

# **Journal of Cybernetics and Informatics**

published by

**Slovak Society for  
Cybernetics and Informatics**

**Special Issue**

**"New Trends in Education of Automation  
and Information Technology"**

**2004**

**NOVÉ TRENDY VE VÝUCE  
Urban P., Roubal J., 28-35**

<http://www.sski.sk/casopis/index.php> (home page)

**ISSN: 1336-4774**

## NOVÉ TRENDY VE VÝUCE

Petr Urban\*, Jírka Roubal\*

\* Katedra řídicí techniky  
Fakulta elektrotechnická

České vysoké učení technické v Praze  
Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha, Česká Republika  
E-mail: {urbanp1, roubalj}@control.felk.cvut.cz

**Abstract:** Tato zpráva popisuje některé nové trendy při výuce na Katedře řídicí techniky, Fakulty elektrotechnické, Českého vysokého učení technického v Praze. Je zde naznačeno využití Matlab Web Serveru pro komunikaci vzdáleného uživatele se softwarem Matlab, aplikace moderní teorie řízení na laboratorní model a dále ukázka spolupráce se zahraniční University of Glasgow a domácí Universitou Palackého v Olomouci.

**Keywords:** Matlab, Matlab Web Server, Kalmanův filtr, LQ regulátor, Stimulace svalové tkáně.

### 1 Úvod

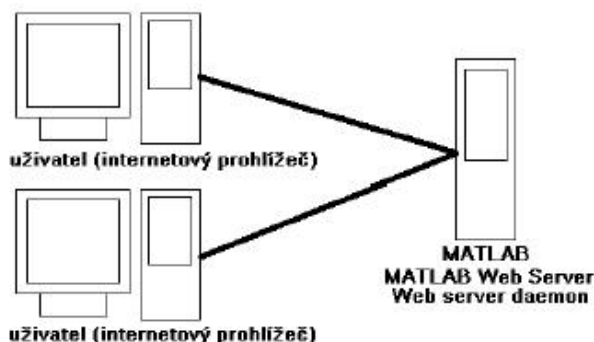
V této zprávě uvedeme několik příkladů jak se snažíme zatraktivnit výuku na Katedře řídicí techniky, Fakulty elektrotechnické, Českého vysokého učení technického v Praze. Text je uspořádán následovně: v kapitole 2 je stručně popsána diplomová práce našeho diplomanta, který se zabýval aplikací pro Matlab Web Server prezentující některé funkce Polynomiálního Toolboxu. Kapitola 3 prezentuje návrh LQG regulátoru pro laboratorní model servomechanismu AMIRA-DR300. V kapitole 4 je popsána spolupráce naší katedry s Centre for Rehabilitation Engineering, University of Glasgow a začínající spolupráce s Klinikou rehabilitace a tělovýchovného lékařství Fakultní nemocnice a Lékařské fakulty University Palackého v Olomouci.

### 2 Využití internetu

V dnešní době se stále více klade důraz na prezentace výsledků a prací na internetu. Cílem některých prací je vytvoření internetové aplikace umožňující on-line řešení vybraných problémů. Součástí programového balíku Matlab je Web Server, který toto umožňuje. Jako příklad uvedme aplikaci vypracovanou naším diplomantem s názvem:

#### Matlab Web Server aplikace pro Polynomiální Toolbox (NOVÁK, R. 2004)

Polynomiální Toolbox je balík m-souborů, které pracují s polynomy a polynomiálními maticemi. Obsahuje velké množství funkcí sloužících pro analýzu a návrh regulačních obvodů pomocí polynomiálních metod, viz (POLYX LTD. (<http://www.polyx.com>)). Aplikace využívá možnosti MATLAB Web Serveru. MATLAB Web Server přijímá data z internetových aplikací a umožňuje jejich zpracování pomocí MATLABu. Výsledky jsou posílány zpět internetové aplikaci, která je zobrazí prostřednictvím internetové stránky uživateli. V nejjednodušší konfiguraci je na straně uživatele spuštěn internetový prohlížeč, zatímco na druhém počítači je spuštěn MATLAB, MATLAB Web Server a Web Server Daemon viz obrázek 1.



Obrázek 1: Základní struktura Web Serveru

Diplomová práce je k nahlédnutí na adrese:

([http://dce.felk.cvut.cz/dolezilkoval/diplomky/2004/dp\\_2004\\_novak\\_richard/dp\\_2004\\_novak\\_richard.pdf](http://dce.felk.cvut.cz/dolezilkoval/diplomky/2004/dp_2004_novak_richard/dp_2004_novak_richard.pdf)).

Část práce se věnuje popisu Matlab Web Serveru a seznamuje čtenáře s problematikou konfigurování a zprovoznění samotného Matlab Web Serveru. Jednotlivé konfigurační soubory a procedury jsou v práci pečlivě zdokumentovány. Proto se zde touto problematikou nebudeme více zabývat. Představíme zde pouze několik obrázků znázorňujících samotné uživatelské rozhraní.

- Úvodní stránka a menu



- Příklady zadání problému

**Determinant matice**

Rozměr matice  x

Ponechat hodnoty předchozí matice  Neponechat hodnoty předchozí matice

|             |          |   |
|-------------|----------|---|
| $3*s^2+s+5$ | $s-3$    | 0 |
| $32*s^2$    | $14*s+4$ | 0 |
| 0           | 0        | 0 |

**Polynomiální rovnice**

Rozměr matice A  x

Ponechat hodnoty předchozí matice  Neponechat hodnoty předchozí matice

|         |             |
|---------|-------------|
| $3+s$   | $1+s+2*s^2$ |
| $s+s^2$ | $2+3*s$     |

Rozměr matice B  x

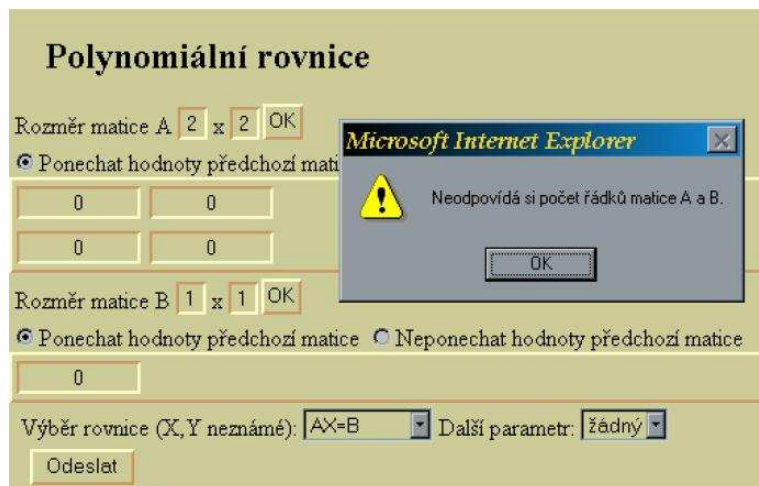
Ponechat hodnoty předchozí matice  Neponechat hodnoty předchozí matice

|           |         |
|-----------|---------|
| 2         | $3+s^2$ |
| $s+3*s^2$ | 1       |

Výběr rovnice (X, Y neznámé):  Další parametr:

- AX=B
- AX=B=C
- AX+BY=C
- AX+YA=B
- AX+Y'A=B
- AX+YB=C
- XA'+AX'=B
- XA=B
- XA+YB=C

- Ošetření vyjímek - hlášení chyb



- Kompletní řešení příkladu

### Spektrální faktorizace

Rozměr matice  x

Ponechat hodnoty předchozí matice  Neponechat hodnoty předchozí matice

|  |  |  |
|--|--|--|
| <input type="text" value="34-56*s^2"/>       | <input type="text" value="-13-22*s+60*s^2"/> | <input type="text" value="36+67*s"/>         |
| <input type="text" value="-13+22*s+60*s^2"/> | <input type="text" value="46-1e+002*s^2"/>   | <input type="text" value="-42-26*s+36*s^2"/> |
| <input type="text" value="36-67*s"/>         | <input type="text" value="-42+26*s+36*s^2"/> | <input type="text" value="59-42*s^2"/>       |

### Spektrální faktorizace matice

|                    |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| $-56s^2 + 34$      | $60s^2 - 22s - 13$ | $67s + 36$         |
| $60s^2 + 22s - 13$ | $-100s^2 + 46$     | $38s^2 - 26s - 42$ |
| $-67s + 36$        | $38s^2 + 26s - 42$ | $-42s^2 + 59$      |

Výsledek je

|                      |                      |                      |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| $-0.41659s - 2.0563$ | $-0.38571s - 5.2052$ | $-0.35273s + 1.9782$ |
| $-4.0297s + 5.4539$  | $-0.64075s - 4.3368$ | $5.4599s + 7.3723$   |
| $-6.2919s - 0.16308$ | $9.972s + 0.31343$   | $-3.4735s + 0.85798$ |

### Determinant matice

Rozměr matice  x

Ponechat hodnoty předchozí matice  Neponechat hodnoty předchozí matice

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| <input type="text" value="3*s^2+s+5"/> | <input type="text" value="s-3"/>    |
| <input type="text" value="32*s^2"/>    | <input type="text" value="14*s+4"/> |

### Determinant matice

|         |      |          |
|---------|------|----------|
| $1$     | $s$  | $s^2$    |
| $s + 1$ | $s$  | $-s + 1$ |
| $0$     | $-1$ | $-s$     |

Výsledek je

|                |
|----------------|
| $-s^2 - s + 1$ |
|----------------|

V případě zájmu je možné si aplikaci otestovat a vyzkoušet na internetové adrese

<http://147.32.86.147/~risa/index.html>.

Zpřístupněné funkce Polynomiálního Toolboxu charakterizují jeho základní použití a metody.

V dnešní době má uživatel na výběr mezi velkým množstvím internetových prohlížečů, z nichž každý má svá specifika. Nejmarkantnější rozdíl je mezi prohlížeči Netscape, Mozilla, Opera a na druhé straně proti nim stojí produkt Internet Explorer společnosti Microsoft. Je tedy důležité, aby aplikace byla kompatibilní s co největším množstvím těchto prohlížečů. To se nakonec až na menší problémy podařilo.

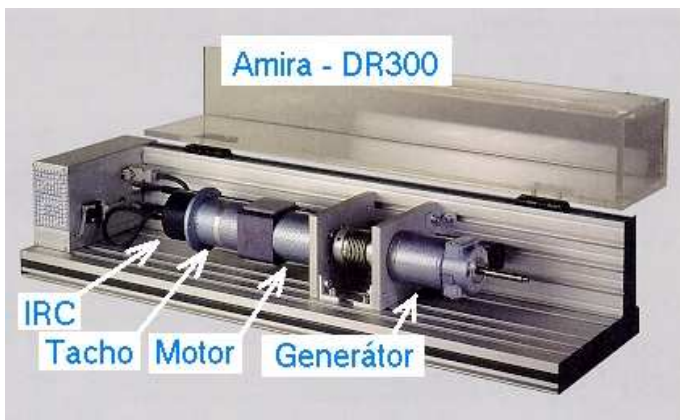
### 3 Aplikace moderních metod řízení

Na naší katedře se studenti vyšších ročníků setkávají s pokročilejšími metodami řízení jako je například kvadraticky optimální regulátor (LQ), prediktivní regulátor nebo optimální pozorovatel stavu (Kalmanův filtr). Bohužel vzhledem k časové náročnosti není čas, aby si každý student vyzkoušel na laboratorních modelech tyto pokročilejší metody řízení. Proto byly připraveny simulinkové soubory, které již komunikují s danými modely, aby se mohli studenti zabývat pouze vlastním návrhem zvoleného regulátoru a jeho testováním v reálném světě. Toto zde prezentujeme na laboratorním modelu servomechanismu AMIRA-DR300.

#### Řízení laboratorního modelu servomechanismu AMIRA-DR300

##### 3.1 Popis laboratorního modelu

Laboratorní model AMIRA-DR 300 se nachází v laboratoři teorie automatického řízení K26, Katedry řídicí techniky, Elektrotechnické fakulty, Českého vysokého učení technického v Praze. Jedná se o rychlostní servomechanismus, který tvoří dva identické motory s pevně spojenou hřídelí. První motor je používám jako generátor pro simulaci proměnného zatěžovacího momentu. Druhý motor je řízen signálem z regulátoru.



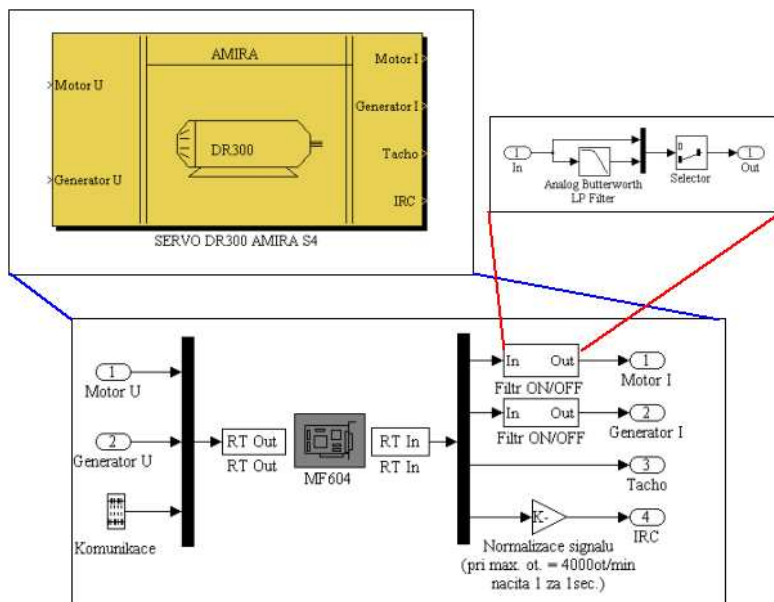
Obrázek 2: Servomechanismus AMIRA-DR300

Servomechanismus AMIRA-DR300 (viz obrázek 2) se skládá ze tří základních částí. První, univerzální vstupně-výstupní karta DAC98, která obsahuje analogové a digitální V/V a encoder pro IRC čidlo. Druhá, výkonová část obsahuje zdroje, senzory proudu, zesilovače pro převod signálů z V/V karty na výko-

nové veličiny pro motory a zesilovače pro převod signálů ze senzorů na unifikované signály pro vstupy V/V karty. Třetí, mechanická část je tvořena motory a senzory rychlosti a polohy. Systém je připojen přes V/V kartu AD512, pro kterou jsou k dispozici ovladače pro Real Time Toolbox pro Matlab.

Laboratorní model AMIRA je řízen pomocí Simulinku viz obrázek 3. Nejprve je nutno nastavit parametry servomechanismu jako je perioda vzorkování  $T_s$  a podobně. Dále je možno zapnout a zvolit řád (1 až 4) číslicově simulovaných analogových Butterworthových filtrů pro měření proudů motoru a generátoru. Frekvence filtrů je pevně nastavena na 50 rad/s.

laboratorní model AMIRA je řízen pomocí Simulinku viz obrázek 3. Nejprve je nutno nastavit parametry servomechanismu jako je perioda vzorkování  $T_s$  a podobně. Dále je možno zapnout a zvolit řád (1 až 4) číslicově simulovaných analogových Butterworthových filtrů pro měření proudů motoru a generátoru. Frekvence filtrů je pevně nastavena na 50 rad/s.



Obrázek 3: Servomechanismus AMIRA-DR300

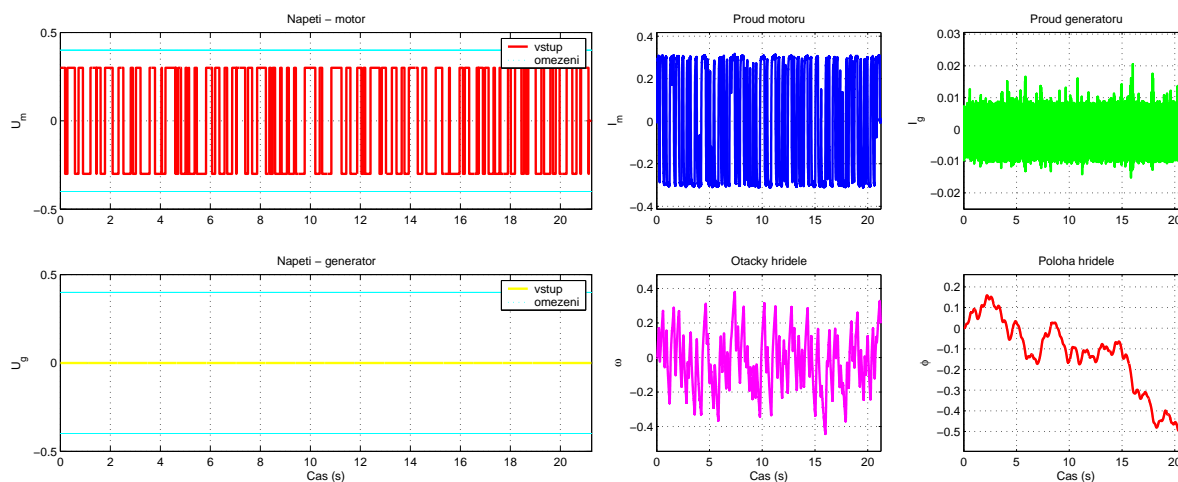
##### 3.2 Identifikace matematického modelu systému AMIRA

Za předpokladu, že je systém AMIRA lineární a časově neproměnný, získáme matematický model ve tvaru

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}u(t) \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}u(t), \end{aligned} \tag{1}$$

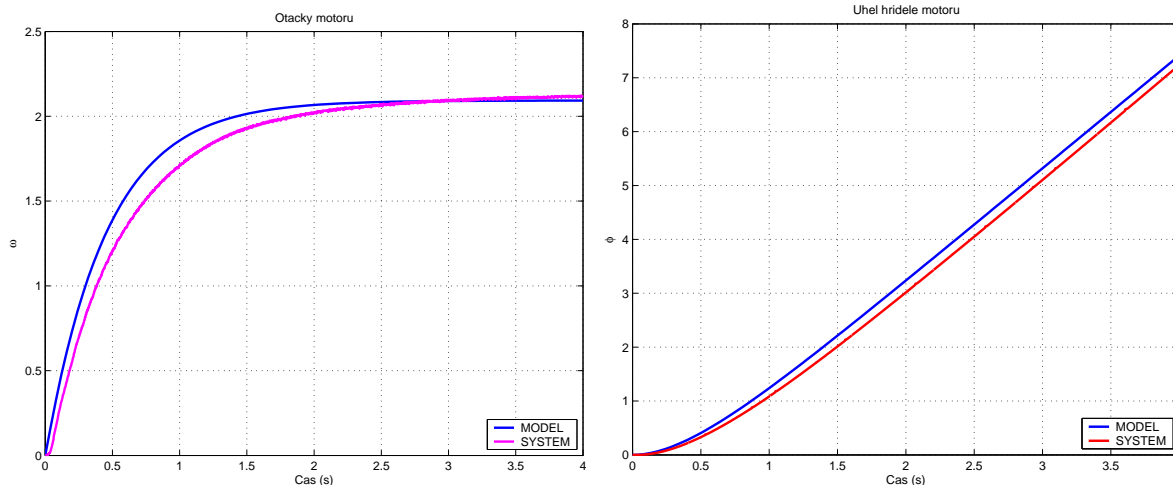
kde  $x$  je stavový vektor,  $u$  reprezentuje vstupní signál (napětí motoru),  $y$  je výstupní vektor (otáčky hřídele, poloha hřídele), a matice  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  jsou stavové matice.

Pro určení stavových matic, provedeme nejprve měření na systému AMIRA. Na vstup motoru přivedeme vhodný signál (napětí generátoru nastavíme na nulu) a pozorujeme výstupy viz obrázek 4. Z těchto naměřených signálů provedeme metodou nejmenších čtverců (ŠTECHA, J. 2000) určení stavových matic  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ .



Obrázek 4: Vstupy a výstupy pozorované na systému AMIRA při identifikaci

Ověření správnosti matematického modelu provedeme porovnáním přechodových charakteristik skutečného systému AMIRA-DR300 a tohoto matematického modelu viz obrázek 5. Jak je vidět z těchto průběhů, identifikace byla provedena správně.

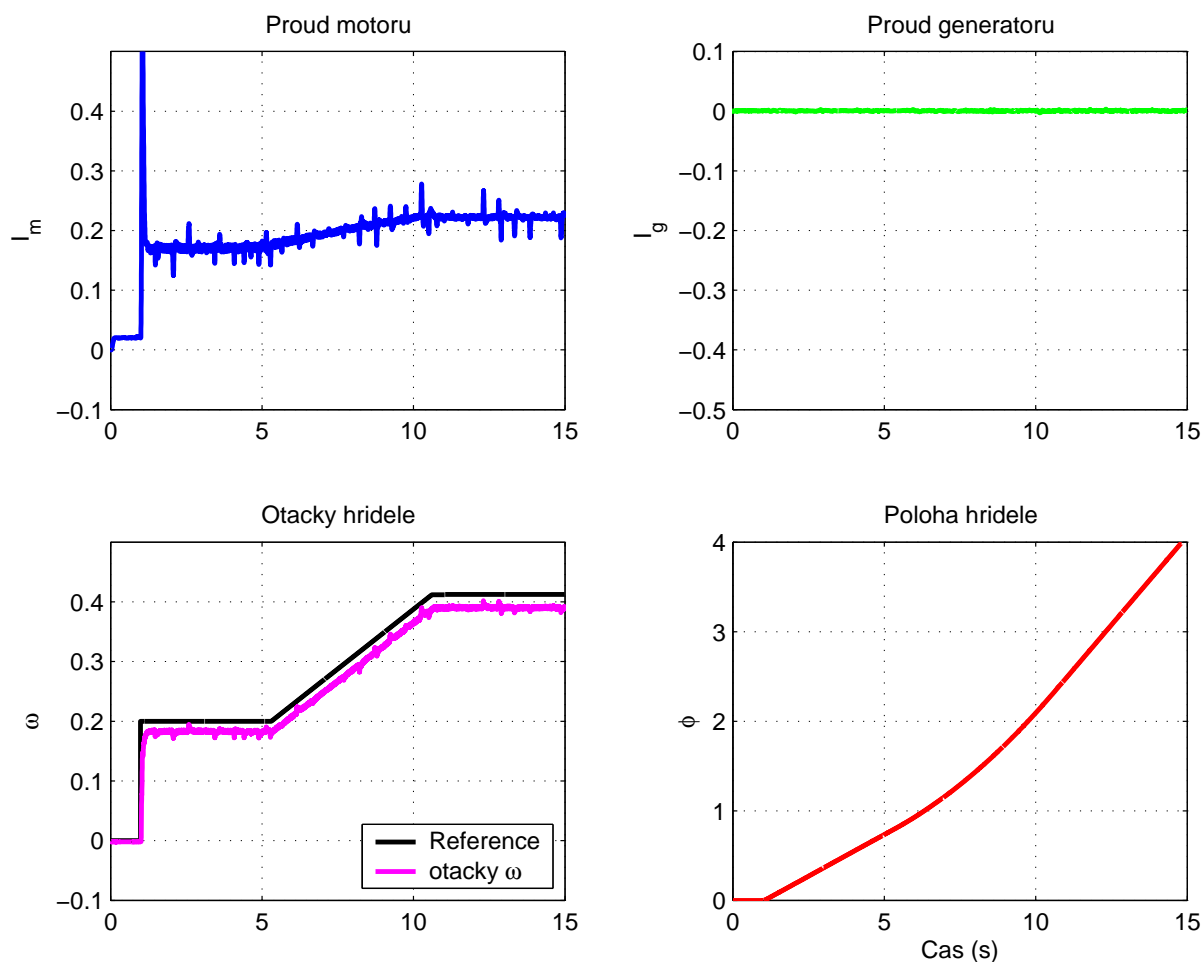


Obrázek 5: Porovnání přechodových charakteristik systému a jeho modelu

### 3.3 Návrh LQG regulátoru pro systém AMIRA

Pro návrh LQG regulátoru využijeme matematický model systému AMIRA (1). Protože LQ regulátor je stavový regulátor, navrhne nejprve Kalmanův filtr (HAVLENA, V. 2002) pro odhadování stavových veličin (zvolíme kovarianční matice šumu procesu  $\Gamma_v$  a šumu měření  $\Gamma_e$ ). Poté navrhne pro zvolené kvadratické kritérium LQ regulátor (HAVLENA, V. 2001). Výsledný LQG regulátor (LQ regulátor s Kalmanovým filtrem) aplikujeme na systém AMIRA.

Výsledky simulací v uzavřené smyčce jsou na obrázku 6. Pro simulaci byl zvolen referenční signál pro otáčky tak, abychom zajistili pracovní bod v lineárním pásmu.



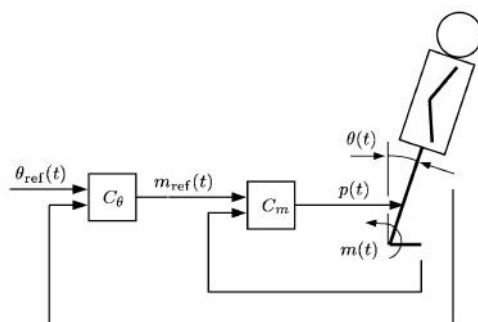
Obrázek 6: Výstupy pozorované na systému při regulaci

#### 4 Zahraníční spolupráce

Spousta nových a zajímavých možností se naskytá ve spolupráci se zahraničními universitami. Jednou z takových je spolupráce s University of Glasgow, kde spolupracujeme s oddělením CRE - Centre for Rehabilitation Engineering (HUNT, K. J. (<http://fesnet.eng.gla.ac.uk/CRE/>)), jehož členové vyvíjejí nové algoritmy a prostředky pro řízení a ovládání svalů pro osoby s poškozením nervových vláken a páteře. Spojení řídicí techniky a lékařské vědy je velice zajímavé a atraktivní. To je velmi důležité z několika hledisek např. upoutání zájmu studentů, při předkládání projektů. Jako ukázkou spoluúčasti na této problematice můžeme uvést návrh regulátoru pro stimulaci lýtkového svalu:

##### Návrh regulátoru pro stimulaci lýtkového svalu

Pomocí stimulace lýtkového svalu můžeme dosáhnout toho, že postižený jedinec - paraplegik, bude schopen samostatného stání - udržení ve vzpřímené pozici. Pro řízení si můžeme tento problém představit jako případ řízení jednoduchého inverzního kyvadla. viz obrázek 7.



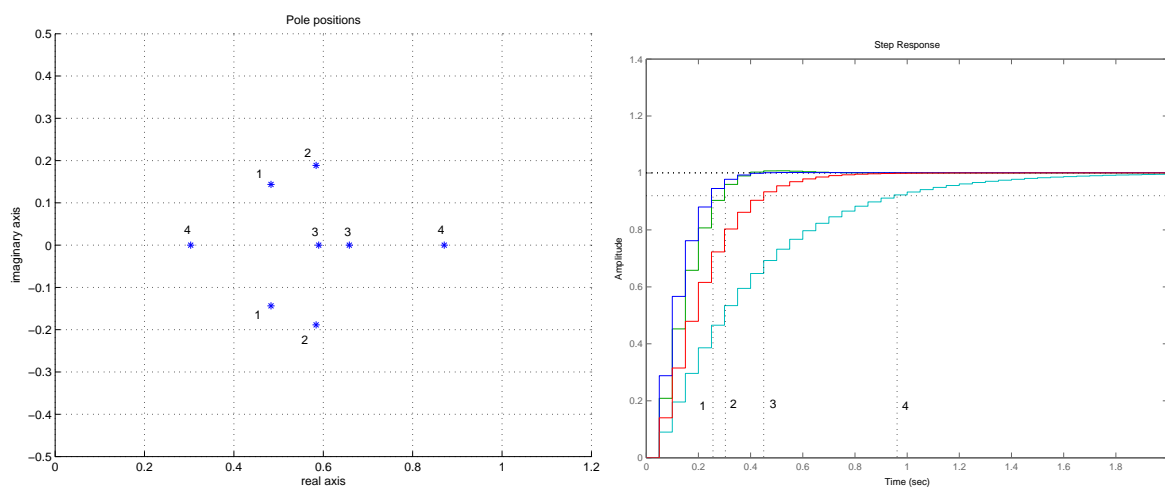
Obrázek 7: Regulační smyčka



Pracovníci oddělení CRE jsou v kontaktu s postiženými pacienty a proto mohli provést identifikaci lýtkového svalu pomocí ARX modelu čímž získali modely, které jsou uvedené v následující tabulce. Na obrázku 8 je zobrazeno umístění pólů a přechodové charakteristiky jednotlivých modelů. Bližší informace jsou uvedeny v článku (HUNT K. J. 2001).

Tabulka 1: Parametry identifikovaných soustav

| Model | Přenos   | Šířka pásma (rad/s) | DC-zesílení (Nm/ $\mu$ s) |
|-------|--|---------------------|---------------------------|
| 1     | $\frac{0,02708q^{-1}}{1 - 0.9662q^{-1} + 0.254q^{-2}}$ | 11.5                | 0.094                     |
| 2     | $\frac{0,03311q^{-1}}{1 - 1.168q^{-1} + 0.3766q^{-2}}$ | 9.9                 | 0.1587                    |
| 3     | $\frac{0,02671q^{-1}}{1 - 1.248q^{-1} + 0.3882q^{-2}}$ | 6.1                 | 0.1905                    |
| 4     | $\frac{0,01885q^{-1}}{1 - 1.174q^{-1} + 0.2641q^{-2}}$ | 2.8                 | 0.2092                    |



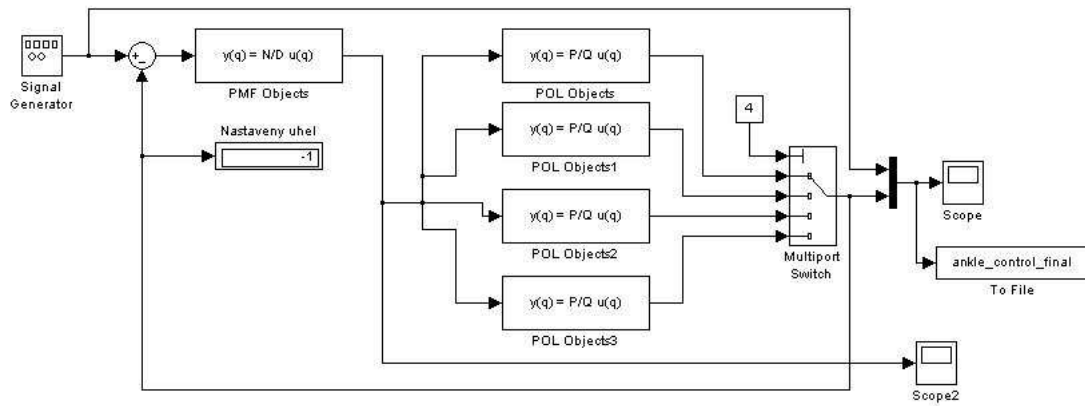
Obrázek 8: Charakteristiky lokálních modelů.

Pomocí funkcí Polynomiálního Toolboxu (HENRION, D. 2002) a algoritmů v balíku SeDuMi (STURM, J. F. (<http://fewcal.kub.nl/sturm/software/sedumi.html>)) můžeme jednoduše navrhnout robustní regulátor, který bude schopen pracovat se všemi identifikovanými modely. Získaný regulátor má přenos

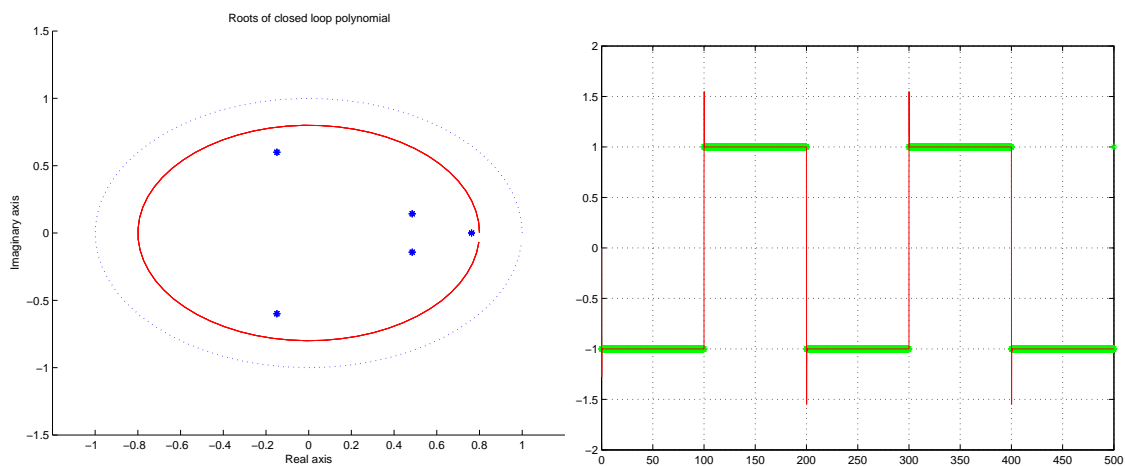
$$C = \frac{0.02192z^4 - 0.005713z^3 - 0.007204z^2 - 0.008468z - 0.0005313}{z^4 - 0.4699z^3 + 0.1536z^2 - 0.2932z}$$

Pro názornost uvedeme ještě následuje simulinkové schéma regulačního obvodu a výsledky simulací.





Obrázek 9: Simulinkové schema regulační smyčky.



Obrázek 10: Kořeny charakteristického polynomu uzavřené smyčky a výsledky simulací řízení - tučná čára je reference.

Největším posunem v této oblasti v současné době je navázání spolupráce také na domácí půdě a to s Fakultní nemocnicí v Olomouci, konkrétně Mgr. Petrou Bastlovou (Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství Fakultní nemocnice a Lékařské fakulty UP Olomouc), která se této problematice věnuje jako lékařka. Naším úkolem v této spolupráci bude poskytnout technickou podporu a vyvíjet nové algoritmy pro jednotlivé problémy. Tato spolupráce je v počátcích a nabízí spousty nových příležitostí.

## Reference

- HAVLENA, V. (2001). *Moderní teorie řízení - Doplnkové skriptum*. Praha: Vydavatelství ČVUT.
- HAVLENA, V. (2002). *Odhadování a filtrace (Doplnkové skriptum)*. Praha: Vydavatelství ČVUT.
- HENRION, D., ŠEBEK, M. (2002). *New robust control functions for the Polynomial Toolbox 3.0*
- HUNT, K. J. (<http://fesnet.eng.gla.ac.uk/CRE/>). *Centre for Rehabilitation Engineering* [online]. Poslední revize 2003-05-11 [cit. 2004-07-28].
- HUNT K. J., JAIME R. P., GOLLE H. (2001) *Robust control of electrically-stimulated muscle using polynomial  $H_\infty$  design*. *Control Engineering Practice* 9, p.313-328.
- NOVÁK, R. (2004). *Matlab Web Server aplikace pro Polynomiální Toolbox*. Praha: Diplomová práce.
- POLYX LTD. (<http://www.polyx.com>). *PolyX, Ltd.: Polynomial Toolbox 3.0, (prelease)* [online]. Poslední revize 2000-06-15 [cit. 2004-07-28].
- STURM, J. F. (<http://fewcal.kub.nl/sturm/software/sedumi.html>). *SeDuMi* [online]. Poslední revize 2003-04-06 [cit. 2004-07-28].
- ŠTECHA, J. (2000). *Optimální rozhodování a řízení*. Praha: Vydavatelství ČVUT.