

Riadenie a Umelá Inteligencia

Cvičenie č. 4

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

Pre opis regulovaného procesu, ktorý reprezentuje tepelný proces:

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

riešte návrh PID regulátora pomocou nasledovných metód

- ① návrh regulátora pomocou metódy Ziegler-Nichols (experimentálne určenie kritických parametrov r_{0KR} , T_K z prechodovej charakteristiky systému (z doby nábehu T_n a doby prietahu T_u))
- ② návrh regulátora pomocou metódy Ziegler-Nichols (na základe známeho prenosu URO s využitím Michajlovho kritéria alebo prenosu otvoreného regulačného obvodu s využitím Nyquistovho kritéria)
- ③ návrh regulátora pomocou polynómov štandardných tvarov (Graham-Lathrop a Butterworthové mnohočleny)
- ④ naprogramujte ako funkcie
 - a) výpočet inflexného bodu pre stabilný proces 2. rádu,
 - b) návrh PID pomocou r_{0KR} a T_K ,
 - c) návrh PID pomocou štandardných tvarov v MATLABe

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 1

Riešenie:

Najprv určíme prechodovú charakteristiku $v(t)$ tepelného procesu $G_P(s)$:

$$v(t) = L^{-1} \{V(s)\} = L^{-1} \{G_P(s)W(s)\}, \quad W(s) = \frac{1}{s} \quad (2)$$

následne vypočítaním inflexného bodu prechodovej charakteristiky $v(t)$ a preložením dotyčnice daným bodom určíme dobu nábehu T_n a dobu prietahu T_u

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 1

A na základe vypočítaných hodnôt T_u a T_n určíme parametre PID regulátora z Tab. 1 pre proces v tvare :

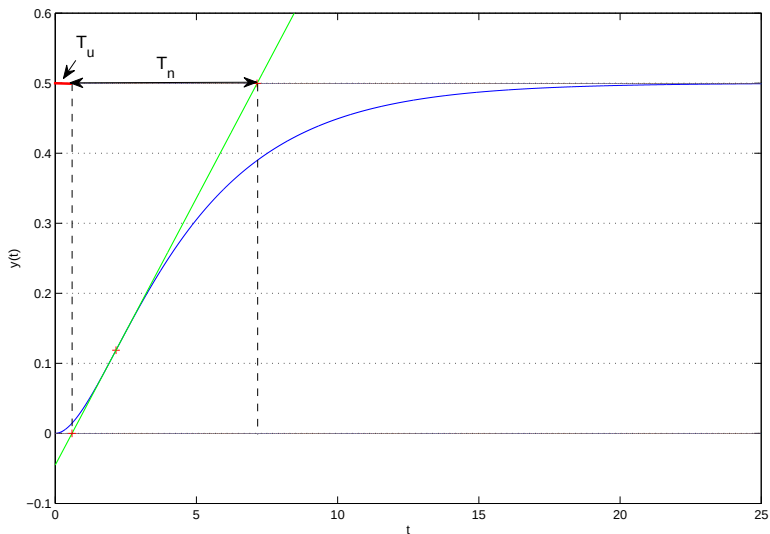
$$G_P(s) = \frac{K_P}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + \dots + a_n s^n} \quad (3)$$

Regulátor	$K = r_0$	$T_i = K/r_{-1}$	$T_D = r_1/K$
P	$\frac{T_n}{K_P T_u}$	—	—
PI	$0.9 \frac{T_n}{K_P T_u}$	$3.5 T_u$	—
PD	$1.2 \frac{T_n}{K_P T_u}$	—	$0.25 T_u$
PID	$1.25 \frac{T_n}{K_P T_u}$	$2 T_u$	$0.05 T_u$

Tab. 1

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 1

Prechodová charakteristika elektrickej pece



Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 1

Z prechodovej charakteristiky systému určíme časové konštanty T_u a T_n

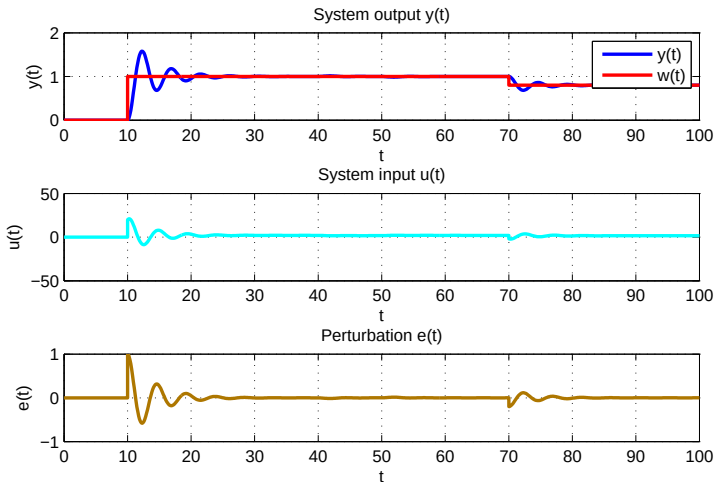
$$T_u = 0.5937s, \quad T_p = 7.1471s, \quad T_n = T_p - T_u = 6.5534s \quad (4)$$

z ktorých vypočítame parametre PID regulátora

$$G_R(s) = 19.8688 \left(1 + \frac{1}{2.078s} \right) \quad (5)$$

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 1

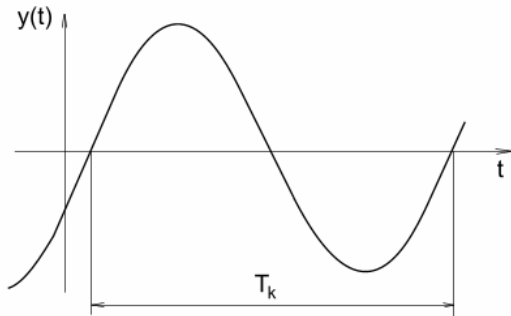
Časové priebehy $y(t)$, $u(t)$ a $e(t)$ pre tepelný proces s PI regulátorom navrhnutým pomocou metódy Ziegler-Nichols (z doby nábehu T_n a doby prietahu T_u) za pôsobenia poruchy v čase $t \approx 50\text{s}$ a pri zmene $w(t)$.



Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2

Riešenie:

Metóda vychádza z hranice stability URO. Ak z prenosu regulátora $G_R(s)$ vyradíme integračnú a derivačnú zložku ($r_{-1} = r_1 = 0$) a vypočítame zosilnenie regulátora r_{0KR} , obvod sa dostane na hranicu stability (v obvode nastanú trvalé kmity s periódou T_K)



$y(t)$ - regulovaná veličina URO

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2

Výpočet kritického zosilnenia r_{0KR} :

1. vychádzame z CHR URO:

$$1 + G_P(s)G_R(s) = 0 \quad (6)$$

2. do CHR dosadíme zadaný prenos sústavy $G_P(s)$ a prenos proporcionálneho regulátora $G_R(s) = r_0$:

$$\begin{aligned} 1 + G_P(s)r_0 &= 0 \\ c_n s^n + \dots + c_1 s + c_0 &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

kde $c_0 = f(r_0)$

3. následne použijeme v CHR substitúciu $s = j\omega$:

$$c_n(j\omega)^n + \dots + c_1(j\omega) + c_0 = 0 \quad (8)$$

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2

Na výpočet kritického zosilnenia použijeme Michajlovo kritérium (kritický bod $[0, 0] \Rightarrow U(\omega) = 0 \wedge V(\omega) = 0$)

4. CHR vyjadríme v zložkovom tvare:

$$U(\omega) + jV(\omega) = 0 \quad (9)$$

5. výpočet T_K :

$$V(\omega) = 0 \Rightarrow \omega_{KR} \Rightarrow T_K = \frac{2\pi}{\omega_{KR}} \quad (10)$$

6. kritické zosilnenie r_{0KR} získame:

$$U(\omega)_{\omega=\omega_{KR}} = 0 \Rightarrow r_{0KR} \quad (11)$$

Táto metóda sa nedá použiť na stabilné systémy 2. rádu.

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 2

7. konštanty P, PI, PID regulátora vypočítame na základe kritických hodnôt T_K a r_{0KR} využitím Tab.2

Regulátor	r_0	r_{-1}	r_1
P	$r_0 = 0.5r_{0KR}$	—	—
PI	$r_0 = 0.45r_{0KR}$	$r_{-1} = \frac{r_0}{T_i} = \frac{r_0}{0.85T_K}$	—
PD	$r_0 = 0.6r_{0KR}$	—	$r_1 = r_0 T_D = 0.06 T_K r_0$
PID	$r_0 = 0.6r_{0KR}$	$r_{-1} = \frac{r_0}{T_i} = \frac{r_0}{0.5T_K}$	$r_1 = r_0 T_D = 0.125 T_K r_0$

Tab. 2

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 3

Pri metóde štandardných tvarov sa k regulovanej sústave zvolí vhodný typ regulátora a vyjadrí sa charakteristická rovnica URO.

$$1 + G_P(s)G_R(s) = 0 \quad (12)$$

Jej koeficienty sa porovnávajú s odpovedajúcimi koeficientmi štandardného tvaru (Tab.3) pre Graham-Lathrop alebo (Tab.4) pre Butterworthové mnohočleny, čím sa získajú potrebné rovnice pre výpočet konštánt zvoleného typu regulátora.

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 3

Štandardné tvary charakteristického polynómu URO - Graham-Lathrop

$$q = \frac{s}{\omega_0} \quad (13)$$

kde ω_0 je vlastná frekvencia

n-rád	Charakteristický polynóm
1	$q + 1$
2	$q^2 + 1.4q + 1$
3	$q^3 + 1.75q^2 + 2.15q + 1$
4	$q^4 + 2.1q^3 + 3.4q^2 + 2.7q + 1$

Tab. 3

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 3

Štandardné tvary charakteristického polynómu URO - Butterworth

$$q = \frac{s}{\omega_0} \quad (14)$$

kde ω_0 je vlastná frekvencia

n-rád	Charakteristický polynóm
1	$q + 1$
2	$q^2 + 1.4q + 1$
3	$q^3 + 2q^2 + 2q + 1$
4	$q^4 + 2.61q^3 + 3.41q^2 + 2.61q + 1$

Tab. 4

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 3

Postup výpočtu:

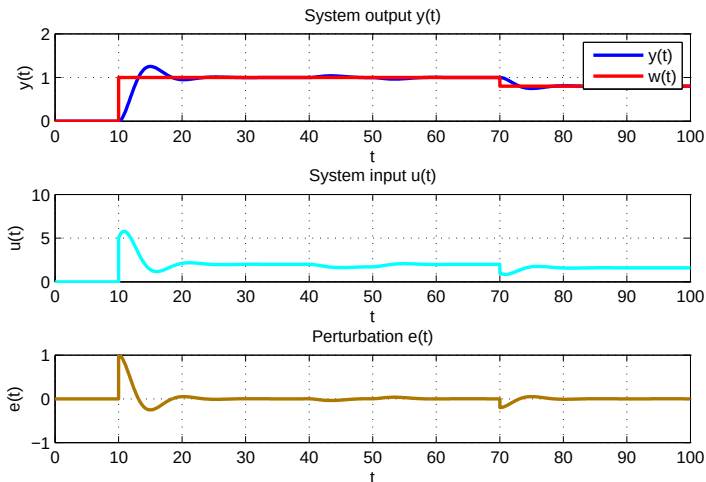
- 1 vyjadríme si CHR URO
- 2 zvolíme si charakteristický polynóm podľa požadovaného štandardného tvaru
- 3 dosadíme za $q = s/\omega_0$
- 4 porovnáme koeficienty pri rovnakých mocninách s

Podľa daného postupu pre výpočet PI regulátora pre zadaný tepelný proces platí:

$$G_R(s) = 5.0204 \left(1 + \frac{1}{2.69s} \right) \quad (15)$$

Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 3

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



Regulácia ohrevu elektrickej pece, úloha 3

Porovnanie časových priebehov $y(t)$, $u(t)$ a $e(t)$ pre tepelný proces s PI regulátorom navrhnutým pomocou štandardných tvarov Graham-Lathrop a Butterworth za pôsobenia poruchy v čase $t \approx 50s$ a pri zmene $w(t)$.

