

UNIVERZITET U BEOGRADU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

PRIMENA PLC KONTROLERA U REALIZACIJI
AUTOMATSKOG PODEŠAVANJA PI REGULATORA IZ
ODSKOČNOG ODZIVA

Diplomski rad

Mentor:
Prof. Dr. Miroslav Mataušek

Kandidat:
Goran Kvašček
broj indeksa 54/94

Beograd, septembra 2000.

Zahvaljujem se mentoru, prof. Dr. Miroslavu Mataušeku pri odabiru teme i pomoći na izradi diplomskog rada, Mr. Saši Koraću na nesebičnoj pomoći i savetima, kolegama koji su mi dali korisne sugestije, kao i svojoj porodici na razumevanju.

Sadržaj

I	Uvod	1
1	Ziegler – Nichols-ova (ZN) metoda	1
2	Refined Ziegler – Nichols-ova (RZN) metoda	2
3	Metode identifikacije	3
II	Jednostavne formule podešavanja PI regulatora	4
1	Postupak podešavanja PI regulatora	4
III	Opis sistema	7
1	Opis makete sušare	7
2	Kontroler Siemens Simatic S7-214	8
3	Automatsko podešavanje PI regulatora	9
IV	Realizacija regulatora sa automatskim podešavanjem	10
1	Realizacija PI algoritma upravljanja	10
2	Zadavanje reference	11
3	Zadavanje maksimalne brzine promene reference	11
4	Anti-windup	12
5	Bumpless transfer	13
6	Problemi pri realizaciji	14
6.1	Celobrojna aritmetika	14
6.2	Merni šum	15
V	Eksperimentalna verifikacija	16
1	Korišćena oprema	16
2	Eksperiment	17
2.1	Senzor temperature na prvom otvoru	17
2.2	Senzor temperature na drugom otvoru	19
2.3	Senzor temperature na trećem otvoru	21
VI	Zaključak	23
	Literatura	24

I Uvod

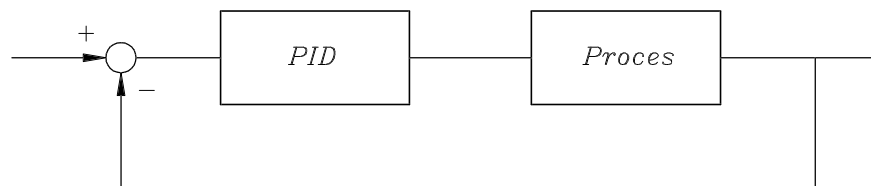
Razvoj automatike doprineo je stvaranju moderne koncepcije upravljanja zasnovane na kontrolerima složenih struktura koje se uspešno bore sa postavljenim zahtevima. Sa druge strane takve strukture zahtevaju precizno poznavanje modela procesa kojim se upravlja, što često nije moguće, što iz razloga minimizacije troškova, tako i vremena puštanja pogona u rad.

Složeni algoritmi upravljanja zahtevaju veliki broj parametara koje je gotovo nemoguće ručno podesiti, već se izračunavaju iz procedura za projektovanje takvih kontrolera. U slučaju promene ponašanja objekta upravljanja potrebno je prepodesiti kontroler, uz poznavanje modela datog objekta. Često za kratke vremenske rokove nije moguće odratiti procedure prepodešavanja nalaženjem novog modela sistema.

Rešenje ovog problema je u projektovanju kontrolera jednostavne strukture sa malim brojem parametara koji se mogu odrediti jednostavnim eksperimentom, na licu mesta, u kratkom vremenskom roku. Razvoj ovakvih procedura za podešavanje datiraju od sredine 40-tih godina, i stalno se usavršavaju.

1 Ziegler – Nichols-ova (ZN) metoda

Godine 1943. Ziegler i Nichols su predložili jednostavan eksperiment i proceduru za podešavanje PI i PID regulatora. Za sistem prikazan na slici 1.1, sa PID regulatorom, ukinu se integralno i diferencijalno dejstvo i povećavanjem proporcionalnog dejstva izazovu se oscilacije sistema. Dato pojačanje za koje sistem počinje da osciluje je kritično pojačanje K_{kr} , perioda oscilovanja je kritična perioda oscilovanja ω_{kr} . Dalje podešavanje PID kontrolera izvodi se uzimanjem tabličnih vrednosti za parametre PID regulatora koje su predložili Ziegler i Nichols.



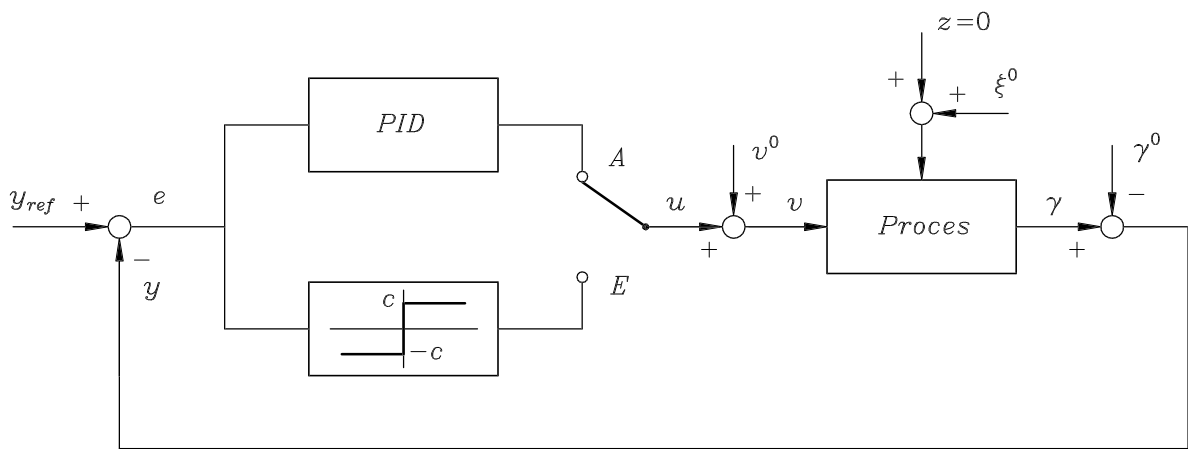
Slika 1.1 Sistem upravljanja sa PID regulatorom

I pored jednostavnosti procedure ova metoda ima više nedostataka. Dobijeni parametri su i dalje samo dobra početna procena i operater mora dalje da izvrši korekciju i fino

podešavanje. Trajanje eksperimenta u sistemima sa velikim vremenskim konstantama je veliko jer je potrebno da sistem postigne više stabilnih oscilacija da bi se mogla odrediti kritična učestanost oscilovanja. Moguće su velike amplitude oscilacija, tako da je često nemoguće izvođenje ovog postupka, čak nije moguće unapred garantovati sigurnost procedure i mogućnost havarije.

2 Refined Ziegler – Nichols-ova (RZN) metoda

Na slici 1.2 prikazan je sistem sa PID regulatorom i opremom za izvođenje kritičnog eksperimenta i *autotuning*-a po RZN postupku. Ovaj postupak [1] daje regularno podešavanje PI i PID regulatora.



Slika 1.2 Sistem upravljanja sa PID regulatorom, realizacija kritičnog eksperimenta po RZN (prebacivanje prekidača iz položaja A u E)

Kritični eksperiment se sastoji u sledećem: proces se dovede u radni režim (v^0, ξ^0, γ^0) , prebaci se u mod autotuning-a (uključi se dvopoložajni rele prebacivanjem prekidača u položaj E) i na ulazu se zadaje impulsni poremećaj $y_{ref} = \delta(t)$. Sistem tada počinje da osciluje i izlaz se može predstaviti kao:

$$y(t) = A_{kr} \sin(\omega_{kr} t) \quad (I.1)$$

i odatle je

$$K_{kr} = \frac{4c}{\pi A_{kr}} \quad (I.2)$$

Posle određivanja ω_{kr} i K_{kr} , dobijaju se parametri po RZN za PI i PID regulatore. Eksperiment i dalje mora trajati nekoliko oscilacija kako bi se odredili potrebni parametri, ali je amplituda oscilacija kontrolisana, tako da se može garantovati sigurnost eksperimenta. Problem se sastoji u tome da se amplituda oscilacija određuje iz jednačine I.2 i data je kao:

$$A_{kr} = \frac{4c}{\pi K_{kr}} \quad (I.3)$$

gde je K_{kr} nepoznato kritično pojačanje. Operator mora da zna koliko c da zada kako bi bezbedno izveo eksperiment (uz prihvatljivu amplitudu oscilacija A_{kr}), a ne zna parametar

K_{kr} kako bi ograničio vrednost A_{kr} (po jednačini I.3). Tako se vraćamo na tezu da sva odgovornost pada na operatera i njegovu procenu vrednosti okidanja relea $c(K_{kr})$, što je težak zadatak jer parametar K_{kr} nema jasnu fizičku interpretaciju za operatera.

3 Metode identifikacije

Kao sledeći korak otvara se mogućnost da se izvrši identifikacija sistema, pronade model sistema i zatim stupi u proceduru podešavanja regulatora. Međutim, ovakve metode bi zahtevale dugotrajni eksperiment (zadavanje pseudo slučajne binarne sekvence) i veliku procesorsku snagu računara koji bi trebao da izvrši identifikaciju. Kako se u uglavnom zahteva jeftina realizacija regulatora koji je najčešće PLC (*Programmable Logic Controller*) i koji poseduje ograničenu procesorsku snagu, često nije moguće izvršiti zahtevane proračune u realnom vremenu.

Kao alternativa ostaju jednostavni eksperimenti iz kojih je moguće odrediti parametre modela sistema, i na osnovu njih prepodesiti regulator. Logično rešenje je odskočni odziv procesa, koji daje dosta informacija o datom sistemu, jednostavan je za realizaciju i ne zahteva dugo vreme eksperimenta. Realizacije ove procedure, teorijska razmatranja i problemi biće izneseni u ovom radu.

II Jednostavne formule podešavanja PI regulatora

Kod sistema sa kašnjenjem koji se mogu aproksimirati modelom prvog reda sa kašnjenjem

$$G_p(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_p e^{-\tau s}}{T_p s + 1} \quad (\text{II.1})$$

Häglunt [2] je predložio da se parametri PI regulatora biraju kao:

$$K_r = \frac{1}{K_p}, \quad T_i = T_p, \quad (\text{II.2})$$

tj. PI regulator postaje

$$G_{PI}(s) = K_r \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) = \frac{1}{K_p} \left(1 + \frac{1}{T_p s} \right) \quad (\text{II.3})$$

Ovakvo rešenje zadovoljava određenu klasu problema, ali postavlja se pitanje zašto parametar K_r ne bi bio parametar koji bi se menjao u skladu sa zahtevanim performansama, a zadržalo $T_i = T_p$ [3]. Ovakav postupak biće realizovan.

1 Postupak podešavanja PI regulatora

Većina industrijskih procesa se sa zadovoljavajućom tačnošću može opisati modelom prvog reda sa kašnjenjem koji je dat jednačinom II.1. Parametri ovog modela mogu se odrediti iz eksperimenta odskočnog odziva saglasno slici 2.1.

Ekperiment se izvodi tako što se proces (slika 2.2) dovede u nominalni režim (prekidač je u položaju M) (v^0, γ^0), a zatim zada odskočni ulaz u trenutku $t = 0$ (prebacivanjem prekidača u položaj S i startovanjem generatora odskočne funkcije) koji je dat kao

$$u(t) = Ah(t) \quad (\text{II.4})$$

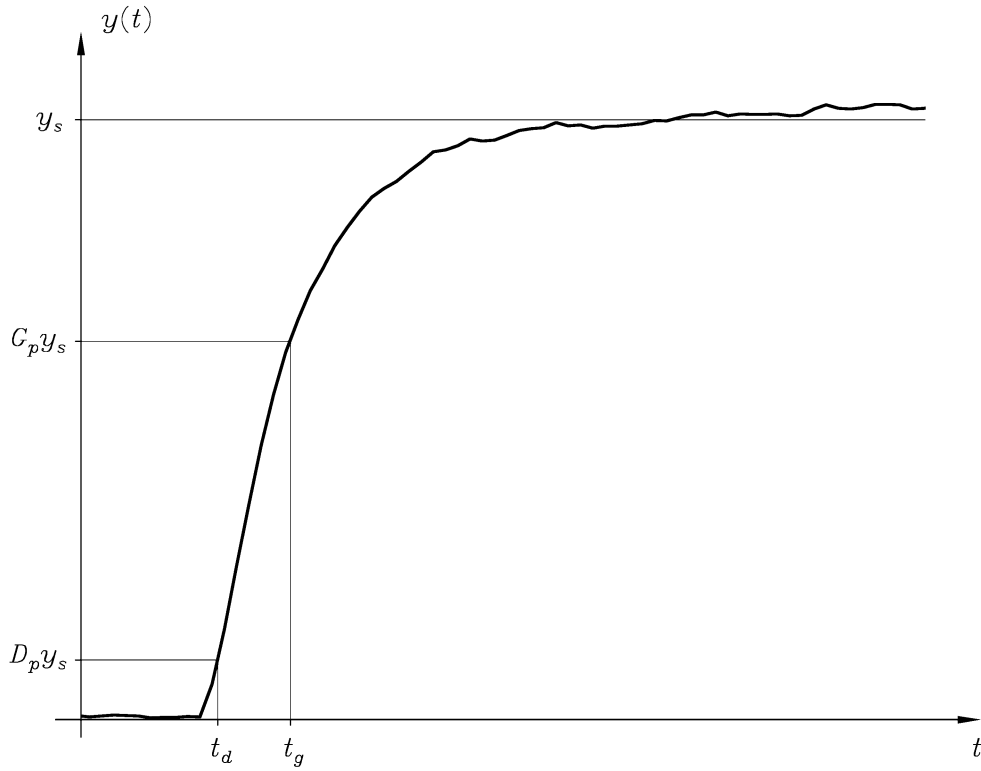
Amplitudu A određuje operater koji je već upoznat sa procesom tako da neće zadati preveliko upravljanje i sistem neće doživeti havariju. Kako je pojačanje procesa u nominalnom režimu najbliži parametar za operatera, izbor koji vrši dobar operater nije visokog rizika.

Sledi da je

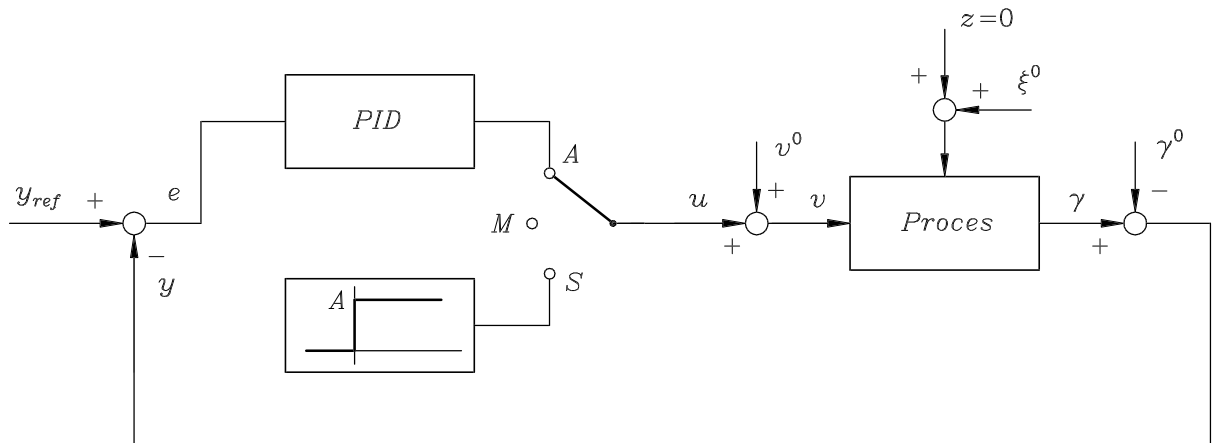
$$K_p = \frac{y_s}{A} \quad (\text{II.5})$$

a za usvojene vrednosti

$$D_p = 0.1, \quad G_p = 0.63 \quad (\text{II.6})$$



Slika 2.1 Određivanje parametara modela II.1 iz odskočnog odziva



Slika 2.2 Industrijski proces sa regulatorom

određuju se vremena t_d i t_g za koje je

$$y(t_g) = G_p y_s, \quad y(t_d) = D_p y_s. \quad (\text{II.7})$$

Vrednosti D_p i G_p su se pokazale kao optimalne za određivanje datih parametara za čitavu klasu problema za koje je i razvijana RZN metoda.

Sada sledi da je

$$\tau = t_d \quad (\text{II.8})$$

$$T_p = t_g - t_d \quad (\text{II.9})$$

Ako se primeni PI regulator

$$G_{PI}(s) = K_r \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (\text{II.10})$$

tada je funkcija povratnog prenosa $W(s)$, ako se usvoji parametar integralnog dejstva PI regulatora $T_i = T_p$

$$W(s) = G_{PI}(s) G_p(s) = K_r \left(1 + \frac{1}{T_p s} \right) \frac{K_p e^{-\tau s}}{T_p s + 1} = \frac{K_r K_p}{T_p s} e^{-\tau s} \quad (\text{II.11})$$

pa je spregnuti prenos G_s dat relacijom

$$G_s(s) = \frac{W(s)}{1 + W(s)} \quad (\text{II.12})$$

Iz karakteristične jednačine

$$1 + W(s) = 0 \quad (\text{II.13})$$

i Nikvistovog kriterijuma sledi

$$|W| = \frac{K_r K_p}{T_p \omega_1} = 1 \quad (\text{II.14})$$

$$\varphi_{pf} = \pi - \frac{\pi}{2} - \omega_1 \tau \quad (\text{II.15})$$

Jedan od zahteva pri projektovanju može da bude pretek faze, što je jedan od pokazatelja robusnosti sistema u zatvorenoj sprezi. Iz II.14 i II.15

$$K_r = \frac{(\pi/2 - \varphi_{pf}) T_p}{K_p \tau} \quad (\text{II.16})$$

Sada možemo dati parametre PI regulatora kao:

$$K_r = \frac{(\pi/2 - \varphi_{pf}) T_p}{K_p \tau}, \quad T_i = T_p \quad (\text{II.17})$$

Ako se pretek faze odabere kao $\varphi_{pf} = 61.3065^\circ$, tada prethodna relacija dobija zgodnu formu, a pretek faze je dovoljan da obezbedi stabilnost sistema čak i u slučaju promene parametara sistema. Sada II.17 postaje

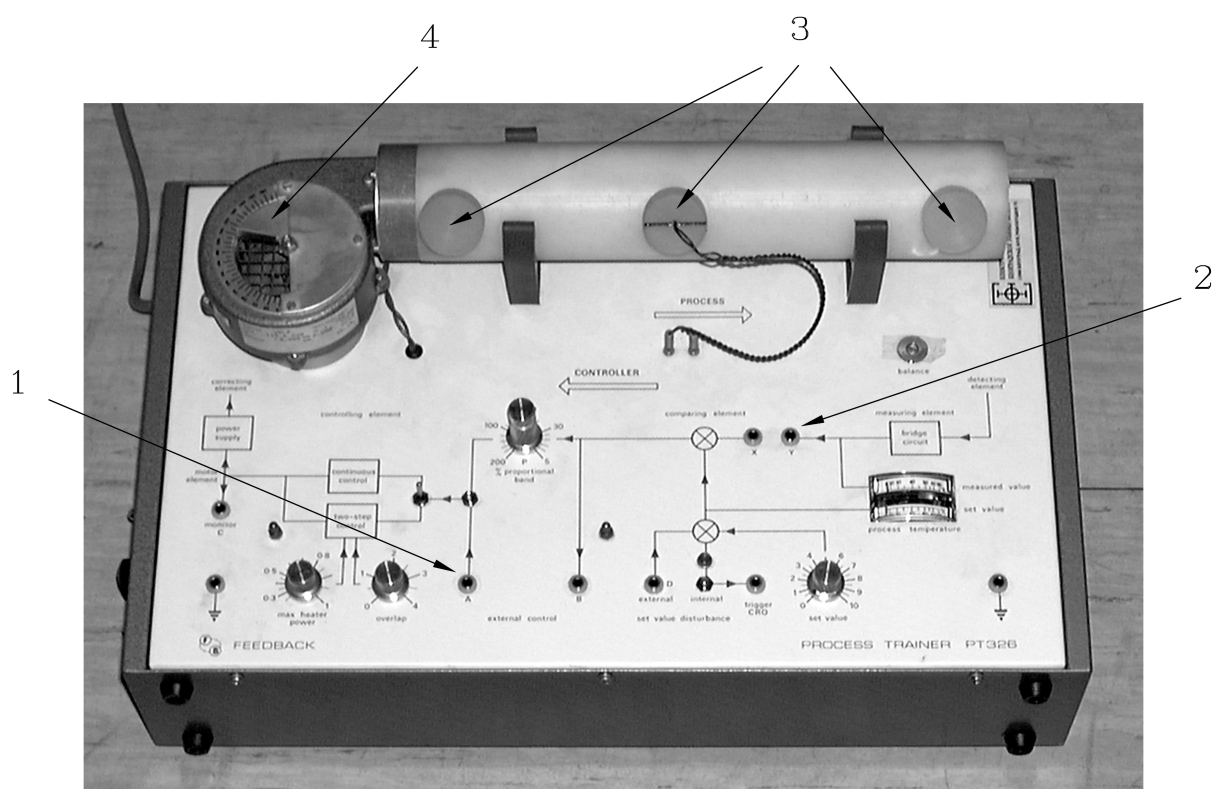
$$K_r = \frac{T_p}{2K_p \tau}, \quad T_i = T_p \quad (\text{II.18})$$

III Opis sistema

Kako bi dokazali dobre performanse PI regulatora podešenog prema relaciji II.17, realizovan je PI regulator na Siemens Simatic 7-214 PLC [4] kontroleru i izvršeni su eksperimenti na maketi sušare Feedback PT-326.

1 Opis makete sušare

Maketa britanskog proizvođača Feedback, PT-326 prikazana je na slici 3.1.

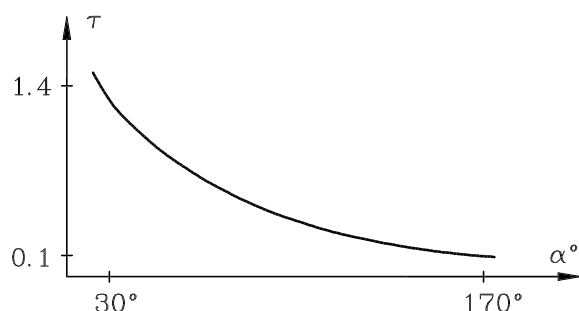


Slika 3.1 Maketa sušare Feedback PT-326, 1-ulazna promenjiva v , 2-izlaz procesa γ , 3-mesta za postavljanje senzora temperature (na srednjem otvoru se nalazi senzor), 4-klapna za regulaciju protoka vazduha

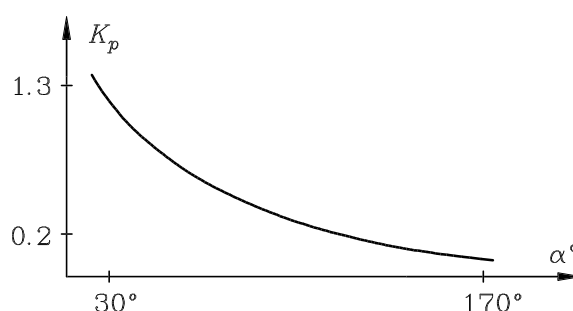
Maketa sušare verno predstavlja klasu industrijskih procesa sušenja materije gde je potrebno izvršiti regulaciju temperature vazduha, a samim tim i ispoštovati potrebnu tehnologiju.

Aktuator čini grejač koji ima naponski ulaz u opsegu $0 \div 10 \text{ V}$. Motor pogoni ventilator koji proizvodi strujanje vazduha kroz sušaru, dok se protok vazduha задаje otvaranjem ili zatvaranjem klapne u opsegu $10 \div 170^\circ$. Senzor temperature može se postaviti na više otvora koji su za to predviđeni, a izlaz je takođe naponski u opsegu $0 \div 10 \text{ V}$.

Otvaranjem klapne povećava se protok vazduha, a samim tim smanjuje transportno kašnjenje τ i pojačanje K_p . Ove zavisnosti prikazane su na slikama 3.2 i 3.3. Za velike uglove otvora klapne (preko 90°) nije moguće održavati temperaturu u višim opsezima, jer snaga grejača nije dovoljna da zadovolji takve zahteve, pa je logično da se u tim režimima ne može ni vršiti regulacija.



Slika 3.2 Zavisnost transportnog kašnjenja τ od ugla klapne α



Slika 3.3 Zavisnost pojačanja K_p od ugla klapne α

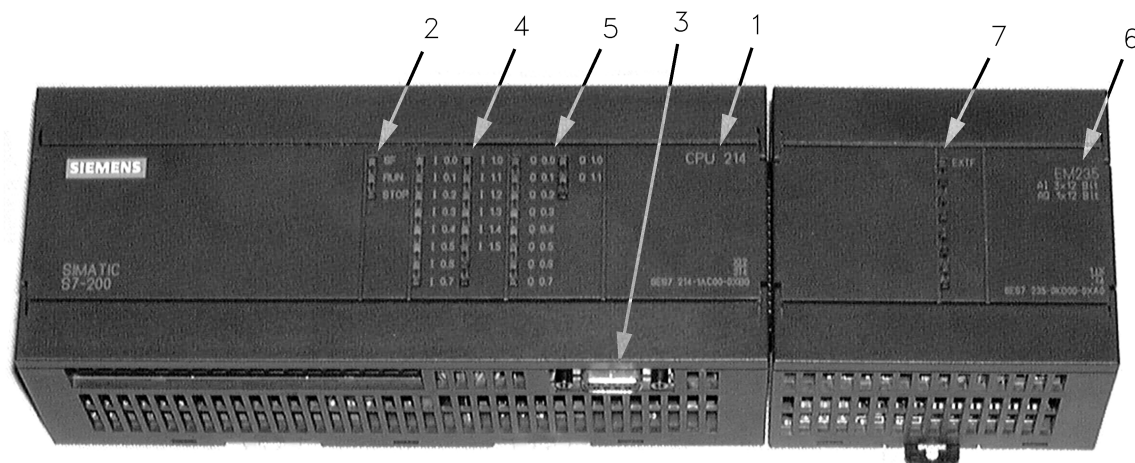
Postavljanjem senzora temperature na različita mesta cevi sušare moguće je obezbediti promenu transportnog kašnjenja i time testirati rad regulatora i na sistemima sa velikim kašnjenjem. Moguća je ugradnja i produžene cevi koja ima mesta za postavljanje senzora kako bi imali proces sa većim transportnim kašnjenjem, ali i proces gde dolaze do izražaja i efekti turbulencije vazduha zbog povećanog puta koji vazduh prelazi i nepravilnosti zida sušare koji dolaze do izražaja kod produžene cevi.

Maketa sušare poseduje još jednu karakteristiku koja utiče na izlazni signal. Zbog lošeg napajanja senzorske sekcije, na izlazu postoji šum koji ne potiče od procesa. Takav šum je potrebno filtrirati i za to je korišten RC filter drugor reda koji ima polove na učestanostima $f_1 = 10 \text{ Hz}$ i $f_2 = 20 \text{ Hz}$, tako da posle filtriranja izlazni signal nema komponentu koja potiče od lošeg napajanja.

2 Kontroler Siemens Simatic S7-214

U realizaciji je korišten PLC kontroler niže kategorije, proizvođača Siemens. Ovaj kontroler odlikuju odlične performanse za realizaciju manjih kontrolnih petlji. Na slici 3.4 je prikazan model S7-214 koji je povezan sa modulom EM-235 koji ima tri analogna ulaza i jedan analogni izlaz. Analogni ulazi i izlazi mogu biti strujni i naponski, rezolucije 12 bita.

Iako model S7-214 po specifikaciji ima *float-point* jedinicu, primerak koji je bio na raspolaganju je imao degradirane performanse, pa je bilo moguće raditi samo sa celim brojevima, ali su te poteškoće prevaziđene programskim rešenjima.



Slika 3.4 PLC kontroler SIMATIC S7-214, proizvođač Siemens, 1-oznaka tipa kontrolera S7-217, 2-status kontrolera, 3-port za umrežavanje ili povezivanje sa PC računarom, 4-status digitalnog ulaznog porta, 5-status digitalnog izlaznog porta, 6-analogni modul EM-235, 7-status analognog modula

3 Automatsko podešavanje PI regulatora

Kao što je u rečeno, sušara može raditi u više režima zavisno od željene temperature i protoka vazduha. U svakom od ovih režima parametri procesa su različiti, pa samim tim potrebno je stalno prepodešavanje regulatora. Na rad sušare utiču i spoljni faktori, pre svega temperatura okolnog vazduha što je još jedan faktor koji utiče na ponašanje organa upravljanja.

Iz navedenih razloga potrebno je omogućiti brzo i jednostavno prepodešavanje PI regulatora, i to je u ovom slučaju realizovano automatskom procedurom. Operator ručno dovede proces oko nominalnog režima i zadaje početak automatske procedure podešavanja. PLC kontroler zadaje odskočnu funkciju na ulazu procesa i prati ponašanje sistema. Iz dobijenih podataka na osnovu jednačina II.17 se određuju novi parametri PI regulatora, a zatim operator zadaje zahtev za usvajanjem novih parametara. Sada je PI regulator prepodešen za zadati režim rada i uslove u kojima se nalazi sušara.

IV Realizacija regulatora sa automatskim podešavanjem

1 Realizacija PI algoritma upravljanja

Opšti oblik PI algoritma dat je u formi

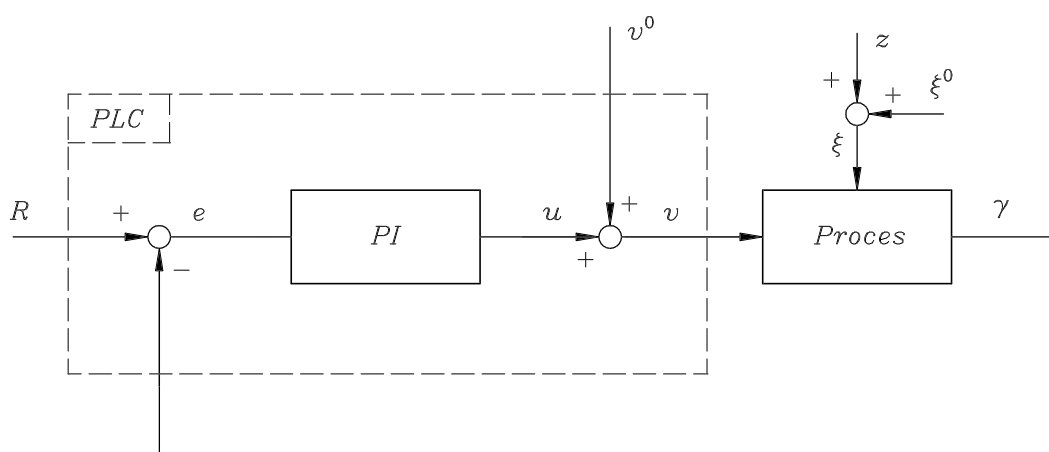
$$u(t) = K_r \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right) \quad (\text{IV.1})$$

U želji da implementiramo ovaj algoritam upravljanja moramo diskretizovati prethodnu jednačinu, pa sledi

$$u_k = K_r \left(e_k + \frac{T_s}{T_i} \sum_{i=0}^k e_i \right) \quad (\text{IV.2})$$

gde je T_s vreme odabiranja digitalnog regulatora. Upravljanje u_k je varijacija upravljanja oko nominalnog upravljanja v^0 i da bi dobili pravi izlaz iz regulatora moramo superponirati ove dve vrednosti. Sledi da je upravljanje v_k (slika 4.1)

$$v_k = v^0 + u_k \quad (\text{IV.3})$$



Slika 4.1 Sistem upravljanja sa PLC kontrolerom u funkciji PI regulatora

Sada je

$$v_k = v_k^{(P)} + v_k^{(I)} \quad (\text{IV.4})$$

gde su proporcionalni i integralni član ($v_k^{(P)}$ i $v_k^{(I)}$ respektivno) definisani

$$v_k^{(P)} = K_r e_k, \quad (IV.5)$$

$$v_k^{(I)} = v_{k-1}^{(I)} + K_r \frac{T_s}{T_i} e_k, \quad v_0^{(I)} = v^0 \quad (IV.6)$$

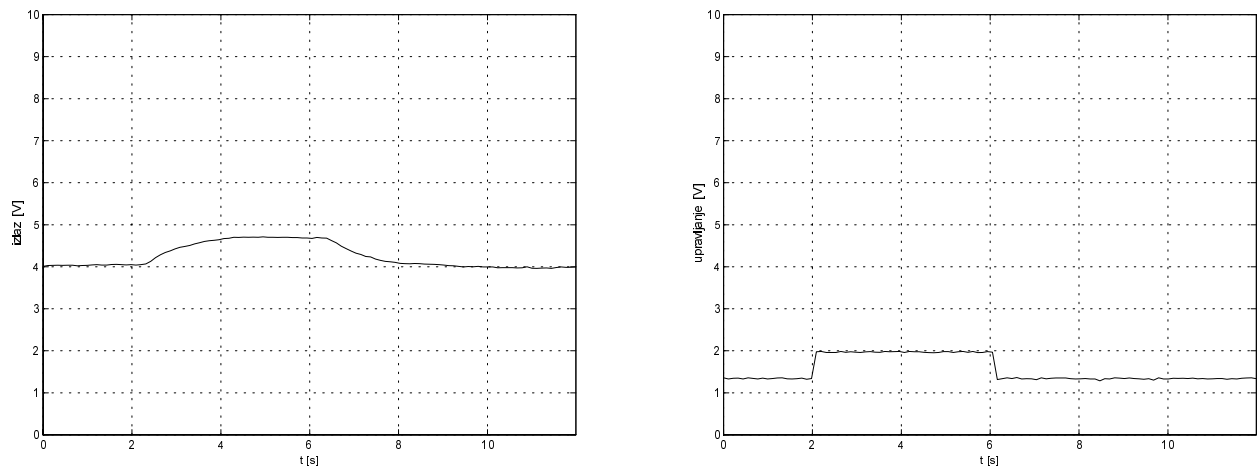
a e_k je greška i predstavlja razliku zadate referentne vrednosti i izlaza procesa i u ovom slučaju definišemo je kao

$$e_k = R - \gamma_k \quad (IV.7)$$

gde je γ_k izlaz procesa u trenutku kT_s .

2 Zadavanje reference

Operater prebacuje regulator u režim ručnog upravljanja i podešavanjem upravljanja dovodi proces u željeni režim. Zatim može da pokrene proceduru automatskog određivanja parametara PI regulatora (slika 4.2) i da prihvati ponuđeno podešavanje ili u slučaju greške da ponovi proceduru. Zatim unosi referencu (tj. željenu temperaturu) i pušta regulator u rad prebacivanjem regulatora u automatski režim.



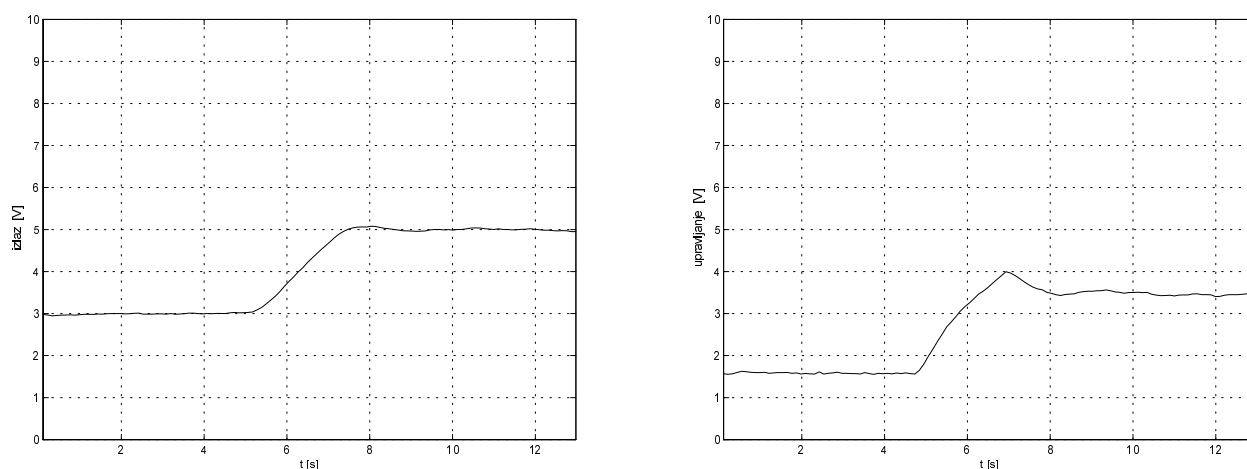
Slika 4.2 Procedura automatskog podešavanja parametara regulatora iz odskočnog odziva

Ako se regulator nalazi u automatskom režimu, a želi se promeniti referenca bez promene parametara regulatora dovoljno je samo navesti novu željenu vrednost reference.

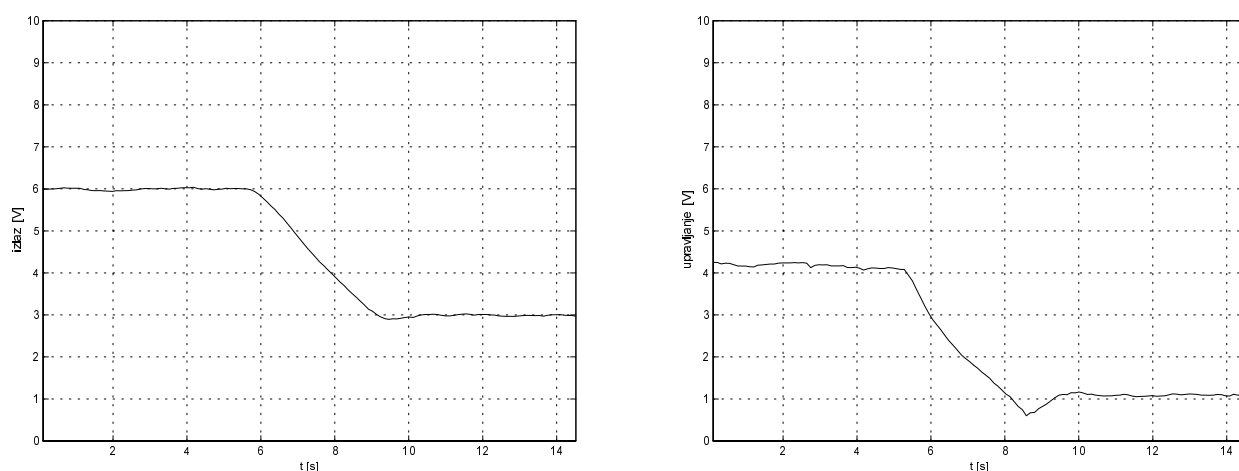
3 Zadavanje maksimalne brzine promene reference

U slučaju da je potrebno obezbediti da izlazna veličina procesa ima ograničenu i unapred zadatu brzinu promene (npr. promena temperatura u velikim sušarama mora se postepeno menjati da ne bi došlo do oštećenja samih zidova sušare usled termičkog naprezanja) obezbeđeno je generisanje rampe umesto skokovite promene referentne vrednosti. Operater unosi maksimalnu promenu izlazne veličine u jedinici vremena i postavlja regulator u režim

generisanja rampe. Sada će svaka promena reference izazvati postepeno povećavanje unutrašnje reference i izlazna veličina (koja prati referencu) će imati zadatu promenu u vremenu (sve dok ne dostigne zadatu referentnu vrednost). Primer je dat na slikama 4.3 i 4.4.



Slika 4.3 Promena reference pri zadatoj maksimalnoj brzini promene reference (povećanje reference sa $R = 3$ V na $R = 5$ V), izlaz γ i upravljačka promenjiva v . Zadana maksimalna brzina promene reference je 0.1 V/s



Slika 4.4 Promena reference pri zadatoj maksimalnoj brzini promene reference (smanjenje reference) sa $R = 6$ V na $R = 3$ V), izlaz γ i upravljačka promenjiva v . Zadana maksimalna brzina promene reference je 0.1 V/s

4 Anti-windup

Standardna funkcija realizovanog regulatora je i takozvana *anti-windup* funkcija. Naime, u slučaju kada bi upravljanje trebalo da prevaziđe maksimalne vrednosti, a izlaz bi i dalje tražio povećanje upravljanja (npr. ako je otvor klapne suviše velik, ne može se zadovoljiti zahtev za postizanjem visokih temperatura, a na izlazu iz regulatora imamo maksimalno upravljanje) došlo bi to „navijanja” regulatora. Tada bi u slučaju da kada prođe kritična

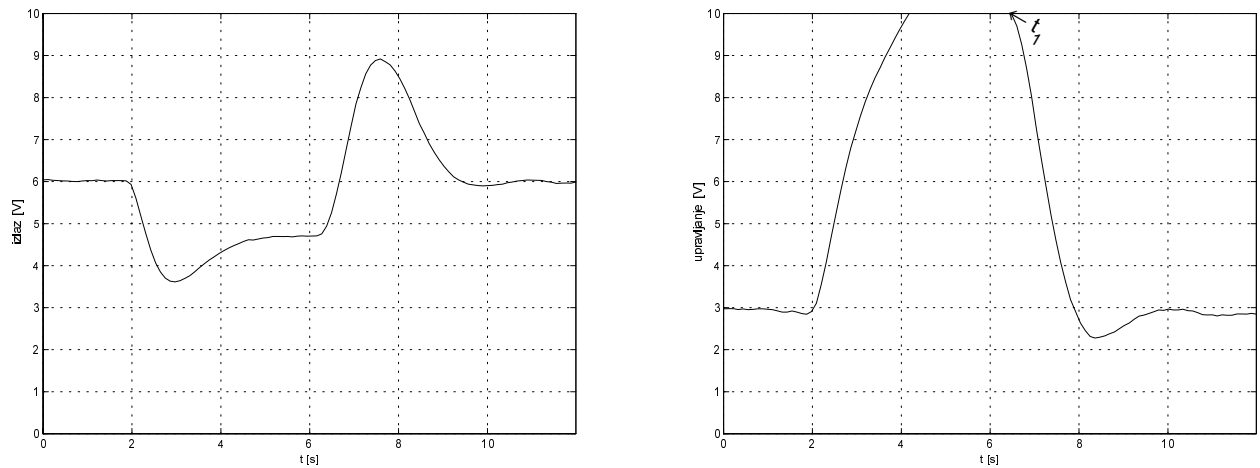
situacija (npr. promeni referenca, smanji ugao otvora klapne) integralno dejstvo u sebi imalo zapamćenu veliku vrednost (po apsolutnoj vrednosti) i upravljanje bi i dalje ostalo na istoj vrednosti.

Rešenje ovog problema je iznađeno u sledećoj proceduri. U slučaju da se traži upravljanje koje izlazi iz opsega dozvoljenih vrednosti (dozvoljeni opseg u ovom slučaju su vrednosti $0 < v < 10$ V), upravljanje se ograničava na graničnu vrednost, a u integralno dejstvo se upisuje vrednost takva da superponirana na proporcionalni član regulatora upravljanje tačno dostiže graničnu vrednost. Uzimajući u obzir jednačine IV.4, IV.5 i IV.6 sledi

$$v_k^{(I)} = 1 - v_k^{(P)} \quad \text{ako je } v_k > 10 \text{ V} \quad (\text{IV.8})$$

$$v_k^{(I)} = -v_k^{(P)} \quad \text{ako je } v_k < 0 \text{ V} \quad (\text{IV.9})$$

Ilustracija prikazanog *anti-windup* dejstva data je na slikama 4.5 i 4.6.



Slika 4.5 *Anti-windup* dejstvo. Poremećaj je tipa maksimalno otvorene klapne. Regulator ne može da se izdori sa poremećajem jer grejač ne može da postigne zadatu temperaturu i pored maksimalnog upravljanja. U trenutku t_1 klapna se vraća na prvobitni položaj i regulator odmah kreće sa dejstvom.

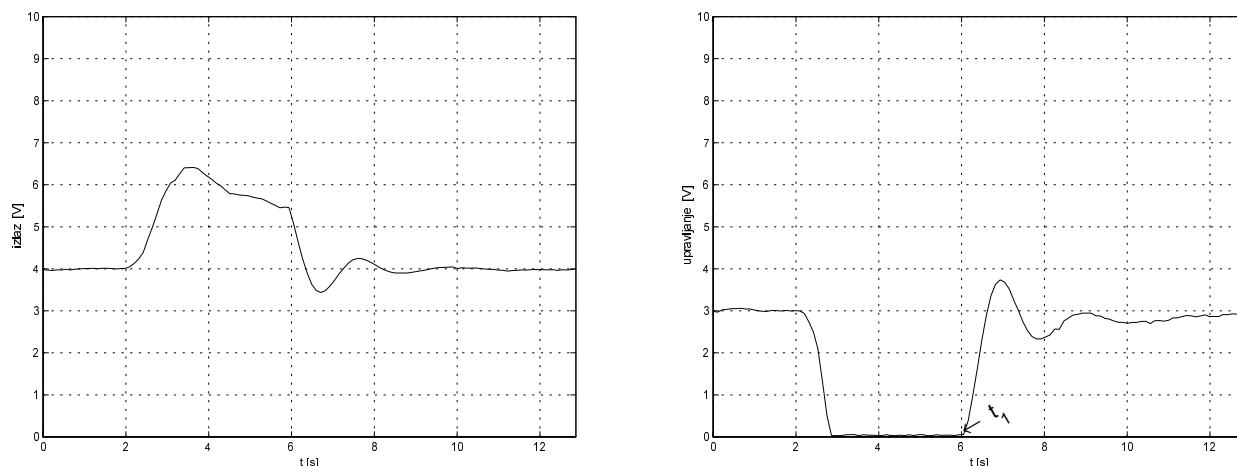
5 Bumpless transfer

Veoma važna funkcija koju mora da poseduje regulator je *bumpless* transfer. Naime, kada se prelazi sa ručnog na automatsko upravljanje regulator nema predistoriju upravljanja tako da se javlja skok u upravljanju i najverovatnije neželjene posledice u sistemu.

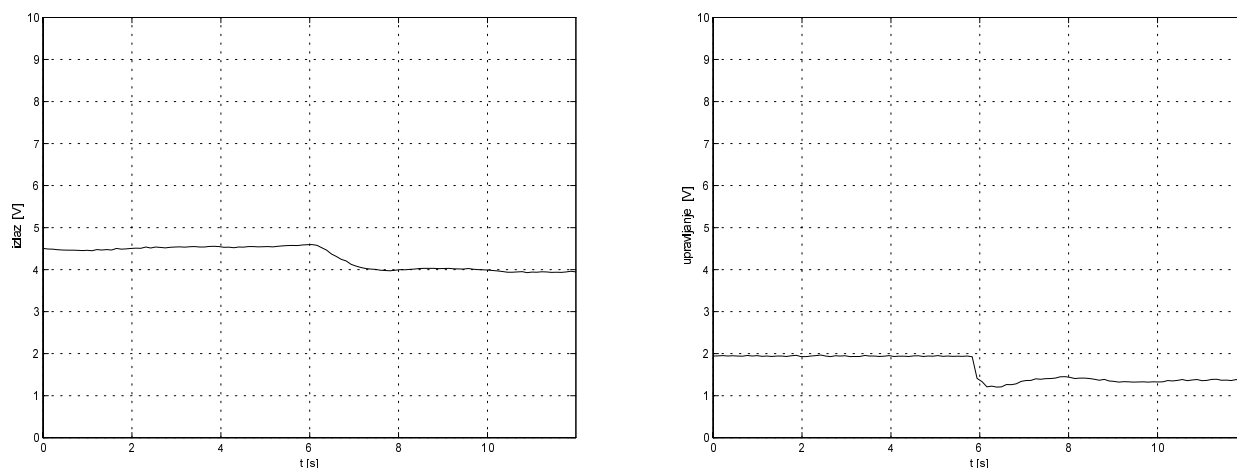
Bumpless transfer radi na principu da kada se vrši prelazak na automatsko upravljanje zapamti vrednost upravljanja i ona prosledi integralnom dejstvu:

$$v_0^{(I)} = v^0 \quad (\text{IV.10})$$

U tom slučaju kod sledećeg proračuna upravljanja neće biti nepredviđenih skokova upravljačke promenljive. U ovom sistemu je realizovan *bumpless* transfer što je pokazano na slici 4.7.



Slika 4.6 *Anti-windup* dejstvo. Poremećaj je tipa zatvorene klapne. Regulator ne može da se izbori sa poremećajem jer je vazduh zbog prolaska kroz toplu cev (i pored isključenog grejača) topliji od zadate temperature i pored minimalnog upravljanja. U trenutku t_1 klapna se vraća na prvobitni položaj i regulator odmah kreće sa dejstvom.



Slika 4.7 Ilustracija *bumpless* transfera pri prelasku sa ručnog u automatski režim upravljanja. Promena upravljanja se manifestuje iz razloga prelaska sistema na zadatu referencu.

6 Problemi pri realizaciji

6.1 Celobrojna aritmetika

Kod datog PLC kontrolera, Siemens Step 7-214, nisu postojale matematičke funkcije koje su podržavale račun u pokretnom zarezu. Ovo je veliki hendikep pogotovu kada je potrebno i izvršavati operaciju automatskog podešavanja, gde se treba izboriti sa preciznim određivanjem parametara procesa, ali i boriti sa mernim šumom koji napada sistem.

Problem je prevaziđen na zadovoljavajuć način predstavljanjem brojeva sa tačnošću od tri decimale. Ovakav način predstavljanja brojeva u internom formatu prouzrokovao je korekcije rezultata kod operacija množenja i deljenja. Posle svake operacije množenja dva broja u novom formatu rezultat se dodatno modifikuje, dok je operacija deljenja dva broja

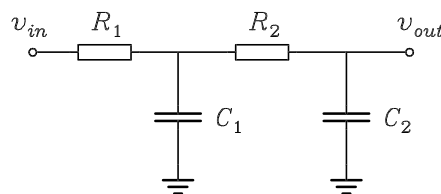
realizovana kao nova korisnička funkcija. Na ovaj način su prevaziđeni problemi celobrojne aritmetike.

6.2 Merni šum

Kao što je već rečeno veliki problem makete sušare je merni šum koji potiče od lošeg napajanja senzorske sekcije koje ujedno predstavlja i izlaz sistema. Jedno rešenje bi predstavljalo otvaranje makete i izrada sopstvenog stabilisanog napajanja za mernu jedinicu.

Ovaj problem je ilustrovao još jedan problem koji se sreće u praksi, a to je merni šum. Kako često nismo u situaciji da vršimo prepravke na postojećoj opremi, tako se i na maketi sušare pribeglo drugom rešenju. Konstantovano je da šum ima izrazitu komponentu na učestanosti od 100 Hz. Kako PLC kontroler nije u mogućnosti da vrši odabiranje na visokim učestanostima, a ovde je u slučaju filtriranja, po teoremi odabiranja potrebno uzimati odbirke na učestanosti od barem 200 Hz, morao se ugraditi analogni prefiltar.

Zbog jednostavnosti izrade i dobrih karakteristika projektovan je RC filtar drugog reda, prikazan na slici 4.8.



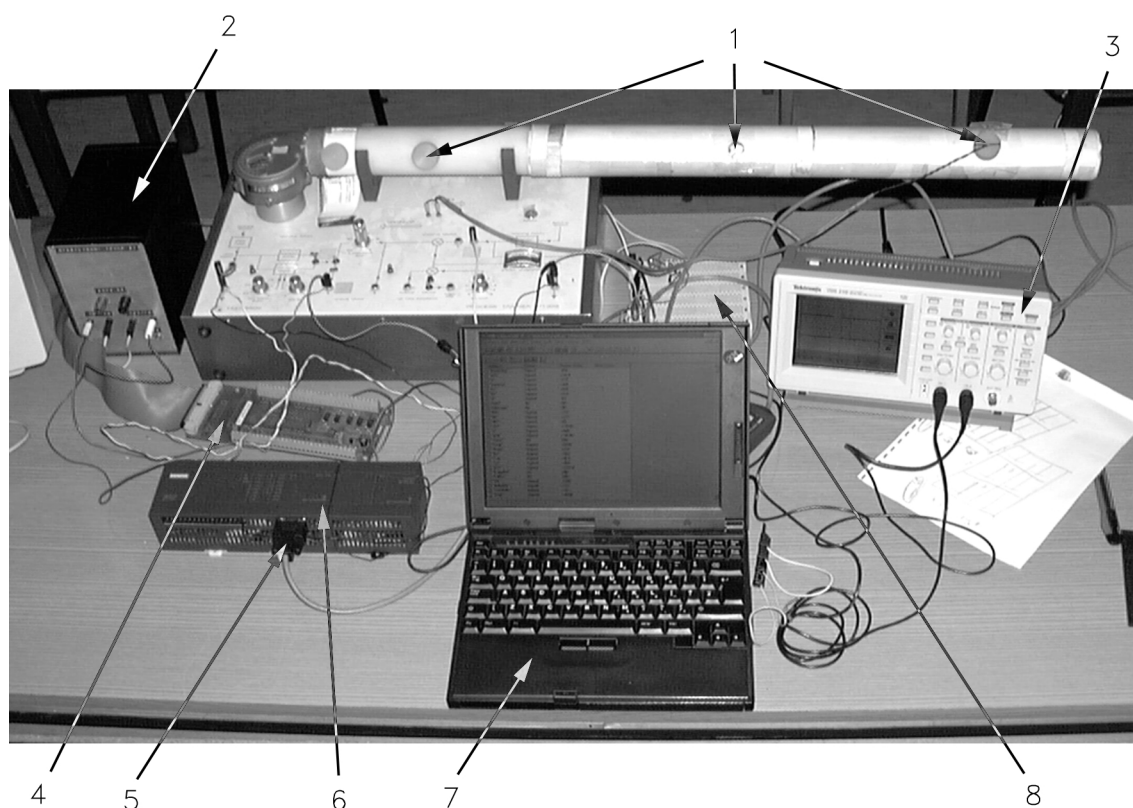
Slika 4.8 RC filtar drugog reda upotrebljen za prefiltriranje

Upotrebljeni elementi imaju vrednosti: $R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 10 \text{ }\mu\text{F}$ i $C_2 = 0.47 \text{ }\mu\text{F}$. Za date vrednosti filtar ima dva pola i na učestanostima $f_1 = 19 \text{ Hz}$ i $f_2 = 9.6 \text{ Hz}$ i oni ne utiču na dinamiku sistema. Slabljenje na 100 Hz iznosi $A = -35.1 \text{ dB}$. Posle filtriranja merni šum koji potiče od napajanja skoro u potpunosti nestaje.

V Eksperimentalna verifikacija

1 Korišćena oprema

Radi ilustracije valjanosti postupka automatskog podešavanja PI regulatora iz odskočnog odziva sistema, realizovan je sistem na Siemens-ovom SIMATIC S7 - 214 PLC kontroleru i izvršena merenja na maketi sušare Feedback PT - 326. Korišćena oprema je prikazana na slici 5.1.



Slika 5.1 Korišćena oprema (maketa sušare (sa produženom cevi) i PLC kontroler): 1-otvori za postavljanje senzora (numeracija otvora od početka ka kraju cevi je 1, 2 i 3, respektivno), 2-napajanje PLC kontrolera (24 V), 3-osciloskop Tektronix TDS-210, 4-AD/DA kartica povezana sa PC računarom radi akvizicije podataka, 5-kabl (PC-PPI) za povezivanje PC računara i PLC kontrolera, 6-Simatic S7-214 PLC kontroler, 7-PC računar (IBM ThinkPad 560) koji je povezan sa PLC kontrolerom, 8-analogni filter

Za akviziciju podataka korišćena je AD/DA kartica ED-429UP povezana sa PC računalom, sa softverom koji je napisao Mr. Saša Korać, uz manje prilagođavanje. Kartica je unosila dodatni šum i ofset (oko 0.05 V) koji nije postojao u slučaju merenja signala Tektronix-ovim osciloskopom TDS-210.

Softver za programiranje PLC kontrolera je Step 7 - Micro / WIN32 verzija 2.1, koji je grafičko okruženje za brzo i jednostavno *ladder* programiranje čitave generacije Siemens-ovih PLC kontrolera.

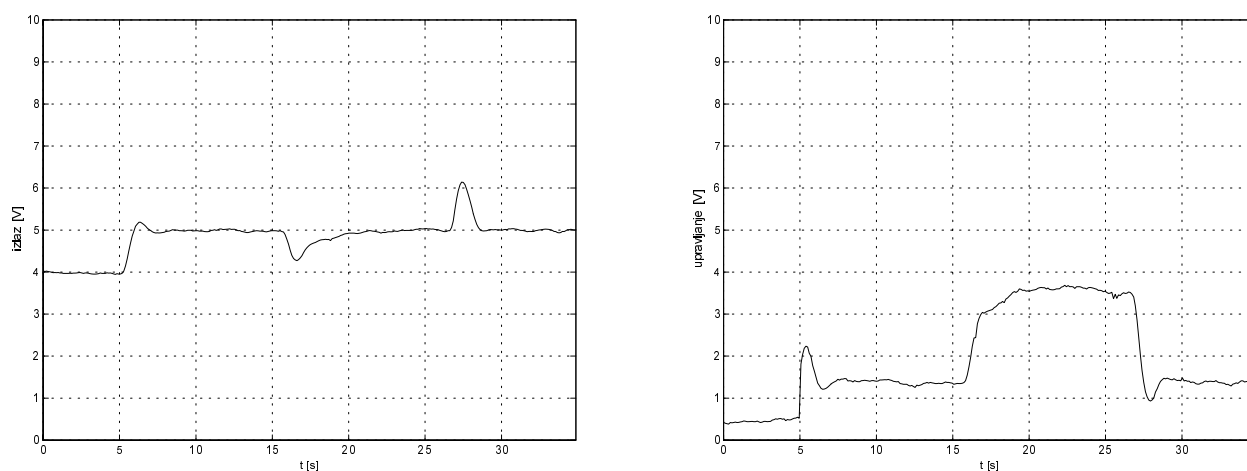
2 Eksperiment

Testiranje sistema je izvedeno u više radnih režima kako bi se pokazala prilagodljivost sistema upravljanja koji je predstavljen svim zahtevima koje korisnik može postaviti. Eksperimenti su izvedeni na sva tri mesta za senzore (1, 2 i 3), pri dva različita protoka vazduha (ugao otvorenosti klapne $\alpha = 35^\circ$ i $\alpha = 65^\circ$) i pri zadate dve referentne vrednosti temperature ($R = 4\text{ V}$ i $R = 6\text{ V}$).

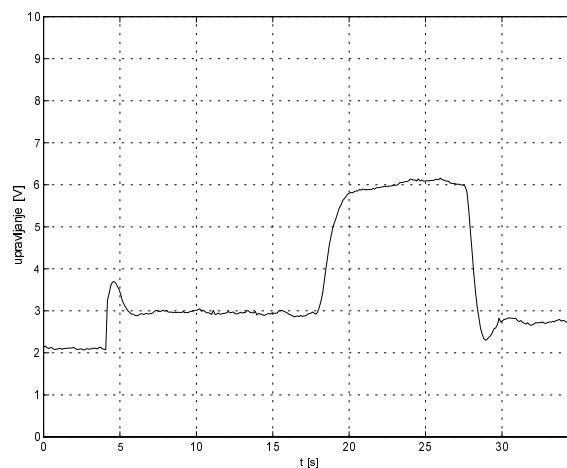
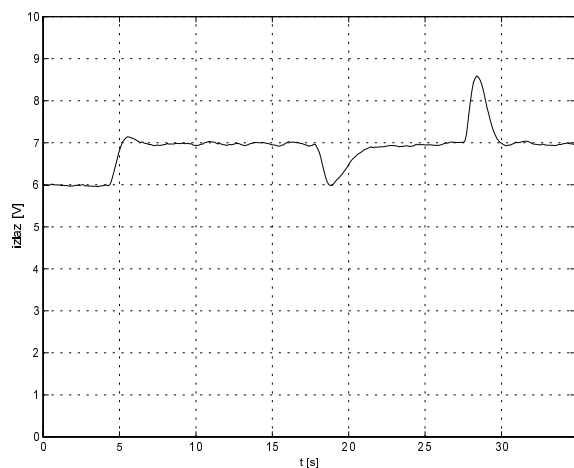
Prikazani su odzivi sistema na promenu reference, tako što je sistem doveden u nominalni režim, puštena procedura za automatsko podešavanje, regulator prebačen u automatski režim i zatim promenjena referenca na novu vrednost. Zatim je sistem testiran na poremećaj tako što je promenjen protok vazduha (menjanjem otvora klapne). Kratkotrajni poremećaj je demonstriran kratkim zatvaranjem otvora za vazduh (oko 2 s).

Svi rezultati prikazani su na sledećim slikama, a tačni uslovi eksperimenta dati su kao naslovi slika.

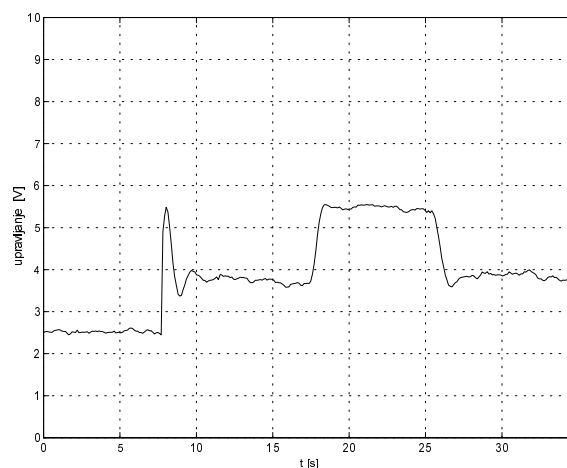
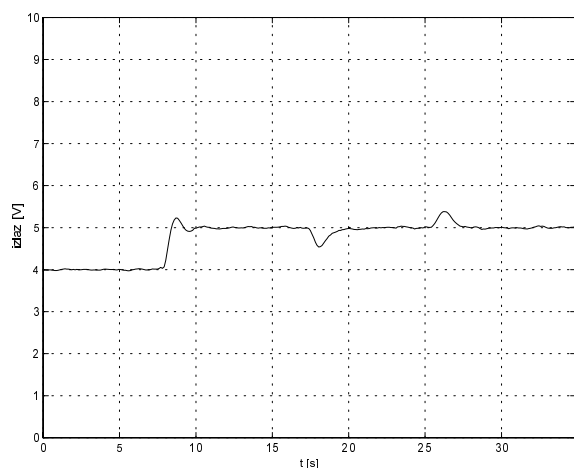
2.1 Senzor temperature na prvom otvoru



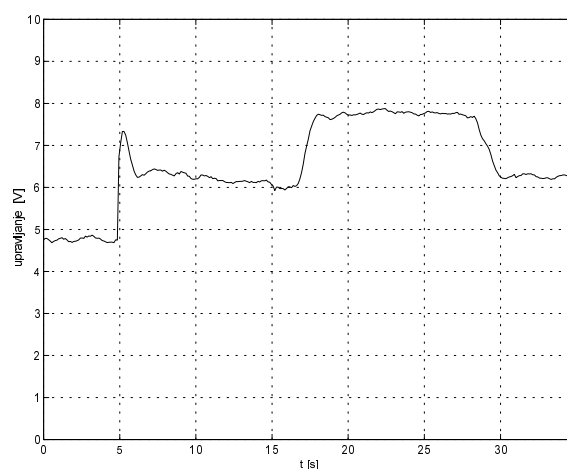
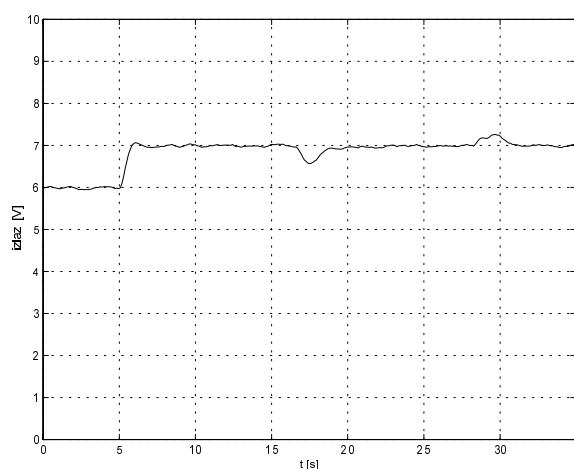
Slika 5.2 Otvor klapne $\alpha = 35^\circ$, referenca promenjena sa $R = 4\text{ V}$ na $R = 5\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 65^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 35^\circ$



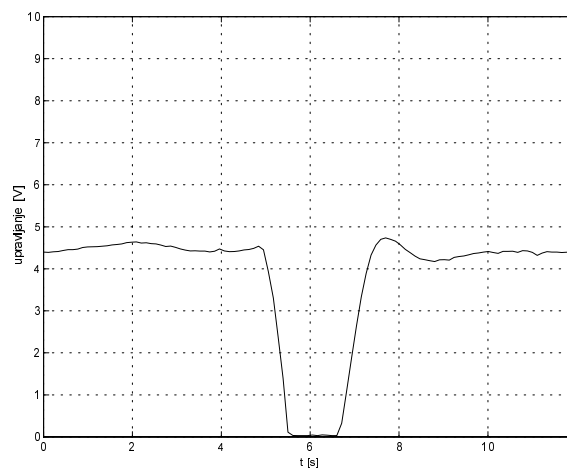
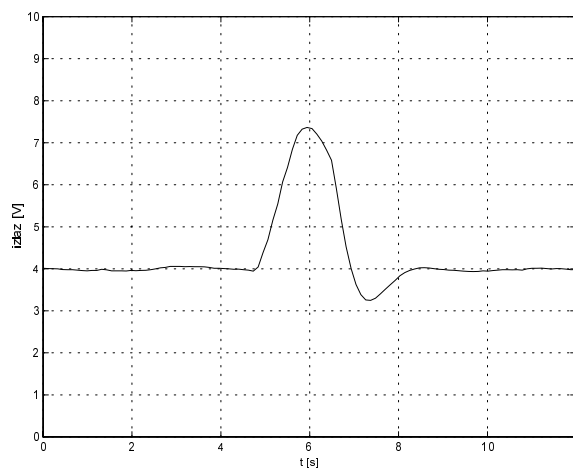
Slika 5.3 Otvor klapne $\alpha = 35^\circ$, referenca promjenjena sa $R = 6\text{ V}$ na $R = 7\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 65^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 35^\circ$



Slika 5.4 Otvor klapne $\alpha = 65^\circ$, referenca promjenjena sa $R = 4\text{ V}$ na $R = 5\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 85^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 65^\circ$

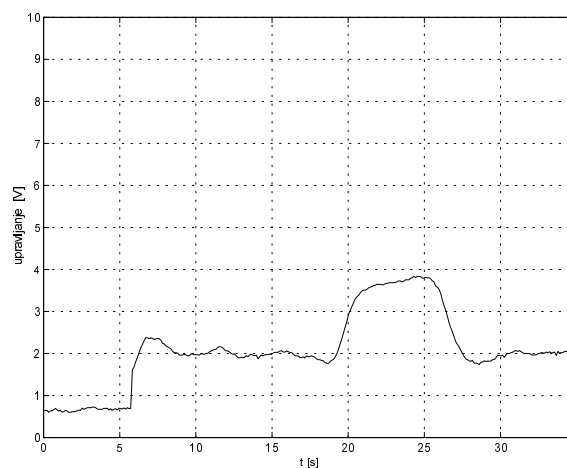
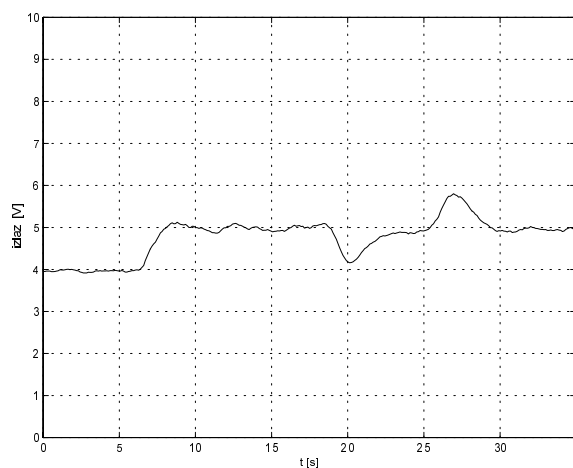


Slika 5.5 Otvor klapne $\alpha = 65^\circ$, referenca promjenjena sa $R = 6\text{ V}$ na $R = 7\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 85^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 65^\circ$

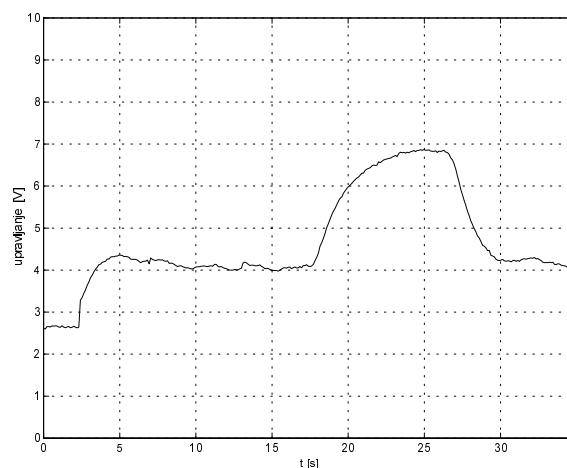
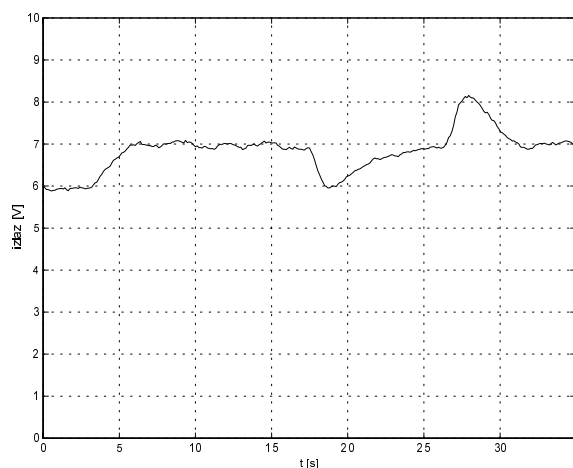


Slika 5.6 Otvor klapne $\alpha = 65^\circ$, referenca $R = 4\text{ V}$, otvor klapne je naglo zatvoren 2 s, a zatim ponovo otvoren

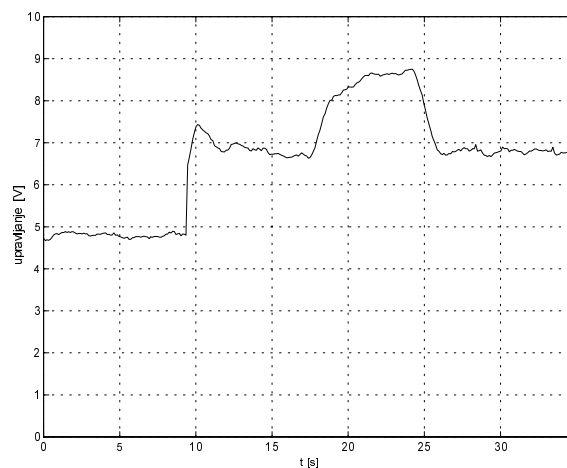
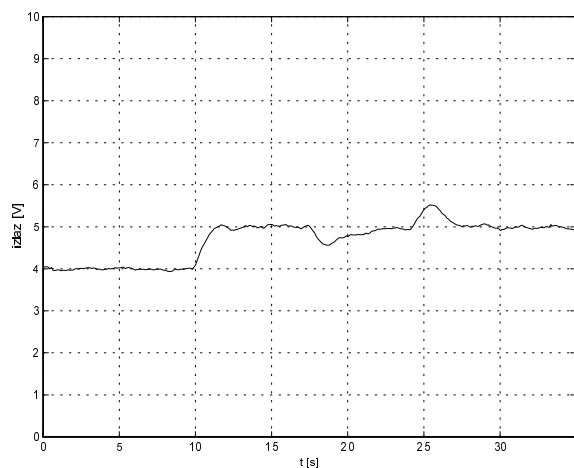
2.2 Senzor temperature na drugom otvoru



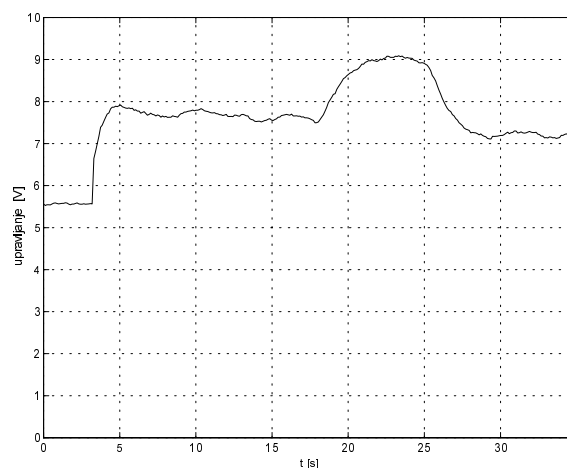
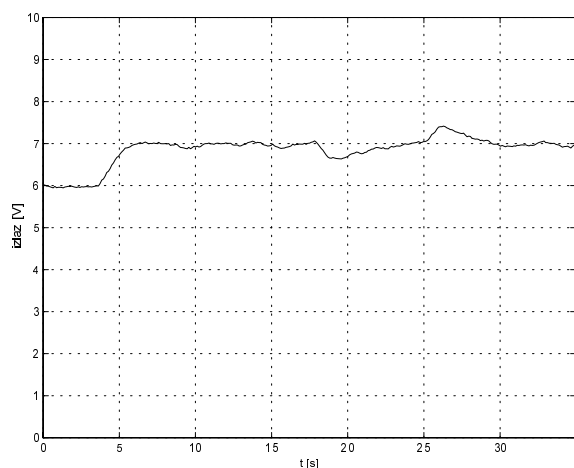
Slika 5.7 Otvor klapne $\alpha = 35^\circ$, referenca promjenjena sa $R = 4\text{ V}$ na $R = 5\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 65^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 35^\circ$



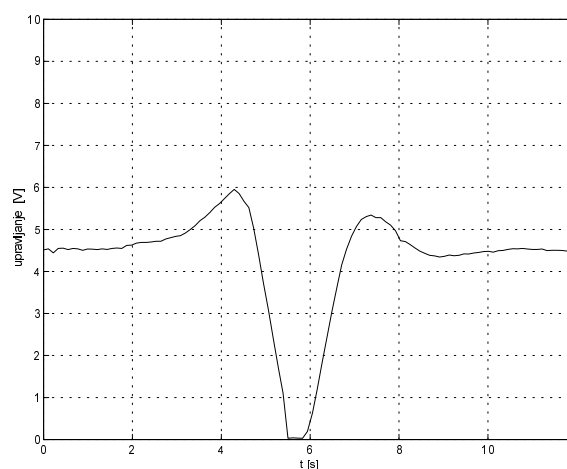
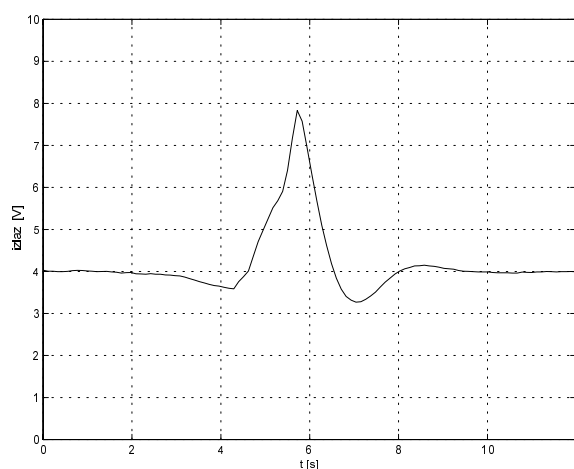
Slika 5.8 Otvor klapne $\alpha = 35^\circ$, referenca promjenjena sa $R = 6\text{ V}$ na $R = 7\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 65^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 35^\circ$



Slika 5.9 Otvor klapne $\alpha = 65^\circ$, referenca promenjena sa $R = 4\text{ V}$ na $R = 5\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 85^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 65^\circ$

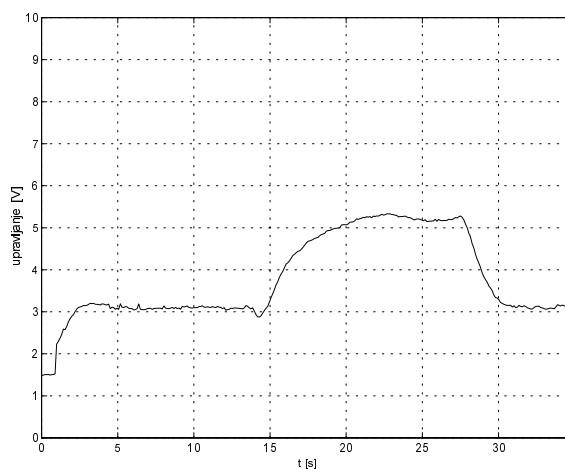
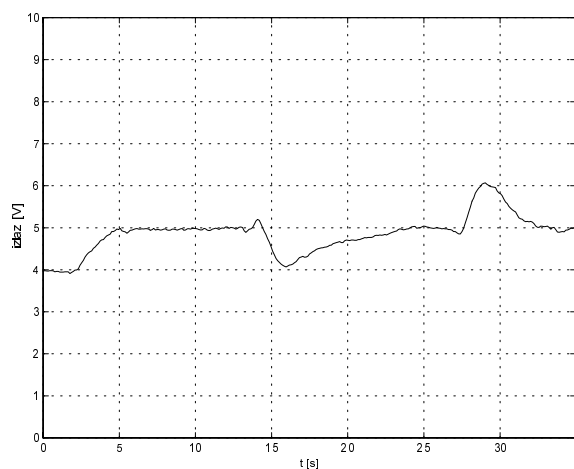


Slika 5.10 Otvor klapne $\alpha = 65^\circ$, referenca promenjena sa $R = 6\text{ V}$ na $R = 7\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 85^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 65^\circ$

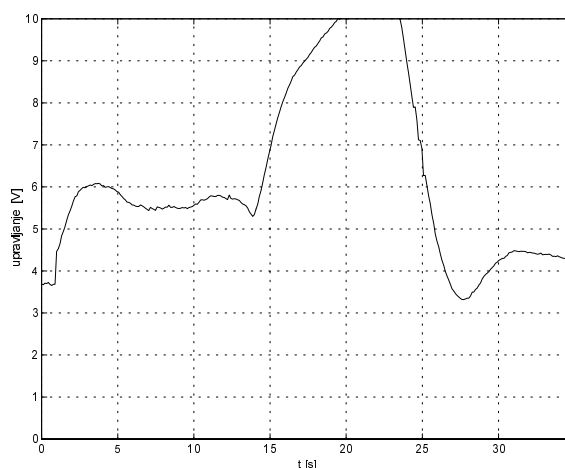
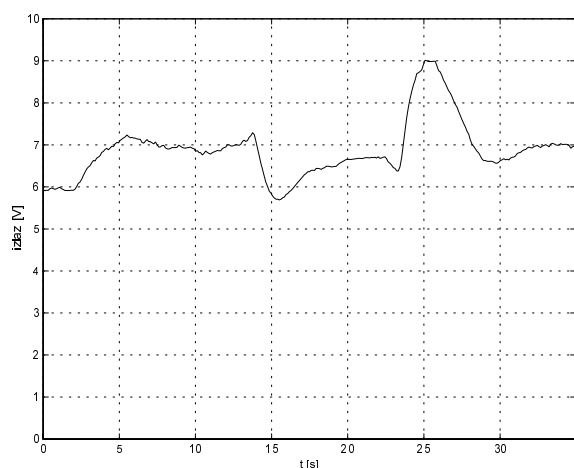


Slika 5.11 Otvor klapne $\alpha = 65^\circ$, referenca $R = 4\text{ V}$, otvor klapne je naglo zatvoren 2 s, a zatim ponovo otvoren

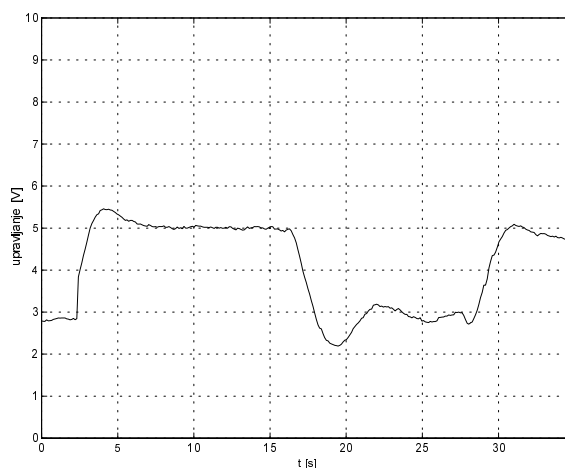
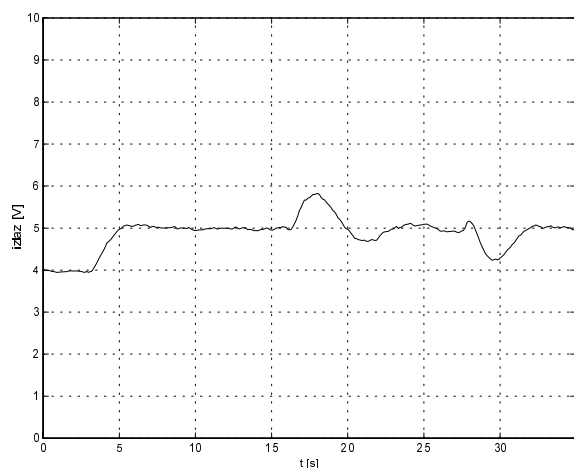
2.3 Senzor temperature na trećem otvoru



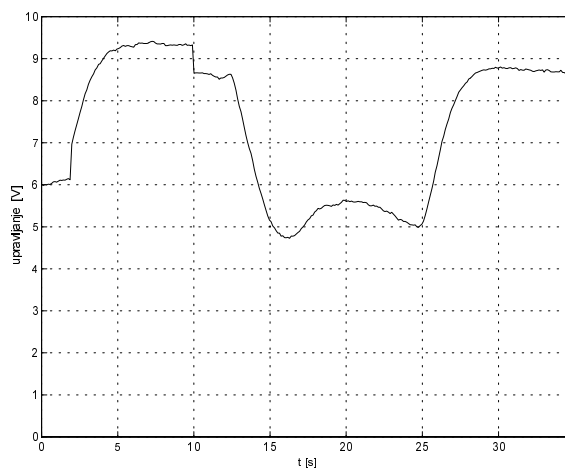
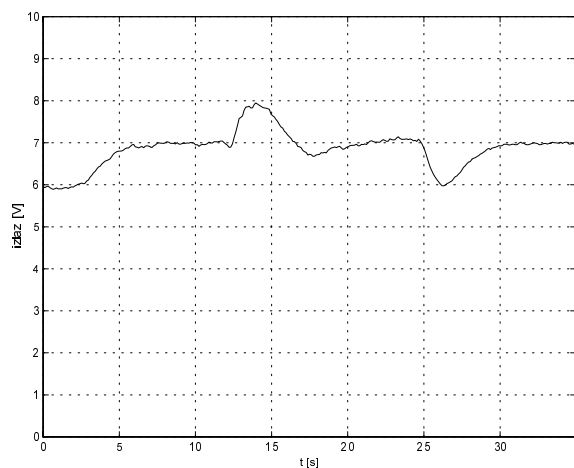
Slika 5.12 Otvor klapne $\alpha = 35^\circ$, referenca promijenjena sa $R = 4\text{ V}$ na $R = 5\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 65^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 35^\circ$



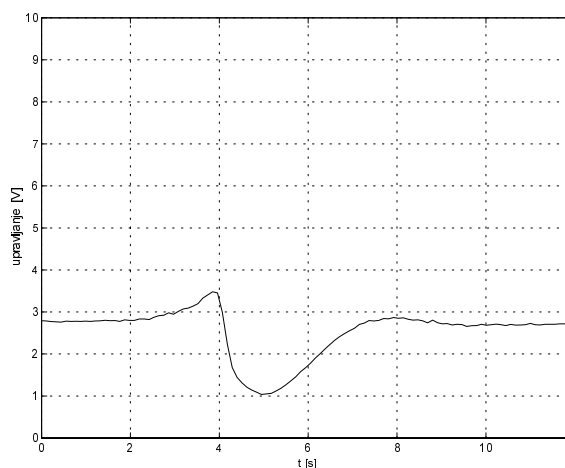
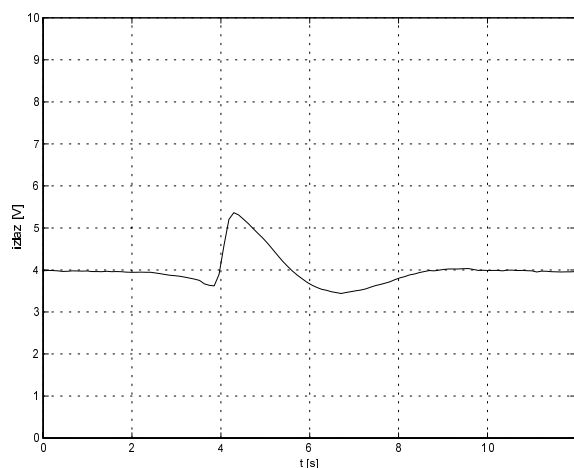
Slika 5.13 Otvor klapne $\alpha = 35^\circ$, referenca promijenjena sa $R = 6\text{ V}$ na $R = 7\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 75^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 35^\circ$



Slika 5.14 Otvor klapne $\alpha = 65^\circ$, referenca promijenjena sa $R = 4\text{ V}$ na $R = 5\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 35^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 65^\circ$



Slika 5.15 Otvor klapne $\alpha = 65^\circ$, referenca promjenjena sa $R = 6\text{ V}$ na $R = 7\text{ V}$, zatim je klapna otvorena na $\alpha = 35^\circ$, a potom vraćena na $\alpha = 65^\circ$



Slika 5.16 Otvor klapne $\alpha = 65^\circ$, referenca $R = 4\text{ V}$, otvor klapne je naglo zatvoren 2 s, a zatim ponovo otvoren

VI Zaključak

Razvijeni program predstavlja realizaciju PI algoritma upravljanja sa procedurom za automatsko određivanje parametara iz odskočnog odziva na Siemens-ovom SIMATIC S7 - 214 kontroleru. Ovaj koncept upravljanja je moćan alat u borbi sa čitavom klasom problema u automatskom upravljanju jer zadovoljava kriterijum prilagodljivosti različitim sistemima i režimima rada.

Dodatne funkcije kao što su *anti-windup*, *bumpless* transfer, generator rampe (tj. maksimalna brzina promene reference) čine ovaj kontroler sa napisanim softverom zaokruženim proizvodom koji se može primeniti u proizvodnom pogonu, kao što je to bio slučaj na maketi sušare.

Posebno treba istaći kvalitetno podešavanje PI regulatora, koji i pored svoje jednostavne strukture zadovoljava i najoštrije kriterijume regulacije. Na sistemima sa velikim kašnjenjem (senzor na otvoru 3) sistem je bio stabilan i uspevao na zadovoljavajući način da se izbori sa poremećajima. Zadati pretek faze (koji se direktno održava na pretek stabilnosti) garantovao je stabilnost sistemu i pored značajno promenjenih parametara (nominalni režim, poremećaj).

Daljim razvojem softvera i nabavkom kontrolera sa aritmetikom sa pokretnim zarezom moguća su poboljšanja koja bi se lako mogla implementirati i u sisteme koji su već instalirani.

Literatura

- [1] Hang C., Aström K., Ho W., *Refinements of the Ziegler–Nichols tuning formula*, IEE Proc. D, vol. 138, No 2, pp. 111-118, 1991.
- [2] Häglunt T., *A predictive PI controller for processes with long death-times*, IEEE Control Syst. Mag., vol. 12, No 1, pp. 57-60, 1992.
- [3] Mataušek M. *Upravljanje procesima*, beleške za predavanja, Beograd
- [4] SIMATIC S7-200 Programmable Controller System Manual, Siemens