

Ksenija Brakočević
Nacionalni dispečerski centar Crne Gore
ksenija.brakocevic@cges.me

Doc.dr Martin Čalasan
Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore
martinc@ucg.ac.me

REGULACIJA BRZINE MOTORA JEDNOSMJERNE STRUJE PRIMJENOM PID REGULATORA

KRATAK SADRŽAJ

Ovaj rad se bavi regulacijom brzine motora jednosmjerne struje (MJSS) pomoću PID regulatora. U radu će se predstaviti model DC mašine, pozicija svih komponenti u regulacionom pogonu, kao i značaj PID regulatora. Takođe, izvršiće se poređenje odziva brzine MJSS za različite vrijednosti parametara PID regulatora uzetih iz literature za konkretne parametre regulisanog pogona sa MJSS.

Ključne riječi: DC motor, regulacija brzine, PID, optimizacija

SPEED REGULATION OF DC MOTOR USING PID CONTROLLER

SUMMARY

This paper deals with the regulation of the speed of direct current motor (DC motor) using PID controllers. The machine model, the position of all the components in the speed-regulation loop as well as the significance of PID controller will be presented in this paper. The step responses for the different values of the parameters of PID controller taken from the literature will be compared for the observed DC motor.

Key words: DC motor, speed control, PID, optimisation

1. UVOD

Motora jednosmjerne struje zahvaljujući svojim povoljnim funkcionalnim karakteristikama imaju primjenu u industriji, električnoj vuči, automobilima kao i uređajima koji se koriste u domaćinstvu. Glavni nedostaci upotrebe motora jednosmjerne struje se ogledaju u potrebi za redovnim održavanjem, relativno visokoj cijeni i kraćem vijeku trajanja u odnosu na motore naizmjenične struje. Međutim, iako asinhroni motori potiskuju upotrebu motora jednosmjerne struje, pogotovo u industriji, motori jednosmjerne struje se i dalje vrlo često koriste uglavnom kao motori manjih snaga i kada je neophodan pogon sa širokim opsegom regulacije brzine.

Široka upotreba motora jednosmjerne struje, ali i sve veći zahtjevi u pogledu kvalitetnijeg upravljanja brzinom jednosmjernih motora čine problematiku regulacije brzine jednosmjernog motora atraktivnom i opravdavaju potrebu za revizijom dosadašnjih dostignuća iz te oblasti.

Kako se motori jednosmjerne struje koriste kao dio regulisanog pogona, od ključnog značaja za postizanje kvalitetnog odziva na zadatu pobudu je adekvatan odabir vrijednosti parametara regulatora. Za regulaciju brzine motora jednosmjerne struje dominantno se koriste PID regulatori. Do sada, u svrhe nalaženja što boljih parametara PID regulatora za regulaciju brzine DC motora primjenjivani su različiti optimizacioni algoritmi. S tim u vezi, u dostupnoj literaturi se može naći

primjena sljedećih algoritama za ovu svrhu - *Opposition based Henry gas solubility optimization* (OB/HGSO), *Henry gas solubility optimization* (HGSO), *Harris Hawks Optimization* (HHO), *Sine Cosine Algorithm* (SCA), *Improved Sine Cosine Algorithm* (ISCA), *Slime Mould Algorithm* (SMA), *Salp Swarm Algorithm* (SSA), *Grey Wolf Optimization* (GWO), *Invasive Weed Optimization* (IWO), *Stochastic Fractal Search* (SFS), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Whale Optimization Algorithm* (WOA), *Improved Whale Optimization Algorithm* (IWOA), *Atom Search Optimization* (ASO) i *Chaotic Atom Search Optimization* (chASO) [1-24].

Ovaj rad je organizovan u šest poglavlja od kojih je prvo poglavlje uvodno. U drugom poglavlju objašnjeno je funkcionisanje DC motora i način na koji se DC motor modeluje. Treće poglavlje se bavi PID regulatorom, njegovim funkcionisanjem i modelovanjem. U četvrtom poglavlju je izložena komparativna analiza kvaliteta odziva koji se postiže primjenom ranije pomenutih algoritama. Na kraju rada, u zaključku, dat je osvrt na cjelokupan rad.

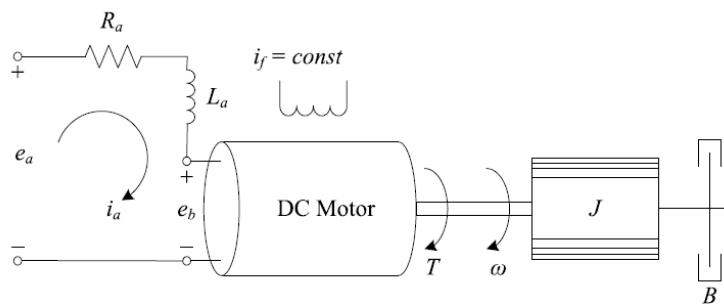
2. DC MOTOR

Mašine jednosmjerne struje se sastoje od statora, rotora i namotaja. Stator, preko istaknutih polova, ima ulogu u kanalisanju pobudnog fluksa koji stvaraju namotaji kroz koje protiče jednosmjerna struja (pobudni namotaji) ili stalni magneti. Rotor mašine jednosmjerne struje ima žljebove ravnomjernog rasporeda u koje se smještaju namotaji armature. DC mašinama se dodaju još i pomoćni namotaji koji se postavljaju u unutrašnjost statora, a redno su vezani na namotaje armature. Ovi namotaji služe za poništavanje reakcije armature DC motora. Na namotaje armature se redno vezuju još i kompenzacioni namotaji koji dodatno kompenzuju uticaj reakcije armature na oblik magnetnog polja pobude [25, 26].

Da bi mašina jednosmjerne struje funkcionisala potreban joj je pobudni napon koji se dovodi na namotaje pobude, odnosno namotaje statora čime će proteći struja pobude i stvoriti se fluks u mašini. Nakon toga se dovodi napon na armaturu čime protiče struja kroz namotaje armature. Proticanje struje kroz provodnik koji se nalazi u magnetnom polju izaziva formiranje obrtnog momenta u mašini.

Regulacija brzine obrtanja motora jednosmjerne struje može se ostvariti promjenom napona napajanja, promjenom otpornosti namotaja armature i promjenom vrijednosti fluksa u mašini. Međutim, danas se najviše koristi pristup baziran na promjeni napona napajanja, i to primjenom statičkih pretvarača. Primjenom statičkih ispravljača vrši se ispravljanje i regulacija napajanja mašina, a samim tim i efikasna regulacija brzine obrtanja [25,26].

Na slici 1 je prikazana blok šema motora jednosmjerne struje. Na ovoj slici oznake su sljedeće: R_a – otpor armature; L_a – induktivnost armature; i_a – struja armature; i_f – struja polja; e_a – napon armature; e_b – kontra-elektromotorna sila; T – moment motora; ω – ugaona brzina motora; J – moment inercije motora i B – frikciona konstanta motora.



Slika 1. Šema DC motora

Za fluks koji je konstantan indukovani napon e_b je jednak:

$$e_b = K_b \frac{d\theta}{dt} = K_b \omega \quad (1)$$

gdje je K_b – elektromotorna konstanta.

Kako je ranije pomenuto brzina DC motora kontroliše se naponom armature e_a . Jednačina armaturnog kola je:

$$e_a = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_b \quad (2)$$

Momentna jednačina mašine je:

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega = K i_a \quad (3)$$

gdje je K elektromagnetna konstanta.

Jednačine (4),(5),(6) opisuju sistem sa slike 1. Ove jednačine prevedene u Laplasov domen glase:

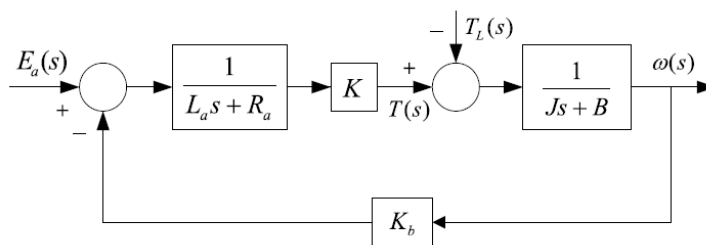
$$E_b(s) = K_b \omega(s) \quad (4)$$

$$E_a(s) = (L_a s + R_a) I_a(s) + E_b(s) \quad (5)$$

$$T(s) = (J s + B) \omega(s) = K I_a(s) \quad (6)$$

Sada je moguće predstaviti DC motor blok dijagramom (slika 2) koristeći ove funkcije, ali i dobiti prenosnu funkciju DC motora:

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{(L_a s + R_a)(J s + B) + K_b K} \quad (7)$$



Slika 2. Blok dijagram DC motora

3. PID REGULATOR KOD DC POGONA

Regulatori koji su do sada imali najširu primjenu u regulaciji jednosmjernih motora su bili PID regulatori. Njihova jednostavnost, mala cijena i kvalitetan odziv koji postižu su glavni razlozi za njihovu rasprostranjenu primjenu.

PID regulatori imaju tri podesiva parametra: pojačanje, integralnu vremensku konstantu i diferencijalnu vremensku konstantu. PID regulator u sebi objedinjuje proporcionalno, integralno i diferencijalno dejstvo što omogućava postizanje kvalitetnih performansi u pogledu brzine reagovanja, stabilnosti, tačnosti rada, kao i trajanja prelaznog procesa [27-35].

Poslednjih godina se za regulisanje brzine jednosmjernog motora koriste i FOPID regulatori. Ovaj tip regulatora predstavlja uopšteniju varijantu tradicionalnog PID-a koja implementira frakcionalni integralno-diferencijalni kalkulus. FOPID regulatori imaju još dva dodatna podesiva parametra u

odnosu na PID regulatore, tj. parametre λ i μ koji se odnose na stepen frakcionalne integracije i stepen frakcionalne diferencijacije [27-35].

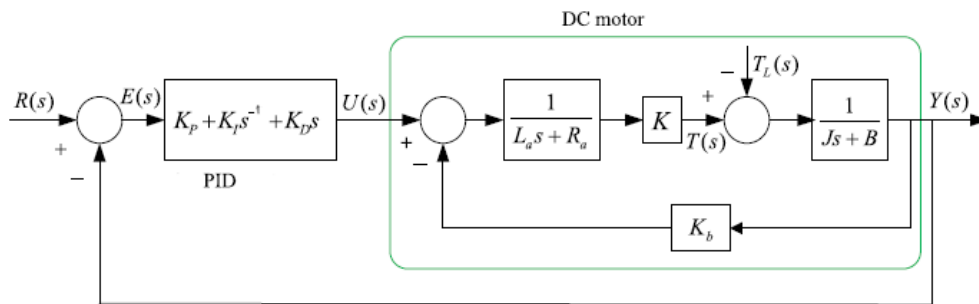
Pored PID-a i FOPID-a u regulaciji brzine jednosmjernih mašina ranije su se koristili PI i PD regulatori. Postoje takođe i primjene fuzzy logike i deep learning-a u cilju regulacije brzine DC motora [36-40].

Prenosna funkcija PID-a je:

$$G_{pid} = K_p + K_i s^{-1} + K_d s \quad (8)$$

Na slici (3) je predstavljen blok diagram DC motora sa PID regulatorom, prenosna funkcija zatvorene petlje ovog sistema je:

$$T_{pid} = \frac{K(K_p s + K_d s^2 + K_i)}{(Ls + R)(Js + B) + K(K_p s + K_d s^2 + K_i)} \quad (9)$$



Slika 3. Blok dijagram DC motora sa PID regulatorom

Uz pomoć prenosne funkcije zatvorene petlje ovog sistema može se odrediti step odziv sistema i na taj način dobiti informacije o kvalitetu samog odziva i regulacije DC motora.

4. KOMPARATIVNA ANALIZA

U nastavku će biti izložene vrijednosti parametara regulatora, vrijednosti preskoka, vremena smirenja i vremena uspona za sledeće algoritme koji su se koristili u regulaciji brzine obrtanja motora jednosmjerne struje: Opposition based Henry gas solubility optimization (OB/HGSO), Henry gas solubility optimization (HGSO), Harris Hawks Optimization (HHO), Sine Cosine Algorithm (SCA), Improved Sine Cosine Algorithm (ISCA), Slime Mould Algorithm (SMA), Salp Swarm Algorithm (SSA), Grey Wolf Optimization (GWO), Invasive Weed Optimization (IWO), Stochastic Fractal Search (SFS), Particle Swarm Optimization (PSO), Whale Optimization Algorithm (WOA), Improved Whale Optimization Algorithm (IWOA) i Atom Search Optimization (ASO).

Vrijednosti parametara korišćenog DC motora su sljedeće:

Tabela 1: Vrijednosti parametara razmatranog DC motora

R_a	0.4Ω
L_a	2.7H
J	0.0004kg.m ²
B	0.0022N.m.s/rad
K	0.015N.m/A

K_b	0.05V.s
-------	---------

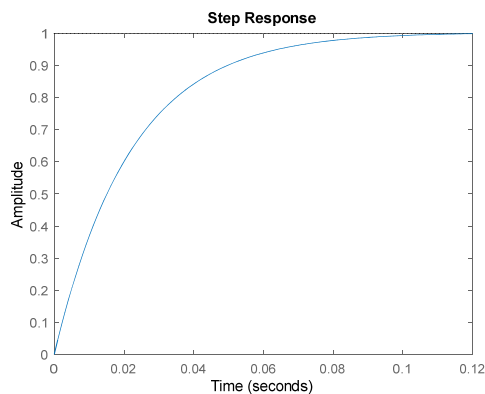
Naziv algoritma, literatura, vrijednosti parametara regulatora, kao i vrijednosti karakterističnih vremenskih parametara odziva DC motora na jediničnu step smetnju su date u Tabeli 2. Step odzivi dobijeni korištenjem navedenih regulatora su prikazani na slici 13.

Tabela 2: Rezultati komparativne analize

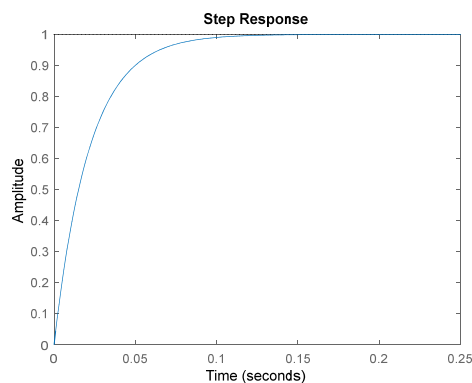
Optimizacioni algoritam I tip regulatora	K_p	K_i	K_d	Preskok [%]	Vrijeme uspona [s]	Vrijeme smirenja [s]	Godina izdavanja rada
OBL/HGSO-PID [1]	16.9327	0.9508	2.8512	0.0030	0.0546	0.0946	2021
HGSO-PID [1]	13.4430	1.2059	2.2707	0	0.0684	0.1188	2021
HHO/PID [2]	15.8581	3.6963	2.7732	0.0000	0.0568	0.1003	2020
ISCA-PID [3]	18.8156	4.7628	3.3181	0.0000	0.0476	0.0846	2019
SMA/ PID [4]	18.6458	2.5235	3.1921	0.0026	0.0490	0.0857	2021
SSA/PID [5]	19.5893	5.2483	3.2937	0.151	0.047	0.081	2018
IWO/ PID[7]	1.5782	0.4372	0.0481	6.98	0.419	1.25	2011
SCA/ PID [8]	11.3163	0.5544	1.8072	0.192	0.0833	0.138	2017
SFS/ PID [9]	1.6315	0.2798	0.2395	0	0.544	1.45	2017
GWO/ PID [10]	6.8984	0.5626	0.9293	1.51	0.139	0.205	2017
PSO/ PID [6,13]	1.5234	1.3801	0.0159	24.2	0.356	1.8	2011
IWOA-PID [11]	1.5767	0.4297	0.0574	6.1968	0.4262	1.2418	2021
WOA-PID [11]	1.4358	1.6726	0.0416	26.3018	0.3708	1.8268	2021
ASO/ PID [12]	11.9437	2.0521	2.4358	0	0.0692	0.1535	2020

Pokazuje se da je preskok eliminisan za algoritme HGSO, HHO, ISCA, SFS i ASO. Za algoritme OB/HGSO i SMA se javlja preskok reda 0.001 %, dok algoritam SSA i SCA imaju preskok reda 0.1%. Međutim, treba primijetiti da su parametri vremena uspona i smirenja za SSA najbolji postignuti do sada.

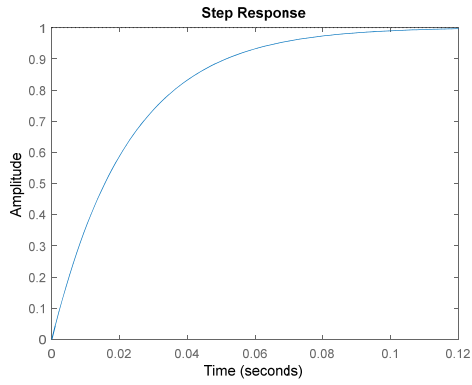
U pogledu vremena uspona najbolji rezultat daje SSA PID (slika 4) u vrijednosti od 0.047s. Nakon njega slijedi vrijeme uspona od 0.0476s kod ISCA PID (slika 5) i vrijeme uspona od 0.0490s kod SMA PID (slika 7). Algoritmi OB/HGSO PID (slika 8) i HHO PID (slika 9) imaju vrijeme uspona od oko 0.05s. Ostali algoritmi imaju vrijeme uspona reda veće od 0.06s. (Slika 10)



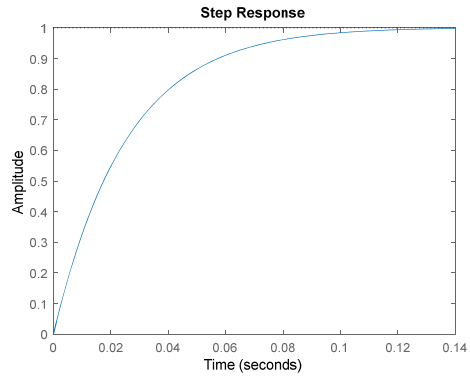
Slika 4. Step odziv SSA



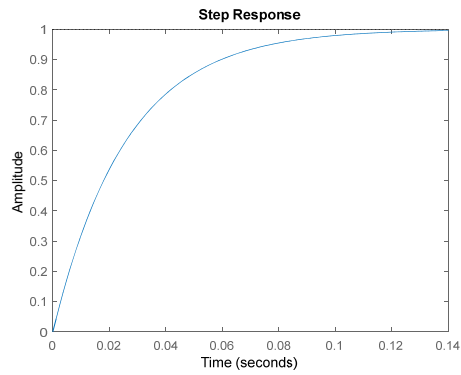
Slika 5. ISCA



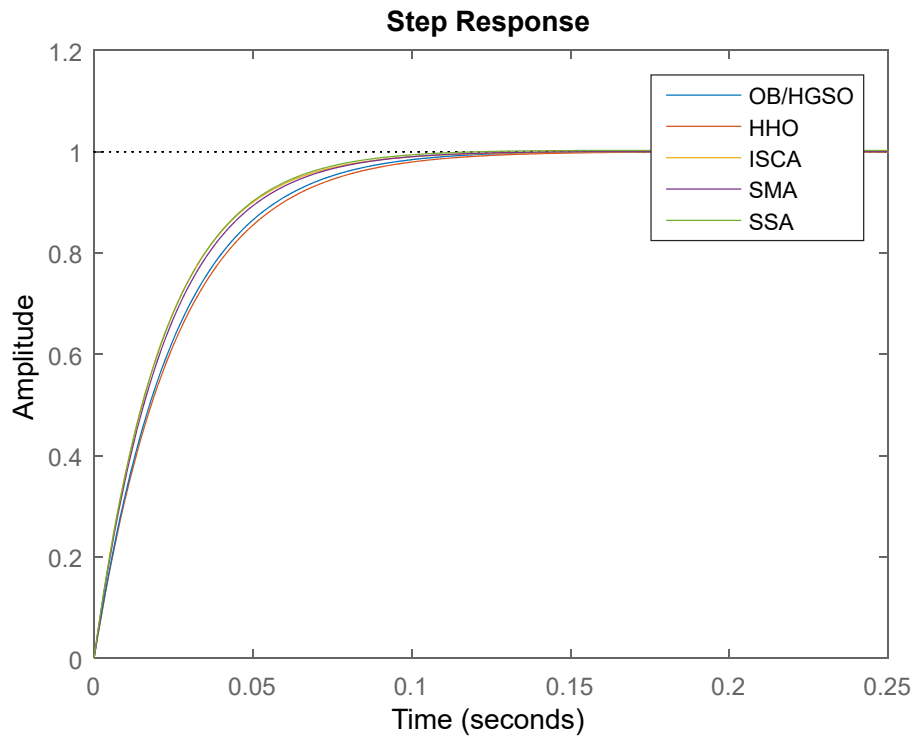
Slika 6. Step odziv SMA



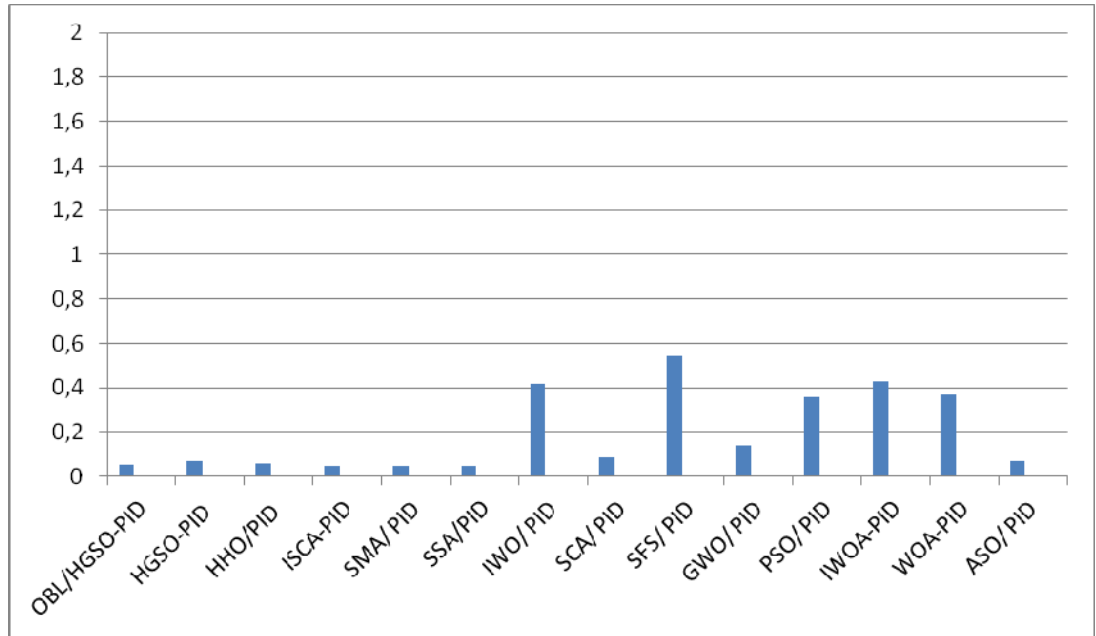
Slika 7. OB/HGSO



Slika 8. Step odziv HHO

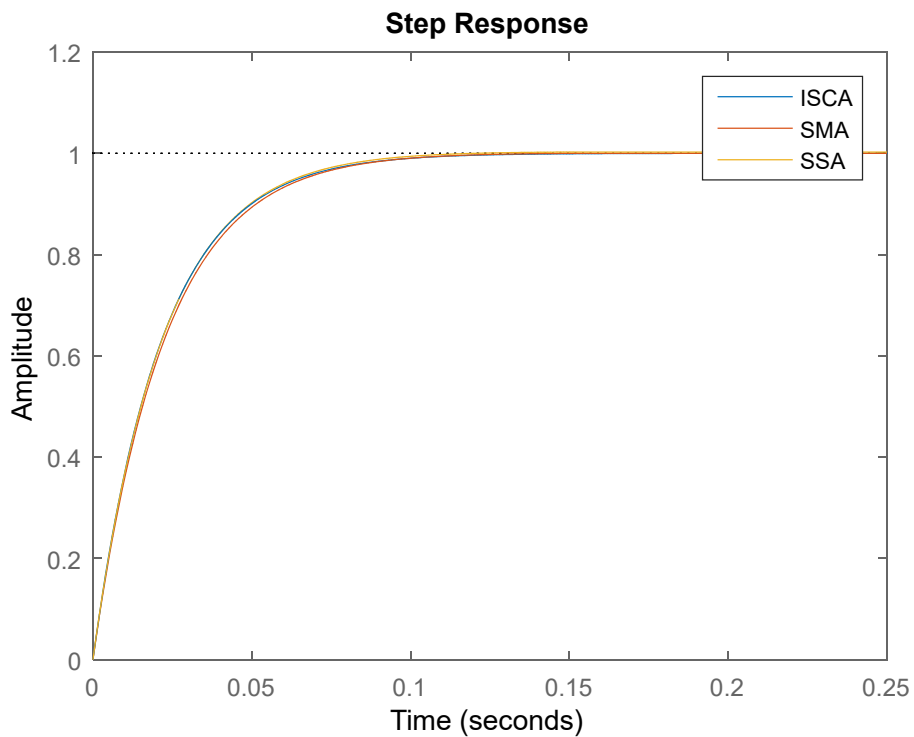


Slika 9. Step odziv algoritama sa najboljim vremenom uspona

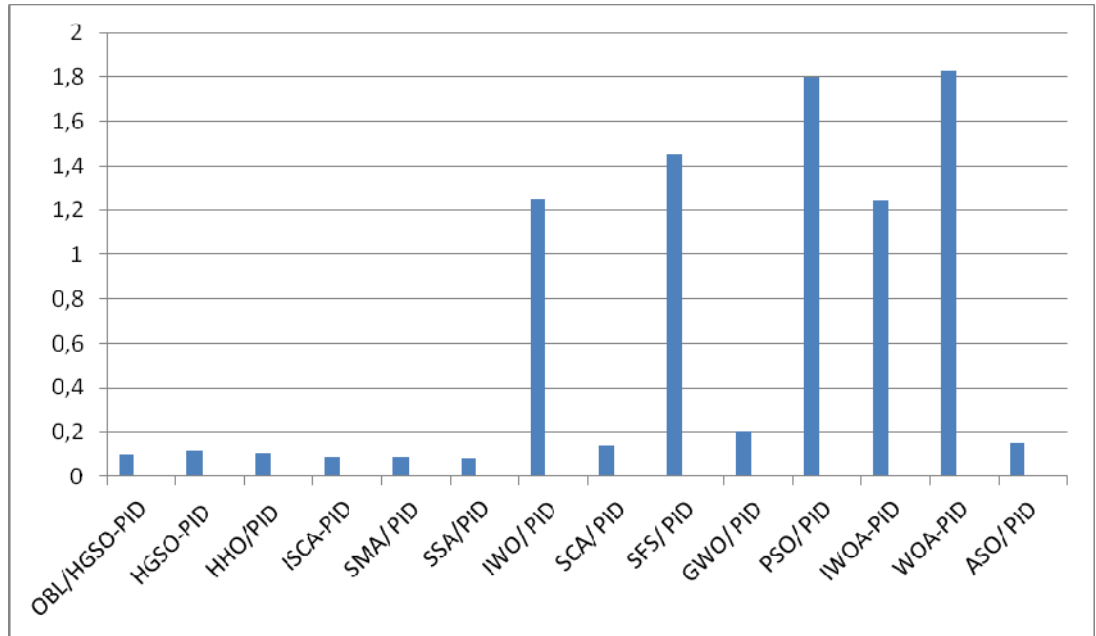


Slika 10. Vrijeme uspona

Najbolje vrijeme smirenja se postiže sa SSA PID u vrijednosti od 0.081s i za njim slijede ISCA PID i SMA PID sa vremenom smirenja 0.0846s i 0.0857s respektivno. Na slici 11 su upoređeni step odzivi ovih algoritma. Algoritam za koje je vrijeme smirenja manje od 0.1s je i OBL/HGSO PID, dok ostali algoritmi daju parametre za koje se postiže veće vrijeme smirenja (Slika 12).

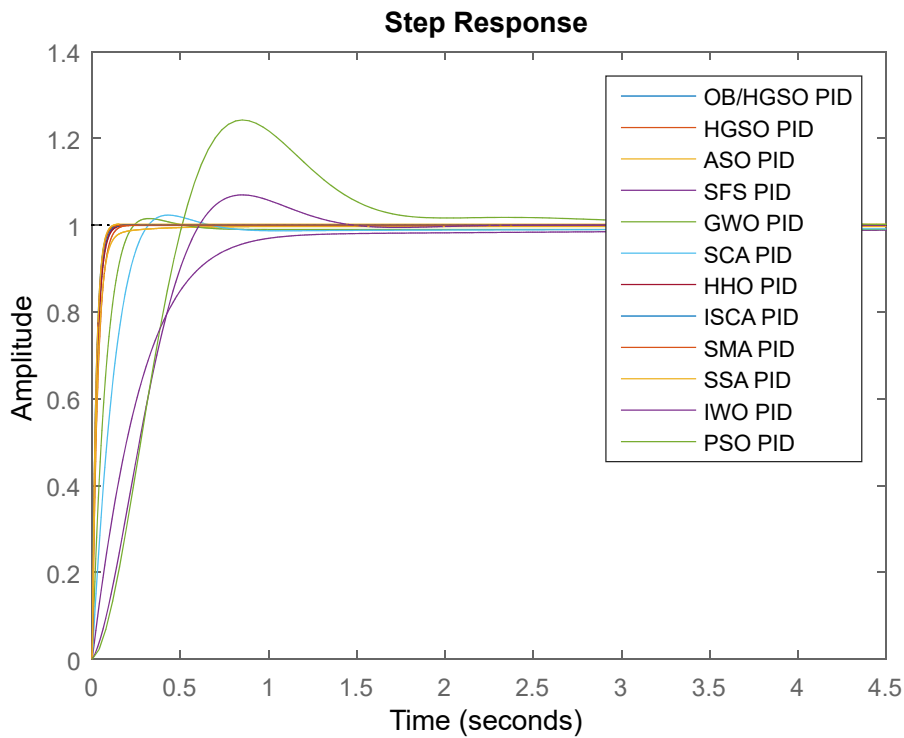


Slika 11. Poređenje step odziva SCA,SMA i SSA



Slika 12. Vrijeme smirenja

Najbolje vrijednosti vremena uspona i vremena smirenja postiže SSA, ali treba primjetiti da se prilikom primjene ovog algoritma ipak javlja preskok. Algoritmi ISCA i SMA daju rezultate gdje preskoka nema ili je minimalan, dok su im vremena smirenja i uspona uporedivi sa SSA. Nijedna od dosadašnjih primjena optimizacionih algoritama na PID regulator u svrhe regulacije brzine jednosmjerne struje ne daje rezultate gdje su postignute dominantno bolje vrijednosti za sva tri parametra.



Slika 13. Step odzivi PID regulatora

5. ZAKLJUČAK

Široka primjena mašina jednosmjerne struje opravdava potrebu za istraživanjem metoda za poboljšanje njihove regulacije. Iako je teorijski nemoguće postići idealan odziv postignuti rezultati ipak pokazuju velika dostignuća u pogledu poboljšanja odziva, ali i mogućnosti za daljim poboljšanjima. Razvoj novih optimizacionih algoritama će omogućiti brže i pouzdanije nalaženje najboljih mogućih parametara regulatora čime se garantuje poboljšanje odziva. Neophodno je istražiti mogućnosti primjene i drugih tipova regulatora za rešavanje ovog problema. Dosadašnja dostignuća primjenjivanjem optimizacionih algoritama na PID regulatore ne daju definitivnu i ubjedljivu prednost isključivo jednom algoritmu što ostavlja veliki prostor za dalja poboljšanja.

6. LITERATURA

- [1] S.Ekinci, B.Hekimoglu, D.Izci, "Opposition Based Henry Gas Solubility Optimization As A Novel Algorithm For Pid Control Of Dc Motor", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24, 2, 331-342, april 2021.
- [2] S.Ekinci, B.Hekimoglu, D.Izci, "Pid Speed Control Of Dc Motor Using Harris Hawks Optimization Algorithm", *International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, Istanbul, Turska, 69-75, 12-13.jun 2020.
- [3] S.Ekinci, B.Hekimoglu, A.Demirören, E.Eker "Speed Control Of Dc Motor Using Improved Sine Cosine Algorithm Based Pid Controller", *International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, Ankara, Turkey,412-419, 11-13.oktobar 2019.
- [4] D.Izci , S.Ekinci, "Comparative Performance Analysis Of Slime Mould Algorithm For Efficient Design Of Proportional-Integral-Derivative Controller", *Electrica*, 21, 1, 151-159, januar 2021.
- [5] B.Hekimoğlu, S.Ekinci, V.Demiray, R.Doguruci, A.Yildirim, "Speed Control Of Dc Motor Using Pid Controller Tuned By Salp Swarm Algorithm", *International Engineering and Natural Sciences Conference*, Batman, Turska, 1878-1889, novembar 2018.
- [6] J.Agarwal, G.Parmar, R.Gupta, "Comparative Analysis of Pid Controller For Speed Control Of Dc Motor With Intelligent Optimization Algorithms ", *International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)*, Velika Nojda, India, 273-278, 12-13.oktbar 2018.
- [7] Khalilpour, Razmjoooy, Hosseini, Moallem "Optimal Control Of Dc Motor Using Invasive Weed Optimization (Iwo) Algorithm", *Majlesi Conference on Electrical Engineering*, Majlesi New Town, Isfahan, Iran, avgust 2011.
- [8] Agarwal, Parmar, Gupta "Application Of Sine Cosine Algorithm In Optimal Control Of Dc Motor And Robustness Analysis", *Wulfenia Journal*, 24, 11, 77-95, novembar 2017.
- [9] I.Khanam, G.Parmar, "Application Of Sfs Algorithm In Control Of Dcmotor And Comparative Analysis", *IEEE UP Section Conference on Electrical Computer and Electronics (UPCON)*, Mathura, India, 256-261, 26-28.oktobar 2017.
- [10] Bhatnagar, Gupta "Application Of Grey Wolf Optimization In Optimal Control Of Dc Motor And Robustness Analysis", *SKIT Research Journal*,8,1, 19-25, 2018.
- [11] N.Razmjoooy, Z.Vahedi, V.Estrela,"Controller Based On Improved Whale Optimization Algorithm", *Metaheuristics and Optimization in Computer and Electrical Engineering*, Springer, 153-169, 2021.
- [12] B.Hekimoglu, "Optimal Tuning Of Fractional Order Pid Controller For Dc Motor Speed Control Via Chaotic Atom Search Optimization Algorithm", *IEEE Access*, 7, 38100 – 38114, 18.mart 2019.
- [13] M.Nasri, H.Nazambadi-Pour, M.Maghfoori, „A Pso Based Optimum Design Of Pid Controller For A Linear Brushless Dc Motor“, *Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology*,211-215, 20.april 2007.
- [14] B.Almeida, V.Leite. "Particle Swarm Optimization: A Powerful Technique For Solving Engineering Problems",*Swarm Intelligence-Recent Advances, New perspectives and Applications*, 31-51, 2019.
- [15] F.Hashim, E.Houssein, M.Mabrouk, "Henry Gas Solubility Optimization: A Novel Physics-Based Algorithm", *Future Generation Computer Systems*, 101, 646-667, 2019.
- [16] A.Heidari, S.Mirjalili, H.Faris, "Harris Hawks Optimization (Hho): Algorithm And Applications", *Future Generation Computer Systems*, 49, 849-872, 2019.

- [17] Rizk M. Rizk-Allah, "An Improved Sine–Cosine Algorithm Based On Orthogonal Parallel Information For Global Optimization", *Soft Computing*, 23, 7135-7161, 2018.
- [18] S.Li, H.Chen, M.Wang, A.Heidari, S.Mirjalili "Slime Mould Algorithm: A New Method For Stochastic Optimization", *Future Generation Computer Systems*, 101, 300-323, 2019.
- [19] S.Mirjalili, A.Lewis, "Grey Wolf Optimizer", *Advances in Engineering Software*, 69, 46-61, 2014.
- [20] M.Misaghi, M.Yaghoobi, "Improved Invasive Weed Optimization Algorithm (Iwo) Based On Chaos Theory For Optimal Design Of Pid Controller", *Journal of Computational Design and Engineering*, 6, 3, 284-295, 2019.
- [21] S.Mirjalili, "Sca: A Sine Cosine Algorithm For Solving Optimization Problems", *Knowledge-Based Systems*, 96, 15, 120-133, 2016.
- [22] G.Ning, D.Cao, "Improved Whale Optimization Algorithm For Solving Constrained Optimization Problems", *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2021
- [23] S.Mirjalili, A.Lewis, "The Whale Optimization Algorithm", *Advances in Engineering Software*, 95, 51-67, 2016.
- [24] W.Zhao, L.Wang, Z.Zhang, "Atom Search Optimization And Its Application To Solve A Hydrogeologic Parameter Estimation Problem", *Knowledge-Based Systems*, 161,283-304, 2019.
- [25] P.Matić „Električne Mašine 1“, *Akademski misao*, 2016.
- [26] Lj.Stojković „Električne Mašine II“, *Tehnička knjiga*, 1960.
- [27] L.Stojić, V.Milenković, M.Rapaić „Uporeda Analiza Kriterijuma Optimalnosti Za Projektovanje Pid Regulatora Pod Ograničenjima Na Robusnost i Mjerni Šum“, *Infoteh*, Jahorina , 16, 669-674, mart 2017.
- [28] A.Savić, G.Dobrić, D.Šošić, M.Žarković „Metode Optimizacije Primena U Elektrotehnici“, *Akademski misao*, 2018.
- [29] P.Shah, S.Agashe, "Review Of Fractional Order Pid Controller“, *Mechatronics*, 38, 29-41, 2019
- [30] V.Mehra, S.Srivastava, P.Varshney, "Fractional Order Pid Controller: Tuning And Its Application" LAP LAMBERT Academic Publishing, oktobar 2012.
- [31] K.Åström, "Automatic Tuning Of Pid Controllers", *Isa*, 1988.
- [32] K.Åström, "Pid Controllers", *Isa*, 1995
- [33] K.Bingi, R.Ibrahim, M.Karsiti, M.Hassan "Fractional-Order Systems And Pid Controllers: Using Scilab And Curve Fitting Based Approximation Techniques", *Springer*, 2020.
- [34] I. Podlubny, "Fractional Order Systems And Piλdμ-Controllers" I. Podlubny, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1999
- [35] S.Momani, R.El-Khazali, I.Batiha "Tuning Pid And Piλdδ Controllers Using particle Swarm Optimization Algorithm Via El-Khazali's Approach", *AIP Conference Proceedings*, 2172,1, 05003-1 – 05003-8, 2019.
- [36] A.Khoei, K.Hadidi, S.Yuvarajan "Fuzzy Logic Dc Motor Controller With Improved Performances", *Conference Record of the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)*, St. Luis, SAD,3, 1652-1656, 12-15. oktobar 1998.
- [37] P.Thepsatorn, N.Numsomran, V.Tipsuwanporn, T.Teanthong "Dc Motor Speed Control Using Fuzzy Logic Based On Labview", *SICE Annual Conference*, Busan, Južna Koreja, 3617-3620, 18-21.oktobar 2006
- [38] J.Chakravorty, R.Sharma, "Fuzzy logic Basedmethod Of Speed Control Of Dc Motor", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3, 4, 64-66, 2013.
- [39] H.Ahmed, G.Singh, V.Bhardwaj, "Controlling Of D.C. Motor Using Fuzzy Logic Controller", *Advances in Intelligent Systems Research*, 665-670, 2013.
- [40] P.Cheon, Kim, Hamadache, Le, "On Replacing Pid Controller With Deep Learning Controller For Dc Motor System", *Journal of Automation and Control Engineering*, 3, 6, 452-456, 2015.