

Nová úloha na laboratorním modelu regulátoru CE120 s využitím prostředí MATLAB

Michaela Bubeníková

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

PODKLAD PRO ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PŘEDKLÁDÁ:	ADRESA:	OSOBNÍ ČÍSLO:
BUBENÍKOVÁ Michaela	Polní 943 ; Zlín	T023816

PRACOVNÍ NÁZEV TÉMATU:

Nová úloha na laboratorním modelu regulátoru CE120 s využitím prostředí MATLAB

VEDOUCÍ PRÁCE:

Ing. Karel Perůtka

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proved'te literární rešerži popisující Matlab a Real-Time Toolbox
2. Realizujte připojení laboratorního modelu k počítači a uveďte popis tohoto zapojení.
3. Ověřte regulaci vybraným regulátorem laboratorního modelu. Soustavu simulujte v počítači.
4. Vytvořte návod k laboratorní úloze.

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

1. Perůtka, K. (2000): Decentralizované spojitě adaptivní řízení. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta technologická se sídlem ve Zlíně.
2. CE120 Controller. User's Manual. Tequipment Limited, Nottingham, England, 1997.
3. Real-Time Toolbox for MATLAB. User's Manual. Humusoft, s.r.o., Praha, 1999.
4. MATLAB: Function Reference, Version 7, MathWorks Inc., Natick, USA, 2004.

**PODPIS
VEDOUCÍHO
PRÁCE:**

DATUM:

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Karlovi Perůtkovi, za jeho odbornou pomoc a cenné rady, které mi poskytoval v průběhu řešení mé bakalářské práce.

Také bych ráda poděkovala panu Svatoplukovi Hřebačkovi za jeho pomoc a psychickou podporu.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně, 24. 05. 2005

.....

Michaela Bubeníková

Abstrakt

Hlavním úkolem této bakalářské práce je vytvoření nové laboratorní úlohy na modelu regulátoru CE120. Tato analogově digitální řídicí jednotka je připojena k počítači pomocí univerzální svorkovnice PCLD – 8710 a technologické karty PCI – 1711. Pro soustavu druhého a třetího řádu a soustavu s dopravním zpožděním je navržen PI a PID regulátor a regulace je ověřena v reálném čase v programu MATLAB - SIMULINK.

Summary

The objective of this Bachelor thesis is to prepare a laboratory for CE120 controller. This analogue/digital controller unit is connected to the computer by the universal screw terminal board PCLD - 8710 and the lab card PCI- 1711. There is proposed a PI and PID controller for a system of second and third order and for a system with time delay and the regulation is verified in real time by the use of the program MATLAB – SIMULINK.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	7
1.1 CE120 - ANALOGOVĚ DIGITÁLNÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA.....	7
1.1.1 Úvod	7
1.1.2 Popis	8
1.1.3 Schéma zapojení PI a PID regulátoru	12
1.1.4 Řídící software CE2000 L	13
1.2 POPIS PROGRAMU MATLAB	13
1.2.1 Grafický subsystém	13
1.2.2 Toolbox	13
1.3 POPIS SYSTÉMU SIMULINK	14
1.4 REAL TIME TOOLBOX PRO MATLAB	14
1.4.1 Vlastnosti.....	14
1.4.2 Časovače (procesy).....	15
1.4.3 Historické proměnné.....	16
1.4.4 Ovladače hardware	16
1.4.5 Knihovna bloků v Simulinku.....	16
1.5 POPIS KARTY ADVANTECH PCI – 1711.....	17
1.5.1 Karta ADVANTECH PCI – 1711 obsahuje:.....	18
1.5.2 Ovladač karty PCI – 1711	18
1.6 UNIVERZÁLNÍ SVORKOVNICE PCLD – 8710.....	19
1.6.1 Charakteristika.....	19
2 PRAKTICKÁ A EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	21
2.1 PŘIPOJENÍ REGULÁTORU CE 120.....	21
2.2 OVĚŘENÍ REGULACE VYBRANÝM REGULÁTOREM LABORATORNÍHO MODELU	21
2.2.1 Řízení soustavy druhého řádu	21
2.2.2 Řízení soustavy prvního řádu s dopravním zpožděním	23
2.2.3 Řízení soustavy třetího řádu	25
2.2.4 Zhodnocení výsledků regulace	26
3 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY	28
3.1 ZAPOJENÍ ÚLOHY	28
3.2 ZADÁNÍ.....	29
3.3 ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ PROTOKOLU	34
ZÁVĚR.....	35
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	36
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	38
SEZNAM TABULEK	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	40

ÚVOD

Náplní této bakalářské práce je vytvoření laboratorní úlohy k předmětům souvisejících s problematikou automatického řízení, jejichž součástí jsou také praktická cvičení v laboratořích reálných modelů. Zde mohou studenti aplikovat své znalosti mnoha teoretických i empirických metod návrhů parametrů regulátoru.

Většina úloh je koncipována jako řízení laboratorních modelů pomocí počítače. Zde je však princip opačný. V případě této laboratorní úlohy je jako reálný objekt použit model analogově digitální řídicí jednotky CE120, vyroben firmou TechQuipment, Ltd., Nottingham, Anglie. Ověření regulace tímto modelem regulátoru je provedeno v reálném čase pomocí programového prostředí Matlab-Simulink.

Nejprve je třeba provést připojení modelu regulátoru k počítači. To je realizováno přes technologickou kartu Advantech PCI - 1711 a univerzální svorkovnici PCLD – 8710. Technologická karta poskytuje pouze kladné hodnoty analogového výstupního signálu, a proto je nutno provést napěťovou úpravu tohoto signálu, který představuje regulační odchylku.

Regulaci je nutno ověřit na vybraných typech soustav různých řádů. Pro danou soustavu je třeba vybrat metodu syntézy, která vyhovuje požadavkům na kvalitu regulace, jakými jsou např. doba regulace, maximální přeregulování a regulační odchylka. Těmto požadavkům vyhovuje například nastavení regulátoru metodou požadovaného modelu, dříve značené jako inverze dynamiky, která umožňuje snadné a rychlé seřízení konvenčních typů spojitých analogových regulátorů [3].

Na základě vytvořeného zadání laboratorní úlohy se mohou studenti obeznámit s praktickým řízením pomocí spojitých analogových regulátorů.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 CE120 - analogově digitální řídicí jednotka

1.1.1 Úvod

Jednotka CE120 (Obr. 1) byla vyvinuta firmou TechQuipment Ltd. k praktické výuce základních i složitějších principů teorie regulace. Původně je zamýšlena jako analogově řídicí jednotka pro použití s řadou laboratorních přístrojů CE103-CE110 firmy TQ, ale lze ji použít i samostatně s jakýmkoli kompatibilním laboratorním vybavením [6].

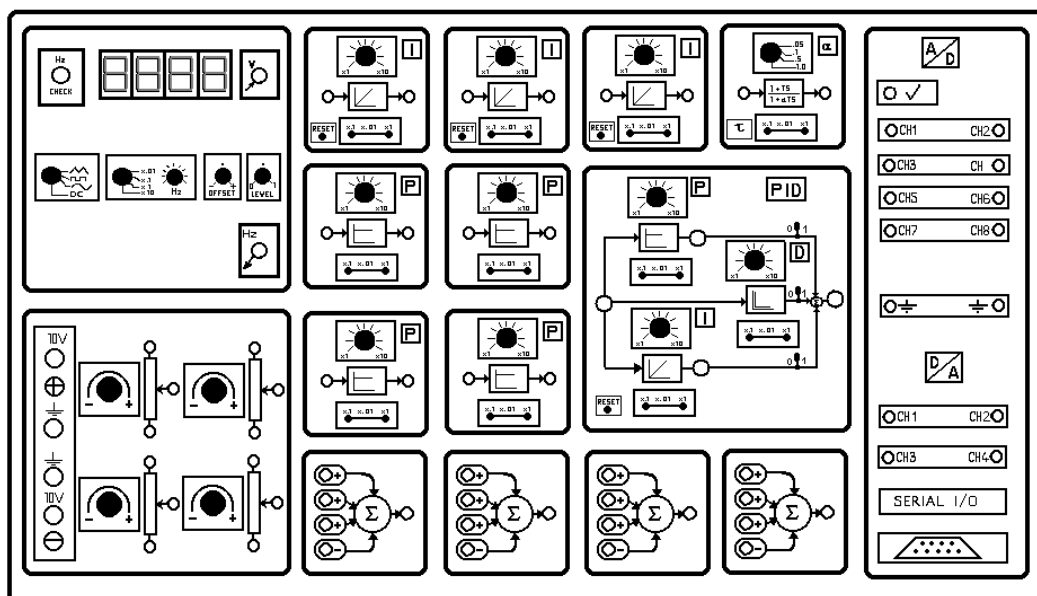
Vlastnosti [7]:

- jednoduchá obsluha logického a funkčního ovládacího panelu
- vestavěný číslicový DVM (digitální voltmetr), generátor nízkofrekvenčního signálu
- vstupy a výstupy chráněny proti zkratu a přetížení, přístupné z 2mm zdírek.
- jednofázové napájení 85-250 V, 50/60 Hz, se zemí
- dodáván s programem CE2000 L
- formát souborů kompatibilní s programem MATLAB®



Obr. 1. CE120

1.1.2 Popis

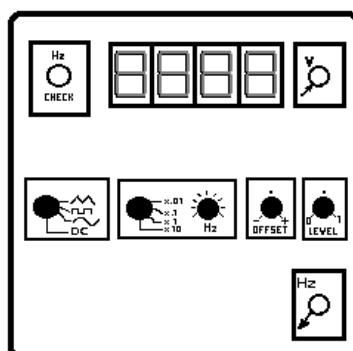


Obr. 2. Ovládací panel jednotky CE120

Ovládací panel jednotky CE120 (Obr 2.) je funkčně rozdělen na 3 části.

Měření a generátor funkcí

Tato část obsahuje pouze jeden blok, (Obr. 3) skládající se z digitálního voltmetru a generátoru funkcí



Obr. 3. Digitální voltmetr s generátorem funkcí

Generátor funkcí poskytuje výstupní signál nastavitelný ve frekvenčním rozsahu 0,01 až 100 Hz. Je přístupný z 2mm zdířky vpravo dole. Pomocí přepínače funkcí lze nastavit různý tvar signálu- sinusový, obdélníkový, pilový nebo DC.

Ovladačem *Offset* se nastavuje offset v rozsahu 0 - ± 10 V.

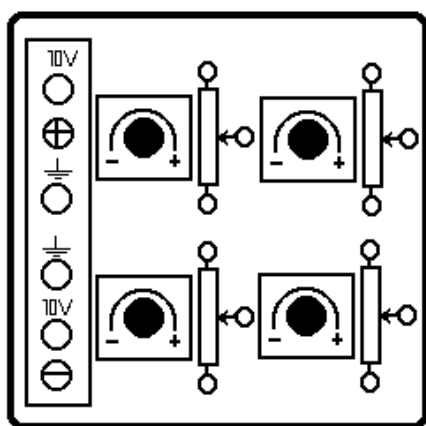
Ovladač *Level* slouží k nastavení amplitudy signálu v rozsahu od 0 do ± 10 V.

Pro lepší kontrolu nastavení můžeme připojit výstup ze zdířky výstupního signálu na *digitální voltmetr*, který je umístěn v horní části. Skládá se ze 7segmentového displeje s měřícím rozsahem ± 15 V. Vstup je realizován 2mm zdírkou vpravo od displeje. Nalevo je tlačítko sloužící k dočasnému zobrazení generované frekvence. Voltmetr je připojen interně.

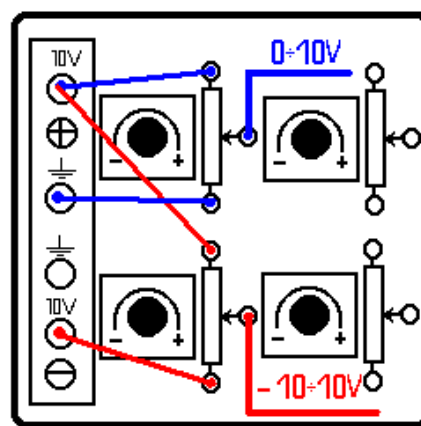
Analogová část

Tato část obsahuje zdroje signálu s potenciometry (Obr 4.), sumační, integrační a proporcionální zesilovače, PID regulátor a blok pro nastavení přenosové funkce.

Zdroj DC signálu s potenciometry: skládá se ze 2 konstantních zdrojů napětí, +10 V se zemí a -10 V se zemí, čímž lze spolu se čtyřmi potenciometry nastavit signál v rozsahu 0 až 10 V, -10 až 0 V a -10 až 10 V.



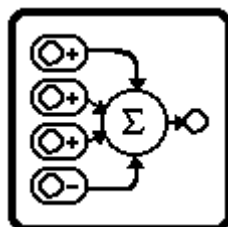
Obr. 4. Zdroj DC signálu s potenciometry



Obr. 5. Příklad zapojení

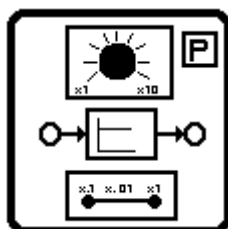
Odpor každého potenciometru je přibližně $10\text{ k}\Omega$, rozdíl 500 mV [6].

Sumační zesilovače (Obr. 6): Jsou zde 4 sumační zesilovače. Každý z nich má 1 invertující a 3 neinvertující vstupy a jednotkové zesílení. 0 V je zajištěno s přesností $\pm 50\text{ mV}$.



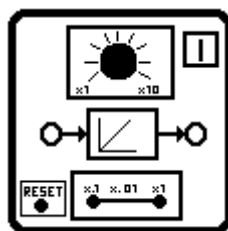
Obr. 6. Sumační zesilovač

Proporcionální zesilovače (Obr. 7): Jsou také 4 a jejich funkcí je zajistit signál, který je proporcionální ke vstupnímu signálu. Konstantou proporcionality je aktuální zesílení zesilovače. Hodnotu proporcionálního zesílení r_0 lze nastavit přepínačem rozsahu a spojitě proměnným potenciometrem v rozsahu $0,01$ až 10 .



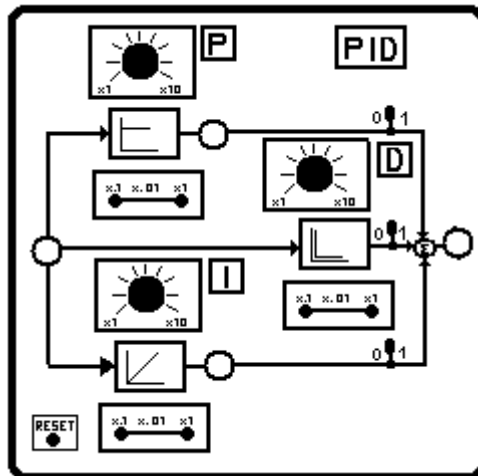
Obr. 7.
Proporcionální zesilovač

Integrační zesilovače (Obr. 8): Tyto 3 zesilovače zajišťují integrovaný signál. Hodnotu integrační konstanty r_{-1} lze nastavit pomocí přepínače a spojitě proměnného potenciometru v rozsahu $0,01$ až 10 . Tlačítkem *Reset* můžeme odstranit zbytkové napětí.



Obr. 8.
Integrovač
zesilovač

PID regulátor (Obr. 9): Tato část obsahuje proporcionální, integrační a derivační zesilovač. Pomocí přepínače rozsahu a spojitě proměnného potenciometru můžeme nastavovat hodnotu proporcionálního zesílení r_0 , integrační konstantu r_{-1} a derivační konstantu r_1 v rozsahu 0,1 až 10. Nachází se zde zdířky pro individuální přístup ke každé složce a také přepínače, pomocí kterých lze příslušnou složku vyřadit. Tlačítko *reset* má stejnou funkci jako u integrovačního zesilovače.



Obr. 9. *PID regulátor*

Zesilovač s přenosovou funkcí: Můžeme pomocí něj realizovat přenosovou funkci ve tvaru

$$\frac{1 + \tau s}{1 + \alpha \tau s}$$

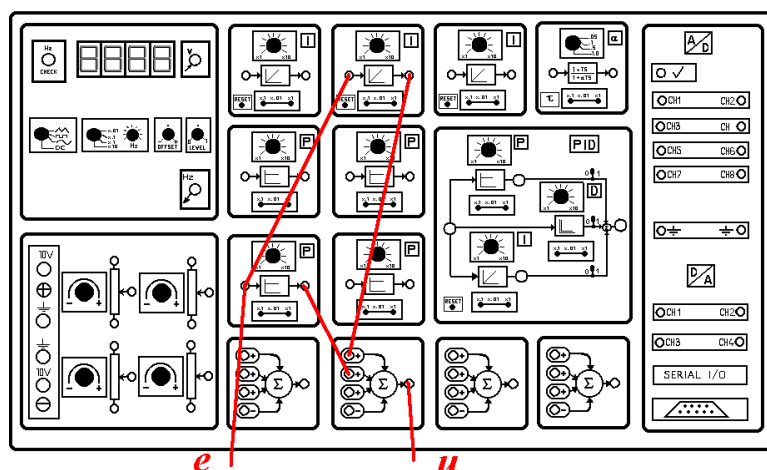
Hodnotu α a τ lze nastavit příslušnými přepínači. Tento blok se využívá u

systemů, které jeví sklony k nestabilitě.

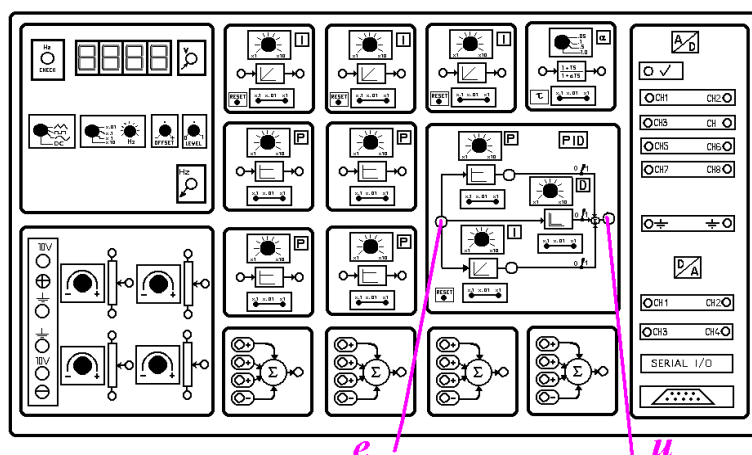
Digitální část

Tato část umožňuje propojení jednotky CE120 s počítačem pro softwarové řízení regulace pomocí sériové komunikace. Ta je umožněna přes 9cestný D soket umístěný dole. Tato část obsahuje také 8kanálový A/D převodník, 12bitový s kanály v rozsahu ± 10 V, 4kanálový D/A převodník, 12bitový s kanály v rozsahu ± 10 V, 2 zemnicí zdířky a diodu. K sériové komunikaci můžeme použít také 25pinový adaptér s 9 piny [7].

1.1.3 Schéma zapojení PI a PID regulátoru



Obr. 10. Příklad zapojení PI regulátoru



Obr. 11. Schéma zapojení PID regulátoru

1.1.4 Řídící software CE2000 L

CE2000L je program dodávaný firmou TecQuipment Ltd. k libovolnému přístroji řady CE. Lze v něm vytvářet bloková schémata zapojení pro řízení laboratorních modelů, podobně jako v programu Matlab. S přístroji komunikuje pomocí sériové linky. Jeho minimální systémové požadavky jsou IBM PC AT kompatibilní s 386 procesorem a matematickým koprocesorem, 4MB RAM, 5MB HDD, OS Windows 3.1 [7].

1.2 Popis programu Matlab [5]

Program Matlab vytváří integrované prostředí, které slouží k různým vědeckotechnickým výpočtům, simulacím, návrhům algoritmů a měření a zpracování signálů. Uživatelům poskytuje grafické a výpočetní nástroje, rozsáhlé knihovny funkcí a výkonný programovací jazyk, jehož významnou vlastností je otevřená architektura. To znamená, že v něm mohou uživatelé vytvářet své vlastní funkce pro různé aplikace. Další silnou stránkou tohoto programu je mimořádně rychlé výpočetní jádro.

1.2.1 Grafický subsystém

Grafika v Matlabu nám umožňuje snadné zobrazení a prezentaci získaných výsledků. Můžeme vykreslovat různé druhy grafů: dvourozměrné, třírozměrné, histogramy, koláčové a další. U všech grafických objektů lze téměř libovolně měnit jejich vzhled a do obrázků můžeme vkládat ovládací prvky a vytvořit tak aktivní graficky ovládané uživatelské rozhraní.

1.2.2 Toolboxy

Otevřená architektura Matlabu vedla ke vzniku knihoven funkcí, nazývaných toolboxy, které rozšiřují použití programu v různých vědeckých a technických oborech.

1.3 Popis systému Simulink

Simulink je program, sloužící pro simulaci a modelování dynamických systémů, který využívá algoritmy Matlabu pro numerické řešení diferenciálních rovnic. Uživatelé mohou rychle a snadno vytvářet modely dynamických soustav ve formě blokových schémat a rovnic. Pomocí Simulinku a jeho rozsáhlé knihovny lze vytvářet modely lineárních, nelineárních, v čase diskrétních nebo spojitých systémů pouhým přesouváním funkčních bloků myší. Otevřená architektura opět dovoluje vytvářet si vlastní funkční bloky. Hierarchická struktura modelů umožňuje koncipovat i velmi složité systémy do přehledné soustavy subsystémů prakticky bez omezení počtu bloků. Knihovna bloků obsažená v Extended Real Time Toolboxu rozšiřuje Simulink o možnost simulace v reálném čase.

1.4 Real Time Toolbox pro Matlab [4]

Real Time Toolbox umožňuje propojení Matlabu s reálnými modely, jejich řízení v reálném čase a také okamžitý přístup k vnějším analogovým a digitálním signálům. K ovládání je možno používat buď příkazový řádek, grafické uživatelské rozhraní, nebo výkonnou knihovnu systému Simulink. Lze experimentovat na vnějších signálech přímo z Matlabu, bez nutnosti přenášet data ze specializovaných programů pro sběr dat, bez nutnosti kompilace nebo jiných složitých a dlouho trvajících činností. To je ideální pro zpracování signálu, návrhy řídicích systémů a podobné úlohy.

1.4.1 Vlastnosti

Real Time Toolbox umožňuje v Matlabu a Simulinku práci s vnějšími signály v reálném čase. Umožňuje provádět sběr dat se zvolenou periodou vzorkování a jejich další zpracování. Je založen na jádře reálného času a ovladačích přídatných karet pro vstup a výstup signálů. Vlastnosti:

- ☐ pracuje jak pod Microsoft Windows 3.1/3.11, tak ve všech novějších verzích.
- ☐ vzorkovací frekvence až do 66 kHz, bez nutnosti používat externí zdroje hodinového signálu
- ☐ 32 nezávislých časovačů, 256 vstupních a 256 výstupních kanálů
- ☐ knihovna bloků pro systém Simulink umožňuje používat většinu funkcí přímo z blokového schématu
- ☐ úrovně spouštěné ukládání dat umožňuje zachytit jednorázové děje
- ☐ zpracování dat on-line pomocí diskrétních polynomiálních filtrů
- ☐ on-line řízení rychlých systémů vestavěnými lineárními regulátory
- ☐ DMA pro měření velmi rychlých signálů
- ☐ podpora generování periodických signálů na analogových výstupních kanálech
- ☐ automatické vytváření skriptových M-souborů z graficky zadaných povelů
- ☐ možnost přístupu k více přídatným zařízením zároveň
- ☐ možnost změny parametrů ovladačů hardware za běhu a možnost změnit jejich implicitní nastavení
- ☐ asynchronní přístup přímo na vstupní a výstupní porty

1.4.2 Časovače (procesy)

Pro zpracování signálu a návrhu řídicích systémů je nezbytné, aby byl všechen sběr dat synchronní s časem. Proto jsou všechny vstupně-výstupní operace řízeny časovači,

nejdůležitějšími objekty Real Time Toolboxu. Časované procesy mohou provádět buď prostý vstup a výstup nebo mohou data před uložením do Matlabu předzpracovávat. Jeden časovač může ovládat libovolné množství vstupních nebo výstupních kanálů najednou. Vstupní a výstupní časovače mohou být propojeny a vytvářet regulační smyčky, které běží s vysokou vzorkovací frekvencí bez zásahu interpretu Matlabu. Data z časovače jsou čtena vzorek po vzorku z jeho stínové proměnné, která obsahuje hodnotu, která byla na příslušném portu v okamžiku posledního vzorku.

1.4.3 Historické proměnné

Historické proměnné jsou objekty používané k úschově dat v reálném čase. Používají se v případech, kdy Matlab nestihá číst data vzorek po vzorku. Obsah historické proměnné lze buď zobrazit nebo zkopírovat do obyčejné proměnné a libovolně zpracovávat. Je možné zastavit ukládání dat poté, co signál opustí definovaný rozsah hodnot. Předstih a zpoždění ukládání je také implementováno.

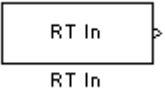
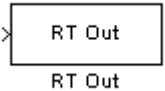
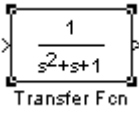
1.4.4 Ovladače hardware

Ovladače hardware jsou moduly, které mohou podporovat téměř jakékoli zařízení. Umožňují, aby bylo jádro reálného času nezávislé na používaných perifériích. Podporují množství A/D a D/A převodníků. K nejobtížnějším úkolům při používání periférií pro sběr dat patří správné nastavení všech parametrů. Real Time Toolbox to velmi usnadňuje, je nutno pouze správně vyplnit okno popisující parametry ovladače. Toto nastavení je také možné měnit v průběhu sběru dat.

1.4.5 Knihovna bloků v Simulinku

Knihovna bloků v Simulinku začleňuje většinu funkcí Real Time Toolboxu do tohoto simulačního prostředí. Lze snadno vytvářet simulační schémata s přímým přístupem na zařízení pro sběr dat. Použitá sada bloků v Simulinku je v (Tab. 1).

Tab. 1. Použitá sada bloků v Simulinku

BLOK	FUNKCE
	blok RT Toolboxu pro získávání dat v reálném čase
	blok RT Toolboxu pro vysílání dat z počítače v reálném čase
	blok RT Toolboxu, který určuje a nastavuje ovladač převodníku pro měření dat
	blok pro skokovou změnu žádané veličiny
	blok pro více skokových či lineárních změn žádané veličiny
	blok pro zobrazování průběhu regulace
	blok pro zadávání přenosové funkce

1.5 Popis karty ADVANTECH PCI – 1711

Vysoce výkonná, rychlá, vícefunkční karta pro získávání a zpracování externích dat na počítači, jejíž diskrétní výstupy slouží jako přepínače měřicích míst a analogové vstupy slouží pro orientační měření například teploty, tlaku, vlhkosti apod [1].



Obr. 12. Karta ADVANTECH PCI – 1711

1.5.1 Karta ADVANTECH PCI – 1711 obsahuje [1]:

- ❑ 16 analogových samostatně zakončených vstupních kanálů
- ❑ Dva 12bitové analogové výstupní kanály s rozsahy 0 - 5 V nebo 0 - 10 V
- ❑ 16 číslicových vstupů, 16 číslicových výstupních kanálů
- ❑ 12bitový A/D převodník s maximální vzorkovací frekvencí až do režimu 100 kHz
- ❑ Programovatelný analogový vstup pro každý vstupní kanál
- ❑ Programovatelný čítač/časovač INTEL 82C54

Na zadní straně počítače je umístěn konektor, na nějž se připojuje propojovací deska se svorkovnicí pro připojení vodičů od modelu regulátoru.

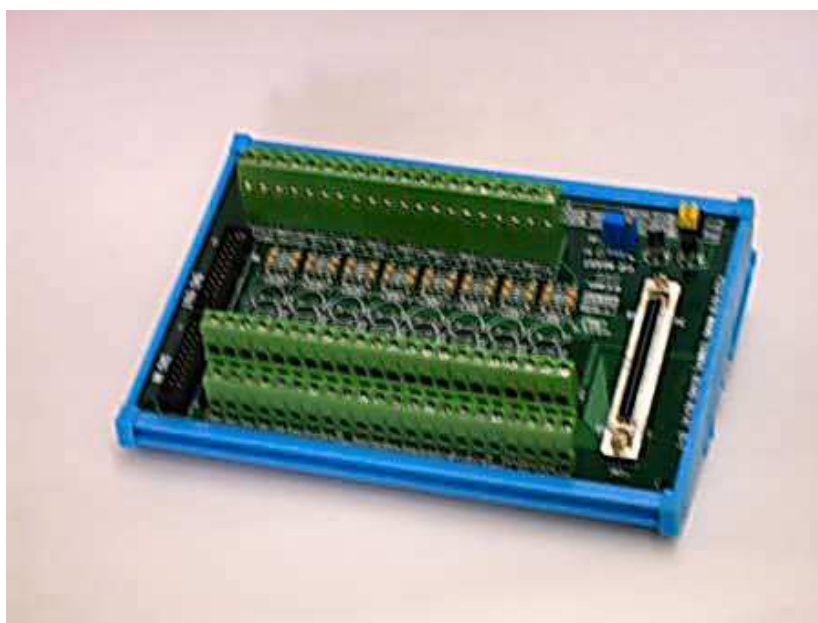
1.5.2 Ovladač karty PCI – 1711

Kartu můžeme ovládat buď přímo, zápisem a čtením registrů nebo prostřednictvím zvláštních ovladačů.

Ovladač je rezidentní program, který musíme zavést do paměti dříve, než spustíme svůj program na ovládání karty. Použijeme-li ovladač, pracujeme s kartou prostřednictvím zvláštní knihovny funkce, jejíž přesná podoba závisí na použitém programovacím jazyku (C,Pascal,Basic...) [1].

1.6 Univerzální svorkovnice PCLD – 8710

Na (Obr. 13) je znázorněna univerzální svorkovnicová deska poskytující spojení a spolehlivé signálové zapojení pro DAS cards s 20pinovým konektorem.



Obr. 13. Svorkovnice PCLD-8710

1.6.1 Charakteristika [2]

- ❑ Vyhrazený prostor pro podmíněné obvody jako dolnoproustní filtr napětí a proudu-napětíového převodu.
- ❑ Šroubová svorka svorkovnice umožňuje snadné a spolehlivé spojení.

- ❑ Rozměry : 169 mm x 112mm x 51mm
- ❑ 20pinový plochý konektor

2 PRAKTICKÁ A EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Připojení regulátoru CE 120

Regulátor je k počítači připojen podle schématu na (Obr. 19). Z regulátoru na svorkovnici vede analogový signál v intervalu $(-10 \div +10 \text{ V})$, který je dále převeden v převodníku technologické karty na digitální vstup v rozsahu $(-1 \div +1)$. Digitální výstup z počítače je ve stejném rozsahu a převádí se na unifikovaný signál $(0 \div 10 \text{ V})$, který představuje analogový výstup z počítače. Protože výstup z počítače představuje regulační odchylku, je nutno tento analogový signál upravit tak, aby byl v rozmezí $(-10 \div +10\text{V})$, tedy aby nabýval i záporných hodnot. Tato úprava se provede tak, že se na zdroji DC signálu pomocí potenciometrů regulátoru nastaví 5V a tato hodnota se v sumačním zesilovači odečte od původního signálu. Tím získáme signál v intervalu $(-5 \div +5 \text{ V})$, který pomocí kabelů rozdvojíme a sečteme v dalším sumačním zesilovači. Takto získáme analogový signál v požadovaném intervalu. Schéma zapojení této úpravy je na (Obr. 20).

Pro bakalářskou práci byl využit 1 analogový vstup na svorce AI0 a 1 analogový výstup na svorce DA0.

2.2 Ověření regulace vybraným regulátorem laboratorního modelu

2.2.1 Řízení soustavy druhého řádu

Byla zvolena soustava druhého řádu s přenosem:

$$G(s) = \frac{1}{(0,6s + 1) \cdot (0,03s + 1)}$$

K řízení této soustavy byl zvolen PID regulátor navržený metodou požadovaného modelu (dříve značenou jako metoda inverze dynamiky).

Vztahy pro výpočet parametrů regulátoru:

$$T_I = T_1 + T_2 \quad (1)$$

$$T_D = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2} \quad (2)$$

$$k_R = \frac{T_I}{KT_w} \quad (3)$$

T_w je časová konstanta uzavřeného regulačního obvodu. Musí být volena s ohledem na dynamiku zvolené soustavy a na omezení akčního zásahu. Pro tuto soustavu bylo navrženo $T_w = 5s$.

T_1 a T_2 jsou časové konstanty soustavy a musí platit, že $T_1 \geq T_2$. K je zesílení soustavy.

Výpočet parametrů:

dle rovnice (1): $T_I = 0,6 + 0,03 = 0,63$

dle rovnice (2): $T_D = \frac{0,6 \cdot 0,03}{0,6 + 0,03} = 0,028$

dle rovnice (3): $k_R = \frac{0,63}{1,5} = 0,126$

Na řídicí jednotce CE120 se parametry regulátoru nastavují ve tvaru r_0 , r_{-1} , r_1 . Proto je nutné vypočtené hodnoty přepočítat podle následujících vztahů:

$$r_0 = k_R \quad (4)$$

$$r_{-1} = \frac{r_0}{T_I} \quad (5)$$

$$r_1 = r_0 \cdot T_D \quad (6)$$

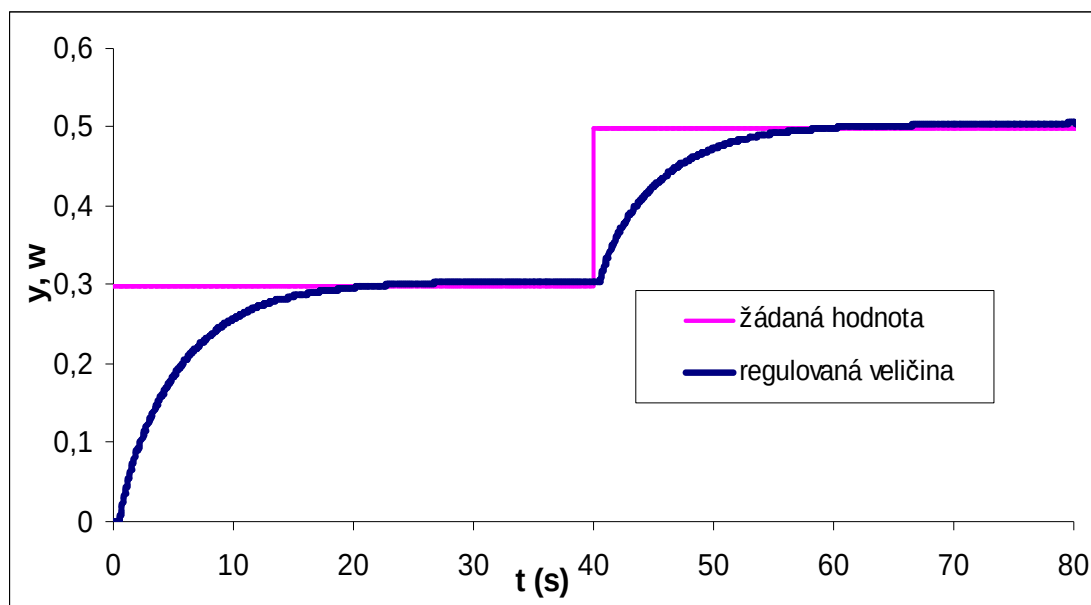
Výsledné hodnoty parametrů:

$$r_0 = 0,126$$

$$r_{-1} = 0,2$$

$$r_1 = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

Poznámka: Vzhledem k omezení nastavitelnosti parametrů regulátoru bylo nutno použít minimální nastavitelnou hodnotu $r_1 = 0,01$.



Obr. 14. Graf průběhu regulace soustavy druhého řádu navrženým regulátorem

2.2.2 Řízení soustavy prvního řádu s dopravním zpožděním

Přenos zvolené soustavy:

$$G(s) = \frac{1}{(6s + 1)} \cdot e^{-2s}$$

K řízení této soustavy byl použit PI regulátor navržený metodou požadovaného modelu.

Vztahy pro výpočet parametrů regulátoru:

$$T_I = T \tag{7}$$

$$k_R = \frac{a \cdot T_I}{K} \tag{8}$$

$$a = \frac{1}{\beta T_d} \tag{9}$$

T je časová konstanta, T_d dopravní zpoždění a K je zesílení soustavy. Hodnota parametru β je určena na základě požadovaného překmitu soustavy. Koeficient β byl na základě zvoleného překmitu $\kappa = 10\%$ odečten z (Tab. 3): $\beta = 1,720$ [3].

Vypočtené hodnoty:

$$T_1 = 6$$

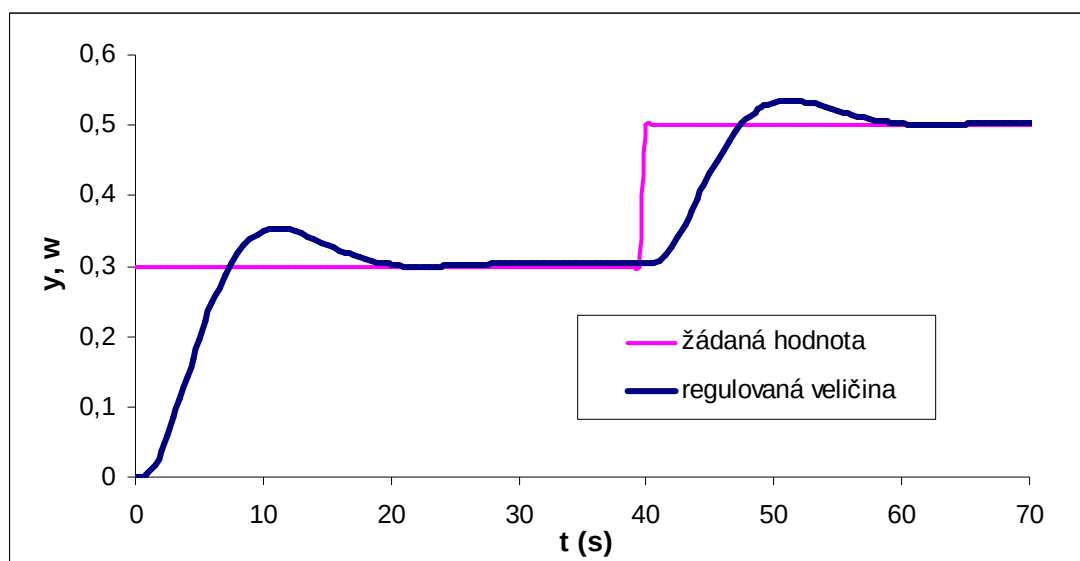
$$a = 0,29$$

$$k_R = 1,7$$

Tyto hodnoty se musí opět přepočítat na parametry regulátoru r_0 , r_{-1} .

$$r_0 = 1,7$$

$$r_{-1} = 0,28$$



Obr. 15. Průběh regulace soustavy prvního řádu s dopravním zpožděním navrženým regulátorem

2.2.3 Řízení soustavy třetího řádu

Přenos zvolené soustavy:

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

K řízení této soustavy bylo zvoleno nastavení PI regulátoru pomocí Naslimovy metody:

Pro koeficienty charakteristické rovnice ve tvaru [3]:

$$a_n s^n + \dots + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 = 0 \quad (10)$$

platí nerovnosti:

$$a_i^2 \geq \alpha \cdot a_{i-1} \cdot a_{i+1} \quad (11)$$

pro $i = 1, 2, \dots, (n-1)$.

Podle zvoleného maximálního přeregulování $\Delta y_{\max}$ (%) odečteme hodnotu α z tabulky (Tab. 2).

Tab. 2. Závislost $\Delta y_{\max}$ na α dle Naslima [3]:

α	1,75	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4
$\Delta y_{\max}$ (%)	16	12	8	5	3	1

Pro PI regulátor a danou soustavu bude přenos řízení ve tvaru:

$$G_w(s) = \frac{\frac{1}{(s+1)^3} \cdot (r_0 + \frac{r_{-1}}{s})}{1 + \frac{1}{(s+1)^3} \cdot (r_0 + \frac{r_{-1}}{s})} \quad (12)$$

Z rovnice (12) určíme charakteristickou rovnici:

$$s^4 + 3s^3 + 3s^2 + (1 + r_0)s + r_{-1} = 0 \quad (13)$$

Určíme hodnoty nastavitelných parametrů regulátoru tak, aby při jednotkovém skoku řízení maximální přeregulování nepřesáhlo hodnotu 5 %. Potom dle (Tab. 2) $\alpha = 2,0$.

Dle nerovnice (11) určíme podmínky pro výpočet r_0 a r_{-1} :

$$\text{pro } i = 1: (1+r_0)^2 \geq 2 \cdot 3 \cdot r_{-1}$$

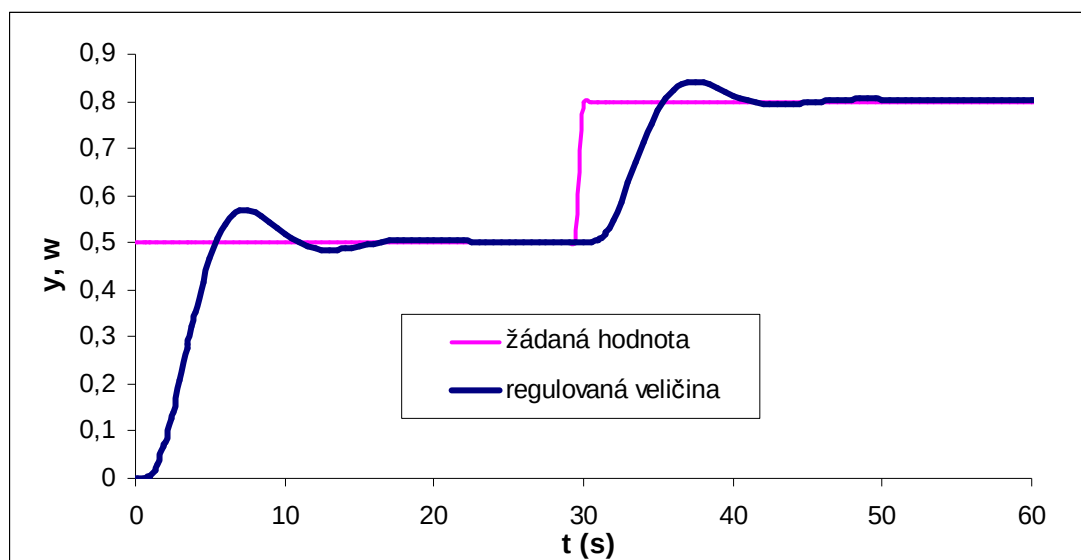
$$\text{pro } i = 2: 3^2 \geq 2 \cdot 3 \cdot (1+r_0)$$

$$\text{pro } i = 3: 3^2 \geq 2 \cdot 1 \cdot 3$$

Vypočítané hodnoty pro mezní případ (rovnost) :

$$r_0 = 0,5$$

$$r_{-1} = 0,375$$



Obr. 16. Průběh regulace soustavy třetího řádu navrženým regulátorem

2.2.4 Zhodnocení výsledků regulace

Pro ověření regulace přístrojem CE120 bylo vybráno řízení soustavy druhého řádu, soustavy s dopravním zpožděním a soustavy třetího řádu.

Pro řízení soustavy druhého řádu byl navržen PID regulátor nastavený metodou požadovaného modelu. Regulace proběhla bez překmitů a regulovaná veličina se ustálila na žádané hodnotě asi za 20 sekund (Obr. 14).

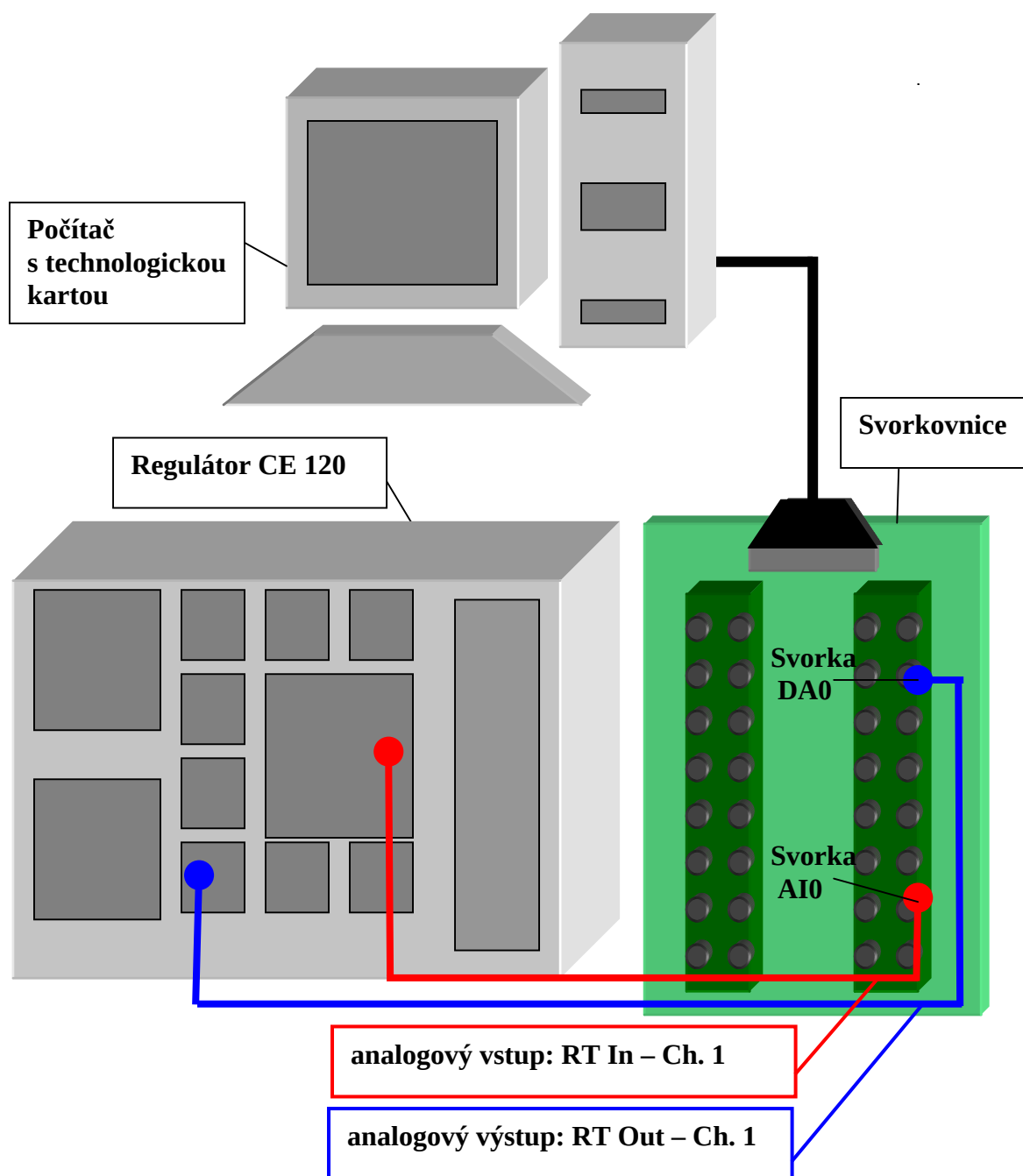
Stejnou metodou byl navržen PI regulátor pro soustavu prvního řádu s dopravním zpožděním. Parametry regulátoru byly vypočítány pro překmit 10 %. V průběhu regulace došlo k asi 17% překmitům a regulovaná veličina dosáhla žádané hodnoty za 20 sekund (Obr. 15).

Pro soustavu třetího řádu byl zvolen PI regulátor nastaven pomocí Naslimovy metody. K výpočtu parametrů regulátoru byl zvolen překmit 5 %. V průběhu regulačního pochodu došlo k přibližně 12% překmitu, regulovaná veličina dosáhla žádané hodnoty za 5 sekund a nulové trvalé regulační odchylky bylo dosaženo po 16 sekundách (Obr. 16).

Simulinkové schéma pro řízení soustav je uvedeno na (Obr. 22) a (Obr. 23).

3 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY

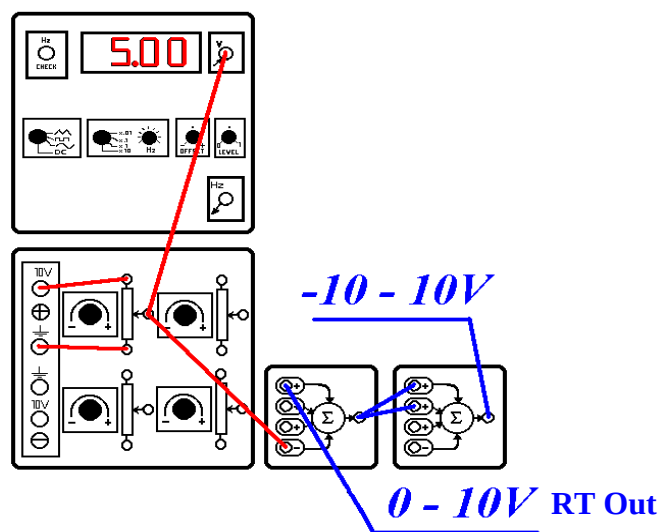
3.1 Zapojení úlohy



Obr. 17. Schéma připojení regulátoru k počítači

3.2 Zadání

- 1) Podrobně prostudujte schéma připojení regulátoru k počítači uvedené na (Obr. 17) a ovládací panel regulátoru CE120. Proved'te úpravu analogového výstupu z počítače z hodnoty ($0 \div 10 \text{ V}$) na hodnotu ($-10 \div 10 \text{ V}$). Návrh provedení této úpravy je na (Obr. 18). K měření všech úloh využijte programové prostředí MATLAB.

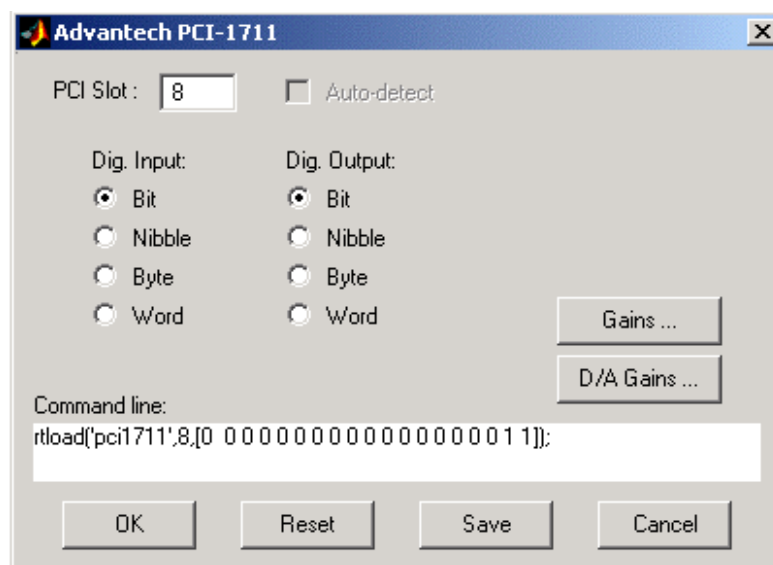


Obr. 18. Úprava hodnot analogového výstupu

- 2) Dle pokynu vyučujícího vypracujte některé z následujících úloh:

a) Změřte přechodovou charakteristiku PI regulátoru pro tři různé hodnoty zesílení a časové integrační konstanty. Na regulátor přiveďte jednotkový skok. Blokové schéma pro změření přechodové charakteristiky je na (Obr. 21).

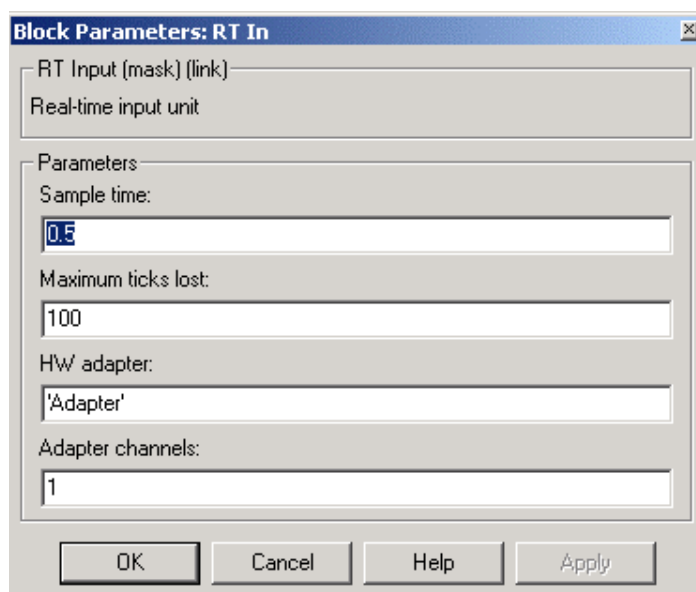
Po dvojitém kliknutí na blok Adapter vyberte ovladač technologické karty „pci1711.rtd“. Zobrazí se dialogové okno uvedené na (Obr. 19).



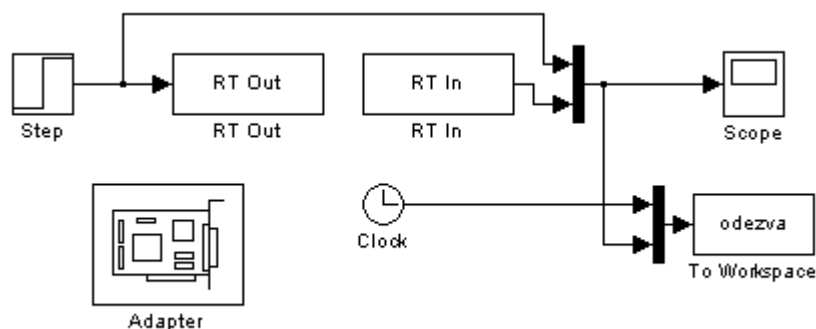
Obr.19. Dialogové okno pro nastavení bloku Adapter

Tlačítkem *Gains* nastavte rozsah analogových vstupů na $(-10 \div 10 \text{ V})$ a tlačítkem *D/A Gains* rozsah analogových výstupů na $(0 \div 10 \text{ V})$.

Bloky RT Out a RT In se nastavují pomocí dialogového okna na (Obr. 20). Do pole *Sample Time* zvolte periodu vzorkování. Doporučená hodnota je 0,5 s. Do pole *Adapter channels* zadejte pro oba bloky kanál č. 1.



Obr. 20. Dialogové okno pro nastavení bloku RT In



Obr. 21. Blokové schéma pro změření přechodové charakteristiky PI regulátoru.

b) Ověřte regulaci PID regulátorem soustavy druhého řádu s přenosem:

$$G(s) = \frac{1}{(0,8s + 1) \cdot (0,04s + 1)}$$

Parametry regulátoru navrhnete metodou požadovaného modelu (dříve psané jako inverze dynamiky). Pro řízení soustavy použijte blokové schéma uvedené na (Obr. 22). Přenos regulátoru uvažujte ve tvaru:

$$G_R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s \quad (14)$$

Parametry regulátoru vypočtete dle rovnic (1), (2) a (3):

$$T_I = T_1 + T_2$$

$$T_D = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2}$$

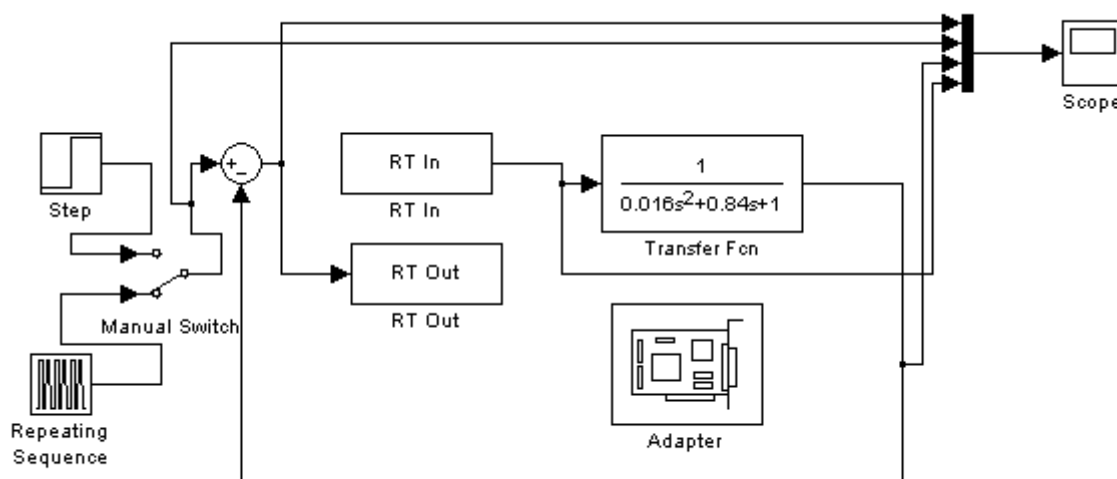
$$k_R = \frac{T_I}{KT_w}$$

a dále upravte na tvar podle vztahu (4), (5) a (6):

$$r_0 = k_R$$

$$r_{-1} = \frac{r_0}{T_I}$$

$$r_1 = r_0 \cdot T_D$$

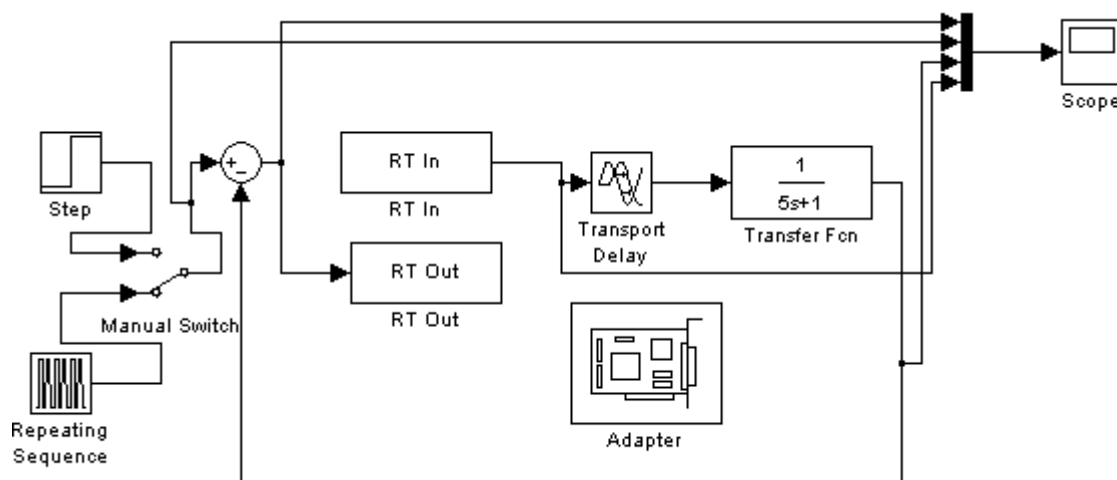


Obr. 22. Blokové schéma zapojení pro řízení soustavy v počítači regulátorem CE120

c) Ověřte regulaci soustavy s dopravním zpožděním PI regulátorem navrženým metodou požadovaného modelu. Přenos soustavy je ve tvaru:

$$G(s) = \frac{1}{(5s+1)} \cdot e^{-3s}$$

Pro řízení soustavy použijte blokové schéma na (Obr. 23).



Obr. 23. Blokové schéma pro řízení soustavy s dopravním zpožděním

Parametry PI regulátoru vypočtete podle vztahů (7), (8) a (9):

$$T_I = T$$

$$k_R = \frac{a \cdot T_I}{K}$$

$$a = \frac{1}{\beta T_d}$$

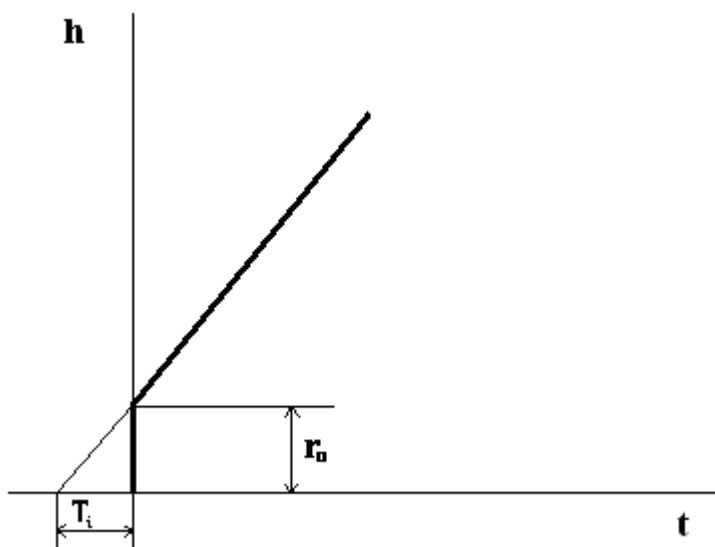
Koeficient β je dán zvoleným relativním překmitem κ podle (Tab. 3.)

Tab. 3. Určení koeficientu β podle relativního překmitu κ [3].

κ	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
β	2,718	1,944	1,720	1,561	1,437	1,337	1,248	1,172	1,104	1,045	0,992

3.3 Zásady pro vypracování protokolu

ad a) Naměřené přechodové charakteristiky vyneste do grafu a určete graficky zesílení a integrační časovou konstantu. Přechodová charakteristika ideálního PI členu: (Obr. 24).



Obr. 24. Přechodová charakteristika ideálního PI členu

ad b) a ad c) Uveďte výpočet parametrů regulátoru a průběh regulace porovnejte se simulací.

ZÁVĚR

Hlavním úkolem mé bakalářské práce bylo vytvoření návodu k laboratorní úloze na modelu regulátoru CE120, vyrobeného firmou TechQuipment, Ltd., Nottingham, Anglie.

Nejprve bylo nutné seznámit se s programovým prostředím Matlab, především s jeho součástí Real Time Toolbox, jehož bloky a funkce slouží k snadnému vytvoření regulačních obvodů, pomocí nichž můžeme provést regulaci v reálném čase. V teoretické části byla zpracována podrobná literární rešerše na toto téma.

Jedním z úkolů bylo realizovat připojení modelu regulátoru k počítači. Toto zapojení (Obr. 17) je vytvořeno pomocí technologické karty Advantech PCI – 1711 a univerzální svorkovnice PCLD - 8710 s dvaceti-pinovým konektorem. Analogový výstup technologické karty je jen v kladných hodnotách. Vzhledem k tomu, že tento signál představuje regulační odchylku, bylo nezbytné provést jeho napětíovou úpravu (Obr. 18), a to přímo s využitím zdroje signálu, potenciometru a sumačních zesilovačů regulátoru.

V experimentální části bylo nutno ověřit regulaci pomocí zvolených regulátorů laboratorního modelu. Byla vybrána soustava druhého a třetího řádu a soustava s dopravním zpožděním. K syntéze regulačního obvodu pro soustavu druhého řádu a soustavu s dopravním zpožděním byla použita metoda požadovaného modelu, která nejlépe splňovala požadavky na průběh regulace (Obr. 14) a (Obr.15). Soustava se v krátké době ustalovala na žádané hodnotě a bylo dosaženo nulové regulační odchylky. U soustavy s dopravním zpožděním došlo k překmitu, který však byl zvolen při výpočtu parametrů regulátorů. Pro soustavu třetího řádu byly Naslimovou metodou navrženy parametry PI regulátoru pro zvolený maximální překmit 5 %. Regulovaná veličina se v krátké době ustalovala na žádané hodnotě a trvalá regulační odchylka byla nulová (Obr. 16).

Na základě těchto poznatků a provedených měření byl vypracován návrh laboratorní úlohy, ve kterém si mohou studenti prakticky vyzkoušet své znalosti mnoha metod návrhů parametrů spojitých regulátorů.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A/D	analogově-digitální
a_i	koeficienty charakteristické rovnice
D/A	digitálně-analogový
e	regulační odchylka
$G(s)$	přenosová funkce soustavy
$G_w(s)$	přenosová funkce řízení
Ch.	číslo kanálu
K	zesílení soustavy
κ	relativní překmit
k_R	proporcionální zesílení
PI	proporcionálně integrační
PID	proporcionálně integračně derivační
r_0	proporcionální konstanta
r_{-1}	integrační konstanta
r_1	derivační konstanta
s	Laplaceův operátor
T, T_1, T_2	časová konstanta soustavy
T_d	dopravní zpoždění
T_D	derivační časová konstanta
T_I	integrační časová konstanta
T_n	doba náběhu
T_u	doba průtahu
T_w	časová konstanta uzavřeného regulačního obvodu

u	akční zásah
w	žádaná hodnota
y	regulovaná veličina
Δy_{max}	maximální přeregulování

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. CE120	7
Obr. 3. Digitální voltmetr s generátorem funkcí.....	8
Obr. 4. Zdroj DC signálu s potenciometry.....	9
Obr. 5. Příklad zapojení	9
Obr. 6. Sumační zesilovač	10
Obr. 7. Proporcionální zesilovač	10
Obr. 8. Integroující zesilovač.....	11
Obr. 9. PID regulátor	11
Obr. 10. Příklad zapojení PI regulátoru	12
Obr. 11. Schéma zapojení PID regulátoru	12
Obr. 12. Karta ADVANTECH PCI – 1711	18
Obr. 13. Svorkovnice PCLD-8710	19
Obr. 14. Graf průběhu regulace soustavy druhého řádu navrženým regulátorem.....	23
Obr. 15. Průběh regulace soustavy prvního řádu s dopravním zpožděním navrženým regulátorem	24
Obr. 16. Průběh regulace soustavy třetího řádu navrženým regulátorem.....	26
Obr. 17. Schéma připojení regulátoru k počítači	28
Obr. 18. Úprava hodnot analogového výstupu	29
Obr.19. Dialogové okno pro nastavení bloku Adapter	30
Obr. 20. Dialogové okno pro nastavení bloku RT In	30
Obr. 21. Blokové schéma pro změření přechodové charakteristiky PI regulátoru.....	31
Obr. 22. Blokové schéma zapojení pro řízení soustavy v počítači regulátorem CE120	32
Obr. 23. Blokové schéma pro řízení soustavy s dopravním zpožděním.....	32
Obr. 24. Přechodová charakteristika ideálního PI členu.....	34

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Použitá sada bloků v Simulinku	17
Tab. 2. Závislost $\Delta y_{\max}$ na α dle Naslima:	25
Tab. 3. Určení koeficientu β podle relativního překmitu κ	33

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1) ADVANTECH CO., LTD., PCI- 1710 Series. User's Manual., 1st. ed., Taiwan, 2001.
- 2) ADVANTECH CO., LTD., PCLD-8710 Wiring Terminal Board: User's Manual , Taiwan, 2001.
- 3) BALÁTĚ, Jaroslav: Automatické řízení. 2. vyd., Praha: Nakladatelství BEN, 2004. 664s. ISBN: 80-7300-148-9.
- 4) HUMUSOFT, s.r.o.: Real-Time Toolbox for MATLAB. User's Manual., Praha, 1999.
- 5) MATH WORKS Inc.: MATLAB: Function Reference, Version 7, Natick, USA, 2004.
- 6) PERŮTKA, Karel: Decentralizované spojitě adaptivní řízení. Diplomová práce, VUT v Brně, Fakulta technologická se sídlem ve Zlíně, 2000.
- 7) TEQUIPMENT LIMITED: CE120 Controller. User's Manual., Nottingham, England, 1997.