

Dvopozicioni regulatori i njihova primjena u industriji

Studentski rad

Sladana Šupeta
Student drugog ciklusa studija
Elektrotehnički fakultet
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina
sladjana.supeta91@gmail.com,

Sažetak —U ovom radu je opisan rad dvopozicionih regulatora i njihova primjena u industriji. Analizirano je ponašanje sistema s dvopozicionim regulatorima u regulaciji astatičkih i statičkih objekata prvog i drugog reda sa i bez transportnog kašnjenja. Opisana je nekontinualna regulacija na primjeru električnog šporeta. Efikasnost primjene ovih regulatora je verifikovana u programskom paketu MATLAB.

Ključne riječi - regulator; dvopozicioni regulator; histerezis, nekontinualna regulacija

I. UVOD

Svaki sistem automatskog upravljanja se odlikuje određenim zakonom ili zakonima upravljanja. Zakon upravljanja predstavlja matematičku zavisnost na osnovu koje upravljački uređaj obrađuje relevantne signale (informacije) i generiše odgovarajuća upravljačka dejstva. Ovu funkciju obavljaju regulatori, te u zavisnosti od same primjene bira se tip regulatora koji je potrebno podesiti tako da budu zadovoljeni unaprijed definisani zahtjevi. Objekat upravljanja i regulator, koji su međusobno povezani određenim funkcionalnim vezama, obrazuju funkcionalnu cjelinu koja se naziva sistem automatskog upravljanja (SAU).

Objekat upravljanja posjeduje svoj karakterističan vremenski odziv. Ovaj vremenski odziv je praktično određen konstrukcijom mašine, postrojenja ili tehnologijom procesa, i najčešće ga nije moguće modifikovati. Vremenski odziv nekog sistema se može odrediti eksperimentalno ili teorijskom analizom. Međutim, za razliku od vremenskog odziva sistema kojim se upravlja, vremenski odziv regulatora određuje projektant sistema automatskog upravljanja i to na taj način da sistem u cjelini zadovolji tražene performanse. Vremenski odziv cjelokupnog sistema regulacije treba da ispuni postavljene zahtjeve.[1]

U složenijim sistemima, mašinama, te procesima različite prirode u najvećem broju slučajeva koriste se kontinualni

regulatori. Upravo ovi regulatori se nalaze u fokusu teorije automatskog upravljanja. Kod osnovnih zakona upravljanja dejstvo regulatora može da linearno zavisi od greške, njenog integrala ili prvog izvoda greške po vremenu. Na bazi ove činjenice slijedi podjela kontinualnih regulatora na proporcionalni (P), integralni (I) i diferencijalni (D), pri čemu se u praksi koriste neka od njihovih kombinacija, najčešće PI ili PID regulator.[2]

Osim pomenutih regulatora svoju primjenu u industriji imaju i diskretni regulatori. Primjer takvih regulatora su dvopozicioni regulatori, koji se koriste u aparatima u širokoj potrošnji. Ovi regulatori na svom izlazu daju samo regulaciona dejstva "uključeno" i "isključeno". Primjer ovakvog regulatora je termostat, koji se susreće u pegli, bojleru, grijalici i sl. Kada je regulaciona greška pozitivna, odnosno kada je zadana vrijednost temperature veća od trenutne vrijednosti temperature kao regulisane veličine, termostat daje regulaciono dejstvo "uključeno", čime se dovodi struja na grijač, što prouzrokuje povećanje temperature. Kada je regulaciona greška negativna, odnosno kada je trenutna vrijednost temperature premašila zadatu vrijednost temperature, termostat daje regulaciono dejstvo "isključeno", odnosno prekida se kolo grijača. Radi toga, zbog gubitka toplote, temperatura postepeno opada.

U prvom dijelu rada opisani su regulatori i tipovi regulatora, dok su u drugom dijelu prikazani dvopozicioni regulatori. Zatim je izvršena analiza primjene nekontinualne regulacije u električnom šporetu. Na kraju rada prikazane su simulacije prethodno razmotrenih procesa u programskom paketu MATLAB, a na osnovu dobijenih rezultata i teoretskih razmatranja izveden je zaključak.

II. DVOPOZICIONI REGULATORI I NJIHOVA PRIMJENA U INDUSTRIJI

Zbog izraženih visokofrekvencijskih treperenja, regulatori bez histerezisa rjeđe se koriste u sistemima elektromehaničkog tipa, osim u onim koji imaju transportno kašnjenje. Veoma široku primjenu u sistemima za regulaciju temperature s elektromehaničkim relejima i kontaktorima našli su regulatori s histerezisom. Frekvenciju priključenja smanjuje prisustvo histerezisa. Izbor parametara regulatora se svodi na izbor amplitude i frekvencije samooscilacija sistema u okolini radne

tačke primjenom metode harmonijske linearizacije, kada su ispunjeni osnovni uslovi primjene te metode (uslov niskopropusnog filtra –kada je relativni red sistema). Kada je objekat prvog reda, u jednostavnijim slučajevima parametri za podešavanje regulatora se određuju neposredno. Kod regulisanja temperature električne peći, dvopozicioni regulator uključuje ili isključuje grijače peći, tako da na taj način reguliše temperaturu peći, a tako i prostora u kojem se nalazi peć.[3]

Zakon upravljanja regulatora bez histereze sa simetričnom karakteristikom dat je relacijom:

$$u = \begin{cases} +U_0, & x > 0 \\ -U_0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

dok zakon upravljanja regulatora bez histereze sa asimetričnom karakteristikom se može izraziti u vidu:

$$u = \begin{cases} +U_0, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Algoritmi opisani sa relacijama (1) i (2) imaju, s druge strane, nedostatak, jer je broj uključivanja i isključivanja izvršnog organa veoma veliki, teorijski beskonačan. Radi toga se koriste dvopozicioni algoritmi sa histerezisom koji se mogu zapisati u obliku:

$$u = \begin{cases} U_0 \operatorname{sign}(x - \lambda), & x > 0 \\ -U_0 \operatorname{sign}(x + \lambda), & x \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

gdje je 2λ veličina histerezisa.

Savremeni dvopozicioni regulatori su projektovani da važi:

$$2\lambda < 0.01x \quad (4)$$

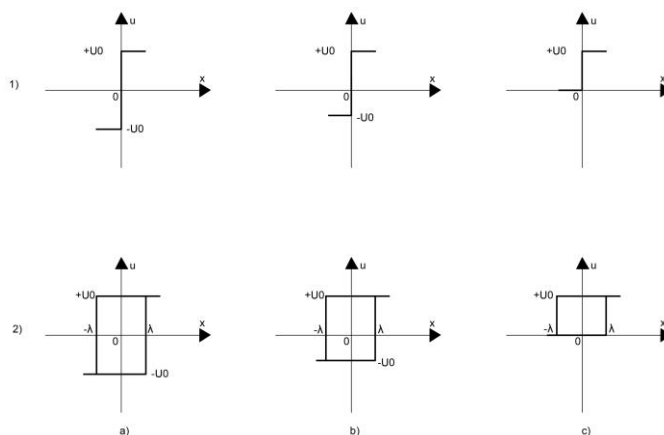
Polinom u imeniocu funkcije prenosa objekta definisan je sa $Q(s)$, dok τ_0 predstavlja početno vremensko kašnjenje.

U zavisnosti od parametara regulatora i objekta razlikovaćemo sljedeće slučajeve:

1. $\lambda > 0, \tau_0 = 0, Q(s) = s$
2. $\lambda > 0, \tau_0 > 0, Q(s) = s$
3. $\lambda = 0, \tau_0 > 0, Q(s) = s$
4. $\lambda = 0, \tau_0 = 0, Q(s) = s$
5. $\lambda > 0, \tau_0 = 0, Q(s) = 1 + sT_0, T_0 > 0$
6. $\lambda > 0, \tau_0 > 0, Q(s) = 1 + sT_0, T_0 > 0$
7. $\lambda = 0, \tau_0 > 0, Q(s) = 1 + sT_0, T_0 > 0$
8. $\lambda = 0, \tau_0 = 0, Q(s) = 1 + sT_0, T_0 > 0$

Kada je vrijednost jedne pozicije regulatora jednaka nuli to predstavlja poseban slučaj asimetrije. U tom slučaju kažemo da je regulator tipa uključeno-isključeno (ON-OFF regulator).

Na sl.1 date su statičke karakteristike navedenih tipova regulatora.[3]



Sl.1. Statičke karakteristike dvopozicionih regulatora: 1)-bez histerezisa, 2)-s histerezisom; a) sa simetričnom, (b) s asimetričnom karakteristikom; c) karakteristike ON-OFF regulatora

III. PRIMJENA NEKONTINUALNE REGULACIJE U ELEKTRIČNOM ŠPoretU

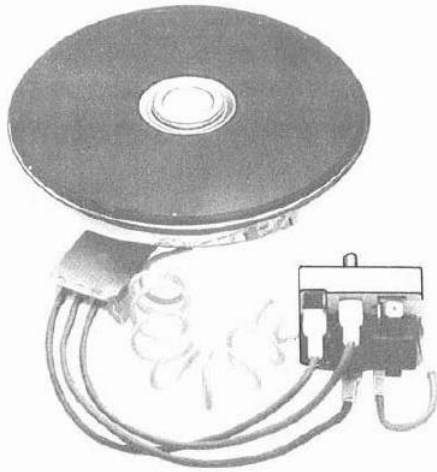
Što se tiče primjene nekontinualne regulacije u električnom šporetu, ona se sagledava kroz prisustvo standardne grijače ploče, brzogrijače ploče i automatske grijače ploče. Regulacija snage kod standardne grijače ploče postiže se pomoću višepoložajne sklopke. Standardna i brzogrijača ploča razlikuju se jedino u vremenu (brzini) ključanja vode, tj. skraćanju navedenog procesa. Da bi se na pravilan način iskoristila energija, neophodno je da se koriste posude sa ravnim dnom koje su istog ili sličnog prečnika pločama. Na sl.2 prikazana je brzogrijača ploča. [4]



Sl. 2. Brzogrijača (ekspresna) ploča

Zbog unaprijed definisane i određene snage koja se definiše termostatom, izrada automatske grijače ploče omogućava automatizovani proces kuvanja.

Minimalan utrošak električne energije i vremena, postiže se uz pomoć ploče sa termostatom koja omogućava automatizivani proces. Do namještene temperature grijača ploča se zagrijava uključivanjem sklopke termostata. Termostatom Na sl.3 prikazan je izgled automatske ploče sa termostatom.[4]



Sl. 3. Izgled automatske ploče s termostatom

U ovom radu opisana je praktičnost električnih peći sa automatskim gijačim pločama u odnosu na električne peći sa standardnim pločama.

IV. SIMULACIONA ANALIZA

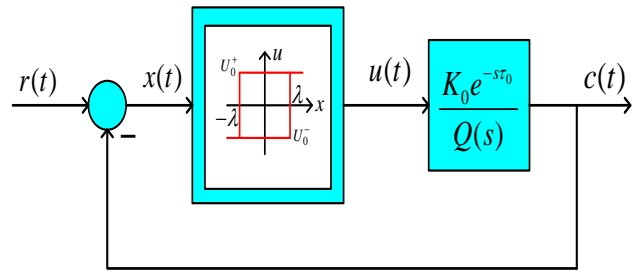
Primjena dvopozicionih regulatora u sistemima automatskog upravljanja je razmotrena u tipičnoj blok strukturi sa sl.4.

Promjenljiva $r(t)$ predstavlja referentni ulaz, na osnovu koje se mjeri odstupanje izlazne promjenljive objekta upravljanja od zadate vrijednosti.

Dvopozicioni regulator je definisan parametrima λ i U_0 , promjenljiva $x(t)$ predstavlja ulazni signal u linearni regulator, dok je promjenljiva $u(t)$ ulazni signal objekta upravljanja.

Objekat upravljanja je u opštem obliku predstavljen sa $\frac{K_0 e^{-s\tau_0}}{Q(s)}$, gdje je K_0 pojačanje, τ_0 vremensko kašnjenje i $Q(s)$ je polinom u imeniocu funkcije prenosa objekta.

Izlazni signal objekta upravljanja predstavljen je sa promjenljivom $c(t)$.



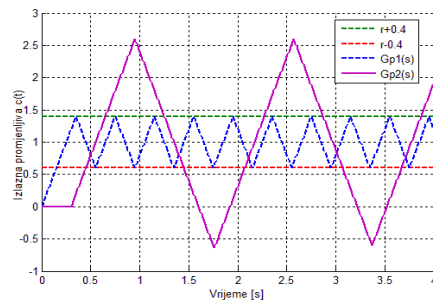
Sl.4. Regulaciona kontura sa dvopozicionim regulatorom i objektom upravljanja sa kašnjenjem

Simulacije su urađene na 8 procesa koji uključuju statičke i astatičke procese bez transportnog kašnjenja. Ovi procesi uključuju prethodno navedenih osam tipova objekata iz poglavlja II. U tabeli 1 su dati parametri dvopozicionog regulatora i objekta upravljanja za pomenutih 8 slučajeva.

TABELA1. PARAMETRI DVOPOZICIONOG REGULATORSA FUNKCIJE PRENOSA STATIČKIH I ASTATIČKIH OBJEKATA UPRAVLJANJA SA I BEZ KAŠNJENJA

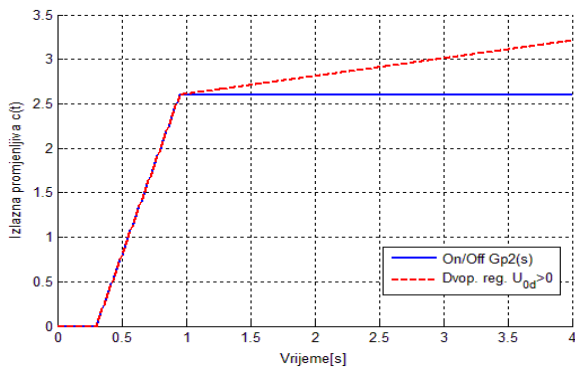
Param . dvop. regul.	Objekat upravljanja $G_p(s)$	
$U_0=1$ $\lambda=0,4$	$G_{p1}(s) = \frac{4}{s}$	$G_{p2}(s) = \frac{4}{s} e^{-0,3s}$
$U_0=1$ $\lambda=0$	$G_{p3}(s) = \frac{3}{s} e^{-0,3s}$	$G_{p4}(s) = \frac{3}{s}$
$U_0=1$ $\lambda=0,4$	$G_{p5}(s) = \frac{8}{1+4s}$	$G_{p6}(s) = \frac{8}{1+4s} e^{-0,3s}$
$U_0=1$ $\lambda=0$	$G_{p7}(s) = \frac{8}{1+4s}$	$G_{p8}(s) = \frac{8}{1+4s} e^{-0,3s}$

Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom sa histerezisom $\lambda=0.4$ prikazan je na sl.5.



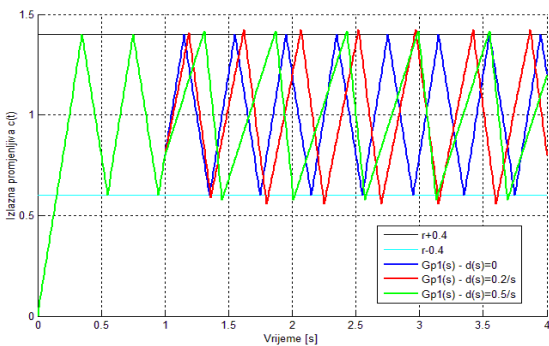
Sl. 5. Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom sa histerezisom $\lambda=0.4$ za zadatu vrijednost $r=1$ sa objektom upravljanja $G_{p1}(s)$ (plava); sa objektom upravljanja $G_{p2}(s)$ (ljubičasta)

Sa sl. 6 zaključuje se da ako je ispunjen uslov, sistem nema normalan radni režim, odnosno neprestano se udaljava od zadate reference.

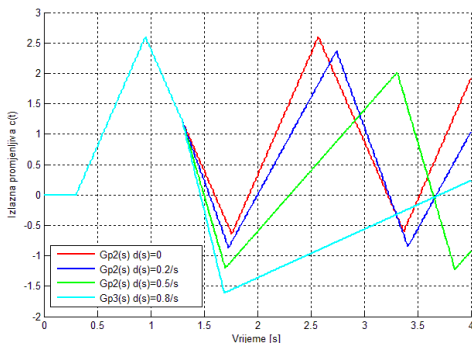


Sl.6. Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom za zadatu vrijednost $r=1$ za proces $Gp2(s)$: On/Off (plava); $U_{0d}>0$ (crvena)

ON-OFF regulator se ne može primijeniti za regulaciju astatickih objekata. Potrebno je imati što manju amplitudu i što veću periodu oscilovanja. Međutim, ukoliko ovo nije moguće postići, potrebno je primijeniti drugi tip regulatora. Sl.7 predstavlja odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom za zadatu vrijednost $r=1$ sa objektom upravljanja $Gp1(s)$: bez poremećaja (plava), sa poremećajem $d(s)=0.2/s$ (crvena), sa poremećajem $d(s)=0.5/s$ (zeleni).

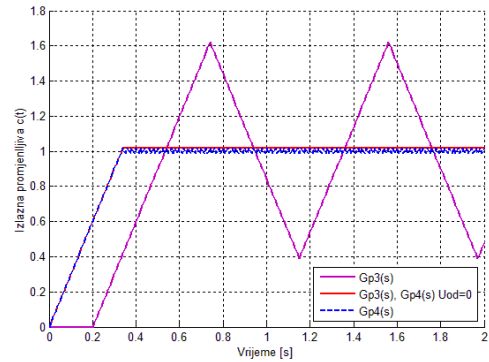


Sl.7. Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom za zadatu vrijednost $r=1$ sa objektom upravljanja $Gp1(s)$: bez poremećaja (plava), sa poremećajem $d(s)=0.2/s$ (crvena), sa poremećajem $d(s)=0.5/s$ (zeleni)



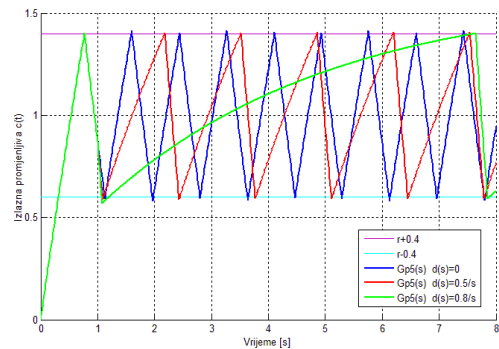
Sl.8. Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom za zadatu vrijednost $r=1$ sa objektom upravljanja $Gp2(s)$: bez poremećaja (crvena), sa poremećajem $d(s)=0.2/s$ (plava), sa poremećajem $d(s)=0.5/s$ (zeleni), sa poremećajem $d(s)=0.8/s$ (svijetlo-plava)

Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom bez histereze za zadatu vrijednost $r=1$; proces $Gp3(s)$ (ljubičasta); $Gp3(s)$ i $Gp4(s)$ sa On/Off regulatorom (crvena); proces $Gp4(s)$ (plava) prikazan je na sl.9.

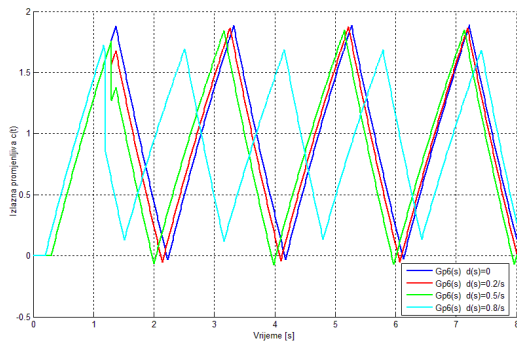


Sl.9. Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom bez histereze za zadatu vrijednost $r=1$; proces $Gp3(s)$ (ljubičasta); $Gp3(s)$ i $Gp4(s)$ sa On/Off regulatorom (crvena); proces $Gp4(s)$ (plava)

Postoji samo mogućnost promjene parametra regulatora i/ili kojima se može uticati na amplitudu i frekvenciju oscilacija. Dok je međutim u slučaju simetričnog regulatora frekvencija oscilovanja određena samo transportnim kašnjenjem. Izlazna regulisana promjenljiva u svakom trenutku, u ustaljenom stanju, može biti jednaka referentnoj vrijednosti i u sistemu će egzistirati klizni režim. Ovo predstavlja idealan slučaj. Međutim, u stvarnosti uvijek postoje mala kašnjenja što uzrokuje visokofrekvencijska preključenja koja često nisu poželjna, naročito kod regulatora s elektromehaničkim izvršnim organima, jer dovode do njihovog brzog habanja. Na sl. 10 i 11 prikazani su dvopozicioni regulatori sa histerezisom $\lambda=0.4$ sa objektima upravljanja $Gp5(s)$ i $Gp6(s)$ bez poremećaja i sa poremećajima $d(s)=0.5/s$ i $d(s)=0.8/s$.

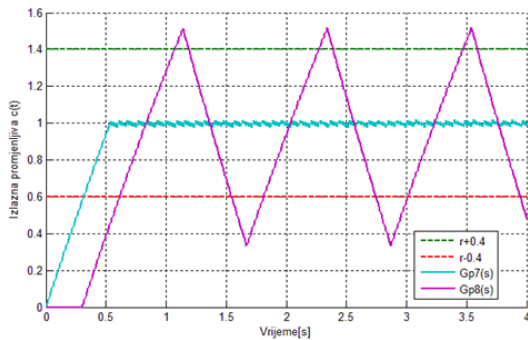


Sl. 10. Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom sa histerezisom $\lambda=0.4$ za zadatu vrijednost $r=1$ sa objektom upravljanja $Gp5(s)$: bez poremećaja (plava), sa poremećajem $d(s)=0.5/s$ (crvena), sa poremećajem $d(s)=0.8/s$ (zeleni)

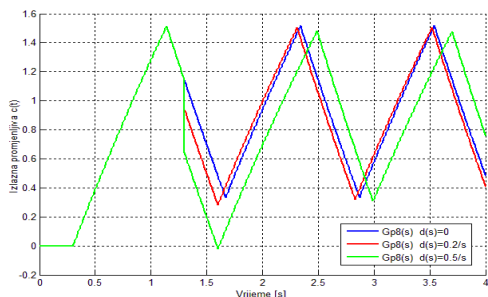


Sl.11. Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom sa histerezisom $\lambda=0.4$ za zadatu vrijednost $r=1$ sa objektom upravljanja $Gp6(s)$: bez poremećaja (plava), sa poremećajem $d(s)=0.2/s$ (crvena), sa poremećajem $d(s)=0.5/s$ (zelena), sa poremećajem $d(s)=0.8/s$ (svijetlo-plava)

Ako objekat nema transportno kašnjenje, a regulator je bez histerezisa frekvencija priključenja je beskonačna, dok je amplituda oscilacija jednaka nuli. Opet nastaje režim klizanja, kada je u ustaljenom stanju izlazni signal jednak referentnom ulaznom signalu. Na sl.12 predstavljen je odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom bez histereze, dok sl.13 predstavlja odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom bez histereze, bez poremećaja (plava), sa poremećajem $d(s)=0.2/s$ (crvena), $d(s)=0.5/s$ (zelena).



Sl. 12. Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom bez histereze za zadatu vrijednost $r=1$: proces $Gp7(s)$ (plava); $Gp8(s)$ (ljubičasta)



Sl. 13. Odziv sistema $c(t)$ sa dvopozicionim regulatorom bez histereze za zadatu vrijednost $r=1$ za proces $Gp8(s)$: bez

poremećaja (plava), sa poremećajem $d(s)=0.2/s$ (crvena), $d(s)=0.5/s$ (zelena)

V. ZAKLJUČAK

Dvopozicioni regulatori su generalno najjednostavniji regulatori, njihova analiza je zbog nelinearnosti u prošlosti bila teška. Međutim, danas digitalna simulacija dozvoljava nam da lakše dođemo do tačnih rezultata za svaki poseban oblik sistema sa datim numeričkim vrijednostima. Regulatori bez histerezisa rjeđe se koriste u sistemima elektromehaničkog tipa, osim u onim koji imaju transportno kašnjenje. U sistemima za regulaciju temperature regulatori s histerezisom su našli veoma široku primjenu. Kod nelinearnih zakona upravljanja procesna varijabla može da se promijeni po karakteru u zavisnosti od amplitude ulaznog signala u nelinearni regulator. Promjena ulaznog signala u linearni regulator može izazvati promjenu amplitude i faze regulišuće varijable u odnosu na ulaz, dok se karakter i frekvencija ulaznog signala greške održavaju i na ulazu.

ZAHVALNICA

Doprinos ovom radu dao je Dragan Četojević, dipl.ing.el.

LITERATURA

- [1] Velibor Ravlić, „Automatika za elektrotehničke škole“, 2004.
- [2] Joško Petrić, „Automatska regulacija“, Zagreb, 2012
- [3] Čedomir Milosavljević, „Teorija automatskog upravljanja 2“, Istočno Sarajevo, 2007.
- [4] Branko Parać, „Kućanski aparati, kako rade i kako se popravljaju“, Zagreb, 1998.
- [5] Čedomir Milosavljević, „Terija automatskog upravljanja 1“, Istočno Sarajevo, 2007.
- [6] Zoran Vukić, Ljubomir Kuljača, „Automatsko upravljanje-analiza linearnih sustava“, Zagreb, 2005.

ABSTRACT

This paper describes operation of two-position controllers and their use in industry. The behavior of the system with two-position controllers for regulation of non-static and static objects of the first and the second order with and without transport delays was considered. It is also discussed the possibility of applications of two-position controllers for regulation of unstable processes of the first order. Non-continuous regulation of the electric stove has been described as common example of use of two-position controllers. Efficiency of the application of these controllers is verified by numerical simulations in software package MATLAB.

TWO-POSITION CONTROLLERS AND THEIR USE IN INDUSTRY

Sladjana Supeta