

Primjena PI/PID regulatora integrisanih u PLK u procesu regulacije temperature

Dragana Ružić, Milica Ristović Krstić

Elektrotehnički fakultet

Univerzitet u Istočnom Sarajevu

Bosna i Hercegovina

ruzic.dragana@gmail.com, milica.ristovic@etf.unssa.rs.ba

Sažetak—U radu je opisana mogućnost precizne regulacije temperature primjenom PID regulatora integrisanog u PLK *Siemens S7-300*. Za izvođenje eksperimenta korišćena je FESTO stanica *MPS® PA Compact* koja ima sve elemente industrijskog sistema kao što su grijač, temperaturni senzor, rezervoar sa vodom. Rješavajući problem održavanja temperature u određenim granicama u rezervoaru pojašnjava se pojam impulsne i PID regulacije, kao i način korišćenja analognih modula PLK *Siemens S7-300*, podešavanja parametara funkcijskog bloka *FB58 „TCONT_CP“* koji realizuje funkciju PID regulatora, te način podešavanja parametara PID regulatora. Na kraju su predstavljeni eksperimentalni rezultati.

Cljučne riječi- PID regulacija; Impulsna regulacija; PLK *Siemens S7-300*; *FB58 „TCONT_CP“*

I. UVOD

Najznačajnija komponenta automatizovanih sistema je programabilni logički kontroler - PLK. Današnji PLK predstavlja jedan efikasan i moćan sistem koji može da prati i upravlja radom i do nekoliko hiljada ulaza i izlaza. PLK može da obavlja, ne samo *ON/OFF* upravljanje, po principu uključivanja i isključivanja uređaja, već kompleksnu kontrolu rada najslabijih i najraznovrsnijih aktuatora, pri tom realizujući složene tehnološke funkcije kao što je, između ostalih, upravljanje procesima pomoću PID regulatora. S obzirom da se prilikom izgradnje automatizovanih industrijskih sistema i drugih procesa često javlja potreba za korišćenjem PID regulatora za upravljanje određenih procesnih veličina i da je danas automatizacija bilo kog sistema skoro nezamisliva bez upotrebe programabilnih logičkih kontrolera, integracija PID regulatora u PLK bila je logičan redoslijed u razvoju PLK uređaja. Naime PLK na svojim analognim ulazima može primati analogne veličine iz upravljačkog procesa, ugrađenim A/D konvertorima prevesti ih u digitalne veličine, obraditi dobijene podatke i na kraju pomoću D/A konvertora poslati analognu upravljačku veličinu u proces.

U radu je opisan način regulacije temperature tečnosti u rezervoaru. Za potrebe istraživanja korišćena je radna stanica *MPS® PA Compact*, Sl. 1, koja je sastavni dio laboratorije za Automatiku i mehatroniku na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Istočnom Sarajevu.

II. REGULACIJA TEMPERATURE

Procesom zagrijavanja vode može se upravljati na dva načina: digitalno (*ON/OFF*) i analogno. Kod radne stanice *MPS® PA Compact* proces zagrijavanja se obavlja samo digitalno zbog ograničenog broja analognih izlaza na PLK koji je korišćen za dobijanje eksperimentalnih rezultata, a koji je sastavni dio ove radne stanice. Međutim, da bi se postigla precizna regulacija temperature primjenjene su dvije vrste upravljanja: impulsno, koje predstavlja D/A konverziju i PI/PID upravljanje.

A. Impulsna regulacija



Slika 1. Izgled radne stanice *MPS® PA Compact*

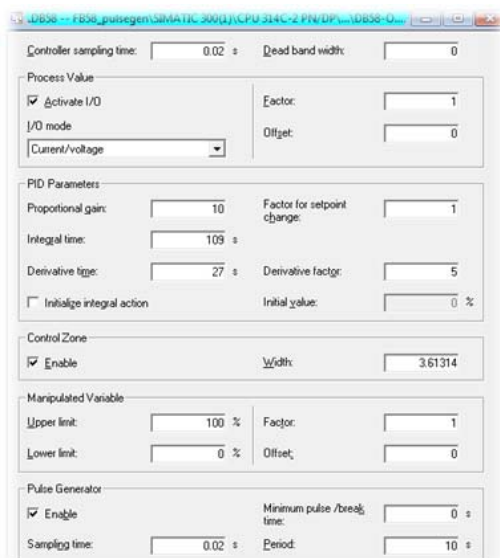
Impulsna regulacija je način kontrole koja obezbjeđuje impulsno uključivanje izvršnih organa čime se onemogućava da upravljana veličina usled inercije pređe zadatu vrijednost. Impulsni regulatori kod kojih je trajanje impulsa i pauze konstantno ne obezbjeđuju brz odziv na promjene u samom sistemu. Ukoliko se, međutim, trajanje impulsa, ili pauze mijenja, odnosno moduliše upravljački signal u zavisnosti od signala greške onda se na taj način može dobiti značajno brži odziv na promjene u sistemu. Kod upravljanja čiji se rad zasniva na primjeni širinsko impulsne modulacije (eng. *Pulse Width Modulation - PWM*), amplituda upravljačkog signala ima uvijek istu vrijednost ali dužina trajanja impulsa, odnosno pauze, zavisi upravo od toga koliko je veliki signal greške, odnosno odstupanje od zadate vrijednosti.

Na Sl. 2 se vidi primjena širinsko impulsne modulacije. Ukoliko je signal greške veliki onda će i dužina trajanja

nakon čega se zadata i odabrana izmjerena vrijednost vode na sumator. Izlaz iz sumatora se množi sa proporcionalnim pojačanjem i dalje prosljeđuje na obradu u tri paralelne grane koje predstavljaju proporcionalno, integralno i diferencijalno djelovanje. Zatim, pomoću ulaza *MAN_ON* bira se, da li se na izlaz šalje upravljačka promjenljiva koja se dobijena izvršavanjem algoritma ili ručna vrijednost koja se zadaje parametrom *MAN*. Bez obzira na odabir prekidača *MAN_ON*, definišu se gornja i donja granična vrijednost upravljačke promjenljive. Vrijednost upravljačke promjenljive je ograničena između *LMN_HLM* i *LMN_LLM* pomoću funkcije *LMNLIMIT*. Dostizanje ovih limita se ukazuje porukom bitova *QLMN_HLM* i *QLMN_LLM*. Upravljačka vrijednost *LMN_PER* se dobija u procentima nakon bloka *CRP* i može se poslati direktno na analogni izlaz. Ukoliko se želi realizovati PID regulator sa binarnim izlazom koristi se funkcija *PULSAGEN* koja konvertuje analognu vrijednost upravljačke promjenljive *LmnN* u širinu impulsa konstantne periode čije se trajanje određuje parametrom *PER_TM* koristeći modulaciju dužine trajanja impulsa, odnosno pauze. Dužina trajanja impulsa se mora podudarati sa periodom pozivanja funkcijskog bloka. Unutar vremena *PER_TM* generator impulsa se poziva više puta u zavisnosti od vremena između poziva koje se zadaje na ulazu *CYCLE*. Odnos između vremena pozivanja generatora impulsa i vremena pozivanja PID algoritma određuje rezoluciju modulacije. Funkcija *PULSAGEN* se aktivira ako je *PULSE_ON=TRUE*. [3]

Da bi se podesili parametri PID algoritma potrebno je otvoriti blok podataka DB58 u on-line režimu rada, nakon čega se otvori prozor za podešavanje parametara (Sl. 4).

U ovom prozoru se podešavaju vrijednosti proporcionalnog, integralnog i diferencijalnog djelovanja PID algoritma. Takođe se bira da li regulator prati procesnu promjenljivu sa analognog ulaza ili internu vrijednost. Ukoliko se realizuje PID regulator sa binarnim izlazom u ovom prozoru se zadaje i vrijeme pozivanja generatora impulsa. Pored ovog načina svi parametri funkcijskog bloka

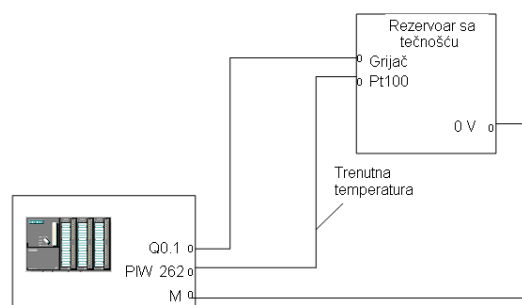


Slika 4 Prozor za podešavanje parametara PID regulatora

FB 58 "TCONT_CP se mogu pratiti i podešavati u tabeli promjenljivih (eng. *Variable table*).[3]

IV. REALIZACIJA UPRAVLJANJA TEMPERATUROM U REZERVOARU I EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Kao što je ranije spomenuto, za potrebe testiranja PID regulatora integrisanih u PLK upotrijebljeno je laboratorijsko postrojenje sa rezervoarom napunjenim tečnošću. Izvršni organ ovog postrojenja je grijač koji zagrijava vodu u rezervoaru, što predstavlja temperaturni proces. Grijač snage 1000 W montiran je u aluminijsko tijelo i njime se upravlja digitalnim signalom od 24 V DC sa digitalnog izlaza PLK. Trenutna temperatura se mjeri temperaturnom sondom *Pt100* i linearnom konverzijom pretvara u naponski signal koji ima vrijednosti od 0 do 10 V DC. Za eksperimentalnu postavku PLK i sistem za zagrijavanje tečnosti u rezervoaru treba da budu povezani kao na Sl. 5.



Slika 5 Eksperimentalna postavka PLK i sistema za zagrijavanje tečnosti

Dati objekat upravljanja pripada klasi industrijskih procesa čije se dinamičko ponašanje može dobro aproksimirati funkcijom prenosa koja je data izrazom (2).

$$G(S) = \frac{K}{1+sT} e^{-\tau S} \quad (2)$$

Karakteristične vrijednosti ove funkcije su koeficijent statičkog pojačanja *K*, vremenska konstanta *T* i transportno kašnjenje τ . Za navedeni temperaturni model snimljen je odziv koji je iskorišćen za dobijanje ovih koeficijenata funkcije prenosa. Koristeći metodu grafičke identifikacije dobijene su sljedeće vrijednosti:

$$K = 1.7, T = 800s \text{ i } \tau = 50s$$

Za određivanje parametara PID regulatora korišćena je *Ziegler-Nichols* (dalje u tekstu *Z-N*) preporuka za podešavanje parametara regulatora na osnovu eksperimenta u zatvorenom krugu. Kada je riječ o podešavanju parametara PID regulatora *Z-N* metodom, *Ziegler* i *Nichols* su osmislili način podešavanja parametara kontrolera za upravljanje sistemom u cilju optimalnog dostizanja zadate vrijednosti, dat jednakostima (3), (4) i (5).

$$K_p = 0,6K_{kr} \quad (3)$$

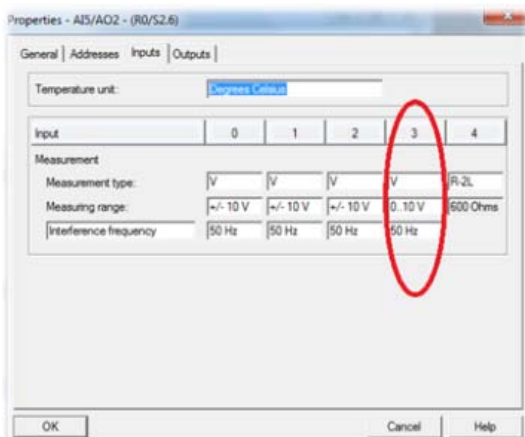
$$T_i = \frac{T_{kr}}{2} \quad (4)$$

$$T_D = \frac{T_{kr}}{8} \quad (5)$$

Na osnovu jednakosti (3), (4) i (5) i vrijednosti kritičnog pojačanja i perioda oscilacija dobijeni su sljedeći parametri PID regulatora: $K_p = 16$, $T_I = 83$ i $T_D = 20$.

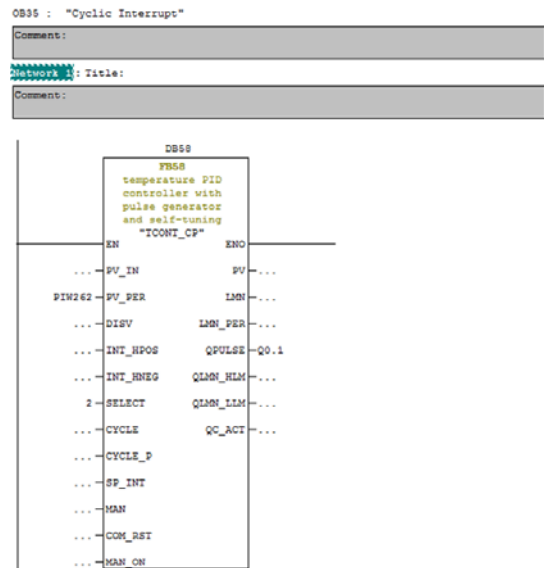
Za regulaciju temperature koristi se PLK kao kontinualni kontroler. Upravljačka promjenljiva y zavisi od trenutnog odnosa zadate i trenutno izmjerene temperature tečnosti u rezervoaru (w/x). Upravljačka promjenljiva y se računa na osnovu PID algoritma. Zadatak je riješen korišćenjem funkcijskog bloka *FB58 „TCONT_CP“*. Da bi se koristio integrisani PID regulator, potrebno je prilikom konfigurisanja CPU jedinice tačno odrediti ciklus izvršavanja pojedinih organizacionih blokova. Za izvršavanje PID algoritma, koristi se organizacioni blok OB35. S obzirom da se radi o sporom procesu, učestanost izvršavanja ovog bloka ne treba biti velika, dovoljno je da period izvršavanja bude 50 ms ($> Properties > Cyclic Interrupts > Execution > 50 > OK$).

S obzirom da se radi o obradi signala sa analognih ulaza potrebno je izvršiti podešavanja o kom tipu analognog ulaza je riječ. U programskom paketu *SIMATIC Manager* tip mjerenja i nazivni raspon zadaje se za pojedinu grupu kanala prilikom konfiguracije hardvera („*HW Config*“) (Sl. 6) [4]



Slika 6 Prozor za podešavanje tipa mjerena i nazivnog raspona napona

Program se piše u OB35 bloku i njegovo ciklično ponavljanje je neophodno upravo zbog pravilnog izvršavanja PID algoritma. Promjena ciklusa izvršavanja jednog ili drugog bloka, može dovesti do promjena u ponašanju procesa, pa čak i do nestabilnosti promjenljive procesa x . Da bi se realizovao PID regulator u granu bloka OB35 se ubacuje „*Function block FB58*“. Ovaj blok se nalazi u *Libraries-Standards Library-PID control Blocks*. Kada se blok ubaci u granu daje mu se ime DB58 pri čemu se automatski kreira blok podataka DB58. Izgled *FB58 „TCONT_CP“* bloka ukoliko se programiranje vrši u leder dijagramu izgleda kao na Sl.7. Na strani ulaza ovog bloka podešeni su parametri: *PV_PER-PIW262* – memorijska promjenljiva tipa dvostruka riječ u kojoj je sačuvana analogna vrijednost signala dobijena sa temperaturnog senzora; parametar *SELECT=2* (s obzirom da je potreban impulsni izlaz, potrebno je aktivirati funkciju *PULSAGEN* podešavanjem ovog parametra). Impulsi koje generiše regulator (*PWM*) prilagođavaju se digitalnom izlazu PLK, pa se podešava *QPULSE=Q0.1* radi upravljanja grijačem



Slika 7 Izgled *FB58 „TCONT_CP“* bloka u leder dijagramu

pomoću releja. Ostali parametri se mogu unositi u blok podataka *DB58* prilikom on-line režima rada ili pomoću tabele promjenljivih *Variable table* (Sl. 8).

Nakon kreiranja organizacionog bloka OB35 pristupa se podešavanju parametara PID regulatora. Dvostrukim klikom na *DB58* otvara se prozor kao na Sl. 4. U poljima *Proportional Gain* (proporcionalno dejstvo), *Integral time* (integralno dejstvo) i *Derivative time* (diferencijalno dejstvo) date vrijednosti su 16, 83 i 20 koje predstavljaju proračunate vrijednosti PID parametara za ovaj proces.

Takođe se bira da li regulator prati trenutno izmjerenu vrijednost sa analognog ulaza *PIW* ili internu vrijednost *PV*. Zadana vrijednost, kao i režim rada (ručno ili automatski) podešavaju se u on-line režimu u prozoru *Commissioning* ili pomoću tabele promjenljivih sa Sl. 8.

Address	Symbol	Display format	Status value	Modify value
1	#KONTROLER			
2				
3	DB58.DBD 34	"DB58" SP_INT	FLOATING_POINT	59.0
4	DB58.DBD 14	"DB58" PV	FLOATING_POINT	24.65278
5	DB58.DBD 18	"DB58" LMI	FLOATING_POINT	100.0
6	DB58.DEX 42.1	"DB58" MAN_ON	BOOL	false
7	DB58.DBD 38	"DB58" MAN	FLOATING_POINT	100.0
8	DB58.DBD 26	"DB58" CYCLE	FLOATING_POINT	0.02
9	#PARAMETRI			
10	DB58.DBD 162	"DB58" PFAC_SP	FLOATING_POINT	1.0
11	DB58.DBD 166	"DB58" GAN	FLOATING_POINT	10.0
12	DB58.DBD 170	"DB58" TI	FLOATING_POINT	109.0
13	DB58.DBD 174	"DB58" TD	FLOATING_POINT	27.0
14	DB58.DBD 182	"DB58" CON_ZONE	FLOATING_POINT	3.61314
15	DB58.DEX 186.0	"DB58" CONZ_ON	BOOL	true
16	DB58.DEX 186.6	"DB58" PID_ON	BOOL	false
17	DB58.DEX 186.5	"DB58" LOAD_PID	BOOL	false
18	#PODEŠAVANJE			
19	DB58.DEX 186.1	"DB58" TUN_ON	BOOL	false
20	DB58.DEX 186.2	"DB58" TUN_ST	BOOL	false
21	DB58.DBD 84	"DB58" TUN_DLMN	FLOATING_POINT	20.0
22	DB58.DBW 108	"DB58" PHASE	DEC	0
23	DB58.DBW 110	"DB58" STATUS_H	DEC	0
24	DB58.DBW 112	"DB58" STATUS_D	DEC	0
25				

Slika 8 Tabela promjenljivih u on-line režimu

Odziv temperature na skokovitu promjenu referentne veličine je snimljen opcijom *Curve Recorder* koja je sastavni dio aplikacije za podešavanje osnovnih parametara PID algoritma. Na Sl. 9 je prikazano ponašanje sistema prilikom dostizanja zadate temperature 59 °C kada se koriste parametri: $K_p = 16$ i $T_I = 83$ i $T_D = 20$. Nakon što je sistem ušao u stacionarno stanje pri zadatoj temperaturi od 59 °C desio se poremećaj, odnosno u rezervoar je doliveno 2 l hladne vode. Sistem je reagovao tako što se uključio grijač i ponovo težio uspostavljanju stacionarnog stanja i to se jasno vidi na Sl. 9.



Slika 9 Dostizanje zadate vrijednosti i reagovanje sistema na poremećaj (dolivanje 2l hladne vode)

S obzirom da se vrlo jednostavno mogu mijenjati parametri PID regulatora, jednostavno se može posmatrati kako bi se proces ponašao i da kontroler ima samo proporcionalno ili samo proporcionalno-integralno dejstvo, te šta se dešava za druge vrijednosti parametara PID regulatora.

ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen programski PID regulator integrisan u PLK proizvođača *Siemens*. Prikazan je način konfiguracije i samo djelovanje PID regulatora integrisanog u programabilni logički kontroler serije S7 300. Zadatak je riješen korišćenjem funkcijskog bloka *FB58 „TCONT_CP“*. Iz prikazanih rezultata jasno je da upotreba ovog funkcijskog bloka nosi veliki broj prednosti. Najvažnija, koja je došla sa pojavom programabilnih logičkih kontrolera, jeste jednostavnija regulacija, odnosno mogućnost regulacije bez upotrebe dodatnih uređaja i ožičenja. Druga bitna prednost ovog funkcijskog bloka je jednostavno programiranje, obzirom da je sa samo jednim funkcijskim blokom omogućena precizna regulacija kombinacijom dva načina regulacije: impulsne i PID regulacije. Ostavljen je prostor i za dalja istraživanja u ovoj oblasti, naime mogu se vršiti poređenja odziva funkcije prenosa ovog procesa za različite vrijednosti parametara PID

regulatora, kako u simulacijama, tako i eksperimentalno. Moguće je korišćenjem drugog PLK uređaja primijeniti i čisto analognu upravljanje izvršnim organom, odnosno grijačem i sl.

ZAHVALNICA

Posebnu zahvalnost autorke duguju Prof. dr Slobodanu Luburi, koji je pružio punu podršku prilikom izrade rada, a koji je i mentor završnog rada Dragane Ružić pod nazivom: „Primjena PI/PID regulatora integriranih u programabilni logički kontroler u procesu regulacije temperature“, koji je poslužio kao osnova za pisanje ovog rada.

LITERATURA

- [1] http://laris.fesb.hr/digitalno_vodjenje/text_5-5.htm
- [2] *PID Controller for Time-Deley Systems* Guillermo J Silva, Aniruddha Datta, Shankar P.Bhattacharyya, USA
- [3] *SIMATIC PID Temperature Control Manual*
- [4] SIEMENS SIMATIC – “Controller S7-300 brochure”, Edition 04/2004
- [5] “The temperature control system using PLC”, Mohd Zulhelmi Bin Halim, maj 1987
- [6] <https://support.industry.siemens.com>

ABSTRACT

In this paper is described way of precise temperature regulation using PID controller integrated in PLC Siemens S7-300. FESTO MPS® PA Compact station is use for an experiment, while it has all elements of industrial system as heater, temperature sensor, fluid tank. Solving the problem of the maintenance of temperature within certain limits it is clarifies the concept of impulse and PID control, the use of analog modules PLC Siemens S7-300, the method of adjusting the parameters of the functional block *FB58 "TCONT CP"*, which realizes PID controller, and the method of adjusting of PID controller parameters. At the end experimental results are presented.

Key words - PID regulation; Impulse regulation; PLC Siemens S7-300; *FB58 „TCONT_CP“*

USING PI/PID CONTROLLER INTEGRATED IN PLC FOR TEMPERATURE REGULATION

Dragana Ružić
Milica Ristović Krstić