

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA

Fakulta chemickej a potravinárskej technológie

**Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky
Oddelenie informatizácie a riadenia procesov**

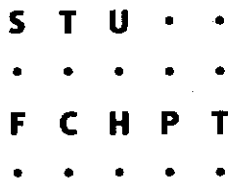
S T U . .
.
F C H P T
.

Riadiaci systém FOXBORO

Vypracovala
Vedúci práce
Konzultant

Radka Doležalová
Ing. Katarína Vaneková
Ing. Branislav Smělík

Bratislava 2008



ZADANIE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Autorka práce: **Radka Doležalová (25552)**
Študijný program: automatizácia, informatizácia a manažment v chémii a potravinárstve
Kombinácia študijných odborov: 5.2.14 automatizácia, 5.2.52 priemyselné inžinierstvo
Vedúca práce: Ing. Katarína Vaneková
Konzultant: Ing. Branislav Smělík
Miesto vypracovania: Bratislava

Názov témy: **Riadiaci systém FOXBORO**


Špecifikácia zadania:

Riadiaci systém Foxboro. Programovanie zložiek a blokov. Vizualizácia v programe Foxview. Návrh riadenia pre sústavu výmenníkov tepla a aplikácia navrhnutého riadenia pomocou priemyselného riadiaceho systému Foxboro.


Rozsah práce: 40


Riešenie zadania práce od: 07. 03. 2008

Dátum odovzdania: 23. 05. 2008


Radka Doležalová
riešiteľka bakalárskej práce




prof. Ing. Dr. Miroslav Fikar
vedúci pracoviska


prof. Ing. Dr. Miroslav Fikar
garant študijného programu

Pod'akovanie

Chcela by som sa poďakovať vedúcej bakalárskeho projektu Ing. Kataríne Vanekovej za odborné vedenie, pripomienky a cenné rady. Zároveň by som sa chcela poďakovať Ing. Branislavovi Smělíkovi za spoluprácu, odborné vedenie a cenné rady.

Abstrakt

Bakalársky projekt sa zaoberá návrhom riadenia sústavy dvoch plášťových výmenníkov tepla pomocou priemyselného riadiaceho systému FOXBORO. Cieľom bolo vytvoriť riadený systém výmenníkov tepla, správne ho naprogramovať v prostredí Integrovaného riadiaceho konfiguratéra a vytvoriť vizualizačné obrazovky v prostredí FoxDraw. Riadený systém je vytvorený pomocou čiastkových prenosov, riadenou veličinou je teplota kvapaliny druhého výmenníka tepla a riadiacou veličinou je teplota ohrevného média vstupujúca do výmenníkov tepla. Práca sa tiež zaoberá nastavením *High Alarmov* a *Low Alarmov* a generovaním *Procesných alarmov*. Práca je taktiež venovaná návrhom PI regulátorov pomocou analytickej metódy a experimentálnych metód a vyhodnoteniu navrhnutých regulátorov.

Abstract

The bachelor project deals with the control of system of two heating exchangers by industrial control system FOXBORO. The project presents created system of the heating exchangers programmed in Integrated Control Configurator and the visualization displays created by graphic editor FoxDraw. Controlled system is realized by partial transfer functions, where controlled value is the temperature of the liquid in the second heating exchanger and action value is the temperature of the heating medium. The project is also engaged on the setting of *High Alarms* and *Low Alarms* and generation of *Process Alarms*. In this project were proposed the PI controllers by an analytical and the experimental methods. The PI controllers were compared from control responses by quality criteria.

Obsah

Úvod.....	7
1. Riadený systém	8
2. Riadiaci systém FOXBORO	13
3. Integrovaný riadiaci konfigurátor	14
3.1. Compoundy a bloky	14
3.2. Parametre compoundov a blokov	17
4. Konfigurácia riadeného systému v ICC	20
4.1. Blok AIN	20
4.2. Blok CALCA.....	21
4.3. Blok PIDA.....	22
4.4. Opis riadeného systému	24
5. Vytvorenie vizualizačnej obrazovky	27
5.1. Alarmy.....	29
5.1.1. Alarmy a stavové hlásenia.....	29
5.1.2. Nastavenie High a Low alarmov.....	30
5.1.3. Alarmovanie bloku a procesu.....	31
5.1.4. Generovanie Procesného alarmu.....	31
6. Návrh regulátora	33
6.1. Identifikácia systému.....	34
6.2. Metódy syntézy regulátora	35
6.2.1. Analytická metóda	35
6.2.2. Experimentálne metódy.....	37
7. Vyhodnotenie	41
Záver.....	43
Zoznam použitej literatúry.....	45
Prílohy	46
Príloha A	46
Príloha B.....	48
Príloha C.....	51
Príloha D	52

Úvod

FOXBORO je riadiaci decentralizovaný systém, ktorý bol vytvorený, aby spĺňal potreby automatizácie u komplikovaných integrovaných systémov. Taktiež patrí do skupiny systémov, ktorých úlohou je efektívne riadenie technologických procesov. Efektívne riadenie zlepšuje schopnosť riadiť, predvídať a reagovať na zmeny podmienok v systéme. Zabezpečuje riadenie procesov, ktoré vyžadujú nepretržitú prevádzku a dokonalú bezpečnosť. FOXBORO I/A Series System je kombináciou flexibility, bezpečnosti a vysokej úrovne zosieťovania.

Cieľom bakalárskeho projektu je navrhnúť riadenie sústavy dvoch plášťových výmenníkov tepla pomocou riadiaceho systému I/A Series FOXBORO.

Obsahová stránka bakalárskeho projektu je rozdelená do siedmich kapitol.

Prvá kapitola sa zaoberá opisom riadeného systému pomocou dynamického matematického modelu a dynamického odchýlkového modelu a vytvorením čiastkových prenosov systému.

Druhá kapitola je venovaná riadiacemu systému FOXBORO. Sú tu uvedené časti systému, ktoré som pri svojej práci využila.

Tretia kapitola približuje Integrovaný riadiaci konfigurátor, ktorý slúži na programovanie riadiaceho systému.

Štvrtá kapitola je postavená na konfigurácii riadeného systému v Integrovanom riadiacom konfigurátore, t.j. sú tu opísané použité bloky a prepojenie jednotlivých blokov.

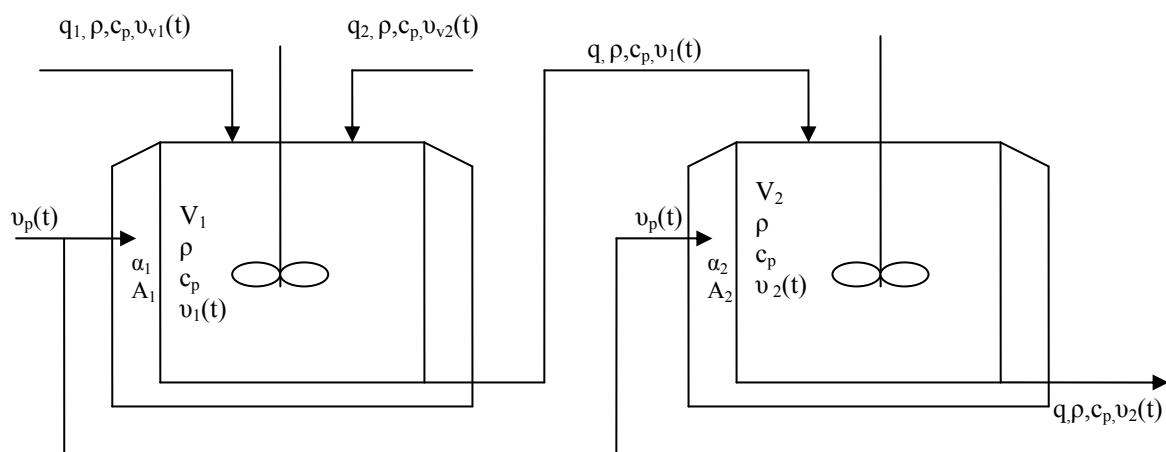
Piata kapitola je zameraná na vytvorené vizualizačné obrazovky a alarmy.

Šiesta kapitola sa zaoberá návrhom PI regulátorov pomocou analytických a experimentálnych metód.

Siedma kapitola je venovaná vyhodnoteniu navrhnutých regulátorov.

1. Riadený systém

Riadený systém (obr.1) predstavuje sústavu dvoch plášťových výmenníkov tepla zapojených sériovo. Jeho vstupné veličiny sú teploty vstupných prúdov ohrievaných kvapalín ϑ_{v1} a ϑ_{v2} , a teplota ohrevného média ϑ_p . Stavové veličiny sú teploty kvapaliny v obidvoch výmenníkoch ϑ_1 a ϑ_2 . Konštantné parametre procesu sú objemové prietoky vstupných prúdov ohrievaných kvapalín q_1 a q_2 , hustota kvapalín ρ , objem kvapalín vo výmenníkoch V_1 a V_2 , hmotnostná tepelná kapacita kvapaliny c_p , plochy prestupu tepla A_1 a A_2 a koeficienty prechodu tepla α_1 a α_2 .



Obr.1 Schéma plášťových výmenníkov tepla

Tab.1 Parametre výmenníkov tepla:

Parametre výmenníkov	Hodnota	Parametre výmenníkov	Hodnota
α_1 [kJ/min.m ² .K]	72	α_2 [kJ/min.m ² .K]	72
A_1 [m ²]	14	ρ [kg/m ³]	900
V_1 [m ³]	4	V_2 [m ³]	6
q_1 [m ³ /s]	0,4	A_2 [m ²]	17
q_2 [m ³ /s]	0,6	ϑ_{v1}^s [°C]	15
$q = q_1 + q_2$	1	ϑ_{v2}^s [°C]	25
c_p [J/kg.K]	3,84	ϑ_p^s [°C]	100

Systém výmenníkov tepla (tab.1, obr.1) môžeme opísať pomocou dynamického matematického modelu.

Dynamický matematický model výmenníkov tepla

Dynamický matematický model (DMM) systému výmenníkov tepla (obr.1) som odvodila z entalpických bilancií za týchto predpokladov:

- zanedbané tepelné kapacity stien výmenníkov
- zanedbané straty tepla do okolia (výmenníky sú dokonale izolované)
- kvapalina vo výmenníkoch je dokonale premiešavaná
- parametre (hustota a tepelná kapacita) sú konštantné
- prietok ohrievanej kvapaliny je konštantný

Znenie entalpickej bilancie: „Súčet vstupujúcich tepelných tokov sa rovná súčtu vystupujúcich tepelných tokov a rýchlosti akumulácie tepla v systéme“ [1].

$$\begin{aligned} q_1 \rho c_p \vartheta_{v1}(t) + q_2 \rho c_p \vartheta_{v2}(t) + \alpha_1 A_1 (\vartheta_p(t) - \vartheta_1(t)) &= q \rho c_p \vartheta_1(t) + V_1 \rho c_p \frac{d\vartheta_1(t)}{dt} & \vartheta_1(0) &= \vartheta_1^s \\ q \rho c_p \vartheta_1(t) + \alpha_2 A_2 (\vartheta_p(t) - \vartheta_2(t)) &= q \rho c_p \vartheta_2(t) + V_2 \rho c_p \frac{d\vartheta_2(t)}{dt} & \vartheta_2(0) &= \vartheta_2^s \end{aligned} \quad (1)$$

Veličiny pre model výmenníkov tepla:

vstupné: $\vartheta_{v1}(t), \vartheta_{v2}(t), \vartheta_p(t)$

stavové: $\vartheta_1(t), \vartheta_2(t)$

výstupné: $\vartheta_1(t), \vartheta_2(t)$

V dynamickom matematickom modeli som úpravou rovníc (1) zadefinovala časové konštanty a zosilnenia. Časová konštantu udáva, ako rýchlo sa po skokovej zmene vstupnej veličiny ustáli výstup na novej hodnote. Zosilnenie určuje hodnotu, na akej sa ustáli výstupná veličina, keď na vstupe do systému realizujeme jednotkový skok [2].

Dynamický matematický model má potom tvar:

$$\begin{aligned} T_1 \frac{d\vartheta_1(t)}{dt} + \vartheta_1(t) &= Z_{11} \vartheta_p(t) + Z_{12} \vartheta_{v1}(t) + Z_{13} \vartheta_{v2}(t) & \vartheta_1(0) &= \vartheta_1^s \\ T_2 \frac{d\vartheta_2(t)}{dt} + \vartheta_2(t) &= Z_{12} \vartheta_p(t) + Z_{22} \vartheta_1(t) & \vartheta_2(0) &= \vartheta_2^s \end{aligned} \quad (2)$$

kde

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{V_1 \rho c_p}{q \rho c_p + \alpha_1 A_1}, & Z_{11} &= \frac{\alpha_1 A_1}{q \rho c_p + \alpha_1 A_1}, & Z_{12} &= \frac{q_1 \rho c_p}{q \rho c_p + \alpha_1 A_1}, & Z_{13} &= \frac{q_2 \rho c_p}{q \rho c_p + \alpha_1 A_1} \\ T_2 &= \frac{V_2 \rho c_p}{q \rho c_p + \alpha_2 A_2}, & Z_{21} &= \frac{\alpha_2 A_2}{q \rho c_p + \alpha_2 A_2}, & Z_{22} &= \frac{q \rho c_p}{q \rho c_p + \alpha_2 A_2} \end{aligned} \quad (3)$$

Pri parametroch výmenníkov tepla (tab.1) majú zosilnenia a časové konštanty hodnoty:

$$\begin{aligned} T_1 &= 3,0968 \text{ min}, & Z_{11} &= 0,2258, & Z_{12} &= 0,3097, & Z_{13} &= 0,4645 \\ T_2 &= 4,4308 \text{ min}, & Z_{21} &= 0,2615, & Z_{22} &= 0,7385 \end{aligned} \quad (4)$$

Výmenníky tepla budú v ustálenom stave, ak v nich nebude dochádzať k akumulácii tepla, t.j.

$$\frac{d\vartheta(t)}{dt} = 0 \quad (5)$$

Predpokladom sú ustálené teploty na vstupoch do výmenníkov tepla $\vartheta_{v1}^s, \vartheta_{v2}^s, \vartheta_p^s$. Z rovníc (2)

som vypočítala teploty výmenníkov tepla v ustálenom stave

$$\vartheta_1^s = Z_{11} \vartheta_p^s + Z_{12} \vartheta_{v1}^s + Z_{13} \vartheta_{v2}^s = 38,84^\circ \text{C} = 311,84 \text{K} \quad (6)$$

$$\vartheta_2^s = Z_{21} \vartheta_p^s + Z_{22} \vartheta_1^s = 54,84^\circ \text{C} = 327,84 \text{K} \quad (7)$$

Dynamický odchýlkový model výmenníkov tepla

Dynamický matematický model výmenníkov tepla (2) je lineárny, preto ho netreba linearizovať. Pre vytvorenie dynamického odchýlkového modelu (DOM) lineárneho systému stačí nahradiť jednotlivé veličiny odchýlkovými veličinami. Odchýlkové veličiny dostaneme, keď od veličín pre model výmenníkov tepla odčítame ich rovnovážne stavy.

$$\begin{aligned} T_1 \frac{dx_1(t)}{dt} + x_1(t) &= Z_{11} u_1(t) + Z_{12} u_2(t) + Z_{13} u_3(t) & x_1(0) &= 0 \\ T_2 \frac{dx_2(t)}{dt} + x_2(t) &= Z_{21} u_1(t) + Z_{22} x_1(t) & x_2(0) &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

kde

$$\begin{aligned} x_1(t) &= \vartheta_1(t) - \vartheta_1^s & u_1(t) &= \vartheta_p(t) - \vartheta_p^s \\ x_2(t) &= \vartheta_2(t) - \vartheta_2^s & u_2(t) &= \vartheta_{v1}(t) - \vartheta_{v1}^s \\ & & u_3(t) &= \vartheta_{v2}(t) - \vartheta_{v2}^s \end{aligned} \quad (9)$$

Rovnice výstupu majú tvar:

$$\begin{aligned} y_1(t) &= x_1(t) \\ y_2(t) &= x_2(t) \end{aligned} \tag{10}$$

Pomocou vytvorenej simulinkovej schémy vymenniky.mdl (obr.2) v MATLABe som sledovala dynamické vlastnosti výmenníkov tepla. Najskôr som si overila vypočítané rovnovážne stavy, a potom som sledovala ustálenie teploty 2.výmenníka po skokovej zmene vstupnej veličiny, ktorou je teplota ohrevného média \mathcal{G}_p . Schéma je vytvorená pomocou čiastkových prenosov systému. Tieto prenosy som vytvárala pre teploty vystupujúce z výmenníkov tepla a jednotlivé teploty prúdov, ktoré do nich vstupujú.

Prenos je definovaný ako podiel Laplaceovho obrazu výstupnej veličiny a Laplaceovho obrazu vstupnej veličiny pri nulových začiatočných podmienkach. Po odvodení má tvar zlomku s polynómom v čitateli i menovateli, pričom u fyzikálne realizovateľných systémoch stupeň polynómu v čitateli musí byť menší alebo rovný stupňu polynómu v menovateli [2].

Prenosy som odvodila z rovníc (8) tak, že pri odvodení každého prenosu som zanedbávala ostatné teploty vstupujúcich prúdov:

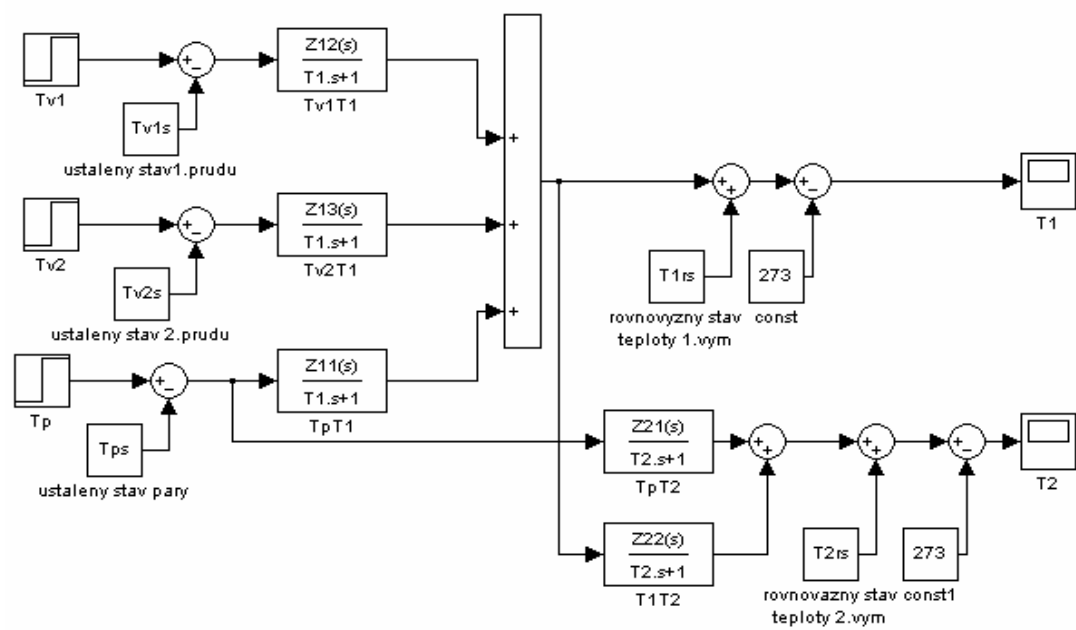
$$G_{Y1,U1}(s) = \frac{Z_{11}}{T_1 s + 1} \quad U_2(s) = U_3(s) = 0 \tag{11}$$

$$G_{Y1,U2}(s) = \frac{Z_{12}}{T_1 s + 1} \quad U_1(s) = U_3(s) = 0 \tag{12}$$

$$G_{Y1,U3}(s) = \frac{Z_{13}}{T_1 s + 1} \quad U_1(s) = U_2(s) = 0 \tag{13}$$

$$G_{Y2,U1}(s) = \frac{Z_{21}}{T_2 s + 1} \quad X_1(s) = 0 \tag{14}$$

$$G_{Y2,X1}(s) = \frac{Z_{22}}{T_2 s + 1} \quad U_1(s) = 0 \tag{15}$$



Obr.2 Schéma vymenniky.mdl

2. Riadiaci systém FOXBORO

FOXBORO je decentralizovaný riadiaci systém. Tento systém bol vytvorený, aby spĺňal potreby automatizácie u komplikovaných integrovaných systémov. Taktiež patrí do skupiny systémov, ktorých úlohou je efektívne riadenie technologických procesov. Efektívne riadenie zlepšuje schopnosť riadiť, predvídať a reagovať na zmeny podmienok v systéme. Zabezpečuje riadenie procesov, ktoré vyžadujú nepretržitú prevádzku a dokonalú bezpečnosť. FOXBORO I/A Series System je kombináciou flexibility, bezpečnosti a vysokej úrovne zosieťovania.

Časti riadiaceho systému FOXBORO, ktoré som využívala:

- ICC Integrovaný riadiaci konfiguratör (Integrated Control Configurator) slúži na programovanie riadiaceho systému. V tomto prostredí sa uskutočňuje tvorba a spájanie blokov v štruktúre compoundu, zmena, kopírovanie a odstraňovanie compoundov a blokov.
- FoxDraw je grafický editor pre vytváranie a zmeny displejov slúžiacich na vizualizáciu dynamiky riadených procesov.
- FoxView je rozhraním medzi užívateľom a procesom.
- FoxSelect umožňuje zobrazenie zoznamu compoundov a blokov spolu so zobrazením ich stavov. Používa sa na zapnutie a vypnutie compoundov a ich priradených blokov.
- AIM AT AIM Archive Toolbox zahŕňa programy, ktoré umožňujú archiváciu sledovaných údajov v čase. Umožňuje export archivovaných údajov aj vo forme TXT, ktoré je možné ďalej spracovať v ľubovoľnom programe, napr. MATLAB.

3. Integrovaný riadiaci konfigurátor

Po spustení riadiaceho systému FOXBORO I/A Series sa otvorí komunikačné okno v prostredí FoxView. Prostredie tohto riadiaceho systému je rozdelené z dôvodu zabezpečenia na niekoľko úrovní, podľa zadefinovaných prístupových práv. Prechod medzi jednotlivými úrovňami je možný pomocou ikony *Change Environment*, klávesovej skratky CTRL+E alebo výberom z hlavnej ponuky, pričom celá cesta je nasledovná: *File* → *Change Environment*. Po kliknutí na položku *Change Environment* sa zobrazí zoznam možných úrovní oprávnení. Najvyššia úroveň oprávnení – *soft_eng* (softvérový inžinier) – umožňuje programovať riadiaci systém v prostredí integrovaného riadiaceho konfigurátora (ICC). Riadenie procesov systémom I/A Series je založená na koncepte compoundov a blokov.

ICC spúšťame z hlavnej ponuky menu:

Config → *Control_Cfg* → *CIO_STN_Cfg* → *Config_STUCHF*

Integrovaný riadiaci konfigurátor sa používa k vytváraniu riadiacich algoritmov.

3.1. Compoundy a bloky

Compound je logický súbor blokov, ktoré uskutočňujú stratégiu riadenia. Blok je súčasťou súboru algoritmov, ktoré plnia určité riadiace úlohy v štruktúre compoundu. Vnútri tejto štruktúry môže byť hocijaký blok v compounde spojený s iným blokom v ďalšom compounde systému[3].

Pri programovaní v I/A Series treba urobiť tieto kroky:

- vytvoriť nový compound
- vybrať vhodné bloky a definovať ich parametre
- navrhnuť vizualizačné rozhranie vo FoxDraw

Compoundy

Funkcie compoundu

Compound podporuje nasledovné funkcie pre bloky:

- prioritu, blokovanie a skupiny procesných alarmov

- sekvenčné hlásenie stavu
- fázovanie

Pravidlá compoundu:

- compoundy môžu byť vytvorené v rovnakej stanici
- bloky v rôznych compoundoch môžu byť navzájom prepojené
- každý compound musí mať jedinečné meno
- compound nemôže prechádzať za vytýčené hranice stanice

Atribúty compoundu

Compound obsahuje nasledovné atribúty:

NAME	užívateľ zdefinuje meno, ktoré musí byť v systéme jedinečné a nemôže byť dlhšie ako 12 znakov. Meno môže byť kombináciou číslíc (0-9), veľkých písmen (A-Z) a podtrhovníka(_)
DESCRIPTOR	32-znakové pole na identifikáciu
ON/OFF	parameter, ktorý umožňuje alebo neumožňuje realizáciu všetkých blokov vo vnútri compoundu, kde 1 = ON; 0 = OFF

Vytvorenie nového compoundu

Nový compound vložíme pomocou položky resp. funkcie *Insert New Compound* z menu *Compound Functions*. Pri vkladaní mena compoundu si prostredie ICC zistí, či compound so zvoleným menom už existuje.

Sprístupnenie compoundu

Compoundy a bloky majú súbor parametrov, ktoré tvoria užívateľské rozhranie. Na získanie prístupu hodnoty parametra compoundu sa používa nasledujúca adresa:

Compound.Parameter

kde:

- compound je maximálne 12-znakové meno tohto compoundu

- parameter je maximálne 6-znakové meno tohto parametra

Bloky

Blok má jeden alebo viac vstupov/výstupov a uskutočňuje preddefinovanú procesnú funkciu, ktorá je špecifikovaná algoritmom. Funkcie môžu byť spojité, ladder logic a sekvenčné, ktoré sa môžu kombinovať a prispôsobovať potrebám užívateľa.

Atribúty blokov

Bloky majú nasledujúce atribúty:

NAME	meno je užívateľom definovaný reťazec, ktorý musí byť jedinečný vnútri compoundu s maximálnou dĺžkou 12 znakov. Meno môže byť kombináciou čísiel (0-9), veľkých písmen (A-Z) a podtrhovníka (_)
TYPE	typ je systémom definované meno(max. 6 znakov), ktoré identifikuje algoritmus funkcie riadenia. V ICC, sa môže vložiť typ bloku priamo, alebo sa vyberie žiadaný typ zo zoznamu blokov. Na zobrazenie zoznamu blokov sa vyberie SHOW z hlavného menu a vyberieme BLOCK TYPE NAMES z menu SHOW

Vytvorenie nového bloku

Nový blok vytvoríme pomocou cesty: *View Blocks/ECBs in this Compound* z ponuky *Compound Functions* → *Insert New Block/ECB*.

Prístup blokov

Aby sme dosiahli prístup k hodnote parametra z výstupu príslušajúceho compoundu, musíme napísať celú cestu :

Compound:Block.Parameter

Prepojenie medzi blokmi v rôznych compoundoch sa môže realizovať rovnakým spôsobom nezávisle od toho, či compoundy sú v tej istej alebo inej stanici. Aby sme spojili buď hodnotu parametra bloku z iného bloku v vnútri compoundu, alebo hodnotu parametra vo vnútri rovnakého bloku, používa sa takáto cesta v ICC:

:Block.Parameter

3.2. Parametre compoundov a blokov

Parametre compoundov a blokov obsahujú hodnoty, ktoré sú typu: *Real*, *String*, *Integer*, *Short Integer*, *Long Integer*, *Boolean*, *Packed Boolean*, *Packed Long* alebo *Charakter*.

Parametre sú definované ako konfigurovateľné, a buď sú spojitelné/nastaviteľné, nespojitelné/nenastaviteľné, alebo ide o kombináciu, ktorá je závislá od compoundu, bloku a stavu.

Konfigurovateľné parametre

Konfigurovateľné parametre sú tie parametre, ktoré môžu byť definované cez integrovaný riadiaci konfiguratör. Môžu byť len zobrazované na displeji alebo aj editovateľné.

Parametre umožňujúce spojenie

Parametre umožňujúce spojenie sú tie parametre prepojenia užívateľa, v ktorých môžu byť zabezpečené a zmeniteľné prepojenia medzi sieťovými stanicami alebo lokálne priame prepojenie vo vnútri tej istej stanice. Každé prepojenie pozostáva z prepojitelného vstupu a výstupu. Výstupné parametre (všetky výstupy sa dajú poprepájať) môžu byť použité ako vstupy, a za vstupné parametre sa považujú vstupy, výstupy alebo oboje. Určité parametre, ktoré môžu byť považované ako vstupy do funkcií, napr. SPT v PIDA bloku, sú nastaviteľné ale nie spojitelné.

Vstupné parametre

Vstupné parametre sú spojitelné typy, ktoré prijímajú údaje z iných spojitelných parametrov cez definovanú cestu spojenia. Ak nie je špecifikovaný zdroj cesty v konfigurácii, potom sa za aktuálny údaj považuje počiatočná prednastavená hodnota alebo nová hodnota cez SET, ktorá sa zavolá ako vstupný parameter. Ak je špecifikovaný zdroj cesty, potom hodnota údaju je vstupný parameter z rovnakého alebo iného bloku, alebo spoločná premenná. Takto sa zabezpečí vstup. Spojením spoločnej premennej do blokového vstupu počas konfigurácie, sa môže vytvoriť dlhodobé zabezpečenie prepojenia medzi vzdialenou aplikáciou programu a blokovým vstupom.

Výstupné parametre

Všetky výstupné parametre sú spojitelné zdroje údajov, ktoré majú zapísanú hodnotu.

Rozoznávame dva typy:

- nastaviteľné
- nenastaviteľné

Nastaviteľnosť nastaviteľných výstupov je riadená bezpečným stavom zapísanej hodnoty. Bezpečný stav je závislý od toho, či blokový operačný mód je nastavený buď ako AUTO, alebo MANUAL.

Parametre neumožňujúce spojenie

Parametre neumožňujúce spojenie nemajú žiadne zapísané údaje a nedajú sa na ne vytvoriť linky. Sú to napr. premenná typu *String* ako je NAME, alebo nenastaviteľné parametre, ktoré sa používajú len v konfiguratore, napr. *block options*.

Editovanie parametrov blokov

Vytvorený blok obsahuje už vopred nastavené hodnoty parametrov. Niektoré parametre podľa potreby treba upraviť tak, aby vyhovovali riadenému systému. Na editovanie parametrov slúži funkcia *Edit All Block/ECB Parameters*.

Staničný Compound/Block

Staničný compound obsahuje jeden staničný blok pre každú riadenú stanicu v systéme. Je inštalovaný v stanici automaticky, keď je načítaná databáza. Tento blok ponúka celkové uloženie údajov pre staničné systémové funkcie. Staničný blok poskytuje informácie o staničných zdrojoch. Je identický pre všetky riadené stanice. Má jedinečné meno v I/A Series sieti.

Staničný compound a blok majú nasledovné obmedzenia:

- compound nemôže byť vymazaný alebo vypnutý,
- blok nemôže byť vymazaný,
- užívateľom vytvorené bloky nemôžu byť pridané ku compoundu [3].

4. Konfigurácia riadeného systému v ICC

Pri konfigurácii systému dvoch plášťových výmenníkov tepla v ICC som vychádzala zo schémy vymenníky.mdl (obr.2). Keďže systém je opísaný vo forme čiastkových prenosov, tak som zvolila bloky typu AIN a sumátory som nahradila blokom typu CALCA. Keď som sa rozhodla riadiť daný systém, tak som túto schému doplnila o regulátor, ktorý predstavuje blok PIDA.

4.1. Blok AIN

Blok AIN (Analog Input Block) prijíma vstupnú hodnotu buď z analógového zariadenia alebo z Intelligent Field Device typu Fieldbus Module (FBM) alebo z Fieldbus Card (FBC), alebo z iného bloku, a konvertuje ju do vhodnej formy, ktorá sa použije v riadiacej stratégii I/A Series. Vstup do bloku je digitalizovaný údaj z Equipment Control Block (ECB) a výstup je hodnota vyjadrená v inžinierskych jednotkách.

Základná operácia

AIN blok prepája do ECB hodnoty z FBM alebo FBC, ktoré prijímajú analógové elektrické signály, pulzové vstupy alebo vstupy frekvencie impulzov.

Každý cyklus, FBM alebo FBC, prenáša hodnoty do priradeného ECB v Riadiacom Procesore, a AIN blok sníma operačné stavy, stav kanála a vstupné dáta z ECB pre určitý bod. Po validácii AIN blok konvertuje dáta do neustále sa meniaceho číselného bodu v inžinierskych jednotkách. Tento výstup je nazvaný v stratégii riadenia ako POINT (PNT).

Parametre AIN bloku

AIN blok obsahuje parametre, ktoré slúžia na vykonávanie jeho preddefinovanej funkcie. Pri mojom modeli som musela zmeniť nasledovné parametre, aby riadený systém fungoval správne.

FLOP parameter výberu, ktorý špecifikuje aký typ filtrovania sa má aplikovať na signál pred tým ako bude poslaný do výstupu PNT. FLOP má nasledovné hodnoty:

- 0 = žiadna filtrácia

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 = filtrovanie 1. rádu ▪ 2 = filtrovanie Butterworth
IOMOPT	parameter špecifikuje, či existuje spojenie medzi blokom a FBM alebo FBC, a ak neexistuje, či môže byť použitý ako vstupný signál alternatívny zdroj Hodnoty: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0 = AIN blok získava vstupné hodnoty z MEAS parametra a upravuje ich podľa hodnôt SCI ▪ 1 = Blok získava vstupné hodnoty zo vstupných bodov FBM alebo FBC, ktoré sú dané parametrami IOM_ID a PNT_NO ▪ 2 = Blok získa vstupné hodnoty z MEAS parametra a spracováva ich podľa parametrov KSCALE, BSCALE, HSCO1, LSCO1 a OSV.
FTIM	predstavuje vstup, ktorý zobrazuje čas v minútach pre výstupnú hodnotu, kým nedosiahne percento z jej konečnej hodnoty po skokovej zmene vstupu. Pre filtrovanie 1. rádu je to približne 63%, pre filtrovanie Butterworth je to 50 %
KSCALE	parameter, ktorý sa používa ako zosilnenie
MEAS	parameter, ktorého hodnota sa používa ako vstup pre blokové operácie vtedy, keď parameter IOMOPT udáva, že nie je pripojený žiadny modul FBM alebo karta FBC
PNT	parameter charakterizujúci výstup z bloku. Reprezentuje analógový výstup po tom, ako boli realizované všetky blokové operácie

4.2. Blok CALCA

Blok CALCA (Advanced Calculator) poskytuje logické funkcie a aritmetické výpočty vnútri jedného integrovaného prostredia.

Základná operácia

Blok CALCA pracuje ako väčšina programovateľných kalkulačiek. Schopnosť modularity a programovania blokových vstupov/výstupov poskytuje úroveň funkčnosti, ktorú dopĺňa ponuka štandardného nastavenia bloku. Jednoduchý výpočet programu je definovaný ako jednoduchý postupný výpočet v každom kroku programu. Každý krok programu obsahuje

operačný kód, ktorý identifikuje, aká operácia má byť použitá a minimálne dva príkazové riadky argumentov. Príkazové riadky argumentov pozostávajú z aktuálnych operandov pre krok, polohy operandov, špecifikácie detailov, ktoré ďalej vylepšujú operačný kód.

Parametre CALCA bloku

Blok CALCA obsahuje nasledovné parametre, ktoré slúžia na matematické operácie.

M01-M24	24 pamäťových zápisov, ktoré poskytujú dočasné uloženie výsledkov operácií
RI01-RI08	8 reálnych vstupov do výpočtov bloku
RO01-RO04	4 reálne výstupy z výpočtov bloku
STEP01-STEP50	50 programovateľných príkazov (typu reťazca veľkosti maximálne 16 znakov), ktoré vykonávajú funkciu kalkulačky

4.3. Blok PIDA

Blok PIDA predstavuje regulátor, ktorý uskutočňuje priebežnú spätnú väzbu PID, súčtové a násobiace riadenie doprednej analógovej slučky. Jeho hlavné vstupy, setpointy a merania sú použité na výpočet výstupu. Spracovávanie premenných je založené na nastavených parametroch – pásmo proporcionality, integračný čas, derivačný čas, doba oneskorenia a relatívne zosilnenie setpointu.

Blok PIDA zahŕňa relatívne zosilnenie aplikované na parameter SPLLAG (setpoint lead/lag). Tento parameter nedovolí dosiahnuť preregulovanie odpoveďou na žiadanú hodnotu, keď regulátor nie je celkom ladený na neodmeraný vplyv zaťaženia. Bez tejto črty by mohlo byť odpoveďou preregulovanie až 50% pri procese s oneskorením. PIDA poskytuje voľbu pre anti-windup.

Parametre PIDA bloku

BCALCI	vstup, ktorý poskytuje počiatočnú hodnotu výstupu pred začiatkom riadenia
ERROR	regulačná odchýlka zodpovedajúca vzťahu: $ERROR = \text{setpoint } SPT - \text{meranie } MEAS$
FBK	vstup, ktorý poskytuje externú integrálnu odozvu. Jeho funkciou je zabránenie wind-up efektu.

INT	parameter udávajúci integračný čas ako reálny vstup v minútach
MALOPT	vstup, ktorý aktivuje alebo deaktivuje alarmy typu High alebo Low. Parameter MALOPT môže mať nasledovné hodnoty: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0 = žiadny alarm ▪ 1 = High a Low alarm ▪ 2 = iba High alarm ▪ 3 = iba Low alarm
MEAS	vstup, ktorý určuje zdroj vstupu bloku alebo riadenú premennú
MEASHI	výstup typu boolean, nastavený ako pravda, ak hodnota parametra MEAS je väčšia ako hodnota daná parametrom MEASHL
MEASHL	vstup, ktorý definuje hodnotu parametra MEAS, po prekročení ktorej sa spustí High absolútny alarm
MEASLI	výstup typu boolean, ktorý je nastavený ako pravda, ak hodnota parametra MEAS klesne pod hodnotu danú parametrom MEASLL
MEASLL	vstup, ktorý definuje hodnotu parametra MEAS, ktorá spustí Low absolútny alarm
MODOPT	konfigurovateľný parameter, ktorým sa zadefinuje regulačný mód. Má nasledujúce hodnoty: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 = P (proporcionálny) ▪ 2 = I (integračný) ▪ 3 = PD (proporcionálny + derivačný) ▪ 4 = PI (proporcionálny + integračný) ▪ 5 = PID (proporcionálny, integračný, derivačný) ▪ 6 = NPID (neovplyvňujúci PID) ▪ 7 = PITAU (proporcionálny, integračný s dopravným oneskorením) ▪ 8 = PIDTAU (proporcionálny, integračný, derivačný s dopravným oneskorením)
OUT	charakterizuje výstup bloku
PBAND	proporcionálne pásmo. Je vyjadrené v percentách. PBAND je percento zmeny intervalu na vstupe, ktoré spôsobí zmenu plného intervalu na výstupe. $(100/PBAND)$ určí zosilnenie regulátora ak sú MEAS a OUT prevedené na percentá intervalu
SPT	setpoint je referenčná premenná, ktorá sa porovnáva so vstupom MEAS na vytvorenie signálu ERROR

4.4. Opis riadeného systému

Celkovo som použila päť blokov typu AIN a každý prislúchal jednému prenosu (11 - 15). Názvy blokov pre jednotlivé prenosi sú:

- TV1T1 – pre vzťah \mathcal{G}_{v1} a \mathcal{G}_1 , (11)
- TV2T1 – pre vzťah \mathcal{G}_{v2} a \mathcal{G}_1 , (12)
- TPT1 – pre vzťah \mathcal{G}_p a \mathcal{G}_1 , (13)
- T1T2 – pre vzťah \mathcal{G}_1 a \mathcal{G}_2 , (14)
- TPT2 – pre vzťah \mathcal{G}_p a \mathcal{G}_2 , (15)

Presné nastavenie parametrov týchto blokov sa nachádza v Prílohe A.

Ďalej som vytvorila 4 bloky typu CALCA, ktoré som pomenovala:

- VYM_1
- VYM_2
- T1
- T2

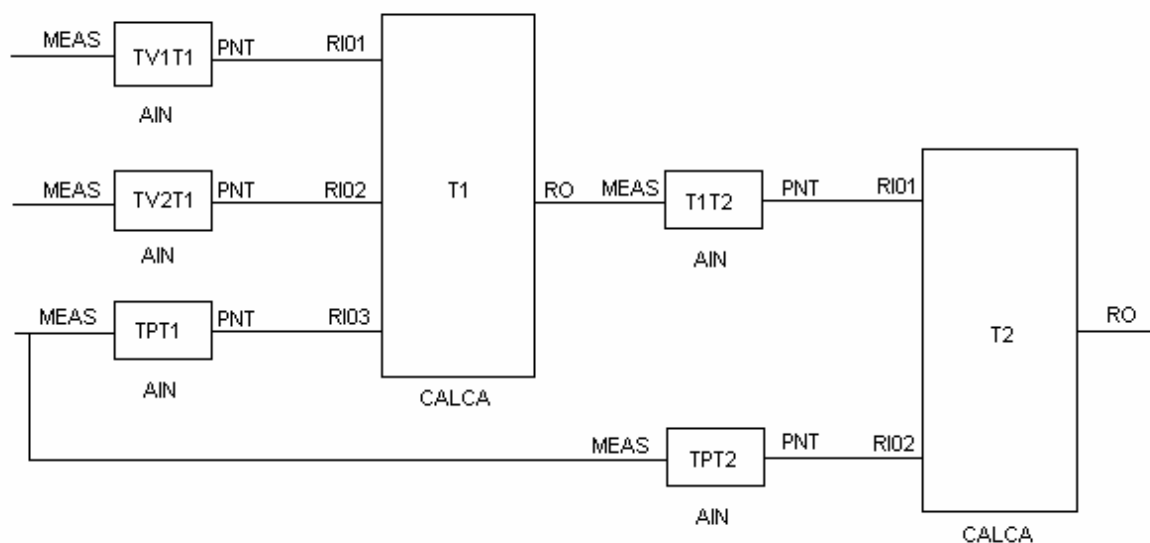
Presné nastavenie parametrov jednotlivých blokov CALCA sa nachádza v Prílohe B.

Na výpočet časových konštánt a zosilnení slúžia CALCA bloky VYM_1 a VYM_2. Vo VYM_1 sa počítajú zosilnenia a časová konštanta pre prvý výmenník tepla (Z_{11} , Z_{12} , Z_{13} a T_1) a vo VYM_2 sa počítajú zosilnenia a časová konštanta pre druhý výmenník tepla (Z_{21} , Z_{22} a T_2) podľa rovníc (3). Adresy týchto časových konštánt a zosilnení som zapísala do príslušných parametrov, t.j. parametre FTIM a KSCALE, prislúchajúcim AIN blokom (Príloha A).

Blok T1 slúži na prepočet teplôt vstupujúcich do systému, ktoré zadáva užívateľ na displeji, zo °Cezia na Kelviny, pretože celý systém pracuje v základných fyzikálnych jednotkách - Kelvinoch. Takto upravené teploty sú použité ako vstupy do AIN blokov. Ďalej slúži na sčítanie výstupov z AIN blokov TV1T1, TV2T1, TPT1 a vytvorený výstup (teplota v prvom výmenníku) je použitý ako vstup do AIN bloku T1T2.

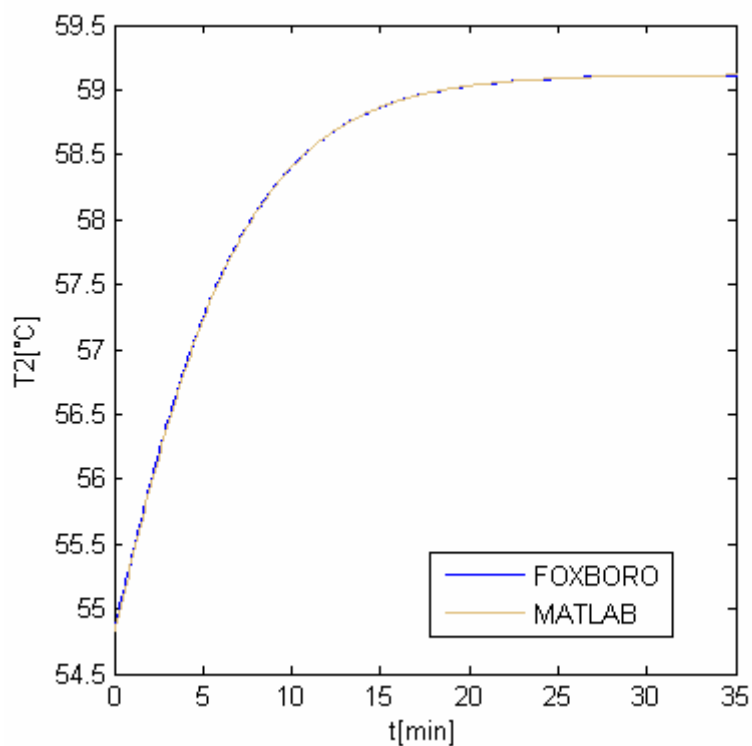
Blok T2 som použila na výpočet teploty v druhom výmenníku a taktiež slúži na prepočet teplôt z Kelvinov na °Cezia. Adresy týchto výstupov som potom použila pri tvorbe vizualizačného rozhrania tak, aby si užívateľ nemusel sám prepočítavať Kelviny na °Cezia.

Prepojenie jednotlivých blokov pomocou vstupných/výstupných parametrov je na obr.3.



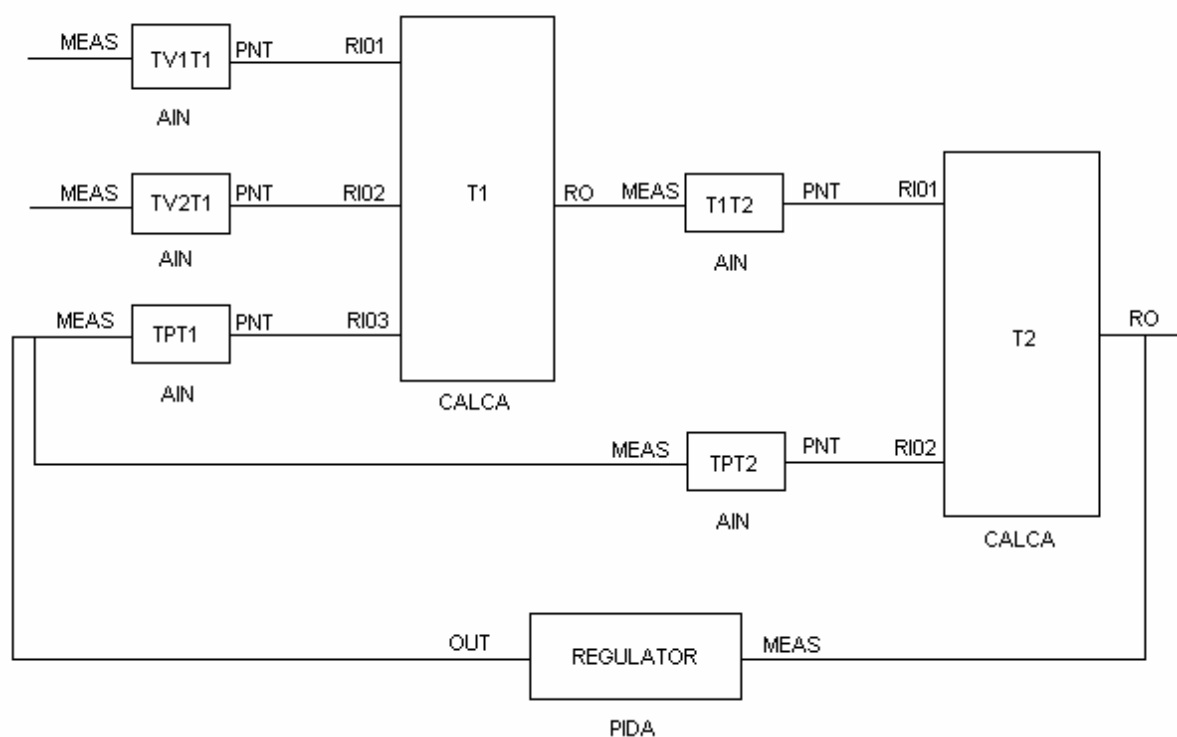
Obr.3 Schéma prepojenia blokov v ICC

Po spustení programu vo FoxView som si overila, či naprogramovaný systém funguje správne porovnaním dát so schémou vymenníky.mdl pri skokovej zmene akčnej veličiny zo 100°C na 110°C. Na obr.4 je znázornené porovnanie dát získaných z MATLABu a FOXRORA.



Obr.4 Systém vytvorený vo FOXBORE a MATLABe

Ako regulátor slúži blok PIDA. Pomenovala som ho REGULATOR. Presné nastavenie parametrov bloku sa nachádza v Prílohe C. Tento blok som pridala k už nakonfigurovaným blokom podľa obr.5. Vstupom do bloku je teplota roztoku v 2. výmenníku v °Celzia, výstupom je teplota ohrevného média, ktorá sa v bloku T1 prepočítava na Kelviny a slúži ako vstup do AIN blokov TPT1 a TPT2. Z displeja sa zadávajú parametre regulátora, ktoré sú spojené s parametrami PBAND a INT a žiadaná teplota, ktorá je spojená s parametrom SPT.



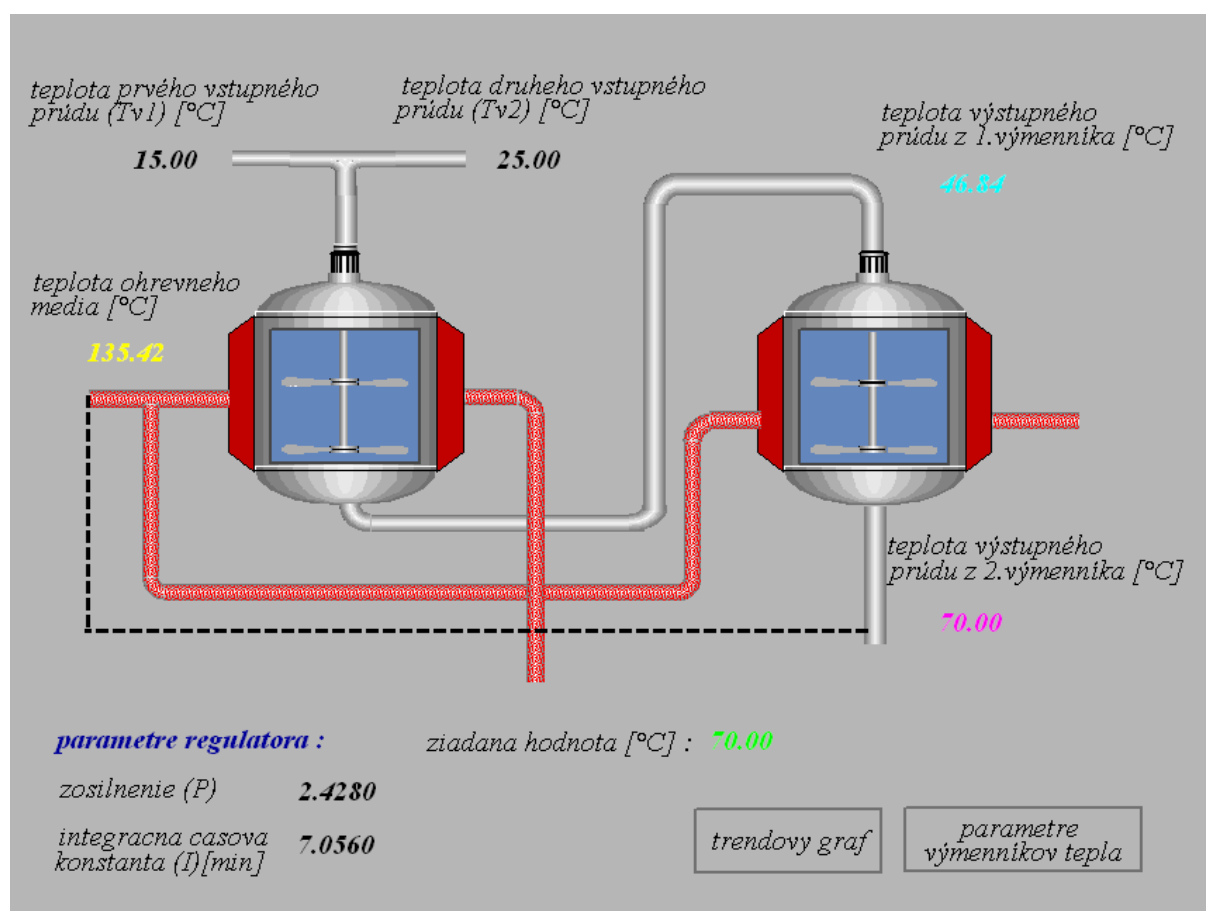
Obr.5 Schéma prepojenia blokov v ICC rozšírená o regulátor

5. Vytvorenie vizualizačnej obrazovky

Na vytvorenie vizualizačnej obrazovky slúži grafický zobrazovací editor FoxDraw. Prístup ku základnej obrazovke FoxDraw je zo základného displeja vybratím funkcie z hlavnej ponuky menu *Config* → *FoxDraw*.

Pomocou tohto editora som vytvorila tri obrazovky, medzi ktorými sa dá prepínať.

Obr.6 reprezentuje základnú schému výmenníkov tepla. Zobrazila som na nej zapojenie výmenníkov s popismi jednotlivých prúdov a ich číselnými hodnotami. Teploty vstupných prúdov sú nakonfigurované tak, aby sa mohla ich hodnota meniť. Teplota ohrevného média, ako aj teploty prúdov vystupujúcich z výmenníkov sú nakonfigurované tak, aby sa ich hodnota len zobrazovala. Ďalej táto obrazovka obsahuje parametre regulátora, ktorých číselné hodnoty sa dajú v priebehu riadenia meniť. Taktiež som tu umiestnila aj pole pre žiadanú teplotu, ktorej adresa je spojená s parametrom SPT bloku PIDA. Táto obrazovka zahŕňa ešte aj dve tlačidlá, ktorými sa dá prepnúť buď na obrazovku, v ktorej sa dajú meniť parametre výmenníkov (obr.7), alebo na obrazovku, kde sú zobrazené priebehy sledovaných teplôt a akčnej veličiny (obr.8).



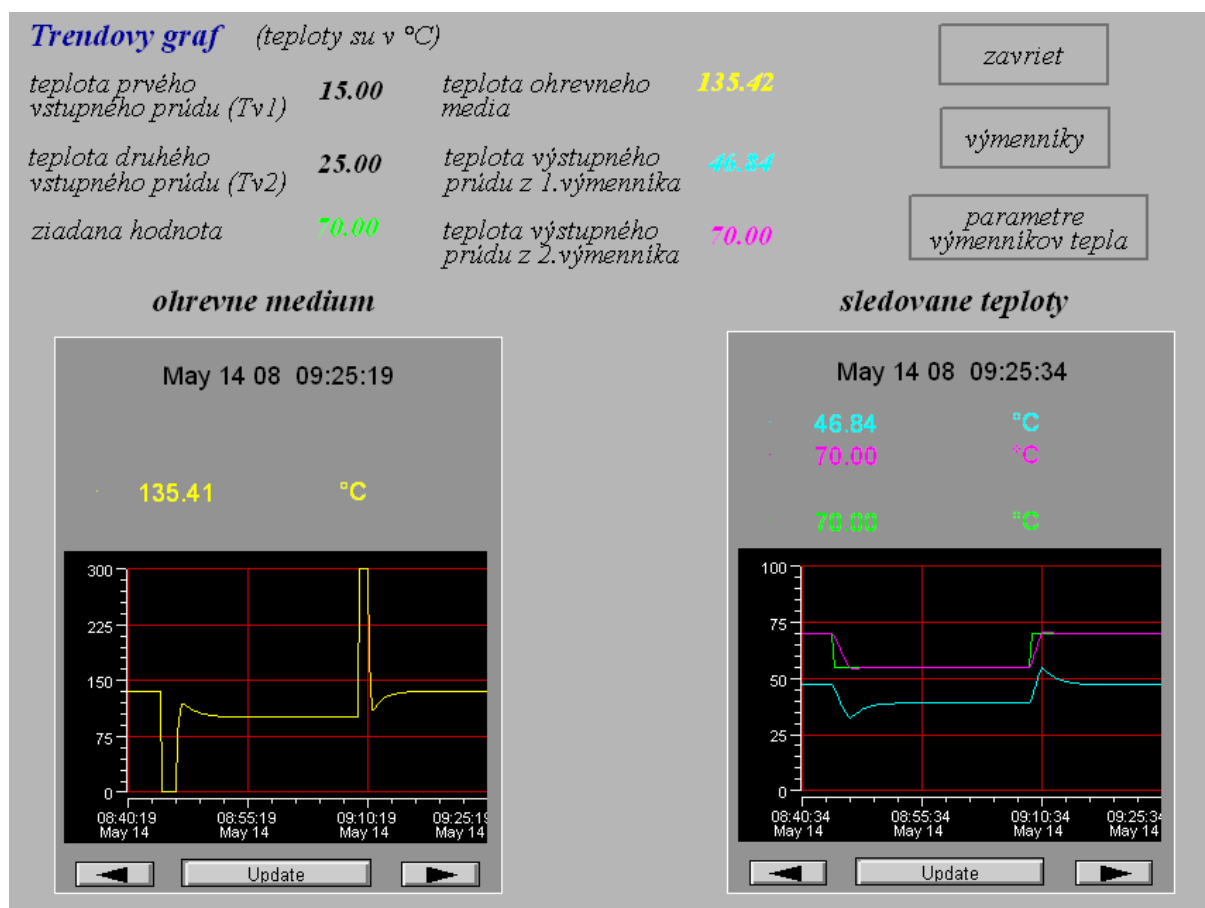
Obr.6 Hlavná obrazovka VYMENNIKY

Obrazovka zobrazená na obr.7 slúži hlavne pre zadanie parametrov výmenníkov tepla. Adresy jednotlivých polí hodnôt parametrov sú spojené s blokmi VYM_1 a VYM_2, kde sa pomocou nich vypočítajú časové konštanty a zosilnenia jednotlivých výmenníkov. Hodnoty týchto časových konštant a zosilnení sú zobrazené na obrazovke. Ďalej obrazovka obsahuje parametre regulátora, ktorých číselné hodnoty sa dajú v priebehu riadenia meniť. Taktiež som tu umiestnila aj políčko pre žiadanú teplotu, ktorej adresa je spojená s parametrom SPT bloku PIDA, a hodnoty všetkých sledovaných teplôt. Táto obrazovka zahŕňa ešte aj tri tlačidlá, ktorými sa dá prepnúť buď na poslednú otvorenú obrazovku, na základnú obrazovku VYMENNIKY (obr.6), alebo na obrazovku, kde sú zobrazené priebehy sledovaných teplôt a akčnej veličiny (obr.8).

<i>Parametre výmenníkov tepla</i>				<div>zavriet</div> <div>výmenníky</div> <div>trendovy graf</div>	
1.vymennik tepla		2.vymennik tepla			
<i>alfa1</i> [kJ/min.m2.K]	72.00	<i>alfa2</i> [kJ/min.m2.K]	72.00		
<i>V1</i> [m3]	4.00	<i>V2</i> [m3]	6.00		
<i>A1</i> [m2]	14.00	<i>A2</i> [m2]	17.00		
Spolocne parametre		Vypocitane cas.konstanty a zosilnenia			
<i>q1</i> [m3/min]	0.40	<i>T1</i> [min]	3.0968	<i>T2</i> [min]	4.4308
<i>q2</i> [m3/min]	0.60	<i>Z11</i>	0.2258	<i>Z21</i>	0.2615
<i>hustota</i> [kg/m3]	900.00	<i>Z12</i>	0.3097	<i>Z22</i>	0.7385
<i>cp</i> [kJ/kg.K]	3.84	<i>Z13</i>	0.4645		
Parametre regulatora		Poruchove vstupy [°C]			
<i>zosilnenie (Zr)</i>	2.4280	<i>teplota prvého vstupného prúdu (Tv1)</i>	15.00		
<i>integracna casova konstanta (Ti) [min]</i>	7.0560	<i>teplota druhého vstupného prúdu (Tv2)</i>	25.00		
Sledovane teploty [°C]					
<i>ziadana teplota</i>	70.00	<i>teplota ohrevneho média</i>	135.42		
<i>teplota výstupného prúdu z 2.výmenníka</i>	70.00	<i>teplota výstupného prúdu z 1.výmenníka</i>	46.84		

Obr.7 Obrazovka PARAMETRE

Tretia vytvorená obrazovka zobrazená na obr.8, slúži na zobrazenie priebehu teploty druhého výmenníka a akčného zásahu ohrevného média pri zmene z pôvodnej teploty na žiadanú teplotu v 2. výmenníku. Je doplnená o sledované teploty, teploty vstupných prúdov a žiadanú teplotu, ktoré sa dajú meniť. Taktiež obsahuje tlačidlá pre prepínanie obrazoviek.



Obr.8 Obrazovka TRENDOVY GRAF

5.1. Alarmy

5.1.1. Alarmy a stavové hlásenia

Alarmy a stavové hlásenia sú generované špecifickými alarmami blokov a voľbou alarmu vo vybraných blokoch. Alarmy majú 5 úrovní priority, 1-5 (kde 1 = najvyššia priorita), ktoré umožňujú rýchlo sa sústrediť na podmienky, ktoré spôsobujú alarm. Alarm priority 0 udáva neprítomnosť alarmu.

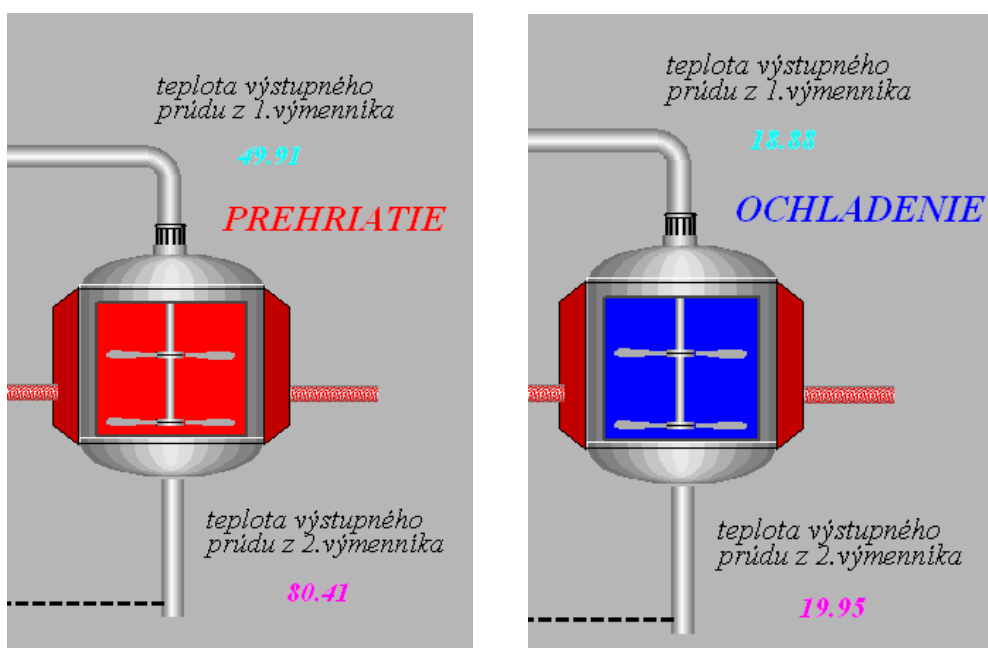
Alarmy sú sumarizované v jednoduchom alarmovom sumáre parametra pre každý compound. Tento parameter obsahuje prioritu najvyššieho aktuálneho alarmu v compounde.

Alarmy sú spúšťané blokmi vo vnútri compoundu. Alarmové správy sú potom poslané do skupín staníc alebo aplikácií (napr. Workstations, Historians, Printers) podľa nakonfigurovaných skupín.

5.1.2. Nastavenie High a Low alarmov

Alarmy som nastavovala, aby mi zobrazovali, keď teplota v druhom výmenníku prevýši teplotu 80°C alebo naopak poklesne pod teplotu 20°C, pri ktorých by mohlo dojsť k rôznym poruchám pri riadení systému. Robila som to dvomi spôsobmi, a to vypísaním textovej správy a zmenou farby kvapaliny vo výmenníku

Vytvorenie textovej správy, ktorá sa zobrazí pri prevýšení, resp. poklese teploty v druhom výmenníku, som robila pomocou poľa. Toto pole som modifikovala pomocou možnosti *Configure Objects*. Použila som záložku *Update*. Po kliknutí na ikonu *ADD* som zvolila možnosť *Visibility* a nastavila som jej príslušný *Tag*: *VYMENNIKY:REGULATOR.MEASHI* resp. *VYMENNIKY:REGULATOR.MEASLI*. Pre každý text som vyrobila samostatné pole (obr.9).



obr.9 High Alarm a Low Alarm

Zmenu farby kvapaliny vo výmenníku tepla som urobila nasledovným spôsobom. Pravým tlačidlom myši som klikla na výmenník tepla a zvolila som položku *Configure Objects*. V ľavej časti tohto okna, ktorá sa volá *Select Object*, je výmenník tepla zobrazený ako jeden *Group*. Keďže som chcela, aby sa menila iba farba kvapaliny, tak som našla a označila časti v *Polygon*, ktoré charakterizujú výplň výmenníka. Zvolila som položku *Update* a ikonu *ADD* a z možností som vybrala *Fill Color*. Nastavila som *Tag*: *VYMENNIKY:REGULATOR.PRTYPE*. Zmenila som aj počet stavov na 3. Farba v prvom riadku zodpovedá pôvodnej farbe

výplne výmenníka, do druhého riadku som dala červenú farbu, ktorá sa zobrazí, keď nastane *High Alarm*. V treťom riadku som nastavila modrú farbu, ktorá prislúcha *Low Alarmu*.

5.1.3. Alarmovanie bloku a procesu

Alarmovanie bloku alebo alarmovanie procesu sa používa, aby sa zistilo, keď sa vyskytne určitá špecifická udalosť alebo okolnosť s potenciálnymi nebezpečnými následkami.

Táto udalosť alebo okolnosť zahŕňa zmenu v prevádzke monitorovanej oblasti zariadenia alebo bloku. Keď sa alarm spustí v bloku, hlásenie sa pošle cez staničný blok do *Alarm Manager*, ktorý upozorní operátora správou na procesnom displeji, alebo sirénou na signalizačnom ovládacom paneli.

Je veľa rozličných typov alarmovania procesu. Každý je špecifický pre príslušnú udalosť alebo okolnosť.

Aby sa mohol aktivovať každý typ alarmu procesu, treba určiť a nakonfigurovať nasledujúce informácie (cez alarmový parameter špecifický pre každý blok):

- typy alarmov, ktoré budeme chcieť spustiť, a ktoré blokovať,
- text, ktorý sa objaví na displeji procesu, ak sa alarm inicializuje,
- skupinu zariadení, na ktorú sa bude alarmová správa posielat',
- úroveň priority, ktorá sa priradzuje ku každému alarmu,
- špecifické parametre prislúchajúce každému typu alarmu (ako sú limit, pri ktorom sa alarm spustí, zóna, pri ktorej sa alarm opäť vypne).

Niektoré bloky majú alarmovanie ako ich hlavnú funkciu a iné takúto funkciu nemajú.

5.1.4. Generovanie Procesného alarmu

Bloky generujú alarmy procesu nastavením parametra charakterizujúceho stav alarmu. Navyše, správa definovaná užívateľom môže byť poslaná na displej, čo závisí od toho, či táto voľba je brzdená, alebo nie.

V prvom rade je potrebné zmeniť parameter compoundu GR1DV1. Tento parameter (Group 1 Device 1) charakterizuje nastavenie príjmu správ blokového alarmu. Do tohto parametra sa zadáva meno stanice, v ktorej sa bude alarm zobrazovať. Na zobrazenie zoznamu staníc som vybrala SHOW z hlavného menu ICC a zvolila *Available WP's*. Meno stanice je WPXP01. Po spustení alarmu v bloku sa pošle hlásenie do *Alarm Manager*, ktorý

The screenshot shows the 'Alarm Manager' window for 'STUCHF:STUCHF - CAD'. The interface includes a menu bar (File, View, Displays, Help) and a status bar at the bottom. The main area displays a table of 'Current Alarms'.

15:33 9-5-08		Current Alarms			New Alarms
VYMENNIKY:REGULATOR.				LOABS	1 U
09-05 15:31:30	19.99 %	(20.00)	OCHLADENIE		
VYMENNIKY:REGULATOR.				HIABS	R U
09-05 15:11:22	80.07 %	(80.00)	PREHRIATIE		

Ack Alarm	Ack Compound	Ack Page	Clear Alarm	Clear Page
Alarm Detail	Top Priority	User Display	Block Detail	
Match Active	Horns Muted	PAUSED	Alarm 1 of 2	15:13 9-5-08

System  Process 

Pri zobrazení alarmu v okne *Alarm Manager* (obr.10) sa zobrazujú nasledovné informácie: meno bloku v príslušnom compounde, kde došlo k alarmu, dátum a čas, hodnota, pri ktorej sa spustil alarm, v zátvorke je uvedená hodnota, pri ktorej sa má spustiť alarm a textová správa.

- zelená normálny stav, žiadny alarm
- blikajúca zelená žiadny alarm, hoci predošlý alarm je stále nepotvrdený
- blikajúca červená nepotvrdenie okolností alarmu procesu
- červená potvrdenie okolností alarmu procesu

6. Návrh regulátora

Regulátor v riadiacom systéme FOXBORO je regulátor, ktorý sa používa v priemyselných podmienkach. Podľa toho aký mód nastavíme, tak bude daný regulátor pracovať. Rozhodla som sa navrhnuť PI regulátor, nakoľko je schopný odstrániť trvalú regulačnú odchýlku a zabezpečí dosiahnutie žiadanej veličiny. PI regulátoru zodpovedá mód 4 s rovnicou (16).

$$m_b = \frac{100}{P} \left[\left(\frac{1}{I_s} + A \right) r - \left(\frac{1}{I_s} + 1 \right) c_f \right] f_r + b$$

$$\tau = 0$$

$$c_f = \frac{c}{1 + \tau s + 0.5(\tau s)^2}$$
(16)

kde za jednotlivé premenné rovnice (16) som dosadila:

$$m_b = m_f + b = (m \cdot f_r) + b, \text{ kde } m = \text{vstupná veličina}$$

$$A = 1, b = 0, f_r = 100$$

$$r = \text{žiadaná hodnota } w$$

$$c_f = c = \text{výstupná veličina } y$$

a rovnica po zjednodušení má tvar

$$u = \frac{100}{P} \left(\frac{1}{I_s} + 1 \right) e$$
(17)

kde $e(t) = w(t) - y(t)$, je regulačná odchýlka vstupujúca do regulátora, P je pásmo proporcionality a I je integračná časová konštanta.

Správnosť riadeného systému som overovala pomocou MATLABu, a tak ma zaujímal vzťah medzi rovnicami regulátora vo FOXBORE a v MATLABe. Prenos PI regulátora v MATLABe je v tvare

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = Z_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right)$$
(18)

preto som rovnicu (17) upravila a porovnala s rovnicou (18)

$$\frac{100}{P} \left(\frac{1}{I_s} + 1 \right) = Z_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right)$$
(19)

a určila som vzťahy medzi zosilneniami a integračnými časovými konštantami

$$P = \frac{100}{Z_R} \quad I = T_I$$
(20)

Mojou snahou je dosiahnuť žiadanú teplotu v 2.výmenníku pomocou akčnej veličiny-ohrevného média. Rovnice (8) som upravila do tvaru (21) tak, že som zanedbala teploty vstupných prúdov u_2 a u_3 . Z rovnice (21) som odvodila prenos (22) medzi teplotou v 2. výmenníku a ohrevným médiom.

$$\begin{aligned} T_1 \frac{dx_1(t)}{dt} &= Z_{11}u_1(t) - x_1(t) \\ T_2 \frac{dx_2(t)}{dt} &= Z_{21}u_1(t) + Z_{22}x_1(t) - x_2(t) \end{aligned} \quad (21)$$

$$G_{Y2,U1}(s) = \frac{Z_{21}T_1s + (Z_{11}Z_{22} + Z_{21})}{T_1T_2s^2 + (T_1 + T_2)s + 1} \quad (22)$$

6.1. Identifikácia systému

Keďže prechodová charakteristika (PCH) prenosu (22) má priebeh zodpovedajúci systému 1. rádu, rozhodla som sa identifikovať systém ako systém 1. rádu. To mi umožnilo ľahšie navrhnúť regulátor pre systém opísaný prenosom (22). Prechodovou charakteristikou sa nazýva časový priebeh výstupnej veličiny, ktorý je odozvou na skokovú zmenu jednej zo vstupných veličín [2].

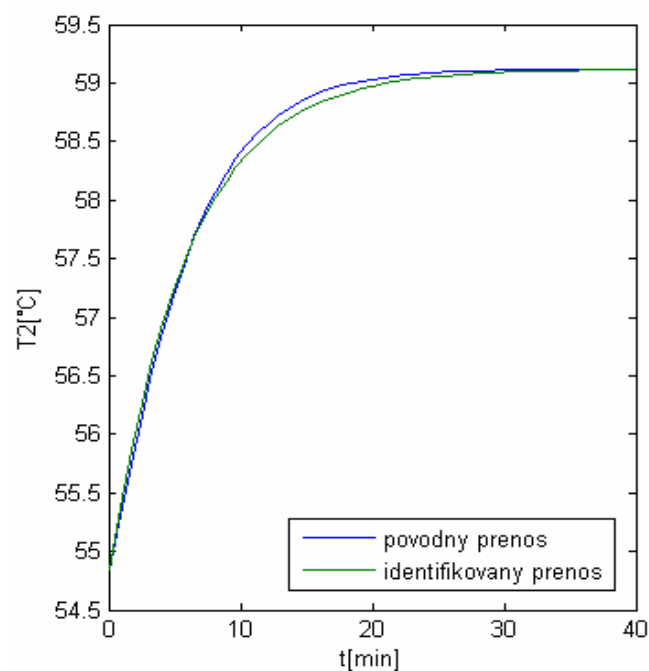
Z PCH som odčítala časovú konštantu T , ktorá zodpovedá času, pri ktorom dosiahne systém 63% zo svojho zosilnenia, a dopravné oneskorenie D [5]. Zo vzorca (23) som určila zosilnenie Z .

$$Z = \frac{y_\infty - y_0}{u_\infty - u_0} \quad (23)$$

Identifikovaný prenos má potom tvar:

$$G_s(s) = \frac{Z}{Ts + 1} e^{-Ds} = \frac{0,4283}{5,88s + 1} e^{-0,1s} \quad (24)$$

Na obr.12 je zobrazené porovnanie pôvodného (22) a identifikovaného (24) prenosu.

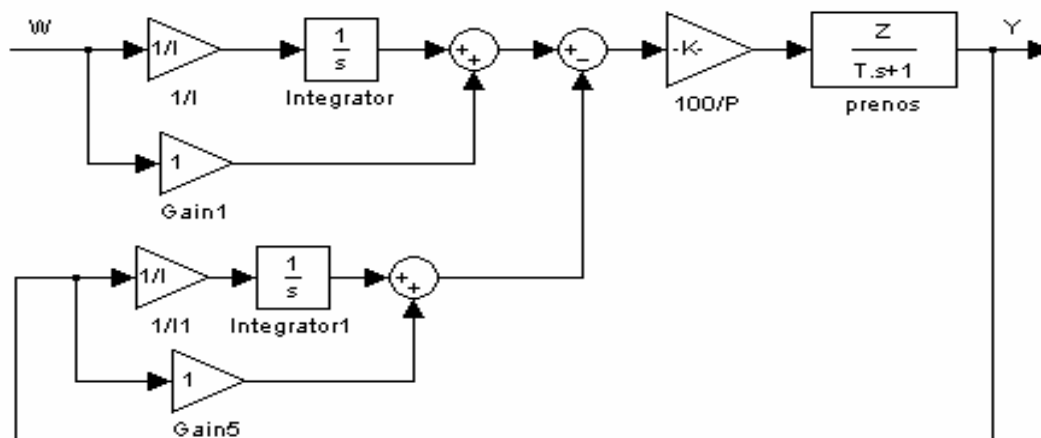


Obr.12 Pôvodný a identifikovaný prenos riadeného systému

6.2. Metódy syntézy regulátora

6.2.1. Analytická metóda

Metóda umiestnenia pólov - regulátor sa navrhuje na základe požiadavky na správanie sa uzavretého regulačného obvodu (URO), ktorý vznikne pripojením navrhnutého regulátora k riadenému systému. Vychádza sa z charakteristickej rovnice URO. Podľa rovnice (16) som vytvorila blokovú schému URO (obr.13), kde som za riadený systém dosadila identifikovaný prenos.



Obr.13 Bloková schéma URO

Na základe obr.13 som odvodila prenos medzi výstupom a žiadanou veličinou, aby som získala charakteristickú rovnicu uzavretého regulačného obvodu(URO):

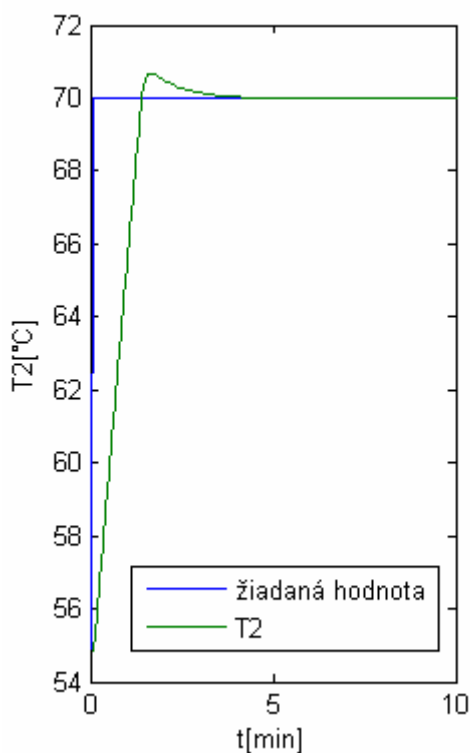
$$\frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{\frac{100}{P} G_s(s) \left(\frac{1}{sI} + 1 \right)}{1 + \frac{100}{P} G_s(s) \left(\frac{1}{sI} + 1 \right)} \quad (25)$$

Charakteristická rovnica URO:

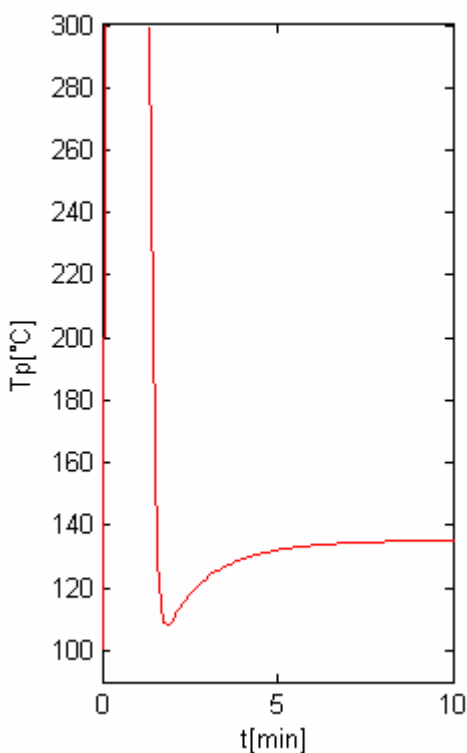
$$1 + \frac{100}{P} G_s(s) \left(\frac{1}{sI} + 1 \right) = 0 \quad (26)$$

Keďže navrhujem PI regulátor, tak som si zvolila dvojnásobný pól -2, pretože pól identifikovaného systému je -0,17. Vypočítané parametre regulátora sú uvedené v tab.2.

Na obr.14 je zobrazený priebeh teploty v 2. výmenníku z počiatočnej teploty 54,84°C na žiadanú teplotu 70°C a na obr.15 zásah akčnej veličiny pri tomto skoku.



Obr.14 Priebeh teploty v 2. výmenníku



Obr.15 Zásah akčnej veličiny

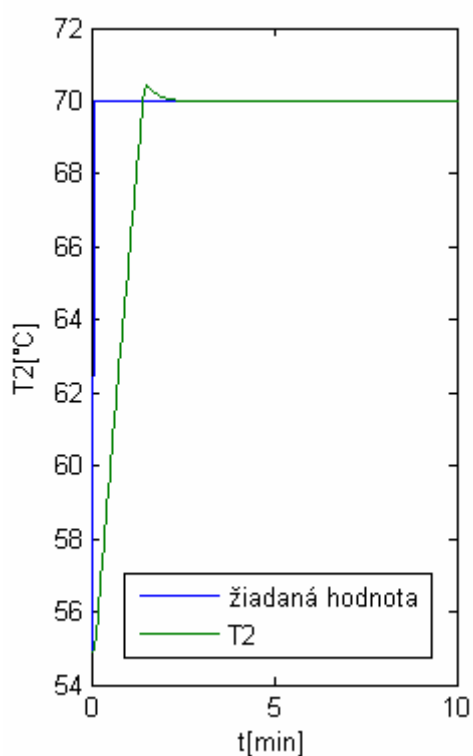
6.2.2. Experimentálne metódy

Sú založené na vyhodnotení PCH, z ktorej sa určí zosilnenie Z , doba prietahu T_u , doba nábehu T_n a dopravné oneskorenie D [6].

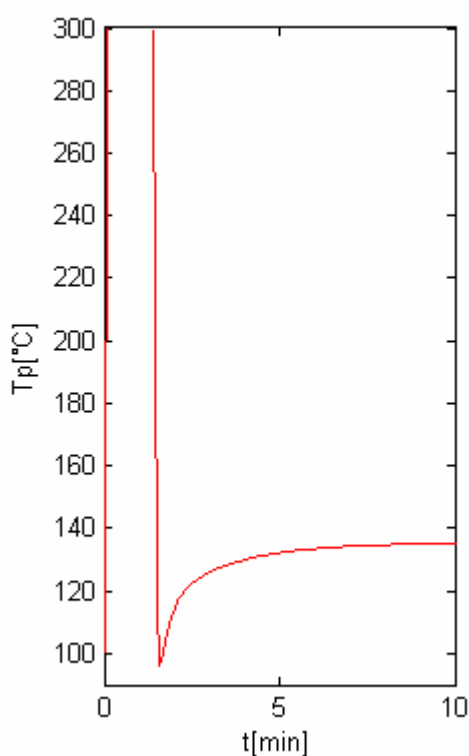
- Metóda Ziegler - Nichols

$$Z_R = \frac{0,9}{Z} \frac{T_n}{T_u} \quad T_I = 3,33 T_u \quad ,kde \quad T_n = T, \quad T_u = D \quad (27)$$

Na obr.16 je zobrazený priebeh teploty v 2. výmenníku z počiatočnej teploty 54,84°C na žiadanú teplotu 70°C a na obr.17 zásah akčnej veličiny pri tomto skoku. Vypočítané parametre regulátora sú uvedené v tab.2.



Obr.16 Priebeh teploty v 2. výmenníku

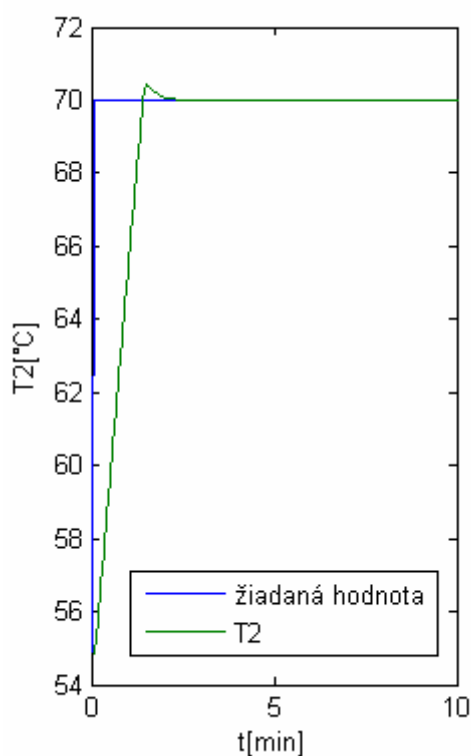


Obr.17 Zásah akčnej veličiny

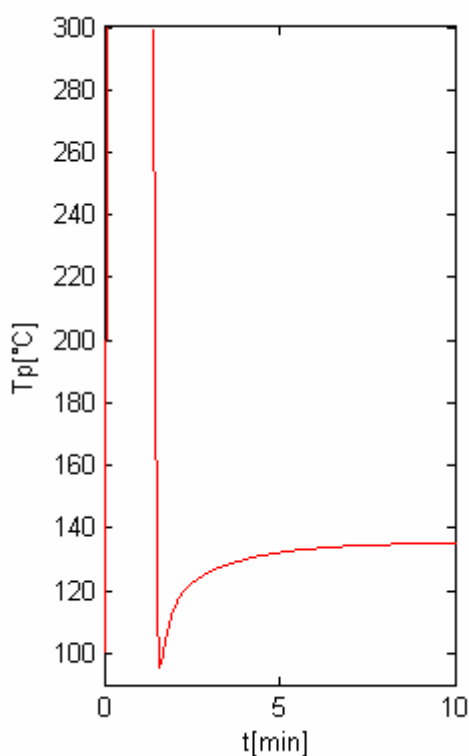
- Metóda Cohen, Coon

$$Z_R = \frac{1}{Z} \frac{T_n}{T_u} \left[0,9 + \frac{1}{12} \frac{T_n}{T_u} \right] \quad T_I = T_u \left[\frac{30 + 3 \frac{T_u}{T_n}}{9 + 20 \frac{T_u}{T_n}} \right], \text{ kde } T_n = T, \quad T_u = D \quad (28)$$

Na obr.18 je zobrazený priebeh teploty v 2. výmenníku z počiatočnej teploty 54,84°C na žiadanú teplotu 70°C a na obr.19 zásah akčnej veličiny pri tomto skoku. Vypočítané parametre regulátora sú uvedené v tab.2.



Obr.18 Priebeh teploty v 2. výmenníku

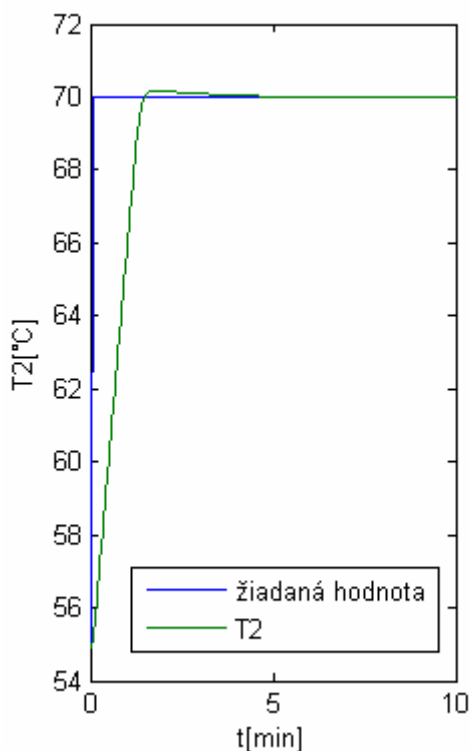


Obr.19 Zásah akčnej veličiny

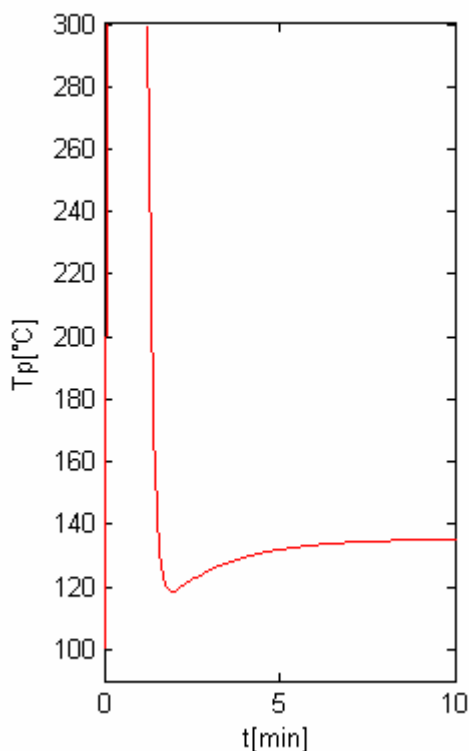
- Metóda Haalman

$$Z_R = \frac{2T}{3D} \quad T_I = T \quad (29)$$

Na obr.20 je zobrazený priebeh teploty v 2. výmenníku z počiatočnej teploty 54,84°C na žiadanú teplotu 70°C a na obr.21 zásah akčnej veličiny pri tomto skoku. Vypočítané parametre regulátora sú uvedené v tab.2.



Obr.20 Priebeh teploty v 2. výmenníku

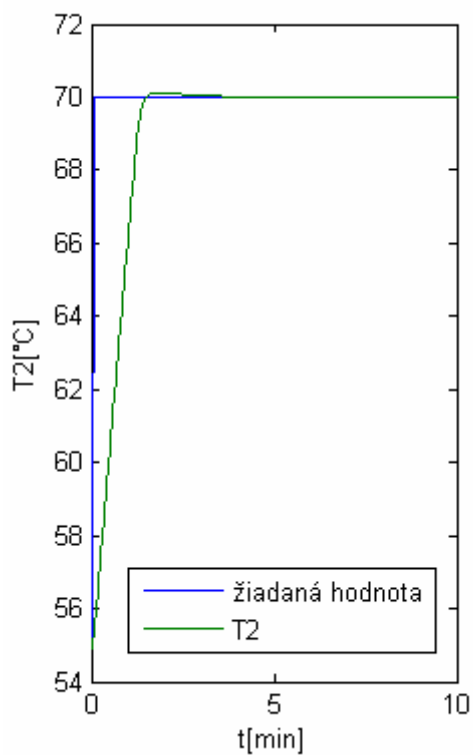


Obr.21 Zásah akčnej veličiny

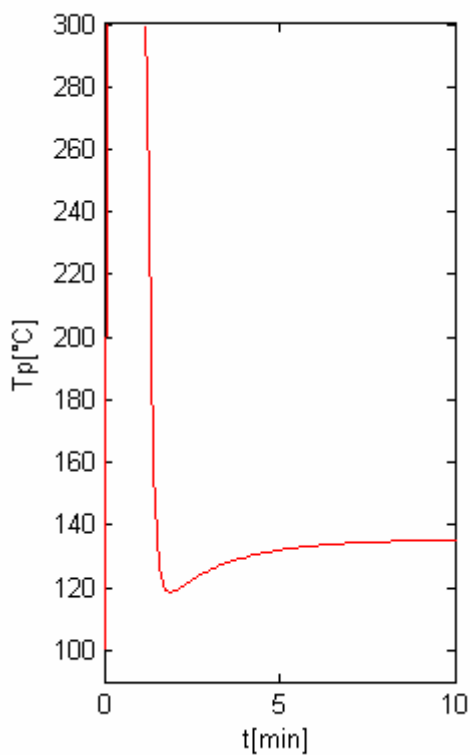
- Metóda Chien, Hrones, Reswick

$$Z_R = 0,3 \frac{T}{ZD} \quad T_I = 1,2T \quad (30)$$

Na obr.22 je zobrazený priebeh teploty v 2. výmenníku z počiatočnej teploty 54,84°C na žiadanú teplotu 70°C a na obr.23 zásah akčnej veličiny pri tomto skoku. Vypočítané parametre regulátora sú uvedené v tab.2.



Obr.22 Priebek teploty v 2. výmenníku



Obr.23 Zásah akčnej veličiny

V tab.2 som uviedla parametre PI regulátora vypočítané analytickou metódou a experimentálnymi metódami.

Tab.2 Parametre regulátorov

Metódy syntézy	MATLAB		FOXBORO	
	Z_R	T_I	P	I
metóda umiestnenia pólov	54,915	1	1,821	1
metóda Ziegler- Nichols	123,56	0,333	0,8093	0,333
metóda Cohen, Coon	123,75	0,3217	0,8081	0,3217
metóda Haalman	39,20	5,88	2,551	5,88
metóda Chien, Hrones, Reswick	41,186	7,056	2,428	7,056

7. Vyhodnotenie

Na vyhodnotenie navrhnutých regulátorov (kap. 6) som využila nasledovné ukazovatele kvality riadenia: čas regulácie t_{reg} , maximálne preregulovanie σ_{max} a čas maximálneho preregulovania t_{σ} (pre $\delta = 1\%$ žiadanej hodnoty). Tieto ukazovatele som určila z obr.24.

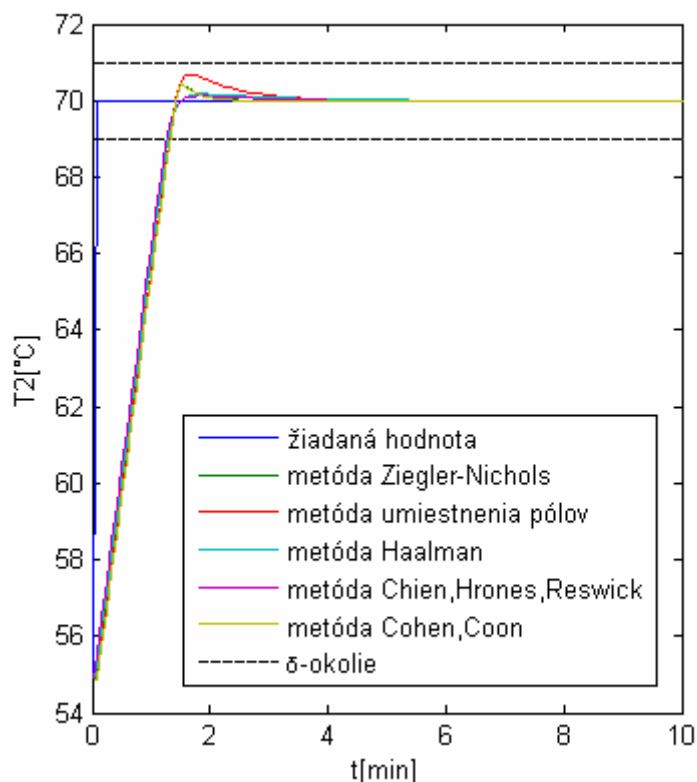
Čas regulácie t_{reg} je čas, od ktorého sa riadená veličina dostane natrvalo do δ okolia žiadanej veličiny.

Maximálne preregulovanie σ_{max} sa počíta pomocou vzorca

$$\sigma_{max} = \frac{y_{max} - y(\infty)}{y(\infty) - y(0)} 100\% \quad (31)$$

Čas maximálneho preregulovania t_{σ} je čas, v ktorom nastane maximálne preregulovanie [2].

Výsledky porovnania sú uvedené v tab.3.



Obr.24 Porovnanie navrhnutých regulátorov

Tab.3 Ukazovatele kvality riadenia

regulátor	$t_{reg}[\text{min}]$	$\sigma_{max}[\%]$	$t_o[\text{min}]$
metóda umiestnenia pólov	1,31	4,48	1,67
metóda Ziegler-Nichols	1,32	2,84	1,5
metóda Cohen, Coon	1,32	2,84	1,5
metóda Haalman	1,29	1,13	1,87
metóda Chien, Hrones, Reswick	1,26	0,79	1,83

Podľa zistených výsledkov (tab.3) som vybrala najvhodnejší PI regulátor. Ide o regulátor navrhnutý metódou Chien, Hrones, Reswick, pretože čas regulácie ako aj maximálne preregulovanie riadenej veličiny sú najnižšie.

Záver

Cieľom tohto bakalárskeho projektu bolo vytvoriť riadený systém sústavy dvoch plášťových výmenníkov tepla pomocou riadiaceho systému I/A Series FOXBORO. Najskôr som opísala systém plášťových výmenníkov tepla pomocou diferenciálnych rovníc (DMM, DOM) a následne som odvodiť číastkové prenosy systému výmenníkov tepla. V prostredí Integrovaného riadiaceho konfigurátora som vytvorila compound, do ktorého som vložila 5 blokov typu AIN, 4 bloky typu CALCA a blok PIDA. Bloky typu AIN reprezentujú číastkové prenosy systému výmenníkov tepla. Bloky typu CALCA slúžia na výpočet časových konštánt a zosilnení, ich adresy som zapísala do príslušných parametrov prislúchajúcim AIN blokom. Ďalej slúžia na prepočet teplôt ktoré vstupujú do AIN blokov zo °Celzia na Kelviny a na výpočet teplôt v jednotlivých výmenníkoch tepla. Blok PIDA funguje ako PI regulátor. Vstupom do bloku je teplota kvapaliny v 2. výmenníku v °Celzia, výstupom je teplota ohrevného média. Z displeja sa zadáva žiadaná teplota, ktorá je spojená s parametrom SPT. Bloky sú poprepájané pomocou vstupno/výstupných parametrov ako je zobrazené na obr.5.

V prostredí FowDraw som vytvorila 3 užívateľské obrazovky medzi ktorými sa dá prepínať. Prvá obrazovka zobrazuje zapojenie výmenníkov tepla. Druhá obrazovka slúži hlavne na zadávanie parametrov výmenníkov tepla. Adresy polí tejto obrazovky sú spojené s tými CALCA blokmi, v ktorých sa počítajú časové konštanty a zosilnenia systému. Obe obrazovky obsahujú polia parametrov regulátora, ktorých číselné hodnoty sa dajú v priebehu riadenia meniť. Taktiež som tu umiestnila aj políčko pre žiadanú teplotu, ktorej adresa je spojená s parametrom SPT bloku PIDA, a hodnoty všetkých sledovaných teplôt. Na tretej obrazovke sú zobrazené priebehy sledovaných teplôt (teploty výmenníkov a žiadaná hodnota teploty 2.výmenníka) a akčného zásahu ohrevného média.

Taktiež som sa zamerala aj na tvorbu alarmov. Alarmy som nastavovala, aby mi ukazovali, kedy teplota v 2.výmenníku prevýši teplotu 80°C alebo naopak poklesne pod teplotu 20°C. Vo FoxDraw som vytvorila textové polia, ktoré sa zobrazujú pri prevýšení alebo poklese teploty v 2.výmenníku tepla a ďalej som nastavila aj zmenu farby výplne 2.výmenníka tepla pri aktivácii alarmu. Druhý typ alarmu, ktorý som vytvorila, je alarm procesu. Keď sa alarm spustí v bloku, hlásenie sa pošle cez staničný blok do *Alarm Manager*, ktorý upozorní operátora správou na procesnom dispeji, alebo sirénou na signalizačnom ovládacom paneli.

Dôležitú pozornosť som venovala aj návrhu PI regulátora. Keďže chcem dosiahnuť žiadanú teplotu v 2.výmenníku, tak som najskôr odvodila prenos medzi teplotou v 2.výmenníku a ohrevným médiom. Z prechodovej charakteristiky som usúdila, že systém sa dá identifikovať ako systém 1. rádu, čo zjednodušilo návrh regulátora. Pri syntéze regulátora som použila analytickú metódu (metóda umiestnenia pólov) a 4 experimentálne metódy (metóda Ziegler-Nichols, metóda Cohen, Coon, metóda Haalman, metóda Chien, Hrones, Reswick). Na vyhodnotenie regulátorov som použila nasledovné ukazovatele kvality riadenia: čas regulácie, maximálne preregulovanie a čas maximálneho preregulovania, ktoré som určila z priebehov uvedených na obr.24. Podľa porovnania týchto ukazovateľov v tab.3 som usúdila, že najlepší regulátor je regulátor navrhnutý metódou Chien, Hrones, Reswick.

Zoznam použitej literatúry

- [1] M. Bakošová, M. Fikar: Matematické modely chemickotechnologických systémov, prednáška, FCHPT STU v Bratislave, LS 2006/2007
- [2] M. Bakošová, M. Fikar a Ľ. Čírka: Laboratórne cvičenia zo základov automatizácie, STU Bratislava, 2003
- [3] I/A Series Electronic Documentation V7.0, Invensys Systems, Inc., 2002
- [4] T. Madzin: Návrh riadenia pomocou riadiaceho systému FOXBORO, Bratislava, 2007
- [5] M. Fikar, J. Mikleš: Identifikácia systémov, STU Bratislava, 2003
- [6] K.J. Aström, T. Hägglund: PID Controllers: Theory, Design and Tuning. Instrument Society of America, Triangle Park, 1994

Prílohy

Príloha A

AIN blok **TV1T1**

Parametre	Adresa/Hodnota
FLOP	1
IOMOPT	2
FTIM	VYMENNIKY:VYM_1.RO01
KSCALE	VYMENNIKY:VYM_1.RO03
MEAS	VYMENNIKY:T1.RO03

AIN blok **TV2T1**

Parametre	Adresa/Hodnota
FLOP	1
IOMOPT	2
FTIM	VYMENNIKY:VYM_1.RO01
KSCALE	VYMENNIKY:VYM_.RO04
MEAS	VYMENNIKY:T1.RO04

AIN blok **TPT1**

Parametre	Adresa/Hodnota
FLOP	1
IOMOPT	2
FTIM	VYMENNIKY.VYM_1.RO01
KSCALE	VYMENNIKY.VYM_1.RO02
MEAS	VYMENNIKY:T1.RO02

AIN blok **T1T2**

Parametre	Adresa/Hodnoty
FLOP	1
IOMOPT	2
FTIM	VYMENNIKY:VYM_2:RO01
KSCALE	VYMENNIKY:VYM_2:RO03
MEAS	VYMENNIKY:T1.RO01

AIN blok **TPT2**

Parametre	Adresa/Hodnota
FLOP	1
IOMOPT	2
FTIM	VYMENNIKY:VYM_2:RO01
KSCALE	VYMENNIKY:VYM_2:RO02
MEAS	VYMENNIKY:T1.RO02

Príloha B

CALCA blok VYM_1

Parametre	Adresa	Popis
RI01	0.0	α_I -poslané z displeja
RI02	0.0	V_I -poslané z displeja
RI03	0.0	A_I -poslané z displeja
RI04	0.0	q_I -poslané z displeja
RI05	0.0	q_2 -poslané z displeja
RI06	0.0	ρ -poslané z displeja
RI07	0.0	c_P -poslané z displeja
STEP01	ADD RI04 RI05	$q_I + q_2$
STEP02	OUT M01	q
STEP03	MUL RI06 RI07	$\rho \cdot c_P$
STEP04	OUT M02	
STEP05	MUL M02 M01	$\rho \cdot c_P \cdot q$
STEP06	OUT M03	
STEP07	MUL RI01 RI03	$\alpha_I \cdot A_I$
STEP08	OUT M04	
STEP09	MUL RI02 M02	$V_I \cdot \rho \cdot c_P$
STEP10	OUT M05	
STEP11	ADD M03 M04	$\rho \cdot c_P \cdot q + \alpha_I \cdot A_I$
STEP12	OUT M06	
STEP13	DIV M05 M06	$V_I \cdot \rho \cdot c_P / (\rho \cdot c_P \cdot q + \alpha_I \cdot A_I)$
STEP14	OUT RO01	výpočet T_I
STEP15	DIV M04 M06	$\alpha_I \cdot A_I / (\rho \cdot c_P \cdot q + \alpha_I \cdot A_I)$
STEP16	OUT RO02	výpočet Z_{I1}
STEP17	MUL RI04 M02	$q_I \cdot \rho \cdot c_P$
STEP18	OUT M07	
STEP19	DIV M07 M06	$q_I \cdot \rho \cdot c_P / (\rho \cdot c_P \cdot q + \alpha_I \cdot A_I)$
STEP20	OUT RO03	výpočet Z_{I2}
STEP21	MUL RI05 M02	$q_2 \cdot \rho \cdot c_P$
STEP22	OUT M08	
STEP23	DIV M08 M06	$q_2 \cdot \rho \cdot c_P / (\rho \cdot c_P \cdot q + \alpha_I \cdot A_I)$
STEP24	OUT RO04	výpočet Z_{I3}

CALCA blok VYM_2

Parametre	Adresa	Popis
RI01	0.0	α_2 -poslané z displeja
RI02	0.0	V_2 -poslané z displeja
RI03	0.0	A_2 -poslané z displeja
RI04	VYMENNIKY:VYM_1.RI04	q_1
RI05	VYMENNIKY:VYM_1.RI05	q_2
RI06	VYMENNIKY:VYM_1.RI06	ρ
RI07	VYMENNIKY:VYM_1.RI07	c_P
STEP01	ADD RI04 RI05	$q_1 + q_2$
STEP02	OUT M01	q
STEP03	MUL RI06 RI07	$\rho \cdot c_P$
STEP04	OUT M02	
STEP05	MUL M01 M02	$q \cdot \rho \cdot c_P$
STEP06	OUT M03	
STEP07	MUL RI01 RI03	$\alpha_2 \cdot A_2$
STEP08	OUT M04	
STEP09	MUL RI02 M02	$V_2 \cdot \alpha_2 \cdot A_2$
STEP10	OUT M05	
STEP11	ADD M03 M04	$q \cdot \rho \cdot c_P + \alpha_2 \cdot A_2$
STEP12	OUT M06	
STEP13	DIV M05 M06	$V_2 \cdot \alpha_2 \cdot A_2 / (q \cdot \rho \cdot c_P + \alpha_2 \cdot A_2)$
STEP14	OUT RO01	výpočet T_2
STEP15	DIV M04 M06	$\alpha_2 \cdot A_2 / (q \cdot \rho \cdot c_P + \alpha_2 \cdot A_2)$
STEP16	OUT RO02	výpočet Z_{21}
STEP17	DIV M03 M06	$q \cdot \rho \cdot c_P / (q \cdot \rho \cdot c_P + \alpha_2 \cdot A_2)$
STEP18	OUT RO03	výpočet Z_{22}

CALCA blok T1

Parametre	Adresa/Hodnota	Popis
RI01	VYMENNIKY:TPT1.PNT	adresa výstupu
RI02	VYMENNIKY:TV1T1.PNT	adresa výstupu
RI03	VYMENNIKY:TV2T1.PNT	adresa výstupu
RI04	VYMENNIKY:REGULATOR.OUT	adresa výstupu
RI05	0.0	ϑ_{v1} -poslané z displeja
RI06	0.0	ϑ_{v2} -poslané z displeja
M01	273	
STEP01	ADD RI04 M01	
STEP02	OUT RO02	ϑ_p v Kelvinoch
STEP03	ADD RI05 M01	
STEP04	OUT RO03	ϑ_{v1} v Kelvinoch
STEP05	ADD RI06 M01	
STEP06	OUT RO04	ϑ_{v2} v Kelvinoch
STEP07	ADD RI01 RI02	
STEP08	ADD RI03	
STEP09	OUT RO01	ϑ_1 v Kelvinoch

CALCA blok T2

Parametre	Adresa/Hodnota	Popis
RI01	VYMENNIKY:T1T2.PNT	adresa výstupu
RI02	VYMENNIKY:TPT2.PNT	adresa výstupu
RI03	VYMENNIKY:T1.RO01	adresa výstupu
M01	273	
STEP01	ADD RI01 RI02	
STEP02	OUT RO01	ϑ_2 v Kelvinoch
STEP03	SUB RI03 M01	
STEP04	OUT RO02	ϑ_1 v °Celzia
STEP05	SUB RO01 M01	
STEP06	OUT RO03	ϑ_2 v °Celzia

Príloha C

PIDA blok **REGULATOR**

Parametre	Adresa/Hodnota	Popis
MEAS	VYMENNIKY:T2.RO03	vstup ϑ_2 v °Celzia
SPT	0.0	poslané z displeja
MODOPT	4	
PBAND	1000.0	poslané z displeja
INT	100.0	poslané z displeja
HSCO1	300.0	
LSCO1	0.0	
HOLIM	300.0	
LOLIM	0.0	
BCALCI	:REGULATOR.OUT	zabraňuje wind-up
FBK	:REGULATOR.OUT	efektu
MALOPT	1	
MEASHI	0.0	poslané z displeja
MEASHL	80.00	
MEASHT	PREHRIATIE	
MEASLI	0.0	poslané z displeja
MEASLL	20.0	
MEASLT	OCHLADENIE	
MEASPR	1	

Príloha D : CD disk

Obsah priloženého CD:

MATLAB	m-files, schémy, dáta vo forme .txt súborov
radkaproject	záloha systému z FOXBORA
Bakalársky projekt	.pdf a .doc súbor bakalárskej práce