# Semestální projekt – Analýza regulačních systémů

# HAL 328

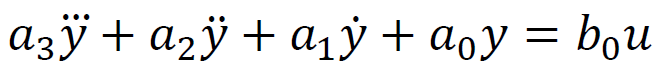
Jiří Halmazňa

12.12.2021

**Ad 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.*

Zadaná lineární soustava:



Pomocí fce tf2ss() nebo přímo ze zadání ( převedu na stavový popis a z něj lze určit Frobeniův kanonický tvar:

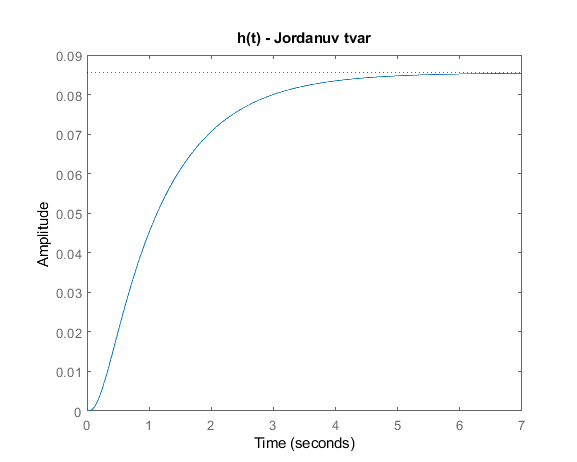
Ze zadané rovnice vyjádřím (Laplace):

Z toho přenos:

Pomocí fce residue() převedu na součet parciálních zlomků:

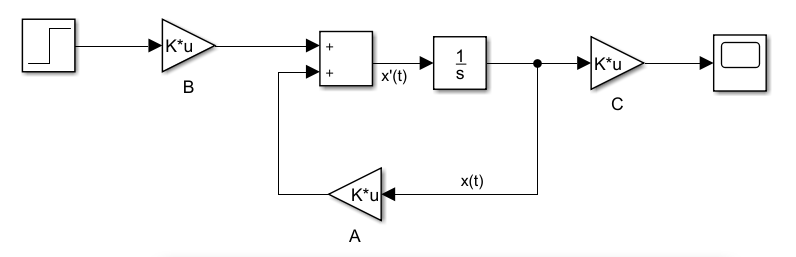
a z toho Jordanův kanonický tvar:

Na obrázku 1 je průběh pro Jordanův tvar získaný pomocí fce step(). Identický průběh je i pro Frobeniův tvar.

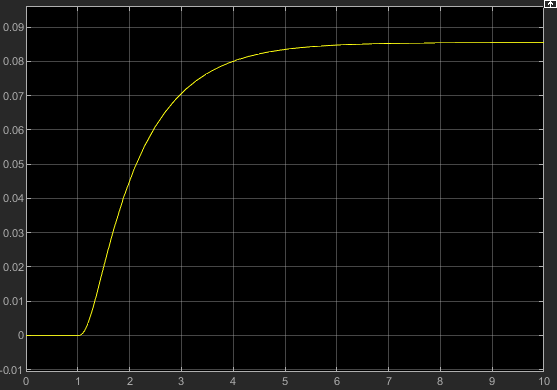


**Obr. 1 – Přechodová charakteristika, stejná pro Frobenia i Jordana**

Model byl dále ověřen v Simulinku. Na obr. 2 je schéma a na obr. 3 simulovaná přechodová charakteristika.



**Obr. 2 – Simulační schéma**



**Obr. 3 – Přechodová charakteristika - Simulink**

**Ad B)**

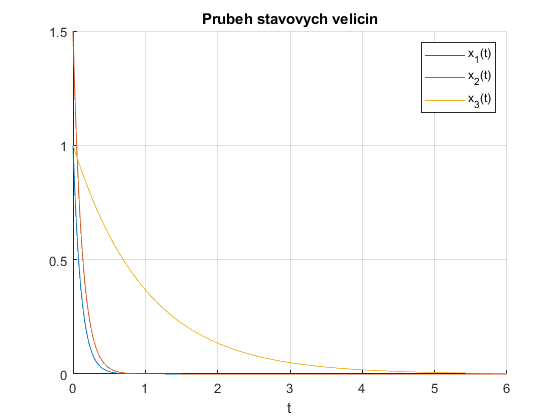
*Řešte úplnou a neúplnou stavovou rovnici v Laplaceově transformaci. Stanovte obraz matice přechodu Φ(𝑠). Najděte řešení stavové rovnice pro zvolený nenulový počáteční stav a průběhy vykreslete.*

Počáteční stav pro úplnou stavovou rovnici zvolen jako:

Obraz matice přechodu:

Neúplná rovnice:

Na obrázku 4 jsou průběhy stavových veličin, pro neúplnou rovnici (bez buzení).

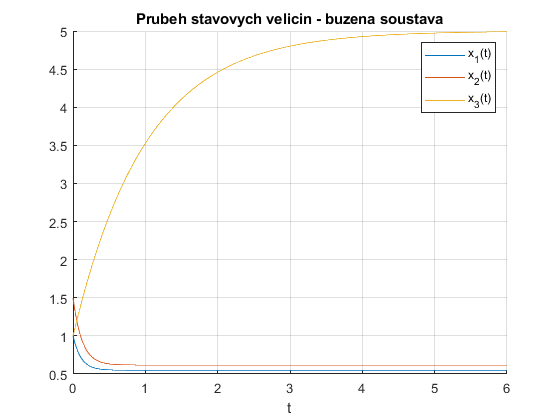


**Obr. 4 – Průběh vnitřních stavů – neúplná rovnice**

Zvolený budící signál je konstanta 5. Obraz:

Úplná rovnice:

Na obrázku 5 jsou průběhy stavových veličin, pro úplnou rovnici (buzena konstantním ss signálem o hodnotě 5).



**Obr. 5 – Průběh vnitřních stavů – úplná rovnice**

**Ad C)**

*Vyšetřete řiditelnost, pozorovatelnost, rekonstruovatelnost a dosažitelnost systému.*

Systém je řiditelný, pokud se hodnost matice řiditelnosti rovná řádu systému – zde 3. Určení matice řiditelnosti bylo provedeno pomocí fce ctrb().

Hodnost této matice je 3, čili systém je řiditelný i dosažitelný.

Systém je pozorovatelný, je-li hodnost matice pozorovatelnosti rovna řádu systému – zde 3. Určení natice pozorovatelnosti pomocí fce obsv().:

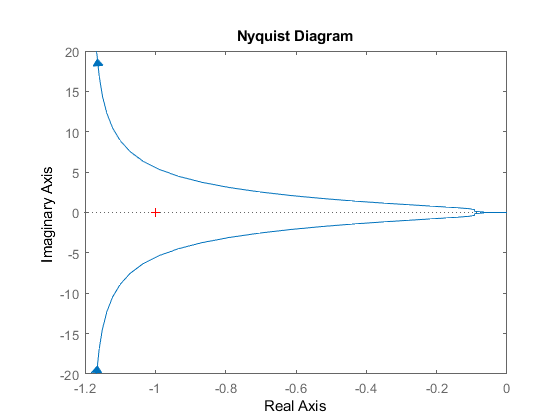
Hodnost této matice je 3, čili systém je pozorovatelný a zároven tedy i rekonstruovatelný.

**Ad D)**

*Předpokládejte, že soustava je regulována PID regulátorem s přenosem* 𝐺𝑅(𝑠)=𝑃+𝐼\*1/𝑠+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.*

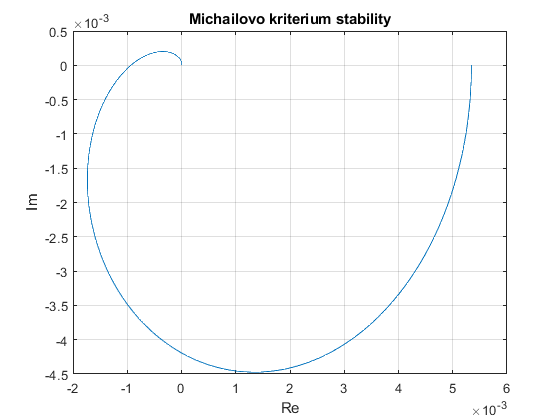
Parametry PID regulátoru byly zvoleny pomocí fce pidtune(): P=22,8; I=29,7; D=4,22.

Na obrázku 6 je nyquistův diagram soustavy s regulátorem. Křivka neobepíná bod -1, proto po uzavření zpětné vazby bude obvod stabilní.



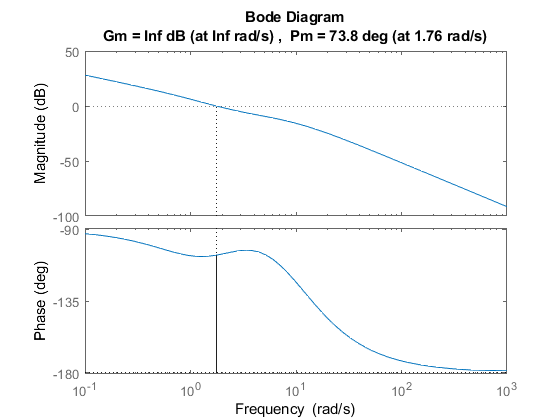
**Obr. 6 – Nyquistův diagram systému s regulátorem**

Na obrázku 7 je křivka pro Michailovo kritérium stability. Křivka prochází třemi kvadranty, což je zároveň řád systému a obklopuje bod 0, proto je obvod stabilní.

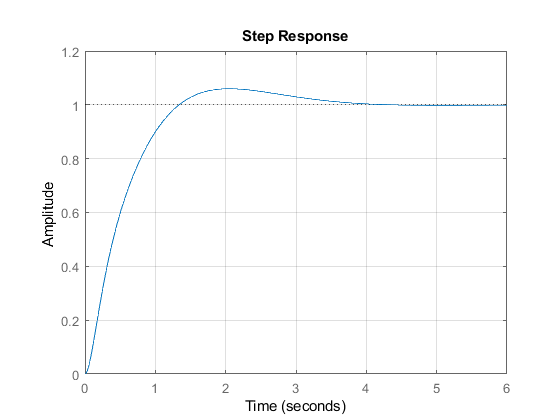


**Obr. 7 – Michailův diagram systému s regulátorem**

Z obrázku 8 je patrné, že zásoba stability ve fázi je 73,8° při frekvenci 1,76 rad/s. Zásoba stability v amplitudě není určena, protože fáze nikdy není menší než -180°, resp. neprotne -180°.



**Obr. 8 – Zásoba stability ve fázi a amplitudě**



**Obr. 9 – Přechodová charakteristika obvodu s uzavřenou f. b.**

Překmit doba ustálení doba náběhu jsou patrné z obrázku 9 – Přechodové charakteristiky obvodu s uzavřenou zpětnou vazbou. Hodnoty byly vypočítány pomocí fce stepinfo():

RiseTime: 0.8928 s

SettlingTime: 3.2723 s

Overshoot: 0.0598

**Ad E)**

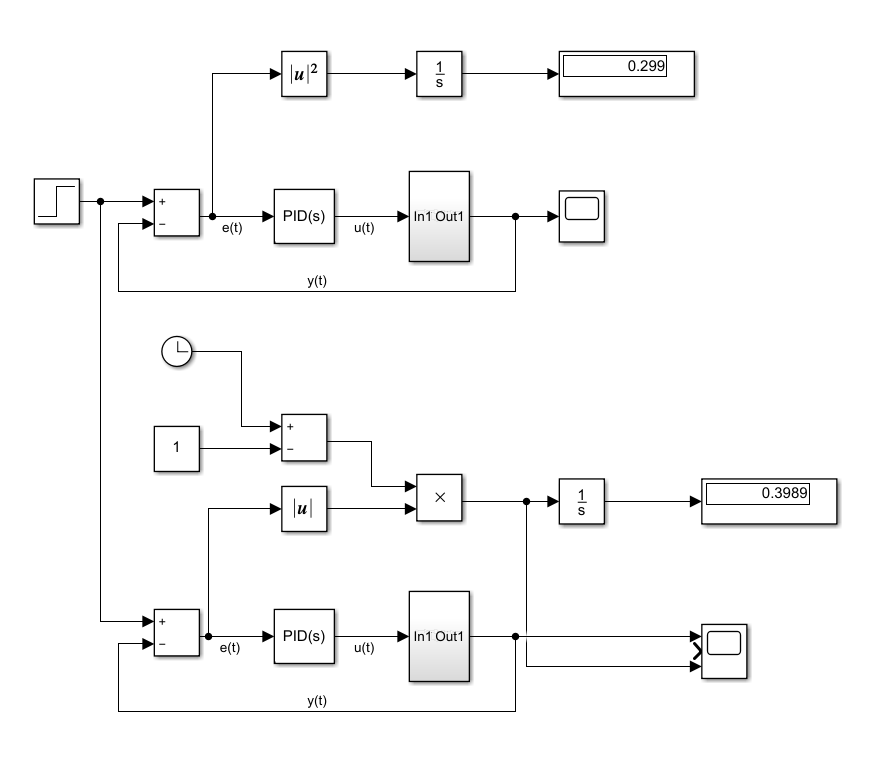
*Vypočtěte numericky hodnotu integrálního kvadratického kritéria a kritéria ITAE, ověřte ve vybraném simulačním software.*

Kritéria kvality regulace byly vypočteny následovně: Pro kvadratické kritérium:

Pro ITAE:

Kde e je průběh regulační odchylky, pro tento systém. Při praktickém výpočtu byla místo integrace použita suma, viz zdrojový kód .m.

Na obrázku 10 je simulační schéma pro výpočet těchto kritérií numericky.

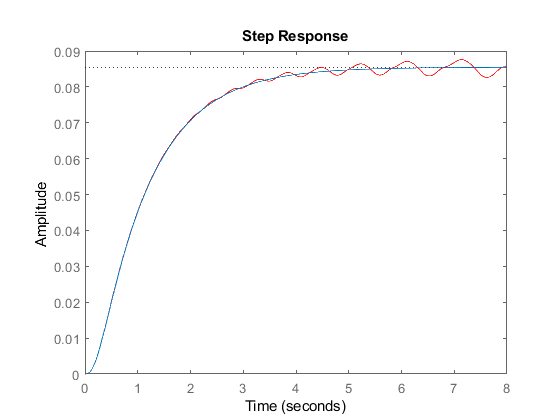


**Obr. 10 – Integrální kritérium a ITAE numericky**

Výstupy obou metod jsou velmi podobné – pouze je jiný časový krok a tím i jiná přesnost numerické metody.

**Ad F)**

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



**Obr. 11 – Zásoba stability ve fázi a amplitudě**

Průběh frekvenční charakteristiky (po složkách komplexních čísel) byl uložen pomocí fce [Re Im Omega] = nyquist(sys). Zpětná rekonstrukce byla provedena pomocí zpětné fourierovy transformace, kterou byl získán průběh **impulzové charakteristiky**, podle vzorce:

**Přechodová** **charakteristika**, viz obr. 11 :: červená, byla získána pomocí integrace impulzové charakteristiky:

Poznámka: očekává frekvenční složky i pro záporné frekvence, které fce nyquist() nevrací. Tyto složky mají stejnou amplitudu a opačnou fázi (ta se vyruší z kladnou složkou téže frekvence). Proto bylo použito dvojí integrace s uměle „vyrobenými“ zápornými složkami. Poté sečteno.

**Ad 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: P=22,8; I=29,7; D=4,22.

Pro sériovou formu:

Vzorkování volím 10x menší než nejmenší kořen jmenovatele (časová konstanta soustavy):

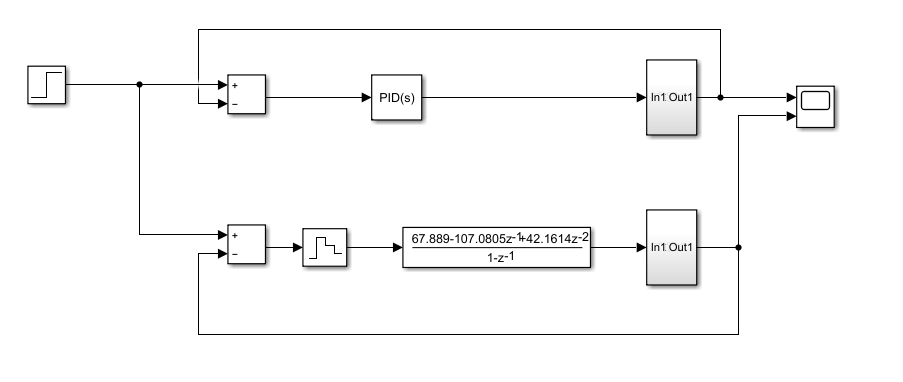
Převod na PSD (diskretizovaný PID):

Přenos:

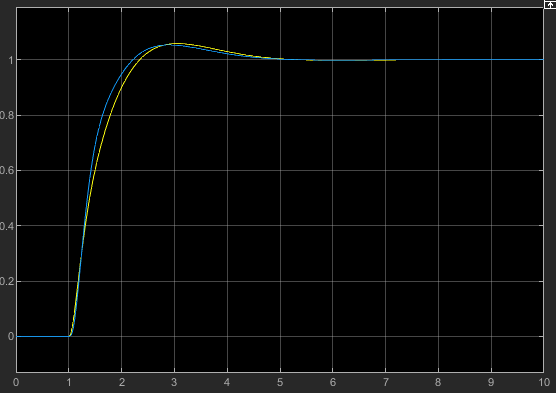
Stavová rovnice:

Zpětnou Z transformací dostanu rovnici v časovém prostoru, pro akční veličinu:

Na obrázku 12 je simulační schéma pro regulační smyčku s PID i PSD (diskrétním) regulátorem. Šedý blok je model z bodu A :: obrázku 2. Na obrázku 13 je pak průběh výstupní veličiny obou soustav.



**Obr. 12 – Schéma PID (nahoře) a PSD (dole)**



**Obr. 13 – Přechodová charakteristika PID (žlutá) a PSD(modrá)**

Zdrojové kódy matlab a schémata simulink přiložena externě.