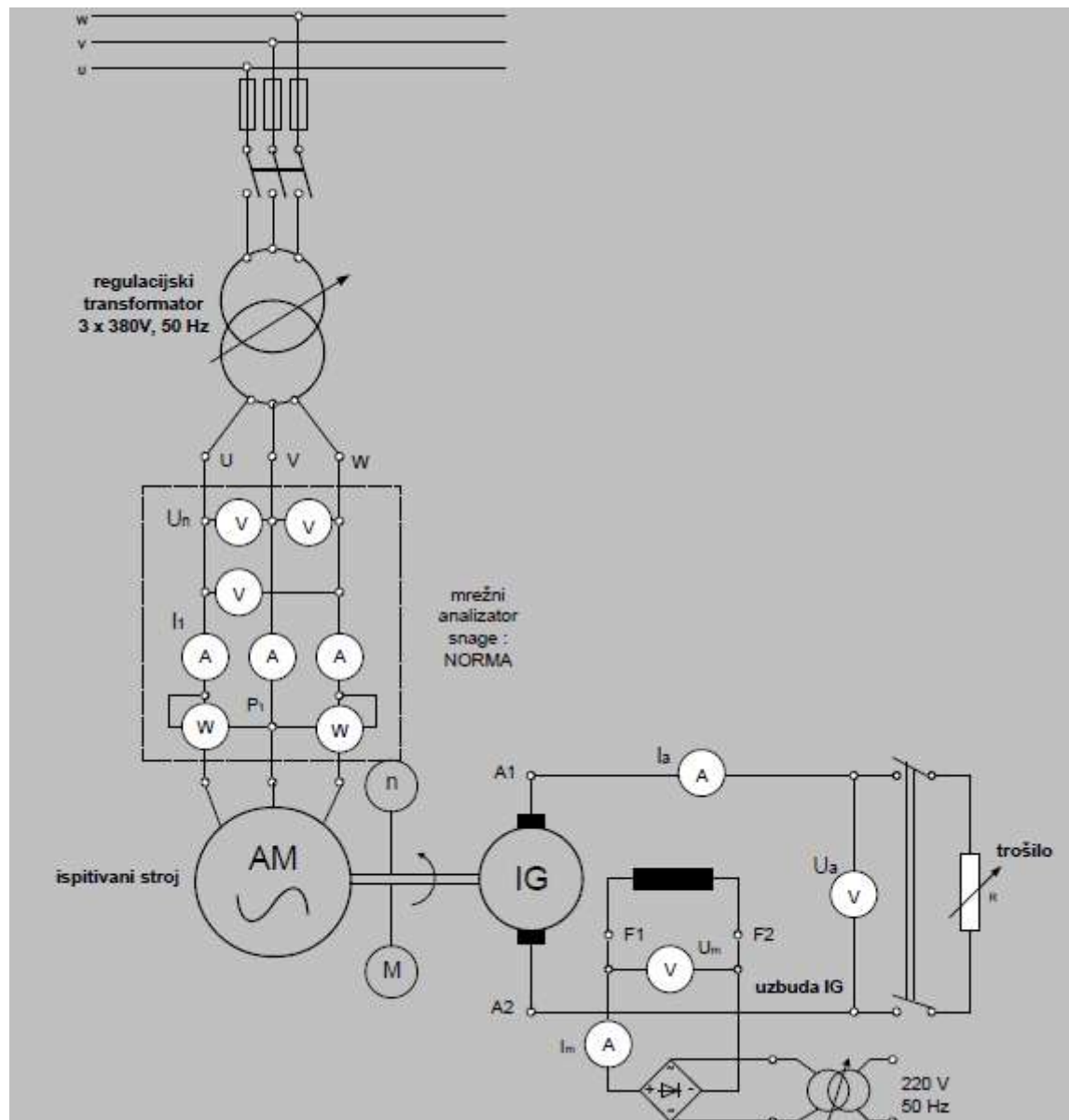
4. TEREĆENJE ASINKRONOG MOTORA

Kako bi se odredio rad asinkronog motora potrebno je poznavati njegova stanja u raznim opterećenim stanjima, veličine koje se mjere su napon, struja, brzina vrtnje, snaga i moment motora. Rezultati mjerenja i izračunate vrijednosti pokazuju karakteristike opterećenja koje su ovisnosti: momenta na vratilu motora, brzine vrtnje, klizanja, snage na vratilu, gubitke u motoru, faktora snage, struje uzete iz mreže, korisnosti o mehaničkoj snazi.



Slika 4.1. Karakteristike opterećenja asinkronog motora [14]

Mjerenje se vrši tako da se motor dovede u toplo pogonsko stanje, promjena otpora može utjecati na izmjerene karakteristike. Zbog ravnomjernijeg zagrijavanja mjerenje se vrši od radne točke s najvećim opterećenjem (110% nazivne struje) prema 50% nazivne struje. Napon koji je postavljen na motoru je jednak nazivnom naponu 380V. Terećenje motora se izvršava promjenom uzbude istosmjernog generatora čije su osovine zajedno spojene[14].



Slika 4.2. Shema spoja opterećenja motora [14]

Statorski namot motora je spojen u trokut. Natpisni podaci su prikazani na slici 2.6.

Električne veličine struja, napon i snaga uzeta iz mreže se mjere pomoću ampermetra, voltmetra i vatmetra. Mehaničke veličine moment motora i brzina vrtnje se mjere pomoću dinamo- vage i digitalnog tahogeneratora.

Tablica 4.1. Izmjerene vrijednosti terećenja motora

Napon izvora U [V]	Struja motora I_1 [A]	Električna snaga P_1 [W]	Brzina vrtnje n [°/min]	Moment motora T [Nm]
375	9,55	5000	1443	28,78
376	9,05	4500	1446	26,62
377	8,7	4250	1450	24,89
377	8,2	4000	1454	23,21
378	7,61	3500	1461	20,68
379	7,06	3250	1464	18,43
379	6,58	2875	1469	16,38
380	5,75	2000	1477	11,65
380	5,05	1250	1487	7,02
381	4,62	875	1492	4,16
382	4,3	375	1498	0,89

Klizanje se izračunava pomoću brzine vrtnje i sinkrone brzine(1500 °/min)[14]:

$$s = 1 - n/ns \quad (4-1)$$

Mehanička snaga na vratilu[14]:

$$P_2 = \omega * M = \frac{\pi}{30} * n * M \quad (4-2)$$

Ukupni gubici[14]:

$$P_g = P_1 - P_2 \quad (4-3)$$

Koristnost[14]:

$$\eta = P_2/P_1 \quad (4-4)$$

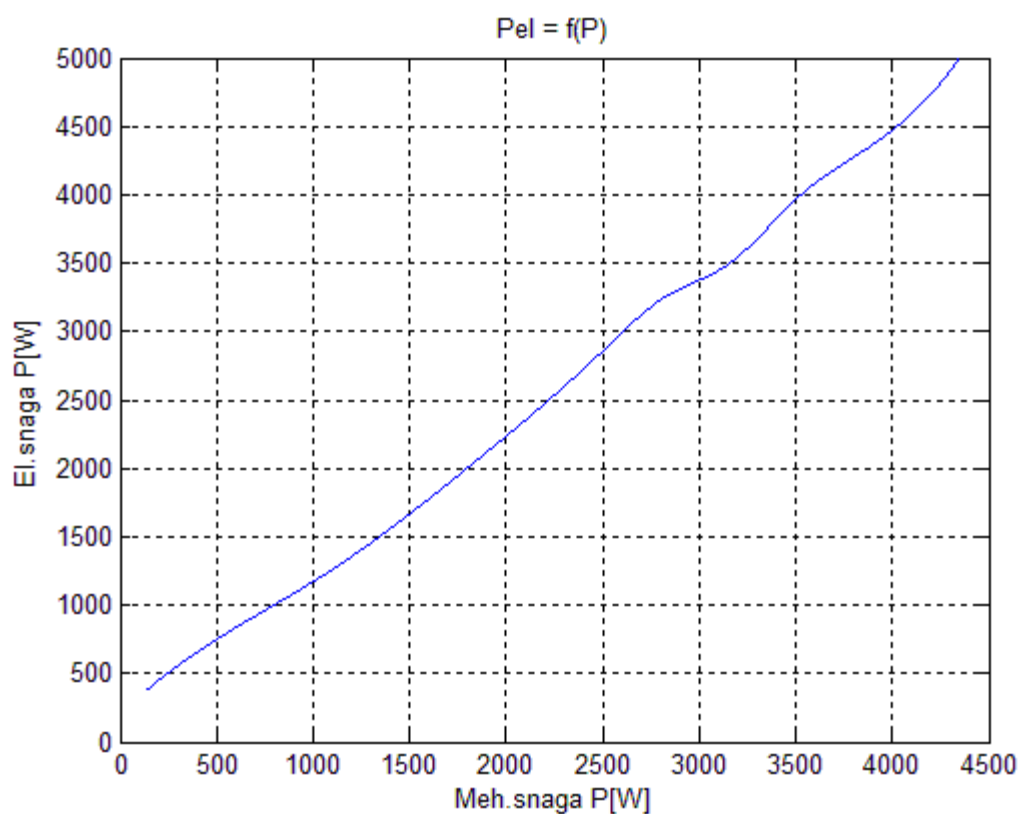
Faktor snage[14]:

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{U*I_1*\sqrt{3}} \quad (4-5)$$

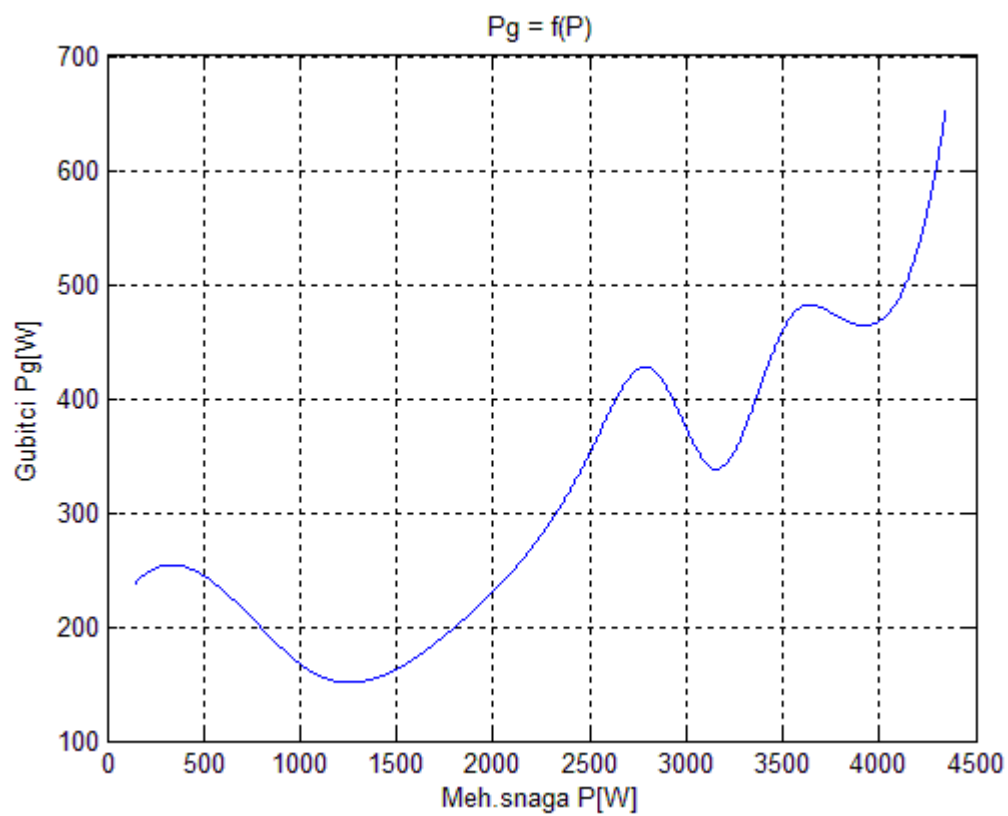
Tablica 4.2. Izračunate vrijednosti posredstvom izmjerenih vrijednosti

Klizanje s [%]	Mehanička snaga P_2 [W]	Ukupni gubitci P_g [W]	Korisnost η [%]	Faktor snage
3,8	4346,132	653,8682	86,9226	0,8070
3,6	4028,415	470,5850	89,5425	0,7644
3,3333	3777,818	472,1816	88,8898	0,7490
3,0667	3531,893	468,1071	88,2973	0,7479
2,6	3162,525	337,4753	90,3578	0,7033
2,4	2824,872	425,1282	86,9191	0,7020
2,0667	2517,974	357,0257	87,5817	0,6663
1,5333	1801,114	198,8856	90,0557	0,5290
0,8667	1092,355	157,6453	87,3883	0,3765
0,5333	650,3098	224,6902	74,3211	0,2873
0,1333	139,3885	235,6115	37,1702	0,1319

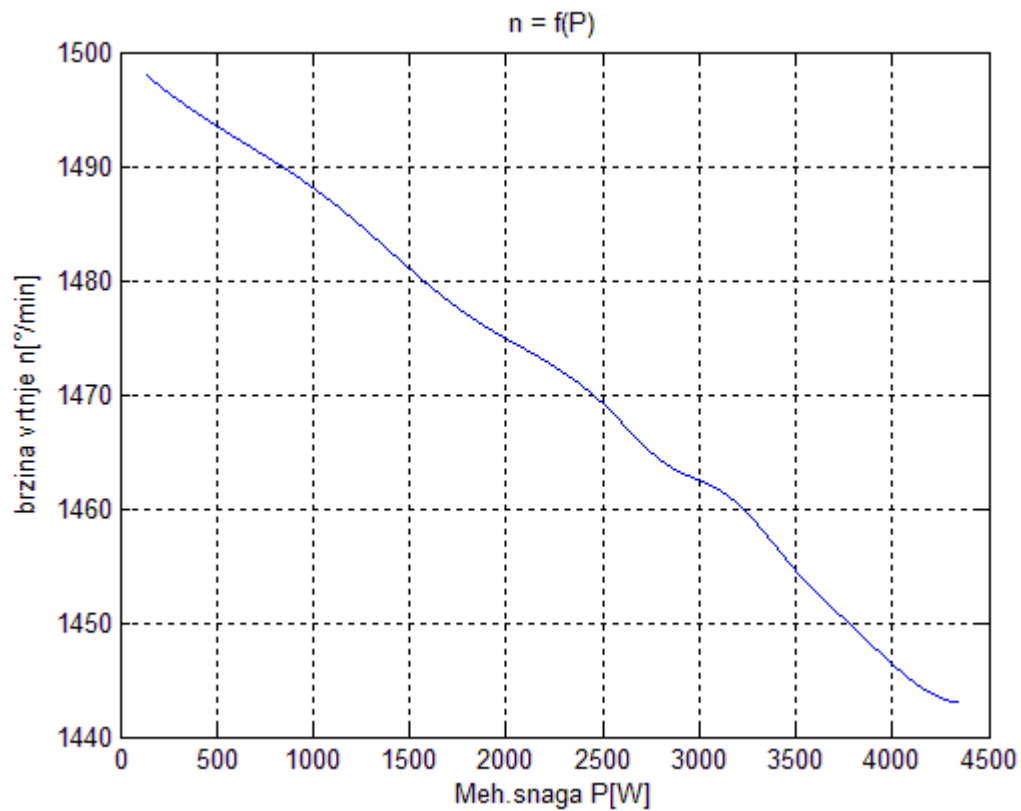
Karakteristike (sl.4.3. – sl.4.11.) prikazuju ovisnosti izmjerenih i izračunatih veličina o izlaznoj mehaničkoj snazi motora.



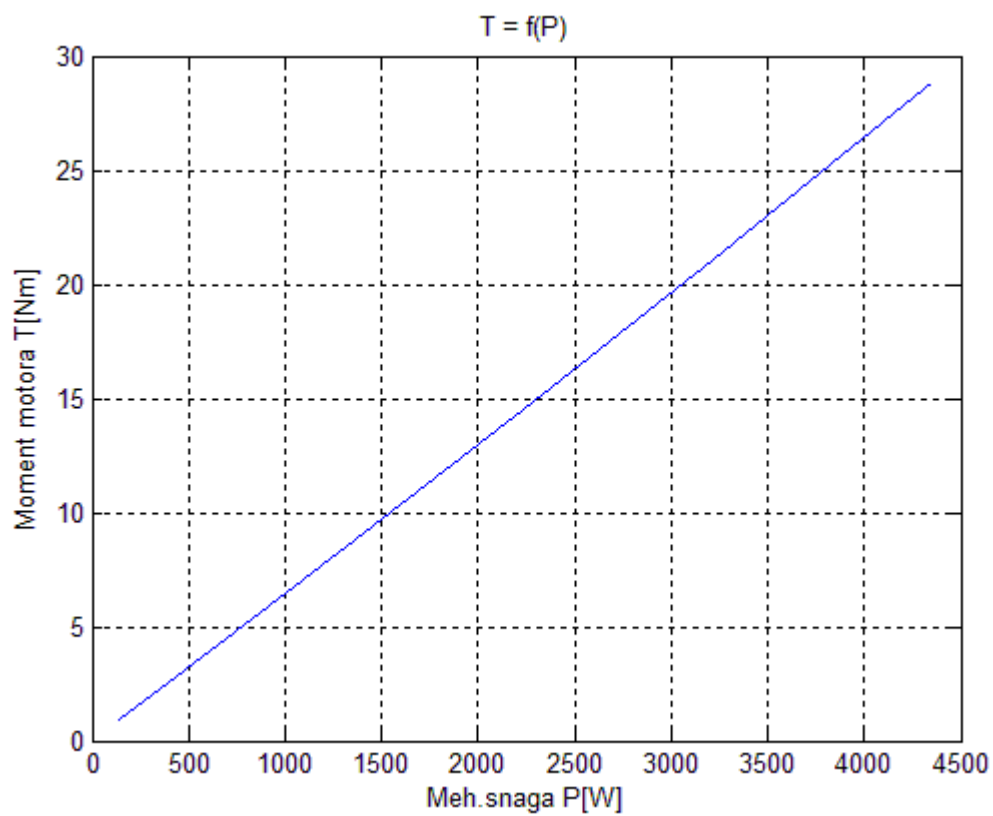
Slika 4.3. Ovisnost el.snage o meh.snazi [8]



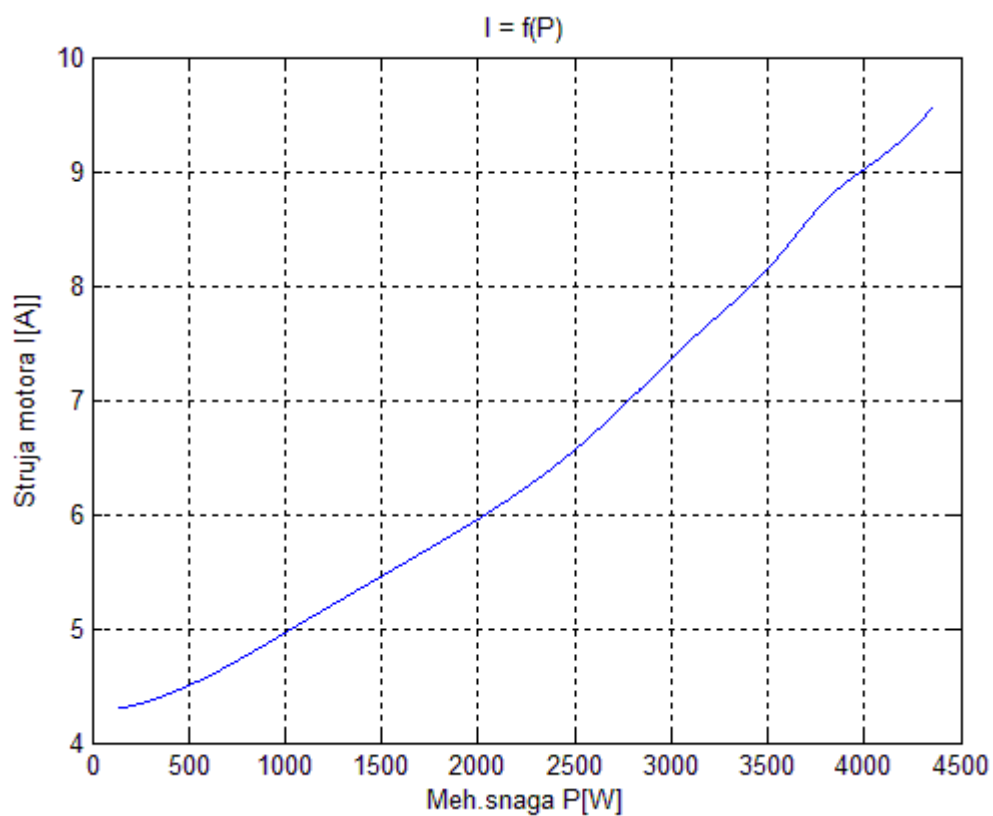
Slika 4.4. Ovisnost gubitaka o meh. snazi [8]



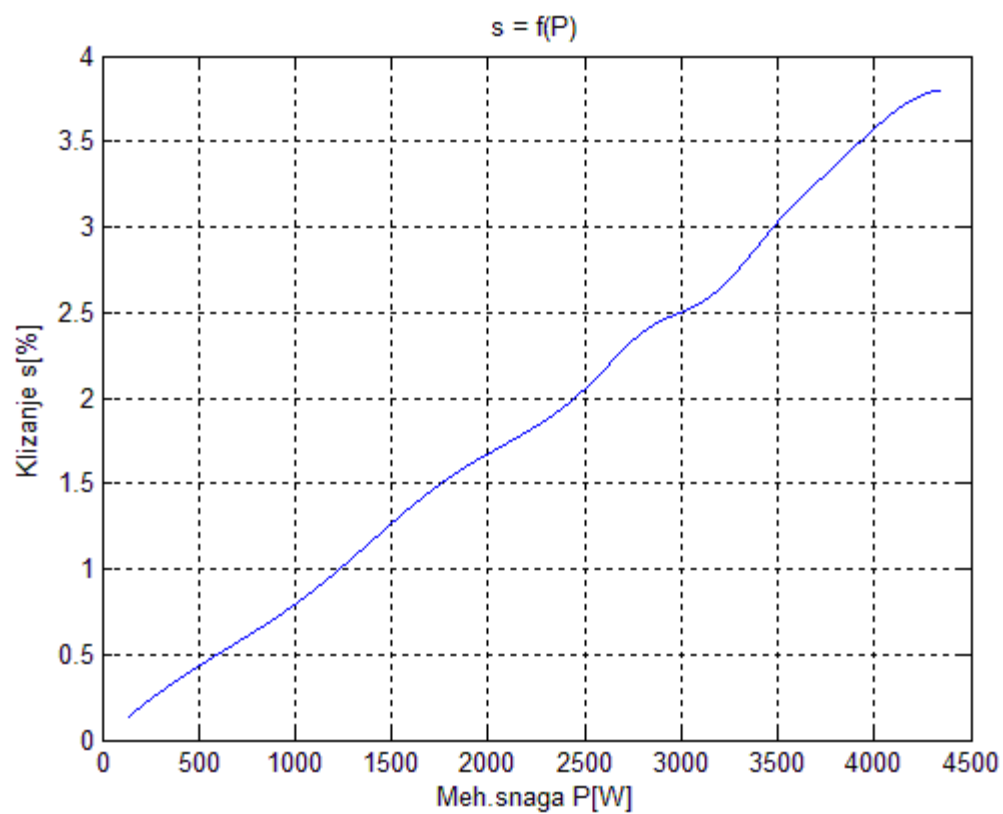
Slika 4.5. Ovisnost brzine vrtnje o meh. snazi [8]



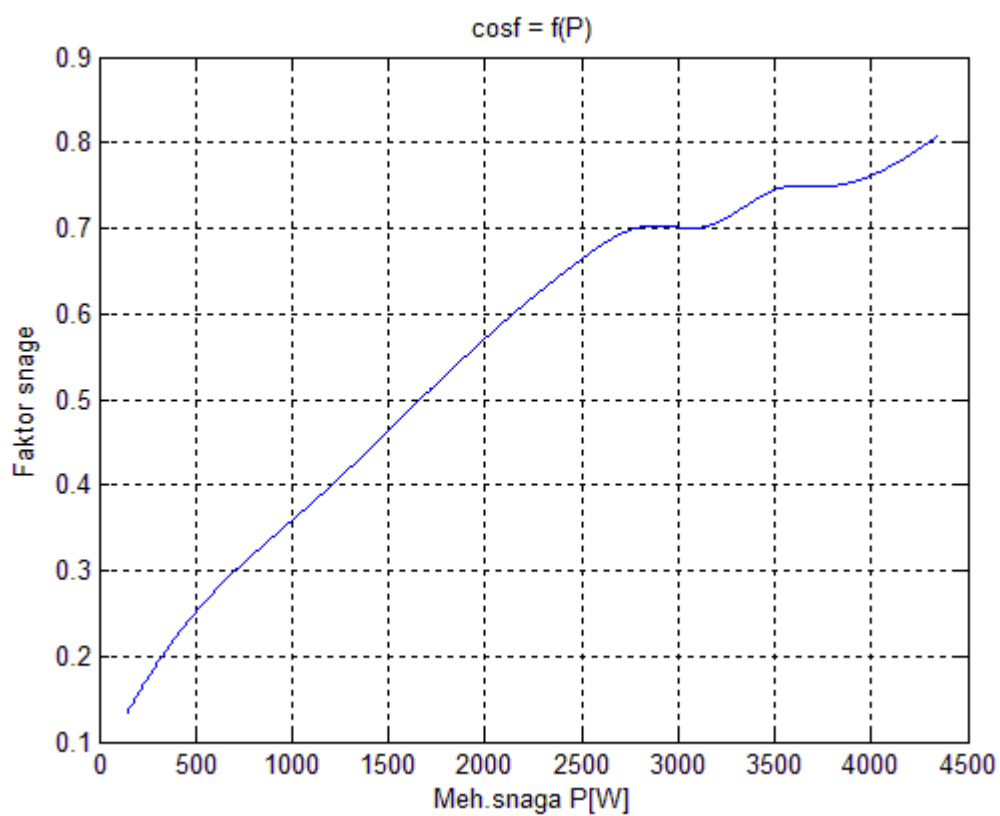
Slika 4.6. Ovisnost momenta tereta o meh. snazi [8]



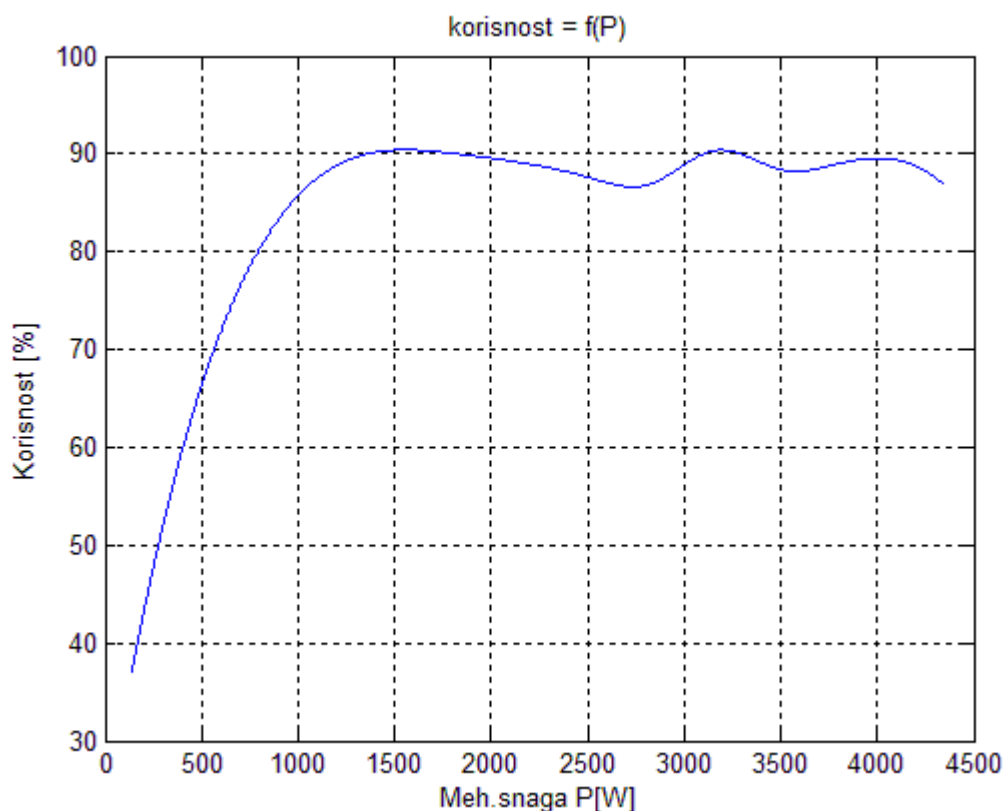
Slika 4.7. Ovisnost struje motora o meh. snazi [8]



Slika 4.8. Ovisnost klizanja o meh. snazi [8]



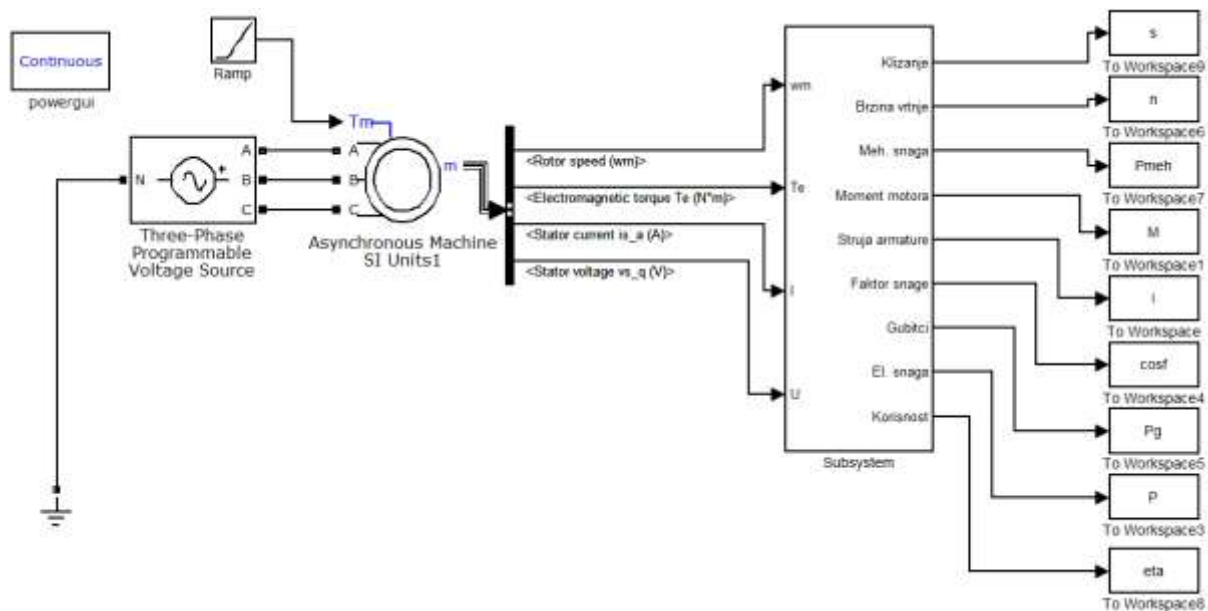
Slika 4.9. Ovisnost faktora snage o meh. snazi [8]



Slika 4.10. Ovisnost korisnosti o meh. snazi [8]

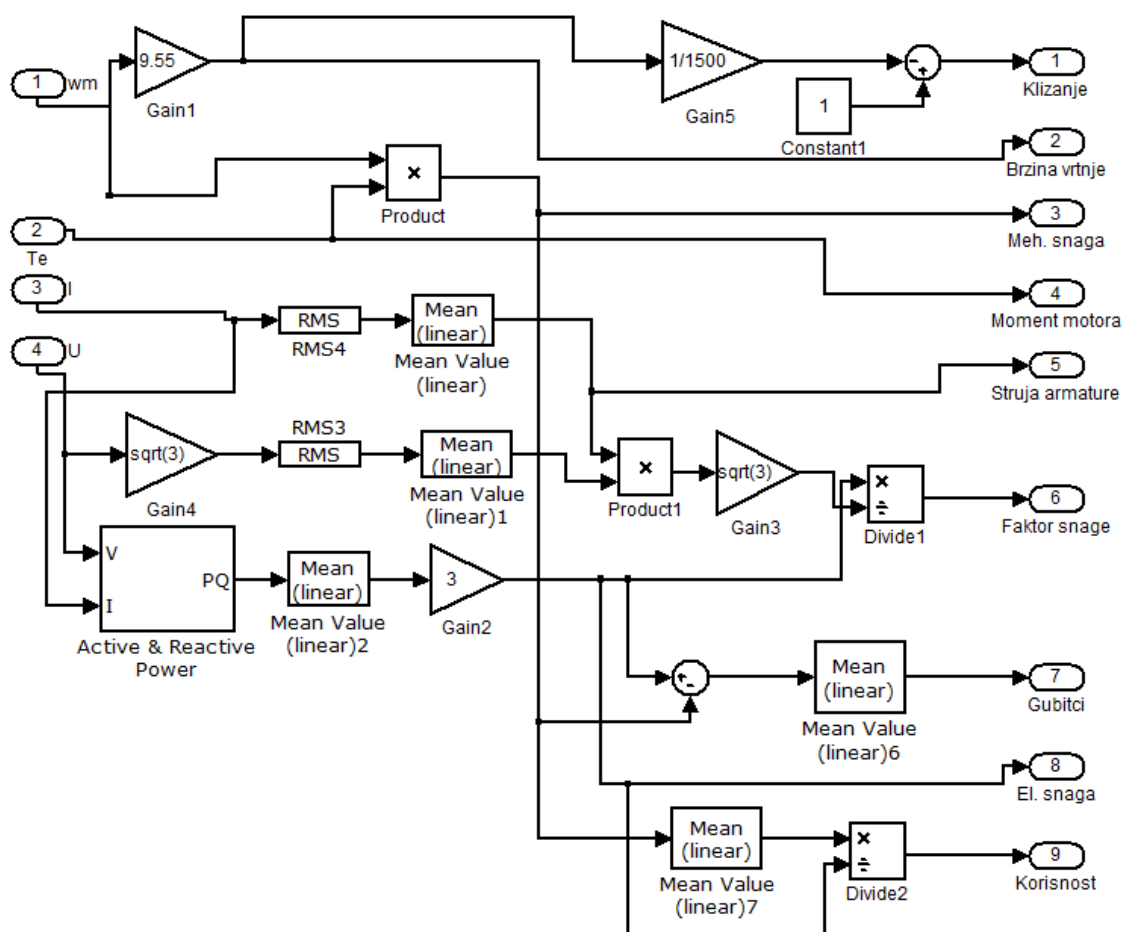
5. SIMULACIJA TEREĆENJA ASINKRONOG MOTORA

U ovome poglavlju se opisuje simulacija terećenja asinkronog motora, shema terećenja s ulaznim teretom linearnog porasta.



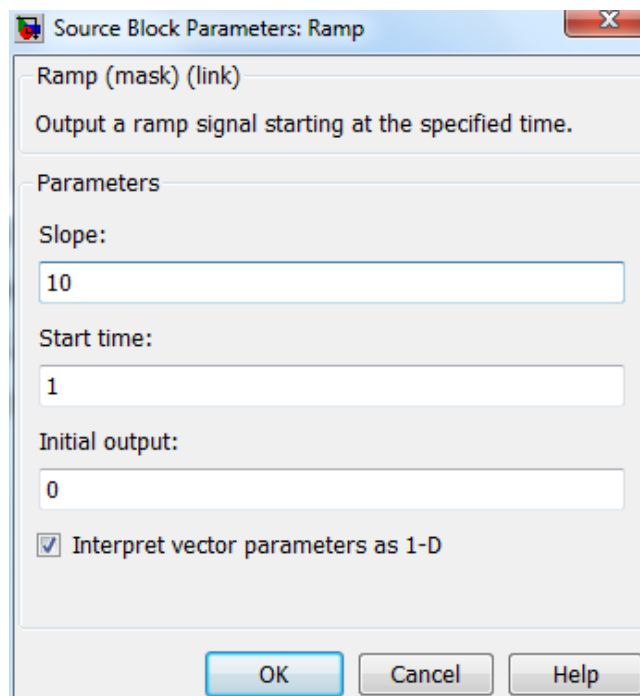
Slika 5.1. Simulacijska shema terećenja motora [8]

Podsustav sadrži razne blokove koji preračunavaju četiri ulazne vrijednosti u izlazne.



Slika 5.2. Unutrašnjost podsustava [8]

Izlazne veličine iz podsustava se realiziraju iz jednačbi ((2-1) – (2-5)). Blokovi RMS pretvaraju periodičke signale u njihove efektivne vrijednosti, blokovi Mean(linear) na izlazu daju „izgladenu“ ulaznu vrijednost. Active & Reactive Power na izlazu radnu komponentu prividne snage. Blokovi Powergui i Three-phase Programmable Voltage Source (Sl.3.9. i Sl.3.10) su ranije opisani, podaci funkcije Ramp su prikazani na slici 5.3.

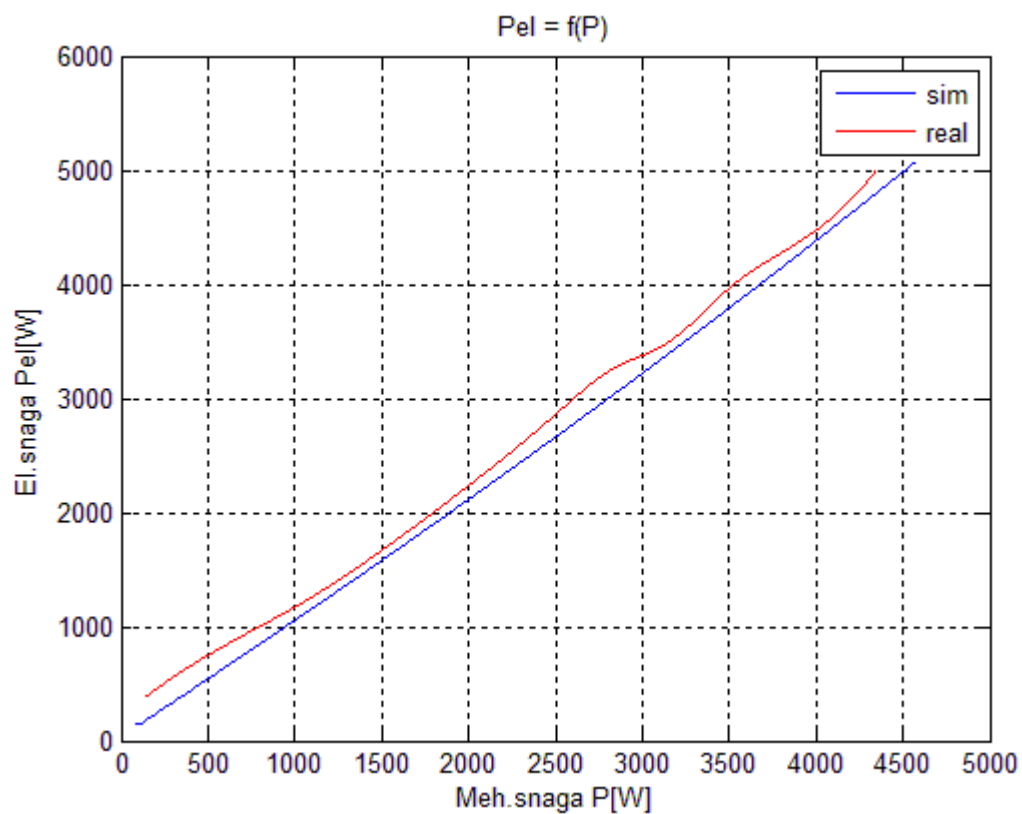


Slika 5.3. Parametri funkcije Ramp [8]

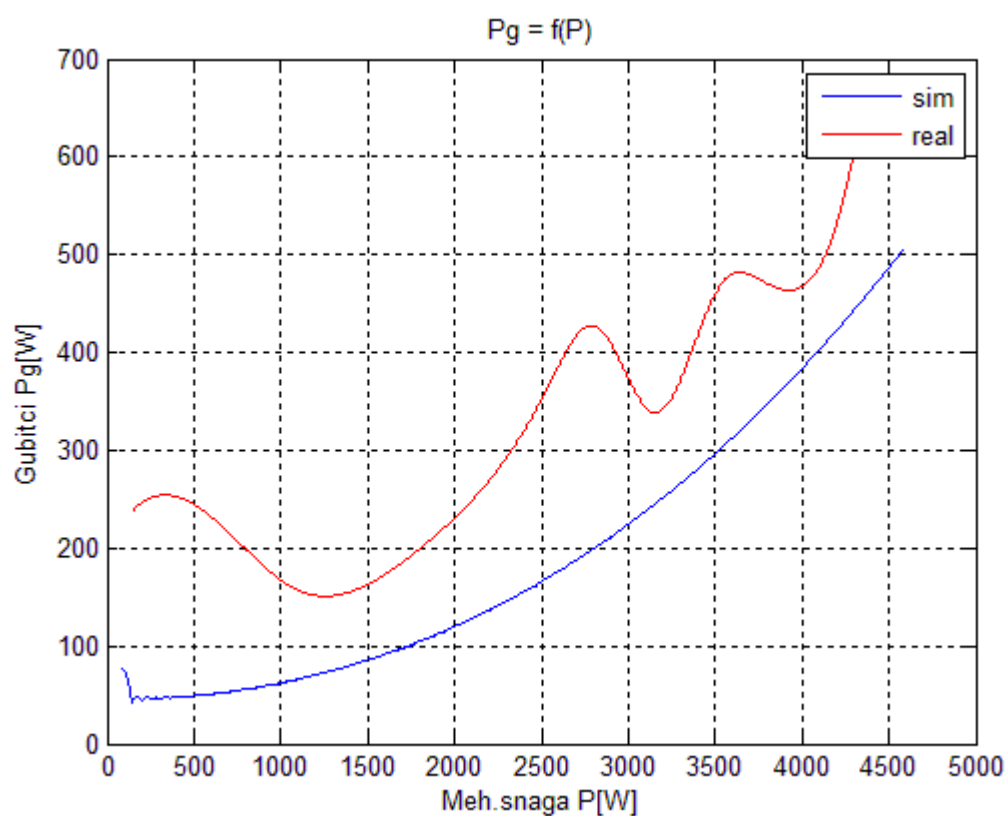
Ramp signal se uključuje u 1 sekundi, kada početna nadvišenja veličina stacioniraju, te ima postavljen nagib 10.

5.1. Usporedba rezultata

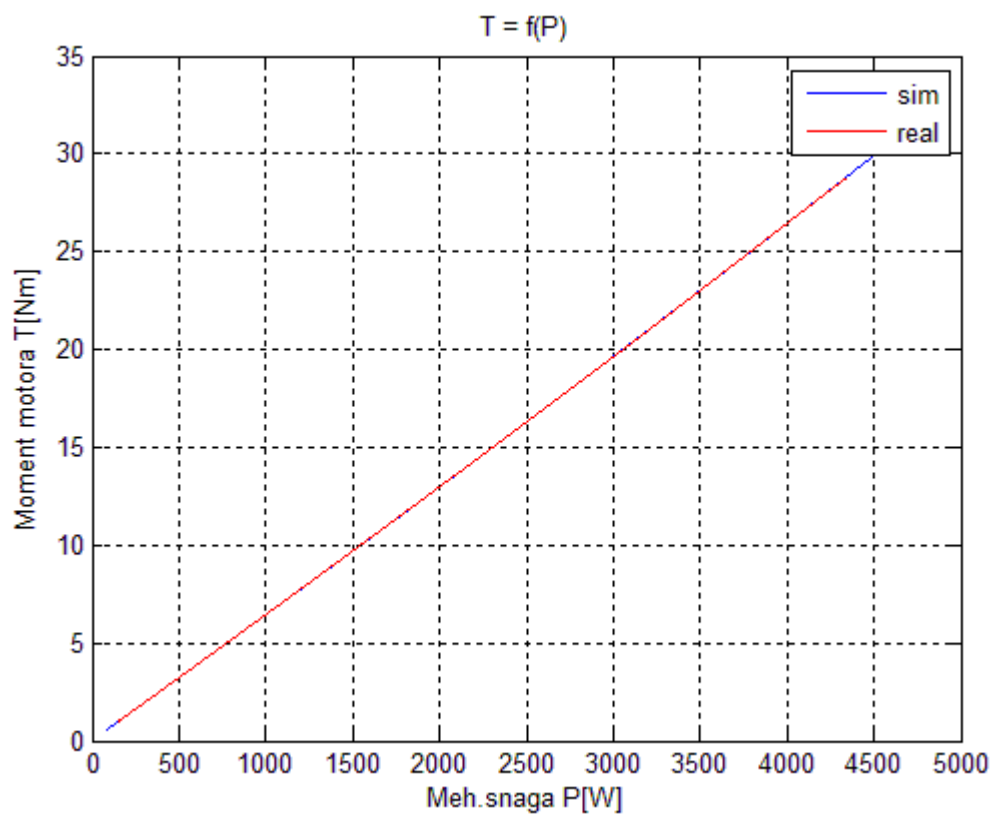
Ovisnost ulazne električne snage o izlaznoj mehaničkoj (sl 5.4.) je linerna uz malo odstupanje električne snage kod mjerenja u laboratoriju. Kod ovisnosti gubitaka o mehaničkoj snazi (sl. 5.5.) se primjećuju najveće odstupanje, jer pogreška mjerenja ovisi o tri veličine (el.snazi, momentu tereta i brzini vrtnje), graf je paraboličnog oblika. Ovisnost momenta tereta o meh.snazi (sl. 5.6.) ima najveću točnost, karakteristika je linearna prema formuli (3-2). Brzina vrtnje (sl. 5.7.) se smanjuje povećanjem tereta i struje, dok klizanje (sl. 5.9.) koje je obrnuto proporcionalno, raste. Krivulja struje armature (sl 5.8.) ima paraboličnu ovisnost, vrijednosti simulirane struje su manje od izmjerenih. Faktor snage (sl 5.10.) kod stvarnih vrijednosti ima veću vrijednost pri manjem opterećenju, dok kod većih opterećenja simulirana vrijednost je veća. Korisnost (sl 5.11.) je bolja kod simuliranog rada, dok na stvarne izmjerene vrijednosti korisnosti utječu male greške u mjerenju meh.snage [15].



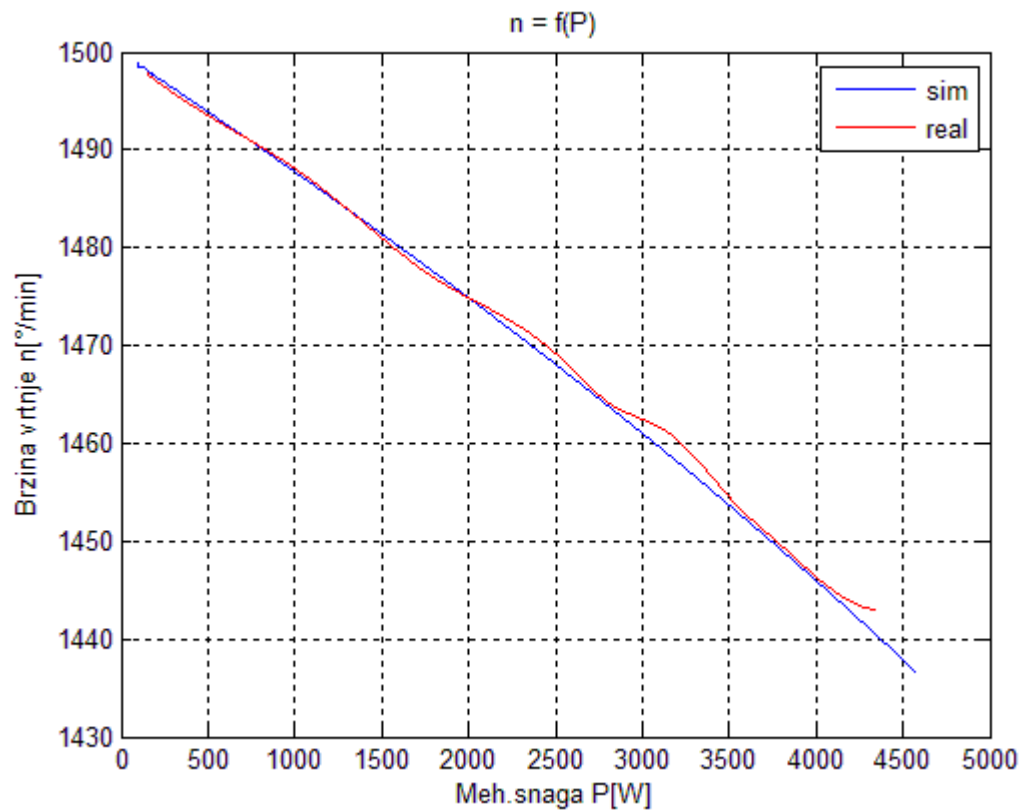
Slika 5.4. Ovisnosti el.snage o meh. snazi [8]



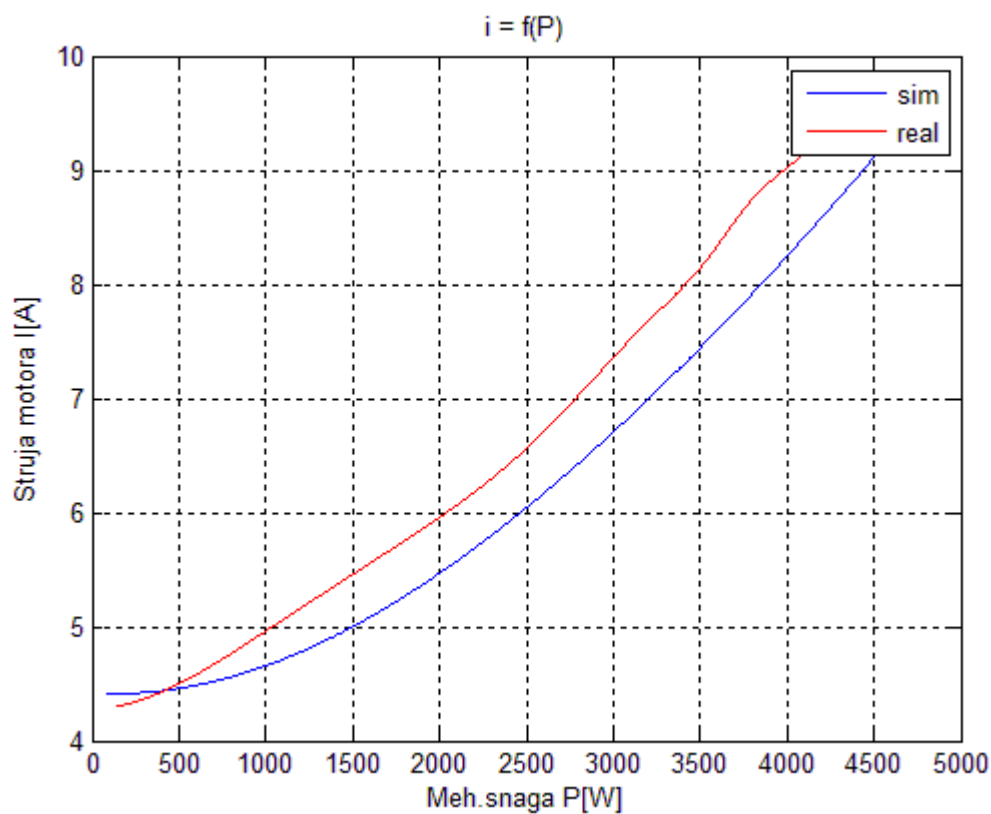
Slika 5.5. Ovisnosti gubitaka o meh. snazi [8]



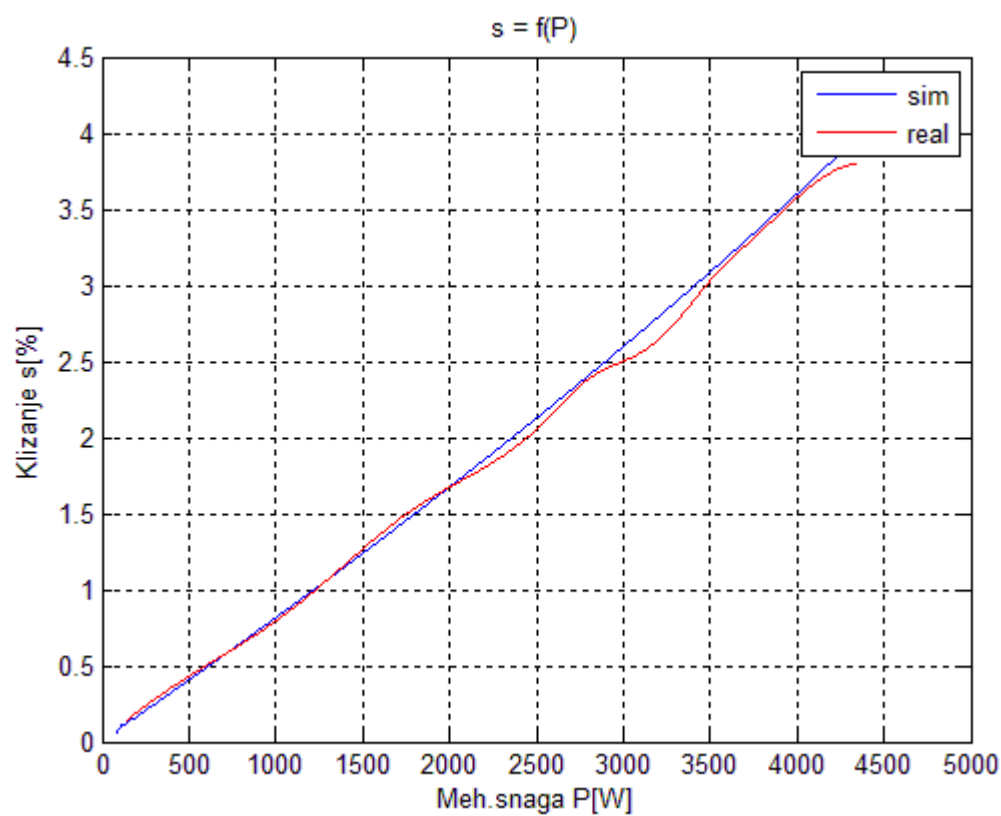
Slika 5.6. Ovisnosti momenta motora o meh. snazi [8]



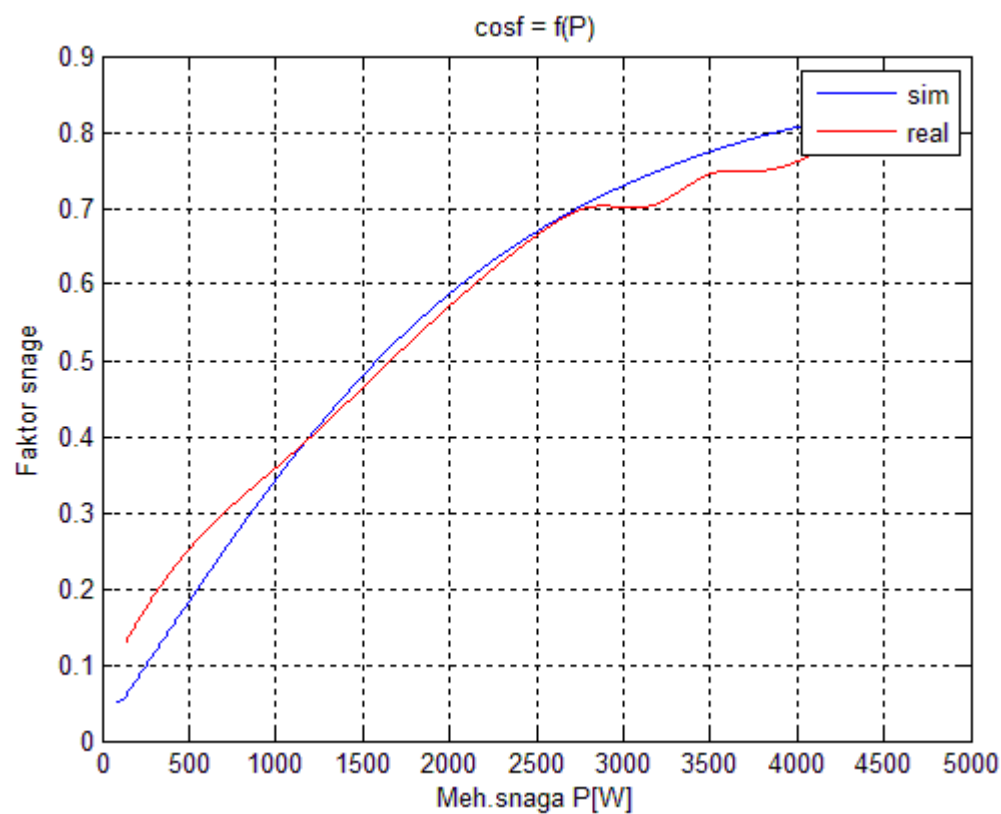
Slika 5.7. Ovisnosti brzine vrtnje o meh. snazi [8]



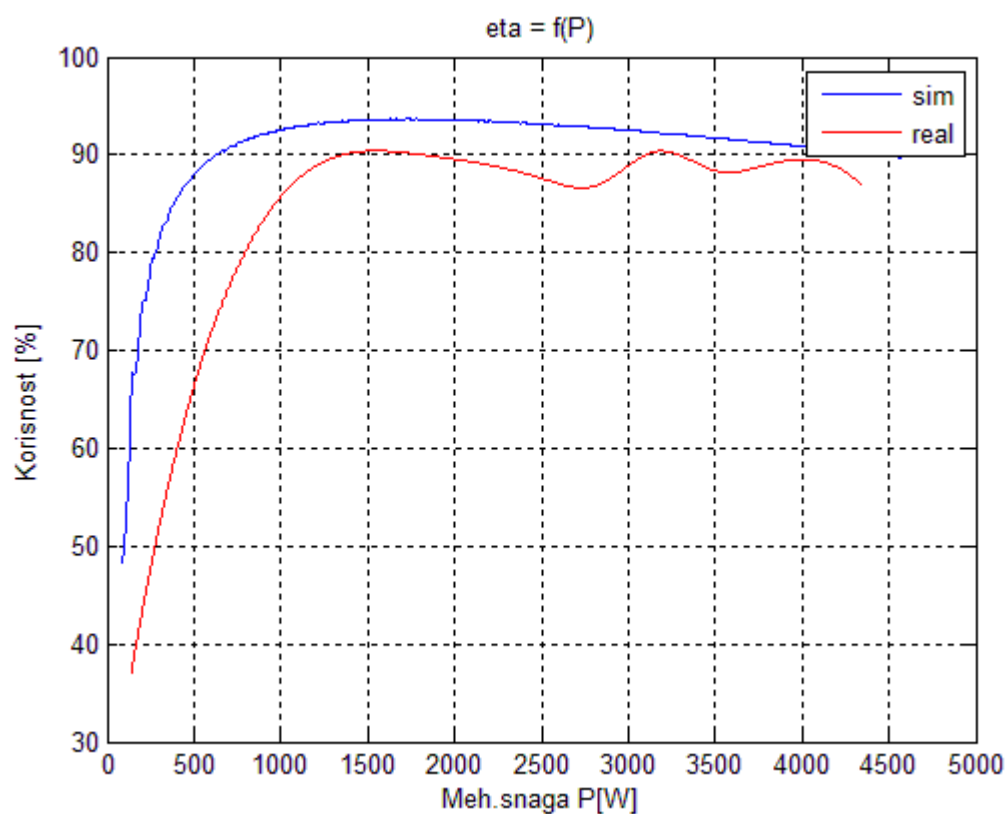
Slika 5.8. Ovisnosti struje motora o meh. snazi [8]



Slika 5.9. Ovisnosti klizanja o meh. snazi [8]



Slika 5.10. Ovisnosti faktora snage o meh. snazi [8]



Slika 5.11. Ovisnosti korisnosti o meh. snazi [8]

Karakteristike simulacijskog modela su preciznijih oblika, jer na njih ne djeluju nikakve smetnje i pogreške, te je broj mjernih uzoraka oko 500 puta veći od mjerenja u stvarnom laboratoriju. Karakteristike dobivene iz stvarnog mjerenja su interpolirane u matlabu s razmacima po 1W ,te su tako dobivene „glade“ krivulje.

6. ZAKLJUČAK

Snimanje karakteristika opterećenja se provode na asinkronim motorima radi utvrđivanja njegovih veličina i provjeru njegovog rada.

Matlab je programski paket za rad s matematičkim algoritmima, Simulink je matlabov grafički alat za izvođenje simulacije.

SimPowerSystems je dodatak simulinku, sadrži gotove biblioteke sa električnim strojevima, pogonima i ostalim električkim elementima. Spajanje električnog kruga se izvodi kao na stvarnom strujnom krugu, pomoću matlaba se izračunavaju vrijednosti i iscrtavaju karakteristike stroja.

SimPowerSystems se pokazao kao dobar simulacijski alat stvarnih električnih pojava, dobiveni rezultati karakteristika opterećenja su približno jednake vrijednostima mjerenim u stvarnom laboratoriju, uz određena odstupanja. Treba uzeti u obzir da je simulacija čisti matematički model bez izvora smetnji, dok kod stvarnog mjerenja djeluju pogreške, najčešće uzrokovane nesavršenošću mjerne opreme. Također bi karakteristike bile točnije, kada bi se koristilo više mjerenja.

Mjerenje u laboratoriju se provelo, tako što se trofazni asinkroni motor spojio na trofazni izmjenični izvor konstantnog napona 380 V i frekvencije 50 Hz. Sinkroni generator koji je direktno spojen na asinkroni motor je imao ulogu opterećenja motora. Moment tereta se mijenjao, tako što su se postavljale vrijednosti struje od 110% do 50% nazivne struje.

Kod mjerenja veličina simulacijskog modela, parametrirao se izvor napajanja i asinkroni motor, te preko izlaznih veličina simulacijskog bloka asinkronog motora (moment tereta, struja armature, kutna brzina, napon izvora) su se preračunavale ostale veličine potrebne pri snimanju karakteristika opterećenja. Demultipleksiranje izlaznih veličina asinkronog motora i izračuni ostalih se izvršilo blokovima koji se nalaze unutar simulink biblioteke. Na promjene izlaznih veličina je utjecao ramp signal, koji je u programu predstavljao moment tereta. Moment tereta je postavljen na linearni porast od 0 do 30 Nm.

LITERATURA

- [1] – R. Wolf, Osnove električnih strojeva, Školska knjiga, Zagreb, 1996. 181.str.
- [2] – I.Mandić, V.Tomljenović, M.Pužar, Sinkroni i asinkroni električni strojevi, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, 2012. 85.str. – 146.str.
- [3] – J. Jureković, Električni strojevi, Tisak, Zagreb, 1994. 198.str. – 224.str.
- [4] – Asinkroni motor- konstrukcija i natpisna pločica, Osnove električnih strojeva, stručni studij, konstrukcijske vježbe; V.Jerković. Ž.Špoljarić
- [5] – Asinkroni strojevi i pogoni
https://www.fer.unizg.hr/download/repository/EEPE_2014_2015_AM.pdf (22.6.2017.)
- [6] - Kratke upute za korištenje MATLAB-a
https://www.fer.unizg.hr/download/repository/matlab_upute.pdf (22.6.2017.)
- [7] – Električni strojevi i pogoni s Matlabom, Z.Valter 13.str.- 151.str.
- [8] – Ispis sadržaja ekrana u Matlab-u
- [9] – Uvod u Simulink
https://www.fer.unizg.hr/download/repository/SIMULINK_SKRIPTA.pdf (22.6.2017.)
- [10] – SimPowerSystems
<https://www.mathworks.com/products/simpower.html> (22.6.2017.)
- [11] – Powergui
<https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/powergui.html> (22.6.2017.)
- [12] – Three phase programmable voltage source
https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/threephaseprogrammablevoltage_source.html (22.6.2017.)
- [13] – Asynchronous Machine
<https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/asynchronousmachine.html>
(22.6.2017.)
- [14] – Pokus opterećenja asinkronog motora, Laboratorijske vježbe iz Osnova električnih pogona, Z.Valter, Ž.Špoljarić
- [15] – T.Čorak, Sustav automatiziranog ispitivanja asinkronog stroja u tvornici, magistarski rad 27.str.
https://bib.irb.hr/datoteka/71628.3_Magistarski_rad.pdf (22.6.2017.)

SAŽETAK

U završnom radu je opisan asinkroni kavezni motor, njegova svojstva, način rada, karakteristike opterećenja, način mjerenja i prikaz ovisnosti. Uz opisani matlab, unošenje vektora u matlabu, osnovne značajke simulinka, postavke simulacije, također je opisan programski alat SimPowerSystems. Komponente koje SimPowerSystems sadrži, njihova svojstva, parametriranje funkcijskih blokova. Konfiguracija frekvencije, napona, snage, statorskih i rotorskih otpora i induktiviteta na simulacijskom bloku asinkronog motora. Simulacija terećenja asinkronog motora, uz linearni porast kao moment tereta, demultipleksiranje fizikalnih veličina. te iscrtanje karakteristika opterećenja pomoću matlaba.

Ključne riječi: asinkroni kavezni motor, indukcijski motor, karakteristike opterećenja, Matlab, Simulink, SimPowerSystems, simulacija

Application of Matlab SimPowerSystems Tool in Induction Motor Analysis

ABSTRACT

In the final thesis describes asynchronous squirrel-cage motor, its performance, mode of operation, load characteristics, measurement and display characteristics. Along with the described matlab, vector defined, basic simulink features, simulation settings, also is described Matlab tool SimPowerSystems. SimPowerSystems components, their properties, function blocks parameters. Describes frequency, voltage, power, stator resistance and inductance, rotor resistance and inductance configurations. Asynchronous motor load simulation, using ramp source signal as torque, demultiplexing physical quantities and plotting load characteristics with matlab.

Key words: Asynchronous squirrel-cage motor, Induction motor, load characteristics, matlab, simulink, simpowersystems, simulation

ŽIVOTOPIS

Franjo Majdenić je rođen 31.5.1995. u Podravskim Podgajcima. Upisuje 2002. godine osnovnu školu „Hrvatski sokol“ u Podravskim Podgajcima. Osnovnu školu završava 2010. godine, te upisuje smjer elektrotehnike u srednoj školi Valpovo. Nakon što završava srednju školu 2014. godine, upisuje stručni studij automatike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.

Potpis:

PRILOZI

1 – Ukupan programski kod unesen preko *mfile* skripte (sl 5.4. – sl. 5.11.)

```
clc;clear all;
sim('am3.mdl');
P1=[5000 4500 4250 4000 3500 3250 2875 2000 1250 875 375];
P2=[4346 4029 3777 3531 3162 2824 2517 1801 1092 650 139];
I1=[9.55 9.05 8.7 8.2 7.61 7.06 6.58 5.75 5.05 4.62 4.3];
T1=[28.77 26.62 24.89 23.20 20.68 18.43 16.37 11.65 7.02 4.16
0.89];
n1=[1443 1446 1450 1454 1461 1464 1469 1477 1487 1492 1498];
cosf1=[0.807 0.764 0.749 0.747 0.703 0.702 0.666 0.529 0.376
0.287 0.131];
Pg1=P1-P2;
s1=[3.8 3.6 3.333 3.066 2.6 2.4 2.066 1.533 0.867 0.533 0.133];
etal=ldivide(P1,P2);
x=139:1:4346;
lim=numel(i);
in=round(lim/4);
figure; plot(Pmeh(in:lim,1),cosf(in:lim,1)); hold
on;plot(x,interp1(P2,cosf1,x,'spline'),'r');grid
title('cosf = f(P)');
legend('sim','real');
xlabel('Meh.snaga P[W]');
ylabel('Faktor snage');
figure; plot(Pmeh(in:lim,1),n(in:lim,1)); hold
on;plot(x,interp1(P2,n1,x,'spline'),'r');grid
title('n = f(P)');
legend('sim','real');
xlabel('Meh.snaga P[W]');
ylabel('Brzina vrtnje n[°/min]');
figure; plot(Pmeh(in:lim,1),T(in:lim,1)); hold
on;plot(x,interp1(P2,T1,x,'spline'),'r');grid
title('T = f(P)');
legend('sim','real');
xlabel('Meh.snaga P[W]');
ylabel('Moment motora T[Nm]');
figure; plot(Pmeh(in:lim,1),i(in:lim,1)); hold
on;plot(x,interp1(P2,I1,x,'spline'),'r');grid
title('i = f(P)');
legend('sim','real');
xlabel('Meh.snaga P[W]');
ylabel('Struja motora I[A]');
figure; plot(Pmeh(in:lim,1),eta(in:lim,1)*100); hold
on;plot(x,interp1(P2,etal,x,'spline')*100,'r');grid
title('eta = f(P)');
legend('sim','real');
xlabel('Meh.snaga P[W]');
ylabel('Korisnost [%]');
```

```

figure; plot(Pmeh(in:lim,1),s(in:lim,1)*100); hold
on;plot(x,interp1(P2,s1,x,'spline'),'r');grid
title('s = f(P)');
legend('sim','real');
xlabel('Meh.snaga P[W]');
ylabel('Klizanje s[%]');
figure; plot(Pmeh(in:lim,1),P(in:lim,1)); hold
on;plot(x,interp1(P2,P1,x,'spline'),'r');grid
title('Pel = f(P)');
legend('sim','real');
xlabel('Meh.snaga P[W]');
ylabel('El.snaga Pel[W]');
figure; plot(Pmeh(in:lim,1),Pg(in:lim,1)); hold
on;plot(x,interp1(P2,Pg1,x,'spline'),'r');grid
title('Pg = f(P)');
legend('sim','real');
xlabel('Meh.snaga P[W]');
ylabel('Gubitci Pg[W]');

```