

# Fuzzy PI upravljački algoritam za višestepenu otparnu stanicu

A. Zdravković\*, S. Turajlić\*\*

\* Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd.

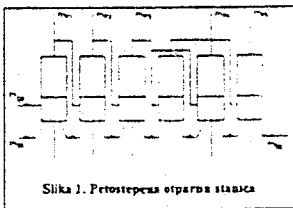
\*\* Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar Revolucije 73

## 1. UVOD

U tehnologiji proizvodnje šećera pod otparavanjem podrazumevamo proces, kojim se prečišćeni retki sok ugušuje do neke zadate vrednosti suve materije. Gusti sok na izlazu stanice za otparavanje treba da sadrži unapred zadanu količinu čvrste materije, za bilo koju kombinaciju količine retkog soka na ulazu i procenta čvrste supstance u njemu [1,2].

U prvom delu rada opisana je prečišćena otparna stanica u šećerani AIK "Senta". Na osnovu simulacionog modela višestepene otparne stanice, predložen je PI upravljački algoritam, prikazan u drugom delu rada. U trećem delu rada predložena je fuzzy upravljačka šema, a poređenje dva prikazana upravljačka algoritma izvršeno je poređenjem sume kvadrata greške izlaza pri uvodjenju odskočnog poremećaja u potrošnji grejne pare.

## 2. PETOSTEPENA OTPARNA STANICA



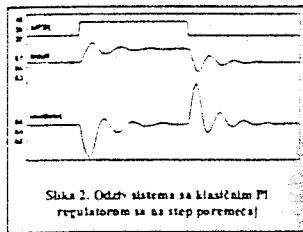
Slika 1. Petostepena otparna stanica

Višestepena otparna stanica sastoji se od nekoliko tela, koja su postavljena jedno za drugim, kao na slici 1. Za zagrevanje otparne stanice koristi se sekundarna vodena para iz turbogeneratora. Gustina izlaznog soka zavisi od parametara ulaznog soka i parametara grejne pare, kao i od količine vodene pare koja sa tela stanice odlazi na ostale korisnike pare u postrojenju. I treba da sadrži željenu koncentraciju čvrste materije, nezavisno od kvaliteta sirovine i rada postrojenja.

## 3. PI UPRAVLJAČKI ALGORITAM

Na osnovu postavljenih zahteva formiran je klasičan PI kontroler. Povratna sprega je zatvorena merenjem gustine izlaznog soka, i upravljanjem količinom grejne pare na ulazu u prvo telo. Konstante PI regulatora su izabrane tako da zadovolje kriterijum minimuma kvadrata greške. Odziv sistema na odskočni poremećaj na trećem telu prikazan je na slici 2.

Kako je vremensko kašnjenje u jednom telu 3 minuta, kašnjenje celog sistema iznosi 18 minuta. Da bi se očuvala stabilnost sistema, proporcionalna i integralna konstanta ne smeju da imaju velike vrednosti [3], što dovodi do spornog odziva sistema. Za ovakav sistem, minimalni zbir kvadrata grešaka ima vrednosti  $J=1687.77$ .

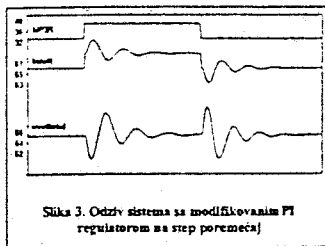


Slika 2. Odziv sistema sa klasičnim PI regulatorom na step poremećaj

Da bi se ubrzao odziv sistema, predložen je modifikovani PI algoritam. Na osnovu simulacionog modela višestepene otparne stanice moguće je izvesti zavisnost za konstantu konverzije:

$$M_D = F_{sa}(m_{p1}, m_{p2}, m_{p3}, m_{p4}, m_{p5}, w_{ref})$$

i koristiti je u upravljačkom algoritmu umesto konstante za konverziju. Odziv sistema sa modifikovanim PI regulatorom na isti odskočni poremećaj dat je na slici 3. Primenom ovakvog regulatora ubrzava se odziv sistema, i smanjuje minimalni zbir kvadrata greške, koji u ovom slučaju iznosi  $J=987.11$ .



Slika 3. Odziv sistema sa modifikovanim PI regulatorom na step poremećaj

Odziv sistema je znatno poboljšan u odnosu na upravljanje običnim PI kontrolerom, ali je za određivanje funkcije konverzije potrebno poznavati tačan model otparne stanice.

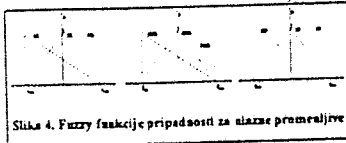
#### 4. FUZZY PI UPRAVLJAČKI ALGORITAM

Kako modifikovani PI algoritam nije dovoljno precizan sa stanovišta projektovanja, kao logično rešenje nameće se fuzzy upravljački algoritam. Da bi se pojednostavilo projektovanje fuzzy kontrolera, izvršena je fuzzy-fiksacija klasičnog PI kontrolera. Takav PI kontroler ima dve ulazne promenljive:

$$e(k) = w_{NF} - w_0(k) \text{ i } E(k) = \sum_{i=0}^k w_{NE} - w_0(k) \text{ i jednu}$$

izlaznu promenljivu:  $m_{ZO}$ .

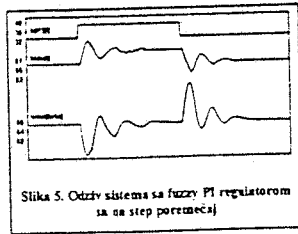
Da bi se izvršila fuzzy-fiksacija ulazne promenljive  $e(k)$ , definišemo fuzzy skupove  $\{4\}$   $NE$ ,  $ZE$  i  $PE$  i funkcije pripadnosti  $\mu_{NE}$ ,  $\mu_{ZE}$  i  $\mu_{PE}$ , kao na slici 4. Slično, za ulaznu promenljivu  $E(k)$  definišemo fuzzy skupove  $NES$ ,  $ZES$  i  $PES$ , i funkcije pripadnosti  $\mu_{NES}$ ,  $\mu_{ZES}$  i  $\mu_{PES}$ , kao na slici 4. Izlazne promenljiva uzima singleton vrednosti  $NO$ ,  $ZO$  i  $PO$ .



Slika 4. Fuzzy funkcije pripadnosti za ulazne promenljive

Kako želimo da fuzzy-fiksujemo standardni PI algoritam, uzimamo sledeća pravila:

- ako  $e$  je  $PE$  i  $E$  je  $PES$  onda  $o$  je  $NO$
- ako  $e$  je  $ZE$  i  $E$  je  $ZES$  onda  $o$  je  $ZO$
- ako  $e$  je  $NE$  i  $E$  je  $NES$  onda  $o$  je  $PO$ .



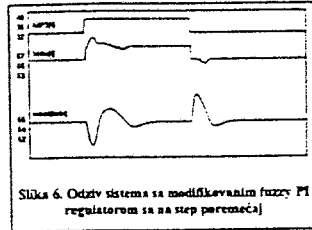
Slika 5. Odziv sistema sa fuzzy PI regulatorom sa na step poremećaj

Podešavanje parametara  $\epsilon_{min}$ ,  $\epsilon_{max}$ ,  $\epsilon_{min}$ ,  $\epsilon_{max}$ ,  $\sigma_{min}$  and  $\sigma_{max}$  fuzzy PI kontrolera izvršeno je prema kriterijumu za minimizaciju zbira kvadrata greške. Na slici 5. prikazan je odziv sistema na navedeni odskočni poremećaj. Za ovakav sistem, minimalni zbir kvadrata greške iznosi  $J=1675.32$ . Ako se kao nov ulaz u fuzzy regulator uvede protok pare na trećem potrošaču  $m_{p3}$ , dodaju  $NP$ ,  $ZP$  and  $PP$  fuzzy skupovi, sa odgovarajućim funkcijama pripadnosti, i definišu dodatna fuzzy pravila:

- ako  $p$  je  $PP$  onda  $o$  je  $NO$
- ako  $p$  je  $ZP$  onda  $o$  je  $ZO$
- ako  $p$  je  $NP$  onda  $o$  je  $PO$

Slika 6. prikazuje odziv sistema sa modifikovanim fuzzy PI algoritmom upravljanja, na odskočni poremećaj potrošnje

pare na trećem telu. Za ovaj slučaj minimalni zbir kvadrata greške ima vrednost  $J=886.87$ . Očigledno je da je odziv sistema primenom ovog algoritma znatno poboljšan, u odnosu na prethodne slučajeve. Glavna prednost ovakvog fuzzy sistema je njegova fleksibilnost i mogućnost lakog dodavanja novih iskustvenih pravila i fuzzy ulaza.



Slika 6. Odziv sistema sa modifikovanim fuzzy PI regulatorom sa na step poremećaj

#### 5. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen jedan pristup projektovanju fuzzy PI regulatora za višestepenu oparzu stanicu. Testiranje upravljačkih algoritama koji regulišu gustinu izlaznog šećernog soka kontrolom ulaznog protoka grejne pare obavljeno je na simulacionom modelu petostepene oparne stanice. Prikazano je da običan PI regulator, u svojoj klasičnoj i fuzzy varijanti, nije dovoljno efikasan, zbog vremenskog kašnjenja u procesu. Upravljačka šema koja se zasniva na iskustvima operatera, modelu u ustaljenom stanju i merenjima protoka grejne pare, daje bolje rezultate. Kako je za primenu modifikovanog PI algoritma neophodno poznavanje modela procesa u ustaljenom stanju sa velikom tačnošću, fuzzy kontrolni algoritam pruža veće mogućnosti za prilagodjenje upravljanja prirodi procesa. Pokazano je da su rezultati dobijeni fuzzy algoritmom bolji od onih dobijenih klasičnim algoritmima.

#### 6. LITERATURA

1. A.Zdravković, N.Marsenić: *Multiple Effect Evaporation Station Simulation and Control*, '92, IASETD Conf. R.QC&RA. 98-102
2. F.Rouset, Y.Saincir, M.Dacim: *Automatic Process Control of Multiple-Effect Evaporation*, Zuckerind, 1989, 4, 323-328.
3. K.Astrom, B. Wittenmark: *Computer Controlled Systems*, Prentice-Hall.
4. D.Dubois, H.Prade: *Fuzzy Sets and Systems*, 1980, Academic Press.

Abstract: This paper presents one fuzzy PI control algorithm for the multiple effect evaporation station. Fuzzy PI control algorithm performance is compared to the classical PI algorithm one, using the square error sum criteria minimization. Proposed control scheme simulation results, for the classical and fuzzy PI algorithm, are discussed. Suggested control scheme is to be verified in the sugar refinery AIK "Senta" during sugar beet campaign 1994/1995.

FUZZY PI CONTROL ALGORITHM,  
A. Zdravković, S.Turajlić