

Vodenje toplotne modelne naprave ARMFIELD PCT-13

Primož Bergoč, Gregor Cijan, Matija Klinkon
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Tržaška 25, 1001 Ljubljana, Slovenija
primoz.bergoc@guest.arnes.si, gregor.cijan@guest.arnes.si, m.klinkon@sreu.si

POVZETEK

V projektu je uporabljena modelna naprava Armfield PCT-13. Regulacija je izvedena s pomočjo diskretnega PI regulatorja, ki je realiziran na PLK. Regulator regulira odprtost ventila, ki spreminja pretok ogrevalne vode skozi toplotni izmenjevalnik. Celoten nadzor in spremljanje pa je omogočeno v nadzornem sistemu, ki je s procesom povezan preko OPC strežnika.

ABSTRACT

In our project a pilot plant Armfield PCT-13 is used, which is connected to a PLC. The control valve, which adjusts the flow through the heat exchanger, is controlled by the discrete PI regulator, which is realised on the PLC. The entire system is supervised by the SCADA system.

1. Uvod

Ogrevanje tekočin je eden najpogostejših procesov tako v vsakdanjem življenju, kot v procesni industriji. Velikokrat se za ogrevanje uporabljajo toplotni izmenjevalniki, saj preprečujejo mešanje tekočin ter omogočajo izdelavo ogrevalnega sistema s pomočjo centralnih kurilnic.

Toplotni izmenjevalnik je glavni sestavni del modelne toplotne naprave Armfield PCT-13, ki se uporablja za preučevanje sistema za ogrevanje vode. Obravnavani sistem ogreva mrzlo vodo (iz vodovodnega omrežja) na želeno (referenčno) temperaturo. Proces ogrevanja je nelinearen, zato je potrebno izdelati diskretne

regulatorje za več različnih delovnih območij. Diskretni regulator je izdelan na Mitsubishijevem programirljivem logičnem krmilniku (PLK) MELSEC tip A3N. PLK je povezan z nadzornim računalnikom preko strežnika OPC, tako da je omogočen celoten nadzor preko nadzornega sistema.

2. Opis sistema in delovanje

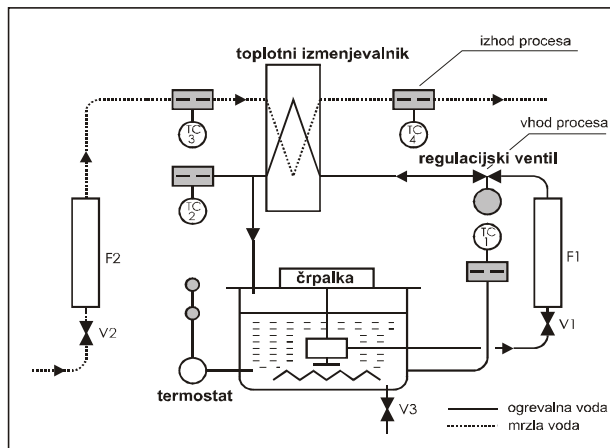
Glavni del naprave Armfield PCT-13 (slika 1) je miniaturni lamelni toplotni izmenjevalnik (slika 2), v katerem s pomočjo ogrevalne vode ogrevamo mrzlo vodo. V sistemu sta torej dva tokokroga: krog s ogrevalno tekočino (primarni) ter krog s procesno tekočino (sekundarni).

Primarni tokokrog je zaprti tokokrog, v katerem ogrevalno vodo (ogrevamo jo z električnim grelcem) črpa potopna črpalka iz rezervoarja preko ventila (V1) in rotametra (F1) ter regulacijskega ventila v toplotni izmenjevalnik. V njem voda odda toploto mrzli vodi ter teče nazaj v rezervoar.

V sekundarni tokokrog priteče mrzla voda (procesna tekočina) iz vodovodnega omrežja, ter teče preko ventila (V2) in rotametra (F2) v toplotni izmenjevalnik. Po ogrevanju teče voda na drugi strani iz izmenjevalnika v vodovodni odtok.

Na vstopu in izstopu iz toplotnega izmenjevalnika so štirje termočleni TC1, TC2, TC3, TC4, ki preko pretvorniškega modula pretvarjajo temperature tekočin v napetost od 0 V do 1 V (0 °C – 100 °C).

Opisan sistem je tipičen multivariabilen sistem s križnimi povezavami med obema temperaturama na vhodu ter temperaturama na izhodu izmenjevalnika. Sistem lahko



Slika 1: Shema modelne naprave Armfield PCT-13 [3]

poenostavimo v univariabilen, če so vhodna temperatura in pretok procesne vode (mrzle vode) ter temperatura ogrevalne vode konstantne. V tem primeru se lahko regulira temperaturo procesne vode samo z regulacijo pretoka ogrevalne vode (s pomočjo regulacijskega ventila).

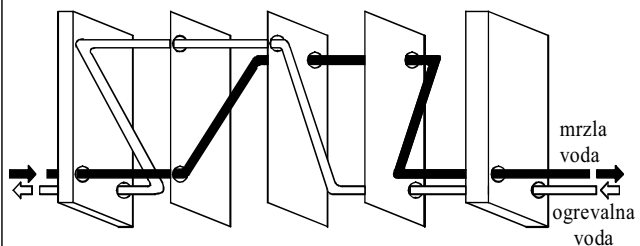
Pri izdelavi regulacijskega sistema sta uporabljena le dva termočlena TC1 (temperatura v rezervoarju) ter TC4 (izhodna temperatura procesne vode). Ta dva izhoda sta tudi zvezna analogna vhoda v PLK. Izhoda PLK-ja pa sta binarni signal za vklopjanje in izklopjanje grelca ter zvezni tok od 4 do 20 mA (regulirna veličina), s pomočjo katerega se regulira odprtost regulacijskega ventila.

3. Regulator

Za vodenje sistema sta uporabljena dva regulatorja.

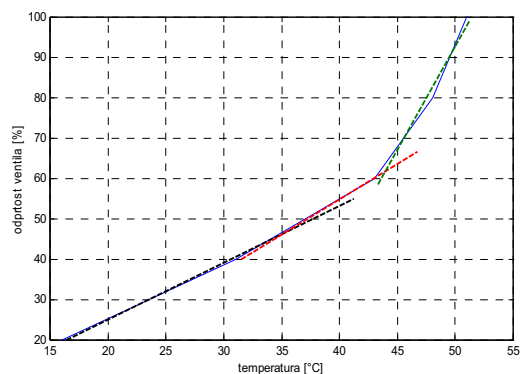
ON-OFF regulator vkloplja in izkloplja grelec in s tem vzdržuje temperaturo vroče vode na 61°C. Regulator ima histerezni prekop, saj se s tem doseže enkratni izklop oz. vklop grelca pri temperaturi višji oz. nižji od 61°C.

Pri regulaciji segrevanja mrzle vode pa je problem kompleksnejši. Sistem je nelinearen, kar se vidi iz statične karakteristike (slika 3), zaradi tega en regulator v celotnem delovnem območju ne bo optimalno deloval. Iz statične karakteristike se vidi (območja, kjer je karakteristika dokaj linearna), da potrebujemo najmanj tri regulatorje in to na območjih 17-



Slika 2: Lamelni toplotni izmenjevalnik [3]

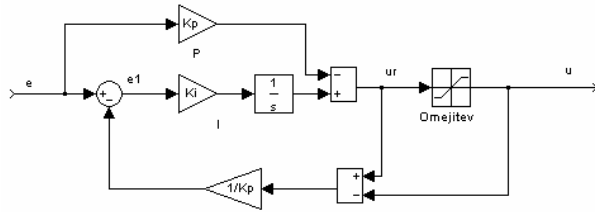
35°C, 35-44°C in 44-51°C. Problemu izdelave treh različnih regulatorjev smo se izognili tako, da smo izdelali en PI regulator s spremenljivimi parametri, kateri so se spreminjali v odvisnosti od trenutne temperature mrzle vode. Preklopi med parametri so izvedeni na mejnih vrednostih zgoraj navedenih intervalov, znotraj intervala pa se parametri ne spreminjajo. Kljub začetnim pomislekom na izvedbo takega načina preklopa, se je kasneje izkazalo, da regulator deluje brez težav tudi pri referenčnih vrednostih, ki so enake vrednostim preklopa med parametri.



Slika 3: Statična karakteristika

Izhod regulatorja je odprtost regulacijskega ventila, ker pa je dinamično področje delovanja ventila omejeno (ventil reguliramo med popolnim zaprtjem in popolnim odprtjem) lahko pride v povezavi z integrirnim členom regulatorja do t.i. integralskega pobega. Za njegovo preprečitev je bilo potrebno v PI

regulator vgraditi zaščito pred integralskim pobegom, kar je prikazano na shemi (slika 4).



Slika 4: Prikaz zveznega PI-regulatorja z zaščito pred integralski pobegom

Vodenje sistema je izvedeno preko programirnega logičnega krmilnika Mitsubishi MELSAC tip A3N, ki pa nima vgrajenega regulacijskega bloka, zato je bilo potrebno regulator zapisati v rekurzivni diskretni obliki, enačba (3). Pri izpeljavi rekurzivne diskretne oblike PI regulatorja z zaščito pred integralskim pobegom smo izhajali iz sheme (slika 4) in njenega zapisa z diferencialno enačbo:

$$u_r(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) - \frac{1}{K_p} (u_r(\tau) - u(\tau)) d\tau \right], \quad (1)$$

kjer je $u(t)$ omejen regulirni signal procesa, $u_r(t)$ signal brez omejitve in $e(t)$ pogrešek izhodnega signala procesa glede na predpisan referenčni signal. Pri tem pomenijo:

K_p – faktor ojačenja proporcionalnega dela
 T_i – časovna konstanta integrirnega dela

Za majhne čase vzorčenja T_0 lahko enačbo (1) pretvorimo v diferencialno obliko, tako da nadomestimo integral z vsoto. Na ta način dobimo enačbo:

$$u_r(k) = K_p \left[e(k) + \frac{T_0}{T_i} \sum_{i=1}^k \left(e(i-1) - \frac{1}{K_p} (u_r(i-1) - u(i-1)) \right) \right] \quad (2)$$

Rekurzivni zapis dobimo tako, da zapišemo enačbo (2) za diskretni časovni trenutek $k-1$ in tako dobljeno enačbo odštejemo od enačbe (2). Rekurzivni diskretni algoritem PI regulatorja z vgrajeno zaščito pred integralskim pobegom predstavlja enačba:

$$u_r(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 u_r(k-1) + q_3 u(k-1) \quad (3)$$

pri tem pa so posamezni parametri

$$q_0 = K_p \quad (4)$$

$$q_1 = -K_p \left(1 - \frac{T_0}{T_i} \right) \quad (5)$$

$$q_2 = 1 - \frac{T_0}{T_i} \quad (6)$$

$$q_3 = \frac{T_0}{T_i} \quad (7)$$

Za preverjanje izpeljave smo izbrali naslednje, da velja $u_r(k) = u(k)$ in $u_r(k-1) = u(k-1)$ in enačba (3) bi dobila naslednjo obliko:

$$u(k) = u(k-1) + q_0 e(k) + q_1 e(k-1) \quad (8)$$

Enačba (8) pa predstavlja znano enačbo navadnega PI regulatorja, kar pa je bilo pri pravilni izpeljavi tudi pričakovati.

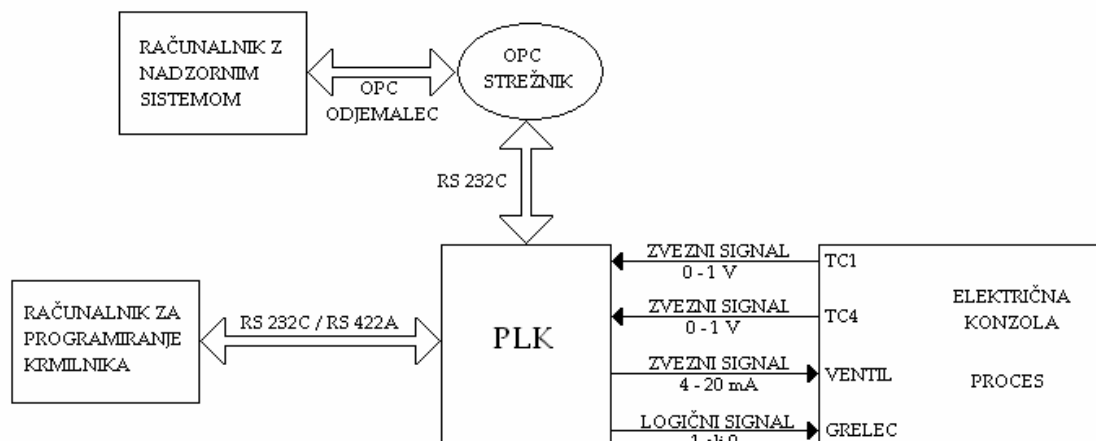
4. Programiranje PLK

PLK je sestavljen poleg procesne enote še iz digitalnega izhodnega modula (vklop in izklop grelca ogrevalne vode), enega analognega vhodnega modula (sprejemanje signalov iz senzorjev temperature), enega analognega izhodnega modula (reguliranje odprtosti regulacijskega ventila) in komunikacijskega modula (komunikacija z OPC strežnikom).

Programiranje PLK je bilo izvedeno s pomočjo lestvičnih diagramov in strukturiranega teksta (podobno programiranje kot v programskem jeziku Pascal).

V lestvičnem diagramu je izvedena inicializacija PLK, sprejemanje in oddajanje podatkov prek vhodno/izhodnih modulov in uporaba časovnikov za zagotavljanje časa vzorčenja $T_0 = 1s$.

V strukturiranem tekstu pa so izvedeni algoritmi obeh regulatorjev, algoritmi za zagotavljanje pravilnega delovanja različnih faz



Slika 5: Shema povezav proces ↔ PLK ↔ OPC strežnik ↔ nadzorni sistem

obratovanja (zagon, zaustavitev, avtomatsko, polavtomatsko in ročno) in algoritmi za javljanje alarmov na nadzornem sistemu.

Problemi so se pojavili pri izvedbi algoritma za diskretni PI regulator, ker procesna enota ne zna računati z decimalnimi števili. Težavo smo rešili tako, da smo vse parametre regulatorja in vhodne signale povečali za stokrat (upoštevali prvi dve decimalki) in regulator je računal s tako skaliranimi vrednostmi. Izhod regulatorja pa smo na koncu delili s sto in tako dobili željeno regulirno veličino.

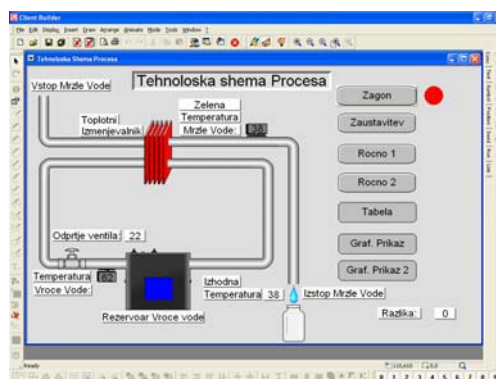
5. Nadzorni sistem

Komunikacija nadzornega sistema in toplotne naprave Armfield PCT-13 poteka na sledeči hierarhični način: Proces ↔ PLK ↔ OPC strežnik ↔ OPC odjemalec ↔ Nadzorni sistem.

PLK je povezan z OPC strežnikom »KEP Server« preko serijskega vhoda RS232C (slika 5), kateri sprejema-pošilja signale kot so temperature vode, odprtost ventila, stanje grelca,... Te signale nato uporablja nadzorni sistem »FactoryLink«, kateri se obnaša kot OPC odjemalec, ki bere signale iz OPC strežnika.

Za nadzorni sistem smo uporabili programski paket »FactoryLink« proizvajalca »USDATA«. V glavnem nadzornem oknu (slika 6) imamo celoten pregled delovanja procesa, povezave v druga okna, katera nam omogočajo različne načine delovanja (polavtomatsko in ročno) ter različne grafične prikaze o delovanju

procesa. Vrednosti pomembnejših signalov se nam shranjujejo v podatkovno bazo SQL.

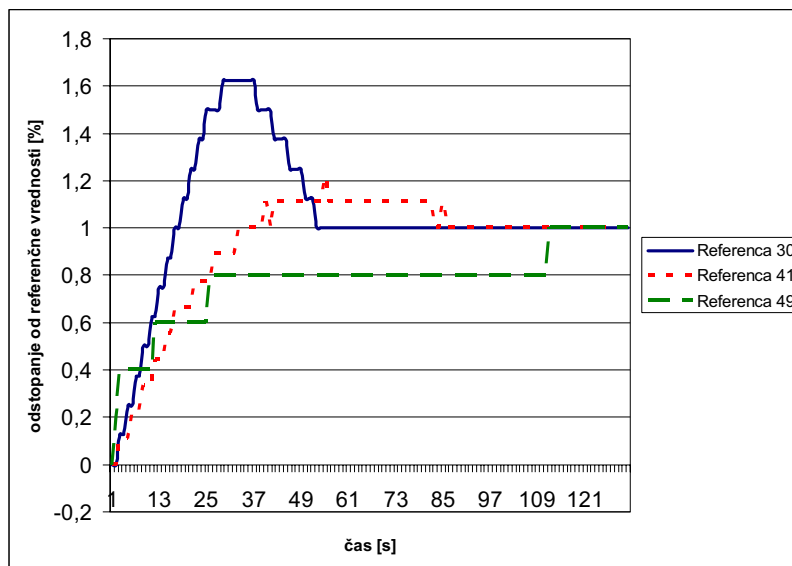


Slika 6: Tehnološka shema procesa

V polavtomatskem načinu delovanja lahko ročno spreminjamo odprtost regulacijskega ventila, medtem ko regulacija ogrevalne vode ostane avtomatska. V ročnem načinu delovanja pa lahko ročno spreminjamo odprtost regulacijskega ventila in vklop ter izklop grelca ogrevalne vode.

6. Rezultati

Na sliki 7 so prikazani prehodni pojavi procesa v različnih delovnih območjih regulatorja. Parametri regulatorja za posamezno delovno območje so določeni z optimizacijo, tako da izhod procesa čim hitreje doseže referenčno vrednost. Hitrosti prehodnih pojavov se zato razlikujejo zaradi samih lastnosti procesa. V prvem delovnem območju se bo procesna tekočina hitreje ogrevala, zaradi večje



Slika 7: Skaliran prehodni pojav v vseh treh delovnih območjih

temperaturne razlike med procesno in ogrevalno tekočino, kot v drugih dveh delovnih območjih.

7. Sklep

Projekt je zelo zanimiv in poučen, saj si z njegovo izdelavo ogledamo, kako se izdelava vse faze avtomatizacije industrijskega procesa (identifikacija procesa, povezave proces-nadzorni sistem, načrtovanje regulatorja, nadzorni sistem,...). Največ problemov je bilo z izdelavo regulatorja, saj izbran PLK nima že vgrajenih regulacijskih blokov.

8. Literatura

- [1] D. Matko: Računalniško vodenje procesov, založba FER, str. 96-98, Ljubljana 1995.
- [2] B. Zupančič: Zvezni regulacijski sistemi, založba FER, str. 247-249, Ljubljana 1996
- [3] G. Mušič: Opredelitev zahtev sistema vodenja, navodila za vajo, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana 2004
- [4] Mitsubishi Electric, MELSEC-A User's Manual.
- [5] USDATA, FactoryLink 7.1 Getting Started Guide, United States Data Corporation, 2002.