

Regulacija brzine odmotavača pomoću PID regulatora sa uključenjem / isključenjem I, D dejstva prema zadatim kriterijumima

Igor Kocić, Zoran Jovanović

Katedra za automatiku

Elektronski fakultet u Nišu, Univerzitet u Nišu

Niš, Srbija

e-mails: igkocic@gmail.com, zoran.jovanovic@elfak.ni.ac.rs

Sažetak— U kablovskoj industriji nepravilna regulacija brzine odmotavača znatno utiče na karakteristike finalnog proizvoda. Kontrola brzine odmotavača je u direktnoj vezi sa ostalim uređajima kablovske linije. U radu je opisano upravljanje brzinom uređaja za odmotavanje kablova upotrebom pasivnog dansera, koji se indirektno koristi kao davač zategnutosti kabla. Upravljanje brzinom se vrši upotrebom PID regulatora sa promenom pojačanja regulatora i uključenja/ isključenja I, D dejstva prema zadatim kriterijumima.

Ključne riječi- odmotavač; adaptivna PID regulacija; pasivni danser; PID kontroler; PLC kontroler

I. UVOD

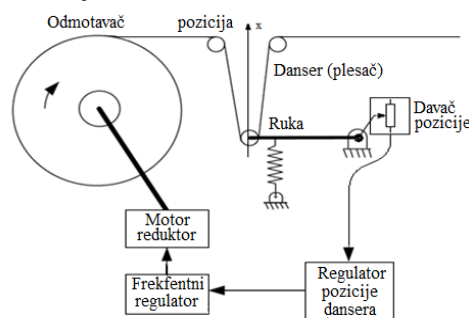
U kablovskoj industriji regulacija brzine odmotavača, odnosno pozicije dansera je od značaja za stabilan rad kablovskih mašina. Loša regulacija dovodi do istezanja provodnika čime se direktno utiče na karakteristike finalnog proizvoda.

Za regulaciju brzine odmotavača u ranijim sistemima korišćena je PI regulacija [1]. Glavni nedostatak takvog načina regulacije ogleda se u momentu kada PI regulator počne sa radom, a vrednost pozicije dansera (eng. dancer) se razlikuje od zadate. Tada se javlja značajno veća greška odstupanja koja ulazi u regulator, integralno dejstvo regulatora postaje dominantno u sistemu i sprečava brzu stabilizaciju sistema. Usled značajnih varijacija u dinamici sistema, regulacija samo PI regulatorom se pokazala kao neadekvatna. K. Reid, K. Shin i K. Lin [2], [3] su predložili metodu promene pojačanja u radnom opsegu dansera. Na taj način se kontrolni parametri regulatora ažuriraju u odnosu na vrednost pozicije ruke dansera. Kontrola brzine odmotavača je u direktnoj vezi sa zatezanjem što predstavlja dodatni problem. Složenost regulacije ogleda se i u nelinearnostima koje postoje usled uticaja trenja, istezanja, klizanja i promenljivog momenta inercije doboša sa koga se kabl odmotava u toku rada.

Zbog njihove težine i značaja u industriji takvi problemi regulacije privlače pažnju mnogih istraživača.

II. OPIS PROCESA

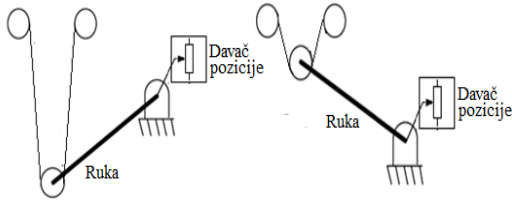
Na "Sl. 1" prikazana je principska šema regulacije brzine odmotavača upotrebom pasivnog dansera [4] koji se praktično koristi kao davač pozicije, a koja ujedno predstavlja i meru zategnutosti kabla. On se sastoji od skupa nepokretnih i pokretnih rolni, ruke, sistema za kompenzaciju pomeraja i davača pozicije ruke. Pokretna rolna je preko poluge (ruke dansera) povezana sa davačem pozicije. Signal iz davača se uvodi u regulator pozicije dansera koji generiše signal upravljanja. On se kao referenca šalje frekventnom regulatoru koji ubrzava ili usporava motor odmotavača u zavisnosti od pozicije ruke dansera. Kao davač trenutne vrednosti pozicije koristi se potenciometar ili induktivni senzor sa analognim izlazom ili neki od senzora ugaone pozicije. Potenciometar predstavlja dobro rešenje, jeftin je i veoma se lako menja u slučaju otkaza. Na "Sl. 2" prikazan je princip rada dansera i davača pozicije. Danser ima ulogu da na sebe primi promenu brzine, odnosno da apsorbuje promenu brzine, pri čemu treba da na nju što manje utiče.



Slika 1. Principska šema regulacije pozicije dansera

Ukupan ugao pomeraja ruke dansera kreće su u rasponu od $\pm 30^\circ$ do $\pm 60^\circ$ [4]. Uzročnik promene pozicije je razlika linijskih brzina ispred i iza dansera. Kada je linijska brzina na ulazu dansera veća od one na izlazu, ruka dansera se kreće na dole, u suprotnom ruka se kreće na gore. Kada je ruka dansera u poziciji dole, davač pozicije je podešen da daje mali signal "Sl. 2a", u poziciji gore "Sl. 2b" davač pozicije ruke daje

veliki signal. Signal pozicije je naponski u opsegu 0-10V ili strujni u opsegu 4-20mA (0-20mA).



Slika 2a. Ruka u poziciji dole Slika 2b. Ruka u poziciji gore
Slika 2. Princip rada davača pozicije dansera

Matematički model dansera [4] dat je jednačinom (1).

$$f(t) + mg = m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + Kx \quad (1)$$

gde su redom:

- $f(t) = f_1(t) - f_2(t)$,
- $f(t)$ razlika sila zatezanja kabla, sila kojom se kabl vuče,
- $f_1(t)$ sila zatezanja na ulazu dansera,
- $f_2(t)$ sila zatezanja na izlazu dansera,
- m masa dansera (rolne i ruke),
- B koeficijent viskoznog trenja,
- K koeficijent elastičnosti opruge,
- x pozicija ruke dansera.

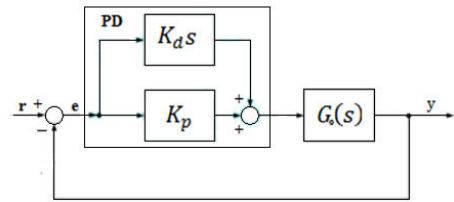
Pri izradi dansera [4] teži se da njegova masa bude što manja, da opruge koje se koriste budu sa što manjim koeficijentom elastičnosti i da trenje bude što je moguće manje. Upotrebom sistema opruga i prigušivača uvek se može postići da danser prividno miruje. Međutim takvo stanje nije dobro, tada danser gubi svoju funkciju, dolazi do pojave istezanja kabla i ako danser na očigled miruje. U krajnjem slučaju dolazi do kidanja kabla.

Danser je pogonjen razlikom sila vučnog uređaja kojom vučni uređaj vuče kabl i kočionom silom odmotavača. Kočiona sila odmotavača se smanjuje ili povećava ubrzavanjem ili usporavanjem doboša na odmotavaču.

Idealni danser predstavlja danser sa minimalnom masom, bez opruga i prigušivača. Matematički model idealnog dansera dat je jednačinom (2).

$$f(t) = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2)$$

Dodavanjem regulacijskog delovanja u vidu PD regulatora na red sa modelom (2) i zatvaranjem povratne sprege dobija se sistem kao na "Sl. 3". koji predstavlja idealni model dansera sa PD regulatorom.



Slika 3. Model idealnog dansera sa PD regulatorom

Na osnovu "Sl. 3" dobijena je funkcija prenosa celog sistema PD regulatora i idealnog dansera u obliku sa nulom u levoj poluravni (3).

$$G(s) = \frac{K_d s + K_p}{ms^2 + K_d s + K_p} \quad (3)$$

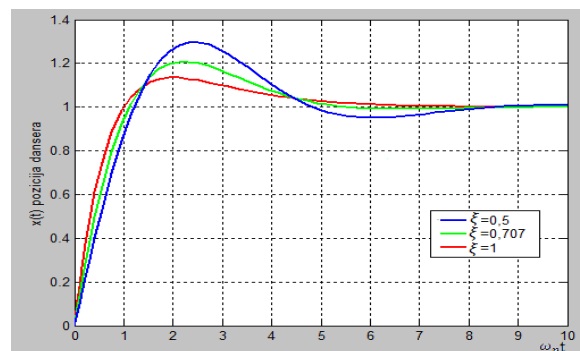
Jednačina (3) se može napisati u obliku (4), odakle sledi (5) i (6).

$$G(s) = \frac{2\xi\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (4)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_p}{m}} \quad (5)$$

$$\xi = \frac{K_d}{2\sqrt{mK_p}} \quad (6)$$

Iz jednačina (3), (4), (5) i (6) sledi da odziv direktno zavisi od mase m , prirodne učestanosti ω_n i koeficijenta prigušenja ξ . Podešavanjem parametara regulatora menja se ω_n i ξ čime se dobija željena karakteristika. Regulacijskim delovanjem PD regulatora oponaša se opruga i prigušenje, što je bio cilj u odnosu na pretpostavku o idealnom danseru. Odziv $x(t)$ pozicije idealnog dansera u zavisnosti od normalizovanog vremena $\omega_n t$ dat je na "Sl. 4" za nekoliko vrednosti ξ . Preskok u odzivu se javlja uticajem nule u funkciji prenosa. Uticaj trenja ogleda se u pojavi pola u levoj poluravni čije dejstvo je potrebno kompenzovati, što dovodi do ideje da se tradicionalni pristup regulacije PI regulatorom kombinuje sa PD regulatorom.



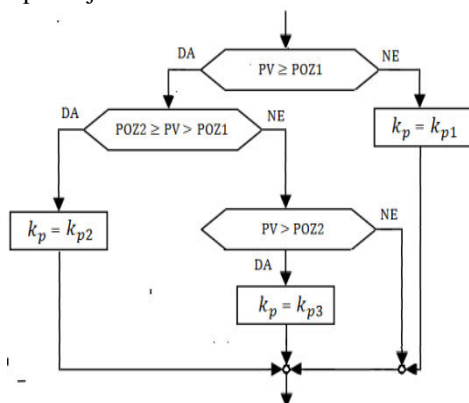
Slika 4. Teorijski odziv funkcije prenosa dansera pri različitim vrednostima za stepen prigušenja $\xi = 0,5$, $0,707$ i 1

III. OPIS METODE PODEŠAVANJA ADAPTIVNOG PID REGULATORA

Početno podešavanje parametara PID regulatora izvršeno je upotrebom eksperimentalne metode snimanjem odskočnog odziva [5]. Najpre su određene vrednosti za k_p , T_i pri čemu je T_d postavljeno na 0. Snimanje odziva se obavlja upotrebom KepwareEX servera [14] i MySql baze [15], očitavaju se vrednosti registara N7:0, N7:1 i N7:2 PLC kontrolera u kojima su redom trenutne vrednosti pozicije ruke dansera, zadate vrednosti pozicije i signala upravljanja koji je izlaz PID regulatora. Skokovita promena trenutne vrednosti pozicije dansera za potrebe snimanja odskočnog odziva izazvana je uključenjem vučnog uređaja koji je podešen da startuje trenutno skokovitom promenom brzine. Za vreme od 2 s dobija se brzina linije od 45 m/min. Na početku snimanja ruka dansera se postavlja oko zadate pozicije. Snimanje odskočnog odziva ponavljano je više puta.

$$G_{pid} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \frac{T_d s}{N}} \right) \quad (7)$$

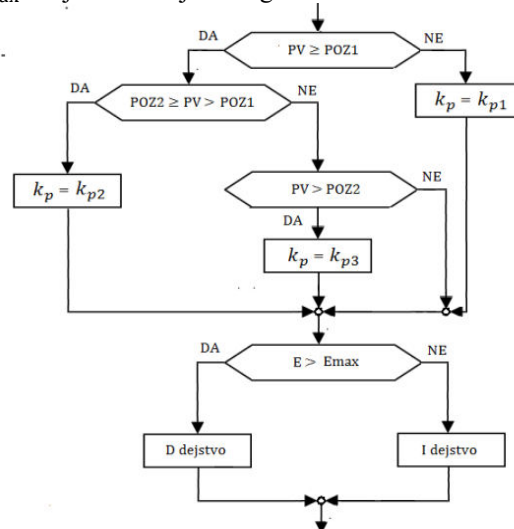
Regulacija pozicije ruke dansera radi se prema dva kriterijuma koja su definisana u odnosu na trenutnu vrednost signala greške pozicije $e(t)$. Prema prvom kriterijumu koristi se PI regulator, sa promenljivim pojačanjem [4]. Algoritam promene pojačanja dat je na "Sl. 5" gde PV predstavlja trenutnu poziciju dansera. Eksperimentalno se određuju vrednosti pozicije dansera (POZ1, POZ2) pri čijem dostizanju se vrši promena pojačanja regulatora, čime se u stvari vrši podešavanje mesta polova funkcije prenosa. Izabrane su tri diskretne vrednosti pojačanja PID regulatora $k_{p1} < k_{p2} < k_{p3}$ u odnosu na poziciju ruke dansera.



Slika 5. Upravljački algoritam po prvom kriterijumu, pojačanje k_p se menja u zavisnosti od pozicije ruke dansera

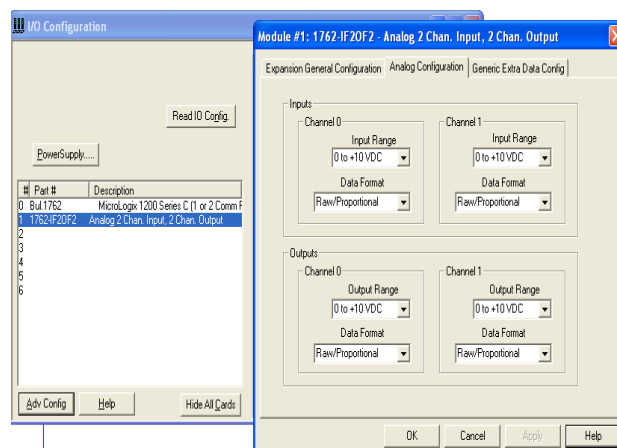
Prema drugom kriterijumu vrši se pogodno uključivanje isključivanje I i D dejstva regulatora u kombinaciji sa prvim kriterijumom. Drugi kriterijum definisan je u odnosu na veličinu odstupanja signala greške $e(t)$ u kombinaciji sa različitim vrednostima pojačanja k_p iz prvog kriterijuma "Sl. 5".

Kriterijum uključenja, isključenja I i D dejstva regulatora ostvaruje se na bazi odstupanja signala greške od zadate vrednosti prema algoritmu sa "Sl. 6". Za grešku pozicije veću od eksperimentalno utvrđene maksimalne greške $e(t) > E_{max}$ isključuje se I dejstvo regulatora.



Slika 6. Upravljački algoritam po drugom kriterijumu, pojačanje k_p se menja u zavisnosti od pozicije ruke dansera plus isključenje uključjenje I i D dejstva

Za upravljanje brzinom odmotavača, odnosno pozicijom ruke dansera upotrebljen je PLC serije MicroLogix 1200 [10] sa analognom karticom 1762 IF2OF2 [11] i frekventnim regulatorom PowerFlex 525 serije [12]. Za sam pogon odmotavača upotrebljen je motorreduktor Lenze sa asinhronim motorom snage 5,5 KW, 30Nm. Pri izboru prenosnog odnosa reduktora vođeno je računa o ugaonoj brzini odmotavača pri praznom i punom dobošu. Na "Sl. 7" prikazana je konfiguracija PLC kontrolera i analognih ulaza i izlaza. Pozicija ruke dansera meri se upotrebom mehaničkog prenosnika na koji je elastičnom spojnicom povezana osovinica potenciometra. Tako dobijena vrednost pozicije u opsegu od 0-10V se vodi na analogni ulaz PLC kontrolera. U PLC se upotrebom naredbi za skaliranje obavlja AD konverzija i pretvaranje u vrednosti pogodne za dalju obradu.



Slika 7. Konfiguracija analognih ulaza i izlaza, analogna kartica 1762 IF2OF2

Upotrebom PID instrukcije PLC kontrolera realizovan je PID zakon upravljanja [11], [16] dat jednačinom (8).

$$u(t) = k_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d e(t) \right] + \text{bias} \quad (8)$$

gde su:

$u(t)$ upravljački signal,

$e(t)$ signal greške,

k_c koeficijent pojačanja ($k_c = k_p$),

T_i integralna vremenska konstanta,

T_d diferencijalna vremenska konstanta,

bias vrednost za kompenzaciju uticaja smetnji na upravljaju veličinu.

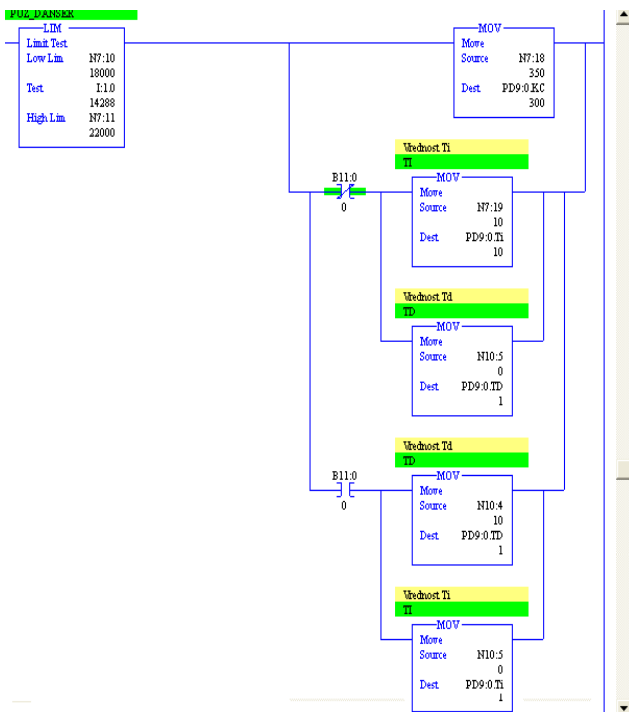
Funkcija prenosa diferencijalnog dejstva jednačine (7) i (8) realizovane su upotrebom niskopropusnog filtra čija je funkcija prenosa data jednačinom (9).

$$G_d(s) = \frac{sT_d}{1+s\frac{T_d}{N}} \quad (9)$$

Vrednost N kod Micrologix serije PLC kontrolera postavljena je fiksno na N=16. Proizvođač PLC kontrolera [11] ne daje nikakve druge podatke u vezi sa vrednošću za N i metodi za diskretizaciju PID upravljačkog zakona (8).

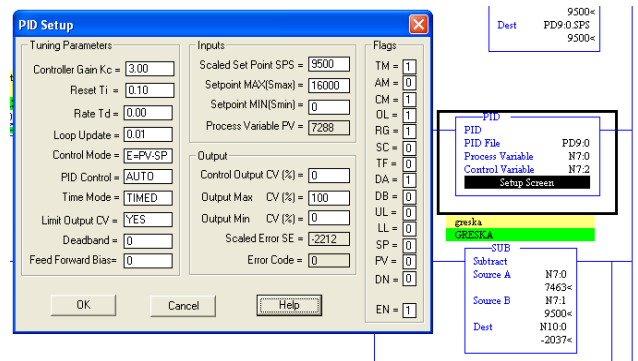
PID je podešen da radi po signalu greške (bit DA=1).

Deo programa za uključenje isključenje I, D dejstva dat je na "Sl. 8".



Slika 8. Deo programa za uključenje, isključenje I, D dejstva

Na "Sl. 9" prikazan je prozor u kome se obavlja podešavanje PID parametara regulatora.



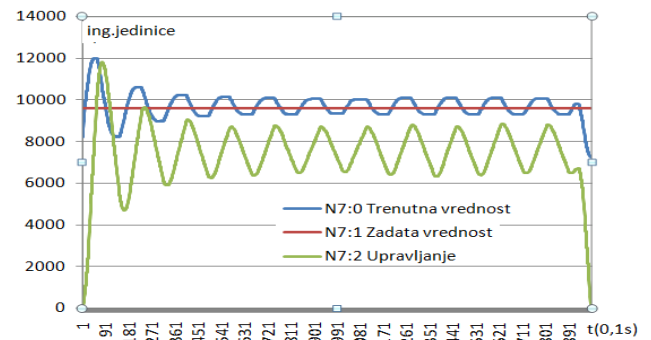
Slika 9. Prozor za podešavanje i deo softvera koji realizuje PID regulator

IV. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

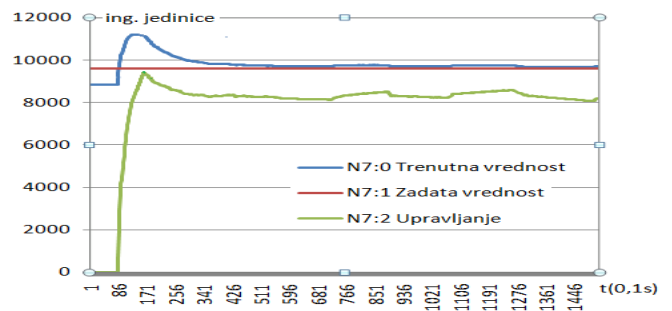
Na "Sl. 10" prikazano je jedno od početnih merenja pri kome je pojačanje k_c nedovoljne vrednosti, $k_c=0,8$. Vrednosti signala su date u inženjerskim jedinicama pri čemu vrednosti od 0V odgovara 0 ing. jedinica a vrednosti od 10V odgovara vrednost od 16384 ing. jedinica. Signali su skalirani za upotrebu PID instrukcije PLC kontrolera.

Pojačanje se dalje povećava u koracima od 0,2 i za najpovoljniju vrednost bira $k_c =3$, pri čemu je vrednost $T_i=0,01$. Po podešenom k_c snimljeni su odzivi i određena je najpovoljnija vrednost za T_i .

Za najpovoljnije T_i uzeto je $T_i=0,1$.



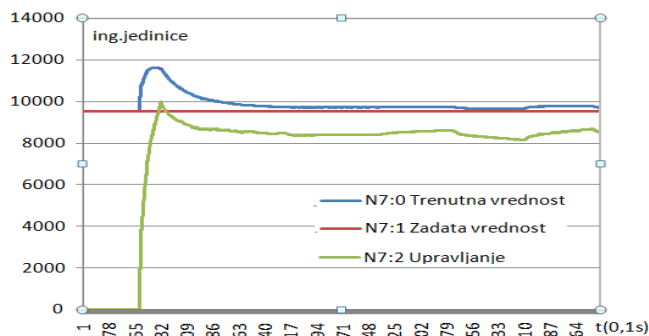
Slika 10. Podešavanje parametara regulatora zasnovanom na eksperimentalnom snimanju odskočnog odziva



Slika 11. Podešavanje parametara regulatora zasnovanom na eksperimentalnom snimanju odskočnog odziva, parametri $k_c=3$, $T_i=0,1$

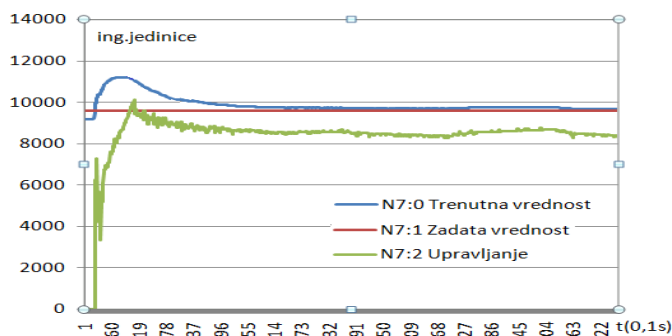
Za tako određene vrednosti snimljen je odziv PI regulatora, pri zadatoj poziciji ruke od N7:1=9600 inženjerskih jedinica. Na "Sl. 11" prikazan je odziv PI regulatora za vrednosti $k_c=3$, $T_i=0,1$ gde je k_c isto u celom opsegu regulacije.

Prema prvom kriterijumu određene su dve vrednosti pozicije (POZ1, POZ2) čijim dostizanjem se vrednost pojačanja PID regulatora skokovito menja. Snimanjem odziva određene su tri različite vrednosti pojačanja k_c (k_{c1} , k_{c2} , k_{c3}). U programu PLC kontrolera postavljene su granice pozicija ruke dansera prema algoritmu sa "Sl. 6" i snimljen je odziv za te vrednosti pojačanja. Na "Sl. 12" prikazan je odziv za $k_{c1}=3$, $k_{c2}=3,5$ i $k_{c3}=3,7$ i $T_i=0,1$.



Slika 12. Podešavanje parametara regulatora zasnovanom na eksperimentalnom snimanju odskočnog odziva, parametri $k_{c1}=3$, $k_{c2}=3,5$, $k_{c3}=3,7$ i $T_i=0,1$

Sa "Sl. 12" uočava se da je preskok i dalje veliki, veći nego kada je pojačanje u celom radnom opsegu isto sl.10. Pojačanje regulatora skokovito je uvećavano pri dostizanju pozicija koje su određene vrednostima POZ1 i POZ2. Analizom odziva sa "Sl. 10" i "Sl. 11" uočava se da vreme smirenja prelaznog procesa nije smanjeno pri čemu je preskok povećan.

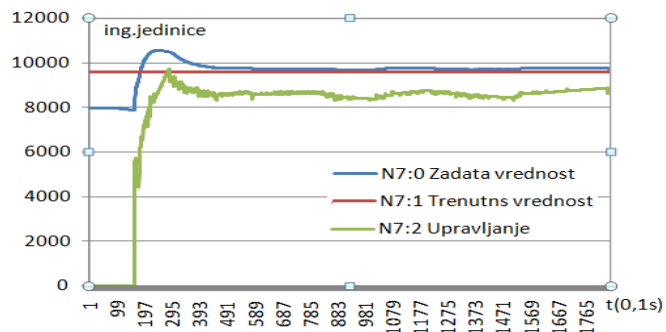


Slika 13. Podešavanje parametara regulatora zasnovanom na eksperimentalnom snimanju odskočnog odziva, parametri $k_{c1}=3$, $k_{c2}=3,5$ i $k_{c3}=3,7$, $T_i=0,1$, $T_d=1$

Na "Sl. 13" prikazan je odziv sistema prema drugom kriterijumu. Zadržane su vrednosti za pojačanje od $k_{c1}=3$, $k_{c2}=3,5$ i $k_{c3}=3,7$ s tim što je sad uveden kriterijum isključenja I, D dejstva. Snimanjem odziva eksperimentalno je određena pozicija ruke dansera, a samim tim maksimalna vrednost greške pozicije pri kojoj se isključuje I dejstvo a uključuje D dejstvo regulatora.

Sa "Sl. 13" uočava se da je preskok značajno manji nego u prethodnom slučaju, isto važi i za vreme smirenja.

Snimanje odskočnog odziva je nastavljeno i pri podešenju od $T_d = 1$, došlo se do optimalnog podešenja PID regulatora. Na "Sl. 14" prikazan je odziv prema drugom kriterijumu gde je za T_d uzeta vrednost $T_d=1$. Preskok je značajno smanjen, a i vreme smirenja prelaznog procesa. Uporedni prikaz veličina preskoka i vremena smirenja za oba kriterijuma dat je u tabeli I.



Slika 14. Podešavanje parametara regulatora zasnovanom na eksperimentalnom snimanju odskočnog odziva, parametri $k_c=3$, $3,5$ i $3,7$, $T_i=0,1$, $T_d=1$

Vreme smirenja prelaznog procesa računato je u odnosu na momenat kada upravljana veličina uđe u opseg 0,95% do 1,05% od stacionarnog stanja. Iz tabele I uočava se da prvi kriterijum ne daje zadovoljavajući rezultat u smislu preskoka i vremena smirenja. Pri promeni pojačanja u zavisnosti od pozicije ruke dansera dobijen je nešto lošiji rezultat nego pri konstantnom pojačanju. Primenom drugog kriterijuma dobijen je zadovoljavajući rezultat.

TABELA I. UPOREDNI PRIKAZ VREDNOSTI PRESKOKA I VREMENA SMIRENJA PRELAZNOG PROCESA ZA OBA KRITERIJUMA UPRAVLJANJA

slika	ts (s)	II (%)
11	38,3	16,76
12	41,9	20,8
13	21,3	19,25
14	18,1	9,85



Slika 15. Danser i odmotavač u pogonu fabrike

U radu je predstavljeno rešenje upravljanja realnim odmotavačem za provodnike i kablove debljine od 3mm do 10mm upotrebom Allen Bradley MicroLogix 1200 PLC kontrolera. Na "Sl. 15" prikazan je stvarni danser i odmotavač. Za eksperimentalno podešavanje parametara regulatora i realizaciju upravljačkog zadatka regulacije brzine odmotavača utovaren je doboš prečnika 1250 mm sa provodnikom PP-Y 3x1,5. Na "Sl. 16" prikazan je upravljački orman odmotavača. Pored regulacije brzine realizovana je i logika za automatski utovar doboša. PowerFlex regulator podešen je upotrebom Connected Components Workbench softvera firme Rockwell Automation. Projekat je realizovan u Fabrici kablova u Zaječaru.



Slika 16. Izgled upravljačkog ormana odmotavača

V. ZAKLJUČAK

Glavni problemi pri regulaciji brzine odmotavača odnosno pozicije dansera se javljaju zbog uticaja nelinearnosti usled trenja, istežanja, klizanja, promene inercije odmotavača. Pri pokretanju sistema u rad, u trenutku početka rada regulacije regulator nije u mogućnosti da brzo ispravi grešku jer se greška sabira u I delu regulatora. Integralno dejstvo je dominantno, samim tim ono sprečava brzu stabilizaciju sistema. Po dostizanju zadate vrednosti PI regulator nastavlja da napreduje sve dok ne dostigne zadatu vrednost greške nakon koje se isključuje I dejstvo a uključuje D dejstvo. Upotrebom drugog kriterijuma koji kombinuje metodu promena pojačanja regulatora i uključenje isključenje I, D dejstva postignuto je da su preskok i vreme smirenja značajno smanjeni. Pri tome je pozitivan uticaj I dejstva očuvan u smislu smanjenja greške u stacionarnom stanju.

LITERATURA

- [1] G. Brandenburg, "New Mathematical Model For Web Tension and Register Error", Proceedings: 3rd International IFAC Conference On Instrumentation And Automation In The Paper, Rubber and Plastics, Vol. 1, May 1976, pp411-438.
- [2] G. E. Young and K. N. Reid, "Lateral and Longitudinal Dynamic Behavior and Control of Moving Webs", *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, June 1993, Vol. 115, pp 309-317

- [3] Karl N. Reid, Kee-Hyun Shin, and Ku-Chin Lin, "Variable-Gain Control Of Longitudinal Tension In A Web Transport System", *AMD-Vol. 149, Web Handling*, ASME 1992, pp87-100.
- [4] R. V. Dwivedula, Y. Zhu, and P. R. Pagilla, "Characteristics of active and passive dancers: a comparative study", *Control Engineering Practice*, vol. 14, no. 4, pp. 409-423, 2006. R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.
- [5] Chien K.L., J. A. Hrones and J. B. Reswch: "On the Automatic Control of Generalized Passive Systems", *Trans. of American Society of Mechanical Engineering*, 74, 175-185 (1952) M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [6] P. R. Pagilla, N. B. Siraskar, and R. V. Dwivedula, "Decentralized control of web processing lines," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 106-117, 2007.
- [7] T. T. Tran and K. H. Choi, "A backstepping-based control algorithm for multi-span roll-to-roll web system", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 70, no. 1-4, pp. 45-61, 2014.
- [8] H.-K. Kang, C.-W. Lee, K.-H. Shin, and S.-C. Kim, "Modeling and matching design of a tension controller using pendulum dancer in roll-to-roll systems," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 47, no. 4, pp. 1558-1566, 2011.
- [9] ASTROM, " K. J.—HAGGLUND, " T. : *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*, 2nd Edition, Research Triangle Park, NC: Instrument Society of America.
- [10] MicroLogix™ 1200 and MicroLogix 1500 Programmable Controllers, https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/document/s/rm/1762-rm001_-en-p.pdf
- [11] MicroLogix 1762-IF4 Analog Input Module, https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/document/s/in/1762-in012_-en-p.pdf
- [12] PowerFlex 525 Adjustable Frequency AC Drive, http://powerflex.su/content/files/520-um001_-en-e.pdf
- [13] ZIEGLER, J. G.—NICHOLS, N. B. : *Optimum Settings for Automatic Controllers*, *Trans. ASME* 64 (1942), 759-768.
- [14] Kepservers manual, <https://www.kepware.com/getattachment/2745a0a9-079a-4630-b15c-8081aba1a91d/kepservers-manual.pdf>
- [15] XAMPP FOR MYSQL Amey Laxman Gawde, <https://cs.nyu.edu/courses/Fall12/CSCIGA.2433001/XAMPP.pdf>.
- [16] S. Turajlić, *Programabilni logički kontroleri*, ALLEN BRADLEY-SLC 500, Beograd, 2008

ABSTRACT

In the cable industry, improper regulation of the unwinder speed significantly affects the characteristics of the final product. Unwinder speed control is directly related to other cable line devices. The paper describes the speed control of a cable unwinding device using a passive dancer, which is indirectly used as a cable tension sensor. Speed control is performed using a PID controller with a change in the gain of the controller and on / off I, D action according to the specified criteria.

Unwinder speed control using PID controller with on / off I, D action according to set criteria

Igor Kocić, Zoran Jovanović