

# NÁVRH A SIMULÁCIA FUZZY LOGICKÉHO REGULÁTORA PRE RIADENIE TEPLoty TEPELNE IZOLOVANEJ SÚSTAVY

## (DESIGN AND SIMULATION OF FUZZY LOGIC CONTROLLER FOR TEMPERATURE CONTROL OF TEMPERATURE ISOLATED PLANT)

Marián AMRICH

Power-One spol. s r. o., Areál ZŤS 924, 018 41, Dubnica nad Váhom, Slovenská republika,

E-mail: marian.amrich@power-one.com

### SUMMARY

Temperature control is widely used in various processes of physical, electronic, chemical, mechanical and biological systems. All these systems are affected by temperature. Some biological processes must be performed in specified temperature range only. For this, controllers are used to keep temperature value on constant level or defined range. A relative new field of Soft-Computing area is bringing to us a fuzzy logic approach with specific design procedure by using heuristic information. The paper deals with the influence of fuzzy logic on design of fuzzy based non-linear controller for simplified temperature isolated plant, combined from temperature isolated room and heating element driven by amplitude of connected voltage from controller through power stage. The design procedure with respect to the quality of stabilization of the system, starting on system identification and continuing with design of first-order conventional controller and using this setup for fuzzy controller is suggested. This article describes major steps for design of fuzzy PI controller by using human language information which copying linear surface of conventional controller with helpful of defined meta-rules and uniformly arranged fuzzy sets on input-output universe of disclosure. A final design is verified by simulation in Matlab-Simulink environment where basic simulation diagram is drawn. It is shown that fuzzy logic based controller is a new approach of control. The cases in which the well tuned fuzzy logic controller in time varying process is more stable and more robust than the conventional approach in plants were observed. But in case when the fuzzy logic controller is tuned incorrectly it can exhibit limit cycle which can decrease lifetime of the actuator.

**Keywords:** power systems, nonlinear systems, fuzzy control, Simulink

### 1. MATERIÁL A METÓDY

Pri návrhu výsledného fuzzy logického regulátora postupujeme nasledovne:

- odvodenie matematického modelu sústavy,
- nastavenie konvenčného regulátora,
- záměna za ekvivalentný lineárny fuzzy regulátor,
- tvorba nelineárneho fuzzy regulátora,
- jemné doladenie.

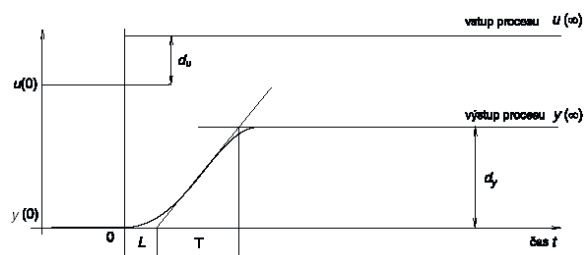
#### Odvodenie matematického modelu

Fuzzy prístup k riadeniu je vhodný všade tam, kde nie je v dispozícii matematický model. Pre nastavovanie parametrov fuzzy regulátorov však doposiaľ neexistuje žiadna metóda. Teda je výhodnejšie namiesto voľby pokus - omyl (ak sa to samozrejme dá) určiť matematický model na základe ktorého sa vytvorí počítačová simulácia.

V práci sa zameriame sa na model izolovanej teplotnej komory tj. ide o sústavu jednorozmernú, statickú, deterministickú so sústrednými parametrami a s konštantnými prenosovými vlastnosťami. Sústava je fyzicky tvorená tepelne izolovanou komorou s prenosom  $G(s)$ , snímačom teploty reprezentujúci radiaciu veličinu  $w(k)$  v stupňoch Celzia a odporovou špirálou ovládanou akčným zásahom regulátora  $u(k)$ .

Pri určovaní prechodovej charakteristiky sústavy vychádzame z metodiky experimentálnej

identifikácie sústav pomocou aplikácie jednotkového skoku na vstupe pri rozpojenom ustálenom regulačnom obvode. Na základe odozvy sa potom stanoví rád regulovanej sústavy a syntézou typ regulátora.



**Obr. 1** Parametre odozvy na jednotkový skok sústavy prvého rádu

**Fig. 1** Response parameters on step impulse for first order plant

Obrazový prenos takejto sústavy je potom daný prenosom v Laplaceovej transformácii:

$$G(s) = \frac{K_p e^{-sL}}{Ts + 1} \quad (1)$$

$$K_p = \frac{dy}{du} \quad (2)$$

kde:

$dy$  zmena na vstupe,  
 $du$  zmena na výstupe,

$K_p$  jednosmerné zosilnenie procesu,  
 $T$  časová konštanta,  
 $L$  dopravné oneskorenie procesu.

$$T_i = T \quad (8)$$

pre pomer:  $\frac{L}{T} \geq 0,33$

Vypočítame normalizované dopravné oneskorenie  $\tau$ :

$$\tau = \frac{L}{L + T} \quad (3)$$

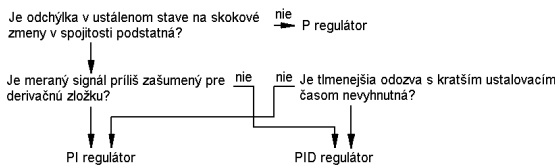
pričom platí:  $0 \leq \tau \leq 1$ . (4)

### Syntéza regulačného obvodu

V skutočnosti sú pre náš prípad možné nasledovné varianty konvenčných regulátorov:

- dvojpohový regulátor (zap/vyp),
- proporcionálny P (pracuje ako zosilňovač regulačnej odchýlky),
- proporcionálny - integračný PI (odstraňuje trvalú regulačnú odchýlku a zlepšuje presnosť regulácie),
- proporcionálny, integračný, derivačný PID (odstraňuje trvalú regulačnú odchýlku a zabezpečuje dobré dynamické vlastnosti obvodu).

Správne nastavený analógový regulátor si vyžaduje presné a správne nastavenie jednotlivých zložiek čo je časovo zdĺhavý proces. Ručné nastavovanie je založené na metodike pokus-omyl čo nie vždy musí priniesť uspokojivý záver. Je takmer nemožné aplikovať uvedený postup pri systémoch MISO a tiež nelineárnych systémoch.



**Obr. 2** Voľba typu regulátora  
**Fig. 2** Choosing type of controller

PI regulátory sú vhodné všade tam, kde dominuje dynamika prvého rádu a tu zložitejšie regulátory navyše nič nového neprinesú. Zvolený teda bude PI regulátor o ktorom bude zmienka nižšie.

Pomocou metódy prevzatej od Fruehauf [1] vypočítame hodnoty proporcionálneho zosilnenia  $K$  a integračnej časovej konštanty  $T_i$  PI regulátora podľa vzťahov:

$$K = \frac{5T}{9K_p L} \quad (5)$$

$$T_i = 5L \quad (6)$$

pre hodnotu pomeru:  $\frac{L}{T} < 0,33$

$$K = \frac{T}{2K_p L} \quad (7)$$

### Fuzzy prístup k riadeniu

Fuzzy logické regulátory majú za istých podmienok určitú spojitosť s konvenčnými regulátormi.

Stále však jestvuje medzera, ktorá existuje medzi postupom návrhu a nastavovania konvenčných regulátorov a regulátorov fuzzy typu. Tato práca sa zaoberá postupom návrhu použitím známej PID návrhovej techniky pred samotnou implementáciou návrhu fuzzy logického regulátora.

Fuzzy PI logický regulátor je často riešený tak, že pomocou fuzzy systému modelujeme diferenciu popisnej rovnice klasického diskrétného PI regulátora (modelujeme prírastok akčného zásahu  $\Delta u$ ) a na výstup zaradíme sumátor.

$$\Delta u(k) = D\{F\{K\Delta e(k) + \frac{KT_s}{T_i}e(k)\}\} \quad (9)$$

kde:

$F$  operácia fuzzifikácie,  
 $D$  je operácia defuzzifikácie,  
 $e(k)$  regulačná odchýlka (rozdiel medzi žiadanou a skutočnou hodnotou snínanej veličiny),  
 $\Delta e(k)$  zmena regulačnej odchýlky (rozdiel medzi aktuálnou a predchádzajúcou hodnotou odchýlky),  
 $T_s$  perióda vzorkovania.

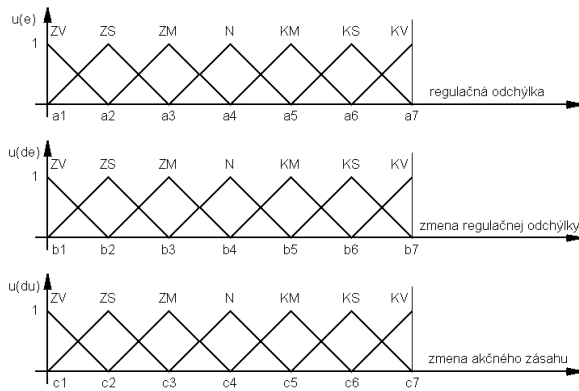
Pre fuzzy PI regulátor teda snímame dve veličiny na vstupe (regulačná odchýlka  $e$ , zmena regulačnej odchýlky  $\Delta e$ ) a jeho výstupom je zmena akčného zásahu  $\Delta u$ . Ide teda o jednoduchý MISO systém s dvoma vstupmi a jedným výstupom. Pri viacerých vstupoch extrémne narastá veľkosť bázy pravidiel čo komplikuje nastavovanie systému. Zvolený bol typ regulátoru Mamdani a metóda defuzzifikácie COG (stredú ťažiska plochy).

Vstupné veličiny sú mapované do normalizovaného univerza  $[-1, 1]$ , fuzzifikované prevedené cez bázu pravidiel a v závere defuzzifikované priamo na ostrú číselnú hodnotu cez fuzzifikovaný výstup tiež zvolený v normalizovanom univerze  $[-1, 1]$ .

Aplikovaním zosilnení blokov normalizácie a denormalizácie vstupných a výstupných premenných nastavíme zosilnenie a integračnú časovú konštantu rovnako ako u klasických regulátorov pomocou vzťahov:

$$K = \frac{G\Delta u(k)}{G\Delta e(k)} \quad (10)$$

$$T_i = T_s \frac{Ge(k)}{G\Delta e(k)} \quad (11)$$



**Obr. 3** Rovnomerné rozloženie funkcií príslušnosti pre vstupné premenné a akčný zásah

**Fig. 3** Uniformed placement of Membership Functions for input variables and control action

Kostru systému tvorí báza pravidiel, ktorá je vytvorená na základe nasledovných metapravidiel:

1. ak odchýlka a jej derivácia je nulová potom by nemal byť žiaden regulačný zásah,
2. ak odchýlka klesá k nule dostatočne rýchlo netreba meniť akčný zásah,
3. ak odchýlka je veľká alebo sa neblíži k nule potom je potrebný regulačný zásah, ktorý závisí od veľkosti a znamienka  $e$  a jej derivácie.

Rozšírením základnej bázy podľa metapravidiel o jemnejšie rozšírenie (linearizácia riadiacej plochy regulátora) dostávame výsledok znázornený v Tab. 1.

| $e/\Delta e$ | ZV | ZS | ZM | N  | KM | KS | KV |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|
| ZV           | ZV | ZV | ZV | ZV | ZS | ZM | N  |
| ZS           | ZV | ZV | ZV | ZS | ZM | N  | KM |
| ZM           | ZV | ZV | ZS | ZM | N  | KM | KS |
| N            | ZV | ZS | ZM | N  | KM | KS | KV |
| KM           | ZS | ZM | N  | KM | KS | KV | KV |
| KS           | ZM | N  | KM | KS | KV | KV | KV |
| KV           | N  | KM | KS | KV | KV | KV | KV |

**Tab. 1** Zvolená báza pravidiel pre navrhovaný systém

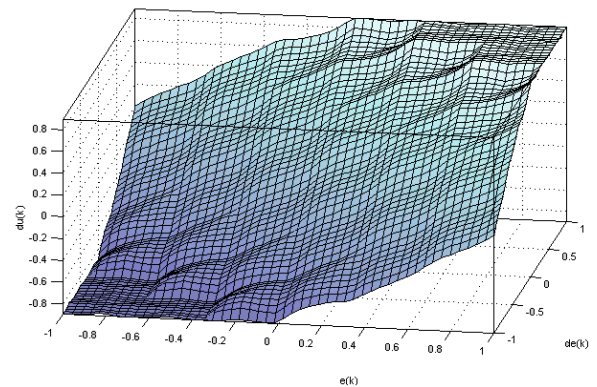
**Tab. 1** Used rule base for designed system

Jazykové vyjadrenie pre vstupné a výstupné premenné:

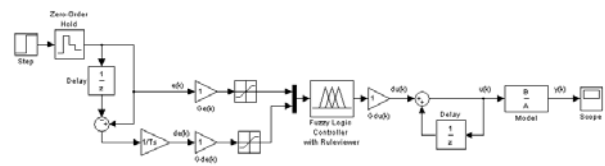
|    |                 |
|----|-----------------|
| ZV | záporná veľká   |
| ZS | záporná stredná |
| ZM | záporná malá    |
| N  | nulová          |
| KM | kladná malá     |
| KS | kladná stredná  |
| KV | kladná veľká    |

## 2. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Práca bola zameraná na návrh fuzzy logickej regulácie teploty v sústave tepelne izolovanej od okolia. Z priebehu zmeranej prechodovej charakteristiky systému pri aplikácii jednotkového skoku na vstupe je možné identifikovať odozvu systému prvého rádu s dopravným oneskorením a následne nahrubo určiť obrazový prenos. Zo vzťahov (5) (6) eventuálne (7) (8) boli určené hodnoty integračnej časovej konštanty, proporcionálneho zosilnenia a implementované prostredníctvom vzťahov (10) (11) na hodnoty pomerov nastavenia merítok univerz. Voľba jednotlivých zosilnení vo fáze jemného nastavovania je už tradične výsledkom intuície a skúsenosti. Stavové vektory rozmiestnenia fuzzy množín v jednotlivých vstupných a výstupných univerzách sú rovnaké pre vstup aj výstup regulátora v normalizovanom intervale.



**Obr. 4** Riadiaca plocha regulátora  
**Fig. 4** Controller control surface



**Obr. 5** Základná modelovacia schéma v Simulinku  
**Fig. 5** Basic Simulink modeling diagram

## 3. ZÁVER

Pomerne nová vedná disciplína zvaná soft computing rieši problémy a obmedzenia, ktoré sú príliš komplexné pre presnú matematickú analýzu. Pomocou fuzzy prístupu je možné aproximáciou uskutočniť reguláciu aj vysoko nelineárnych spojitých systémov pomocou znalostnej bázy navrhutej buď podľa zavedených pravidiel alebo s využitím experta.

Praktická aplikácia uvedeného fuzzy regulátora by mohla zahŕňať použitie výkonného jednočipového mikroprocesora architektúry RISC

(PIC16C74) pričom jadro programu by bolo vygenerované v predprocesore fuzzyTech™ na PC a ovládanie vyhrievacieho telesa riešené prostredníctvom PWM cez oddelenú väzbu priamo z mikroprocesora. Určite pridanie ďalšieho snímača napríklad na snímanie vonkajšej teploty a zahrnutie jeho vplyvu v interferenčnom procese by malo istý vplyv na celkové správanie systému avšak treba pamätať, že v ide o rýchlosť spracovania vstupných informácií čo pri systéme s viac ako dvoma vstupmi môže klásť veľké výpočtové obmedzenia.

Nevýhodou navrhnutého regulátora je kmitanie okolo ustálenej hodnoty zjavné po dlhšej dobe simulácie. Toto kmitanie je možné odstrániť zhustením rozmiestnenia fuzzy množín v okolí nuly. Skutočnosťou však je, že implementácia fuzzy logiky prináša so sebou nový pohľad do problematiky regulácie.

Fuzzy prístup k návrhu regulátorov vykazuje nasledovné vlastnosti:

- blízkosť k ľudskému mysleniu a realizácie rozhodnutí, je možné implementovať tieto skúsenosti pomocou lingvistických pravidiel,
- možnosť návrhu aj pre systém ktorý nedokážeme presne matematicky popísať tj. v situácii, keď nie je možné skonštruovať matematický model,
- jednoduchosť na vytvorenie prototypu a implementáciu do rôznych systémov bez akejkoľvek modifikácie.

Výhody nelineárneho fuzzy logického regulátora je možné globálne zhrnúť podľa rozboru v [1] a [3] do nasledovných bodov:

- výhoda pri regulácii dynamických nelineárnych systémov,
- rýchlejšia odozva oproti klasickému analógovému regulátoru,

- efektívnosť v rýchlejšom dosiahnutí žiadanej hodnoty (dobrá odozva) pričom analógový regulátor je výhodnejší pre udržiavanie hodnoty premennej procesu na žiadanej hodnote.

V prípade lineárnych systémov je fuzzy regulátor nastavovaný podľa pravidiel návrhu konvenčného regulátora s cieľom dosiahnuť lineárnej riadiacej plochy regulátora. Aplikácia fuzzy regulátora na riadenie nelineárneho systému prináša možnosť konštrukcie nelineárneho prípadne adaptívneho fuzzy regulátora pomocou ktorého je možné dosiahnuť lepšie výsledky než pri použití konvenčného lineárneho regulátora.

## LITERATÚRA

- [1] Pivoňka, P.: Vyšší formy řízení, VUT, Brno, 2002, 74s.
- [2] Jura, P.: Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování, VUT, Brno, 2003, 132s., ISBN 80-214-2261-0
- [3] Pivoňka, P.: Comparative analysis of classical and fuzzy PID control algorithms, VUT, Brno, 1999, 6s.

## BIOGRAPHY

**Marián Amrich** was born on 02.01.1978. In 2002 he graduated (MSc.) with honours at the department of Electronics and Informatics of Slovak Agricultural University in Nitra on Faculty of Agricultural Engineering. His diploma thesis was "Computer Diagnosis of Agricultural Engines". Now he is working in the field of fuzzy logic approach on external PhD. study.