

Riadenie a Umelá Inteligencia

Cvičenie č. 3

doc. Ing. Anna Jadlovská, PhD.,

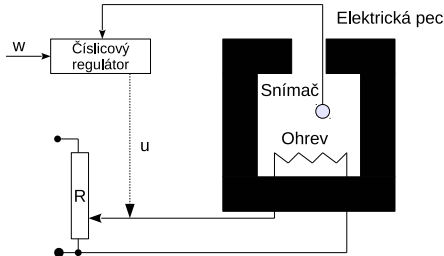
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Technická univerzita v Košiciach

LS 2015/2016

Regulácia ohrevu elektrickej pece, zadanie

Opis regulovaného procesu:

- Regulácia teploty v elektrickej peci (EP) je realizovaná zmenou príkonu
- Zmena príkonu je vypočítavaná na základe snímanej skutočnej teploty podľa príslušného riadiaceho algoritmu
- Pre model EP je potrebné navrhnuť spojité a diskkrétne regulátory, realizovať všetky analytické a numerické riešenia súvisiace so stabilitou a kvalitou diskkrétneho regulačného obvodu



Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 1

Zadanie:

Prepočet spojitého procesu vyjadreného prenosovou funkciou $G_P(s)$ v s -oblasti na diskretný tvar v z -oblasti s tvarovacím členom 0.rádu.

Model procesu:

$$G_P(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0} = \frac{0.1}{s^2 + s + 0.2} \quad (1)$$

Riešenie:

Najprv určíme póly a nuly systému:

$$G_P(s) = \frac{0.1}{s^2 + s + 0.2} = \frac{0.1}{(s + 0.7236)(s + 0.276)} \quad (2)$$

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 1

Následne určíme prenosovú funkciu s tvarovačom nultého rádu pomocou vzťahu:

$$G(z) = (1 - z^{-1})Z \left\{ L^{-1} \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\}_{t=kT} \right\} \quad (3)$$

alebo pomocou všeobecného algoritmu, ktorý je uvedený v cvičení 2.

Prechodová funkcia procesu $v(t) = L^{-1} \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\}$ sa určí na základe spätnej Laplaceovej transformácie a rozkladu na parciálne zlomky:

$$v(t) = 0.5 + 0.30903e^{-0.7236t} - 0.80903e^{-0.2764t} \quad (4)$$

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 1

Po dosadení do prechodovej charakteristiky $v(t)$ za $t = kT$ a následnej Z-transformácii pre periódu $T = 3s$ dostaneme diskretnú prechodovú funkciu $G_P(z)$:

$$G_P(z) = \frac{0.1822z + 0.06745}{z^2 - 0.5505z + 0.04979} \quad (5)$$

a pre periódu $T = 2s$

$$G_P(z) = \frac{0.1072z + 0.05516}{z^2 - 0.8106z + 0.1353} \quad (6)$$

Záver:

$G_P(z)$ budeme používať:

- 1 pri overení stability a kvality návrhu číslicového PID zákona riadenia
- 2 pri návrhu diskretného polynomiálneho zákona riadenia a zákona riadenia na konečný počet krokov

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2

Zadanie:

Vypočítajte parametre spojitého PID regulátora a jeho ekvivalentu: PSD regulátora

- 1 analyticky s využitím metódy optimálneho modulu (MOM) a Naslinovej metódy (daný postup implementovať v programovom prostredí MATLAB/Simulink)
- 2 vypočítajte ustálenú hodnotu regulovanej veličiny $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t)$, riadiaceho zásahu $\lim_{t \rightarrow \infty} u(t)$ a regulačnej odchýlky $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t)$ pomocou vety o konečnej hodnote
- 3 výpočet ustálených hodnôt $y(t)$, $u(t)$ a $e(t)$ naprogramujte s využitím funkcií v prostredí MATLAB

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2

Riešenie:

Výpočet koeficientov spojitého PID regulátora:

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (7)$$

Prenosová funkcia regulátora:

$$G_R(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right) = \frac{U(s)}{E(s)} \quad (8)$$

Prenosová funkcia tepelného procesu:

$$G_P(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{K}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (9)$$

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2a

Určenie koeficientov PID regulátora metódou optimálneho modulu

Prenosové funkcie procesu $G_P(s)$ a regulátora $G_R(s)$ je potrebné upraviť na tvar:

$$G_P(s) = K_P \frac{M(s)}{N(s)} = \frac{K_P}{\frac{N(s)}{M(s)}} = \frac{K_P}{1 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n} \quad (10)$$
$$G_R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1s, \quad r_0 = K, r_{-1} = \frac{r_0}{T_i}, r_1 = r_0 T_D$$

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2a

Určenie koeficientov PID regulátora metódou optimálneho modulu

Maticový tvar MOM pre proces $G_P(s)$ v normovanom tvare:

PID regulátor

$$\begin{bmatrix} a_1 & -1 & 0 \\ a_3 & -a_2 & a_1 \\ a_5 & -a_4 & a_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{-1} \\ r_0 \\ r_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2K_P} \begin{bmatrix} 1 \\ -a_1^2 + 2a_2 \\ a_2^2 - 2a_1a_3 + 2a_4 \end{bmatrix} \quad (11)$$

PI regulátor

$$\begin{bmatrix} a_1 & -1 \\ a_3 & -a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{-1} \\ r_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2K_P} \begin{bmatrix} 1 \\ -a_1^2 + 2a_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Riešením tejto maticovej rovnosti dostávame pre koeficienty r_0 a r_{-1} :

$$r_0 = \frac{1}{2K_P} \frac{a_1^3 - 2a_1a_2 + a_3}{a_1a_2 - a_3}, \quad r_{-1} = \frac{1}{2K_P} \frac{a_1^2 - a_2}{a_1a_2 - a_3} \quad (13)$$

Všetky koeficienty a_i sú koeficienty normovaného prenosu $G_P(s)$.

Syntéza MOM nezaručuje stabilitu, je nutné ju vyšetrit.

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2a

Prenos tepelného procesu upravíme do vhodného tvaru pre MOM:

$$G_P(s) = \frac{0.1}{s^2 + s + 0.2} = \frac{0.5}{5s^2 + 5s + 1} \quad (14)$$

a následne vypočítame parametre PI regulátora:

$$r_0 = K = 3, \quad r_{-1} = 0.8 \Rightarrow T_i = \frac{K}{r_{-1}} = 3.75 \quad (15)$$

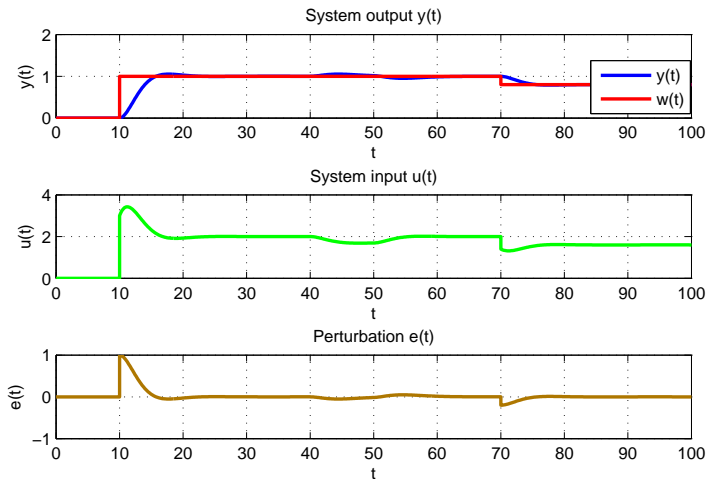
Prenos regulátora teda môžeme zapísať:

$$G_R(s) = 3 + \frac{0.8}{s} = 3 \left(1 + \frac{1}{3.75s} \right) \quad (16)$$

Tvar PID regulátora v interaktívnom tvare budeme transformovať na PSD regulátor.

Regulácia ohrevu elektrickej pece, 2a

Časové priebehy $y(t)$, $u(t)$ a $e(t)$ pre tepelný proces s PI regulátorom navrhnutým pomocou MOM za pôsobenia poruchy v čase $t \approx 50s$ a pri zmene $w(t)$. Regulátor PID vskladajte v zložkovom tvare.



Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2a

Určenie koeficientov PID regulátora podľa Naslina

Naslinová metóda pre výpočet parametrov r_0, r_{-1}, r_1 PID regulátora vychádza z CHR URO:

$$1 + G_P(s)G_R(s) = 0$$
$$c_n s^n + \dots + c_{i+1} s^{i+1} + c_i s^i + c_{i-1} s^{i-1} + \dots + c_1 s + c_0 = 0, \quad (17)$$

kde c_0, \dots, c_n sú koeficienty lineárneho RO.

Medzi trojicami za sebou idúcich koeficientov CHR platí Naslinov vzťah:

$$c_i^2 = \alpha c_{i+1} c_{i-1} \quad (18)$$

konštantu α treba voliť na základe prípustného preregulovania δ_{max}

$\delta_{max}[\%]$	16	12	8	5	3	1
α	1.75	1.8	1.9	2	2.2	2.4

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2a

Určenie koeficientov PID regulátora podľa Naslina

Na základe Naslinovej metódy vypočítajte parametre PI regulátora, ak je daný prenos regulovaného systému $G_P(s)$:

$$G_P(s) = \frac{0.1}{s^2 + s + 0.2}, \quad G_R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s}$$

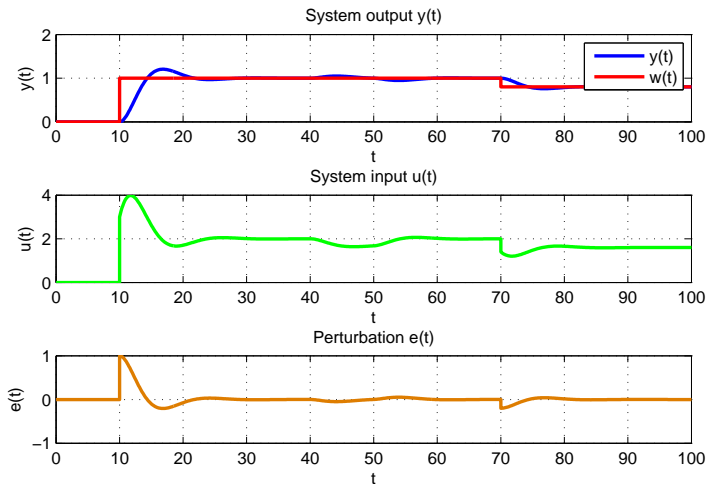
a prípustné preregulovanie je $\delta_{max} = 5\%$

Pre zadané prípustné preregulovanie $\delta_{max} = 5\%$ na základe tabuľky určíme hodnotu konštanty $\alpha = 2$ a určíme parametre PI regulátora:

$$G_R(s) = 3 + \frac{2.4}{s} = 3 \left(1 + \frac{1}{1.25s} \right)$$

Regulácia ohrevu elektrickej pece, 2a

Časové priebehy $y(t)$, $u(t)$ a $e(t)$ pre tepelný proces s PI regulátorom navrhnutým pomocou Naslinovej metódy za pôsobenia poruchy v čase $t \approx 50s$ a pri zmene $w(t)$.



Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2b

**Overenie stability a kvality v ustálenom stave $y(\infty)$, $u(\infty)$ a $e(\infty)$ -
výpočet ustálených hodnôt**

Prenosová funkcia URO

$$G_{Y/W}(s) = \frac{G_P(s)G_R(s)}{1 + G_P(s)G_R(s)} = \frac{Y(s)}{W(s)}, \quad W(s) = \frac{1}{s} \quad (19)$$

ustálená hodnota regulovanej veličiny $y(t)$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG_{Y/W}(s)W(s) \quad (20)$$

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2b

Overenie stability a kvality v ustálenom stave $y(\infty)$, $u(\infty)$ a $e(\infty)$ -
výpočet ustálených hodnôt

Prenosová funkcia regulačnej odchýlky $e(t)$

$$G_{E/W}(s) = \frac{1}{1 + G_P(s)G_R(s)} = \frac{E(s)}{W(s)}, \quad W(s) = \frac{1}{s} \quad (21)$$

ustálená hodnota regulačnej odchýlky $e(t)$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG_{E/W}(s)W(s) \quad (22)$$

Prenosová funkcia riadiaceho zásahu $u(t)$

$$G_{U/W}(s) = \frac{G_R(s)}{1 + G_P(s)G_R(s)} = \frac{U(s)}{W(s)}, \quad W(s) = \frac{1}{s} \quad (23)$$

ustálená hodnota riadiaceho zásahu $u(t)$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} u(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sU(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG_{U/W}(s)W(s) \quad (24)$$

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2c

Navrhňte simulačnú schému pre verifikáciu algoritmov PID, ktoré boli navrhnuté metódou MOM, Naslinovou metódou, metódou Ziegler-Nichols (2 modifikácie) a pomocou štandardných tvarov (Graham-Lathrop, Butterworth)

- 1 uvažujte funkcie v jazyku MATLAB pre MOM a pre metódu Naslin
- 2 vykreslite priebeh precesu v otvorenej slučke
- 3 vykreslite priebehy URO: $y(t)$, $u(y)$ a $e(t)$ ako odozvu na meniaci sa riadiaci signál $w(t)$ ($w(t) = 1$, $w(t) = 1.2$ a $w(t) = 0.8$)
- 4 uvažujte pôsobenie poruchy $z(t)$ na vstupe URO, ak sa $w(t)$ nemení
- 5 Overte simuláciou algoritmus PID riadenia pecky s využitím metódy MOM a Naslin v riadiacej štruktúre v Simulinku. Simulácia je inicializovaná z programovacieho prostredia MATLAB (funkcia MOM, funkcia Naslin).

Regulácia ohrevu elektrickej pece, 2c

Porovnanie časových priebehov $y(t)$, $u(t)$ a $e(t)$ pre tepelný proces s PI regulátorom navrhnutým pomocou MOM a Naslinovej metódy za pôsobenia poruchy v čase $t \approx 50s$ a pri zmene $w(t)$.

