

Sustav za simulaciju u realnom vremenu tehničkih automatiziranih procesa

Milivoj Puzak, Albert Benčić, Goran Malčić

Elektrotehnički odjel

Tehničko veleučilište u Zagrebu

Konavoska 2, Zagreb, Hrvatska

Telefon: 01/3688 175 E-mail: milivoj.puzak@tvz.hr

Montelektro d.o.o.

Marka Marulića 5, Sv. Nedjelja, Hrvatska

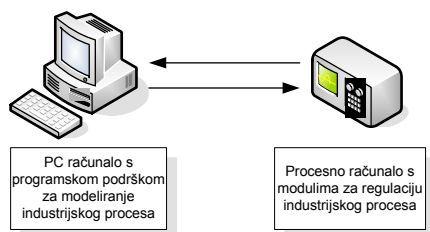
Telefon: 091/530-6872 E-mail: a.bencic@montelektro.hr

Sažetak: Sustav za simulaciju u realnom vremenu tehničkih automatiziranih procesa omogućuje povezivanje upravljačkog uređaja (PLC) i simuliranog matematičkog modela objekta realiziranog u PC računalu. Temeljna ideja izrade ovakvog sustava je testiranje upravljačkog programskog koda namijenjenog regulaciji nekog objekta u laboratorijskim uvjetima. Sustav se sastoji od upravljačkog uređaja (PLC), PC računala sa mjerno-akvizicijskom karticom i programskom podrškom za modeliranje (MATLAB). Podaci iz sustava koji se razmjenjuju između upravljačkog uređaja i računala mogu biti analogni ili digitalni. Osim za testiranje sustav je namijenjen za obrazovanje studenata stručnog studija elektrotehnike i korisnika automatiziranih postrojenja kako bi se pokazale razlike između kontinuiranih i digitalnih programski izvedenih regulatora.

I. UVOD

Prilikom projektiranja i izrade tehničkih automatiziranih procesa bitno je otkloniti greške na upravljačkom programu u što je moguće ranijoj fazi zasnivanja sustava automatizacije. Tijekom obrazovanja studenata automatizacije, a posebno na stručnim studijima s ograničenim teorijskim temeljima, od posebne je važnosti omogućiti spoznavanje mogućnosti i ograničenja suvremene opreme na zornim primjerima kroz vježbe.

U tu svrhu koriste se razni simulatori koji služe za simuliranje stanja ulaza i izlaza procesnog računala koje upravlja postrojenjem [1]. Međutim analizu sustava regulacije nije moguće izvesti primjenom jednostavnih simulatora stanja, već treba modelirati tehnički proces koji se regulira. Sklopovska izrada modela najčešće nije moguća ili je skupa te se stoga proces modelira programski (Slika 1.).



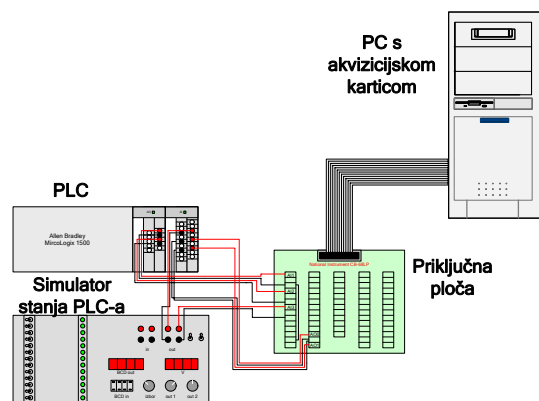
Slika 1. Ideja sustava za analizu regulacije procesa

Temeljna pretpostavka za takav pristup je poznavanje fizikalnih pojava tehničkog procesa koje se modeliraju u programskim paketima za simuliranje. Veza između modela tehničkog procesa i procesnog računala ostvaruje se pomoću akvizicijskih kartica. Posebnost ovakvog pristupa je nužnost rada oba dijela sustava u realnom vremenu.

S opremom koja već postoji na Tehničkom Veleučilištu u Zagrebu – Elektrotehničkom odjelu izgrađen je takav sustav za simulaciju u realnom vremenu tehničkih automatiziranih procesa i se koristi u nastavne svrhe. Izgrađenim sustavom je dodatno proširen opseg korištenja opreme.

II. ZASNIVANJE SUSTAVA

Izgrađeni laboratorijski sustav za simulaciju u realnom vremenu (Slika 2.) koristi procesno računalo PLC Allen Bradley MicroLogix 1500 s 12 digitalnih ulaza i 12 digitalnih izlaza, te analognim ulaznim modulom 1769-IF4 s 4 ulazna kanala i analognim izlaznim modulom 1769-OF2 s 2 izlazna kanala rezolucije 14 bita. Ovaj PLC ima mogućnost korištenja, uz ostale funkcije, i do 255 PID regulatora. Programiranje PLC-a vrši se pomoću programskog paketa RSLogix 500. Opremljen je pridruženim simulatorom digitalnih i analognih signala izgrađenim na TVZ-u.



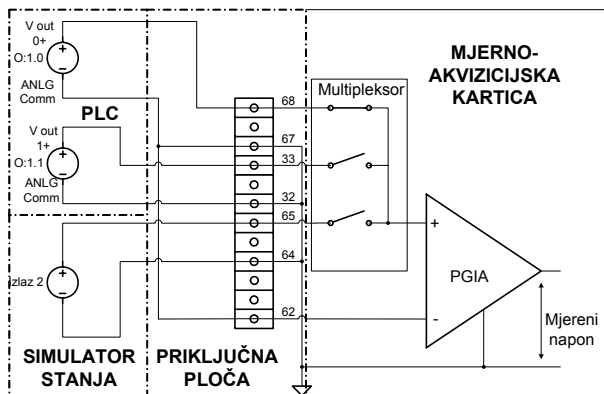
Slika 2. Principna shema izgrađenog sustava

Korištena mjerno-akvizicijska kartica je National Instrument NI PCI-6014 s 16 analognih ulaza s frekvencijom uzorkovanja od 200 000 uzoraka u sekundi za sve kanale. Korištenjem više kanala frekvencija uzorkovanja se smanjuje (dijeli). Dva analogna izlaza rezolucije 16 bita brzine pretvorbe 10 000 uzorka u sekundi za svaki kanal. Parametriranje i dijagnostika mjerno-akvizicijske kartice vrši se u programskom paketu NI-MAX. Priključna ploča NI CB-68LB s jedne strane ima spojna mjesta preko kojih se ostvaruje veza s PLC-om i simulatorom stanja, a s druge strane je preko 68-žičnog plosnatog kabela spojena s mjerno-akvizicijskom karticom.

Simulacijski programski paket Matlab s modulom za simulaciju u realnom vremenu "glumi" sustav (regulacijsku stazu) koju PLC upravlja i regulira.

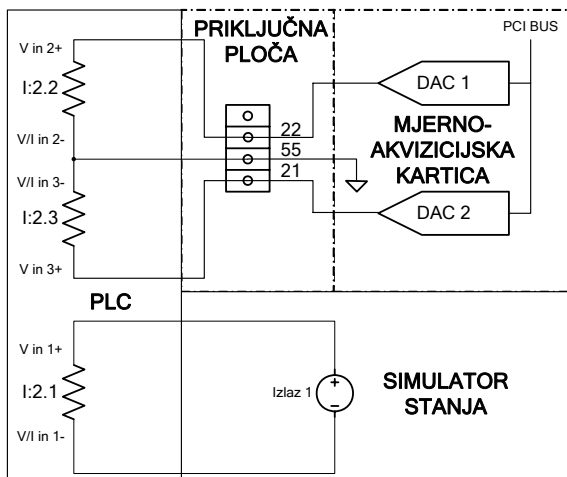
U PLC-u se koriste 3 analogna ulaza i 2 analogna izlaza. Na mjerno-akvizicijskoj kartici koriste se 3 analogna ulaza i 2 analogna izlaza. Na simulatoru stanja koriste se 2 analogna izlaza.

Na tri analogna ulazna kanala mjerno-akvizicijske kartice spajaju se dva analogna izlaza iz PLC-a i jedan analogni izlaz iz simulatora stanja PLC-a – Slika 3.



Slika 3.. Shema veza signala analognih veličina na analogne ulazne mjerno-akvizicijske kartice

Na tri analogna ulaza PLC-a spajaju se dva analogna izlazna kanala mjerno-akvizicijske kartice i jedan analogni izlaz iz simulatora stanja PLC-a – Slika 4.



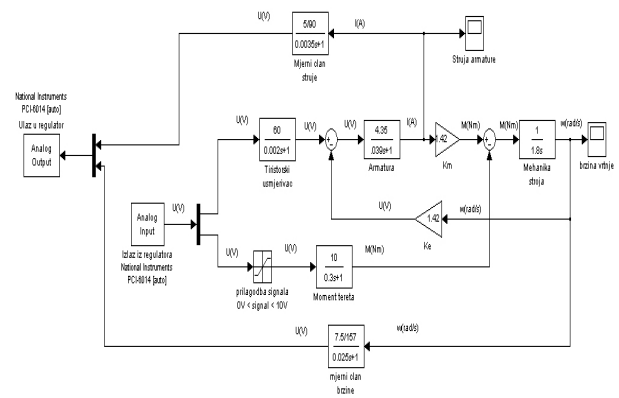
Slika 4. Shema povratnih veza na analogne ulazne kanale PLC-a

III. IZBOR I PRIKAZ PRIMJERA

Funkcionalnost simulacijskog sustava provjerena je na modelu toplinskog tehničkog procesa na kakvim je u praksi višestruko provjerena primjena procesnih regulatora iz programske podrške PLC-a. Priroda procesa s velikim vremenskim konstantama omogućava zanemarenje vremenske diskretizacije signala upravljanja i signala povratnih veza te se sustav ponaša kao kontinuiran.

Kao zahtjevniji primjer postavljan je zadatak da se regulacijska jedinica struje i brzine vrtnje istosmjernog motora napajanog iz tiristorskog usmjerivača zamijeni regulatorima u PLC-u. Radilo se je o pogonu čekićastog mlina slada u pivovari.

Na ovom primjeru regulacije struje armature i brzine vrtnje zorno su vidljive mogućnosti sustava. Vremenske konstante koje se nalaze u krugu regulacije struje armature istosmjernog motora su vrlo male (reda veličine desetaka ms). Prema pogonskim zahtjevima motor kreće bez tereta. Nakon što se brzina vrtnje stabilizira na mlin se dovodi slad što se manifestira kao moment tereta na osovini rotora. Simulacijska shema istosmjernog motornog pogona čekićastog mlina slada u Matlab – simulinku prikazana je na slici 5. Korišten je poznati linearni model istosmjernog motora [8], a tiristorski usmjerivač modeliran je kao pojačalo s malom vremenskom konstantom. Upravljački napon tiristorskog mosta dobiven je u regulatoru struje u PLC-u. Osim regulatora struje u PLC-u je realiziran i regulator brzine vrtnje u klasičnoj kaskadnoj strukturi s pripadnim limiterima. Model motora u programu Matlab može se zbog brzine obrade smatrati kvazi kontinuiranim jer primijenjena integracijska metoda daje rezultate simulacije višestruko brže od mogućnosti uzorkovanja signala struje i brzine vrtnje u A/D jedinicama PLC a.

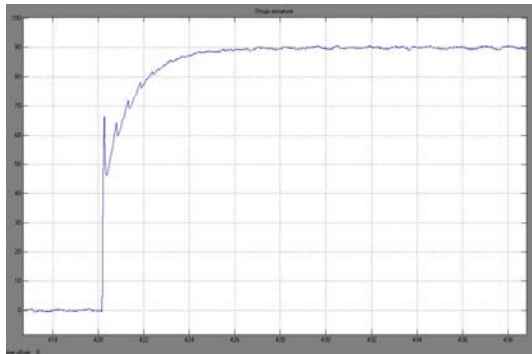


Slika 5. Simulacijska shema istosmjernog motornog pogona

Pogonski zahtjevi na regulacijsko ponašanje nisu oštri u slijeđenju upravljačke veličine brzine već su kritičniji na odziv brzine pri opterećenju i traži se brzo i s malim propadom kompenziranje djelovanja momenta tereta.

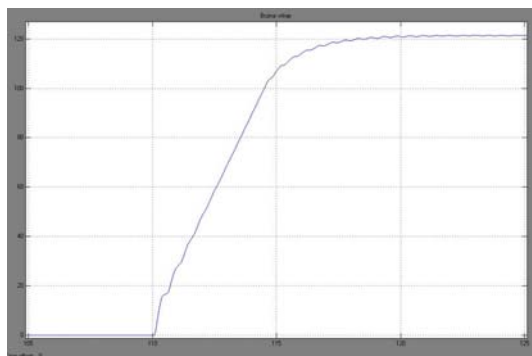
Na Sliku 6. je prikaz postignutog ponašanja kruga regulacije struje armature pri korištenju PI regulatora u PLC-u. Vidljivo je sporo postizanje konačne vrijednosti struje što ukazuje na dugačko vrijeme integracijskog člana regulatora. Integracijsko vrijeme I člana je 0.6 s i manje nije moguće postaviti u bloku PID regulator u korištenom PLC-u. Isto tako vidljive su impulsne pojave na struji kao posljedica uzorkovanja A/D konvertera svakih 28 ms.

Poznato je da u kaskadnom sustavu podređeni krug ne mora biti optimiran da bi se postigla funkcija regulacije u vanjskoj petlji provedeni su pokusi podešavanja regulatora brzine i provjera svojstava.



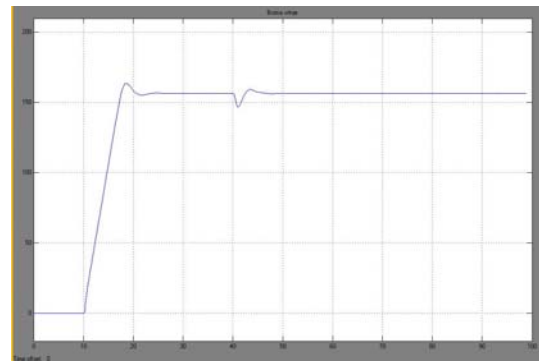
Slika 6. Odziv struje armature s regulatorom PI tipa na skokovitu promjenu željene vrijednosti

S tako podešenim krugom regulacije struje na slici 7. je prikazan odziv brzine vrtnje sa regulatorom brzine vrtnje P tipa na nominalnu vrijednost (157 rad/s). Pojačanje regulatora iznosi 6. Regulacijsko odstupanje iznosi 35 rad/s.

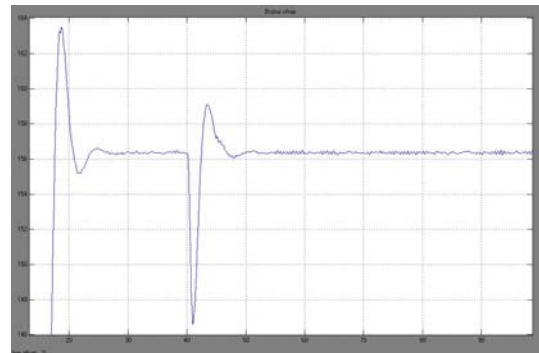


Slika 7. Odziv brzine vrtnje s regulatorom P tipa na skokovitu promjenu željene

Na slikama 8. i 9. prikazani su dijagrami pojava tijekom zaleta motora na nazivnu brzinu vrtnje (157 rad/s) bez prisustva tereta te opterećenja s 100Nm (77% nazivnog) na nazivnoj brzini vrtnje. Motor se zalijeće po rampi na nazivnu brzinu vrtnje te nakon 16 sek završava prijelazna pojava. Nadvišenje iznosi 4,15% (6,5 1/s). Prilikom pojave tereta propad brzine vrtnje iznosi 6,05 % (9,5 1/s) a vrijeme smirenja brzine vrtnje iznosi 8 sek.



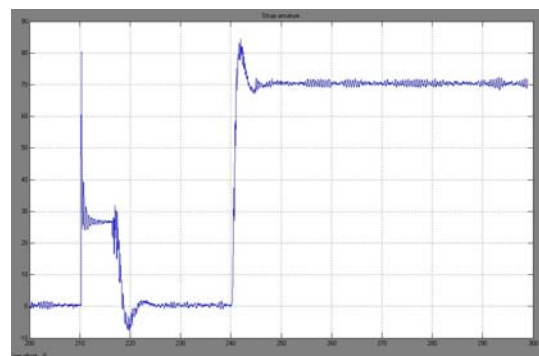
Slika 8. Snimljeni dijagram brzine vrtnje s regulatorom brzine i struje PI tipa



Slika 9. Uvećane pojave brzine vrtnje s regulatorom brzine i struje PI tipa

Struja armature, slika 10, tijekom zaleta ima vršnu vrijednost od 80 A iako je struja potrebna za ubrzanje oko 28 A. Ovo impulsno opterećenje armature posljedica je sporog djelovanja regulatora struje a posebice zbog kašnjenja signala povratne veze struje armature kroz vremensku diskretizaciju. Također su vidljive pojave osciliranja struje za koje osim navedenih razloga vremenskog uzorkovanja nema fizikalnog uzroka.

Pri pojavi tereta vršna vrijednost struje iznosi 83 A. U ustaljenom stanju sa momentom tereta od 100 Nm struja armature iznosi oko 70A što je približno 77% nazivne struje.



Slika 10. Snimljeni dijagram struje armature

Iz izloženog se daje zaključiti da je regulator u PLC-u iskoristiv za regulaciju brzine vrtnje elektromotornog pogona, dok za regulacije struje armature regulator nije primjeren. Glavni uzrok tomu je ograničenje PLC-a: uzorkovanje signala struje svakih 28 ms a upravljački signal (izlaz iz PI regulatora) osvježava se svakih 10 ms. Podešenja konstanti PI također na odgovaraju potrebama regulacije brzih procesa kakav je krug regulacije struje. Minimalno vrijeme integracije PI regulatora od 0,6 s desetak je puta predugačko. U ovom primjeru PI regulator struje trebao bi signal povratne veze očitavati najmanje svakih 3 ms a vremenska konstanta PI regulatora oko 30 ms. Bez obzira na rezultat kojim je pokazano da zadatak zamjene oba regulatora regulacijske jedinice istosmjernog pogona nije ostvarivo, sustav za simulaciju u realnom vremenu potvrdio je svoju funkcionalnost .

IV. ZAKLJUČAK

Izgrađeni sustav za simulaciju zorno pokazuje teorijski očekivane mogućnosti. Simulacijski programski paket Matlab dovoljno je jednostavan, brz i pruža potrebne mogućnosti za modeliranje procesa za rad u realnom vremenu na korištenom računalu (Pentium 4 1,6 GHz sa 384 MB RAM memorije).

Mjerno-akvizicijska kartica NI PCI-6014 je pogodna za simulaciju jednostavnijih procesa, i ograničenje je mali broj analognih izlaza (2). Korištenje većeg broja analognih ulaznih kanal akvizicijske kartice neće predstavljati ograničavajući faktor jer i za 8 kanala može se postići 25 000 uzoraka/s.

Izražena su ograničenja procesnog računala PLC-a. Očitavanje ulaznih analognih kanala je vremenski pomaknuto, te zbog cikličkog očitavanja, procesne veličine nisu vremenski sinkronizirane. Uzorkovanje signala je 4 ms pri korištenju jednog signala a 28 ms za dvije regulirane veličine. Osvježavanje analognog upravljačkog signala izlaza iz PID regulatora nije moguće frekvencijom većom od 100 puta u sekundi, a minimalna vremenska konstanta integracije iznosi 0,6 sekundi. Mali broj analognih ulaznih kanala na korištenom analognom modulu ograničava sustav na procese s malim brojem analognih signala.

Sustav za simulaciju u realnom vremenu tehničkih automatiziranih procesa omogućava studentima da bez opasnosti za proces i okolinu provjere napisani upravljački program u procesnom računalu predviđen za upravljanje procesom. Velika mu je prednost što se ponašanje procesa može ispitati na ekstremnim vrijednostima ulaznih veličina i na pojavama kvarova pojedinih komponenti procesa koje studentima mogu dati uvid u pojave koje se mogu desiti prilikom takvih stanja procesa. Izgrađeni sustav se koristi na „Tehničkom Veleučilištu u Zagrebu – Elektrotehnički odjel“ na smjeru Automatizacija i procesno računarstvo.

LITERATURA

- [1] A. Benčić: „Sustav za rad u realnom vremenu tehničkih automatiziranih procesa“, Diplomski rad TVZ-ELO, 2004
- [2] National Instrument: "NI 6013/6014 User manual", Part Number 370636A-01, October 2002.
- [3] G. Malčić: "Programabilni logički kontroleri", Tehničko veleučilište u Zagrebu, Elektrotehnički odjel, Zagreb 2002.
- [4] G. Malčić, M. Fruk, D. Josić: „Simulator PLC-a“, MIPRO 2006.
- [5] Allen Bradley, "MicroLogix 1200 and Micrologix 1500 Instruction Set Reference Manual", Publication 1762-RM001E-EN-P, October 2003
- [6] Allen Bradley, "MicroLogix 1500 Programmable Controllers User Manual", Publication 1764-UM001B-EN-P, April 2002.
- [7] N. Perić, I. Petrović: "Automatizacija postrojenja i procesa", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za automatiku i procesno računarstvo, Zagreb, 2004.
- [8] N. Perić: "Automatsko upravljanje", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za automatiku i procesno računarstvo, Zagreb, 2004.
- [9] M. Puzak, G. Malčić: "Sustavi Automatizacije – Laboratorijske vježbe ", Tehničko veleučilište u Zagrebu, Elektrotehnički odjel, Zagreb, 2004.
- [10] www.ni.com
- [11] www.ab.com
- [12] www.mathworks.com