

## Řešení 3. zadané úlohy - Jakub Kákona

1. Diskrétní systém je v rovnovážném stavu v případě, když nemění svůj stav. Tedy všechny jeho následující stavy jsou rovny předchozím stavům.

Z toho plyne:

$$x_1(k+1) = x_1(k) \qquad x_2(k+1) = x_2(k) \qquad (1)$$

Dosazením do zadané soustavy získáme tvar:

$$x_1(k) = x_1(k)x_2(k) - 1 \qquad x_2(k) = 2x_1(k)x_2(k) - 2 \qquad (2)$$

Dále postupně řešíme soustavu těchto rovnic.

$$x_1(k) = \frac{1}{x_2(k) - 1} \qquad x_2(k) = \frac{2x_1(k)}{x_2(k) - 1} - 2 \qquad (3)$$

úpravou získáme kvadratickou rovnici

$$x_2(k)^2 - 3x_2(k) + 2 = 0 \qquad (4)$$

Její kořeny jsou:

$$x_{21}(k) = -1 \qquad x_{22}(k) = -2 \qquad (5)$$

Dosazením do vztahu pro  $x_1$  dostaneme zbývající složky

$$x_{11}(k) = -\frac{1}{2} \qquad x_{12}(k) = -\frac{1}{3} \qquad (6)$$

A systém má dva rovnovážné body

$$a_1 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} \\ -1 \end{bmatrix} \qquad a_2 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{3} \\ -2 \end{bmatrix} \qquad (7)$$

2. Zadaná soustava rovnic může být přepsána do maticového tvaru

$$\dot{x} = Ax \qquad A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \qquad (8)$$

Tato matice ale není regulární, proto má systém nekonečně mnoho rovnovážných bodů. Jejich vyjádření získáme požadavkem na nulové derivace v rovnovážných bodech. Řešíme tedy homogenní rovnici.

$$0 = Ax \qquad (9)$$

Tato rovnice má řešení

$$a = \begin{bmatrix} -t \\ 0 \\ t \end{bmatrix} \qquad t \in R \qquad (10)$$

3. zadaný systém není asymptoticky stabilní, protože

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \sin x(k) \neq 0 \quad (11)$$

4. K určení stability nepomůže Sylvestrovo kritérium, proto najdeme vlastní čísla matice z charakteristického polynomu

$$\det(\lambda I - A) = \begin{bmatrix} \lambda & -1 \\ 1 & \lambda \end{bmatrix} = \lambda^2 + 1 \quad (12)$$

Polynom má komplexní kořeny  $\lambda_{1,2} = \pm j$

A matice je pozitivně semidefinitní. Systém je proto stabilní, ale ne asymptoticky.

5. Pokud si zvolíme hodnoty  $x_1(k) = x(k)$ ,  $x_2(k) = x(k+1)$  dostaneme  $x_1(k+1) = x(k+1)$ ,  $x_1(k+1) = x_2(k)$  A můžeme vytvořit soustavu rovnic.

$$x_1(k+1) = x_2(k) \quad x_2(k+1) = -x_1(k) + u(k) \quad y(k) = x_1(k) \quad (13)$$

Kterou můžeme přepsat do tvaru

$$x_1(k+1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(k) \quad y(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} x(k) + [0]u(k) \quad (14)$$

Z toho pak můžeme zjistit přenos systému

$$G(z) = C(zI - A)^{-1}B + D \quad G(z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \frac{1}{z^2 + 1} \begin{bmatrix} z & 1 \\ -1 & z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{z^2 + 1} \quad (15)$$

singularita přenosu nastává v bodech  $z = \pm j$  A systém není BIBO stabilní, protože jeho póly nejsou uvnitř jednotkového kruhu, ale na jeho hranici.