

Ognjen Lukačević*
Elektrotehnički fakultet
ognjen.lukacevic96@gmail.com

Dimitrije Bojović
Elektrotehnički fakultet
bojovic.dile333@gmail.com

Martin Čalasan
Elektrotehnički fakultet
martinc@ucg.ac.me

GUI APLIKACIJA ZA KOČENJE DC POGONA

KRATAK SADRŽAJ

Ovaj rad se bavi razvojem GUI aplikacije za kočenje DC pogona. U tom cilju u radu su najprije opisani mogući načini kočenja DC pogona. Nakon toga, pažnja je posvećena razvoju interaktivne aplikacije koja pruža mogućnost promjene parametara mašine, definisanja opterećenja, odabira vrste kočenja, uslova kočenja i slično. Realizovana aplikacija omogućava dobijanje izlaznih karakteristika mašine uz proračun svih karakterističnih vrijednosti.

Ključne riječi: DC pogon – MJSS – GUI aplikacija – kočenje mašine

GUI APPLICATION FOR DC DRIVE BRAKING

SUMMARY

This paper deals with the development of a GUI application for DC drives braking. In that purpose, the braking methods of DC drives are described firstly. After that, attention has been devoted to the development of an interactive application that provides the possibility of changing machine parameters, defining loads, selecting the braking type, braking conditions, etc. The realised application enables the calculation of output characteristics of the machine, with the calculation of all characteristic values.

Key words: DC drive – DC motor – GUI application – drive braking

1. UVOD

Električni pogon je industrijski sistem koji vrši konverziju električne energije u mehaničku energiju (mehaničke energije u električnu energiju) [1,2]. Električni pogoni imaju značajne prednosti u odnosu na druge vrste pogona. Prednost ovakvih pogona se ogleda u njihovom prilagođavanju različitim radnim uslovima i imaju širok dijapazon snaga i brzina. Električni pogoni su ekološki povoljni i imaju visok stepen korisnosti. Takođe neke od prednosti ovakvog tipa pogona su i dobre upravljačke karakteristike, sposobnost visoke kratkotrajne preopteretivosti i dug radni vijek. Pored značajnih prednosti, ovakav pogon ima i dva značajna nedostatka a to su zavisnost od električnog napajanja i mali odnos snage prema težini.

Najstariji tip električnih pogona su pogoni sa mašinama jednosmjerne struje – DC mašinama [3]. DC mašine su sastavljene od statora sa istaknutim polovima i cilindričnog rotora. Ranije su pogoni jednosmjerne struje imali veliku zastupljenost u industriji, prije svega zbog svojih odličnih regulacionih karakteristika. Zbog svoje veoma visoke cijene, potrebe za održavanjem i kraćeg radnog vijeka u odnosu na pogone naizmjenične struje izgubili su primjenu, pogotovo u oblastima većih snaga. Međutim proučavanje rada jednosmjernih pogona je veoma bitno zbog lakšeg upoznavanja sa sinhronim i asinhronim pogonima.

Jedna od najviše izučavanih problematika kod DC pogona je kočenje DC pogona. Kočenje električnih pogona se dešava prilikom prinudnog usporavanja pogona radi promjene brzine ili zaustavljanja. Kod kočenja DC pogona tri načina kočenja i to su:

- generatorsko, koje odgovara radu pogona u generatorskom režimu i može biti rekuperativno i dinamičko
- protivstrujno
- mehaničko, ovo kočenje se ostvaruje preko mehanicke kocnice.

Cilj ovog rada je opis svih vrst kočenja, kao i opis realizovane GUI aplikacije koja pruža mogućnost proračuna i analize istih. Sama aplikacija je realizovana u programu MATLAB, a takođe pruža osim promjene vrste kočenja, promjenu parametara mašine, definisanje opterećenja, uslova kočenja i slično. Štaviše ona pruža mogućnost posmatranja izlaznih karakteristika uz dobijanje grafičkih rezultata i numeričkih proračuna.

U nastavku teksta, u Poglavlju 2 biće detaljno objašnjeno kočenje DC pogona, kao i same podjele kočenja i njihovo funkcionisanje. U Poglavlju 3 opisana je realizovana GUI aplikacija. Poglavlje 4 je rezervisano za zaključak rada, u kojem se nalaze i informacije šta je postignuto realizovanjem ovakve aplikacije i šta nudi njena primjena.

2. KOČENJE DC POGONA

Pri kočenju električnih pogona moguće je mehaničku energiju pretvoriti u električnu energiju. U praksi, razlikujemo 3 vrste kočenja, i to su [1]:

- I. Generatorsko kočenje
- II. Protivstrujno
- III. Mehaničko kočenje

2.1. Generatorsko kočenje

Razlikuju se dva tipa generatorskog kočenja:

- regenerativno (rekuperativno)
- dinamičko (reostatsko)

2.1.1. Regenerativno (rekuperativno) kočenje

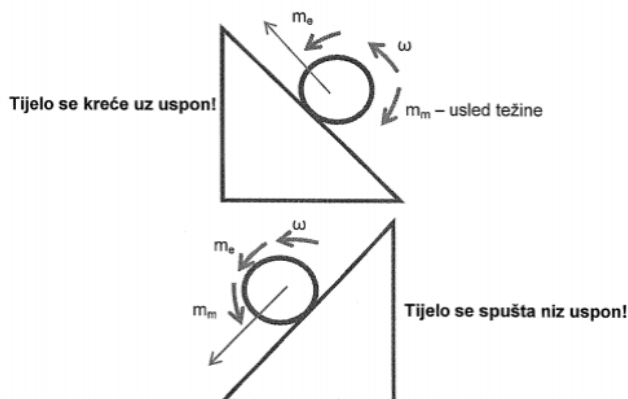
Regenerativno kočenje se koristi tamo gdje opterećenje motora ima vrlo visoku inerciju (npr. kod vozova) [1,2]. Prilikom ove vrste kočenja, mašina prelazi iz motornog režima u generatorski režim rada. Kod ove vrste kočenja, generisana energija se vraća izvoru napajanja motora. Kada se mašina nalazi u generatorskom režimu, radna tačka se nalazi u parnim kvadrantima $M(w)$ karakteristike.

Kada je snaga koju razvija mašina negativna, tada se razvija regenerativno kočenje. Ovakvo kočenje može biti ostvareno na više načina i to su:

- spuštanje/podizanje tereta
- promjena napona napajanja
- promjena smjera napona napajanja

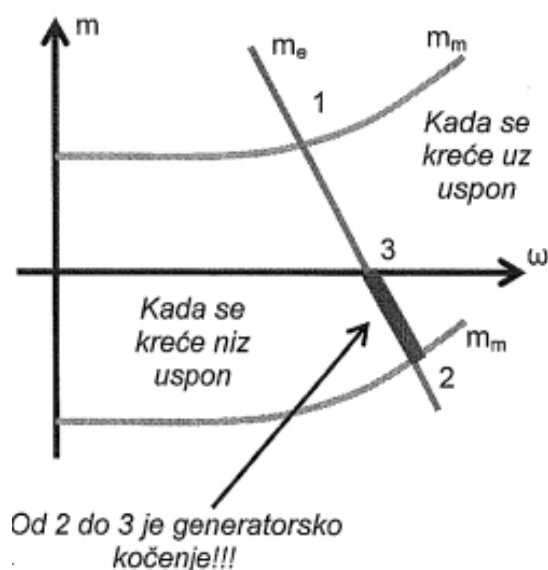
2.1.1.1. Spuštanje/podizanje terete [1,2]

Na slici 1. prikazana su dva slučaja kretanja tijela uz brdo i niz brdo. Sa slike se uočava da su u slučaju podizanja tijela uz brdo, brzina i elektromagnetni moment istog smjera, dok je moment opterećenja suprotnog smjera. U slučaju kada se tijelo spušta niz brdo brzina, elektromagnetni moment i moment opterećenja su istog smjera.



Slika 1. - Spuštanje i podizanje terete

Posmatrajući M-w karakterisku sa slike 2. primjećuje se da moment opterećenja mijenja znak, kada se tijelo penje uz brdo tada je pozitivan, a kada se spušta niz brdo moment je negativan. Sa slike vidimo da, kada je radna tačka u tački 1 mašina radi u motornom režimu, od tačke 2 do tačke 3 vrši generatorsko kočenje.



Slika 2. M-w karakteristika

2.1.1.1. Promjena napona napajanja [1,2]

Rekuperativno kočenje moguće je ostvariti promjenom napona napajanja. Promjena napona znači transliranje prave na M-w karakteristici. Pri nagloj promjeni napona, prilikom prelaska iz jedne radne tačke u drugu može doći do generatorskog kočenja. Kada se promjeni napon napajanja mašine ona će težiti da pređe u novu radnu tačku, ali zbog svoje inertnosti to se ne može desiti odmah. Naime, ako je razlika napona dovoljno velika, mašina može preći u generatorski režim rada (IV kvadrant).

2.1.1.1. Promjena smjera napona napajanja [1,2]

U ovom slučaju kada napon mijenja polaritet, nova radna tačka se nalazi u II kvadrantu (generatorski režim rada). Prilikom prelaska iz starog stacionarnog stanja (motorni režim rada) u novo, mašina će prvo preći u IV kvadrant gdje se javlja i protivstrujno kočenje sve dok mašina ne pređe u III kvadrant.

2.1.2. Dinamičko/otporničko kočenje [1,2]

Dinamičko kočenje je takođe vrsta generatorskog kočenja. Međutim u ovom slučaju, energija se ne vraće izvoru već se energija troši u dodatnim otpornicima. Dakle, u ovom slučaju namotaji armature se kratko spajaju sa ili bez dodatog otpora. Teoriski je moguće vršiti ovakvo kočenje bez dodatog otpora ali kako je struja ograničena vrijednošću 2-2.5 puta većom od nominalne vrijednosti struje armature, dodatni otpor se uvijek dodaje. Iz prethodno rečenog imamo da je $U_a = 0$ pa imamo da je mehanička karakteristika mašine oblika:

$$M = -\frac{(C_e\phi)^2}{R_a} w \quad (1)$$

Mana ovakvog kočenja jeste što kada u kolu armature nema dodatog otpora, u prelaznom režimu struja armature dostiže velike vrijednosti. Ako se uključi dodatni otpor R_d mehanička karakteristika ima sljedeći oblik

$$M = -\frac{(C_e\phi)^2}{R_a + R_d} w \quad (2)$$

Dodavanjem veće vrijednosti dodatog otpora dolazi do većeg zakrivljenja Me krive. Treba napomenuti da ovakav način kočenja nije poželjan zbog velikih gubitaka koji nastaju u dodatnom otporniku.

2.2. Protivstrujno kočenje [1,2]

Protivstrujno kočenje se ostvaruje na sledeće načine:

- promjenom polariteta napona napajanja sa/bez dodavanja dodatnog otpora u kolu armature
- dodavanje otpora u kolu armature

U režimu protivstrujnog kočenja, mašina iz mreže uzima veliku struju. Zbog toga se radi zaštite motora i izvora uvijek koristi izvedba sa dodatim otporom. Kod PS kočenja nema rekuperacije energije već se jedan dio energije uzima iz mreže.

2.2.1. PS kočenje – promjenom polariteta napona napajanja [1,2]

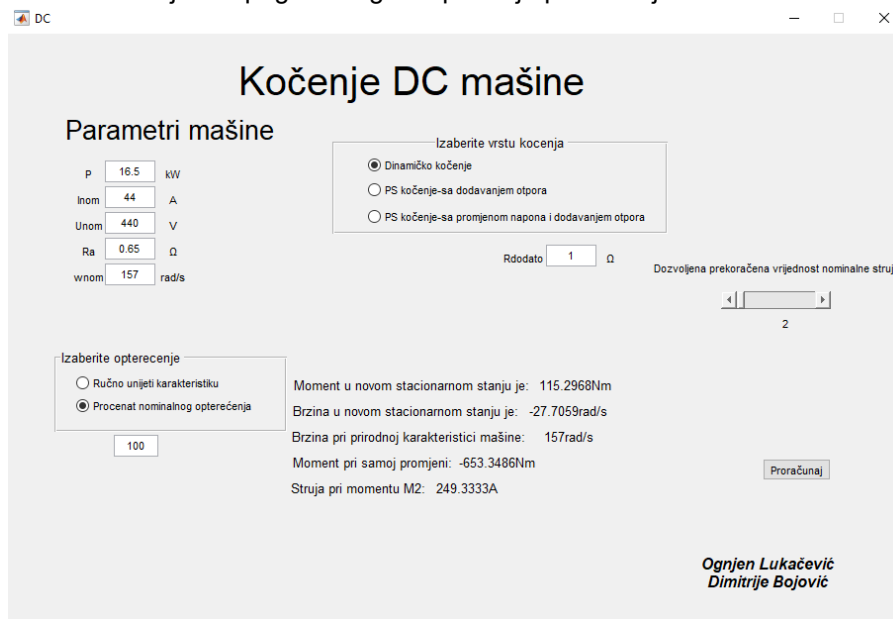
Kada promijenimo polaritet napona M_e -w kriva se translira, pa se nova radna tačka nalazi u drugom kvadrantu. Kako je rečeno u uvodu, dodavanje otpora je obavezno. PS kočenje u ovom slučaju se dešava u IV kvadrantu. Takođe ovdje nastaje i generatorsko kočenje i to u II kvadrantu.

2.2.2. PS kočenje - dodavanje otpora [1,2]

Već je rečeno u prethodnom slučaju, kada se izvrši dodavanje otpora u kolo armature, dolazi do zakrivljenja mehaničke karakteristike. Ako se doda dovoljno velika vrijednost otpora, karakteristika se može naći u drugom kvadrantu, tj. radna tačka će biti u drugom kvadrantu gdje nastaje PS kočenje.

3. REALIZOVANA GUI APLIKACIJA

U programskom paketu Matlab realizovana je GUI aplikacija koja pruža mogućnost realizacije i praćenja različitih vrsta kočenja DC pogona. Izgled aplikacije prikazan je na slici 3.



Slika 3. Izgled aplikacije

Ova aplikacija korisniku nudi mogućnost unošenja parametara DC mašine, kao i odabiranja vrste kočenja iste. Ukoliko korisnik ne unese podatke, u odgovarajućim poljima su već unešeni tipični podaci izvučeni iz jednog realnog slučaja.

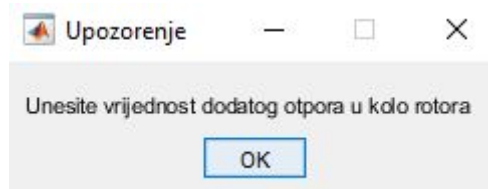
Aplikacija pruža mogućnost proračuna prirodne, kao i mehaničke karakteristike mašine, za različite vrijednosti napona napajanja, promjene smjera napona napajanja, uz/bez dodavanja otpora u kolo armature. Štaviše, aplikacija prikazuje rezultate proračuna karakterističnih vrijednosti momenta, brzine i struje u stacionarnom stanju. Takođe, aplikacija i prikazuje rezultate proračuna brzine i momenta u novom ravnotežnom stanju u koje mašina dolazi nakon prelaznog procesa nastalog nakon 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, i da nije moguće vršiti kočenje za tako unešene podatke. Ova poruka je veoma važna jer struja u DC mašini ne smije premašiti iznos od $(2-2,5) \cdot I_n$, gdje je I_n nominalna struja armature DC mašine, zbog ograničenja koje unose četkice.

Na kraju opisa realizovane aplikacije treba naglasiti da ista nudi i mogućnost izbora opterećenja.

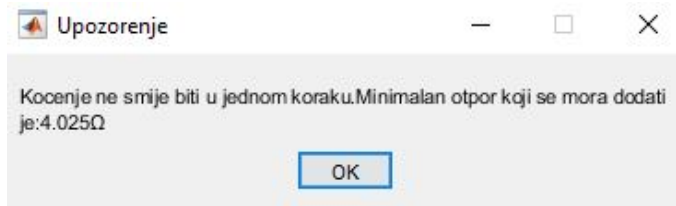
Na sledećim slikama prikazani su neki od rezultata dobijenih korišćenjem realizovane GUI aplikacije.

Na slici 4. prikazana je poruka upozorenja korisniku koja se javlja u slučaju ako se ne unese dodata otpornost u kolo rotora.



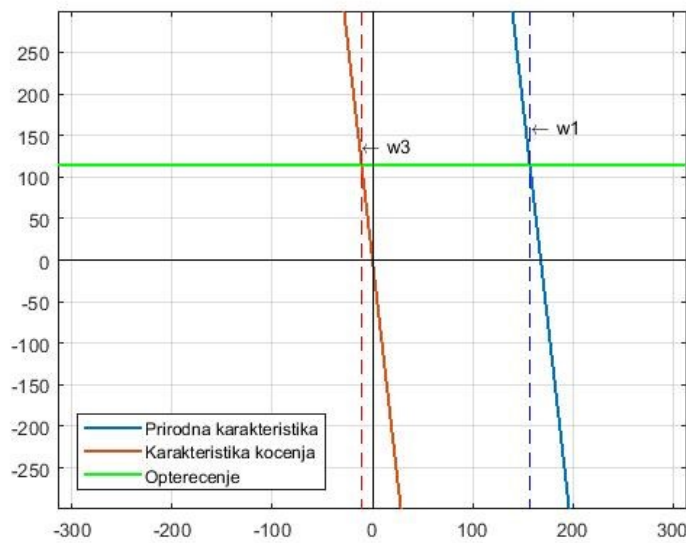
Slika 4. Poruka upozorenja-Unesite vrijednost dodatog otpora

Na slici 5. prikazan je izgled poruke korisniku koja se javlja u slučaju kada prilikom kočenja DC pogona vrijednost struje armature u trenutku aktiviranja kočenja pređe dozvoljenu vrijednost.

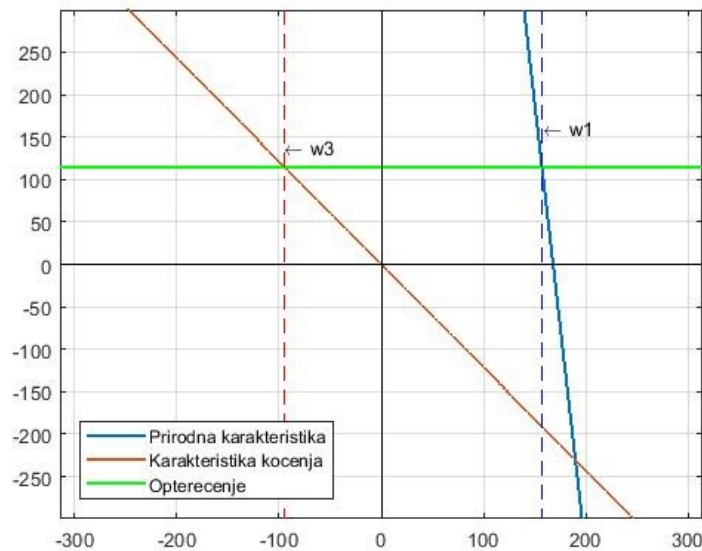


Slika 5. Poruka upozorenja-Mala vrijednost dodatog otpora

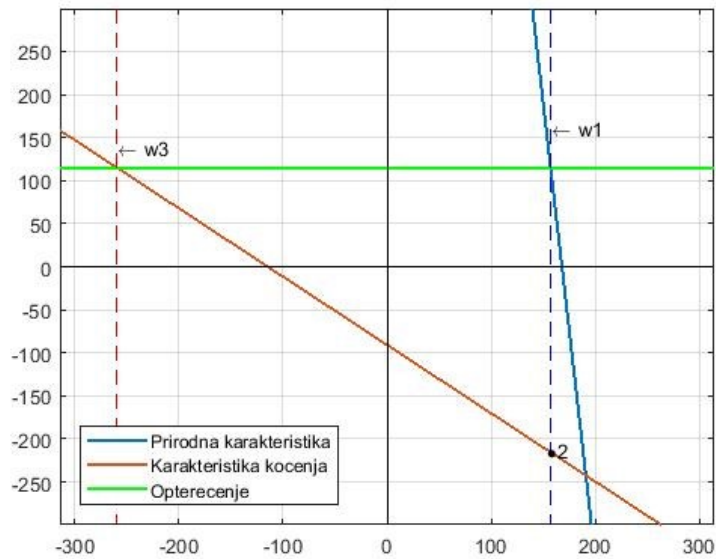
Na slikama 6-9 prikazane su mehaničke karakteristike MJSS u slučaju dinamičkog kočenja, dinamičkog kočenja sa dodatim otporom, PS kočenja pri promjeni polariteta napona i sa dodatim otporom, PS kočenja sa dodatim otporom, respektivno.



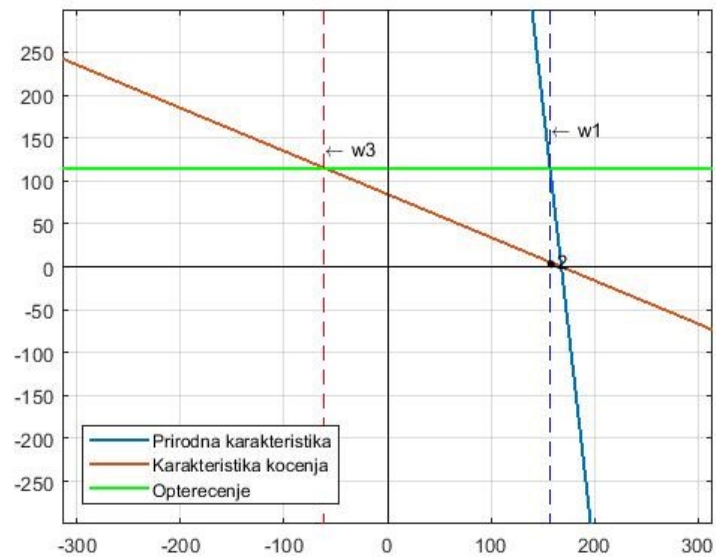
Slika 6. Dinamičko kočenje bez dodatog otpora



Slika 7. Dinamičko kočenje sa dodatim otporom



Slika 8. PS koćenje pri promjeni polariteta napona i dodatim otporom



Slika 9. PS koćenje sa dodatim otporom

Na osnovu svih slika vidi se da realizovana aplikacija pruža mogućnost označavanja svih karakterističnih radnih tačaka, dok sa druge strane omogućava i proračun svih karakterističnih vrijednosti.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu teorijski je analiziran problem koćenja DC pogona. Opisan je rad samog DC pogona, kao i razne vrste koćenja koje se mogu javiti u toku rada DC pogona. Dati su detaljni prikazi M-w karakteristika za sve moguće načine koćenja.

Glavni dio rada posvećen je opisu realizovane GUI aplikacije, kao i sve mogućnosti koje rad sa njom pruža. Neke od tih mogućnosti su: dobijanje preciznih M-w karakteristika; proračun karakterističnih vrijednosti struja, brzine i momenata.

Aplikacija je interaktivna, zanimljiva za rad korisnicima i na slikovit način prikazuje sve ono što se dešava prilikom realizacije kočenja uz grafičko i numeričko praćenje vrijednosti svih karakterističnih veličina.

Realizovana aplikacija može služiti kao velika olakšica studentima prilikom izrade i razumijevanja različitih problema iz DC pogona. GUI aplikaciju u cilju daljeg unapređivanja moguće je proširiti tako što se realizuje dio aplikacije koja omogućava regulaciju brzine DC pogona.

5. LITERATURA

- [1] V.Vučković, „Električni pogoni“, Akademska misao, Beograd 2002
- [2] B. Jurković, „Elektromotorni pogoni“, Školska knjiga, Zagreb 1978
- [3] G.Joksimović, „Električna mašina jednosmjerne struje“, Skripta, Podgorica 2015
- [4] P.C.Sen, „Principles of Electrical machines and Power Electronics“, John Wiley & Sons, New York 1987
- [5] P. Vas, „Electrical Machines and Drives“, Clarendon Press, Oxford 1992
- [6] V.Vučković, „Opšta teorija električnih mašina“, Nauka, Beograd 1992
- [7] P.C. Krause, „Analysis of Electric Machinery and Drive Systems“ 3rd edition, Wiley, 2013