Číslicové riadenie

4. prednáška

Deadbeat regulátor

4. prednáška - OBSAH

PRIAME METÓDY NÁVRHU DISKRÉTNYCH REGULÁTOROV

DEADBEAT regulátor

• základný princíp a odvodenie parametrov regulátora

DEADBEAT regulátor s ohraničením akčného zásahu

• parametre regulátora

OVERENIE METÓD

Deadbeat regulátor - **za konečný počet krokov riadenia dosiahne nulovú regulačnú odchýlku v konečnom čase**

DEADBEAT regulátor (odvodenie pre riadený systém bez dopravného oneskorenia!)

Spojitý riadený systém s prenosovou funkciou ***G(s)*** prepočítame pomocou príkazu ***c2d*** (prepočítava už s tvarovačom 0. rádu) v Matlabe (s vhodnou periódou vzorkovania ***T***) **na diskrétny systém** s prenosovou funkciou ***G(z)*:**

$$G(z)=\frac{Y(z)}{U(z)}=\frac{b_1 z^{-1}+b_2 z^{-2}+\dots+b_n z^{-n}}{1+a_1 z^{-1}+\dots+a_n z^{-n}}=\frac{B(z)}{A(z)}$$

Predpokladáme, že **referenčnou premennou bude jednotkový skok**, teda:

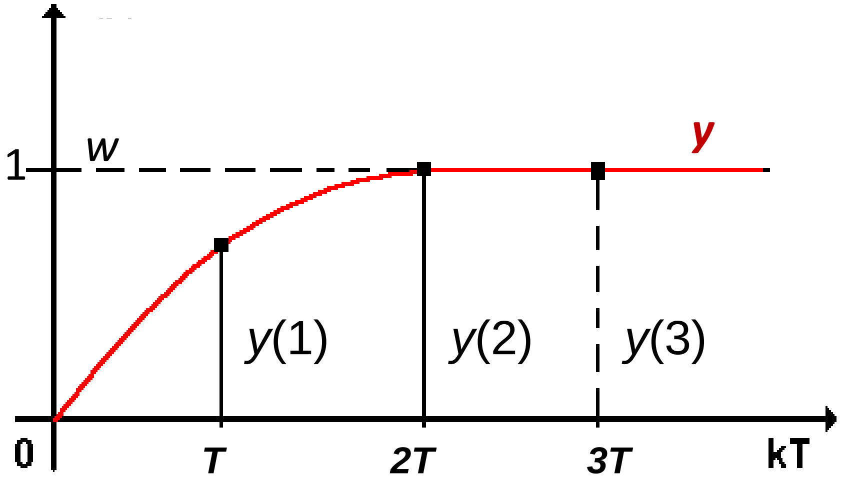
$w(k)=1$ pre $k=0, 1, \dots$ $\quad (w(kT)=1)$

Ak označíme ***M*** minimálny počet krokov, za ktoré sa regulačný pochod ukončí

$$\boxed{\begin{aligned} &y(k)=w(k)=1 \quad \text{pre } k\geq M \\ &u(k)=u(M) \quad \text{pre } k\geq M \end{aligned}}$$

Podmienky ukončenia regulačného procesu za ***M*** krokov (nech *M*=2):

y(0)=0
y(k)=w(k)=1 pre k≥M=2
u(k)=u(M) pre k≥M=2



Nech M=2

$\mathscr{Z}$ - obrazy jednotlivých veličín:

$$W(z)=\frac{z}{z-1}=\frac{1}{1-z^{-1}}=1+z^{-1}+z^{-2}+z^{-3}+\ldots$$

$$Y(z)=y(1)z^{-1}+y(2)z^{-2}+\ldots.+1\left[z^{-M}+z^{-(M+1)}+\ldots.\right] \qquad (1)$$

$$U(z)=u(0)+u(1)z^{-1}+\ldots.+u(M)\left[z^{-M}+z^{-(M+1)}+\ldots.\right]$$

$\boxed{\text{Prenosová funkcia URO s využitím } \mathbf{(1)}\text{:}}$

$$\boxed{G_{Y/W}(z)} = \frac{Y(z)}{W(z)} = Y(z)\left(1 - z^{-1}\right) =$$
$$= \left(y(1)z^{-1} + y(2)z^{-2} + \dots + 1\left[z^{-M} + z^{-(M+1)} + \dots\right]\right)\left(1 - z^{-1}\right) = \qquad (2)$$
$$= p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} + \dots + p_M z^{-M} = \boxed{P(z)}$$

Kde pre koeficienty polynómu $P(z)$ platí:

$p_1 = y(1)$
$p_2 = y(2)-y(1)$
....
$p_M = 1-y(M-1)$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^{M} p_i = p_1 + p_2 + \dots + p_M = 1$$

Prenosová funkcia $G_{U/W}(z)$ s využitím **(1)**:

$$\boxed{G_{U/W}(z)} = \frac{U(z)}{W(z)} = U(z)(1-z^{-1}) =$$
$$= u(0) + u(1)z^{-1} + u(2)z^{-2} + \ldots + u(M)\left[z^{-M} + z^{-(M+1)} + \ldots\right](1-z^{-1}) = \qquad (3)$$
$$= q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2} + \ldots + q_M z^{-M} = \boxed{Q(z)},$$

Kde pre koeficienty polynómu $Q(z)$ platí:

$$\boxed{\begin{aligned} q_0 &= u(0) \\ q_1 &= u(1)-u(0) \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ q_M &= u(M)-u(M-1) \end{aligned}} \Rightarrow \sum_{i=0}^{M} q_i = u(M) = \frac{1}{K}$$

K je zosilnenie $G(s)$

$$\left[y(M) \overset{!}{=} 1 = Ku(M) \Rightarrow u(M) = \frac{1}{K} \right]$$

Pre prenosovú funkciu URO (s vyžitím vzťahov **(2)** a **(3)**) platí:

$$G_{Y/W}(z) = \frac{Y(z)}{W(z)} = \frac{G_R(z)G(z)}{1+G_R(z)G(z)} \Rightarrow \boxed{G_R(z) = \frac{1}{\boxed{G(z)}}\frac{G_{Y/W}(z)}{1-G_{Y/W}(z)}}$$

$$\boxed{G(z) = \frac{P(z)}{Q(z)}}$$

Pre prenosovú funkciu **riadeného systému** (s vyžitím vzťahov **(2)** a **(3)**) platí:

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{\frac{Y(z)}{W(z)}}{\frac{U(z)}{W(z)}} = \frac{P(z)}{Q(z)}$$

$$G(z) = \frac{P(z)}{Q(z)} = \frac{p_1 z^{-1} + \ldots + p_M z^{-M}}{q_0 + q_1 z^{-1} + \ldots + q_M z^{-M}} = \frac{\frac{p_1}{q_0} z^{-1} + \ldots + \frac{p_M}{q_0} z^{-M}}{1 + \frac{q_1}{q_0} z^{-1} + \ldots + \frac{q_M}{q_0} z^{-M}} = \frac{B(z)}{A(z)} \qquad (4)$$

Pre prenosovú funkciu **regulátora** platí:

$$\boxed{G_R(z)} = \frac{Q(z)}{P(z)}\frac{P(z)}{1-P(z)} = \boxed{\frac{Q(z)}{1-P(z)}} = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + \ldots + q_M z^{-M}}{1 - p_1 z^{-1} - \ldots - p_M z^{-M}}$$

Pre vzťah **(4)** platí:

$$G(z)=\frac{P(z)}{Q(z)}=\frac{B(z)}{A(z)}$$

$$G(z)=\frac{\frac{p_1}{q_0}z^{-1}+\ldots+\frac{p_M}{q_0}z^{-M}}{1+\frac{q_1}{q_0}z^{-1}+\ldots+\frac{q_M}{q_0}z^{-M}}=\frac{b_1z^{-1}+\ldots+b_nz^{-n}}{1+a_1z^{-1}+\ldots+a_nz^{-n}}$$

***M* = *n* – rád systému**

Dostali sme toľko krokov regulácie (*M*), koľkého stupňa sú polynómy riadeného systému (*n*).

Teda vyplýva, že ***P*(*z*)=*q*$_0$*B*(*z*)** a ***Q*(*z*)=*q*$_0$*A*(*z*)**:

$$\begin{aligned} q_1 &= a_1q_0\\ q_2 &= a_2q_0\\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\\ q_n &= a_nq_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_1 &= b_1q_0\\ p_2 &= b_2q_0\\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\\ p_n &= b_nq_0 \end{aligned}$$

$$q_0=\frac{1}{\sum_{j=1}^{n}b_j}=u(0)$$

Zo sumy: $p_1+\ldots+p_n=1=(b_1+b_2+\ldots+b_n)q_0$ $\Rightarrow$ $\boxed{\mathbf{q_0}=\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{b_1+b_2+\ldots+b_n}}=\mathbf{u(0)}}$

Z uvedeného odvodenia vyplýva, že navrhnutý deadbeat regulátor kompenzuje menovateľa prenosovej funkcie riadeného systému:

$$G_R(z)=\frac{U(z)}{E(z)}=\frac{Q(z)}{1-P(z)}=\frac{q_0A(z)}{1-q_0B(z)}$$

Diferenčná rovnica regulátora je:

$$u(k)=q_0e(k)+q_1e(k-1)+\ldots+q_Me(k-M)+p_1u(k-1)+p_2u(k-2)+\ldots+p_Mu(k-M)$$

Posúdenie stability URO s deadbeat regulátorom riadeného systému bez dopravného oneskorenia

Prenosová funkcia URO:

$$G_{Y/W}(z)=P(z)=p_1z^{-1}+p_2z^{-2}+\ldots+p_Mz^{-M}=\frac{p_1z^{M-1}+p_2z^{M-2}+\ldots+p_M}{\boxed{z^M}}=\frac{q_0B(z)}{z^M}$$

CHRURO

Charakteristická rovnica URO (CHRURO) je rovná z^M (M je počet krokov riadenia), je rovná z^n (n je rád riadeného systému). Ak ju položíme rovnú nule, zistíme, že **URO má *n* pólov rovných nule**. Všetky **póly ležia v jednotkovej kružnici** a teda URO s takto navrhnutým regulátorom bude vždy stabilný a **stabilitu netreba dodatočne overovať**.

DEADBEAT – regulátor s ohraničením (obmedzením) akčného zásahu

riadeného systému bez dopravného oneskorenia

$$
\begin{aligned}
q_0 &= u(0) \\
q_1 &= q_0(a_1 - 1) + \frac{1}{\sum b_i} \\
q_2 &= q_0(a_2 - a_1) + \frac{a_1}{\sum b_i} \\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
q_M &= q_0(a_n - a_{n-1}) + \frac{a_{n-1}}{\sum b_i} \\
q_{M+1} &= a_n\left(-q_0 + \frac{1}{\sum b_i}\right)
\end{aligned}
$$

$u(0) = u_{max}$

$M = n$ – rád systému

$$
\begin{aligned}
p_1 &= q_0 b_1 \\
p_2 &= q_0(b_2 - b_1) + \frac{b_1}{\sum b_i} \\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
p_M &= q_0(b_n - b_{n-1}) + \frac{b_{n-1}}{\sum b_i} \\
p_{M+1} &= b_n\left(-q_0 + \frac{1}{\sum b_i}\right)
\end{aligned}
$$

CHRURO:

$$z^{M+1} = 0$$

Charakteristická rovnica URO (CHRURO) je rovná z^{M+1} (M+1 je počet krokov riadenia), je rovná z^{n+1} (n je rád riadeného systému). Ak ju položíme rovnú nule, zistíme, že **URO má n+1 pólov rovných nule**. Všetky **póly ležia v jednotkovej kružnici** a teda URO s takto navrhnutým regulátorom bude vždy stabilný a **stabilitu netreba dodatočne overovať**.

Návrh DEADBEAT regulátora – príklad1 (1/2)

Pr. 1: K spojitému systému $$G(s) = \frac{1}{(s+1)(2s+1)} = \frac{1}{2s^2+3s+1}$$

navrhnite deadbeat regulátor (T=1).

Riešenie: PRÍKAZ ***c2d*** v Matlabe

$$G(z) = \frac{z-1}{z} Z\left\{ L^{-1}\left\{\frac{G(s)}{s}\right\}_{t=kT} \right\} = \frac{0.1548181\, z^{-1} + 0.0939019\, z^{-2}}{1 - 0.97440\, z^{-1} + 0.22310\, z^{-2}} = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

$M = n = 2$

$$q_0 = 1/\sum b_i = 1/0.24872 = \boxed{4.0205848}$$

$u(0)$

$$q_1 = a_1 q_0 = -3.917694$$
$$q_2 = a_2 q_0 = 0.897113$$
$$p_1 = b_1 q_0 = 0.622459$$
$$p_2 = b_2 q_0 = 0.377540$$

$$\boxed{G_R(z) = \frac{Q(z)}{1-P(z)}}$$

Návrh DEADBEAT regulátora – príklad1 (2/2)

$$G_R(z) = \frac{4.02058 - 3.91769z^{-1} + 0.89711z^{-2}}{1 - 0.62245z^{-1} - 0.377540z^{-2}}$$

Diferenčná rovnica regulátora

$$u(k) = 0.6224u(k-1) + 0.3775u(k-2) + 4.02058e(k) - 3.9176e(k-1) + 0.8971e(k-2)$$

CHRURO má *2*-násobný (*n*=2, pričom *n* je rád riadeného systému) koreň v nule, **stabilita** je teda daná samotným návrhom regulátora a nemusí sa dodatočne overovať.

n=2 je počet krokov riadenia

Návrh DEADBEAT regulátora s obmedzením akčného zásahu – príklad2 (1/2)

Pr. 2: K spojitému systému

$$G(s)=\frac{1}{(s+1)(2s+1)}=\frac{1}{2s^2+3s+1}$$

navrhnite deadbeat regulátor s ohraničením akčného zásahu na u_{max}=3.8.

Riešenie: PRÍKAZ ***c2d*** v Matlabe

$$G(z)=\frac{z-1}{z}Z\left\{L^{-1}\left\{\frac{G(s)}{s}\right\}_{t=kT}\right\}=\frac{0.1548181\,z^{-1}+0.0939019\,z^{-2}}{1-0.97440\,z^{-1}+0.22310\,z^{-2}}=\frac{b_1z^{-1}+b_2z^{-2}}{1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}}$$

M = *n* = 2

$$q_0=u_0=3.8$$

$$q_1=q_0(a_1-1)+\frac{1}{\sum b_i}=-3.482134$$

$$q_2=q_0(a_2-a_1)+\frac{a_1}{\sum b_i}=0.632841$$

$$q_3=a_2\left(-q_0+\frac{1}{\sum b_i}\right)=0.0492126$$

$$p_1=q_0b_1=0.58830878$$

$$p_2=q_0(b_2-b_1)+\frac{b_1}{\sum b_i}=0.3909778$$

$$p_3=q_0(b_3-b_2)+\frac{b_2}{\sum b_i}=0.0207133$$

$$\boxed{G_R(z)=\frac{Q(z)}{1-P(z)}}$$

Návrh DEADBEAT regulátora s obmedzením akčného zásahu – príklad2 (2/2)

$$G_R(z) = \frac{3.8 - 3.482134z^{-1} + 0.632841z^{-2} + 0.04921126\,z^{-3}}{1 - 0.58830878\,z^{-1} - 0.3909778\,z^{-2} - 0.0207193\,z^{-3}}$$

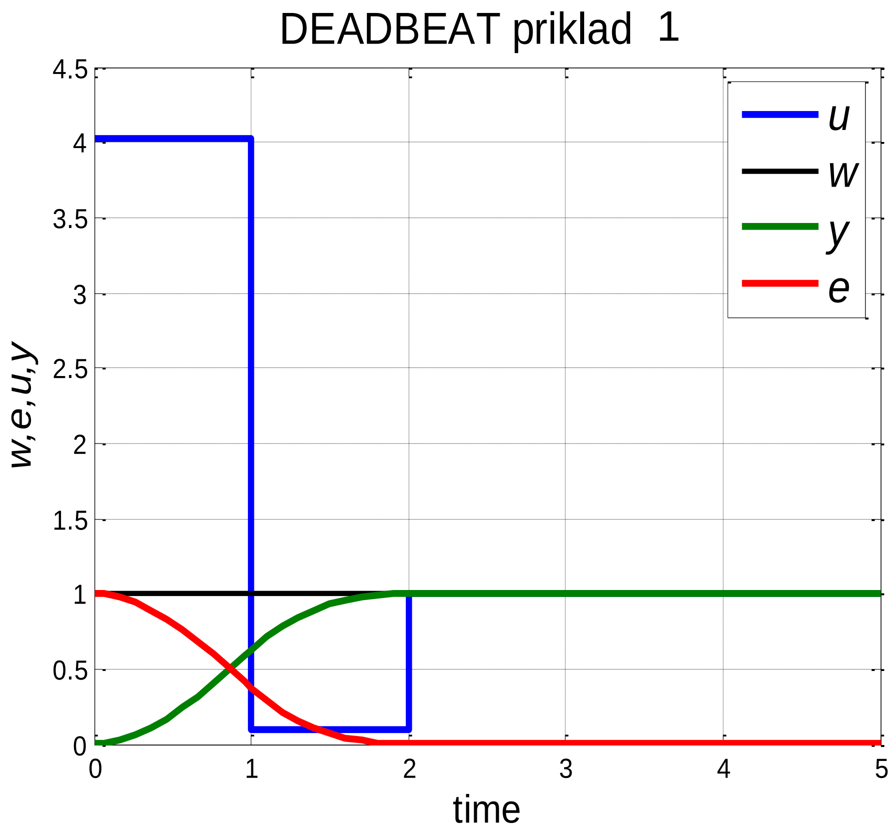
Diferenčná rovnica regulátora

$$\begin{aligned} u(k) &= 0.58830878\,u(k-1) + 0.3909778u\,(k-2) + 0.0207193u\,(k-3) + \\ &\quad + 3.8e(k) - 3.482134\,e(k-1) + 0.632841e(k-2) + 0.04921126\,e(k-3) \end{aligned}$$

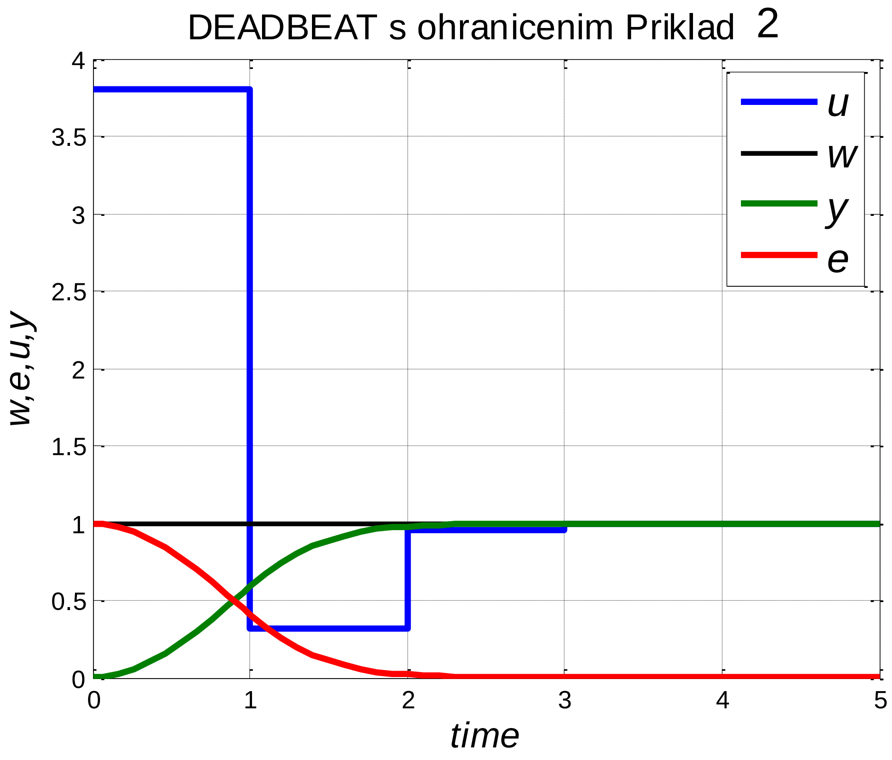
CHRURO má 3-násobný (n+1, pričom n=2 je rád riadeného systému) koreň v nule, **stabilita** je teda daná samotným návrhom regulátora a nemusí sa dodatočne overovať.

n+1=3 je počet krokov riadenia

Simulácia priebehov pre príklady 1 a 2:



počet krokov riadenia je 2



počet krokov riadenia je 3

DEADBEAT regulátor pre riadený systém s dopravným oneskorením

Riadenie systému s dopravným oneskorením – deadbeat regulátor

Spojitý riadený systém s prenosovou funkciou ***G(s)*** prepočítame pomocou príkazu ***c2d*** (prepočítava už s tvarovačom 0. rádu) v Matlabe (s vhodnou periódou vzorkovania ***T***) **na diskrétny systém** s prenosovou funkciou ***G(z)*:**

$$G(z)=\frac{Y(z)}{U(z)}=\frac{b_1z^{-1}+b_2z^{-2}+....+b_nz^{-n}}{1+a_1z^{-1}+....+a_nz^{-n}}z^{-d}=\frac{b_1z^{-(1+d)}+b_2z^{-(2+d)}+....+b_nz^{-(n+d)}}{1+a_1z^{-1}+....+a_nz^{-n}}=\frac{B(z)}{A(z)}$$

Hľadáme prenosovú funkciu regulátora:

$$G_R(z)=\frac{Q(z)}{1-P(z)}=\frac{U(z)}{E(z)}$$

***M = n* – rád systému**

$$q_0=1/\sum b_i$$
$$q_1=a_1q_0$$
$$q_2=a_2q_0$$
$$.......$$
$$q_M=a_nq_0$$

$$p_{1+d}=b_1q_0$$
$$p_{2+d}=b_2q_0$$
$$.....$$
$$p_{M+d}=b_nq_0$$

CHRURO:

$$z^{M+d}=0$$

Charakteristická rovnica URO (CHRURO) je rovná z^{M+d} (*M*+*d* je počet krokov riadenia), je rovná z^{n+d} (*n* je rád riadeného systému, *d*=*D*/*T* je diskrétne oneskorenie). Ak ju položíme rovnú nule, zistíme, že **URO má *n*+*d* pólov rovných nule**. Všetky **póly ležia v jednotkovej kružnici** a teda URO s takto navrhnutým regulátorom bude vždy stabilný a **stabilitu netreba dodatočne overovať**.

DEADBEAT – regulátor s ohraničením (obmedzením) akčného zásahu

riadeného systému s dopravným oneskorením

$$q_0 = u(0)$$

$u(0) = u_{max}$

$$q_1 = q_0(a_1 - 1) + \frac{1}{\sum b_i}$$

$$q_2 = q_0(a_2 - a_1) + \frac{a_1}{\sum b_i}$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

$$q_M = q_0(a_n - a_{n-1}) + \frac{a_{n-1}}{\sum b_i}$$

$$q_{M+1} = a_n\left(-q_0 + \frac{1}{\sum b_i}\right)$$

$M = n$ – rád systému

$$p_{1+d} = q_0 b_1$$

$$p_{2+d} = q_0(b_2 - b_1) + \frac{b_1}{\sum b_i}$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

$$p_{M+d} = q_0(b_n - b_{n-1}) + \frac{b_{n-1}}{\sum b_i}$$

$$p_{M+1+d} = b_n\left(-q_0 + \frac{1}{\sum b_i}\right)$$

CHRURO:

$$z^{M+1+d} = 0$$

Charakteristická rovnica URO (CHRURO) je rovná z^{M+d+1} ($M+d+1$ je počet krokov riadenia), je rovná z^{n+d+1} (n je rád riadeného systému, $d=D/T$ je diskrétne oneskorenie). Ak ju položíme rovnú nule, zistíme, že **URO má $n+d+1$ pólov rovných nule**. Všetky **póly ležia v jednotkovej kružnici** a teda URO s takto navrhnutým regulátorom bude vždy stabilný a **stabilitu netreba dodatočne overovať**.

Návrh DEADBEAT regulátora – príklad3 (1/3)

Pr. 3: K spojitému systému

$$G(s)=\frac{1}{2s^2+3s+1}e^{-s}$$

navrhnite deadbeat regulátor (T=1).

Riešenie:

PRÍKAZ ***c2d*** V Matlabe

$$G(z)=\frac{z-1}{z}Z\left\{L^{-1}\left\{\frac{G(s)}{s}\right\}_{t=kT}\right\}=\frac{0.1548181z^{-1}+0.0939019z^{-2}}{1-0.97440z^{-1}+0.22310z^{-2}}z^{-1}=\frac{b_1z^{-2}+b_2z^{-3}}{1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}}$$

$M = n = 2$

$$q_0=1/\sum b_i=1/0.24872=4.0205848$$

$$q_1=a_1q_0= -3.917694$$

$$q_2=a_2q_0=0.897113$$

$$p_1=0$$

$$p_2=b_1q_0=0.622459$$

$$p_3=b_2q_0=0.377540$$

$$G_R(z)=\frac{Q(z)}{1-P(z)}$$

Návrh DEADBEAT regulátora – príklad3 (2/3)

$$G_R(z)=\frac{4.02058-3.91769z^{-1}+0.89711z^{-2}}{1-0.62245z^{-2}-0.377540z^{-3}}$$

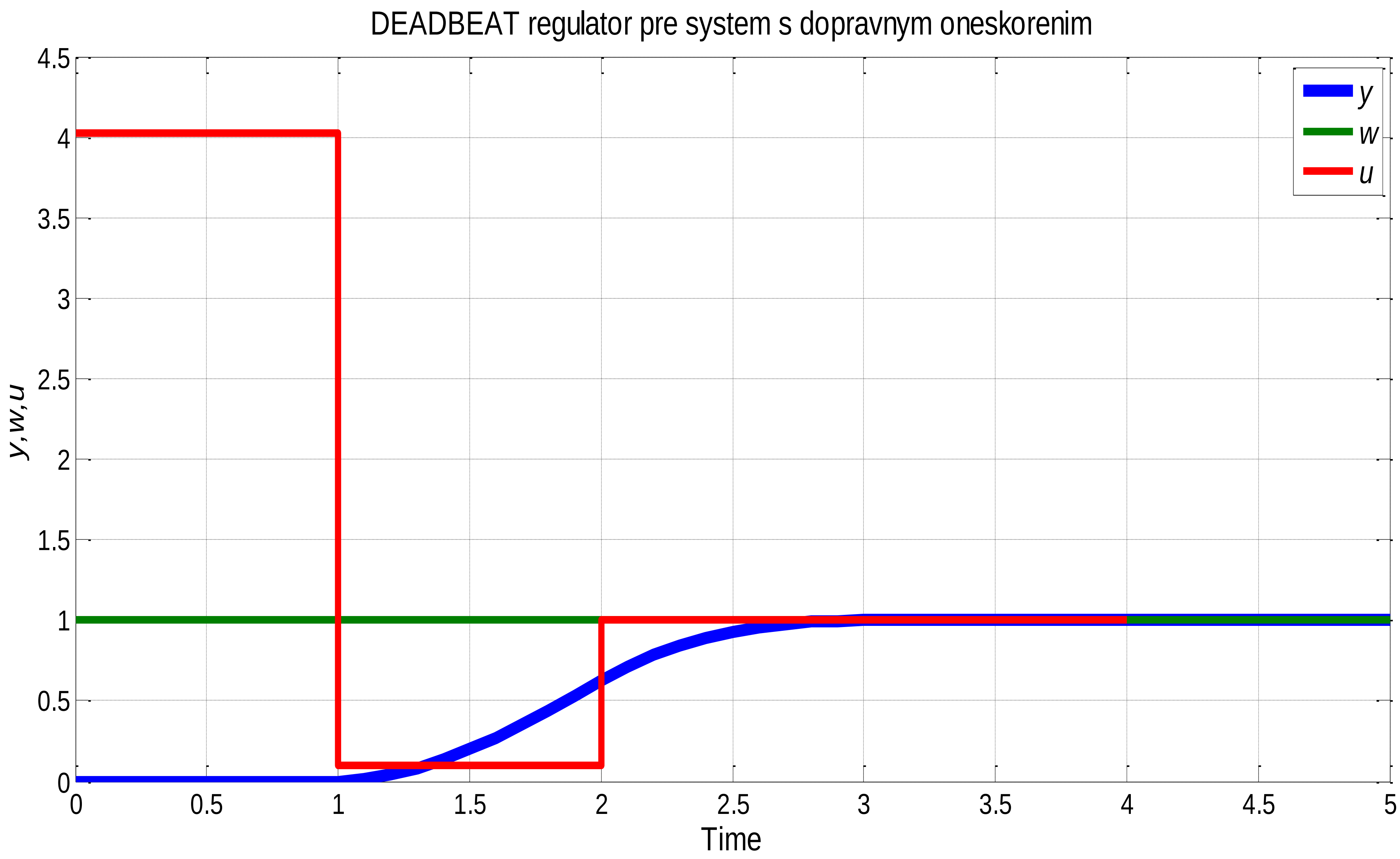
Diferenčná rovnica regulátora

$$u(k)=0.6224u(k-2)+0.3775u(k-3)+4.02058e(k)-3.9176e(k-1)+0.8971e(k-2)$$

CHRURO má 3-násobný ($n+d$, pričom n=2 je rád riadeného systému, $d=D/T$=1 je diskrétne oneskorenie) koreň v nule, **stabilita** je teda daná samotným návrhom regulátora a nemusí sa dodatočne overovať.

$n+d$=3 je počet krokov riadenia

Návrh DEADBEAT regulátora – príklad3 (3/3)



počet krokov riadenia je 3

Návrh DEADBEAT regulátora s obmedzením akčného zásahu – príklad4 (1/3)

Pr. 4: K spojitému systému $$G(s) = \frac{1}{2s^2 + 3s + 1} e^{-s}$$

navrhnite deadbeat regulátor (T=1) s ohraničením akčného zásahu u_{max}=3.8.

Riešenie:

PRÍKAZ ***c2d*** V Matlabe

M = *n* = 2

$$G(z) = \frac{z-1}{z} Z\left\{ L^{-1}\left\{ \frac{G(s)}{s} \right\}_{t=kT} \right\} = \frac{0.1548181 z^{-1} + 0.0939019 z^{-2}}{1 - 0.97440 z^{-1} + 0.22310 z^{-2}} z^{-1} = \frac{b_1 z^{-2} + b_2 z^{-3}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

$$q_0 = u_0 = 3.8$$

$$q_1 = q_0(a_1 - 1) + \frac{1}{\sum b_i} = -3.482134$$

$$q_2 = q_0(a_2 - a_1) + \frac{a_1}{\sum b_i} = 0.632841$$

$$q_3 = a_2\left(-q_0 + \frac{1}{\sum b_i} \right) = 0.0492126$$

$$p_2 = q_0 b_1 = 0.58830878$$

$$p_3 = q_0(b_2 - b_1) + \frac{b_1}{\sum b_i} = 0.3909778$$

$$p_4 = q_0(b_3 - b_2) + \frac{b_2}{\sum b_i} = 0.0207133$$

Návrh DEADBEAT regulátora s obmedzením akčného zásahu – príklad4 (2/3)

$$G_R(z)=\frac{Q(z)}{1-P(z)}$$

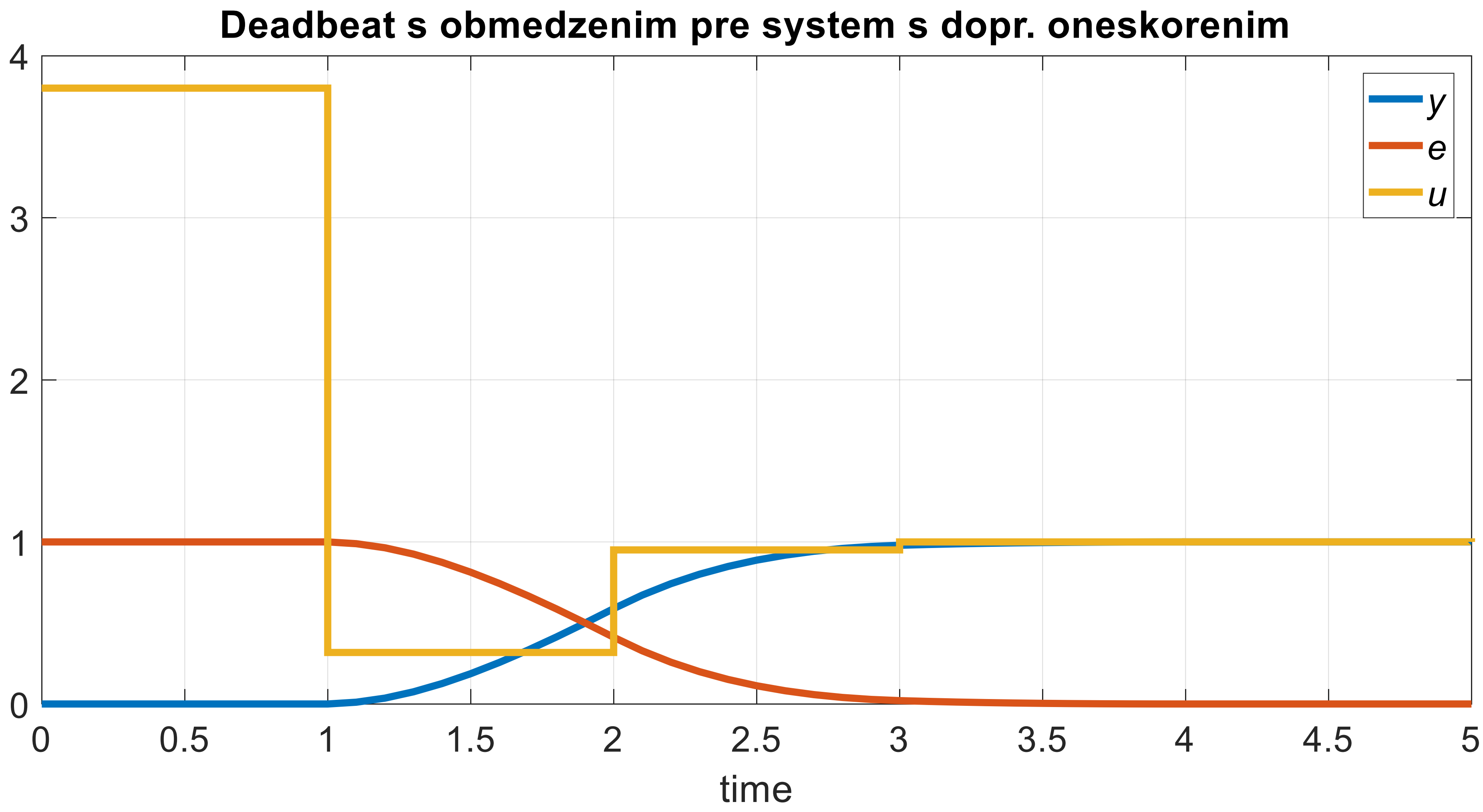
$$G_R(z)=\frac{3.8-3.482134z^{-1}+0.632841z^{-2}+0.04921126z^{-3}}{1-0.58830878z^{-2}-0.3909778z^{-3}-0.0207193z^{-4}}$$

$$\begin{aligned}u(k)=&\,0.58830878u(k-2)+0.3909778u(k-3)+0.0207193u(k-4)+\\&+3.8e(k)-3.482134e(k-1)+0.632841e(k-2)+0.04921126e(k-3)\end{aligned}$$

CHRURO má 4-násobný ($n+d+1$, pričom $n=2$ je rád riadeného systému, $d=D/T=1$ je diskrétne oneskorenie) koreň v nule, **stabilita** je teda daná samotným návrhom regulátora a nemusí sa dodatočne overovať.

$n+d+1=4$ je počet krokov riadenia

Návrh DEADBEAT regulátora s obmedzením akčného zásahu – príklad4 (3/3)



počet krokov riadenia je 4

Zhrnutie vlastností deadbeat regulátora navrhnutého pre systém *n*-tého rádu s dopravným oneskorením *d*

- ukončí regulačný pochod za $n + d$ krokov, (pri návrhu regulátora s ohraničením akčného zásahu za $n + d + 1$ krokov),
- doba regulácie bude $t_{reg} = (n + d)T$, kde T je perióda vzorkovania (pri návrhu regulátora s ohraničením akčného zásahu bude $t_{reg} = (n + d + 1)T$),
- je vhodný pre asymptoticky stabilné systémy (kompenzuje menovateľa prenosovej funkcie riadeného systému $A(z)$),
- so zmenšovaním T klesá t_{reg}, ale narastá $u(0)$, lebo $\sum_{j=1}^{n} b_j$ sa zmenšuje klesaním T,
- periódu T musíme voliť "dostatočne veľkú", aby nebolo $u(0) > u_{\max}$, kde $u_{\max}$ je prípustná maximálna hodnota $u(k)$,
- tieto regulátory spravidla majú vysokú parametrickú citlivosť (t. j. malú robustnosť), čo je ich nevýhodou,
- URO bude vždy stabilný (póly URO sú všetky nulové),

Kvalita riadenia v ustálenom stave pre URO s deadbeat regulátorom

$G_O(z)=G(z)G_R(z)$

Ustálené hodnoty regulačnej odchýlky, regulovanej veličiny a riadiaceho zásahu, ak je na vstupe do regulačného obvodu jednotkový skok $W(z)=1/(1-z^{-1})$, budú:

$$e(\infty)=\lim_{k\to\infty} e(k)=\lim_{z\to 1}\left(1-z^{-1}\right)E(z)=\lim_{z\to 1}\left(1-z^{-1}\right)\frac{W(z)}{1+G_O(z)}=\lim_{z\to 1}\left(1-z^{-1}\right)\left(1-P(z)\right)\frac{1}{1-z^{-1}}=\lim_{z\to 1}\left(1-P(z)\right)$$

$$y(\infty)=\lim_{k\to\infty} y(k)=\lim_{z\to 1}\left(1-z^{-1}\right)Y(z)=\lim_{z\to 1}\left(1-z^{-1}\right)\frac{G_O(z)}{1+G_O(z)}W(z)=\lim_{z\to 1}\left(1-z^{-1}\right)P(z)\frac{1}{1-z^{-1}}=\lim_{z\to 1}P(z)$$

$$u(\infty)=\lim_{k\to\infty} u(k)=\lim_{z\to 1}\left(1-z^{-1}\right)U(z)=\lim_{z\to 1}\left(1-z^{-1}\right)\frac{G_R(z)}{1+G_O(z)}W(z)=\lim_{z\to 1}\left(1-z^{-1}\right)Q(z)\frac{1}{1-z^{-1}}=\lim_{z\to 1}Q(z)$$