

RIADENIE TEPELNÉHO PROCESU VNORENÝM SYSTÉMOM

Peter Guzmický a Štefan Kozák

Slovak University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovak Republic
Tel.: +421 2 60291111 Fax: +421 2 60291111
e-mail: peter.guzmicky@gmail.com, stefan.kozak@stuba.sk

Abstrakt: Hlavným cieľom príspevku je návrh metód riadenia tepelno-optického školského laboratórneho systému s využitím konvenčného a fuzzy regulátora a jeho následné implementovanie na pripojenom vnorenom systéme. Práca je realizovaná v matematickom simulačnom programovom balíku Matlab.

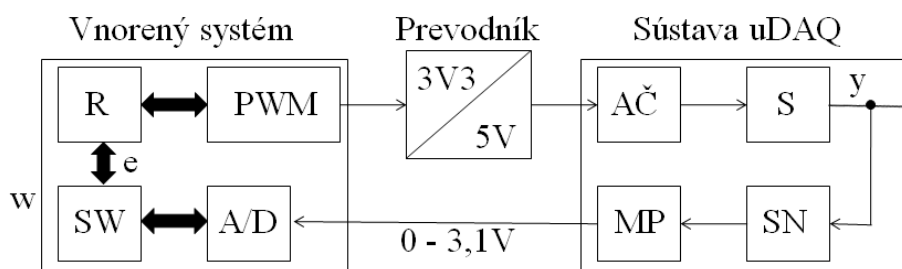
Kľúčové slová: PID regulátor, fuzzy regulátor, riadenie tepelného procesu, vnorený systém

1 ÚVOD

Práca sa zaoberá architektúrou tepelno-optického školského laboratórneho systému riadeného pomocou pripojeného vnoreného systému., ktorá je rozdelená na skúmanie a identifikáciu jednotlivých kanálov systému. V úvode práce sú uvedené charakteristické vlastnosti systémov pre lepšiu orientáciu v danej problematike. Jadrom práce je návrh polohového fuzzy PI regulátora pre riadenie optického kanála systému a jeho konfrontácia s konvenčným PI regulátorom. V poslednej kapitole je návrh konvenčného PI regulátora na identifikovanom modeli tepelného kanála systému. Navrhnuté regulátory boli implementované na pripojenom vnorenom systéme a experimentálne doladené.

2 ARCHITEKTÚRA SYSTÉMOV

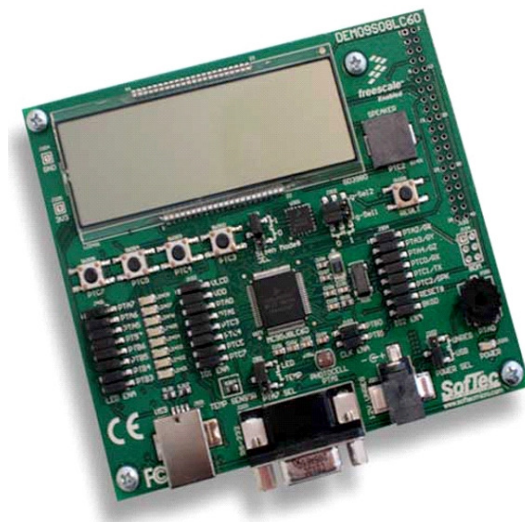
Na Obr. 1 je zobrazené zapojenie systémov vo funkčnej blokovej schéme.



Obr. 1 : Bloková schéma zapojenia systémov

Vnorený systém

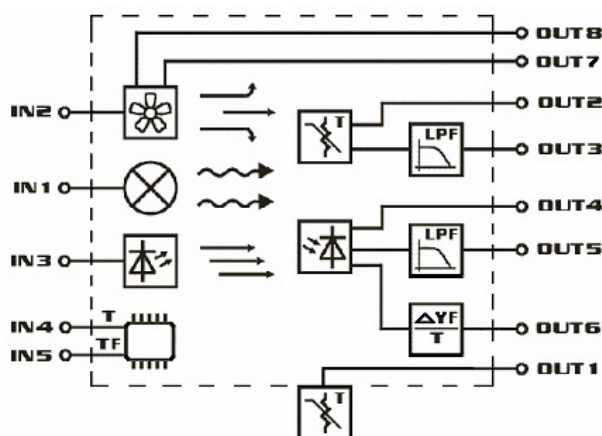
Ako vnorený systém je použitá vývojová doska Freescale DEMO9S08LC60 s 8-bit. mikrokontrolérom. CPU je kompatibilný s predchádzajúcou rodinou HC08, má až 40MHz internú zbernicu a modulárnu architektúru. Pamäť programu je rozsiahlejšia a má kapacitu 60kB. Pamäť RAM má kapacitu 4kB. K dispozícii sú tri porty, z nich časť je využívaná pre viac signálov. Obsahuje 12 bit. AD prevodník, 4-kanálový PWM modul, RTI, KBI a ovládač pre LCD displej.



Obr. 2 : Vývojová doska DEMO9S08LC60

Tepelno-optický systém

Kombinovaný tepelno-optický systém je určený na podporu výučby v oblasti riadenia procesov.



Obr. 3 : Štruktúra tepelno-optického systému

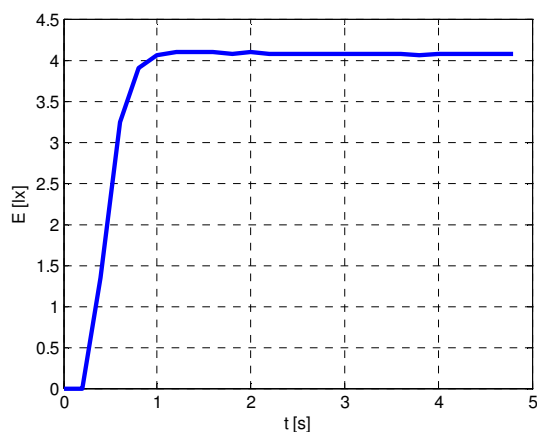
Systém disponuje tromi vstupnými veličinami – napätím žiarovky, ktorá reprezentuje vyhrievacie a svetelné teleso zároveň, napätím ventilátora (slúži na ochladzovanie teploty v systéme) a napätím svetelnej diódy, ktorá je druhým možným zdrojom svetla optického kanálu. Na výstupe je možné merať štyri veličiny: teplotu vo vyhrievanom priestore (priamo alebo po predbežnej filtrácii) a intenzitu osvetlenia (priamo alebo po predbežnej filtrácii).

3 OPTICKÝ KANÁL SYTÉMU

Optický kanál tepelno-optického systému je tvorený zdrojom svetla halogénová žiarovka, ktorej vstupný rozsah napätí je 0 - 5V a fotosnímač, ktorého výstupný rozsah napätí je tiež 0 – 5V.

Identifikácia modelu systému

Na základe vyhodnotenia prechodových charakteristík dokážeme určiť štruktúru modelu a koeficienty modelu pre nekmitavé, kmitavé a lineárne rastúce procesy (stabilné) procesy.



Obr. 4 : Prechodová charakteristika optického kanála

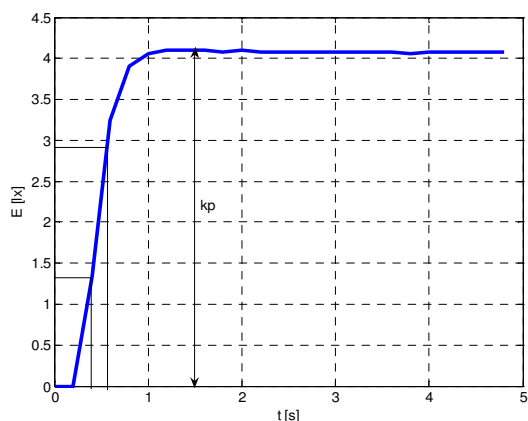
Identifikácia parametrov modelu 1. rádu s dopravným oneskorením

$$G(s) = \frac{K_r}{T_p s + 1} e^{-Ds} \quad (1)$$

Výpočet časovej konštanty T_p a dopravného oneskorenia D z nameranej charakteristiky sa dá realizovať podľa nasledovných vzťahov

$$T_p = 1,245 \cdot (t_{0,7} - t_{0,33}) \quad (2)$$

$$D = 1,498 \cdot t_{0,33} - 0,498 \cdot t_{0,7} \quad (3)$$



Obr. 5 : Identifikácia parametrov modelu systému

Ako vidno na Obr. 5 z grafu prechodovej charakteristiky na Obr. 4 sme odčítali časové konštanty $t_{0,33}$ a $t_{0,7}$ a zosilnenie sústavy K_r

$$t_{0,33} = 0,558s \quad t_{0,7} = 0,398s \quad K_r = 4,103 \quad (4)$$

Dosadením týchto koeficientov do vzťahov (2) a (3) dostávame parametre prenosovej funkcie modelu

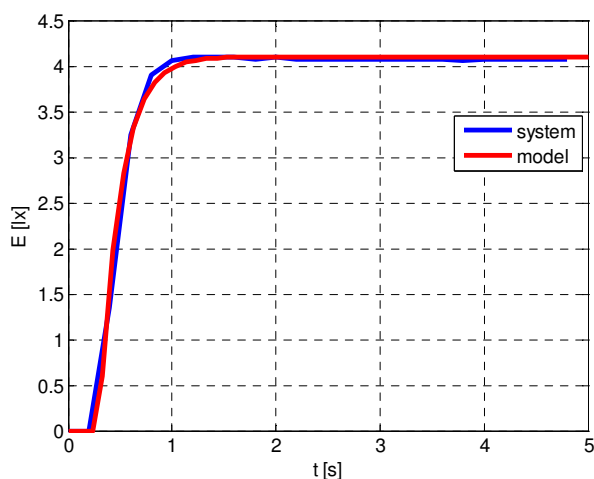
$$T_p = 1,245 \cdot (0,558 - 0,398) = 0,1992s \quad (5)$$

$$D = 1,498.0,398 - 0,498.0,558 = 0,3183 \quad (6)$$

Výsledný tvar prenosu modelu je potom

$$G(s) = \frac{4,103}{0,1992s + 1} e^{-0,3183s} \quad (7)$$

Na Obr. 6 je zobrazené porovnanie presnosti identifikovaného modelu so systémom na ich prechodových charakteristikách. Identifikovaný model dobre sleduje vlastnosti optického kanála.



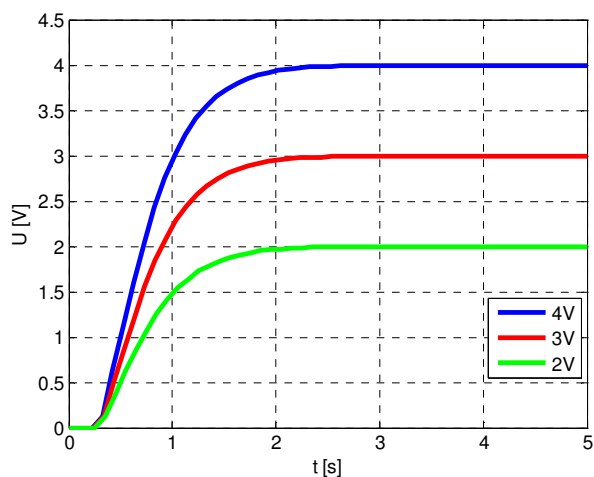
Obr. 6 : Porovnanie výstupu modelu a systému

Návrh konvenčného regulátora

Z identifikovaného modelu optického kanála boli metódou inverznej dynamiky a pomocou toolboxu SynReg v programovom balíku Matlab, navrhnuté parametre PI regulátora pre preregulovanie 0%.

$$K_p = 0,0595 \quad K_I = 0,2989 \quad (8)$$

Následne bola vykonaná ich verifikácia reguláciou na tri požadované hodnoty, ktorých priebeh je na Obr. 7.



Obr. 7 : Časový priebeh regulácie konvenčným regulátorom

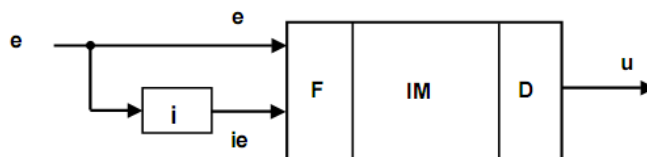
Návrh fuzzy regulátora

Adaptívny neuro-fuzzy systém

ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems) je spôsob vytvárania (upravovania) fuzzy systémov na základe neuro-adaptívnych metód, ktorú obsahuje Fuzzy logic toolbox v programovom systéme Matlab. Pomocou nameraných vstupno-výstupných údajov systému možno navrhnuť celú fuzzy štruktúru typu Takagi-Sugeno. Jej parametre sú nastavené tak, aby bola kvalita riadenia daného systému čo najvyššia. Výhodou je, že nie je potrebné poznať alebo mať vytvorený model systému opísaný rovnicami. Učenie je zabezpečené pomocou päťvrstvovej doprednej neurónovej siete. Fuzzy pravidlá a funkcie príslušnosti sú nastavované pomocou algoritmu spätného šírenia chyby v kombinácii s metódou najmenších štvorcov.

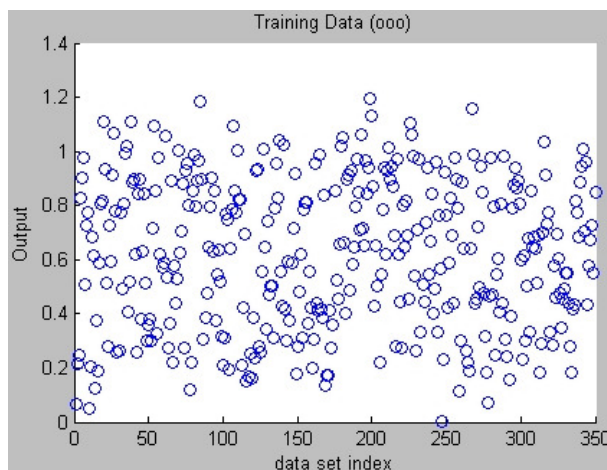
Fuzzy PI regulátor

Ako fuzzy PI regulátor bol zvolený polohový regulátor, ktorého štruktúra je na Obr. 8. Na vstupe očakáva regulačnú odchýlku e , sumu regulačných odchýlok ie a na výstupe je priamo nastavovaná hodnota akčného zásahu u .



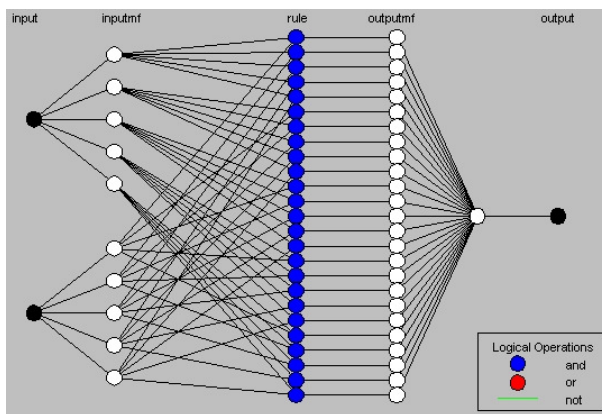
Obr. 8 : Štruktúra polohového fuzzy PI regulátora

Vstupné a výstupné dáta sme merali v regulačnom obvode, ktorý pozostával z konvenčného PI regulátora a modelu identifikovaného optického kanála systému. Na vstup sme privádzali náhodné hodnoty z intervalu $\langle 0;5 \rangle$ s periódou vzorkovania 3s, ktorá bola zvolená pre dostatočný čas na reakciu systému po zmene hodnoty do ustáleného stavu. Doba regulácie bola zvolená 1050s, čím sme získali 300 párov vzoriek tréningových dát, sú zobrazené na Obr. 9.



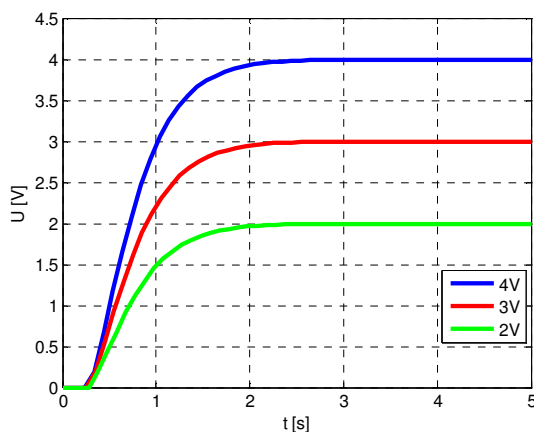
Obr. 9 : Tréningové dáta

Ďalším krokom bolo vygenerovanie prvotnej FIS štruktúry, ktorú sme neskôr trénovali. Bolo zvolených 5 a 5 funkcií príslušnosti, trojuholníkový tvar funkcií príslušnosti a lineárny typ výstupnej funkcie príslušnosti. Štruktúra neurónovej siete pre dané parametre je zobrazená na Obr. 10.



Obr. 10 : Štruktúra neurónovej siete

Následne bol spustený proces tréovania, optimalizačná metóda bola zvolená hybridná, počet krokov 5. Výsledok tréovania prebehol s konečnou chybou rádovo 10^{-6} . Bolo vytvorených 25 fuzzy pravidiel. Výsledok riadenia modelu optického kanála pomocou polohového fuzzy PI regulátora je na Obr. 11.



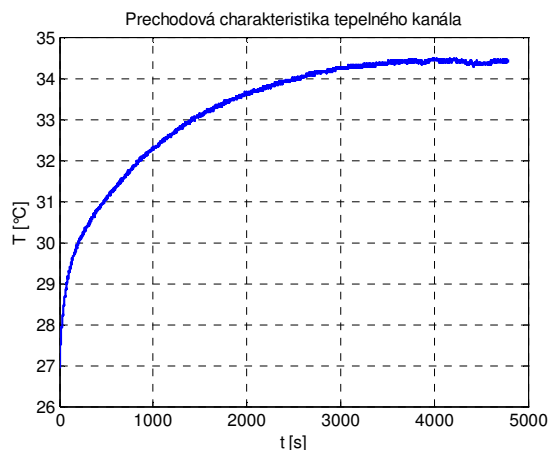
Obr. 11 : Časový priebeh regulácie fuzzy regulátorom

4 TEPELNÝ KANÁL SYSTÉMU

Tepelný kanál tepelno-optického systému je tvorený zdrojom tepla halogénová žiarovka, ktorá dokáže vyhriať priestor telesa na teplotu do 62°C a snímačom teploty pt100, ktorého presnosť je lepšia ako 99%.

Identifikácia modelu systému

Identifikáciu tepelného kanála tepelno-optickej sústavy sme vykonali rovnako ako v prípade optického kanála, na Obr. 12 je na grafe zobrazený priebeh prechodovej charakteristiky teploty tepelného kanála systému.



Obr. 12 : Prechodová charakteristika tepelného kanála

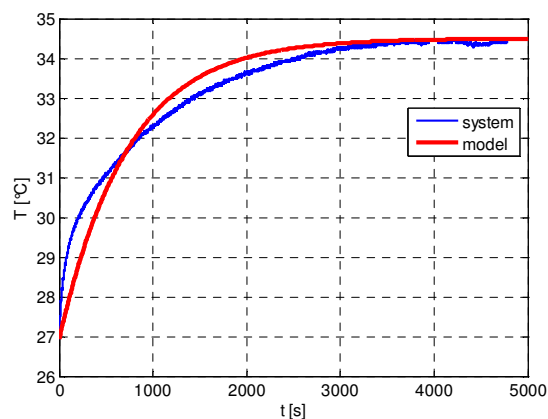
Identifikované parametre modelu tepelného systému

$$T_p = 730s \quad D = 1 \tag{9}$$

Výsledný tvar prenosu modelu potom je:

$$G(s) = \frac{7,57}{730s + 1} e^{-1s} \tag{10}$$

Na Obr. 13 je zobrazené porovnanie presnosti identifikovaného modelu so systémom na ich prechodových charakteristikách. Identifikovaný model veľmi nepresne sleduje vlastnosti systému – tepelného kanála. Táto chyba je spôsobená silnou nelinearitou v počiatočnej časti prechodovej charakteristiky systému.



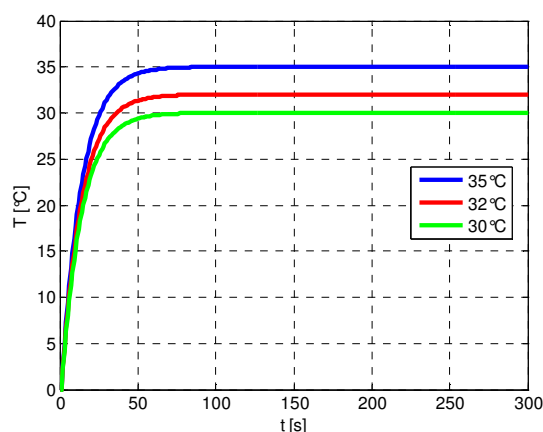
Obr. 13 : Porovnanie modelu so systémom

Návrh konvenčného regulátora

Z identifikovaného modelu optického kanála metódou inverznej dynamiky a pomocou toolboxu SynReg v programovom balíku Matlab, vypočítané parametre PI regulátora pre prerégulovanie 0%.

$$K_p = 7,0159 \quad K_I = 0,0100 \tag{11}$$

Následne bola realizovaná regulácia pre tri požadované hodnoty, ktorých priebeh je na Obr. 14.



Obr. 14 : Časový priebeh výstupnej veličiny s konvenčným vnoreným regulátorom

5 ZÁVER

Príspevok pojednáva tak o identifikácii skúmaného procesu, ako aj o návrhu algoritmov riadenia tepelného procesu konvenčnými a pokročilými vnorenými regulátormi. Na základe identifikovaného modelu laboratórneho tepelno-optického systému, boli navrhnuté parametre konvenčných PI regulátorov pre optický a tepelný kanál systému a fuzzy PI regulátor pre optický kanál. Verifikácia navrhnutých regulátorov bola z pohľadu kvality regulácie v prípade modelu optického kanála veľmi dobrá. Navrhnuté regulátory boli implementované vo vnorenom systéme Freescale prepisom do jazyka C. Výsledky tejto práce budú ďalej použité v edukačnom procese a vo výskumných úlohách v predmetnej oblasti na FEI STU.

PodĎakovanie: Príspevok vznikol s podporou projektu VEGA číslo 1/0822/08.

LITERATÚRA

- HUBA, M., KURČÍK, P. (2006): *Tepelno-optická sústava uDAQ 28/LT*. FEI STU, Bratislava
KOZÁK, Š. (2004): Prednášky k predmetu Fuzzy množiny. FEI STU, Bratislava
KOZÁK, Š. (2005): Lineárne systémy, materiály k prednáškam. FEI STU, Bratislava
KOZÁK, Š. (2005): Interné materiály pre pokročilé metódy riadenia. FEI STU, Bratislava
NOERGAARD, T. (2005): *Embedded systems architecture*. Elsevier, Burlington
PETRIŠČÁK, M. (2006): *Základy fuzzy logiky a jej aplikácie v Expertných systémoch*. FIIT STU, Bratislava