

Návrh fuzzy regulátora s kompenzáciou dopravného oneskorenia (2)

Anton Kachaňák, Miriam Holišová

Princíp kompenzácie dopravného oneskorenia pomocou fuzzy L kompenzátora môžeme opísať v štyroch krokoch:

1. krok. Je potrebné realizovať odhad budúceho výstupu sústavy pri uvažovaní hodnoty dopravného oneskorenia L , $y(t + L)$, resp. $\Delta y = y(t + L) - y(t)$ podľa vstupných hodnôt $y' = dy/dt$ a $\Delta u = u(t) - u(t - L)$. Hodnoty vstupných, resp. výstupných jazykových premenných, sú označené: ZO = fuzzy nula, PS = kladne malé, PM = kladne stredné, PB = kladne veľké, NS = záporne malé, NS = záporne stredné, NB = záporne veľké.

Pravidlá pre odhad (predikciu) výstupu $\Delta y(t + L)$ majú tvar:

- R1: Ak $\Delta u = PB$ a $y' = PB$, potom $\Delta y = PB$.
- R2: Ak $\Delta u = PB$ a $y' = PS$, potom $\Delta y = PM$.
- R3: Ak $\Delta u = PB$ a $y' = NS$, potom $\Delta y = PS$.
- R4: Ak $\Delta u = PB$ a $y' = NB$, potom $\Delta y = ZO$.

Hodnoty vstupných a výstupných slovných premenných sú prehľadne usporiadané do formy tab. 1.

$\Delta u_L \setminus y'$	NB	NS	PS	PB
PB	ZO	PS	PM	PB
PM	NS	ZO	PS	PM
PS	NM	NS	ZO	PS
NS	NS	ZO	PS	PM
NM	NM	NS	ZO	PS
NB	NB	NM	NS	ZO

Tab.1 Tabuľka pravidiel fuzzy prediktora

2. krok. Kompenzácia odhadnutej zmeny výstupu Δy .

Pre zosilnenie sústavy K , z predikovanej zmeny výstupu sústavy Δy vypočítame potrebnú zmenu akčnej veličiny fuzzy L kompenzátora $\Delta u_L = (-1/K)\Delta y$ a pre zodpovedajúce funkcie príslušnosti μ platí: $\mu_L[\Delta u_L] = \mu_{\Delta y}[(-1/K)\Delta y]$.

$\Delta u_L \setminus y'$	NB	NS	PS	PB
PB	ZO	NS	NM	NB
PM	PS	ZO	NS	NM
PS	PM	PS	ZO	NS
NS	PS	ZO	NS	NM
NM	PM	PS	ZO	NS
NB	PB	PM	PS	ZO

Tab.2 Tabuľka pravidiel fuzzy kompenzátora

3. krok. Návrh fuzzy PI regulátora.

Výstup z fuzzy PI regulátora je Δu_{PI} . V tomto kroku treba pre dané vstupné hodnoty do fuzzy PI regulátora e , e' určiť pomocou produkčných pravidiel hodnoty výstupu Δu_{PI} . Tieto pravidlá sú prehľadne uvedené v tab. 3.

$e \setminus e'$	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	MB
PB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	ZO
PM	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	NS
PS	PB	PM	PS	PS	ZO	NS	NM
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
NS	PM	PS	ZO	NS	NS	NM	NB
NM	PS	ZO	NS	NM	NM	NB	NB
NB	ZO	NS	NM	NB	NB	NB	NB

Tab.3 Tabuľka pravidiel fuzzy PI regulátora

4. krok. Posledným krokom je sčítanie účinkov fuzzy L kompenzátoru fuzzy PI regulátora $\Delta u_{PI} + \Delta u_L = \Delta u$, kde pre zodpovedajúce

funkcie príslušnosti μ vyjadríme:

$$\mu_L[\Delta u] = \vee\{\mu_L \wedge \mu_{PI}\}$$

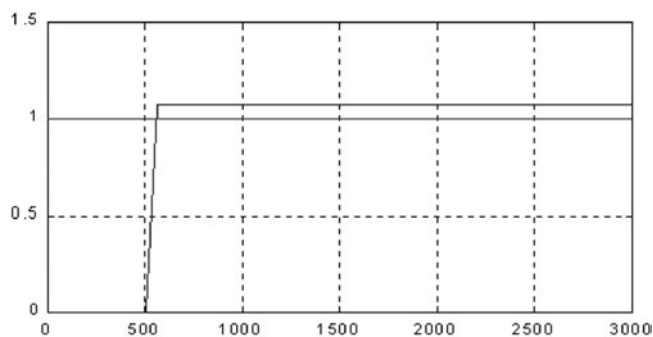
$$\Delta u_L + \Delta u_{PI} = \Delta u$$

2. Číslcová simulácia regulácie s fuzzy PI regulátorom a fuzzy L kompenzátorom

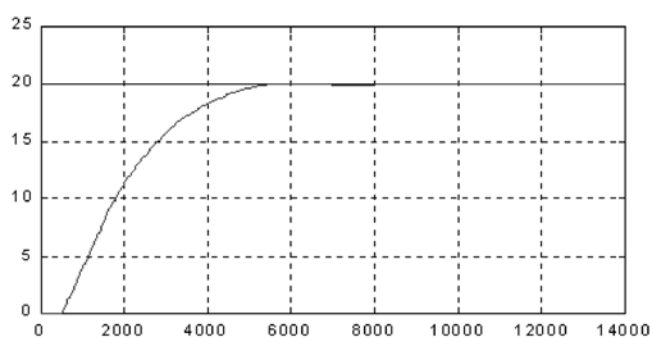
V tejto časti bude uvedený príklad simulácie činnosti fuzzy L kompenzátoru, kde je regulátor a kompenzátor opísaný uvedeným fuzzy modelom.

Riadená sústava má prechodovú charakteristiku znázornenú na obr. 3. Je zrejmé, že pre nepriaznivý pomer $(T_u + T_d)/T_s > 1$ nie je možné použiť klasické prístupy v riadení, teda pomocou PID regulátora (alebo jeho fuzzy náhrady).

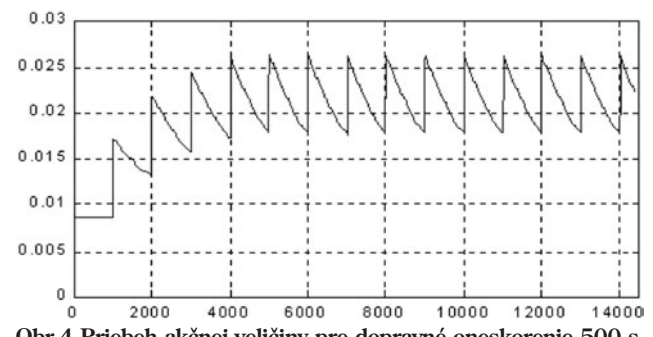
V tejto simulácii bolo zvolené dopravné oneskorenie 500 s, pričom priebeh žiadanej a výstupnej veličiny je na obr. 3. Na obr. 4 je priebeh akčnej veličiny. Na doplnenie je na obr. 5 priebeh regulačnej odchýlky e , a na obr. 6 jej derivácie e' . Zo simulácií vyplýva, že fuz-



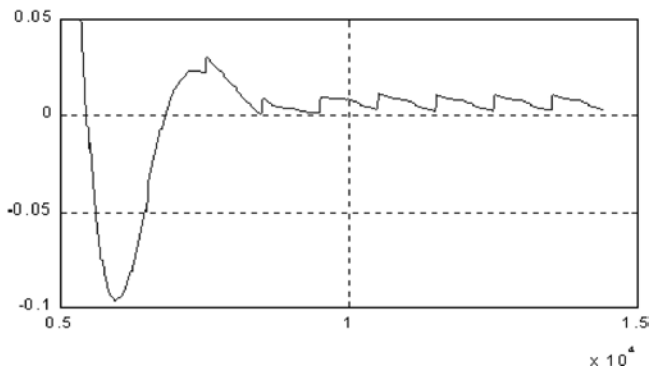
Obr.2 Prechodová charakteristika regulovanej sústavy



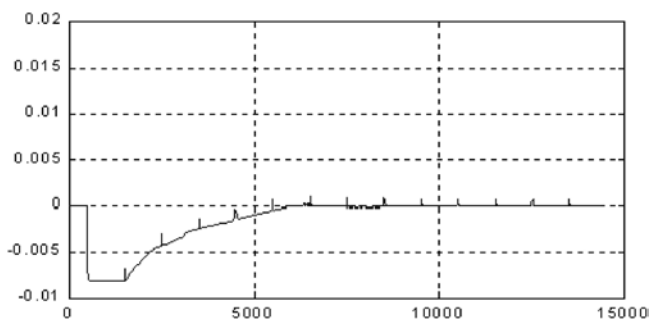
Obr.3 Priebeh žiadanej a výstupnej veličiny pri simulácii s dopravným oneskorením 500 s



Obr.4 Priebeh akčnej veličiny pre dopravné oneskorenie 500 s



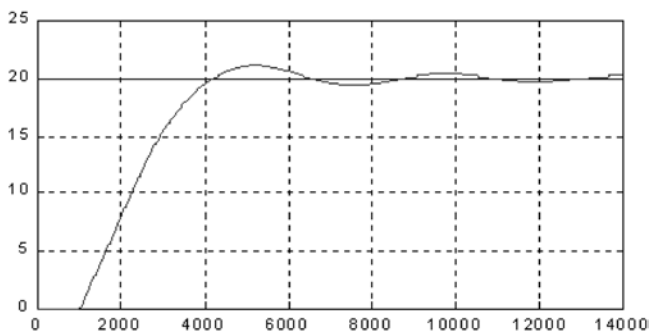
Obr.5 Priebek regulačnej odchýlky e pre dopravné oneskorenie 500 s



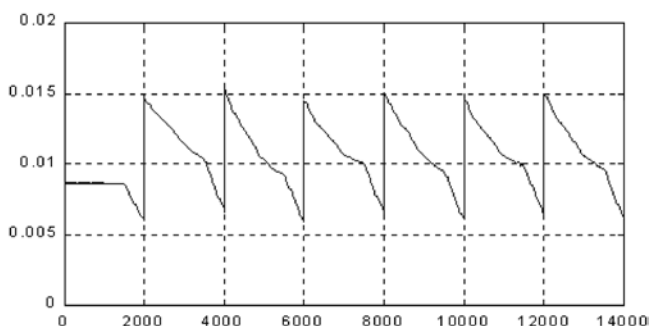
Obr.6 Priebek derivácie regulačnej odchýlky de pre dopravné oneskorenie 500 s

zy kompenzátor dokázal uspokojivo riešiť problematiku dopravného oneskorenia v spätnoväzbovej slučke. Ako vidieť z priebehu výstupnej veličiny, bola dosiahnutá nulová regulačná odchýlka a regulačný pochod bez prerégulovania pri zachovaní stability regulačného obvodu.

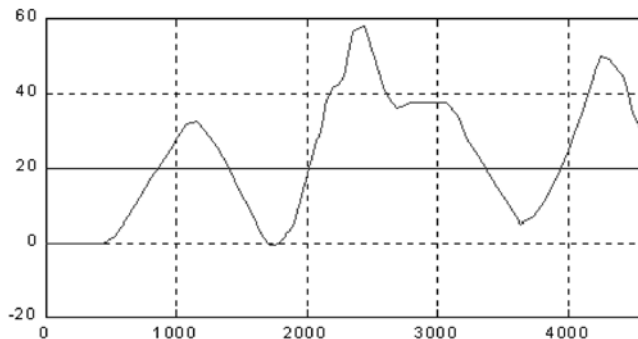
Pri nasledujúcej simulácii bolo zvolené dopravné oneskorenie 1 000 s bez úprav na ostatných častiach regulačného obvodu, čiže bez zmeny fuzzy regulátora a fuzzy kompenzátora. Ako vyplýva z priebehu simulácie, potvrdila sa „robustnosť“ regulačného obvodu s fuzzy L kompenzátorom pri dodržaní uspokojivej kvality regulačného pochodu. Priebek výstupnej veličiny spomínanej simulácie je na obr. 7 a priebek akčnej veličiny je na obr. 8. Z týchto



Obr.7 Priebek žiadanej a výstupnej veličiny pri simulácii s dopravným oneskorením 1 000 s



Obr.8 Priebek akčnej veličiny pre dopravné oneskorenie 1 000 s



Obr.9 Priebek žiadanej a výstupnej veličiny pri simulácii s dopravným oneskorením 500 s bez použitia fuzzy kompenzátora

obrázok je zrejmé, že zmena dopravného oneskorenia mala vplyv len na prerégulovanie a čas regulácie pri zachovaní stability regulačného obvodu.

V ďalšej simulácii bol testovaný regulačný pochod s dopravným oneskorením 500 s pri vylúčení fuzzy kompenzátora. Pre porovnanie s ostatnými simuláciami je na obr. 9 znázornený priebek žiadanej a výstupnej veličiny pri dopravnom oneskorení 500 s bez použitia fuzzy kompenzátora dopravného oneskorenia. Z uvedeného obrázka vidieť, že regulačný obvod bez fuzzy kompenzátora sa stal nestabilný. To potvrdzuje priaznivý vplyv kompenzátora dopravného oneskorenia na stabilitu regulačného pochodu aj pri zmenách hodnôt dopravného oneskorenia, pre ktoré nebol nastavený. Zároveň sa potvrdila aj robustnosť celého fuzzy systému. Pri číselných simuláciách regulačného obvodu s fuzzy PI regulátorom bol použitý Mamdaniho fuzzy regulátor s trojuholníkovými a lichobežníkovými funkciami príslušnosti a ladenie parametrov fuzzy regulátora heuristickou metódou pokusov a opráv pri číselných simuláciách. Na tento účel je možné použiť aj efektívnejšie metódy ladenia na báze neuro-fuzzy systémov [7]. Je potrebné poznamenať, že použitie fuzzy L kompenzátora umožňuje použiť aj iné algoritmy regulátora.

Záver

V príspevku je uvedené využitie fuzzy L kompenzátora dopravného oneskorenia, pričom príklady simulácií boli testované pre rôzne hodnoty dopravného oneskorenia T_d . Simulácie boli zamerané predovšetkým na sústavu s nepriaznivým pomerom $T_d + T_u > T_s$. Výsledky číselných simulácií overované v softvérovom prostredí Matlab-Simulink ukázali, že použitím fuzzy L kompenzátora sa zachová stabilita regulačného obvodu aj pri zmene dopravného oneskorenia pri nezmenenom nastavení regulátora a kompenzátora. Dopravné oneskorenie teda nespôsobí nestabilitu regulačného obvodu, ale jeho účinok sa prejaví predĺžením času regulácie v závislosti od veľkosti dopravného oneskorenia.

Literatúra

(vybrané tituly)

[6] NOVÁK, V.: Základy fuzzy modelování. BEN, Praha 2000.

[7] KACHAŇÁK, A., LEHOTSKÝ, M.: Analysis of neuro-fuzzy systems with structural and parametric learning characteristic. Proc. Conf. Processes Control. Kouty nad Desnou 2002. CD ROM.

doc. Ing. Anton Kachaňák, CSc.
Ing. Miriam Holišová

Katedra automatizácie a merania
Strojnícka fakulta STU
Nám. slobody 17, 812 31 Bratislava
e-mail: kachanak@kam.vvm.stuba.sk

46