

Riadenie a Umelá Inteligencia

Cvičenie č. 5

doc. Ing. Anna Jadlovská, PhD.,

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

LS 2015/2016

Prepočet PID regulátora na PSD regulátor s využitím lichobežníkovej aproximácie

Úloha:

Simulácia PSD algoritmu riadenia pre tepelný proces v riadiacej štruktúre

- analyticky/algorithmicky zrealizujte výpočet koeficientov PSD regulátora na základe už vypočítaných koeficientov K , T_i , T_D spojitého PID regulátora. Zvoľte vhodnú periódu vzorkovania T_{VZ}
- vypočítajte analyticky/algorithmicky
 - a) prenosovú funkciu URO s PSD regulátorom
 - b) ustálenú hodnotu regulovanej veličiny $y(\infty)$
 - c) zostavte diferenčnú rovnicu URO z $G_{Y/W}(z)$

Prepočet PID regulátora na PSD regulátor s využitím lichobežníkovej aproximácie

PID \rightarrow PSD := $(K, T_i, T_D, T_{VZ}) \rightarrow (q_0, q_1, q_2)$:

Prenosová funkcia PI regulátora:

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

$K = 3, T_i = 3.75, T_D = 0$

Prenosová funkcia číslicového PSD regulátora:

$$G_R(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}} = \frac{U(z)}{E(z)} \quad (2)$$

$$q_0 = K \left(1 + \frac{T_{VZ}}{2T_i} + \frac{T_D}{T_{VZ}} \right), q_1 = -K \left(1 - \frac{T_{VZ}}{2T_i} + \frac{2T_D}{T_{VZ}} \right), q_2 = K \frac{T_D}{T_{VZ}} \quad (3)$$

Prepočet PID regulátora na PSD regulátor s využitím lichobežníkovej aproximácie

Vyšetrenie podmienok ekvivalentnosti:

$$q_0 > 0, \quad q_1 > -q_0, \quad -(q_0 + q_1) < q_2 < q_0 \quad (4)$$

Prenosová funkcia číslicového PSD regulátora pre $T_{VZ} = 2s$:

$$G_R(z) = \frac{3.8z - 2.2}{z - 1} = \frac{U(z)}{E(z)} \quad (5)$$

Prenosová funkcia URO s PSD regulátorom:

$$G_{Y/W}(z) = \frac{G_P(z)G_R(z)}{1 + G_P(z)G_R(z)} = \frac{0.4077z^2 - 0.027z - 0.121}{z^3 - 1.4028z^2 + 0.9188z - 0.256} = \frac{Y(z)}{W(z)} \quad (6)$$

Prepočet PID regulátora na PSD regulátor s využitím lichobežníkovej aproximácie

Ustálená hodnota regulovanej veličiny $y(t)$:

$$y(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) G_{Y/W}(z) W(z) = \frac{0.2591}{0.2591} = 1 \quad (7)$$

Diferenčná rovnica URO z $G_{Y/W}(z)$:

$$y(k) = 0.2563y(k-3) - 0.9188y(k-2) + 1.4y(k-1) - 0.121w(k-3) - 0.027w(k-2) + 0.4w(k-1) \quad (8)$$

$$y(0) = 0, y(1) = 0.4077, y(2) = 0.9526, y(3) = 1.2214, y(4) = 1.28 \quad (9)$$

Prepočet PID regulátora na PSD regulátor s využitím lichobežníkovej aproximácie

Prenosová funkcia regulačnej odchýlky $e(t)$:

$$G_{E/W}(z) = \frac{1}{1 + G_P(z)G_R(z)} = \frac{z^3 - 1.18z^2 + 0.94z - 0.13}{z^3 - 1.4z^2 + 0.91z - 0.25} = \frac{E(z)}{W(z)} \quad (10)$$

Ustálená hodnota regulovanej veličiny $e(t)$:

$$e(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1})G_{E/W}(z)W(z) = 0 \quad (11)$$

Diferenčná rovnica URO z $G_{E/W}(z)$:

$$e(k) = 0.25e(k-3) - 0.91e(k-2) + 1.4e(k-1) - 0.1353w(k-3) + 0.94w(k-2) - 1.8w(k-1) + w(k) \quad (12)$$

$w(k) = 0, k < 0$ a $w(k) = 1, k > 0$

$$e(0) = 1, e(1) = 0.593, e(2) = 0.0473, e(3) = -0.2214 \quad (13)$$

Prepočet PID regulátora na PSD regulátor s využitím lichobežníkovej aproximácie

Prenosová funkcia riadiaceho zásahu $u(t)$:

$$G_{U/W}(z) = \frac{G_R(z)}{1 + G_P(z)G_R(z)} = \frac{U(z)}{W(z)} \quad (14)$$

Ustálená hodnota regulovanej veličiny $u(t)$:

$$u(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1})G_{U/W}(z)W(z) = 0 \quad (15)$$

Diferenčná rovnica URO z $G_{U/W}(z)$:

$$u(k) = 0.25u(k-3) - 0.91u(k-2) + 1.4u(k-1) - \\ - 0.55w(k-3) - 0.523w(k-2) + 0.1073w(k-1) \quad (16)$$

$w(k) = 0, k < 0$ a $w(k) = 1, k > 0$

$$u(0) = 0, u(1) = 0.1073, u(2) = 0.2, u(3) = 0.1896, u(4) = 0.1046 \quad (17)$$

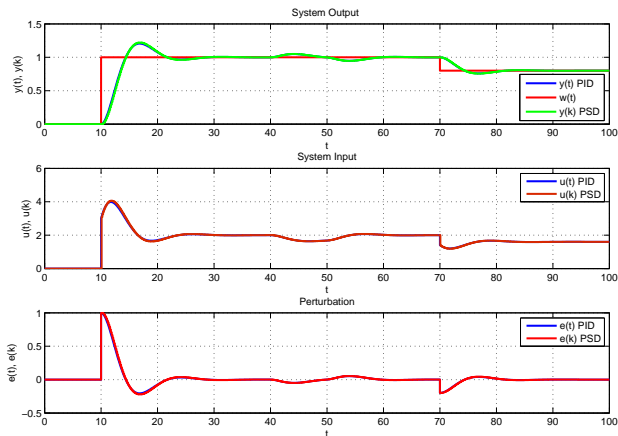
Prepočet PID regulátora na PSD regulátor s využitím lichobežníkovej aproximácie

Navrhните simulačnú schému pre verifikáciu číslicového algoritmu PSD

- zostavte štruktúru číslicového PID regulátora
- navrhните funkciu pre výpočet parametrov q_0, q_1, q_2 pre číslicový PSD regulátor vykreslite priebehy $y(k)$, $u(k)$ a $e(k)$ ako odozvu na meniaci sa riadiaci signál $w(t)$, uvažujme pôsobenie:
 - a) poruchy $z(t)$ na vstupe URO
 - b) porovnajte $y(t)$ a $y(kT)$, $u(t)$ a $u(kT)$ a $e(t)$ a $e(kT)$ v URO pre vhodne zvolenú T_{VZ}

Prepočet PID regulátora na PSD regulátor s využitím lichobežníkovej aproximácie

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



Návrh riadenia na konečný počet krokov (dead-beat) pre tepelný systém druhého rádu

Úloha:

- a) vypočítajte koeficienty diskretného regulátora na konečný počet krokov bez ohraničenia na riadiaci zásah
- b) s ohraňčením na riadiaci zásah
- vypočítajte prechodový dej regulovanej veličiny $y(k)$, akčnej veličiny $u(k)$ a regulačnej odchýlky $e(k)$
- vypočítajte ustálené hodnoty $y(\infty)$, $u(\infty)$ a $e(\infty)$ použitím vety o konečnej hodnote pre z-transformáciu
- naprogramujte funkciu dead-beat regulátora v jazyku MATLAB a simulačne v riadiacej štruktúre overte riadenie na konečný počet krokov pre definovaný tvar riadiacej veličiny $w(t)$ a poruchy $z(t)$. Výsledky prechodových dejov z URO znázornite graficky

Výpočet koeficientov dead-beat regulátora bez ohraničenia na riadiaci zásah

Pri návrhu D-B regulátora vychádzame z koeficientov čitateľa a menovateľa diskkrétnej prechodovej funkcie získanej prepočtom z s-oblasti do z-oblasti s tvarovacím členom 0. rádu.

Prenosová funkcia tepelného procesu:

$$\begin{aligned} G_P(z) &= \frac{0.1073z + 0.055}{z^2 - 0.8105z + 0.1353} = \frac{0.1073z^{-1} + 0.055z^{-2}}{1 - 0.8105z^{-1} + 0.1353z^{-2}} = \\ &= \frac{b_1z^{-1} + b_2z^{-2}}{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \end{aligned} \quad (18)$$

kontrola výpočtu:

c2d(num, den, T_{VZ} , metóda prepočtu)

Výpočet koeficientov dead-beat regulátora bez ohraničenia na riadiaci zásah

Výpočet koeficientov D-B regulátora:

$$q_0 = \frac{1}{b_1 + b_2} = 6.1694 = u(0), \quad q_1 = a_1 q_0 = -5, \quad q_2 = a_2 q_0 = 0.83 \quad (19)$$
$$p_1 = b_1 q_0 = 0.6611, \quad p_2 = b_2 q_0 = 0.3388$$

Určíme polynómy $Q(z)$ a $P(z)$:

$$Q(z) = 6.16 - 5z^{-1} + 0.833z^{-2} \quad (20)$$
$$P(z) = 0.66z^{-1} + 0.3388z^{-2}$$

Prenosová funkcia D-B regulátora:

$$G_R(z) = \frac{Q(z)}{1 - P(z)} = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - p_1 z^{-1} - p_2 z^{-2}} = \frac{6.16 - 5z^{-1} + 0.833z^{-2}}{1 - 0.66z^{-1} - 0.3388z^{-2}} \quad (21)$$

$$G_R(z) = \frac{U(z)}{E(z)} \Rightarrow u(k) \quad (22)$$

Výpočet koeficientov dead-beat regulátora bez ohraničenia na riadiaci zásah

Výpočet prechodového deja $y(k)$, $u(k)$ a $e(k)$ pre D-B regulátor

Prenosová funkcia URO:

$$G_{Y/W}(z) = \frac{G_P(z)G_R(z)}{1 + G_P(z)G_R(z)} = \frac{Y(z)}{W(z)} = P(z) \quad (23)$$

Regulovaná veličina $Y(z)$:

$$Y(z) = G_{Y/W}(z)W(z) = P(z)\frac{1}{1 - z^{-1}} = 0.66z^{-1} + 1z^{-2} + 1z^{-3} \quad (24)$$

Ustálená hodnota regulovanej veličiny $y(\infty)$:

$$y(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1})G_{Y/W}(z)W(z) = \lim_{z \rightarrow 1} G_{Y/W}(z) = 1 \quad (25)$$

Výpočet koeficientov dead-beat regulátora bez ohraničenia na riadiaci zásah

Prenosová funkcia regulačnej odchýlky:

$$G_{E/W}(z) = \frac{1}{1 + G_P(z)G_R(z)} = \frac{E(z)}{W(z)} = 1 - G_{Y/W} = 1 - P(z) \quad (26)$$

$$G_{E/W}(z) = 1 - 0.66z^{-1} - 0.338z^{-2} \quad (27)$$

Ustálená hodnota regulačnej odchýlky $e(\infty)$:

$$e(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1})G_{E/W}(z)W(z) = 0 \quad (28)$$

Regulačná odchýlka:

$$\begin{aligned} E(z) &= W(z) - Y(z) = \\ &= (1z^0 + 1z^{-1} + 1z^{-2} + \dots) - (0.66z^{-1} + 1z^{-2} + \dots) = \\ &= 1 + 0.3399z^{-1} + 0z^{-2} + \dots \end{aligned} \quad (29)$$

Výpočet koeficientov dead-beat regulátora bez ohraničenia na riadiaci zásah

Prenosová funkcia riadiaceho zásahu:

$$G_{U/W}(z) = \frac{G_R(z)}{1 + G_P(z)G_R(z)} = Q(z) = 6.16 - 5z^{-1} + 0.833z^{-2} \quad (30)$$

Riadiaci zásah $U(z)$:

$$U(z) = Q(z)W(z) = 6.16 + 1.16z^{-1} + 2z^{-2}, \quad W(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}} \quad (31)$$

Ustálená hodnota riadiaceho zásahu $u(\infty)$:

$$u(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1})G_{U/W}(z)W(z) = 2 \quad (32)$$

Výpočet koeficientov dead-beat regulátora bez ohraničenia na riadiaci zásah

Rekurentný zásah riadenia pre D-B regulátor:

$$G_R(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - p_1 z^{-1} - p_2 z^{-2}} = \frac{U(z)}{E(z)} \quad (33)$$

odtiaľ:

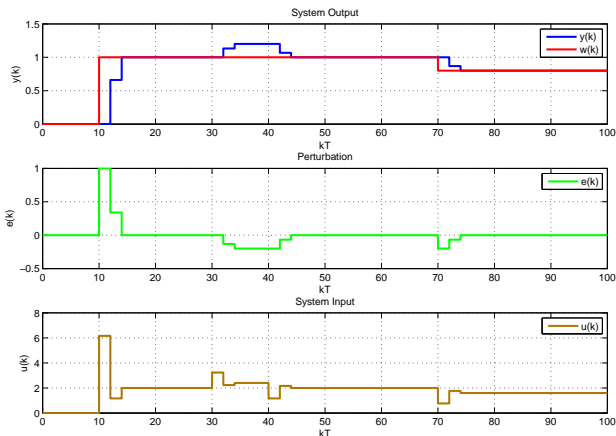
$$U(z) = G_R(z)E(z) \quad (34)$$

Diferenčná rovnica, na základe ktorej sa počíta $u(k)$ pre proces:

$$u(k) = 0.611u(k-1) + 0.338u(k-2) + 6.16e(k) - 5e(k-1) + 0.833e(k-2) \quad (35)$$

Výpočet koeficientov dead-beat regulátora bez ohraničenia na riadiaci zásah

Časové priebehy $y(k)$, $u(k)$ a $e(k)$ pre tepelný proces s D-B regulátorom bez ohraničenia na akčný zásah $u(k)$ za pôsobenia poruchy v čase $t \approx 40s$ a pri zmene $w(t)$.



Výpočet koeficientov diskrétného regulátora na konečný počet krokov s ohraničením na riadiaci zásah

V prvej časti tejto úlohy bol navrhnutý D-B regulátor bez ohraničenia na riadiaci zásah:

$$u(0) = q(0) = 6.1614 \quad (36)$$

Ak prvú hodnotu riadiaceho zásahu ohraničíme $u(0) \leq 5.5$, potrebujeme vypočítať nové hodnoty koeficientov regulátora q_i, p_i

Výpočet koeficientov D-B regulátora sa realizuje z prenosovej funkcie $G_P(z)$ procesu (pri vhodne zvolenej T_{VZ}) s rešpektovaním ohraničenia $u(0)$

Výpočet koeficientov diskrétného regulátora na konečný počet krokov s ohraňením na riadiaci zásah

Koeficienty procesu $G_P(z)$:

$$G_P(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{0.1073z^{-1} + 0.055z^{-2}}{1 - 0.8105z^{-1} + 0.1353z^{-2}} = \frac{b_1z^{-1} + b_2z^{-2}}{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (37)$$

Výpočet koeficientov D-B regulátora s ohraňením:

$$q_0 = u(0) = 5.5, \quad q_1 = (a_1 - 1)q_0 + 1/\sum_{i=1}^n b_i = -3.796$$
$$q_2 = (a_2 - a_1)q_0 + a_1/\sum_{i=1}^n b_i = 0.208 \quad (38)$$
$$q_3 = (a_3 - a_2)q_0 + a_2/\sum_{i=1}^n b_i = 0.0894$$

$$Q(z) = q_0 + q_1z^{-1} + q_2z^{-2} + q_3z^{-3} \quad (39)$$

Výpočet koeficientov diskrétného regulátora na konečný počet krokov s ohraničením na riadiaci zásah

Výpočet koeficientov p_i D-B regulátora:

$$p_1 = q_0 b_1 = 0.591$$

$$p_2 = (b_2 - b_1)q_0 + b_1 / \sum_{i=1}^n b_i = 0.373 \quad (40)$$

$$p_3 = (b_3 - b_2)q_0 + b_2 / \sum_{i=1}^n b_i = 0.063$$

Menovateľ D-B regulátora:

$$1 - P(z) = 1 - p_1 z^{-1} - p_2 z^{-2} - p_3 z^{-3} \quad (41)$$

Prenosová funkcia D-B regulátora:

$$G_R(z) = \frac{Q(z)}{1 - P(z)} = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2} + q_3 z^{-3}}{1 - p_1 z^{-1} - p_2 z^{-2} - p_3 z^{-3}} = \frac{U(z)}{E(z)} \quad (42)$$

Výpočet koeficientov diskrétného regulátora na konečný počet krokov s ohraničením na riadiaci zásah

Rekurentná forma riadiaceho zásahu z $G_R(z)$:

$$U(z)(1 - P(z)) = E(z)Q(z) \quad (43)$$

Diferenčná rovnica D-B regulátora - implementuje sa v tvare algoritmu riadenia na konečný počet krokov:

$$u(k) = 0.59u(k-1) + 0.307u(k-2) + 0.036u(k-3) + 5.5e(k) - 3.79e(k-1) + 0.208e(k-2) + 0.08e(k-3) \quad (44)$$

Výpočet koeficientov diskrétného regulátora na konečný počet krokov s ohraničením na riadiaci zásah

Prenosová funkcia URO:

$$G_{Y/W}(z) = \frac{Y(z)}{W(z)} = P(z) \quad (45)$$

Regulovaná veličina $Y(z)$:

$$Y(z) = 0.5901z^{-1} + 0.96z^{-2} + 1z^{-3} + \dots \quad (46)$$

Ustálená hodnota regulovanej veličiny $y(\infty)$:

$$y(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) G_{Y/W}(z) W(z) = 1 \quad (47)$$

Výpočet koeficientov diskrétného regulátora na konečný počet krokov s ohraničením na riadiaci zásah

Regulačná odchýlka $E(z)$:

$$E(z) = W(z) - Y(z) = 1 + 0.4099z^{-1} + 0.0364z^{-2} + 0z^{-3} \quad (48)$$

Ustálená hodnota regulačnej odchýlky $e(\infty)$:

$$e(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) G_{E/W}(z) W(z) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - P(z)) = 0 \quad (49)$$

Riadiaci zásah $U(z)$:

$$U(z) = Q(z)W(z) = 5.5 + 1.703z^{-1} + 1.91z^{-2} + 2z^{-3} \quad (50)$$

Ustálená hodnota riadiaceho zásahu $u(\infty)$:

$$u(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) G_{U/W}(z) W(z) = 2 \quad (51)$$

Výpočet koeficientov diskrétného D-B regulátora s ohraňením na riadiaci zásah

Časové priebehy $y(k)$, $u(k)$ a $e(k)$ pre tepelný proces s D-B regulátorom s ohraňením na akčný zásah $u(k)$ za pôsobenia poruchy v čase $t \approx 40s$ a pri zmene $w(t)$.

