

Semestrální práce
do předmětu
Analýza regulačních přístrojů

Vypracoval: Josef Makúch
Login: MAK056
Datum: 17. 11. 2021

Zadání:

$$a_3 = 1; a_2 = 16,1; a_1 = 71,68; a_0 = 56,58; b_0 = 0,3$$

$$a_3\ddot{y} + a_2\dot{y} + a_1\dot{y} + a_0y = b_0u$$

$$\ddot{y} + 16,1\dot{y} + 71,68\dot{y} + 56,58y = 0,3 \quad (1)$$

A) Určete matice A, B, C, D pro Frobeniův kanonický tvar a Jordanův kanonický tvar. Ve vybraném simulačním softwaru (Simulink, SciLab) namodelujte vnitřní stavové schéma a vykreslete přechodovou charakteristiku.

Rovnici (1) převedu pomocí Laplaceovy transformace, vyjádřím přenos $G(s)$ a upravím ho na minimální tvar (2):

$$s^3 Y(s) + 16,1s^2 Y(s) + 71,68s Y(s) + 56,58Y(s) = 0,3U(s)$$

$$Y(s) \cdot (s^3 + 16,1s^2 + 71,68s + 56,58) = 0,3 \cdot U(s)$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0,3}{s^3 + 16,1s^2 + 71,68s + 56,58} \quad (2)$$

Z něho jdou přímo určit **matice pro Frobeniův kanonický tvar**:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -56,58 & -71,68 & -16,1 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$C = (0,3 \quad 0 \quad 0)$$

$$D = (0)$$

Nyní provedu rozklad přenosové funkce (2) na parciální zlomky:

$$G(s) = \frac{0,3}{s^3 + 16,1s^2 + 71,68s + 56,58} = \frac{0,0321}{s + 8,2} + \frac{-0,0391}{s + 6,9} + \frac{0,0071}{s + 1}$$

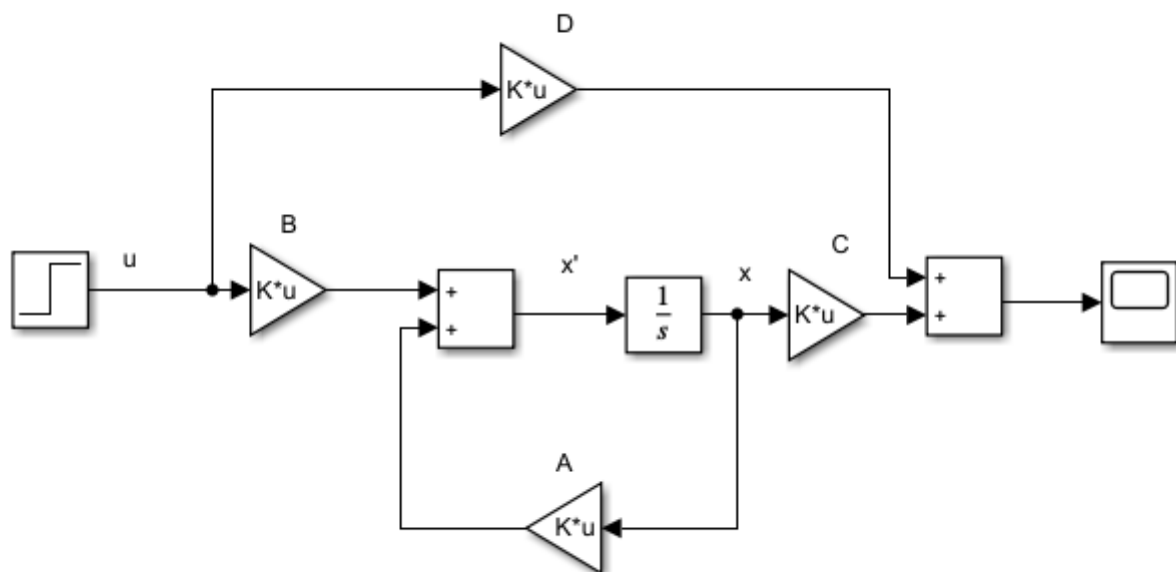
Z této formy se dají rovnou určit **matice Jordanova kanonického tvaru**:

$$A = \begin{pmatrix} -8,2 & 0 & 0 \\ 0 & -6,9 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

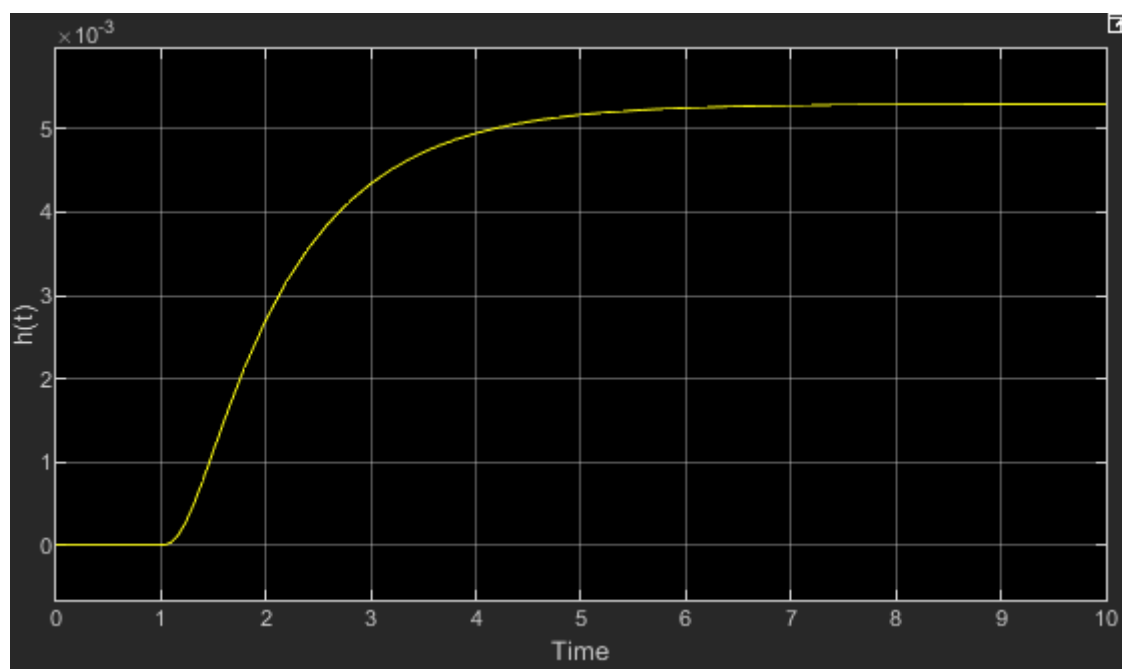
$$B = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$C = (0,0321 \quad -0,0391 \quad 0,0071)$$

$$D = (0)$$



Obrázek 1: Model vnitřního stavového schématu v prostředí Simulink pro vykreslení přechodové charakteristiky



Obrázek 2: Přechodová charakteristika $h(t)$

- B) Řešte úplnou a neúplnou stavovou rovnici v Laplaceově transformaci. Stanovte obraz matice přechodu $\Phi(s)$. Najděte řešení stavové rovnice pro zvolený nenulový počáteční stav a průběhy vykreslete.

Počáteční stav si volím:

$$x(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Nejdříve určím **obraz matice přechodu** (pomocí MATLABU, viz příložený skript v části %% B):

$$\begin{aligned} \Phi(s) &= [s * I - A]^{-1} \\ \Phi(s) &= \left[s * I - \begin{pmatrix} -8,2 & 0 & 0 \\ 0 & -6,9 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \right]^{-1} \\ \Phi(s) &= \begin{pmatrix} \frac{5}{5s+41} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{10}{10s+69} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{s+1} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Zpětnou Laplaceovou transformací získám matici přechodu:

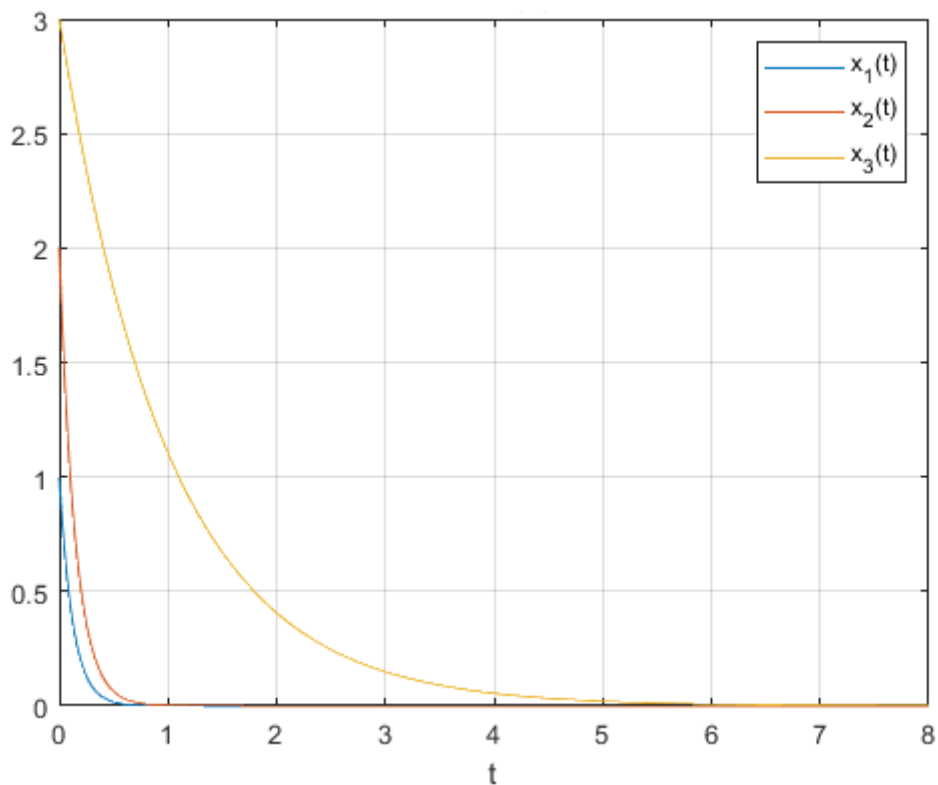
$$\Phi(t)L^{-1}\{\Phi(s)\} = \begin{pmatrix} e^{-\frac{41}{5}t} & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\frac{69}{10}t} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-t} \end{pmatrix}$$

Obraz stavového vektoru tedy bude:

$$X_h(s) = \Phi(s) \cdot x(0) = \begin{pmatrix} \frac{5}{5s+41} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{10}{10s+69} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{s+1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{5}{5s+41} \\ \frac{20}{10s+69} \\ \frac{3}{s+1} \end{pmatrix}$$

Zpětnou Laplaceovou transformací získám **řešení stavového vektoru v časové oblasti**:

$$x_h(t) = L^{-1}\{X_h(s)\} = L^{-1}\left\{\begin{pmatrix} \frac{5}{5s+41} \\ \frac{20}{10s+69} \\ \frac{3}{s+1} \end{pmatrix}\right\} = \begin{pmatrix} e^{-\frac{41}{5}t} \\ 2e^{-\frac{69}{10}t} \\ 3e^{-t} \end{pmatrix}$$



Obrázek 3: Průběhy jednotlivých stavových veličin bez buzení

Pro řešení úplné stavové rovnice jsem si zvolil jako budící signál zesílený jednotkový skok :

$$u(t) = 2\eta \Rightarrow U(s) = L^{-1}\{u(t)\} = \frac{2}{s}$$

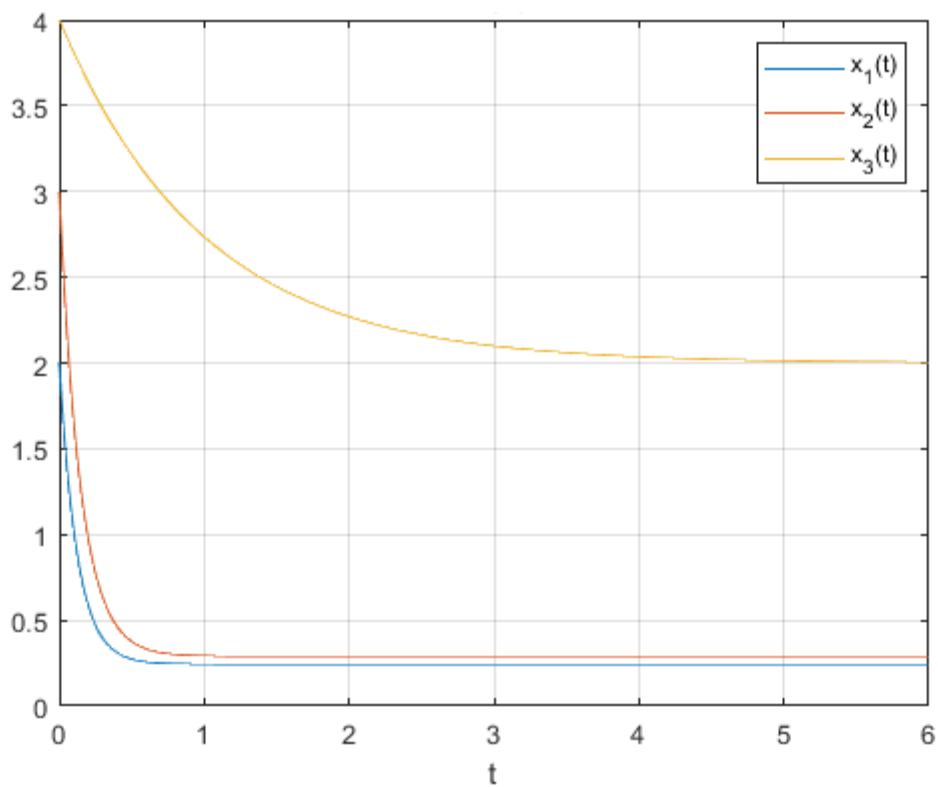
Obraz stavového vektoru pak je:

$$X_u(s) = \Phi(s) \cdot (x(0) + B \cdot U(s)) = \begin{pmatrix} \frac{5}{5s+41} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{10}{10s+69} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{s+1} \end{pmatrix} \cdot \left(\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \frac{2}{s} \right)$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{5\left(\frac{2}{s} + 2\right)}{5s+41} \\ \frac{10\left(\frac{2}{s} + 3\right)}{10s+69} \\ \frac{\frac{2}{s} + 4}{s+1} \end{pmatrix}$$

Zpětnou Laplaceovou transformací získám **řešení stavového vektoru v časové oblasti**:

$$x_u(t) = L^{-1}\{X_u(s)\} = L^{-1}\left\{\begin{pmatrix} \frac{5\left(\frac{2}{s} + 2\right)}{5s + 41} \\ \frac{10\left(\frac{2}{s} + 3\right)}{10s + 69} \\ \frac{\frac{2}{s} + 4}{s + 1} \end{pmatrix}\right\} = \begin{pmatrix} \frac{72}{41}e^{-\frac{41}{5}t} + \frac{10}{41} \\ \frac{187}{69}e^{-\frac{69}{10}t} + \frac{20}{69} \\ 2e^{-t} + 2 \end{pmatrix}$$



Obrázek 4: Průběhy jednotlivých stavových veličin s buzením

C) Vyšetřete říditelnost, pozorovatelnost, rekonstruovatelnost a dosažitelnost systému.

Nejprve si určí matici říditelnosti (pro řešený systém s řádem $n = 3$):

$$Q_r = (B \quad AB \quad A^2B) = \left(\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} -8,2 & 0 & 0 \\ 0 & -6,9 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} -8,2 & 0 & 0 \\ 0 & -6,9 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}^2 \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \right)$$

$$Q_r = \begin{pmatrix} 1 & -8,2 & 67,24 \\ 1 & -6,9 & 47,61 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Nyní převedu matici do schodovitého tvaru a z počtu nenulových řádků určí její hodnotu:

$$\begin{pmatrix} 1 & -8,2 & 67,24 \\ 1 & -6,9 & 47,61 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1,32 \\ 0 & -1 & 6,76 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Hodnota matice říditelnosti je rovná dimenzi vektoru stavu, to znamená, že je **systém je dosažitelný i říditelný**.

$$h[Q_r] = 3 = \dim x(t)$$

Nyní určí matici pozorovatelnosti (pro $n = 3$):

$$Q_p = \begin{pmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (0,0321 \quad -0,0391 \quad 0,0071) \\ (0,0321 \quad -0,0391 \quad 0,0071) \cdot \begin{pmatrix} -8,2 & 0 & 0 \\ 0 & -6,9 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \\ (0,0321 \quad -0,0391 \quad 0,0071) \cdot \begin{pmatrix} -8,2 & 0 & 0 \\ 0 & -6,9 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}^2 \end{pmatrix}$$

$$Q_p = \begin{pmatrix} 0,0321 & -0,0391 & 0,0071 \\ -0,2628 & -0,2699 & -0,0071 \\ 2,1551 & -1,8622 & 0,0071 \end{pmatrix}$$

Pomocí funkce rank() v prostředí MATLAB byla vypočítána hodnota matice pozorovatelnosti:

$$h[Q_p] = 3 = \dim x(t)$$

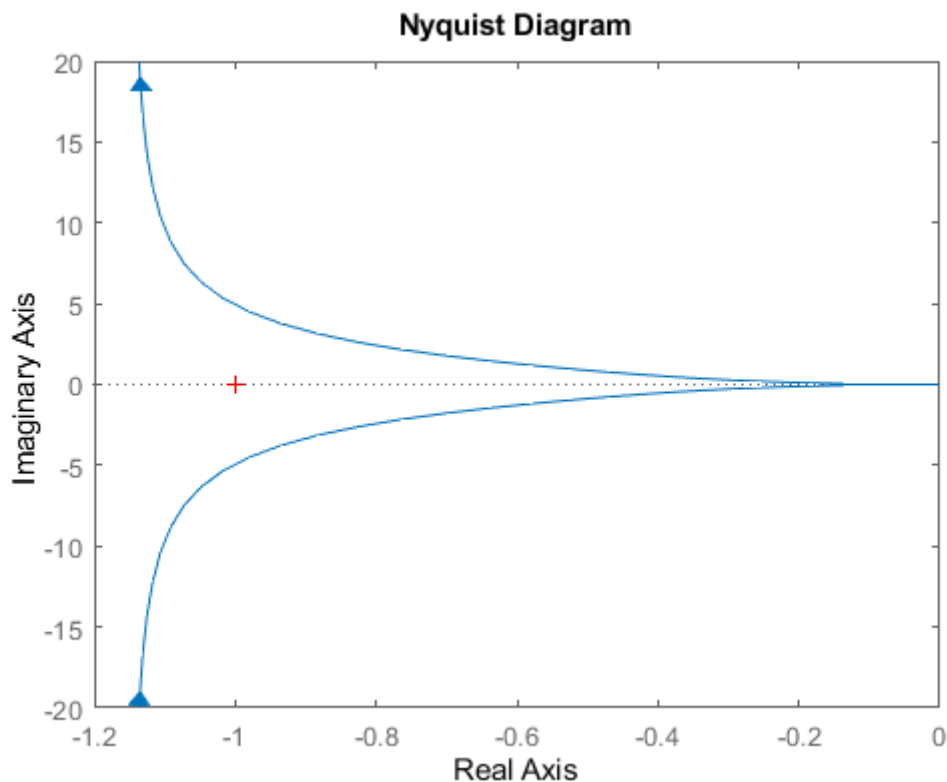
Hodnota odpovídá dimenzi stavového vektoru, takže můžu konstatovat, že **systém je pozorovatelný i rekonstruovatelný**.

D) Předpokládejte, že soustava je regulována PID regulátorem s přenosem $GR(s)=P+I1s+Ds$ (složky zvolte vhodně tak, aby byla uzavřená smyčka stabilní, nebo použijte funkci pidtune). Ověřte stabilitu uzavřeného regulačního obvodu Nyquistovým a Michajlovým kritériem. Pro tento obvod stanovte zásobu stability v amplitudě a ve fázi, překmit, dobu ustálení, dobu náběhu.

Parametry PID regulátoru jsem si zvolil dle výsledku funkce pidtune() v prostředí MATLAB, kromě derivační složky, kterou jsem musel ponížít, protože soustava nebyla stabilní. Zvolené parametry:

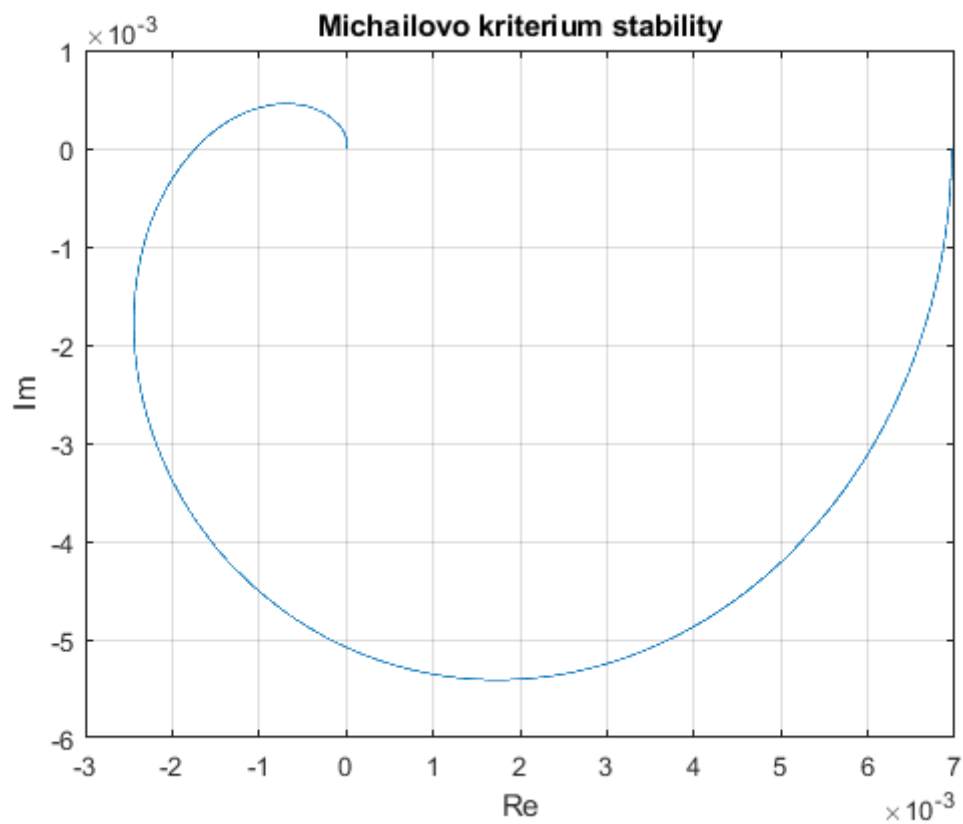
$$K_p = 390,; K_i = 479,; K_d = 20$$

Na obrázku č. 5 je Nyquistův digram otevřené smyčky. Křivka kmitočtové charakteristiky protíná reálnou osu až za hodnotou -1, **dle Nyquistova kritéria stability se tedy jedná o stabilní systém.**



Obrázek 5: Nyquistův diagram

Na obrázku č. 6 je frekvenční charakteristika uzavřené smyčky. Křivka protíná 3 kvadranty, což odpovídá řádu charakteristické rovnice systému. **Dle Michaljevova kritéria stability je systém stabilní.**



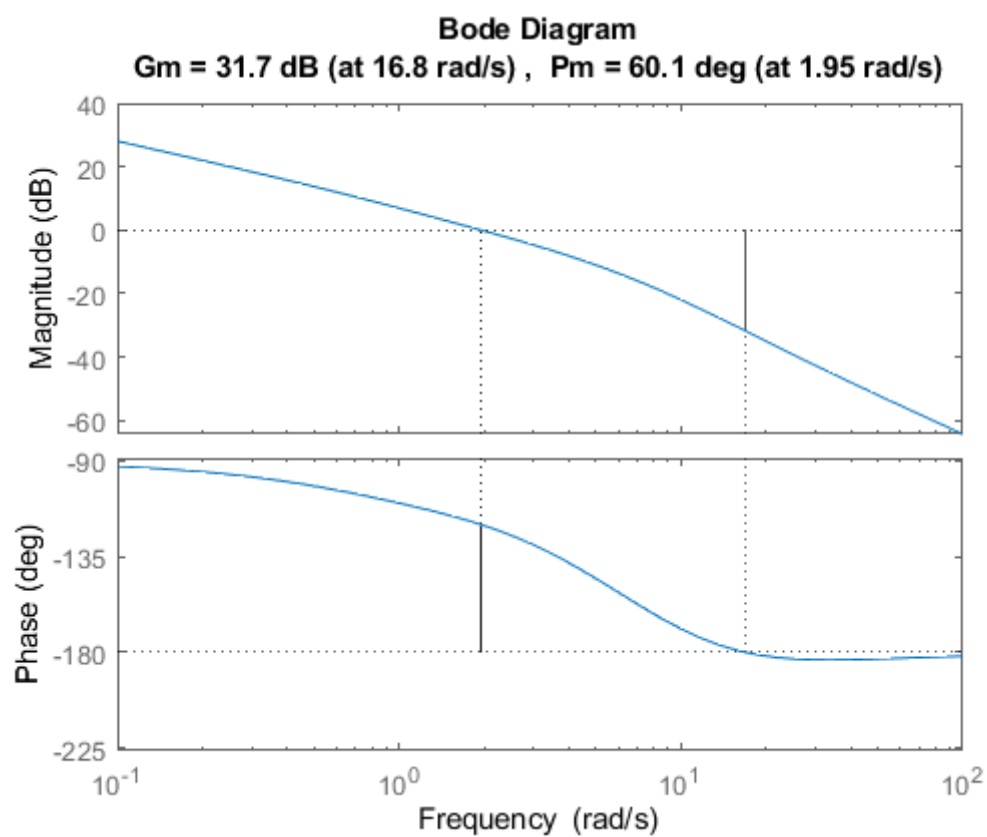
Obrázek 6: Frekvenční charakteristika uzavřené smyčky

Pomocí příkazu `margin()` byli sestrojeny logaritmicko amplitudová a fázová frekvenční charakteristika otevřené smyčky (obr. 7) a byla vypočítána **zásoba stability v amplitudě G_m a ve fázi P_m** následně:

$$G_m = 31.7 \text{ dB při } \omega_f = 16,8 \text{ rad} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$P_m = 60,1^\circ \text{ při } \omega_{\text{f}} = 1,95 \text{ rad} \cdot \text{sec}^{-1}$$

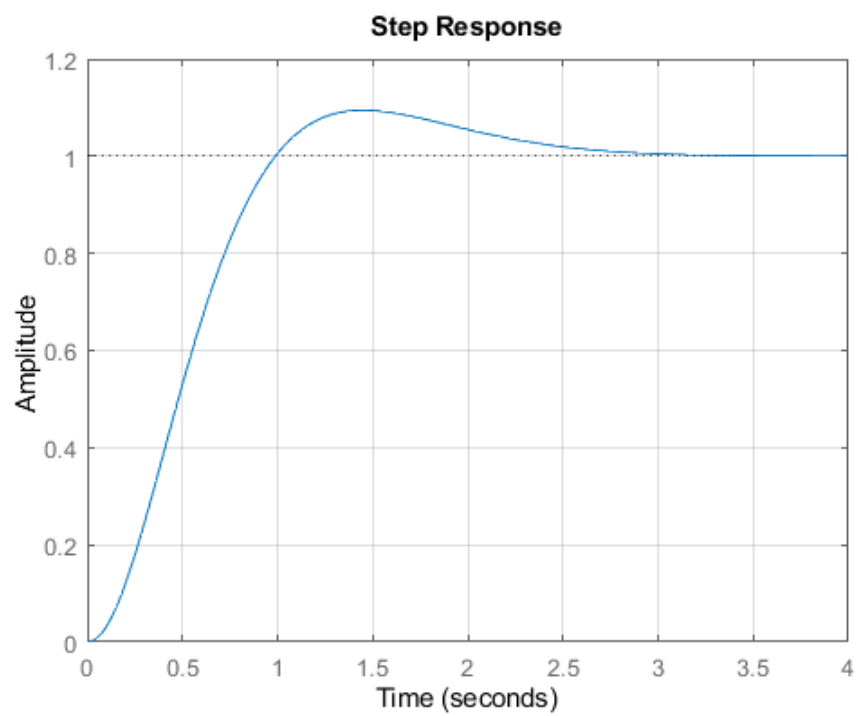
$$\omega_f > \omega_{\text{f}} \Rightarrow \text{stabilní systém}$$



Obrázek 7: Logaritmicko amplitudová frekvenční charakteristika (nahore) a frekvenční fázová charakteristika (dole)

Pomocí funkce `stepinfo()` jsem vypočítal **překmit 9,46 %**, **dobu ustálení $T_s = 2,49$ s** a **dobu náběhu $T_u = 0.65$ s**.

Pro názornost jsem sestrojil přechodovou charakteristiku – viz obr. 8.



Obrázek 8: Přechodová charakteristika

E) Vypočtete numericky hodnotu integrálního kvadratického kritéria a kritéria ITAE, ověřte ve vybraném simulačním software.

Numerické výpočty kvadratického kritéria a ITA byli provedeny v prostředí matlab (viz příloha A):

Hodnota kvadratického kritéria $I_k = 0,3836$

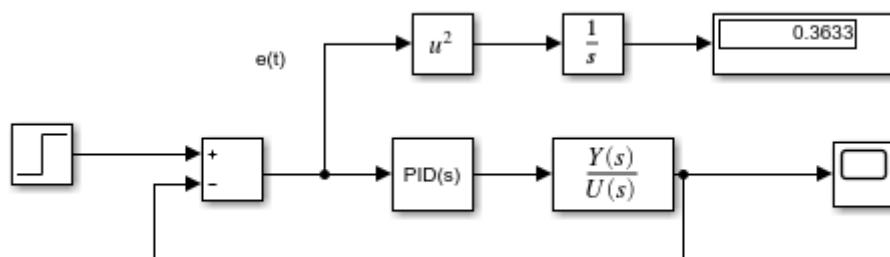
Hodnota ITAE = 0,3109

Simulace byla provedena v prostředí Simulink, výsledky simulace se jen mírně liší (viz obr. 9 a 10) od výsledků z numerického výpočtu:

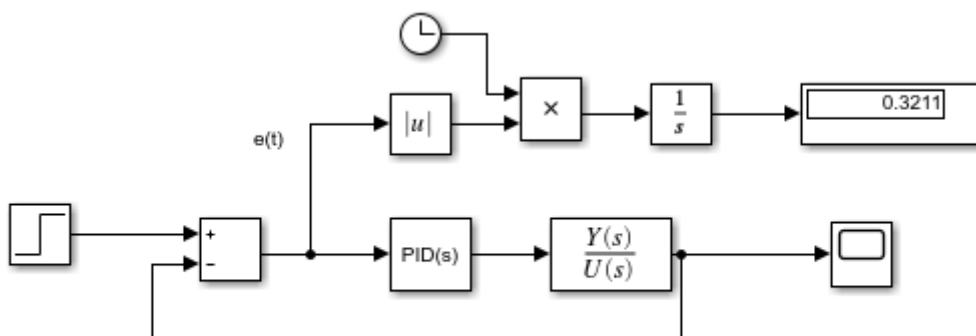
Hodnota kvadratického kritéria ze simulace $I_k = 0,3633$

Hodnota ITAE ze simulace = 0,3211

Rozdíl je pravděpodobně způsoben aproximační chybou. Výsledky ze simulace by měli být přesnější (menší vzorkovací krok při numerickém výpočtu).



Obrázek 9: Výpočet ITAE v Simulink

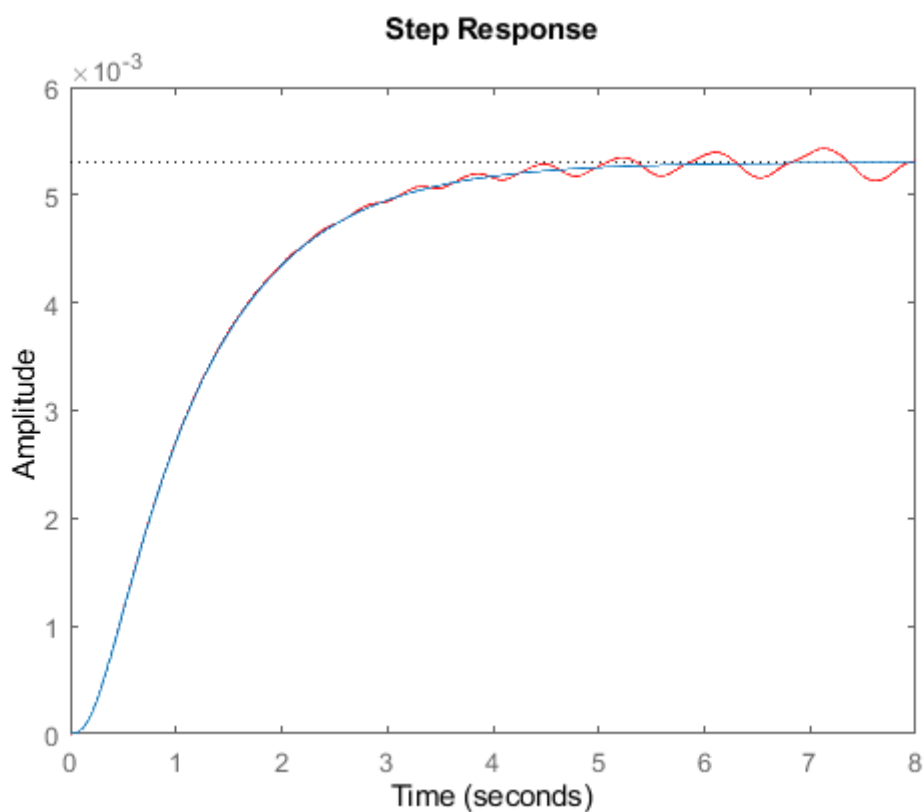


Obrázek 10: Výpočet integrální kvadratické odchylky v Simulink

F) Uložte si průběh frekvenční charakteristiky lineárního systému. Na základě těchto dat numericky vypočtete a vykreslete přechodovou charakteristiku. Pozn.: v případě identifikace astatické soustavy identifikujte nejdříve derivaci přechodové charakteristiky, poté zpětnou integrací získáte identifikovaný průběh původního systému.

Uložení dat frekvenční charakteristiky a numerický výpočet přechodové charakteristiky bylo provedeno v prostředí MATLAB, viz příloha A.

Výsledná přechodová charakteristika je na obrázku č. 11 znázorněná červenou křivkou. Pro názornost je součástí grafu i původní přechodová charakteristika vyznačená modrou křivkou.



Obrázek 11: Aproximovaná přechodová charakteristika (červeně) a původní (modře)

- G) Diskretizujte PID regulátor s vhodnou periodou vzorkování, namodelujte průběh regulované veličiny. Porovnejte v jednom grafu průběhy regulovaných veličin při regulaci se spojitým a diskrétním regulátorem.

Parametry PID regulátoru jsem si zvolil následující:

$$K_p = 390; K_i = 479; K_d = 20$$

Jeho přenos tedy bude:

$$G_R(s) = 390 + \frac{479}{s} + 20s$$

Jednotlivé časové konstanty budou mít následující hodnoty:

$$T_d = \frac{K_d}{K_p} = \frac{20}{390} = 0,051$$

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} = \frac{390}{479} = 0,814$$

Periodu vzorkování si volím desetkrát menší, než je nejmenší časová konstanta regulované soustavy (nejmenší pól $p = -1$):

$$T_z = 0,1 \text{ s}$$

Rovnice pro výpočet PSD regulátoru:

$$q_0 = k_p \left(1 + \frac{T_z}{T_i} + \frac{T_d}{T_z} \right) = 390 \left(1 + \frac{0,1}{0,814} + \frac{0,513}{0,1} \right) = 637.73$$

$$q_1 = -k_p \left(1 + \frac{2T_d}{T_z} \right) = -390 \left(1 + \frac{0,513}{0,1} \right) = -789.86$$

$$q_2 = k_p \frac{T_d}{T_z} = 390 \frac{0,513}{0,1} = 200$$

$$G_R(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}} = \frac{637.73 - 789.86 z^{-1} + 200 z^{-2}}{1 - z^{-1}} = \frac{U(z)}{E(z)}$$

$$637.73E(z) - 789.86z^{-1}E(z) + 200z^{-2}E(z) = U(z) - z^{-1}U(z)$$

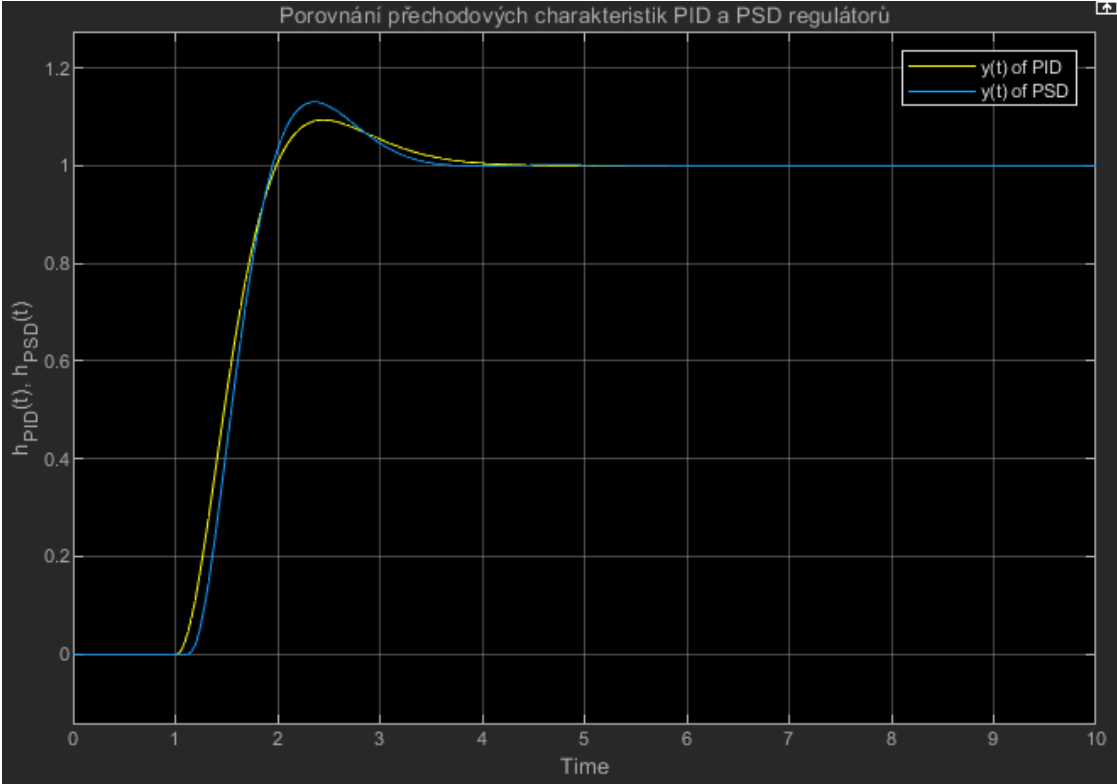
Po zpětné z transformaci získám rovnici pro akční zásah navrhnutého PSD regulátoru:

$$637.73e(k) - 789.86e(k-1) + 200e(k-2) = u(k) - u(k-1)$$

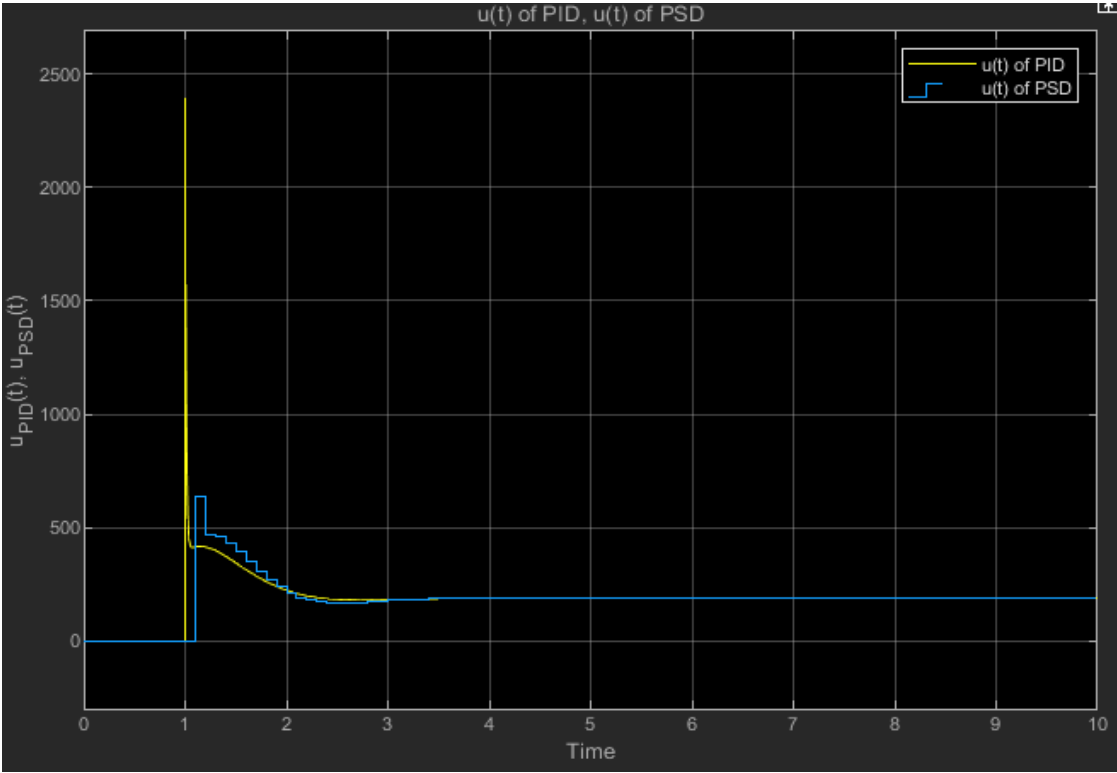
$$u(k) = 637.73e(k) - 789.86e(k-1) + 200e(k-2) + u(k-1)$$

PID i PSD regulátor jsem porovnal pomocí simulace v Simulink (obr. 14).

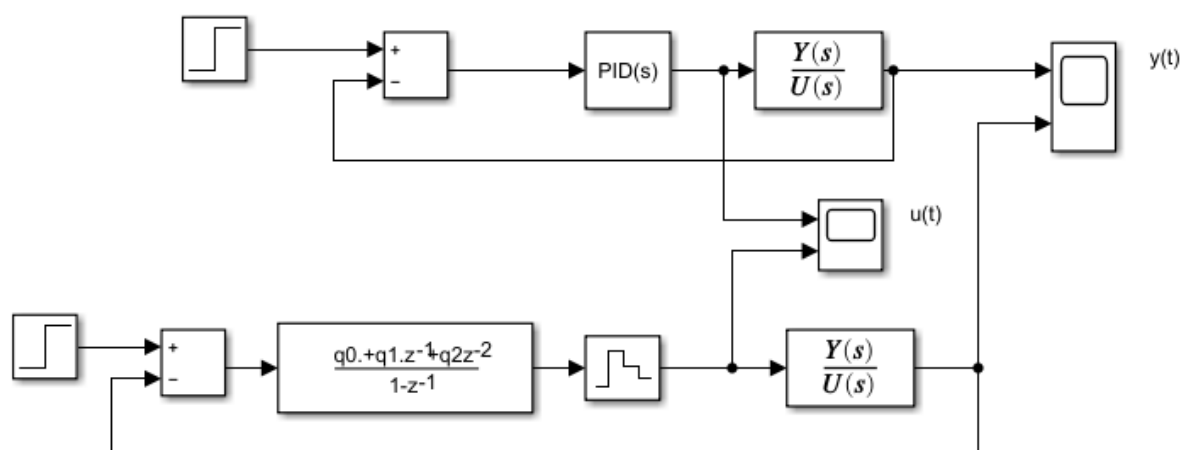
Na obrázcích č. 12 jsou znázorněny průběhy regulovaných veličin při jednotkovém skoku na vstupech obou regulátoru v čase $t = 1 \text{ s}$. Na obrázku č. 13 jsou průběhy akčních veličin při této situaci.



Obrázek 12: Porovnání přechodových charakteristik PID (žlutá křivka) a PSD regulátoru (červená křivka)



Obrázek 13: Porovnání průběhů akčních veličin PID (žlutá křivka) a PSD regulátoru (červená křivka)



Obrázek 14: Schéma simulace regulátoru PID a PSD v Simulink

H) Pro daný systém navrhnete Luenbergrova pozorovatele. Určete časové konstanty systému s tím, že pozorovatel bude mít své časové konstanty 5x rychlejší než sledovaný systém. Do protokolu uveďte i schéma zapojení tohoto pozorovatele.

Systém pro který je navrhován pozorovatel, musí být pozorovatelný. Pozorovatelnost systému jsem již dokázal výše v části řešení zadání C.

Systém je popsáný stavovými rovnicemi následně:

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} -8,2 & 0 & 0 \\ 0 & -6,9 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} u(t)$$

$$y(t) = (0,0321 \quad -0,0391 \quad 0,0071)x(t)$$

Protože je matice A v diagonálním tvaru, jsou její prvky na diagonále póly systému:

$$p_i = \{-8,2; -6,9; -1\}$$

Časové konstanty systému tedy jsou:

$$T_i = \left\{ -\frac{10}{82}; -\frac{10}{69}; -1 \right\}$$

Pozorovatel má mít časové konstanty podle zadání 5-krát rychlejší, to znamená že jeho póly budou pětkrát větší, tedy:

$$p_{p_i} = \{-41; -34,5; -5\}$$

Stavová matice pozorovatele:

$$A^* = A - LC = \begin{pmatrix} -8,2 & 0 & 0 \\ 0 & -6,9 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{pmatrix} (0,0321 \quad -0,0391 \quad 0,0071) =$$

$$= \begin{pmatrix} -8,2 - 0,0321l_1 & 0,0391l_1 & -0,0071l_1 \\ -0,0321l_2 & -6,9 + 0,0391l_2 & -0,0071l_2 \\ -0,0321l_3 & 0,0391l_3 & -1 - 0,0071l_3 \end{pmatrix}$$

Charakteristický polynom pozorovatele z matice pozorovatele:

$$\det[\lambda \cdot I - A^*] =$$

$$= \det \left[\lambda \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -8,2 - 0,0321l_1 & 0,0391l_1 & -0,0071l_1 \\ -0,0321l_2 & -6,9 + 0,0391l_2 & -0,0071l_2 \\ -0,0321l_3 & 0,0391l_3 & -1 - 0,0071l_3 \end{pmatrix} \right] =$$

$$= \lambda^3 + 16,1 \cdot \lambda^2 + 71,68 \cdot \lambda + 0,032 \cdot (\lambda^2 l_1) + 0,254 \cdot (\lambda l_1) + 0,221 \cdot l_1 - 0,039 \cdot (\lambda^2 l_2) -$$

$$- 0,360 \cdot (\lambda l_2) - 0,321 \cdot l_2 + 0,007 \cdot (\lambda^2 l_3) + 0,107 \cdot \lambda l_3 + 0,402 \cdot l_3 + 56,58 =$$

$$= \lambda^3 + \lambda^2(16,1 + 0,032 \cdot l_1 - 0,039 \cdot l_2 + 0,007 \cdot l_3) + \lambda(71,68 + 0,254 \cdot l_1 - 0,360 \cdot l_2 +$$

$$0,107 \cdot l_3) + 0,221 \cdot l_1 - 0,321 \cdot l_2 + 0,402 \cdot l_3 + 56,58$$

Charakteristický polynom pozorovatele z navržených pólů:

$$(s + 41)(s + 34,5)(s + 5) = s^3 + 80,5s^2 + 1792s + 7072,5$$

Ze známé rovnosti charakteristických polynomů pozorovatele můžeme dále určit:

$$\det[\lambda \cdot I - A^*] = s^3 + 80,5s^2 + 1792s + 7072,5 \Rightarrow$$

$$s^3(\lambda^3): 1 = 1$$

$$s^2(\lambda^2): 80,5 = 16,1 + 0,032 \cdot l_1 - 0,039 \cdot l_2 + 0,007 \cdot l_3$$

$$s^1(\lambda^1): 1792 = 71,68 + 0,254 \cdot l_1 - 0,360 \cdot l_2 + 0,107 \cdot l_3$$

$$s^0(\lambda^0): 7072,5 = 0,221 \cdot l_1 - 0,321 \cdot l_2 + 0,402 \cdot l_3 + 56,58$$

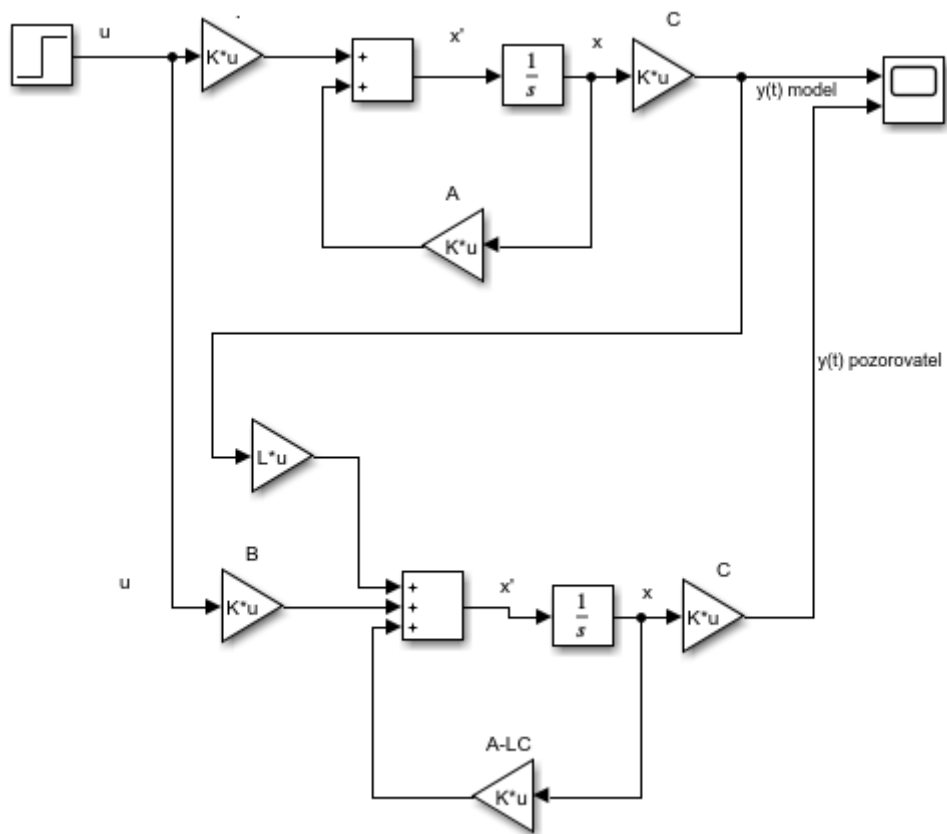
$$l_1 \approx -9058,27$$

$$l_2 \approx -5903,49$$

$$l_3 \approx 17718,4$$

Matice Luenbergerova pozorovatele bude:

$$L = \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -9058.27 \\ -5903.49 \\ 17718.4 \end{pmatrix}$$



Obrázek 15: Schéma zapojení Luenbergova pozorovatele

Příloha A:

Kód v prostředí matlab:

```
% Protokol ARS
% Autor: MAK056
% Datum: 17. 11. 2021
% MATLAB v. R2020b

clear all;close all;clc;

%zadání:
a3 = 1;
a2 = 16.1;
a1 = 71.68;
a0 = 56.58;
b0 = 0.3;
citatel = [b0];
jmenovatel = [a3 a2 a1 a0];

%% A
%převod z vnějšího popisu na vnitřní:
[A,B,C,D]=tf2ss(citatel,jmenovatel);

%převod na frobeniův tvar:
FROA = rot90(A,2)
FROB = flipud(B)
FROC = fliplr(C)
FROD = D

% převod na Jordanův tvar
[residua,poly,k]=residue(citatel,jmenovatel)
JORA=diag(poly)
JORB=ones(size(poly,1),1)
JORC=residua'
if isempty(k)
    JORD=0
else
    JORD=k
end

figure, step(JORA,JORB,JORC,JORD)
title('Přechodová charakteristika - Jordanův tvar')
figure, step(FROA,FROB,FROC,FROD)
title('Přechodová charakteristika - Frobeniův tvar')

%% B
%obraz prechodove matice - homogení
syms s;
I = eye(3);
Fi_s = inv(s*I-JORA);
fi_t = ilaplace(Fi_s);
x0 = [1;2;3];
Xsh = Fi_s*x0
xth = ilaplace(Xsh)
%vykreslení
figure
ezplot(xth(1),[0 8])
hold on
ezplot(xth(2),[0 8])
ezplot(xth(3),[0 8])
axis auto
```

```

legend('x_1(t)', 'x_2(t)', 'x_3(t)')
grid on
title('Průběh stavových veličin bez buzení')

%obraz prechodove matice - úplná
Us = 2/s;
Xsu = Fi_s*(x0+JORB+Us)
xtu = ilaplace(Xsu)
%vykreslení
figure
ezplot(xtu(1), [0 6])
hold on
ezplot(xtu(2), [0 6])
ezplot(xtu(3), [0 6])
axis auto
legend('x_1(t)', 'x_2(t)', 'x_3(t)')
grid on
title('Průběh stavových veličin se vstupním signálem u(t)')

%% C
%riditelnost dosazitelnost systemu:
Co = ctrb(JORA, JORB); %vr8t9 matici 5iditelnosti
rCo = rank(Co) %vrati pocet lin. nezavislych radku. System je dosazitelny a
riditelný, pokud tento pocet odpovida radu systemu

%poyorovatelnost>
Ob = obsv(JORA, JORC);
rOb = rank(Ob)

%% D
%zásoba stability ve fázi a v amplitudě:
Gs = tf(citatel, jmenovatel);
Gr = pidtune(Gs, 'PID');
Gr.Kd = 20; %soustava nebyla stabilní, tak jsem ponížil derivační složku
G0 = series(Gs, Gr); %přenos otevřené smyčky
figure, margin(G0)
%Nyquistovo kritérium stability
figure, nyquist(G0)
%Michalovo kritérium stability
Gw = feedback(G0, 1, -1); %přenos uzavřené smyčky
[numGw, denGw] = tfdata(Gw);
w = 0:0.001:1000;
Gjw = 1./polyval(denGw{1,1}, 1i*w);
figure
plot(real(Gjw), imag(Gjw))
grid on;
ylabel('Im'), xlabel('Re')
title('Michailovo kritérium stability');

%Kvalita regulace
stepinfo(Gw)
figure, step(Gw), grid on

%% E
Ge = feedback(1, G0, -1);
[e_t, t] = step(Ge, 10);
e_inf = e_t(length(e_t)); %hodnota odchylky po ustálení
t_st = t(2)-t(1); %vzorkovací perioda při převodu na numerický výpočet
pomoci step()
%Integrovaný kvadratický kritérium:
Ik = sum((e_t - e_inf).^2 * t_st)
%ITAE:

```

```

ITAE = sum((abs(e_t-e_inf)).*t*t_st)

%% F
%uložení průběhu frekvenční charakteristiky:
[ReGs,ImGs,omegGs] = nyquist(Gs,{0.001, 10000});
omegGs = omeG's';
for n=1:length(omegGs)
    ReGs1(n) = ReGs(:, :,n);
    ImGs1(n) = ImGs(:, :,n);
end
%Aproximace přechodové charakteristiky z frekvenční hodnot charakteristik:
time = 0:0.01:8;
for k=1:length(time)
    h_aprx(k) = 2/pi*trapz(omegGs, (ReGs1./omegGs).*sin(omegGs*time(k)));
end
figure, plot(time, h_aprx, 'r');
hold on
step(Gs,time)

%% G
Td = Gr.Kd/Gr.Kp;
Ti = Gr.Kp/Gr.Ki;
Tz = min(abs(roots(jmenovatel)))/10; %vzorkovací perioda je alespon 10
mesnsi nez nejmensi cas. konst. reg soustavz
% Tz = 0.001;
q0 = Gr.Kp*(1+Tz/Ti+Td/Tz);
q1 = -Gr.Kp*(1+2*Td/Tz);
q2 = Gr.Kp*Td/Tz;

%% H
poly = roots(jmenovatel); %poly sledovaného systému
poly_poz = 5.*poly; %poly pozorovatele: tak, aby casove konst. byly 5 x
rýchlejší
L=[-9058.27; -5903.49; 17718.4]
Ap = A-L*JORC;

```