

Katarina Kecojević*
Elektrotehnički fakultet
katarinakecojevic@gmail.com

Miloš Dedović
Elektrotehnički fakultet
milos.dedovic1997@gmail.com

Martin Čalasan
Elektrotehnički fakultet
martinc@ucg.ac.me

GUI APLIKACIJA ZA REGULACIJU BRZINE DC POGONA

KRATAK SADRŽAJ

Ovaj rad se bavi razvojem GUI aplikacije za regulaciju brzine DC pogona. U tom cilju, u prvom dijelu rada navedene su karakteristike DC pogona i mogući načini regulacije brzine. Glavni dio rada posvećen je izradi aplikacije koja korisniku omogućava definisanje parametara mašine, vrijednosti i tipa opterećenja, kao i vrste regulacije brzine. Realizovana aplikacija na jednostavan način omogućava slikovito praćenje promjene brzine, momenta i struje mašine, pri različitim načinima regulacije brzine. Zanimljivo je naglasiti da ova aplikacija ima i mogućnost javljanja i slanja upozorenja korisniku u slučaju da je nemoguće regulisati brzinu za unešene podatke.

Ključne riječi: DC pogon – MJSS – GUI aplikacija – regulacija brzine

GUI APPLICATION FOR DC DRIVE SPEED REGULATION

SUMMARY

This work deals with the development of a GUI application for DC drive speed regulation. For this purpose, the characteristics of the DC drive and the possible speed control modes are indicated in the first part of the paper. The main part of the paper is devoted to the creation of an application that enables the user to define machine parameters, value and type of load, as well as type of speed control. The realized application, in a simple way, enables a picturesque monitoring of the change in the speed, torque, and current of the machine for various speed control modes. It is interesting to note that this application has the ability to report and send alerts to the user in the case of impossible speed regulation for the entered data.

Key words: DC drive – DC motor – GUI application – speed regulation

1. UVOD

Električni pogon je industrijski sistem koji obavlja konverziju električne u mehaničku energiju, ili obrnuto. Ono što je zanimljivo jeste da se u zemljama sa razvijenom industrijom, preko polovina proizvedene električne energije pretvara u mehaničku, za različite potrebe. Električni pogoni imaju širok dijapazon prednosti u odnosu na druge vrste pogona, a samo neke od njih su: mogu se prilagoditi različitim radnim uslovima, imaju ogroman spektar mogućih snaga, imaju visok stepen

iskorišćenosti, mogućnost dobre kontrole i upravljanja, mogućnost visoke kratkotrajne preopterećenosti i dug životni vijek.

Električni pogon je sistem koji je sačinjen od: električnog motora, energetskog pretvarača, mehaničkog prenosioca i upravljačke strukture. Isto tako, električni pogoni mogu biti neregulirani i regulirani. Kod reguliranih pogona, kao motor najčešće se koristi upravo DC motor. Mašina jednosmjerne struje - MJSS je najprostija mašina sastavljena od statora sa istaknutim polovima i cilindričnog rotora. Bilo stalni magneti, bilo namotaj kroz koji protiče jednosmjerna struja, na statoru stvaraju pobudni fluks. Po svom obimu, cilindrični rotor ima ravnomjerno raspoređene žljebove sa namotajem armature [1].

Regulaciju brzine DC motora, koji se nalazi u sklopu DC pogona, moguće je odraditi na tri načina, a to su:

- promjena napona napajanja armature (smanjenjem napona napajanja armature smanjuju se i polazni moment i brzina praznog hoda),
- promjenom otpornosti armature (brzina praznog hoda ostaje ista, ali se povećanjem otpornosti armature smanjuje vrijednost polaznog momenta), i
- promjena fluksa (povećanje fluksa dovodi do smanjenja brzine, i obrnuto).

Usljed regulacije brzine na jedan od prvih dva načina, maksimalna moguća brzina DC motora ne može preći vrijednost nominalne, što nije slučaj kod regulacije promjenom fluksa.

Cilj ovog rada jeste da se napravi pregled svih mogućih načina regulacije brzine DC motora, koji se danas koristi u gotovo svim industrijskim procesima. Osim toga, cilj rada jeste i da se opiše realizovana Matlab-GUI aplikacija koja omogućava realizaciju grafičkog i numeričkog rješavanja problema regulacije brzine DC pogona.

Ovaj rad je raspoređen po poglavljima. U drugom poglavlju date su osnovne informacije o DC mašini i regulaciji brzine iste, dok će se u trećem poglavlju opisati realizovana GUI aplikacija (šta to ova aplikacija nudi, i kako najlakše doći do rezultata koje zanimaju korisnike). U četvrtom poglavlju biće dat kratak zaključak i sumirano sve dotad rečeno o datoj temi, kao i interaktivnoj aplikaciji.

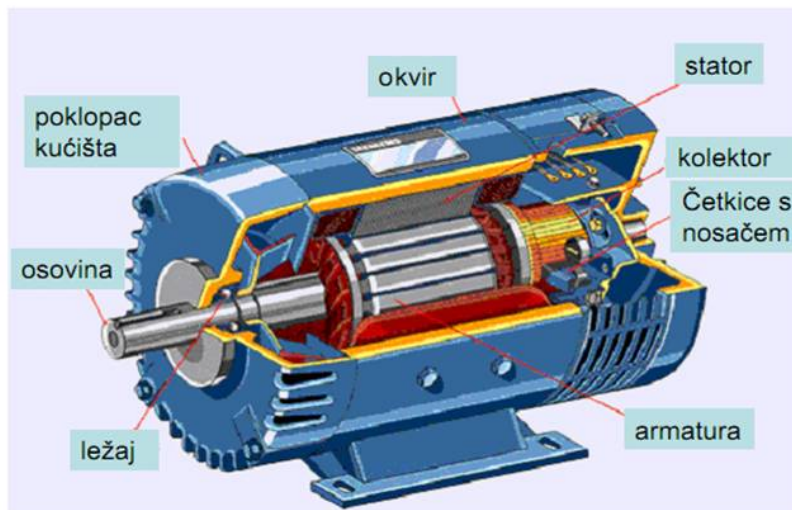
2. REGULACIJA BRZINE OBRATANJA MOTORA JEDNOSMJERNE STRUJE

2.1. Mašina jednosmjerne struje

Mašina jednosmjerne struje je najjednostavnija mašina sastavljena od statora sa istaknutim polovima i cilindričnog rotora (slika 1).

U cilju stvaranja pobudnog fluksa na statoru mogu se upotrebljavati stalni magneti ili namotaj kroz koji protiče jednosmjerna struja. Stalni magneti se montiraju sa unutrašnje strane statora, po njegovom obodu, dok se u slučaju DC mašine sa pobudnim namotajem, isti postavlja oko istaknutog pola (2 namotaja za dva istaknuta pola, redno su vezani i krajevi im se izvode na kućište). Kroz namotaje se propušta jednosmjerna struja, i na ovaj način se stvara magnetopobudna sila i pobudni fluks.

Namotaj armature smješten je u ravnomjerno raspoređenim žljebovima po obimu rotora. Redno sa namotajem armature vežu se namotaj pomoćnih polova (sa gornje i donje unutrašnje strane statora), koji služi da poboljša komutaciju, nekad i da ostvari forsiranu komutaciju, i kompenzacioni namotaj, koji se postavlja na ivici istaknutih polova i služi da kompenzuje dejstvo struje armature tj. reakciju armature. Na statoru se montira kolektorski aparat, na koji se postavljaju četkice koje dodiruju namotaj rotora sa dvije suprotne strane [2].



Slika 1. Dijelovi DC motora

Ukoliko se govori o principu rada DC mašine, prvi korak u pravilnom funkcionisanju je obezbjeđivanje napona pobude U_f . Ovaj napon se dovodi na pobudne namotaje na statoru i prouzrokuje proticanje struje I_f . Na taj način se u mašini stvara fluks ϕ . Zatim se na armaturu dovodi napon U_a , koji uslovljava da kroz namotaje armature protokne struja I_a . Time se u mašini dobija obrtni moment M_{obr} .

Kada je moguće zanemariti zasićenje magnetskog materijala, veza između pobudnog fluksa i struje pobude je data sa:

$$U_f = R_f I_f \quad (1)$$

gdje je U_f napon pobude, I_f struja pobude i R_f otpornost pobudnog namotaja.

Naponska jednačina kola armature je:

$$U_a = E + R_a I_a + \Delta U_c \quad (2)$$

gdje je ΔU_c pad napona na četkicama, U_a napon armature, I_a struja armature, R_a otpornost namotaja armature, a E indukovana ems.

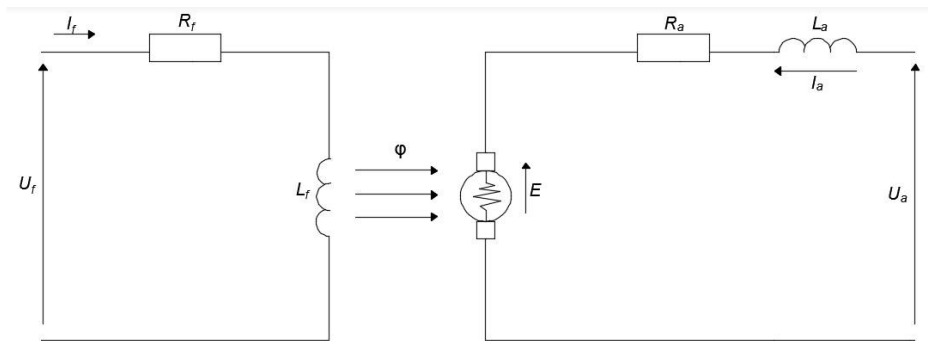
U slučaju da postoje pomoćni polovi i kompenzacioni namotaj, sa odgovarajućim otpornostima R_{pp} i R_{rp} , respektivno, naponska jednačina će biti:

$$U_a = E + (R_a + R_{pp} + R_{rp}) I_a + \Delta U_c \quad (3)$$

Pad napona na četkicama se u većini slučajeva zanemaruje, a ukupan otpor obilježava sa R , pa imamo:

$$U_a = E + R I_a \quad (4)$$

Zamjenska šema DC mašine može se vidjeti na slici 2. L_a i L_f predstavljaju induktivnosti kola armature i pobude.



Slika 2. Zamjenska šema DC mašine

2.2. Regulacija brzine DC motora

Da bi se vidjelo na koje se sve načine brzina obrtanja motora može regulisati, izvešće se formula za mehaničku karakteristiku motora jednosmjerne struje. To je karakteristika koja predstavlja zavisnost elektromagnetnog momenta u funkciji od brzine obrtanja. Ukoliko se postave sve jednačine koje opisuju rad motora JSS:

$$U_a = R_a I_a + E$$

$$E = C_e \varphi \omega$$

$$M_e = C_e \varphi I_a$$

gdje je C_e konstanta srazmjernosti, koja zavisi od karakteristike namotaja, φ fluks, ω brzina obrtanja motora, i M_e elektromagnetski moment.

Ako se eliminiše elektromotorna sila i struja armature iz prve jednačine, dolazi se do mehaničke karakteristike motora:

$$M_e = \frac{C_e \varphi}{R_a} U_a - \frac{(C_e \varphi)^2}{R_a} \omega \quad (8)$$

Na osnovu izvedene karakteristike se može zaključiti da se brzina obrtanja može regulisati na sljedeće načine:

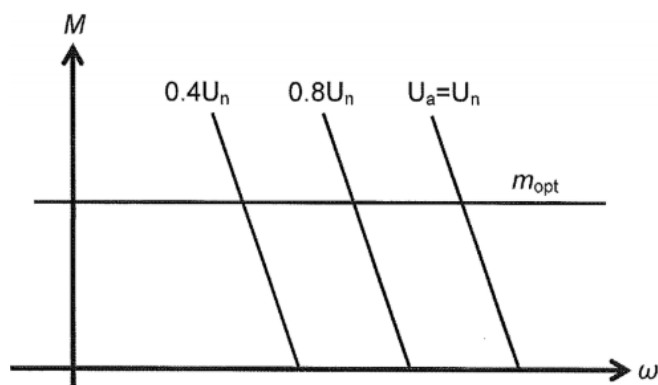
1. Promjenom napona napajanja armature,
2. Promjenom otpornosti armature,
3. Promjenom fluksa.

2.2.1. Regulacija brzine DC motora promjenom napona napajanja armature

U cilju razumijevanja šta će se desiti sa brzinom praznog hoda i polaznim momentom ukoliko se smanji napon U_a , posmatraće se dvije karakteristične tačke – tačka kojoj odgovara nulti moment opterećenja (čemu odgovara brzina praznog hoda), i tačka u kojoj je brzina obrtanja jednaka nuli (startovanje mašine).

Na ovaj način dobija se da je brzina praznog hoda $\omega_0 = U_a / C_e \varphi$ i polazni moment $M_0 = C_e \varphi U_a$.

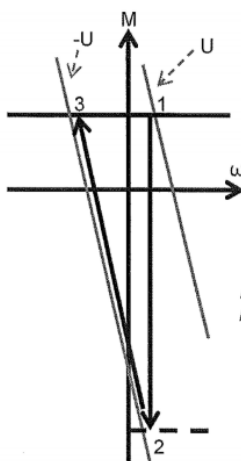
Lako je zaključiti da se smanjenjem napona armature U_a smanjuju i ove dvije veličine (slika 3).



Slika 3. Mehaničke karakteristike MJSS za različite vrijednosti napona armature

Postavlja se pitanje šta se dešava sa brzinom i momentom u slučaju nagle promjene napona napajanja. Ovdje je važno napomenuti da se brzina kao mehanička veličina ne može trenutno promijeniti, te će prije ulaska u novo stacionarno stanje motor proći kroz prelazni proces u kojem moment motora može dostići negativnu vrijednost. To se dešava ukoliko se napon armature previše smanji pa mašina može preći iz motornog u generatorski režim rada [3].

Ono što je najnepogodnije za mašinu jeste promjena smjera napona napajanja. Tada mašina prilikom prelaska u generatorski režim rada može dobiti elektromagnetni moment koji je mnogo veći (po apsolutnoj vrijednosti) od momenta u prvobitnom stacionarnom stanju. Obzirom da je razvijeni elektromagnetni moment proporcionalan struji armature a poznato je da prevelika struja armature prouzrokuje pregrijavanje četkica, ali i da prevelika struja kroz provodnike rotora čini da na njih djeluje ogromna elektromagnetna sila, da se zaključiti da je ovakva promjena napona kobna za mašinu (slika 4).



Slika 4. Promjena smjera napona napajanja armature

2.2.2. Regulacija brzine DC motora promjenom otpornosti namotaja armature

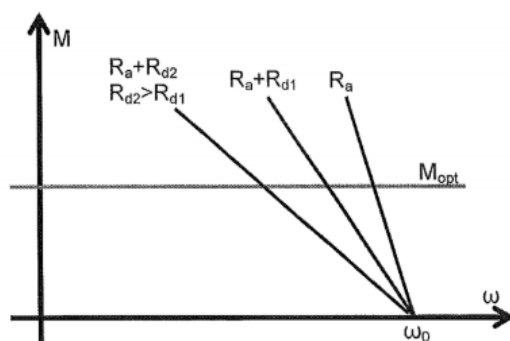
Ovakva vrsta regulacije ima prednost jer se otpor veoma jednostavno dodaje u armaturno kolo. Međutim, ogromna mana jeste pojava Džulovih gubitaka na dodatom otporu koji su srazmjerni kvadratu struje armature.

Mehanička karakteristika motora MJSS, kada se u kolo armature doda otpor R_d , je:

$$M_e = \frac{C_e \varphi}{R_a + R_d} U_a - \frac{(C_e \varphi)^2}{R_a + R_d} \omega \quad (9)$$

Brzina praznog hoda nije funkcija dodatog otpora, dok je polazni moment:
 $M_0 = C_e \varphi U_a / (R_a + R_d)$

Uočljivo je da se povećavanjem vrijednosti R_d polazni moment smanjuje (slika 5).



Slika 5. Mehaničke karakteristike MJSS za različite vrijednosti dodatog otpora u kolo armature

Ukoliko se izvrši dodavanje prevelike otpornosti u kolo armature, mašina može preći u generatorski režim rada. To se dešava kada se nagib mehaničke karakteristike smanji tako da se nova radna tačka nađe u drugom kvadrantu.

2.2.3. Regulacija brzine DC motora promjenom fluksa

Kolo armature MJSS opisano je sljedećim jednačinama:

$$U_a = R_a I_a + E$$

$$E = C_e \varphi \omega$$

Na osnovu prethodne dvije relacije dobija se formula za brzinu:

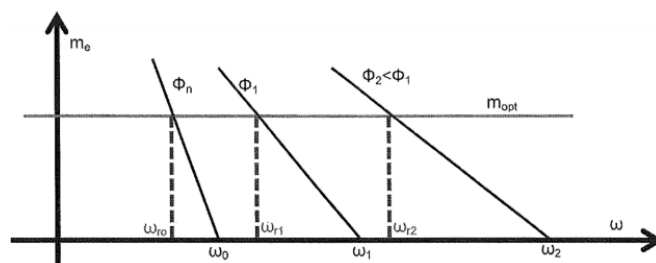
$$\omega = \frac{U_a - R_a I_a}{C_e \varphi}$$

iz koje se može vidjeti da je brzina obrtanja obrnuto proporcionalna fluksu.

Pobuda, tj. fluks, se može promijeniti na dva načina:

1. Dodavanjem otpornosti u kolo pobude (pri čemu napon U_f ostaje isti)
2. Promjenom napona pobude U_f .

Oba načina uzrokuju promjenu struje I_f koja dovodi do promjene fluksa. Ono što se može istaći kao prednost ove vrste regulacije jeste širok dijapazon brzina u kojima se ista može vršiti. Naime, prilikom regulacije brzine promjenom napona armature ili otpornosti, maksimalna moguća brzina ne smije biti veća od nominalne. Međutim, kod regulacije brzine promjenom fluksa, moguće je postići veće brzine.



Slika 6. Mehaničke karakteristike MJSS za različite vrijednosti pobude ispod nominalne

Teorijski gledano, ukoliko bi se pustilo da fluks teži nuli, dobila bi se brzina koja je beskonačna. Međutim, ovo je naravno u praksi nemoguće realizovati, već se fluks obično smanjuje do 2/3 nominalnog fluksa [4].

Velika mana ove regulacije je što prelazni proces traje jako dugo, zbog velike induktivnosti namotaja pobude. L_f je obično mnogo veće od L_a , tako da je i vremenska konstanta L_f/R_f velika.

3. REALIZOVANA GUI APLIKACIJA

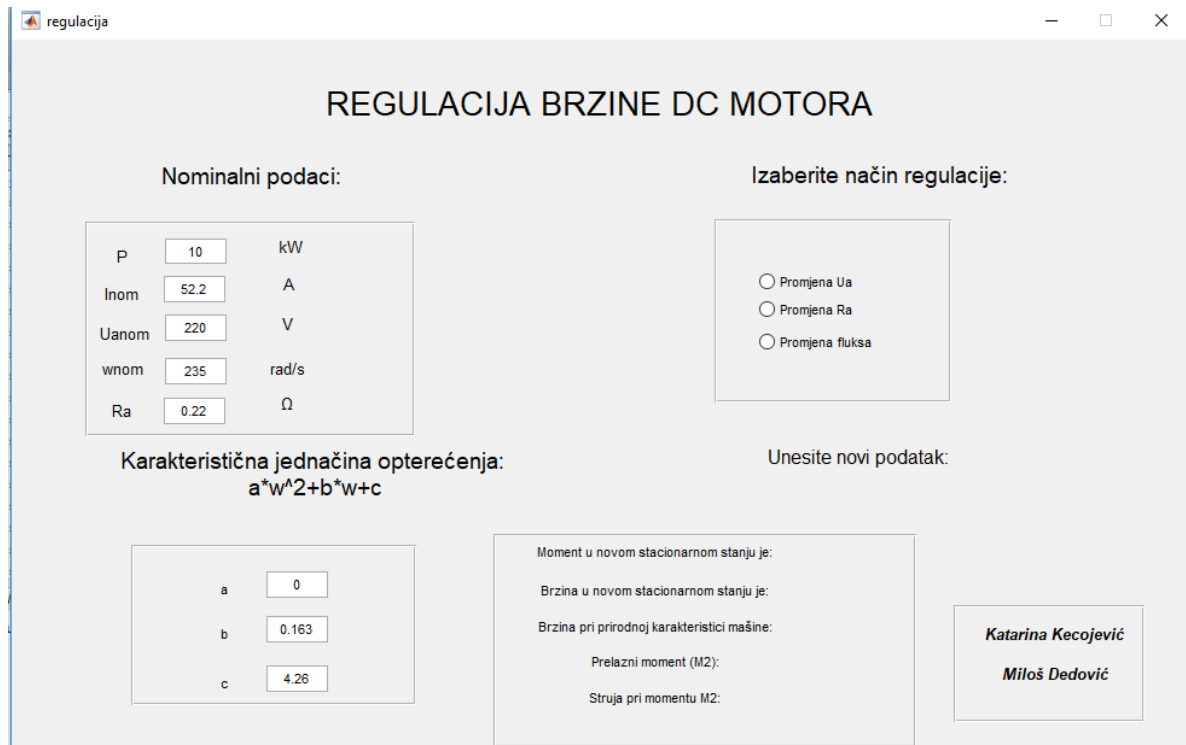
Aplikacija je realizovana u programu MATLAB. Prilikom njenog pokretanja, pojavljuje se prozor kao na slici 7, koji služi za komunikaciju sa korisnikom. Ova aplikacija korisniku nudi mogućnost unošenja parametara DC mašine, kao i odabira načina regulacije brzine obrtanja iste. Ukoliko korisnik ne unese parametre, u odgovarajućim poljima su već unešeni tipični podaci izvučeni iz jednog realnog slučaja.

Aplikacija kreira i prikazuje prirodnu, kao i pomjerene mehaničke karakteristike mašine, nastale usljed regulacija brzine na neki od tri ponuđena načina. Na graficima su jasno označeni brzina i moment u prvobitnom stacionarnom stanju, odnosno stanju u kojem se nalazila mašina prije regulacije. Takođe, označeni su i moment i brzina u novom ravnotežnom stanju, u koje mašina ulazi nakon prolaza kroz prelazni proces, nastao usljed regulacije.

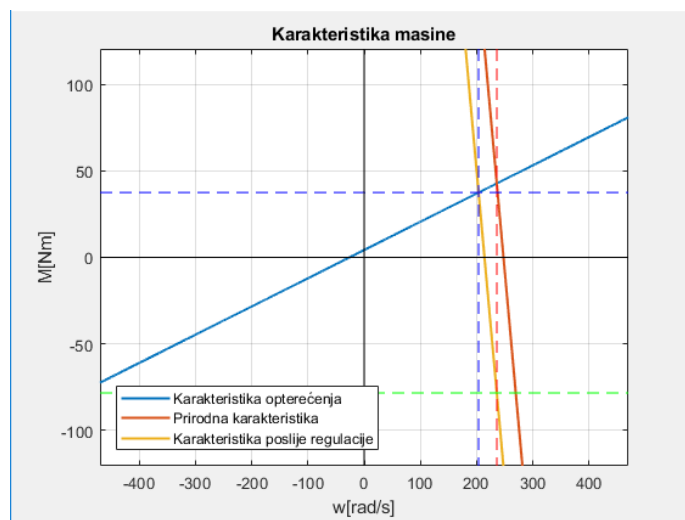
Ono što je možda najinteresantnije korisnicima jeste mogućnost ove aplikacije da prikaže i moment u prelaznom režimu, i javi putem poruke i upozorenja ukoliko je navedeni moment prekoračio maksimalni dozvoljeni moment, te da nije moguće regulisati brzinu za tako unešene podatke. Veoma je važna ova poruka, odnosno upozorenje, jer struja u DC mašini ne smije preći iznos od $2,5 I_n$, gdje je I_n nominalna struja armature DC mašine, kako ne bi došlo do oštećenja četkica.

Realizovana GUI aplikacija nudi mogućnost izbora opterećenja. Aplikacija je interaktivna, zanimljiva za rad svojim korisnicima, i na slikovit način prikazuje sve ono što korisnika zanima i što je karakteristično za unešene podatke.

Slike koje slijede prikazuju neke od rezultata koji se dobijaju preko aplikacije. Na primjer, slika 8. prikazuje šta se dešava sa karakteristikom DC mašine ukoliko se želi regulisati brzina tako što će se smanjiti napon armature. Isprekidanom crvenom linijom označava se brzina u prvom stacionarnom stanju, zelenom moment u prelaznom procesu, i isprekidanom plavom brzina i moment u stacionarnom stanju u koje mašina ulazi nakon regulacije. Opterećenje je uzeto kao linearna funkcija brzine.

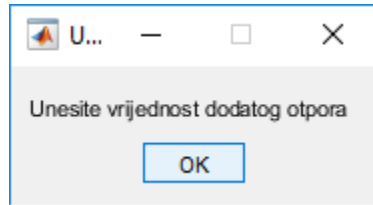


Slika 7. Izgled prozora pri startovanju aplikacije



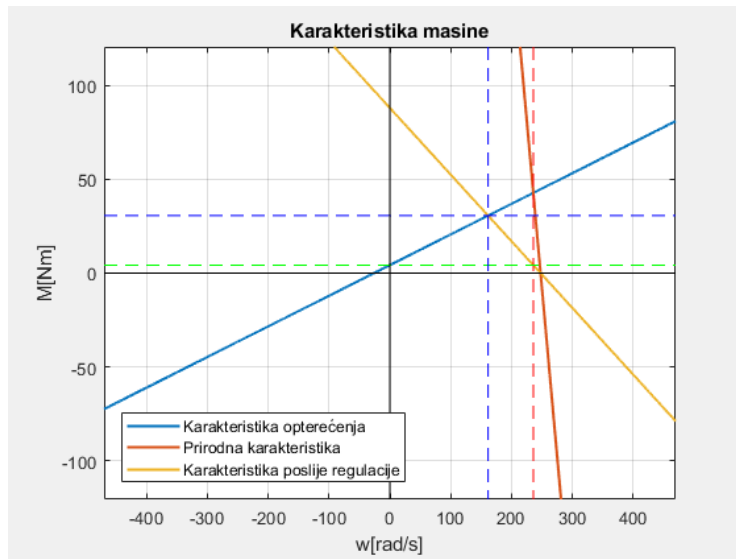
Slika 8. Regulacija brzine DC mašine promjenom napona napajanja

Na slici 9. prikazana je poruka koja se pojavi na ekranu kada korisnik izabere promjenu otpornosti namotaja armature, kao način regulacije, ali u polje koje je predviđeno za upisivanje dodate otpornosti ne upiše ništa. Analogna situacija se dešava ukoliko korisnik želi regulaciju naponom ili promjenom fluksa, ali zaboravi da unese nove vrijednosti. Takođe, može se desiti situacija kada korisnik unese vrijednost napona koja je veća od nominalne, te se javi poruka slične sadržine, koja upozorava da se promijeni unijeta vrijednost.

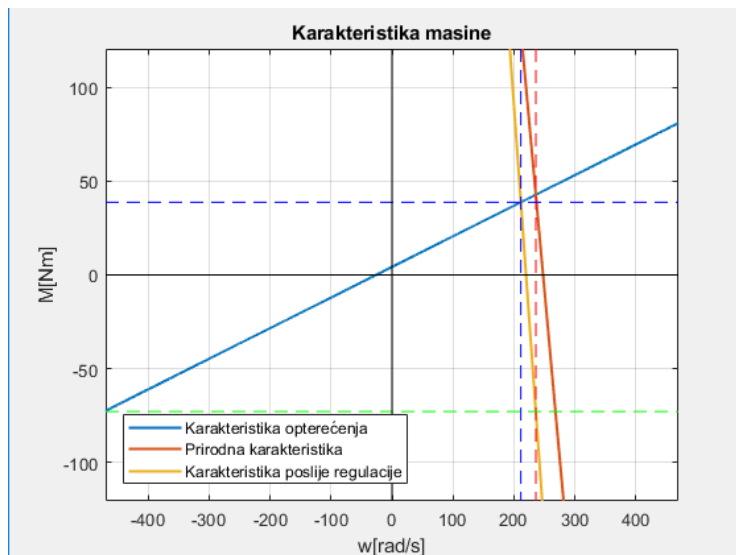


Slika 9. Upozorenje korisniku da unese dodati otpor

Na slikama 10. i 11. prikazani su grafici koji se dobijaju kada se želi regulisati brzina promjenom otpornosti armature, i promjenom fluksa, respektivno. Opterećenje je linearna funkcija brzine.

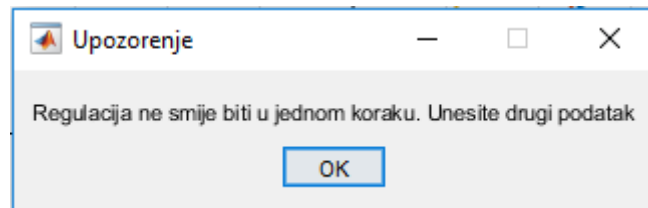


Slika 10. Regulacija brzine promjenom otpornosti armature



Slika 11. Regulacija brzine promjenom fluksa

Na slici 12. prikazano je upozorenje koje se pojavljuje na ekranu kada je nemoguće izvršiti regulaciju za zadate podatke, jer bi to bilo kobno po mašinu.



Slika 12. Upozorenje da je nemoguće izvršiti regulaciju

4. ZAKLJUČAK

U prethodnim poglavljima analizirana je regulacija brzine DC pogona. Detaljno je opisan rad same DC mašine, kao i mogući načini regulacije brzine iste.

Glavni dio ovog rada koncentrisan je na opisivanje realizovane aplikacije, koja je interaktivnog tipa i koja svojim korisnicima nudi precizno iscrtavanje $M-w$ karakteristika, kao i podatke o momentu, struji i brzini, kako u stacionarnim tako i u prelaznom režimu, za unešene podatke.

Aplikacija se posebno preporučuje studentima, koji preko nje mogu bolje upoznati samu prirodu DC pogona.

5. LITERATURA

[1] V.Vučković, "Elektromotorni pogoni", Akademska misao, Beograd 2002.

[2] Milan Todorović, "Odabrana poglavlja iz elektromotornog pogona", Skripta, Elektrotehnički fakultet, Beograd 1976.

[3] B.Jurković, "Elektromotorni pogoni", Školska knjiga, Zagreb 1978.

[4] M.Chilikin, "Electric Drive", Mir Publishers, Moskva 1978.

[5] J.Hindmarsh, "Working Examples in Electrical Machines and Drives", Pergamon Press, 1982.

[6] M.Ćalasan, "Elektromotorni pogoni, teorija sa zadacima", Skripta, Elektrotehnički fakultet, Podgorica 2018.