

Nová úloha na laboratorním modelu soustavy dvou nádrží v prostředí MATLAB

Svatopluk Hřebačka

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

PODKLAD PRO ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PŘEDKLÁDÁ:	ADRESA:	OSOBNÍ ČÍSLO:
HŘEBAČKA Svatopluk	Štefánikova 849/80 ; Podivín	T023952

PRACOVNÍ NÁZEV TÉMATU:

Nová úloha na laboratorním modelu soustavy dvou nádrží v prostředí MATLAB

VEDOUCÍ PRÁCE:

Ing. Karel Perůtka

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proved'te literární řešerši popisující MATLAB a Real-Time Toolbox.
2. Realizujte připojení modelu k počítači a uveďte popis tohoto zapojení.
3. Ověřte regulaci jednoduchým regulátorem.
4. Vytvořte návod k laboratorní úloze.

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

1. Růžička, M. (1999): Řízení mnohorozměrových systémů. Diplomová práce. VUT Brno, Fakulta technologická se sídlem ve Zlíně.
2. Sysel, M. (1998): Adaptivní PID regulace využitím d - modelu. Diplomová práce. VUT Brno, Fakulta technologická se sídlem ve Zlíně.
3. Hlaváč, M. (1995): Číslicová regulace výšky hladiny v soustavě vodních nádrží. VUT Brno, Fakulta technologická se sídlem ve Zlíně.
4. PCL-812PG Enhanced Multi-Lab Card: User's Manual. Advantech Co., Ltd., Taiwan, 1996.
5. PCLD-780 Screw Terminal Board: Datasheet. Advantech Co., Ltd., Taiwan, 1990.

PODPIS
VEDOUCÍHO
PRÁCE:

DATUM:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu ing. Karlovi Perůtkovi za jeho odborné vedení. Také bych chtěl poděkoval slečně Michaele Bubeníkové za její pomoc, kterou mi poskytla v průběhu řešení bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 25. 05. 2005

.....

Svatopluk Hřebačka

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření laboratorní úlohy pro řízení reálného modelu soustavy vodních nádrží. Připojení soustavy k počítači bylo realizováno pomocí univerzální svorkovnice PCLD – 780 a technologické karty PCL – 812PG. Byla provedena identifikace obou nádrží a na základě získaných přenosů byl metodou požadovaného modelu navržen PI regulátor. Regulace byla ověřena v reálném čase v programu MATLAB - SIMULINK.

Summary

The objective of this Bachelor thesis was a creation of a laboratory task for controlling a real model of system of water tanks. Connection of the apparatus to the computer was realized by the universal screw terminal board PCLD – 780 and the lab card PCL – 812PG. There was performed an identification of the system of both tanks and on the base of the obtained transfer functions then there was proposed a PI controller by the method of required model. Finally, the control of this apparatus was verified in real time by the use of the program MATLAB - SIMULINK.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	7
1.1 POPIS SOUSTAVY NÁDRŽÍ.....	7
1.2 POPIS PROGRAMU MATLAB.....	8
1.3 POPIS SYSTÉMU SIMULINK.....	8
1.4 REAL TIME TOOLBOX PRO MATLAB.....	9
1.4.1 Časovače.....	10
1.4.2 Historické proměnné.....	10
1.4.3 Ovladače hardware.....	11
1.4.4 Knihovna bloků v Simulinku.....	11
1.5 TECHNOLOGICKÁ KARTA ADVANTECH PCL - 812PG.....	12
1.5.1 Popis karty ADVANTECH PCL - 812PG:.....	12
1.5.2 Programování karty PCL - 812PG.....	13
1.6 UNIVERZÁLNÍ SVORKOVNICE PCLD – 780.....	14
1.6.1 Charakteristiky.....	14
2 PRAKTICKÁ A EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	15
2.1 PŘIPOJENÍ SOUSTAVY NÁDRŽÍ K POČÍTAČI.....	15
2.2 IDENTIFIKACE SOUSTAVY NÁDRŽÍ.....	16
2.2.1 Určení statické charakteristiky reálné soustavy.....	16
2.2.2 Identifikace reálné soustavy.....	17
2.3 ŘÍZENÍ JEDNODUCHÝM REGULÁTOREM.....	21
2.3.1 Návrh regulátoru.....	21
2.3.2 Řízení navrženým regulátorem.....	22
3 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY.....	25
ZÁVĚR.....	30
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	31
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	32
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	33
SEZNAM TABULEK.....	34

ÚVOD

Laboratorní model soustavy nádrží je určen pro potřeby laboratorního cvičení při výuce předmětů souvisejících s problematikou automatického řízení. Je vhodný pro experimentální testování algoritmů a nastavených parametrů spojitéch nebo číslicových regulátorů a pro modelování skutečných situací na reálném objektu.

Soustava je připojena k počítači pomocí univerzální svorkovnice PCLD - 780 a technologické karty Advantech PCL – 812PG.

Abychom mohli danou soustavu řídit, je nutné nejprve provést její identifikaci a vybrat vhodný regulátor. Regulovanou veličinou je výška hladiny kapaliny, která je snímána kapacitními snímači a přiváděna do A/D převodníku. Počítač pomocí navrženého regulátoru generuje akční zásah, který je přes D/A převodník přiváděn na čerpadla.

Pro návrh parametrů regulátoru je využito metody požadovaného modelu, dříve značené jako inverze dynamiky. Tato metoda umožňuje určit typ vhodného konvenčního regulátoru a seřídit ho tak, aby bylo dosaženo nulové trvalé regulační odchylky a požadovaného relativního překmitu regulované veličiny [3].

Aby si studenti mohli tímto způsobem ověřit různé metody regulace, je na základě této bakalářské práce vytvořen návrh laboratorní úlohy, ve které je soustava nádrží řízena počítačem v programovém prostředí MATLAB-SIMULINK, s využitím Real Time toolboxu. Regulace laboratorního modelu je tedy prováděna v reálném čase.

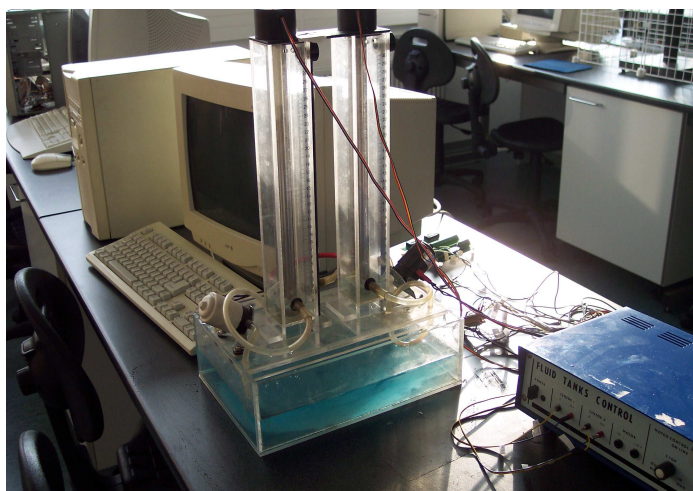
1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Popis soustavy nádrží

Soustava nádrží (Obr. 1), která je určena pro potřeby laboratorního cvičení, se skládá ze dvou odměrných nádrží, které mohou být navzájem propojovány spojovacím článkem a spolu regulovány.

Součástí soustavy jsou dále dvě čerpadla s možností regulace dodávaného množství kapaliny do zvolené nádrže nastavením vstupního napětí. Výšku hladiny v nádrži můžeme měřit jak přímo odečítáním pomocí měřítka, které je vyznačeno na každé z nádrží nebo elektrickým měřením. Každá nádrž je proto vybavena kapacitním snímačem výšky vodní hladiny s normovaným rozsahem výstupního napětí. Soustava má vlastní zdroj napájecího napětí pro obvody, tzn. zdroj napájecího napětí pro obvody zesilovače čerpadla a zdroj napětí pro kapacitní snímače výšky hladiny [4].

Na soustavě můžeme řešit úlohy měření charakteristik čerpadla a snímačů výšky hladiny, analýzy chování soustavy a měření přechodových charakteristik. Pro ověřování využijeme programové prostředí Matlab, který používáme jak pro simulační ověřování, tak i pro měření v laboratorních podmínkách v reálném čase. Komunikaci mezi standardním počítačem a laboratorní soustavou zprostředkovává karta Advantech PCL - 812PG, svorkovnice PCLD - 780 a Real Time Toolbox.



Obr. 1. Laboratorní model soustavy vodních nádrží

1.2 Popis programu Matlab [6]

Programové prostředí Matlab lze použít pro velký rozsah vědeckotechnických výpočtů, modelování, návrhy algoritmů, simulace, měření a zpracování signálů. Jeho nejsilnější stránkou je mimořádně rychlé výpočetní jádro. Další předností je výkonný a úplný programovací jazyk, což znamená, že uživatelé si mohou vytvářet vlastní funkce pro své aplikace. Tyto funkce se způsobem volání neliší od vestavěných funkcí a jsou uloženy v souborech v čitelné formě. Matlab poskytuje také spoustu grafických a výpočetních nástrojů a rozsáhlé knihovny funkcí.

Grafika v Matlabu nám umožňuje snadné zobrazení a prezentaci všech získaných výsledků a naměřených dat. Je možné vykreslit různé druhy grafů, dvourozměrné, třírozměrné, histogramy, a téměř neomezeně je upravovat. Matlab také umožňuje otevřít více oken pro zobrazení grafů najednou nebo zobrazit více grafů v jednom okně.

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

1.3 Popis systému Simulink

Simulink je program umožňující 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 grafického editoru lze vytvářet modely lineárních, nelineárních, v čase diskretních nebo spojitých systémů pouhým přesouváním funkčních bloků myší. Díky otevřené architektuře můžeme vytvářet vlastní funkční bloky a rozšiřovat bohatou knihovnu Simulinku. 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 [5]

Díky Real Time Toolboxu můžeme propojit počítač s reálnými modely a řídit je v reálném čase. Umožňuje získat okamžitý přístup k vnějším analogovým a digitálním signálům. Je možno používat buď příkazovou řádku, 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.

Real Time Toolbox umožňuje počítači práci s vnějšími signály v reálném čase. Provádí sběr dat se zajištěným pravidelným vzorkováním 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 i ve všech jeho novějších verzích
- vzorkovací frekvence až do 66kHz, 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

1.4.1 Časovače

Pro zpracování signálu a návrhu řídicích systémů je nutné zajistit, aby byl všečen 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.

1.4.2 Historické proměnné

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

1.4.3 Ovladače hardware

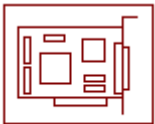
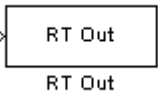
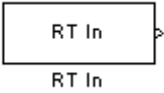
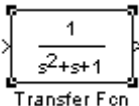
Ovladače hardware jsou moduly, které mohou podporovat téměř jakékoli zařízení. Umožňují, aby bylo jádro reálného času nezávislé na používaných perifériích. Podporují množství A/D a D/A převodníků.

K nejobtížnějším úkolům při používání periférií pro sběr dat patří správné nastavení všech parametrů. Real Time Toolbox to velmi usnadňuje: nutno pouze správně vyplnit okno popisující parametry ovladače.

1.4.4 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.

Tab. 1. Použitá sada bloků v Simulinku

BLOK	FUNKCE
 Adapter	blok RT Toolboxu, který určuje a nastavuje ovladač převodníku pro měření dat
 RT Out	blok RT Toolboxu pro vysílání dat z PC v reálném čase
 RT In	blok RT Toolboxu pro získávání dat v reálném čase
 Transfer Fcn	blok pro zadávání přenosové funkce
 Step	blok pro skokovou změnu žádané veličiny

 Repeating Sequence	blok pro více skokových či lineárních změn žádané veličiny
 Scope	blok pro zobrazování průběhu regulace

1.5 Technologická karta ADVANTECH PCL - 812PG

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. [8].



Obr. 2. Karta ADVANTECH PCL - 812PG

1.5.1 Popis karty ADVANTECH PCL - 812PG [1]:

- ❑ 16 samostatně zakončených vstupních kanálů
- ❑ 12 – bitový převodník s maximální vzorkovací frekvencí A/D převodníku v DMA režimu 30 kHz

- ❑ Programovatelný analogový vstup s rozsahy +/- 5V; +/- 2,5V; +/- 1,25V; +/- 0,625V; +/- 0,3125V
- ❑ Schopnost přenosu konvertovaných dat A/D převodníku programovým ovládáním, přerušením nebo DMA kanálem
- ❑ Programovatelný čítač/časovač INTEL 8253-5
- ❑ Dva 12 – bitové D/A výstupní kanály s rozsahy 0 - 5V nebo 0 - 10V
- ❑ 16 TTL/DTL kompatibilních číslicových vstupů, 16 číslicových výstupních kanálů

Na zadní straně počítače jsou umístěny konektory, na něž se připojuje propojovací deska se svorkovnicí pro připojení vodičů od měřeného zařízení.

1.5.2 Programování karty PCL - 812PG

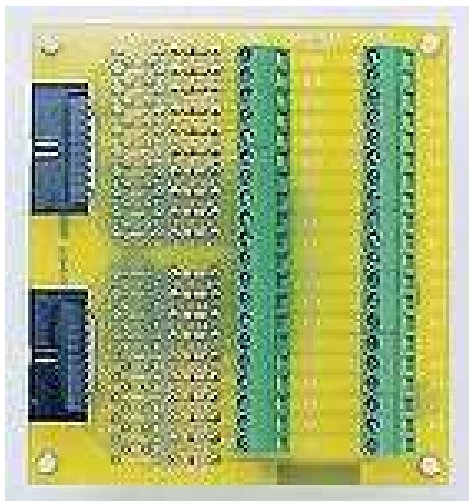
Chceme-li kartu ovládat pomocí některého z programovacích jazyků, musíme se programováním karty zvlášť zabývat. K programování karty slouží 16 osmibitových registrů, k nimž přistupujeme přes I/O porty počítače. Adresa registru se určí Base + offset, kde base představuje základní adresu na niž je karta nastavena (nastavuje se při instalaci karty) [8].

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...). Další informace lze nalézt v manuálu ke kartě [8].

1.6 Univerzální svorkovnice PCLD – 780

Na (Obr. 3) je znázorněna univerzální svorkovnicová deska poskytující spojení a spolehlivé signálové zapojení pro PC-LabCards s 20 - pinovým sběračem.



Obr. 3. Svorkovnice PCLD - 780

1.6.1 Charakteristiky [2]

- ❑ Vyhrazený prostor pro podmíněné obvody jako dolnoproustní filtr napětí a proudu-napětíového převodu.
- ❑ Šroubová svorka svorkovnice umožňuje snadné a spolehlivé spojení.
- ❑ Rozměry : 102 mm x 114mm
- ❑ Zapojení 40 přípojných kabelů
- ❑ Možnost vlastního doplnění napětíového děliče
- ❑ Konektory 2x20 – pinové

2 PRAKTICKÁ A EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Připojení soustavy nádrží k počítači

Soustava nádrží je k počítači připojena podle schématu na (Obr. 12). Z kapacitních snímačů vede spojení do převodníkové skříň, ve které se napětí na jednotlivých kondenzátorech převádí na unifikovaný spojitý signál ($0 \div 10 \text{ V}$). Tento signál představuje analogový vstup do počítače. Analogový výstup z počítače zajišťuje unifikovaný signál ($-10 \div +10 \text{ V}$), který se opět přes převodníkovou skříň transformuje na vstupní napětí do jednotlivých čerpadel. V počítači je nainstalovaná technologická ISA karta Advantech PCL - 812PG [7]. Digitální vstup pro výšku hladiny se pohybuje v intervalu ($0 \div 1$) a digitální výstup akčního zásahu je v intervalu ($-1 \div +1$).

Karta poskytuje 16 analogových vstupů, což je 16 kanálový A/D převodník, 2 analogové výstupy, což znamená 2 kanálový D/A převodník, 8 bitový vstup a výstup. Pro bakalářskou práci byly využity 2 analogové vstupy a 2 analogové výstupy.

Karta je připojena ke svorkovnici pomocí propojovacího kabelu.

Zapojení ve svorkovnici:

- svorky A3 a A4 slouží pro senzor 1
- svorky A5 a A6 slouží pro senzor 2
- svorky A13 a A14 slouží pro computer 2
- svorky A15 a A16 slouží pro computer 1

Tyto signály jsou přivedeny do konektoru, který je dále přivádí do akčního členu podle zapojení na (Obr. 12). Regulátor je spojen s čerpadly a kapacitními snímači vodní hladiny.

2.2 Identifikace soustavy nádrží

2.2.1 Určení statické charakteristiky reálné soustavy

Před samotnou identifikací je vždy důležité změřit statickou charakteristiku, ze které určíme oblast, ve které je chování řízeného systému lineární. V lineární oblasti bylo poté provedeno měření přechodové charakteristiky.

Pro každou nádrž bylo provedeno 10 měření. Závislosti hodnoty vstupního signálu na ustálené hodnotě výšky hladiny pro každé měření byly vyneseny do grafů na (Obr. 4) a (Obr. 5).

Pro identifikaci první nádrže byla zvolena hodnota vstupního signálu 0,5 a pro druhou nádrž hodnota 0,2.

Tab. 2. Naměřené hodnoty pro statickou charakteristiku nádrže č.1

u₁ (vstupní signál)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
h₁ (výška hladiny)	0,017	0,025	0,029	0,174	0,449	0,789	0,999	0,999	0,999	0,999

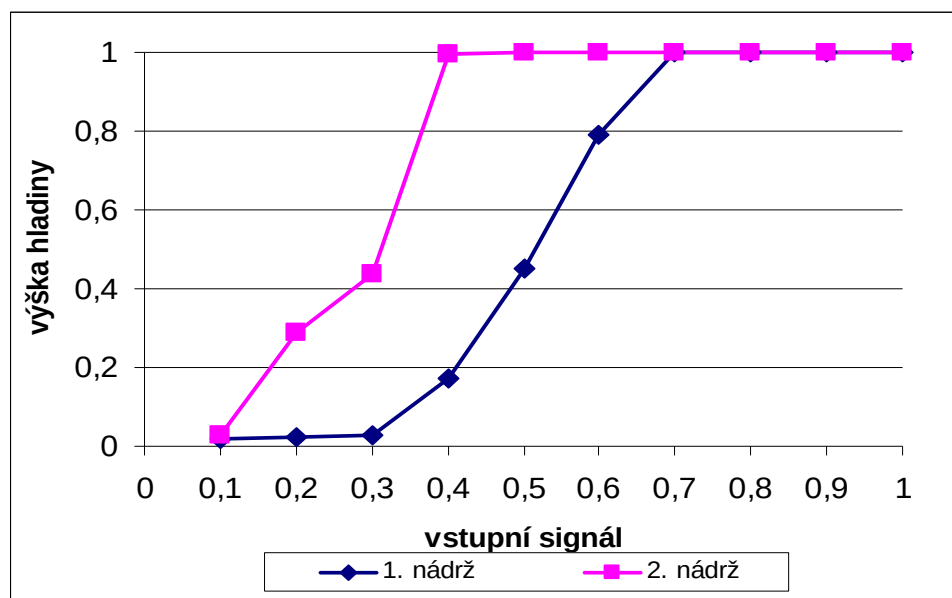
Tab. 3. Naměřené hodnoty pro statickou charakteristiku nádrže č.2

u₂ (vstupní signál)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
h₂ (výška hladiny)	0,028	0,288	0,435	0,996	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999

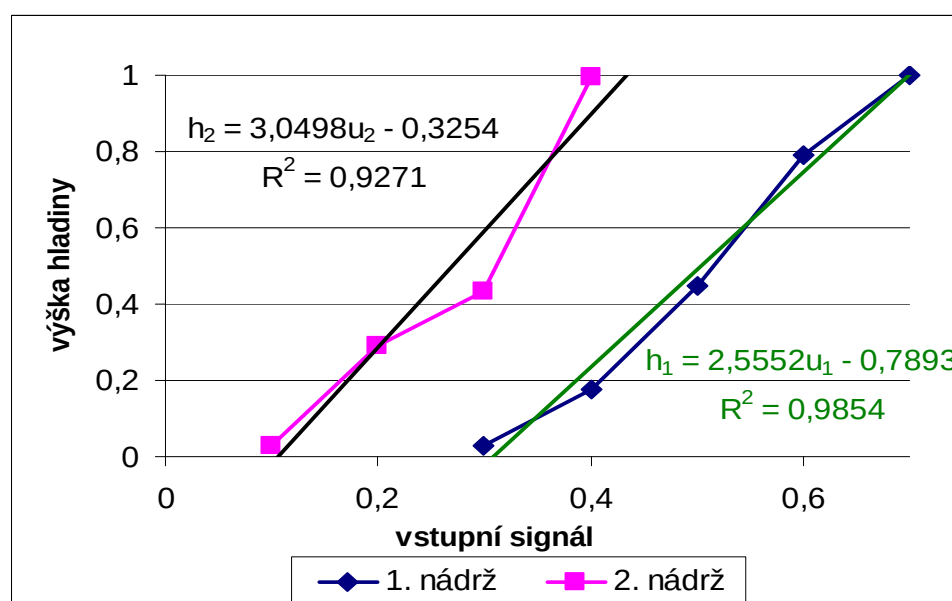
Poznámka:

Z tabulky pro nádrž č.1 (Tab. 2) si můžeme všimnout, že od hodnoty akčního zásahu 0,7 se soustava stává necitlivá na jakoukoliv změnu žádané veličiny.

Z tabulky pro nádrž č.2 (Tab. 3) se necitlivost projevuje už od hodnoty 0,5.



Obr. 4. Graf naměřených hodnot



Obr. 5. Graf lineárních oblastí s regresní analýzou naměřených hodnot

2.2.2 Identifikace reálné soustavy

Po určení statické charakteristiky byly vybrány přechodové charakteristiky v lineární oblasti (Obr. 6) a (Obr. 7). Při identifikaci bylo použito metody nejmenších čtverců. Před samotným určením bylo nutné určit odhady parametrů.

Odhad parametrů [3]:

Na základě naměřených přechodových charakteristik můžeme každou dílčí soustavu popsat diferenciální rovnicí:

$$a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_0 u(t), \quad (1)$$

kde platí operátorový přenos:

$$G_{(s)} = \frac{K}{Ts + 1}, \quad (2)$$

s přechodovou funkcí :

$$h(t) = K(1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad (3)$$

kde K je poměr změny výstupního signálu ke změně vstupního signálu:

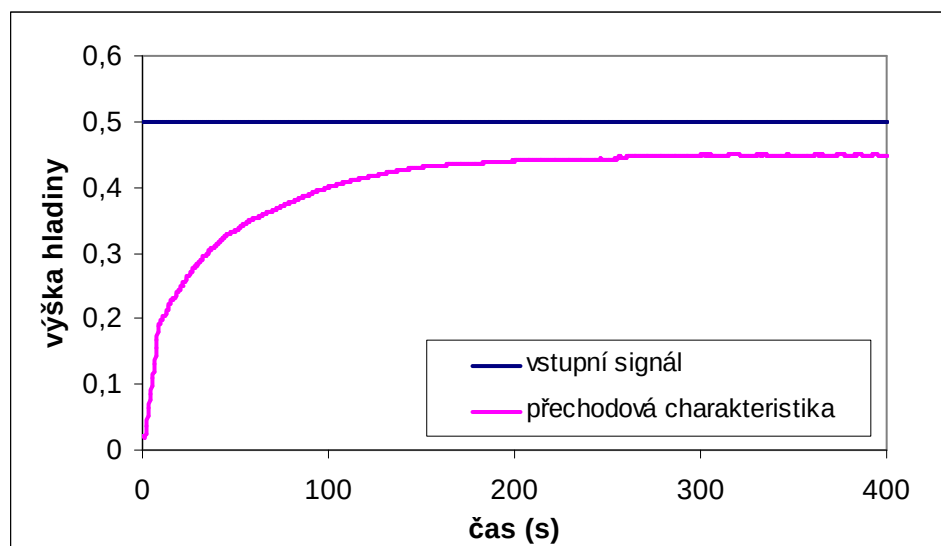
$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta u(t)}, \quad (4)$$

a časovou konstantu můžeme určit tak, že na experimentálně získané charakteristice zvolíme bod **A** se souřadnicemi t_A, y_A . Pro které platí:

$$T = -\frac{t_A}{\ln(1 - \frac{y_A}{\Delta y(t)})} \quad (5)$$

Výpočet :

odhad parametrů nádrže č.1:



Obr. 6. Přechodová charakteristika nádrže č.1 se vstupním signálem 0,5

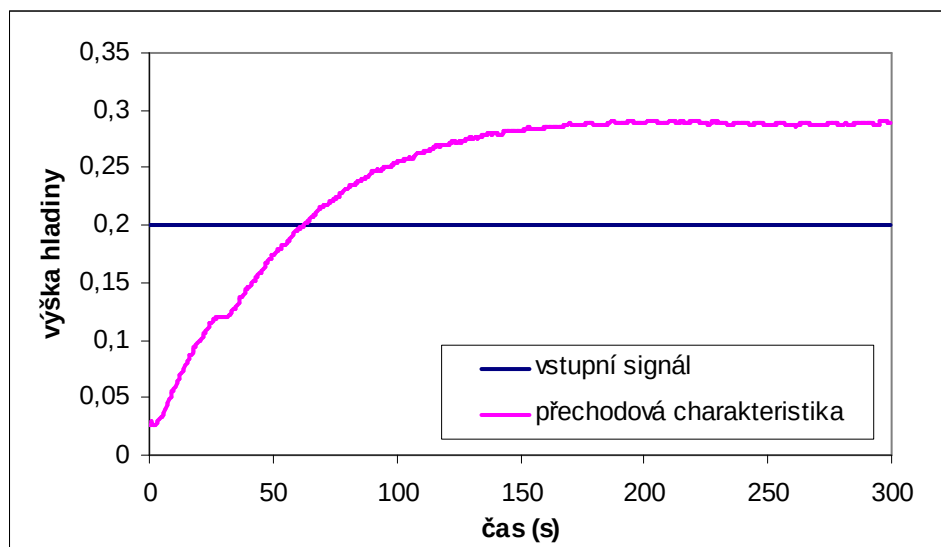
dle rovnice (4):
$$K = \frac{0,4492 - 0,0215}{0,5} = 0,8554$$

z přechodové charakteristiky bylo odečteno $t_A = 100$ s, $y_A = 0,4014$

dle rovnice (5):
$$T = -\frac{100}{\ln\left(1 - \frac{0,3999}{0,4492 - 0,0215}\right)} = 36,58$$

Odhadovaný přenos (2):
$$G_{1(s)} = \frac{0,8554}{36,58s + 1}$$

odhad parametrů nádrže č.2:



Obr. 7. Přechodová charakteristika nádrže č.2 se vstupním signálem 0,2

dle rovnice (4):
$$K = \frac{0,28857 - 0,02636}{0,2} = 1,311$$

z přechodové charakteristiky bylo odečteno $t_A = 50$ s, $y_A = 0,173828$

dle rovnice (5):
$$T = -\frac{50}{\ln\left(1 - \frac{0,173828}{0,28857 - 0,02734}\right)} = 45,66$$

Odhadovaný přenos (2):
$$G_{2(s)} = \frac{1,311}{45,66s + 1}$$

Pro zpřesnění vypočtené časové konstanty bylo využito metody nejmenších čtverců pomocí programu EXCEL, resp. jeho funkce „Řešitel“.

Přenosy vypočtené v programu Excel:

přenos pro nádrž č.1:

$$G_{1(s)} = \frac{0,8554}{36,67s + 1}$$

přenos pro nádrž č.2:

$$G_{2(s)} = \frac{1,311}{54,12s + 1}$$

2.3 Řízení jednoduchým regulátorem

2.3.1 Návrh regulátoru

Pro řízení soustavy vodních nádrží byl zvolen PI regulátor navržený metodou požadovaného modelu (dříve značenou jako metoda inverze dynamiky).

Časová konstanta T_w byla volena tak, aby nedocházelo k velkým překmitům a s ohledem na omezení akčního zásahu. $T_w = 15s$.

Vztahy pro výpočet parametrů regulátoru pro soustavu ve tvaru rovnice (2):

$$T_I = T \tag{6}$$

$$k_R = \frac{T_I}{KT_w} \tag{7}$$

Výpočet parametrů pro nádrž č.1:

dle rovnice (6): $T_I = 36,67$

dle rovnice (7): $k_R = \frac{36,67}{0,8554 \cdot 15} = 2,86$

Do programu MATLAB se parametry regulátoru zadávají ve tvaru r_0 a r_{-1} . Proto je nutné vypočtené hodnoty přepočítat podle následujících vztahů:

$$r_0 = k_R \quad (8)$$

$$r_{-1} = \frac{r_0}{T_I} \quad (9)$$

Výsledné parametry regulátoru pro nádrž č. 1 :

$$r_0 = 2,86$$

$$r_{-1} = 0,078$$

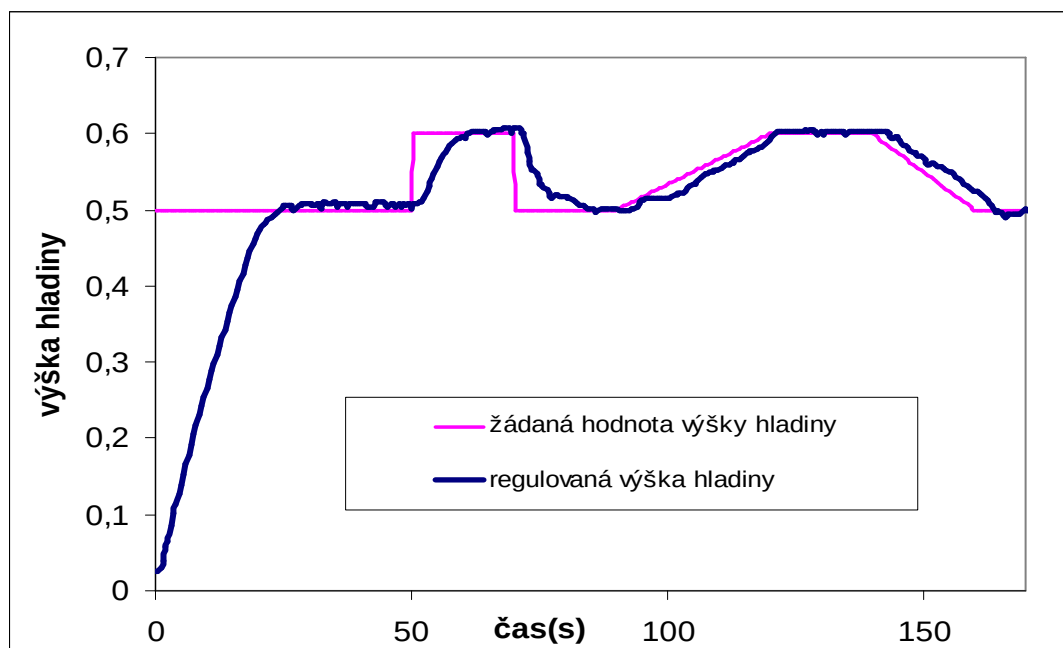
Pro nádrž č.2 byly vypočteny tyto parametry:

$$r_0 = 2,75$$

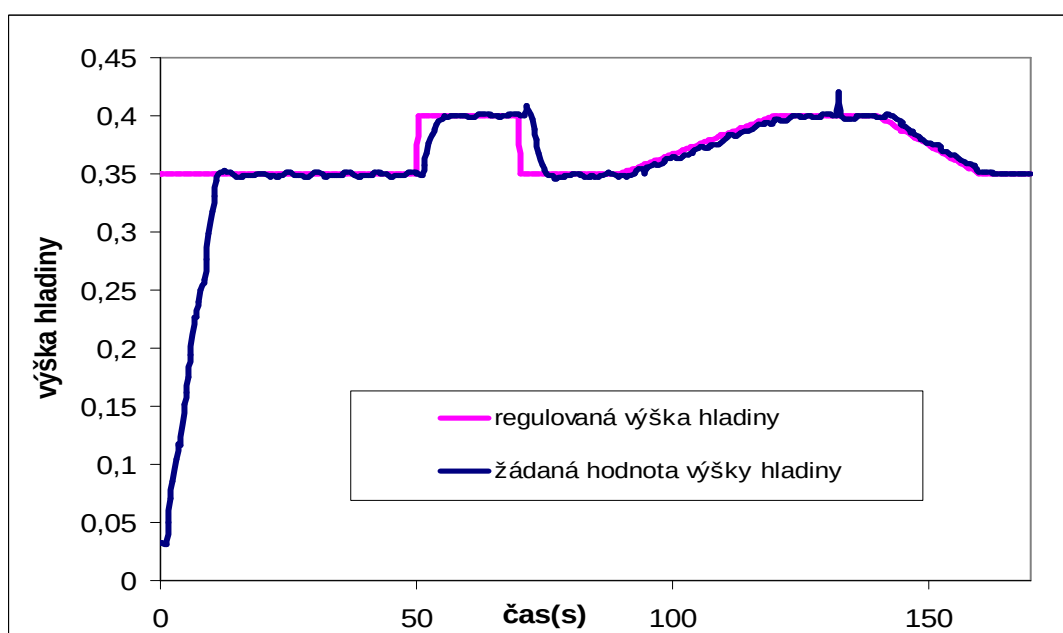
$$r_{-1} = 0,05$$

2.3.2 Řízení navrženým regulátorem

V programu Matlab jsem vytvořil model pro řízení soustavy vodních nádrží. Schéma zapojení je uvedeno na (Obr. 14).



Obr. 8. Graf reálného průběhu regulace výšky hladiny v nádrži č.1



Obr. 9. Graf reálného průběhu regulace výšky hladiny v nádrži č.2

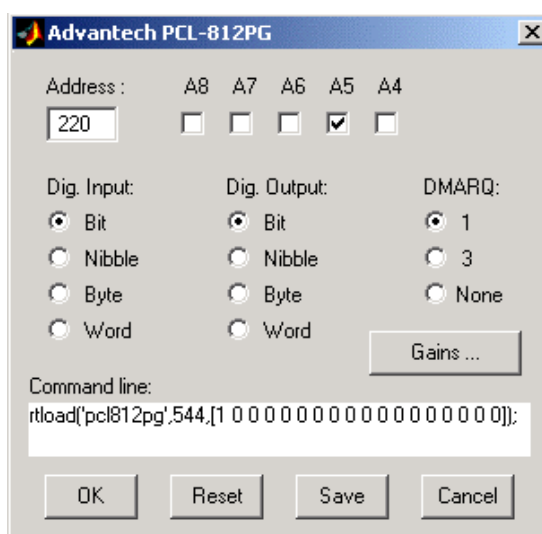
(Obr. 8) a (Obr. 9) zobrazují průběh regulace výšky hladiny navrženým regulátorem. Vidíme, že regulace hladiny v obou nádržích proběhla na přijatelné úrovni. U nádrže č. 1 byla na počátku nastavena skoková změna žádané hodnoty z 0 na 0,5. Regulovaná veličina dosáhla této hodnoty asi za 25 sekund a při dalších změnách žádané hodnoty se ustalovala rychleji. Podobně tomu bylo u nádrže č. 2, která dosáhla žádané hodnoty, při její skokové změně z 0 na 0,35, asi za 15 sekund. Můžeme říct že navržený regulátor vyhovuje našim požadavkům.

3 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY

1) Podrobně prostudujte a ověřte zapojení úlohy podle (Obr. 12). Měření laboratorních úloh a regulaci soustav provádějte v programovém prostředí Matlab.

2) Podle zadání vyučujícího proveďte některá z následujících zadání:

a) Změřte statickou charakteristiku obou nádrží tak, že na vstup soustav postupně přivedete hodnoty 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1. Blokové schéma pro měření statické charakteristiky je na (Obr. 13). Po dvojitém kliknutí na blok Adapter vyberte z nabídky ovladač technologické karty 'pcl812pg.rtd'. Zobrazí se dialogové okno, které je uvedené na obrázku (Obr. 10). Vše potvrďte.



Obr.10. Dialogové okno pro blok Adapter

Další nastavení proveďte pro blok RT In a RT Out v dialogovém okně na (Obr. 11). Do okna Sample time zvolte vzorkovací periodu. Doporučená hodnota je 0.5 sekund. Do okna Adapter channels nastavte následující hodnoty:

Nádrž č.1:

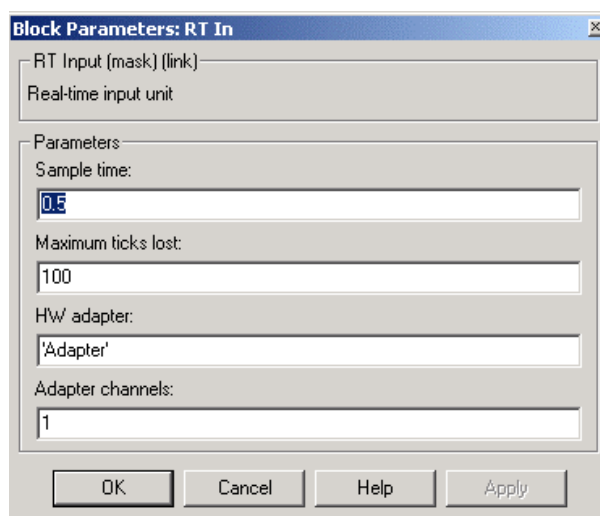
pro blok RT In hodnotu1

pro blok RT Out hodnotu.....12

Nádrž č. 2:

pro blok RT In hodnotu2

pro blok RT Out hodnotu.....13



Obr.11. Dialogové okno pro blok RT In

b) Proveďte identifikaci soustavy jedné z nádrží. Pro naměření přechodové charakteristiky volte pro nádrž č.1 vstupní signál 0.5 a pro nádrž č.2 volte 0.2. Vyhodnocení proveďte například v programu Excel.

c) Navrhněte regulátor pro řízení obou nádrží. Můžete použít PI regulátor navržený pomocí metody požadovaného modelu (dříve psané jako inverze dynamiky).

Přenosy nádrží uvažujte následující:

přenos pro nádrž č.1:

$$G_{1(s)} = \frac{0,8554}{36,67s + 1}$$

přenos pro nádrž č.2:

$$G_{2(s)} = \frac{1,311}{54,12s + 1}$$

Výpočetní vztahy pro návrh regulátoru metodou požadovaného modelu podle rovnic (6) a (7) :

$$T_I = T$$

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

kde K je zesílení a T je časová konstanta soustavy.

Časovou konstantu T_w volte tak, aby nedocházelo k velkým překmitům a s ohledem na omezení akčního zásahu, například $T_w = 15s$.

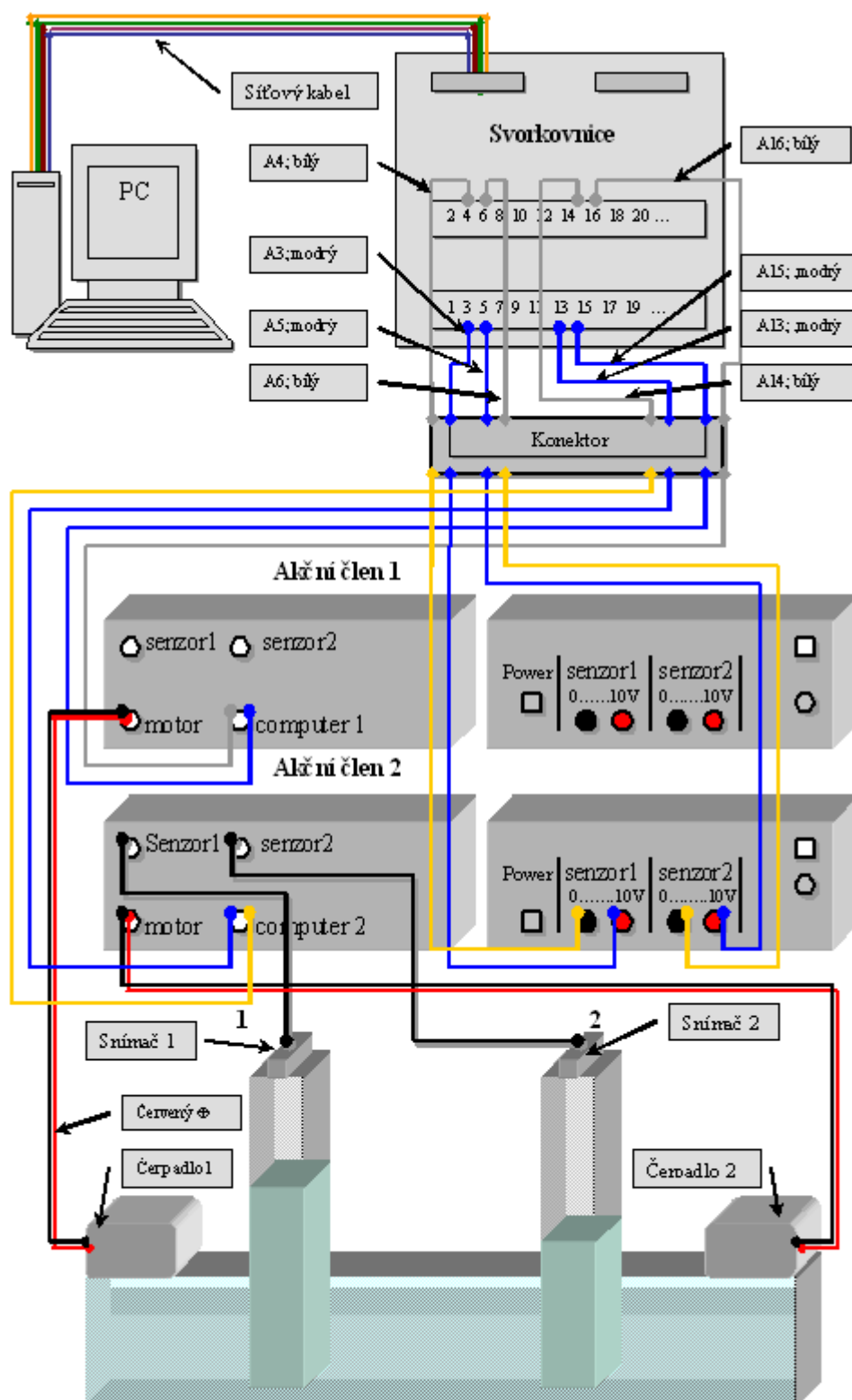
V programu Matlab vytvořte blokový model pro řízení vodních nádrží. Příklad je uveden na (Obr. 14). Přenos PI regulátoru je ve tvaru:

$$G_R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} \quad (10)$$

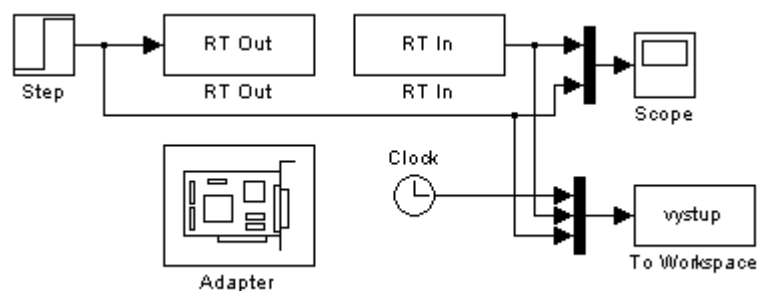
Proto je nutno parametry regulátoru přepočítat podle rovnic (8) a (9):

$$r_0 = k_R$$

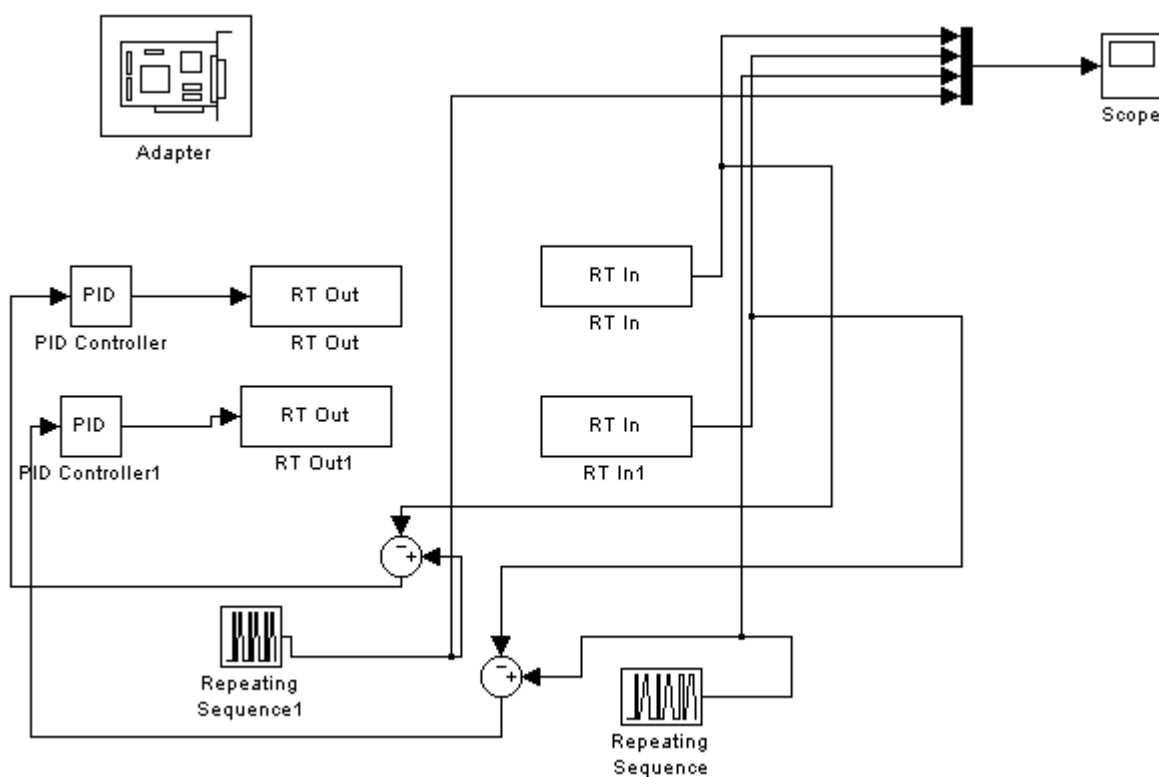
$$r_{-1} = \frac{r_0}{T_I}$$



Obr. 12. Připojení soustavy nádrží k počítači



Obr. 13. Schéma modelu pro změření statické charakteristiky



Obr. 14. Schéma modelu pro řízení soustavy vodních nádrží

3) Naměřené hodnoty vyhodnoťte a do protokolu uveďte:

ad a) vykreslete statickou charakteristiku

vyjádřete tuto závislost rovnicí

ad b) vykreslete naměřenou přechodovou charakteristiku

proved'te aproximaci přechodové charakteristiky a určete spojitý přenos $G(s)$

ad c) porovnejte průběh regulačního pochodu reálného modelu se simulací.

ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vytvoření laboratorní úlohy na reálném modelu soustavy vodních nádrží. Prvním úkolem teoretické části bylo vypracování literární rešerše k programu Matlab a Real Time Toolboxu, ve které jsou shrnuty nejdůležitější funkce pro reálné řízení laboratorních modelů.

Dalším úkolem bylo realizovat zapojení soustavy. Pro zapojení a komunikaci s počítačem bylo využito svorkovnice PCLD - 780, která je přímo spojena s technologickou kartou PCL - 812PG. Podrobné schéma pro zapojení je uvedeno na obrázku (Obr.12).

Pro samotnou regulaci bylo nutno nejdříve soustavy identifikovat. Součástí identifikace bylo určení statické charakteristiky, ze které bylo stanoveno, ve které oblasti se soustavy chovají lineárně. Každá z nádrží měla jinou citlivost na vstupní signál.

Poté byly naměřeny přechodové charakteristiky, ze kterých byly odečteny přibližné parametry přenosových funkcí a dále upřesněny metodou nejmenších čtverců v programu EXCEL.

Na základě získaných přenosových funkcí prvního řádu byl navrhnut PI regulátor. Pro výpočet parametrů regulátoru byla využita metoda požadovaného modelu, která nejlépe vyhovovala předem určeným požadavkům. Grafické průběhy regulací jsou na obrázcích (Obr.8) a (Obr.9).

Regulovaná veličina, nebo také výška hladiny kapaliny, dosáhla své žádané hodnoty za poměrně krátkou dobu a docházelo k překmitům způsobených pouze poruchami.

Na základě měření byl vypracován laboratorní návod. Studenti si mohou na reálném modelu vyzkoušet své znalosti identifikace systému a syntézy regulačních obvodů v praxi.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ADVANTECH CO., LTD., PCL-812PG Enhanced Multi-Lab Card: User's Manual, Taiwan, 1998.
- [2] ADVANTECH CO., LTD., PCLD-780 Terminal Wiring Board: User's Manual , Taiwan, 1998.
- [3] BALÁTĚ, Jaroslav: Automatické řízení. 2. vyd., Praha: Nakladatelství BEN, 2004. 664s. ISBN: 80-7300-148-9.
- [4] HLAVÁČ, Milan: Číslicová regulace výšky hladiny v soustavě vodních nádrží. VUT Brno, Fakulta technologická se sídlem ve Zlíně, 1995.
- [5] HUMUSOFT, s.r.o.: Real-Time Toolbox for MATLAB. User's Manual., Praha, 1999.
- [6] MATH WORKS Inc.: MATLAB: Function Reference, Version 7, Natick, USA, 2004.
- [7] RŮŽIČKA, Marek: Řízení mnohorozměrových systémů. Diplomová práce. VUT Brno, Fakulta technologická se sídlem ve Zlíně, 1999.
- [8] SYSEL, Martin: Adaptivní PID regulace využitím d - modelu. Diplomová práce. VUT Brno, Fakulta technologická se sídlem ve Zlíně, 1998.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A/D	analogově – digitální
D/A	digitálně – analogový
$G(s)$	přenosová funkce
Ch.	číslo kanálu
K	zesílení soustavy
k_R	proporcionální zesílení
PI	proporcionálně integrační
r_0	proporcionální zesílení
r_{-1}	integrující faktor
s	Laplaceův operátor
T	časová konstanta soustavy
T_d	dopravní zpoždění
T_I	integrační časová konstanta
T_w	časová konstanta uzavřeného regulačního obvodu
PC	personální počítač

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Laboratorní model soustavy vodních nádrží	7
Obr. 2. Karta ADVANTECH PCL - 812PG.....	12
Obr. 3. Svorkovnice PCLD - 780	14
Obr. 4. Graf naměřených hodnot	17
Obr. 5. Graf lineárních oblastí s regresní analýzou naměřených hodnot.....	17
Obr. 6. Přechodová charakteristika nádrže č.1 se vstupním signálem 0,5.....	19
Obr. 7. Přechodová charakteristika nádrže č.2 se vstupním signálem 0,2.....	20
Obr. 8. Graf reálného průběhu regulace výšky hladiny v nádrži č.1	23
Obr. 9. Graf reálného průběhu regulace výšky hladiny v nádrži č.2	23
Obr.10. Dialogové okno pro blok Adapter	25
Obr.11. Dialogové okno pro blok RT In.....	26
Obr. 12. Připojení soustavy nádrží k počítači.....	28
Obr. 13. Schéma modelu pro změření statické charakteristiky	29
Obr. 14. Schéma modelu pro řízení soustavy vodních nádrží	29

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Použitá sada bloků v Simulinku	11
Tab. 2. Naměřené hodnoty pro statickou charakteristiku nádrže č.1.....	16
Tab. 3. Naměřené hodnoty pro statickou charakteristiku nádrže č.2.....	16