

# Analiza Skogestad “half rule” metode za redukciju reda modela sistema visokog reda u s- i z- domenu

Radmila Gerov, *Poljoprivredna škola sa domom učenika Rajko Bosnić*

**Apstrakt—** U radu je razmatrana redukcija modela sistema visokog reda sa ili bez transportnog kašnjenja, u sistem prvog ili drugog reda sa transportnim kašnjenjem, Skogestad “half rule” metodom. Vremenske i frekvencijske karakteristike kontinualnog modela sistema visokog reda, uporedene su sa karakteristikama aproksimativnih modela. Analiziran je uticaj ove redukcijske metode na dinamiku odgovarajućih diskretnih modela za različite periode diskretizacije i pokazano je da se ova metoda može primeniti pored s- i u z- domenu.

**Ključne reči**—perioda diskretizacije; “half rule”; transportno kašnjenje.

## I. UVOD

Poznato je da veliki broj sistema automatskog upravljanja u industriji čine sistemi visokog reda koji mogu biti sa ili bez transportnog kašnjenja [1]. Za upravljanje takvim sistemima projektuju se analogni ili digitalni regulatori. Činjenica je da postoje različite metode za projektovanje istih, pri čemu je, kod nekih metoda, potrebno izvršiti aproksimaciju polaznog sistema u sistem prvog ili drugog reda.

Postoje različite metode za aproksimaciju funkcije prenosa transportnog kašnjenja, kao što su: Padé, Taylor [2], čime se stvaraju uslovi za redukciju reda polaznog sistema, korišćenjem Skogestad’s “half rule” metode za dobijanje aproksimativnih modela sistema prvog (FOPTD) i drugog reda (SOPTD) sa transportnim kašnjenjem [3].

Prilikom projektovanja digitalnih sistema upravljanja, željene dinamičke karakteristike sistema treba izraziti preko spektra polova sistema u zatvorenoj povratnoj sprezi [4], i to u s-ravni, a zatim u jediničnom krugu u z-ravni. Izbor brzine diskretizacije uslovljen je u najvećoj meri dinamikom objekta upravljanja, iako se u literaturi mogu naći različita pravila i preporuke za izbor periode diskretizacije  $T$  [5]. Ubrzavanjem procesa diskretizacije na dinamičko ponašanje zatvorenog sistema može se ispoljiti uticaj nemodelirane dinamike sistema [6] o čemu treba voditi računa prilikom izbora periode diskretizacije.

Ukoliko se za nalaženje diskretnе prenosne funkcije i rekonstrukciju signal koristi kolo zadrške nultog reda (ZOH), polovi sistema iz s- domena preslikavaju se na jasan način u z-domen, dok se za nule to ne može reći. Kod brze

Radmila Gerov – Poljoprivredna škola sa domom učenika Rajko Bosnić, Bukovo bb, 19300 Negotin, Srbija (e-mail: gerov@ptt.rs).

diskretizacije nule koje nastaju kao posledica diskretizacije mogu biti nestabilne [7] i one se preslikavaju kao koreni Euler-Frobenius polinoma [8], zbog čega je u prethodnom periodu razvijeno više tehnika za rešavanje ovog problema, korišćenjem drugih metoda [9] za slučaj da je neophodna brza diskretizacija [10].

U ovom radu posmatrani su minimalno i neminimalno fazni stabilni sistemi sa realnim polovima. Sistemi sa konjugovano kompleksnim korenima nisu razmatrani, iz razloga što autor nema saznanja da se ova metoda može uspešno primeniti i na takve sisteme.

Razmatran je uticaj aproksimacije na vremenske i frekvencijske karakteristike, kroz analizu grešaka između polaznog sistema i aproksimativnog modela, kao i efekte koji prate proces diskretizacije u zavisnosti od njene brzine.

Rad je podeljen u nekoliko sekcija. U sekciji II prezentovana je Skogestad’s “half rule” metoda. Karakteristike posmatranog sistema, njegovog FOPTD i SOPTD modela u vremenskom domenu date su u sekciji III, a u sekciji IV prezentovane se njihove frekvencijske karakteristike. U sekciji V razmatrani su diskretni modeli polaznog sistema, FOPTD i SOPTD modela i date su njihove karakteristike, dok je u sekciji VI dat zaključak sa predlogom za dalju analizu.

## II. SKOGESTAD “HALF RULE” METODA

Neka je sistem opisan funkcijom prenosa opšteg oblika:

$$G(s) = \frac{k \prod_{i=1}^m (-T_{0i}s + 1)}{\prod_{j=1}^n (T_j s + 1)} e^{-\theta s}; n \geq m; T_{0i}, T_j, \theta > 0, \quad (1)$$

gde je:

- $T_j$ , vremenska konstanta koja definiše polove sistema,
- $T_{0i}$ , vremenska konstanta koja definiše nule sistema,
- $\theta$ , transportno kašnjenje i
- $k$ , koeficijenat pojačanja

Kod primene pravila “half rule” [2], za aproksimaciju sistema FOPTD modelom, potrebno je odrediti najveću i drugu po veličini vremensku konstantu, dok se kod aproksimacije SOPTD modelom određuju tri najveće vremenske konstante koje definišu polove sistema.

Neka je:  $T_1 \geq T_2 \geq T_3 \geq T_j, 4 > j > n$ .

Opšti oblik funkcije prenosa FOPTD je (2):

$$G_a(s) = \frac{k}{T_a s + 1} e^{-\theta_a s}, \quad (2)$$

gde su:

$$T_a = T_1 + \frac{T_2}{2}, \quad (3)$$

$$\theta_a = \theta + \frac{T_2}{2} + \sum_{j=3}^n T_j + \sum_{i=1}^m T_{oi}. \quad (4)$$

Funkcija prenosa SOPTD modela je opšteg oblika (5):

$$G_b(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_b s + 1)} e^{-\theta_b s}. \quad (5)$$

kod koje su:

$$T_b = T_2 + \frac{T_3}{2}. \quad (6)$$

$$\theta_b = \theta + \frac{T_3}{2} + \sum_{j=4}^n T_j + \sum_{i=1}^m T_{oi}. \quad (7)$$

### III. KARAKTERISTIKE SISTEMA U VREMENSKOM DOMENU

Za analizu vremenskih karakteristika i određivanje odskočnih odziva sistema  $Y(t)$  i aproksimativnih modela  $Y_a(t)$  za FOPTD i  $Y_b(t)$  za SOPTD, posmatrani su između ostalih, stabilni sistemi višeg reda dati u Tabeli I, u kojoj je prikazano i vreme smirenja  $T_s$ , vreme uspona  $T_r$ , kao i IAE i ISE greške odziva između posmatranog sistema i njegovog FOPTD ili SOPTD modela.

Posmatrani sistemi  $G(s)$ , obeleženi u Tabeli I sa A-J su:

$$A) \frac{1}{(s+1)(0.5s+1)(0.2s+1)}, B) \frac{1}{(s+1)(0.5s+1)^2},$$

$$C) \frac{1}{(s+1)^3}, D) \frac{(-0.4s+1)}{(s+1)(0.5s+1)(0.2s+1)},$$

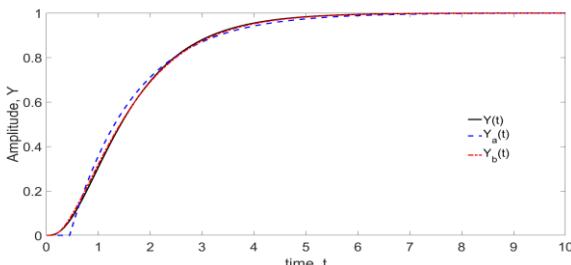
$$E) \frac{(-s+1)}{(s+1)(0.5s+1)(0.2s+1)}, F) \frac{(-2s+1)}{(s+1)(0.5s+1)(0.2s+1)},$$

$$G) \frac{(-2s+1)}{(s+1)^3}, H) \frac{e^{-s}}{(6s+1)(2s+1)(s+1)},$$

$$I) \frac{e^{-5s}}{(s+1)^4}, J) \frac{(-s+1)e^{-s}}{(6s+1)(2s+1)^2}.$$

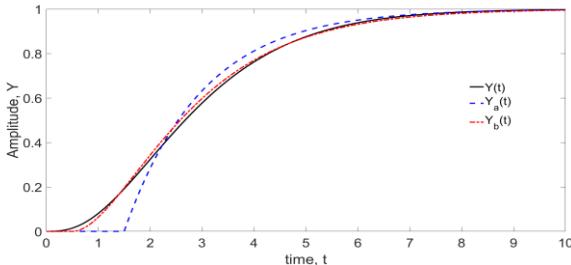
TABELA I  
VREME SMIRENJA I USPONA SISTEMA I MODELAA, IAE I ISE MODELAA

$G(s)$		$T_s$	$T_r$	IAE	ISE
A	$G(s)$	4.82	2.65		
	$G_a(s)$	5.34	2.75	0.1133	0.0033
	$G_b(s)$	4.9	2.73	0.0270	0.0002
B	$G(s)$	5.28	2.91		
	$G_a(s)$	5.64	2.75	0.1312	0.0056
	$G_b(s)$	5.4	2.95	0.0331	0.0003
C	$G(s)$	7.52	4.22		
	$G_a(s)$	7.37	3.3	0.2984	0.0235
	$G_b(s)$	7.93	4.24	0.0868	0.0012
D	$G(s)$	5.1	2.56		
	$G_a(s)$	5.74	2.75	0.1240	0.0033
	$G_b(s)$	5.3	2.73	0.0876	0.0025
E	$G(s)$	5.26	2.44		
	$G_a(s)$	6.34	2.75	0.4453	0.0605
	$G_b(s)$	5.9	2.73	0.4513	0.0654
F	$G(s)$	5.38	2.35		
	$G_a(s)$	7.34	2.75	1.5466	0.6068
	$G_b(s)$	6.9	2.73	1.5486	0.6168
G	$G(s)$	8.38	3.67		
	$G_a(s)$	9.37	3.3	0.9973	0.2019
	$G_b(s)$	9.93	4.24	0.9887	0.1679
H	$G(s)$	28	14.6		
	$G_a(s)$	30.4	15.4	0.5181	0.0135
	$G_b(s)$	28.2	14.9	0.0982	0.0006
I	$G(s)$	14.1	4.94		
	$G_a(s)$	13.4	3.3	0.5101	0.0520
	$G_b(s)$	13.9	4.24	0.2251	0.0096
J	$G(s)$	30.2	15.2		
	$G_a(s)$	32.4	15.4	0.5131	0.0139
	$G_b(s)$	30.6	15.5	0.1250	0.0007



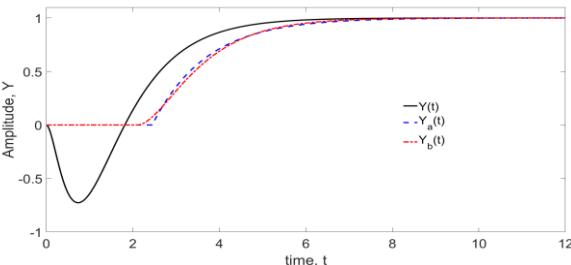
Sl. 1. Odskočni odziv sistema opisanog u Tabeli I pod A) i njegovih modela.

Greška odziva sistema, koji ima realne i različite polove, Tabela I pod A), i modela, praktično je zanemarljiva Sl. 1. Kod sistema sa višestrukim polovima Tabela I pod B) i C) greška aproksimacije je nešto veća Sl. 2.



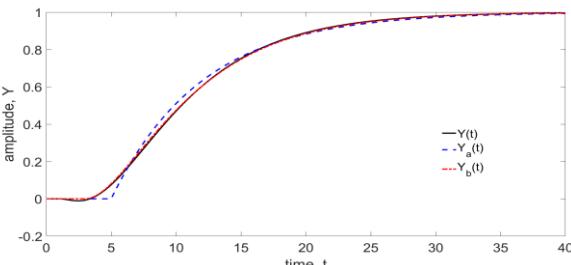
Sl. 2. Odskočni odziv sistema opisanog u Tabeli I pod C) i njegovih modela.

Ukoliko je sistem neminimalno fazni, Tabela I pod D), E), F), G) greška kod oba modela, je znatno veća nego u prethodnim slučajevima i raste se sa porastom vremenske konstante koja definiše nule sistema, što se jasno vidi na Sl. 3.



Sl. 3. Odskočni odziv sistema opisanog u Tabeli I pod F) i modela.

Iz odziva sistema sa transportnim kašnjenjem, Tabela I pod H), I), J) i njegovih modela, može se zaključiti da obe aproksimacije daju dobre rezultate Sl. 4.



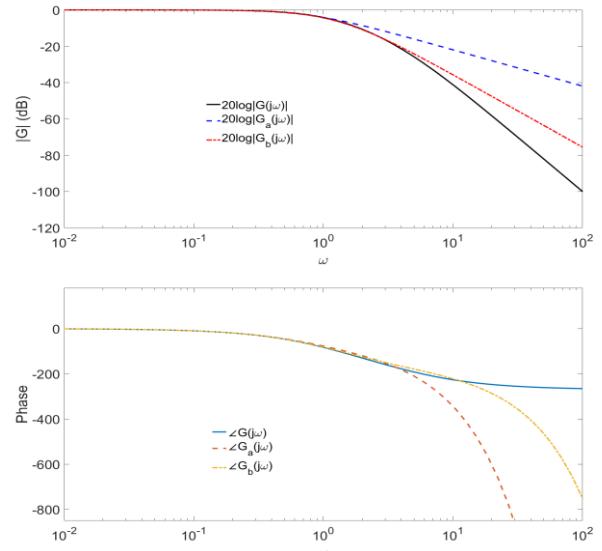
Sl. 4. Odskočni odziv sistema opisanog u Tabeli I pod J) i modela.

Na osnovu napred iznetog, može se zaključiti da se obe aproksimacije mogu koristiti, da SOPTD daje bolje rezultate od FOPTD i da kod neminimalnofaznih sistema treba voditi računa o odnosu  $T_0$  i  $T_1$ , iz razloga što sa porastom  $T_0$  rastu

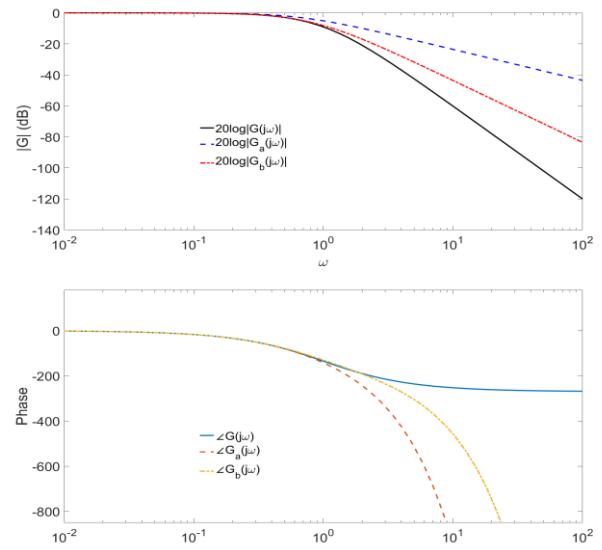
IAE i ISE koje za vrednosti  $T_0 \gg T_1$  ne bi bile zanemarljive.

#### IV. FREKVENCIJSKE KARAKTERISTIKE SISTEMA I MODELA

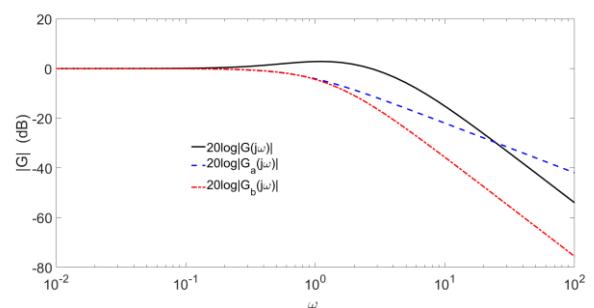
Posmatranjem frekvencijskog odziva sistema i odgovarajućih FOPTD i SOPTD modela, Sl. (5.-8.) uočava se da aproksimacija ne daje dobre rezultate na višim učestanostima, što nije od prevelikog značaja, jer odstupanja nastaju izvan propusnog opsega sistema.

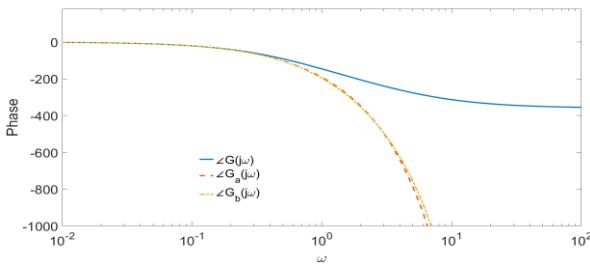


Sl. 5. Frekvencijske karakteristike sistema datog u Tabeli I pod A) i modela.



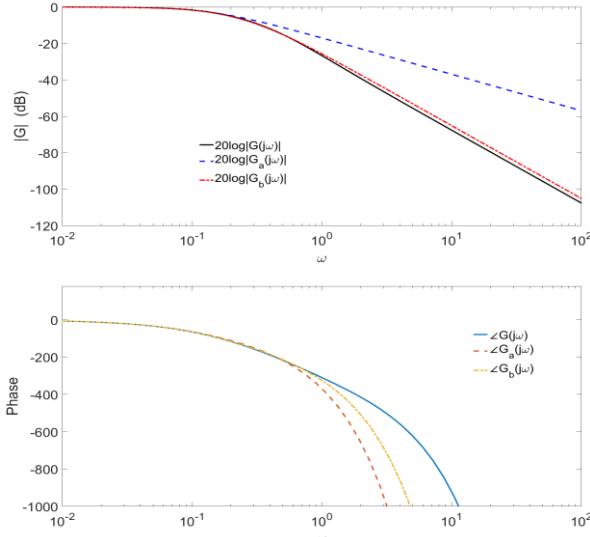
Sl. 6. Frekvencijske karakteristike sistema datog u Tabeli I pod C) i modela





Sl. 7. Frekvencijske karakteristike sistema datog u Tabeli I pod F) i modela.

Kod neminimalnofaznih sistema, za  $T_0 < T_1$  aproksimacija daje dobre rezultate, što se ne može reći ukoliko je  $T_0 > T_1$  zbog značajnog odstupanja frekvencijskih karakteristika sistema i modela Sl. 7.



Sl. 8. Frekvencijske karakteristike sistema datog u Tabeli I pod J) i modela.

## V. DISKRETNI MODEL I NJEGOVE KARAKTERISTIKE

Za nalaženje ekvivalentne diskretne funkcije i rekonstrukciju signala koristi se ZOH pri čemu se kod izbora periode diskretizacije mora voditi računa o Shannonovoj teoremi odabiranja [4]. Diskretni model polaznog sistema i diskretni FOPTD i SOPTD modeli dobijeni z-transformacijom ili modifikovanom z-transformacijom, ukoliko sistem ima transportno kašnjenje, dati su respektivno sa (8), (9), (10) gde je  $G_{ho}(s)$  funkcija prenosa ZOH.

$$G(z) = Z[L^{-1}\{G_{ho}(s)G(s)\}] \quad (8)$$

$$G_a(z) = Z_m[L^{-1}\{G_{ho}(s)G_a(s)\}] \quad (9)$$

$$G_b(z) = Z_m[L^{-1}\{G_{ho}(s)G_b(s)\}] \quad (10)$$

Poznato je da raspored polova i nula diskretnih sistema zavisi od brzine diskretizacije tj. periode odabiranja  $T$ , kao i da povećanje brzine diskretizacije može dovesti do nestabilnih nula diskretnog modela [4]. Kod brze diskretizacije  $T \sim 0$ , nule diskretnog modela, koje nastaju isključivo kao posledica

diskretizacije, a čiji je broj jednak  $n-m-1$ , gde je  $n$  stepen polinoma u imeniku funkcije prenosa kontinualnog sistema, a  $m$  stepen polinoma u brojniku istog, teže nulama Euler-Frobenius polinoma [8], dok se m nula kontinualnog sistema preslikava u  $z=1$  [7]. Zbog prisustva nule izvan jediničnog kruga u  $z$ -ravni, stabilan invertibilan kontinualan sistem može postati neinvertibilan (nestabilno inverzan) [7].

Da bi se sačuvala informacija posle diskretizacije, neophodno je da je perioda odabiranja  $T < T_k$ , gde je  $T_k$  vremenska konstanta koja definiše prisustvo realnog pola kontinualnog sistema  $s = -1/T_k$ , takođe, ona mora biti manja od transportnog kašnjenja da se ne bi izgubila informacija o trenutnoj vrednosti upravljanje promenljive. Ukoliko je diskretizacija brza tj.  $T \ll T_k$ , širi se Nikvistovo područje učestanosti pa će preslikani pol biti unutar jediničnog kruga u  $z$ -ravni blizu tačke  $z=1$  [5].

Neka je izabrana perioda diskretizacije  $T=0.1s$ , za sistem dat u Tabeli I pod A) i njegov FOPTD i SOPTD model, kod koga je kritična perioda odabiranja  $T_k=3.2465s$ . Odgovarajući diskretni modeli (9), (10) i (11) su:

$$G(z) = \frac{0.0013693 (z+3.068) (z+0.2185)}{(z-0.9048) (z-0.8187) (z-0.6065)}$$

$$G_a(z) = z^{-5} \frac{0.039211 (z+0.9608)}{(z-0.9231)}$$

$$G_b(z) = z^{-1} \frac{0.007629 (z+0.9149)}{(z-0.9048) (z-0.8465)}$$

Ukoliko je perioda diskretizacije  $T=0.4s$ , istog sistema, odgovarajući diskretni modeli su:

$$G(z) = \frac{0.050526 (z+1.79) (z+0.1135)}{(z-0.6703) (z-0.4493) (z-0.1353)}$$

$$G_a(z) = z^{-2} \frac{0.24422 (z+0.1213)}{(z-0.7261)}$$

$$G_b(z) = z^{-1} \frac{0.05775 (z+1.691)(z+0.03211)}{(z-0.6703) (z-0.5134)}$$

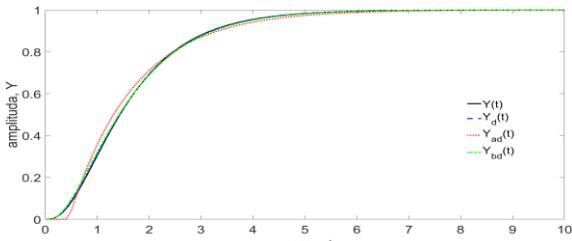
Iz diskretnih funkcija prenosa uočava se da se svi polovi nalaze unutar jediničnog kruga u  $z$ -ravni i da su za  $T=0.1s$  preslikani blizu tačke  $z=1$ , što nije slučaj za  $T=0.4s$ . Za obe izabrane periode, jedna nula diskretnog modela  $G(z)$  je nestabilna, nalazi se izvan jediničnog kruga, što dobije sistem čini neinvertabilnim. Minimalno fazni invertibilan diskretni model, može se dobiti sporijom diskretizacijom, tako da su za  $T=0.8s$  odgovarajući modeli:

$$G(z) = \frac{0.21012 (z+0.9663) (z+0.04426)}{(z-0.4493) (z-0.2019) (z-0.01832)}$$

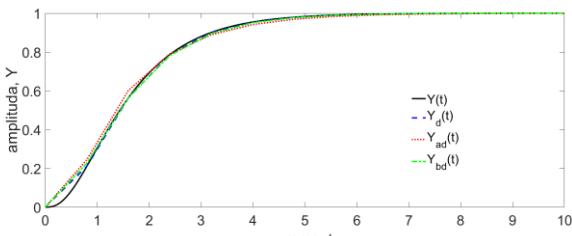
$$G_a(z) = z^{-1} \frac{0.24422(z+0.9356)}{(z-0.5237)}$$

$$G_b(z) = z^{-1} \frac{0.22564(z+0.7863)(z+0.006084)}{(z-0.4493)(z-0.2636)}$$

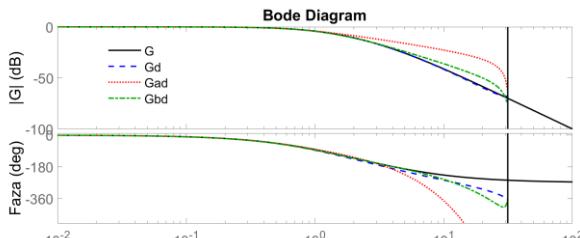
Odskočni odziv posmatranog sistema  $G(s)$  označen sa  $Y(t)$  kao i odzivi diskretnih modela  $G(z)$ ,  $G_a(z)$ ,  $G_b(z)$ , označeni respektivno sa  $Y_d(t)$ ,  $Y_{ad}(t)$ ,  $Y_{bd}(t)$ , prikazani su Sl. 9, Sl. 10.



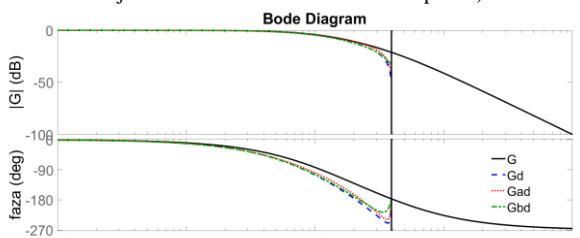
Sl. 9. Odziv sistema Tabela I pod A) i diskretnih modela za  $T=0.1$ s.



Sl. 10. Odziv sistema Tabela I pod A) i diskretnih modela za  $T=0.8$ s.

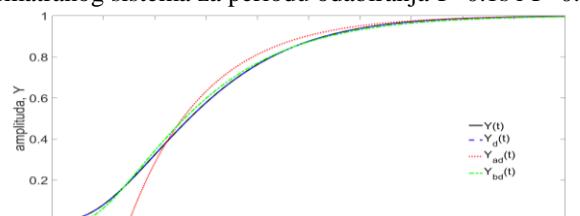


Sl. 11. Frekvencijske karakteristike sistema Tabela I pod A) za  $T=0.1$ s.

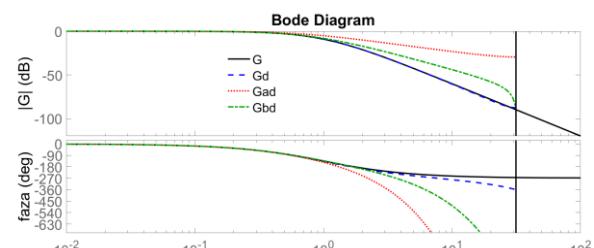


Sl. 12. Frekvencijske karakteristike sistema Tabela I pod A) za  $T=0.8$ s.

Na Sl. 11. i Sl. 12. prikazane su frekvencijske karakteristike posmatranog sistema za periodu odabiranja  $T=0.1$ s i  $T=0.8$ s.



Sl. 13. Odziv sistema Tabela I pod C) i diskretnih modela za  $T=0.1$ s.



Sl. 14. Frekvencijske karakteristike sistema Tabela I pod C) za  $T=0.1$ s.

Za sistem koji ima samo višestruke polove, Tabela I pod C) odskočni odziv za  $T=0.1$ s prikazan je Sl. 13. dok su frekvencijske karakteristike date Sl. 14.

Može se zaključiti, kao i kod kontinualnog sistema, da je odstupanje karakteristika veće nego u prethodnom primeru, kao i da veću grešku pokazuje FOPTD.

Raspored polova i nula diskretnih modela za ovaj sistem za različite periode diskretizacije prikazan je Tabela II. Može se uočiti da se kod brže diskretizacije polovi preslikavaju blizu tačke  $z=1$ , a da se nule diskretnih sistema, nastale kao posledica diskretizacije, približavaju jediničnom krugu  $z$ -ravnii kod sporije diskretizacije.

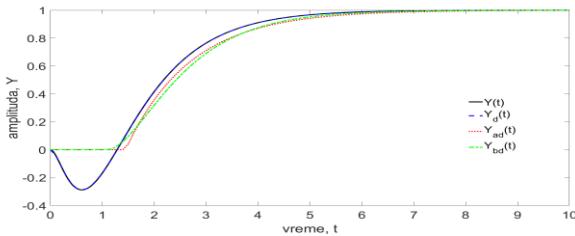
TABELA II  
RASPORED POLOVA I NULA DISKRETNIH MODELATA SISTEMA DATOG U TABELI I POD C) ZA RAZLIČITE PERIODE DISKRETIZACIJE

T	$G(z)$ nula	$G(z)$ pol	$G_a(z)$ nula	$G_a(z)$ pol	$G_b(z)$ nula	$G_b(z)$ pol
0.1	-3.463 -0.248	0.905 0.905 0.905		0.935	-0.946	0.935 0.905
0.2	-3.215 -0.230	0.819 0.819 0.819	-0.935	0.875	-5.22 -0.153	0.875 0.819
0.5	-2.579 -0.183	0.606 0.606 0.606		0.716	-0.757	0.716 0.606

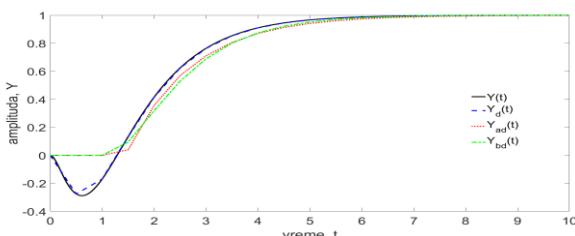
Uticaj brzine diskretizacije na raspored polova i nula diskretnih modela za neminimalno fazni sistem Tabela I pod E) dat je Tabela III, a odzivi su prikazani Sl. 15, Sl. 16.

TABELA III  
RASPORED POLOVA I NULA DISKRETNIH MODELATA SISTEMA DATOG U TABELI I POD E) ZA RAZLIČITE PERIODE DISKRETIZACIJE

T	$G(z)$ nula	$G(z)$ pol	$G_a(z)$ nula	$G_a(z)$ pol	$G_b(z)$ nula	$G_b(z)$ pol
0.1	1.105 -0.741	0.905 0.819 0.606	-0.961	0.923	-0.915	0.905 0.847
0.3	1.352 -0.411	0.741 0.549 0.223	-4.442	0.787	-9.776 -0.240	0.741 0.606
0.5	1.673 -0.23	0.606 0.368 0.008	-7.408	0.670	-1.314 -0.019	0.606 0.435



Sl. 15. Odziv sistema Tabela I pod E i diskretnih modela za  $T=0.1s$ .



Sl. 16. Odziv sistema Tabela I pod E i diskretnih modela za  $T=0.5s$ .

Kod sporije diskretizacije Sl. 16. jasno se vidi odstupanje kontinualnog odziva sistema od diskretnih modela.

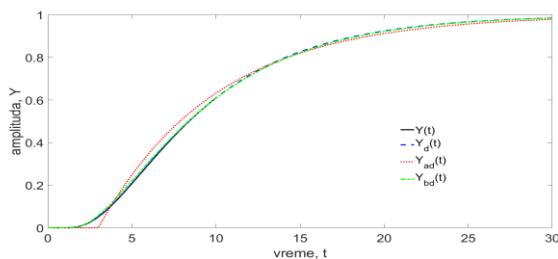
Za sistem sa transportnim kašnjenjem Tabela I pod H), raspored polova i nula diskretnih modela prikazan je za različitu brzinu diskretizacije u Tabeli IV.

TABELA IV

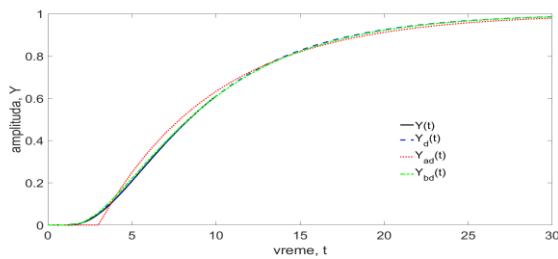
RASPORED POLOVA I NULA DISKRETNIH MODELA SISTEMA DATOG U TABELI I POD H) ZA RAZLIČITE PERIODE DISKRETIZACIJE

T	G(z) nula	G(z) pol	G <sub>a</sub> (z) nula	G <sub>a</sub> (z) pol	G <sub>b</sub> (z) nula	G <sub>b</sub> (z) pol
0.5	-3.043	0.92		0.931	-0.909	0.92
	-0.217	0.779				0.819
1	-2.503	0.846		0.867	-4.842	0.846
	-0.174	0.606			-0.141	0.670
		0.368				

Odziv ovog sistema dat je Sl. 17. i Sl. 18.



Sl. 17. Odziv sistema Tabela I pod H) i diskretnih modela za  $T=0.5s$ .



Sl. 18. Odziv sistema Tabela I pod H) i diskretnih modela za  $T=1s$ .

## VI. ZAKLJUČAK

Redukcija modela sistema visokog reda primenom Skogestad "half rule" metode, kod neminimalnofaznih sistema, kod kojih je  $T_0 >> T_1$ , ne daje dobre rezultate, što se vidi iz vremenskih i frekvencijskih karakteristika. Metoda se može koristiti za dobijanje diskretnog modela sistema, pri čemu se, na osnovu položaja polova i nula diskretnog modela može zaključiti da je bolje koristiti sporiju diskretizaciju kojom se istovremeno mogu eliminisati nestabilne nule.

U narednom periodu mogu se razmotriti granični uslovi odnosa  $T_0/T_1$  za koje metoda daje dobar rezultat. Iz razloga što autor nema saznanja da je vršena analiza uticaja ove metode u z-domenu, kao i da je metod korišćen kod projektovanja digitalnih regulatora i to se može uzeti u razmatranje.

## LITERATURA

- [1] M. R. Stojić, Sistemi automatskog upravljanja, Niš, Srbija, Elektronski fakultet u Nišu, 2004.
- [2] D. E. Seborg, T. F. Edgar, D. A. Mellichamp, Process Dynamics and Control, 2th ed, New York, United State of America, John Wiley & Sons, 2004.
- [3] S. Skogestad, "Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning," Journal of Process Control 13, 2003.
- [4] M. B. Naumović, Projektovanje sistema automatskog upravljanja, Niš, Srbija, Elektronski fakultet u Nišu, 2005.
- [5] M. R. Stojić, Digitalni sistemi upravljanja, 3. Izmenjeno i dopunjeno izdanje, Beograd, Srbija, IP "Nauka," 1994.
- [6] M. B. Naumović, "Neke preporuke za izbor periode diskretizacije u sistemima automatskog upravljanja," Zbornik radova III Simpozijuma INDEL2000, Banjaluka, Republika Srpska, 2000.
- [7] K. J. Åström, B. Wittenmark, Computer-controlled Systems: Theory and Design, 3th ed, New York, United State of America, Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, 1997.
- [8] S. R. Weller, W. Moran, B. Ninness, A. D. Pollington, Sampling Zeros and the Euler-Frobenius Polynomials, Proceedings of 36th IEEE Conference Decision Control, 1997.
- [9] A. B. Guillerna, M. D. Sen, S. A. Quesada, On a root locus-based analysis of the limiting zeros of plants of nominal order at most two under FROH-discretization, Proceedings of American Control Conference, 2005.
- [10] J. I. Yuz, G. C. Goodwin, H. Garnier, Generalised hold functions for fast sampling rate, Proceedings of 43 th. IEEE Conference on Decision and Control, 2004.

## ABSTRACT

The paper considered a reduction of the high order system with or without time delay into the first order or second order time delay system by using the "Skogestad half rule" method. Time and frequency characteristics of the high order continuous system model were compared with the characteristics of the approximation models. The effect of this reduction method on the dynamics of the corresponding discrete models for different periods of discretization was analyzed, and it was demonstrated that this method could not only be applied to the S domain, but also to the Z domain.

## The Analysis of the Skogestad Half Rule Method for Order Reduction of the High Order System Model into the S and Z Domain

Radmila Gerov