

Realizacija upravljačkog okruženja za MPS PA stanicu u Matlab RTWT okruženju

Marko Lalović, Srđan Lale

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina
marko.lalovic@etf.unssa.rs.ba,
srdjan.lale@etf.unssa.rs.ba

Igor Krčmar

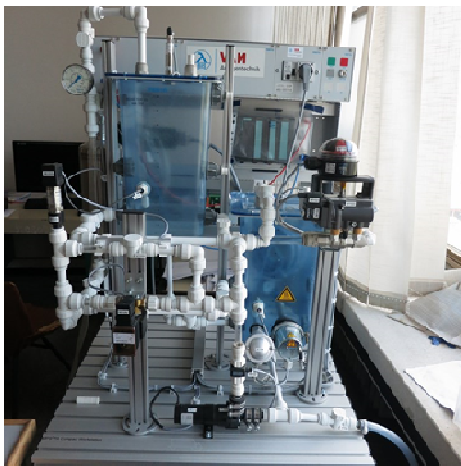
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet U Banjoj Luci
Banja Luka, Bosna i Hercegovina
igor.krcmar@etfbl.net

Sažetak—Da bi se realizovalo kompaktno eksperimentalno okruženje pogodno za sintezu i verifikaciju različitih upravljačkih algoritama primjenjivih na tipične industrijske procese, urađeno je povezivanje MPS PA stanice i Matlab RTWT (*Real Time Windows Target*) okruženja pomoću multifunkcionalne I/O kartice MF624. Nakon povezivanja, kalibracije senzora i aktuatora izvršena je identifikacija MPS PA stanice u cilju dobijanja funkcije prenosa kao polazne pretpostavke za projektovanje različitih algoritama upravljanja koji se koriste u industrijskim sistemima.

Cljučne riječi—MPS PA stanica; HUMUSOFT MF624; PI regulator

I. UVOD

Modular Process Station - Process Automation (MPS PA) radna stanica se sastoji od dva rezervoara koja su postavljena kao na Sl. 1 i standardnih senzora procesnih veličina, koji emulira realno industrijsko postrojenje sa fluidom kao radnim medijem [1].



Slika 1. MPS PA radna stanica.

Glavni cilj ovog rada bio je prilagođenje ove radne stanice Matlab/Simulink okruženju da bi se mogli testirati i verifikovati različiti algoritmi upravljanja prvenstveno za edukaciju studenata. Takođe, pomenuta radna stanica prilagođenjem na Matlab/Simulink poslužila je i za testiranje različitih postupaka identifikacije industrijskih procesa.

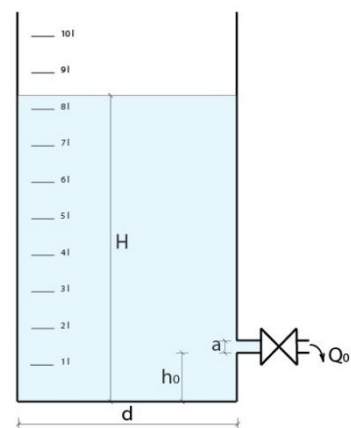
Radna stanica je opremljena različitim senzorima kao što su: kapacitivni senzori, ultrazvučni senzori, senzor protoka, senzor pritiska i temperaturni senzor, kao i aktuatori: cirkulaciona pumpa, grijač, proporcionalni ventil, pneumatski kuglasti ventil.

Za povezivanje MPS PA stanice sa Matlab/Simulink okruženjem upotrebljena je multifunkcionalna kartica MF624 kompanije HUMUSOFT [2], pa su signali senzora i aktuatora morali biti prilagođeni zahtjevima kartice. Zbog razlike u naponskim nivoima ti signali su prilagođeni elektronskim modulima koji su napravljeni u master rada [3].

Da bi se iz Matlab/Simulink okruženja lakše moglo pristupiti MPS PA radnoj stanici preko kartice MF624, napravljena je posebna biblioteka koji sadrži analognu/digitalne ulazne i izlazne blokove koji služe za prihvatanje signala sa senzora i za pokretanje aktuatora.

II. PROJEKTOVANJE UPRAVLJAČKE STRUKTURE ZA MPS PA RADNU STANICU

Regulacija zapremine i protoka tečnosti u rezervoarima je jedan od tipičnih zadataka u procesnoj industriji, a koji se može emulirati na MPS PA stanici. U ovom odjeljku je razmatrano modelovanje isticanja tečnosti iz jednog rezervoara prikazanog na Sl. 2.



Slika 2. Rezervoar MPS PA stanice.

A. Estimacija parametara MPS PA stanice

Estimacija parametara dinamičkih sistema podrazumjeva određivanje parametara modela dinamičkog sistema na osnovu eksperimentalnih podataka mjerenih na ulazu i izlazu objekta.

Prva faza estimacije parametara datog sistema je akvizicija podataka što je omogućeno korištenjem multifunkcionalne I/O kartice HUMUSOFT MF624, dok su u drugoj fazi estimirani parametri pomoću SPE (*Simulink Parameter Estimation*) biblioteke koji je podržan od strane Matlab-a.

Matematički model isticanja tečnosti iz rezervoara određen je pod sledećim pretpostavkama:

- zanemareni su otpori koji se javljaju na ventilima (tj. ventil je idealan),
- zanemarena je geometrija cjevovoda preko kojih tečnost dotiče i ističe iz rezervoara,
- fluid je nestišljiv.

Uvažavajući navedene pretpostavke matematički model isticanja tečnosti iz rezervoara se može predstaviti sljedećom jednačinom [5]:

$$-Q_0 = A \frac{dH}{dt} \quad (1)$$

$$Q_0 = C_d a \sqrt{2g(H - h_{\min})} \quad (2)$$

gdje je H nivo tečnosti u rezervoaru, A poprečni presjek rezervoara, a poprečni presjek otvora na ventilu, Q_0 protok tečnosti iz rezervoara, C_d koeficijent pražnjenja rezervoara, g ubrzanje zemljine teže, h_{\min} minimalan nivo tečnosti u rezervoaru.

Zbog boljeg prilagođenja modela eksperimentalnoj MPS PA platformi visina je izražena u litrima L .

$$H = \frac{0.001 \times L}{A} \quad (3)$$

pa je

$$\frac{dL}{dt} = - \frac{C_d a \sqrt{2g \left(\frac{0.001 \cdot L}{A} - h_{\min} \right)}}{0.001} \quad (4)$$

Poslednja jednačina predstavlja matematički model promjene zapremine u rezervoaru koji je nelinearan. Jednačina (4) je diferencijalna jednačina prvog reda po zapremini tečnosti u rezervoaru L .

TABELA I. REZULTATI ESTIMACIJE PARAMETARA

Početna zapremina tečnosti u rezervoaru (L[l])	Estimirana vrijednost parametra C_d
9	0,2739
8	0,2723
7,05	0,2767
6,1	0,2755
5,15	0,2776
4,1	0,2734
3,1	0,2679

Svi parametri osim koeficijenta pražnjenja rezervoara C_d su poznati, tako da je samo taj parametar bio predmet postupka estimacije. Estimacija je urađena takođe u Matlab-u odnosno u *Simulink Control and Estimation Tools Manager* - u. Rezultati estimacije su prikazani u Tabeli. I.

III. REALIZACIJA UPRAVLJAČKE STRUKTURE U MATLAB RTWT OKRUŽENJU

U ovom radu su opisane dvije vrste upravljanjačkih algoritama za održavanje konstantne zapremine tečnosti u rezervoaru: kontinualni - linearno upravljanje (PI regulator) i diskretni - nelinearno upravljanje (histerezo upravljanje) [6].

A. Linearizacija procesa isticanja tečnosti iz rezervoara

Da bi se mogao realizovati PI upravljački algoritam, potrebno je nelinearnu jednačinu (4) pretvoriti u linearnu razvijanjem u Tejlorov red, pa je potrebno uvesti smjenu:

$$\frac{0.001L}{A} - h_{\min} = x + 1 \quad (5)$$

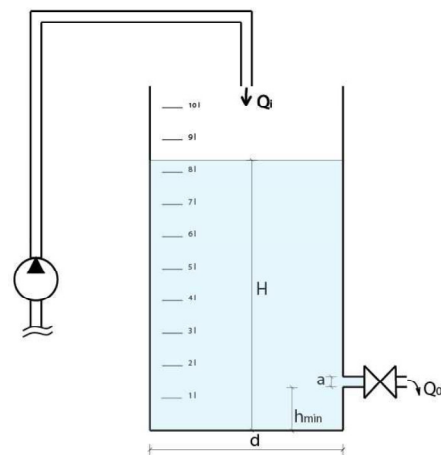
pa je

$$\frac{dL}{dt} = - \frac{C_d a \sqrt{2g}}{0.001} \left(\frac{0.00131L}{A} + 0.19 - 1.31h_{\min} \right) \quad (6)$$

Sljedeći korak u procesu projektovanja upravljačke strukture opisan u ovom radu je određivanje funkcije prenosa procesa održavanja konstantne zapremine tečnosti u rezervoaru sa jednim ulazom (doticanje vode u rezervoar) i jednim izlazom (isticanje vode iz rezervoara).

B. Određivanje funkcije prenosa procesa održavanja konstantne zapremine tečnosti u rezervoaru

Rezervoar sa jednim ulazom (dotok vode preko cirkulacione pumpe) i sa jednim izlazom (slobodno isticanje vode iz rezervoara) je prikazan na Sl.3



Slika 3. Proces održavanja konstantne zapremine tečnosti u rezervoaru.

Linearna jednačina ovog procesa je

$$\frac{dL}{dt} = \frac{Q_i}{0.001} - \frac{C_d a \sqrt{2g}}{0.001} \left(\frac{0.00131L}{A} + 0.19 - 1.31h_{\min} \right) \quad (7)$$

gdje Q_i predstavlja protok tečnosti u rezervoar, a L predstavlja zapreminu tečnosti u rezervoaru izraženu u litrima. Da bi dobili funkciju prenosa sistema

$$G(s) = \frac{L(s)}{Q_i(s)} \quad (8)$$

jednačina (7) mora se prevesti u s domen pa je:

$$\frac{L(s)}{Q_i(s)} = \frac{A}{0.001(sA + 1.31aCd\sqrt{2g})} \quad (9)$$

Funkcija prenosa prvog reda ima oblik

$$G(s) = \frac{K}{1+sT} \quad (10)$$

gdje K predstavlja pojačanje, a T vremensku konstantu trajanja prelaznog procesa. Kada se jednačina (9) prilagodi jednačini (10) dobijemo

$$G(s) = \frac{\frac{A}{0.00131aCd\sqrt{2g}}}{1+s\frac{A}{1.31aCd\sqrt{2g}}} \quad (11)$$

pa je pojačanje i trajanje prelaznog procesa

$$K = \frac{A}{0.00131aCd\sqrt{2g}} \quad (12)$$

$$T = \frac{A}{1.31aCd\sqrt{2g}} \quad (13)$$

C. Održavanje konstantne zapremine tečnosti u rezervoaru sa linearnim PI regulatorom

Funkcija prenosa sa povratnom spregom (PI regulatorom) je

$$W_p(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right) \frac{K}{1+sT} \quad (14)$$

dok je karakteristična jednačina

$$s^2 + s\frac{(1+K_pK)}{T} + \frac{K_iK}{T} = 0 \quad (15)$$

Ako se karakteristična jednačina predstavi u obliku

$$(s - \sigma_1)(s - \sigma_2) = 0 \quad (16)$$

gdje su σ_1 i σ_2 korijeni karakteristične jednačine, mogu se odrediti po Vijetovim formulama. Ako se uzme u obzir da se korijeni karakteristične jednačine određuju ponašanjem sistema u prelaznom procesu, uobičajeno je da se uzme da je $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$, pa su koeficijenti integralnog i proporcionalnog dejstva

$$K_p = \frac{-1-2T\sigma}{K} \quad (17)$$

$$K_i = \frac{T\sigma^2}{K} \quad (18)$$

Da bi koeficijent proporcionalnog dejstva bio pozitivan potrebno je da bude ispućen sledeći uslov

$$|\sigma| > \frac{1}{2T} \quad (19)$$

pa je

$$K_p = \frac{-1+2T|\sigma|}{K} \quad (20)$$

D. Histerežno upravljanje

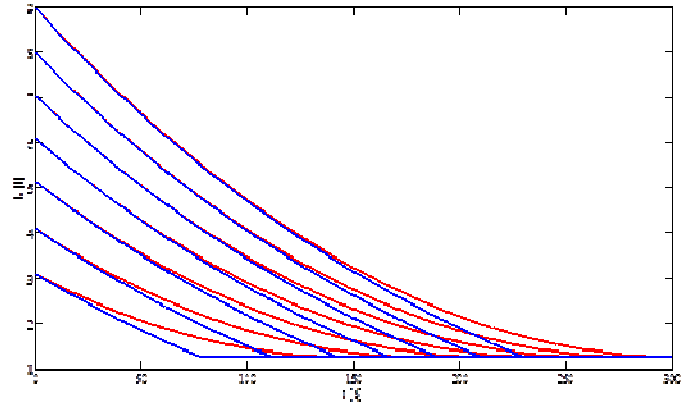
Histerežno upravljanje je jedno od najjednostavnijih upravljanja koje se koristi u industriji [5]. Algoritam se svodi na uključivanje i isključivanje toka energije prema objektu. U ovom slučaju uključivanjem i isključivanjem cirkulacione pumpe reguliše se zapremina tečnosti u rezervoaru u zadatim granicama. Zakon upravljanja određen je sa

$$u = \begin{cases} m_1 \text{sign}(e - H), & e > 0 \\ -m_2 \text{sign}(e + H), & e \leq 0 \end{cases} \quad (21)$$

IV. SIMULACIONI REZULTATI

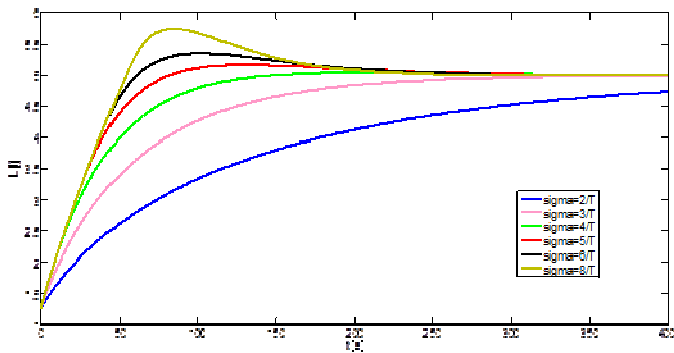
Pomenute upravljačke strukture su simulirane u programskom paketu Matlab/Simulink.

Na Sl. 4 je su prikazani simulacioni rezultati poređenja nelinearnog matematičkog modela isticanja tečnosti iz rezervoara datim jednačinom (4) i linearnog modela datog jednačinom (6) i taj grafik ujedno predstavlja i validaciju procesa linearizacije.



Slika 4 Razlika između linearne (plava boja) i nelinearne (crvena boja) karakteristike isticanja rezervoara.

Simulacijom nelinearne šeme isticanja tečnosti iz rezervoara sa PI regulatorom određena je optimalna brzina regulacionog procesa ($\sigma=4/T$) kao na Sl. 5, kao i parametri PI regulatora dati u Tab II.



Slika 5. Simulacioni rezultati regulacije zapremine tečnosti u rezervoaru sa PI regulatorom za različito σ do zapremine od 5l.

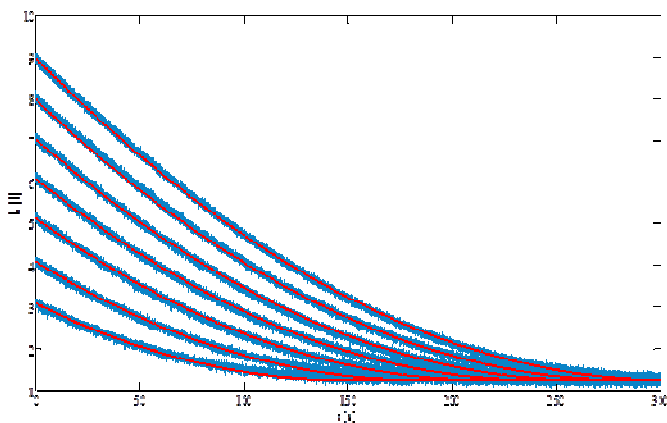
TABELA II. VRIJEDNOSTI PARAMETARA PI REGULATORA U ZAVISNOSTI OD σ

σ	K_p	K_i
$2/T$	$1,27e-5$	$7,21e-8$
$3/T$	$2,12e-5$	$1,62e-7$
$4/T$	$2,97e-5$	$2,88e-7$
$5/T$	$3,82e-5$	$4,50e-7$
$6/T$	$4,67e-5$	$6,49e-7$
$8/T$	$6,37e-5$	$1,15e-6$

V. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Da bi se testirali upravljački algoritmi, razvijena je eksperimentalna platforma koja se sastoji od MPS PA radne stanice, multifunkcionalne ulazno-izlazne MF624 kartice prilagodbene elektronike između računara i kartice MF624.

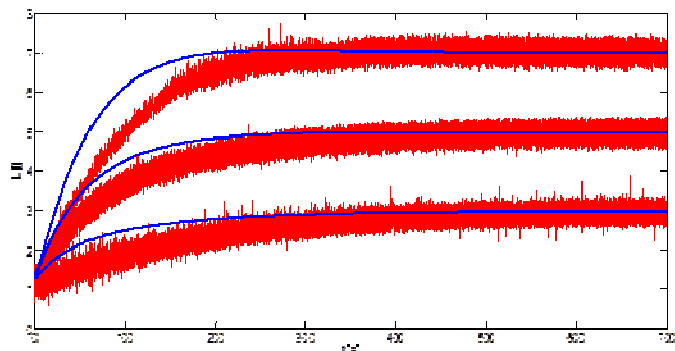
Za prikupljanje podataka sa MPS PA radne stanice korišteno je Matlab RTWT okruženje, a *Matlab Control and Estimation Tools Manager* je korišten za estimaciju parametara.



Slika 6. Pražnjenje rezervoara, (plava linija – eksperimentalne krive promjene zapremine tečnosti, crvena linija - krive promjene zapremine dobijene iz nelinearnog modela).

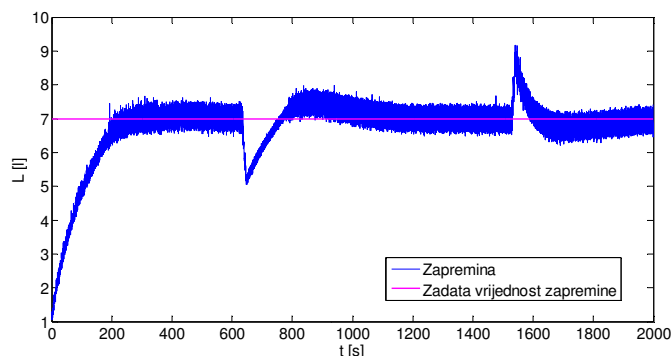
Na Sl. 6 su prikazani eksperimentalni rezultati pražnjenja rezervoara plavom linijom dok su crvenom linijom označeni rezultati simulacije pražnjenja rezervoara koristeći nelinearni model i sa te slike se vidi da se model pražnjenja rezervoara u Simulink-u dobro slaže sa eksperimentalnim rezultatima.

Eksperimentalni i simulacioni rezultati održavanja zapremine tečnosti u rezervoaru na zadanoj vrijednosti sa PI regulatorom u upravljačkoj strukturi prikazani na Sl. 7. Crvenom bojom su označeni eksperimentalni rezultati, a plavom simulacioni. Sa slike se vidi da se dinamički odziv pretpostavljenog modela u Matlab/Simulink –da se dobro popudara sa dinamičkim odzivom realnog sistema.



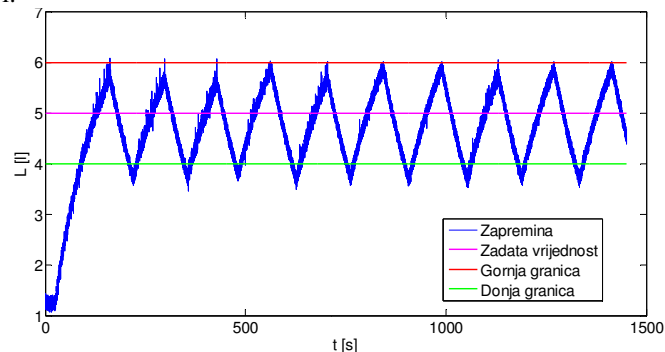
Slika 7. Poređenje simulacionih (plava) i eksperimentalnih (crvena) rezultata regulacije zapremine tečnosti u rezervoaru sa PI regulatorom.

Ispitan je i uticaj skovitih poremećaja na sistem (ispuštanje i dolijevanje tečnosti u rezervoar), pa je odziv upravljačke strukture sa PI regulatorom na poremećaj prikazan na Sl. 8.



Slika 8. Odziv upravljačke strukture sa PI regulatorom na poremećaj skokovitog tipa

Eksperimentalni rezultati održavanja zapremine tečnosti u rezervoaru na zadanoj vrijednosti sa histereznim upravljanjem prikazani su na Sl. 9. U ovom slučaju je zadana vrijednost tečnosti u rezervoaru iznosila je 5 l, a granice histereznog upravljanja zapremine tečnosti u rezervoaru u intervalu od 4-6 l.



Slika 9. Histerežno upravljanje na eksperimentalnoj platformi.

VI. ZAKLJUČAK

O ovom radu opisan je eksperimentalna platforma koju čine MPS PA radna stanica, multifunkcionalna kartica MF624 koja je povezana sa PC računarom i Matlab/Simulink RTWT okruženje. Na primjeru tipičnog procesa održavanja konstantne zapremine tečnosti u rezervoaru koji se može emulirati na MPS PA stanici pokazan je postupak estimacije parametara procesa upravljanja. Dobijen model u Matlab/Simulink okruženju vjerno oslikava dimaničko ponašanje realnog procesa isticanja tečnosti iz rezervoara i procesa održavanja konstantne zapremine tečnosti u rezervoaru na MPS PA stanici. Na istom primjeru pokazan je i postupak sinteze upravljačkih struktura u zadacima održavanja konstantne zapremine tečnosti u rezervoaru. Simulacioni rezultati ovih procesa se odlično slažu sa eksperimentalnim rezultatima.

Ova stanica je osposobljena za testiranje različitih industrijskih procesa i upravljačkih algoritama.

LITERATURA

- [1] „Proces automation, MPS PA Compact Workstation Technical Documentation“, Festo Didactic, 2011.
- [2] „MF 624 Multifunction I/O Card User's Manual“, HUMUSOFT, 2006.,
- [3] Marko Lalović, “Realizacija upravljačkog okruženja za MPS PA stanicu u MATLAB RTWT okruženju”

- [4] Matlab Parametar Estimation toolbox User Guide R2009a MathWorks Inc.
- [5] Elke Laubwald, „Coupled tank systems 1“.
- [6] Ljubiša S. Draganović, „Elementi i sistemi automatskog upravljanja“, 1997.

ABSTRACT

In order to implement compact experimental environment suitable for synthesis and verification of various control algorithms applicable to industrial processes, a MPS PA working station was connected to Matlab RTWT environment by using multifunctional I/O card MF624. After connecting and calibration of the sensors and actuators, the identification of MPS PA station was performed in order to obtain a transfer function, which is necessary for development of various control algorithms in industrial systems.

IMPLEMENTATION OF CONTROL PLATFORM FOR MPS PA STATION IN MATLAB RTWT ENVIRONMENT

Marko Lalović, Srđan Lale,
Igor Krčmar