

SISTEM SPREGNUTIH REZERVOARA I EDUKACIJA U UPRAVLJANJU COUPLED TANK SYSTEM AND EDUCATION IN CONTROL

Dragoljub Stevanović, Milan Matijević, Aleksandar Šaranac, *Mašinski fakultet, Kragujevac*

Sadržaj - U ovom radu je na primeru regulacije nivoa u spregnutim rezervoarima predstavljen simulacioni softver koji je napisan za edukativnu namenu za grupu predmeta koji se bave modeliranjem, merenjem i upravljanjem. Radi se virtualnom eksperimentalnom setupu koji obezbeđuje animaciju i simulaciju realnog fizičkog procesa i korisniku omogućava izvesnu kreativnost u mogućnosti izbora uslova virtualnog eksperimenta.

Abstract – In this paper, level regulation in coupled tank system is used to show simulation software written for educational purposes, for courses related to modeling, measurement and control. It is virtual experimental setup that provides animation and simulation of real physical process, and allows its user some level of creativity in choosing virtual experiment conditions.

1. UVOD

Kvalitetna obuka studenata na tehničkim fakultetima podrazumeva uvek dva nivoa znanja – teorijsko i praktično. Dok je teorijsko znanje lako preneti u klasičnim učionicama, inženjerski način razmišljanja i pristup problemima studenti će moći da prihvate tek nakon praktičnog rada u laboratorijama.

Početkom dvadeset i prvog veka, laboratorijski rad se sve češće zamenjuje računarskim simulacijama, koje budućim inženjerima pružaju iste mogućnosti za učenje kao i realni sistemi, a uz to su jeftinije i nude veće mogućnosti za eksperimentisanje i samostalan rad studenata.

U svetu je razvijen veliki broj računarskih alata koji simuliraju laboratorijske uslove [1], [2]. Većina njih je urađena u okviru programskih paketa kao što su MATLAB i drugi, i predstavljaju njihov sastavni deo. Zahvaljujući lakoj dostupnosti na tržištu piratskog softvera, ovakvi programi su do sada korišćeni i na univerzitetima u Srbiji i Crnoj Gori.

Donošenjem novih zakona o intelektualnoj svojini i legalizacijom softvera, mnogi od ovih alata postaću nedostupni univerzitetima u našoj zemlji. Čak i oni programski paketi koji, u svojim legalnim verzijama, a putem donacija ili ugovora sa proizvođačima ostanu deo univerzitetskog inventara, neće u potpunosti da zadovoljavaju potrebe obrazovanja, jer će zbog svoje cene biti nedostupni pojedincu, što će eliminisati mogućnost samostalnog rada studenata kod kuće, što je jedna od bitnih prednosti simulacionog softvera.

Zato je potrebno da se na našim univerzitetima razvije simulacioni softver koji će biti proizvod domaćeg inženjerskog znanja, i koji će biti pisan u *open source* kodu. Takvi programi, koji ne bi zavisili od velikih inženjerskih programskih paketa, imali bi malu cenu, mogli bi da postanu deo razmene među univerzitetima i da budu besplatno deljeni studentima, čime bi se prevazišao deo problema koji trenutno prete inženjerskom obrazovanju u našoj zemlji.

2. VIRTUELNE LABORATORIJE

Količina sedstava potrebna da se oformi kvalitetna laboratorija za eksperimente iz oblasti automatskog upravljanja često prevazilazi finansijske mogućnosti pojedinih univerziteta, što kao posledicu ima nedovoljan broj sati koje studenti provode u laboratorijama.

Zbog toga, svetski trendovi sve više vode u pravcu korišćenja informatičkih tehnologija u svrhu učenja na daljinu [3], [4]. Suština je da se iskoristi internet kao informaciona struktura između studenta i opreme, koji mogu da se nalaze na geografski udaljenim lokacijama.

Mnogi univerziteti razvijaju virtuelne laboratorije za automatsko upravljanje, elektroniku, i druge oblasti. Prednost ovakvih virtuelnih laboratorija je u tome da su lakše dostupne studentima, koji dobijaju mogućnost da izvrše eksperiment u proizvoljno vreme i sa bilo kog mesta, a smanjuju troškove laboratorijske opreme i održavanja.

Virtuelne laboratorije se obično sastoje od sistema koga podešava i kontroliše server. Uz određeno vremensko kašnjenje, video signal eksperimenta se prenosi korisnicima putem interneta. Korisnicima je pružena mogućnost da definišu parametre upravljanja.

U principu, postoje dva tipa virtuelnih laboratorija. Kod prvog, korisnik samo zadaje parametre upravljanja, dok samo upravljanje vrši server. Rezultati se šalju korisniku putem interneta *nakon što je eksperiment završen*. Glavni nedostatak ovakvih sistema je u tome što korisnik nema interakciju sa objektom upravljanja u toku eksperimenta.

Kod druge vrste virtuelnih laboratorija, kontroler se nalazi na računaru klijenta, dok server samo prenosi signal upravljanja i odziv sistema. Problemi koji se javljaju kod ovakvih sistema odnose se na kašnjenje signala u internet saobraćaju i na opasnost od gubljenja paketa podataka.

U suštini, u literaturi još uvek ne postoji rešenje koje bi putem interneta u potpunosti zadovoljilo sve potrebe

laboratorijske obuke u oblasti automatskog upravljanja. Neka rešenja su orijentisana na istraživanje, dok druga mogu da se koriste samo u brzim lokalnim mrežama.

Ipak, i do sada primenjena rešenja predstavljaju značajan korak napred u laboratorijskoj obuci studenata na smerovima za automatsko upravljanje.

3. SISTEM SPREGNUTIH REZERVOARA

U ovom radu opisan je simulacioni alat namenjen za vežbu studenata u okviru predmeta Digitalni sistemi upravljanja, koji se izučava u okviru smera za automatsko upravljanje na elektrotehničkim i mašinskim fakultetima.

Sistem [4] se sastoji od bazena, pumpe, i dva rezervoara smeštena jedan iznad drugog. Pomoću pumpe, voda se iz bazena ubacuje u gornji rezervoar (1), iz kojeg voda ističe u donji rezervoar (2) preko ventila 1 kojim se upravlja. Iz donjeg rezervoara voda ističe preko ventila 2 u bazen, čime se ostvaruje kružni proces.

Zapremine rezervoara, kao i protok kroz pumpu menjaju se svaki put kada se program startuje.

Zadatak programa je održavanje nivoa vode u rezervoarima na zadatim visinama.

Sistem je opisan sledećim nelinearnim sistemom jednačina:

$$L_{k+1} = L_k + \begin{bmatrix} -\frac{g_1 \alpha_1}{A_1} & 0 \\ \frac{g_1 \alpha_1}{A_1} & -\frac{g_2 \alpha_2}{A_2} \end{bmatrix} \sqrt{L_k} + \begin{bmatrix} T_n \frac{K_m}{A_1} \\ 0 \end{bmatrix} V_P$$

$$L_k = \begin{cases} l_{1k} \\ l_{2k} \end{cases}, \begin{cases} l_1, t = k \cdot T_n \\ l_2, t = k \cdot T_n \end{cases}$$

Pri čemu je:

$$g_1 = T_n a_1 \sqrt{2g}, \quad g_2 = T_n a_2 \sqrt{2g}$$

l_1, l_2 su visine u rezervoarima 1 i 2,
 α_1, α_2 su otvorenosti ventila 1 i 2 (0-100%),
 a_1, a_2 su površine prečnih preseka ventila 1 i 2,
 A_1, A_2 su površine prečnih preseka rezervoara 1 i 2,
 K_m je konstanta pumpe,
 V_P je napon na pumpi,
 T_n je nominalno vreme i iznosi $1ms$, a
 $g = 981 \left[\frac{cm}{s^2} \right]$ je konstanta zemljinog ubrzanja,

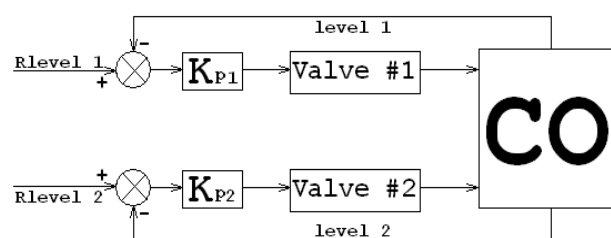
Podešavanje nivoa vode u rezervoarima može se vršiti automatski ili ručno.

Standardne vrednosti konstanti pojačanja su 10, ali se mogu menjati u bilo koje druge vrednosti, za svaki ventil nezavisno.

Vreme odabiranja (kada se vrši uzimanje vrednosti nivoa vode u rezervoarima sa davača), može se proizvoljno izabrati kao celobrojni umnožak osnovne periode odabiranja od jedne stotinke (0.01s).

Ukoliko se dogodi da otvorenost ventila bude manja od nule, onda se otvorenost ventila podešava na nulu, a ako se dogodi da vrednost predje jedinicu (100%), onda se postavlja na 1 (100%).

Upravljačka blok šema ovakvog sistema data je na slici 1.



Slika 1. Upravljačka blok šema sistema spregnutih rezervoara

4. OPIS KORISNIČKOG INTERFEJSA

Korisnički interfes programa koji simulira rad sistema spregnutih rezervoara podeljen je na četiri dela.

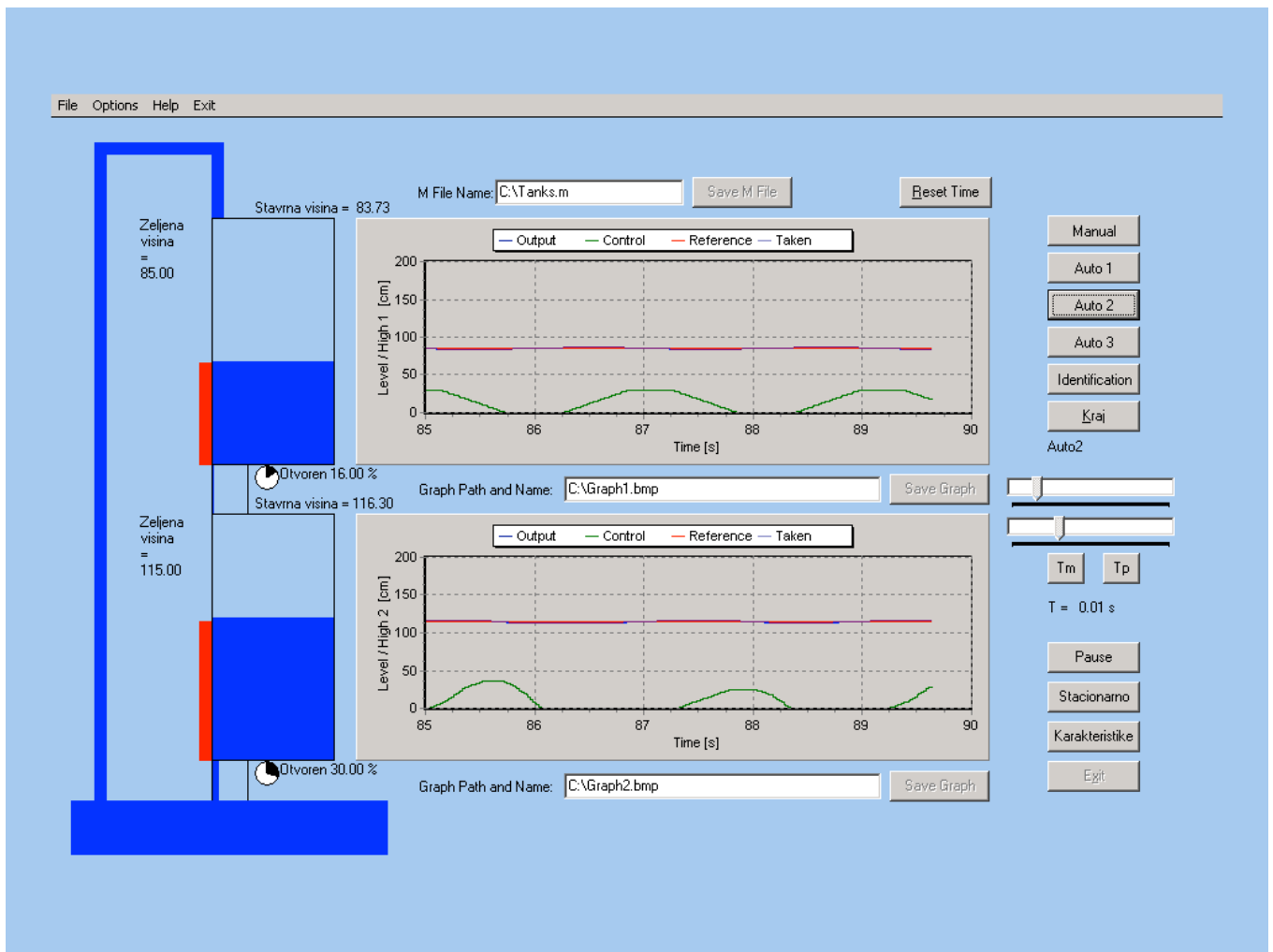
Sa leve strane, dat je grafički prikaz ovakvog sistema. Na njemu su, na dva načina, broјčano i grafički, prikazani željeni i stvarni nivoi u rezervoarima, kao i otvorenost ventila.

Centralni deo interfejsa rezervisan je za grafički prikaz procesa. Sa ovih grafika mogu da se očitaju vrednosti stvarnog, željenog i izmerenog nivoa u oba rezervoara, kao i promena otvorenosti oba ventila.

Sa desne strane nalazi se alat za upravljanje procesom. Pružena je mogućnost ručnog i tri automatskog načina upravljanja.

Taster Manual otvara mogućnost ručnog upravljanja. Upravljanje se vrši preko klizača i to tako sto sa gornjim klizačem se upravlja ventil na gornjem rezervoaru, a donjim klizačem se upravlja ventilom na donjem rezervoaru. Vrednost jediničnog pomeranja klizača je 0,25%, sa softverskom korekcijom na približnu vrednost rezolucije ventila.

Taster Auto 1 omogućava prvi način automatskog upravljanja. Ovo upravljanje se zasniva na tome što, ukoliko je nivo u rezervoaru manji od željenog, ventil se zatvara za rezoluciju ventila, a ako je nivo vode veći od željenog onda se otvara za jednu rezoluciju ventila, i to samo u slučaju ako nivo vode raste u rezervoaru. Ukoliko se desi da se nivo vode ustali iznad željenog, ventil se otvara za veličinu još jednog rezolucionog podeoka.



Slika 2. Korisnički interfejs simulacionog programa

Taster Auto 2 omogućava klasično proporcionalno upravljanje, prema jednačini

$$U_i = K_{pi} (L_{zi} - L_i)$$

Gde je:

- U_i – signal upravljanja za i -ti ventil,
- K_{pi} – konstanta proporcionalnog pojačanja
- L_{zi} – željeni, a
- L_i – stvarni nivo u i -tom rezervoaru.

Taster Auto 3 omogućava kombinovano automatsko upravljanje, pri čemu je primarno upravljanje opisano jednačinom

$$U_{i+1} = U_i \sqrt{\frac{L_i}{L_{zi}}},$$

dok je sekundarno upravljanje je isto kao kod prvog slučaja automatskog upravljanja, kada je nivo vode veći od željenog.

Taster Identification omogućava „identifikaciju” i to tako što određuje vrednosti otvorenosti ventila za vrednosti ustaljenog nivoa vode koje su najpribližnije željenom nivou.

Taster Kraj služi za prekid rada simulacije i daje mogućnost snimanja grafika i datoteke sa podacima.

Ispod klizača nalaze se tasteri koji omogućavaju povećanje (Up) i smanjenje (Tm) periode odabiranja što se takođe može dobiti i desnim klikom miša na samu periodu odabiranja.

U donjem delu se nalaze tasteri za pauzu (Pause), stacionarno stanje (Stacionarno) koje dovodi nivoe vode u stacionarna stanja za trenutne vrednosti otvorenosti ventila, taster za statičke karakteristike ventila (Karakteristike) kao i za izlaz iz simulacije (Exit).

Program ima i padajući meni u kojem je, pored standardnih opcija, moguće izabrati i rezoluciju merenja, rezoluciju ventila kao i vrednosti konstanti pojačanja za proporcionalno upravljanje.

5. ZAKLJUČCI I SMERNICE ZA DALJI RAD

Softver prikazan u ovom radu odlično je prihvaćen među studentima na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.

Ovakav program se pokazao kao odličan alat kako u toku obuke studenta, tako i u procesu njihovog ocenjivanja i ispitivanja.

Koristeći ovaj program studenti su u mogućnosti da vide prednosti različitih načina automatskog upravljanja u odnosu na ručno podešavanje nivoa otvorenosti ventila, kao i da

samostalno zaključuje kakav uticaj na automatsko upravljanje ima promena rezolucije merenja, rezolucije ventila, ili konstante proporcionalnog pojačanja.

Naravno, ovde prikazan softver otvoren je za dalje dorade. Prvi korak bi svakako predstavljala mogućnost uvođenja poremećaja u sistem. Potrebno je takođe omogućiti korisnicima da samostalno unose zakone upravljanja u automatskom režimu.

Kao krajnje poboljšanje ovog simulacionog programa predstavljalo bi uvođenje klijent server sistema, bilo u lokalnoj mreži ili na internetu, čime bi se ovakav softver pretvorio u minijaturnu virtuelnu laboratoriju.

6. NAPOMENA

Ovaj rad nastao je kao rezultat istraživanja na projektu 1616, *Realni problemi mehanike*, koje podržava Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] M. Johansson, M. Gafvert and K. J. Astrom, Interactive Tools for Education in Automatic Control, *IEEE Control Systems, Vol. 18*, No. 3, pp.33-40, June 1998.
- [2] Claudiu Lafter and Octavian Pastravanu, Matlab Stateflow in Teaching Discrete-Event Control, *IFAC/IEEE Symposium on Advances in Control Education*, See World Nara Resort, Gold Coast, Australia, December 2000.
- [3] W. Sheng, L. Coo-Min and L. Khaing-Wee, An Integrated Internet Based Control Laboratory, *IFAC/IEEE Symposium on Advances in Control Education*, See World Nara Resort, Gold Coast, Australia, December 2000.
- [4] M. L. Corradini, T. Leo, S. Longhi and G. Orlando, Control Education Over the Internet: Performing Experiments in a Remote Laboratory, *IFAC/IEEE Symposium on Advances in Control Education*, See World Nara Resort, Gold Coast, Australia, December 2000.
- [5] Quanser Consulting Inc, Coupled Water Tank Experiments.