

Návrh SW k laboratorním úlohám předmětu automatizace

Design of SW for the Course: Automation

Jan Křížek



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jan KŘÍŽEK
Osobní číslo: A08290
Studijní program: B 3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Informační a řídicí technologie

Téma práce: Návrh softwaru k laboratorním úlohám předmětu
Automatizace

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s laboratorními modely "Batyskaf" a "Pneumaticko-hydraulický model", zprovozněte je a stručně je popište.
2. Navrhněte zadání laboratorních úloh pro tyto modely v předmětu Automatizace.
3. Navrhněte SW k těmto úlohám.
4. Vypracujte vzorové laboratorní protokoly.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. KLÁN, Petr., HOFREITER, Milan, MACHÁČEK, Jiří, MODRLÁK, Osvald, SMUTNÝ, Lubomír, VAŠEK, Vladimír. 2005. Process Models for a New Control Education Laboratory. In Preprints of the 16th IFAC World Congress in Prague. Praha : IFAC, July 4 8, 2005, paper No. 02597.
2. KOLEKTIV AUTORŮ. Laboratorní úloha Batyskaf: Grantový projekt Konsorcionární přístup k vývoji experimentálních modelů GA ČR RČ. 102/03/0625. Praha, 2005. 33 s. Manuál k laboratornímu modelu. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
3. MACHÁČEK, Jiří a kol. Hydraulicko-pneumatická soustava. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, 2005. 17 s. Laboratorní úloha navržená s podporou grantu GA 102/03/0625.
4. OGATA, Katsuhiko. Matlab for Control Engineers. 1st edition, 2008. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 433 s. ISBN 978-0-13-615077-0.
5. PROKOP, Roman, MATUŠŮ, Radek, PROKOPOVÁ, Zdenka. Teorie automatického řízení – lineární spojité dynamické systémy. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. 102 s. První vydání. ISBN 80-7318-369-2.
6. ŠVEJDA, Jaromír. Studijní opora pro předmět Automatizace. Zlín, 2009. 64 s., 6 s. obr. příloh. Bakalářská práce na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí bakalářské práce Prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Pekař

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

28. července 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

4. září 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Náplní diplomové bakalářské práce je „oživení“ dvou laboratorních modelů Pneumaticko-hydraulický model a „batyskaf“, které najdou uplatnění v předmětu Automatizace, a taktéž vytvoření uživatelského programového prostředí umožňujícího studentům plnění zadaných laboratorních úloh.

Klíčová slova: Pneumatický, hydraulický, model, batyskaf, automatizace

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is a "revival" of the two laboratory models Pneumatic-hydraulic model and "bathyscaphe", which find application in the subject of automation, as well as creating user software environment enabling students to laboratory performance of assigned tasks.

Keywords: Pneumatic, hydraulic, model, bathyscaphe, automation

Děkuji všem kteří mě podporovali v napsání a dodělení této bakalářské práce a také svému vedoucímu za umožnění pracovat na této práci panu Ing. Liboru Pekařovi.

„Co slyším, to zapomenu. Co vidím, si pamatuji. Co si vyzkouším, tomu rozumím.“

Konfucius

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 BATYSKAF	11
1.1 POPIS MODELU BATYSKAF	11
1.2 REÁLNÉ ŘÍZENÍ BATYSKAFU	12
1.3 ÚDRŽBA	14
2 PNEUMATICKO-HYDRAULICKÁ SOUSTAVA	15
2.1 POPIS PNEUMATICKO-HYDRAULICKÉ SOUSTAVY.....	15
2.2 REÁLNÉ ŘÍZENÍ PNEUMATICKO-HYDRAULICKÉ SOUSTAVY	16
2.3 ÚDRŽBA	17
3 POPIS VÝVOJOVÉHO PROSTŘEDÍ MATLAB.....	18
3.1 TEXTOVÝ EDITOR	19
3.2 NÁPOVĚDA	20
II PRAKTICKÁ ČÁST	21
4 ZPROVOZNĚNÍ MODELU BATYSKAF	22
4.1 SOFTWARE PRO MODEL BATYSKAF	22
4.1.1 Popis funkcí.....	22
4.2 LABORATORNÍ ÚLOHY PRO MODEL BATYSKAF.....	23
4.2.1 Identifikace naměřené přechodové charakteristiky	23
4.2.1.1 Zadání	23
4.2.1.2 Podklady	24
4.2.2 Návrh regulátoru	25
4.2.2.1 Zadání	25
4.2.2.2 Podklady	26
5 ZPROVOZNĚNÍ MODELU HYDRAULICKO-PNEUMATICKÁ SOUSTAVA	27
5.1 SOFTWARE PRO MODEL HYDRAULICKO-PNEUMATICKÉ SOUSTAVY	27
5.1.1 Popis funkcí.....	27
5.2 LABORATORNÍ ÚLOHY PRO MODEL HYDRAULICKO-PNEUMATICKÉ SOUSTAVY	28
5.2.1 Identifikace naměřené přechodové charakteristiky.....	28
5.2.1.1 Zadání	28
5.2.1.2 Podklady	29
5.2.2 Návrh regulátoru	31
5.2.2.1 Zadání	31
5.2.2.2 Podklady	32
ZÁVĚR	33
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	34
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	35
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	37
SEZNAM OBRÁZKŮ	38
SEZNAM TABULEK.....	39
SEZNAM PŘÍLOH.....	40

ÚVOD

Tato bakalářská práce spočívá v práci na dvou reálných výukových modelech, tak aby se na nich mohlo pracovat. Práce na nich spočívá v popsání obou dvou modelů, z čeho se skládají, jak byly navrženy, jaké mají parametry, kdo, kdy, jak a za jakým účelem je vyrobil. Později se dovíte něco i o vývojovém prostředí MATLAB/SIMULINK, ve kterém budou zpracovány programy pro práci na obou dvou modelech, jinými slovy pro jejich řízení.

Model Batyskaf je výukový model pro měření a regulaci, je to takový kalíšek v trubce napuštěné vodou otočený dnem vzhůru. Smysl celého modelu spočívá v regulaci v poloze kalíšku (dále jen plováček). Tento plováček na základě přidaného tlaku nebo ubraného tlaku stoupá či klesá v trubici napuštěné vodou.

Model Pneumaticko-Hydraulické soustavy je výukový model pro měření a regulaci. Tento model je složen z více jak dvou nádob (přesný počet – 6) které jsou předem rozdělené na jejich funkci, je složen ze dvou nádob na levé straně pro hydraulickou manipulaci, dvou nádob ve středu určených pro pneumatickou manipulaci a dvou nádob na pravé straně určených pro opět hydraulickou manipulaci. Model obsahuje i čerpadla, která přivádí vodu do určených hydraulických nádob. Každá z dvojic je postavena nad sebou, tudíž, přívod vody leze do horních nádob. Smyslem celého modelu je regulace průtoku vody čerpadel a výšky hladiny v hydraulických nádobách.

Software pro řízení, tedy pro měření a regulaci obou modelů, je psán v programovém prostředí MATLAB/SIMULINK. Jde o jednoduchou komunikaci mezi počítačem a modelem pomocí tohoto vývojového prostředí. Každý program je určen pro daný model tak, že jsou s nimi propojeny úlohy, které se v rámci výuky budou plnit.

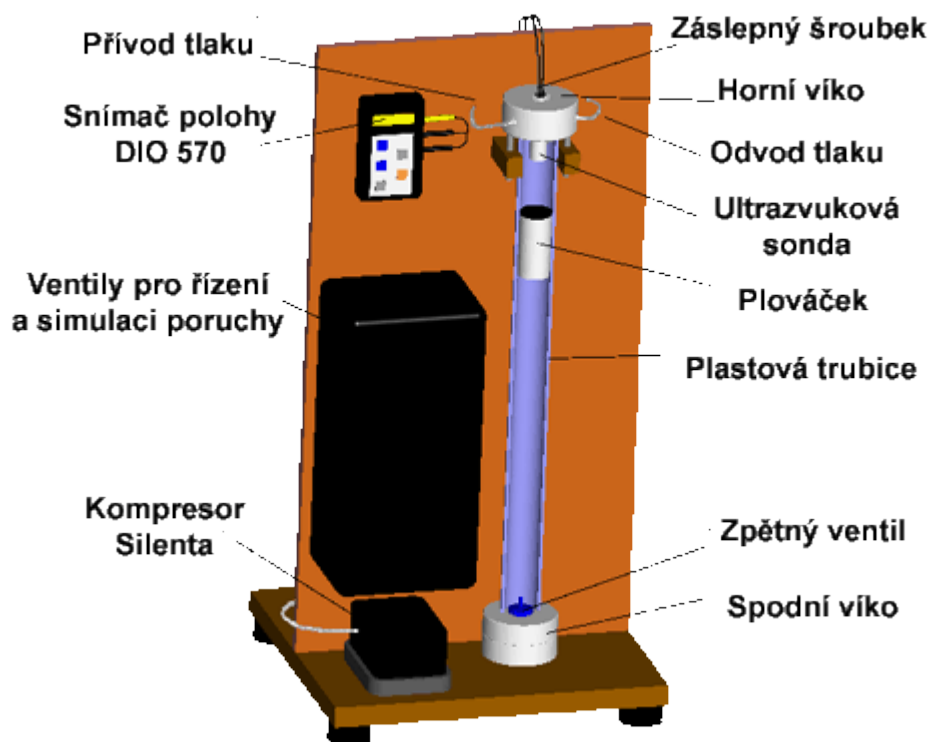
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BATYSKAF

Jde o plováček ponořen v trubce naplněné vodou a pomocí regulace tlaku v trubce, mění se poloha plováčku. Cílem je měřit jeho polohu.

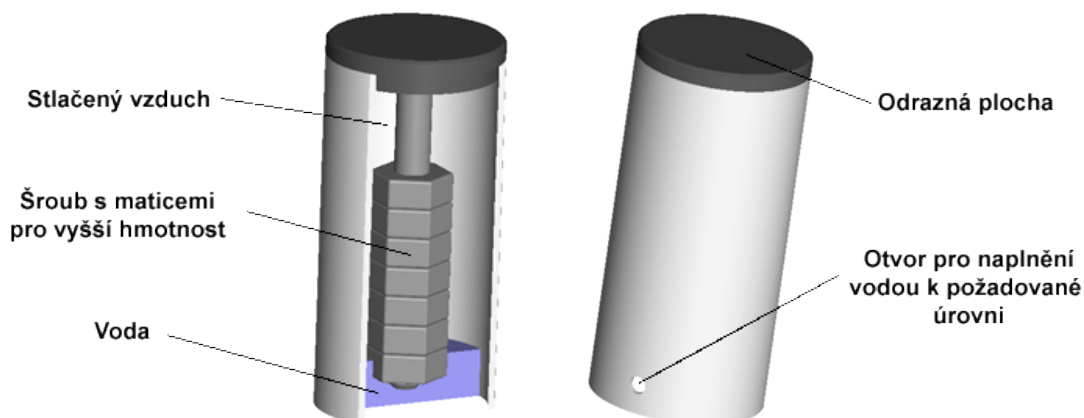
1.1 Popis modelu Batyskaf

Model je složen z duté průhledné trubice, naplněné vodou, v níž je plováček otočen dnem vzhůru. Tato trubice je zazátkovaná horním víkem, na němž je přimontován odvod a přívod tlaku, dále pak ultrazvuková sonda, která měří polohu plováčku. Model také obsahuje snímač polohy DIO 570, ventily pro řízení a simulaci poruchy a kompresor Silenta. [2]



Obrázek 1 - Popis soustavy Batyskaf [7]

Plováček je dutý a otočen dnem vzhůru, jak již bylo zmíněno. Díky umělohmotnému materiálu je jeho hmotnost malá, proto je zatížen pomocí šroubu a maticemi aby jeho hmotnost narostla. U jeho otevřené strany je otvor pro naplnění vody k požadované úrovni. Plováček je díky senzoru měřen bezdotykově. [2]



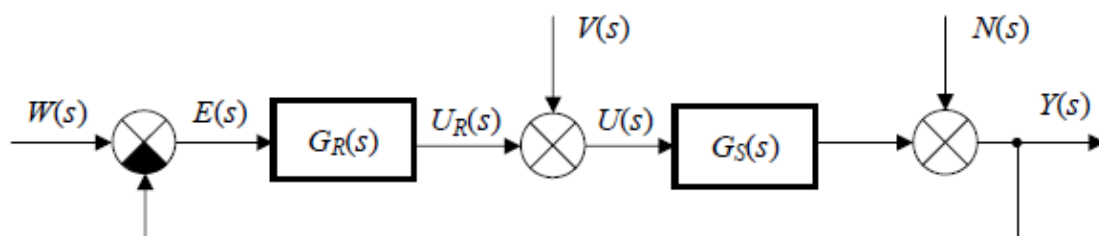
Obrázek 2 - Popis plováčku [7]

Princip změny polohy plováčku je v tom, že v rovnovážném stavu je tíhová síla rovna vztlačové síle. Zvýší-li se tlak v trubici, zmenší se objem vzduchu v plováčku. Následně je objem vody vytlačené menší a tím i síla vztlačová. Gravitační síla bude menší než vztlačová, díky čemuž plováček klesne. [2]

1.2 Reálné řízení Batyskafu

Model je možné řídit v jednorozměrné soustavě.

Schéma řídicí a řízené jednotky



Obrázek 3 - Schéma soustavy

w – žádaná veličina – poloha plováčku

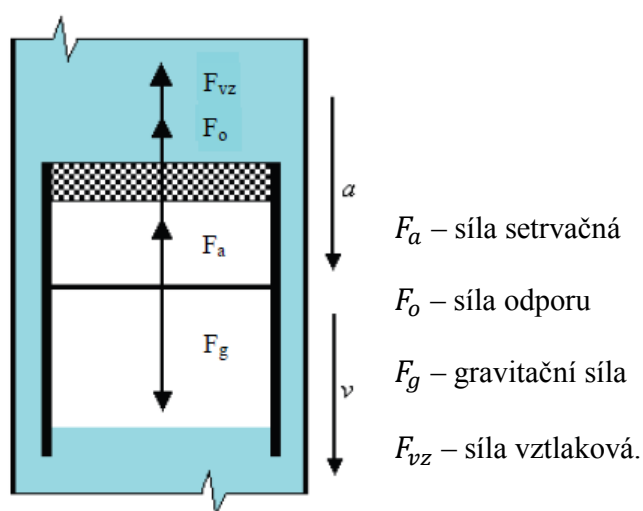
y – výstupní veličina – poloha plováčku

u – akční veličina – tlak

e – regulační odchylka – $e = w - y$

v, n – poruchové veličiny

Fyzikální analýza plováčku



Obrázek 4 - Síly plováčku [9]

$$F_a = m \cdot a = m \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \quad (1)$$

$$F_o = \alpha \cdot v = \alpha \cdot \frac{dh}{dt} \quad (2)$$

$$F_g = m_k \cdot g \quad (3)$$

$$F_{vz} = V \cdot \rho \cdot g \quad (4)$$

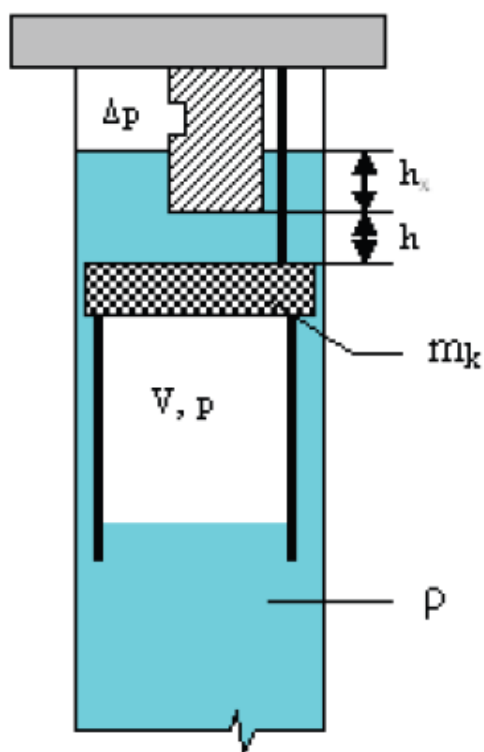
Kde α je konstanta odporu při obtékání plováčku v $[N \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}]$, m je hmotnost plováčku v [kg] a m_k je korigovaná hmotnost plováčku v [kg]. [9]

Součet všech těchto sil se musí rovnat nule.

$$F_a + F_o + F_g + F_{vz} = 0 \quad (5)$$

Po dosazení

$$m \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + \alpha \cdot \frac{dh}{dt} = m_k \cdot g - V \cdot \rho \cdot g \quad (6)$$



Obrázek 5 - Schéma batyskafu [9]

Veličiny proměnné v čase [9]

Δp [Pa]	Přetlak nad hladinou
h [m]	Vzdálenost plováčku od čidla
p [Pa]	Aktuální tlak v plováčku
V [m ³]	Aktuální objem vzduchu v plováčku

Parametry [9]

h_x [m]	Výška hladiny na úrovni čidla
m_k [kg]	Korigovaná hmotnost plováčku
p_a [Pa]	Absolutní barometrický tlak
V_0 [m ³]	Objem vzduchu plováčku při p_a

Konstanty [9]

 ρ [kg · m⁻³] Hustota kapaliny g [m · s⁻²] Gravitační zrychlení

1.3 Údržba

Před každým měřením je třeba napustit trubici čistou vodou. Objeví-li se v nádobě usazeniny, měla by se vyčistit, pak je špatné měření.

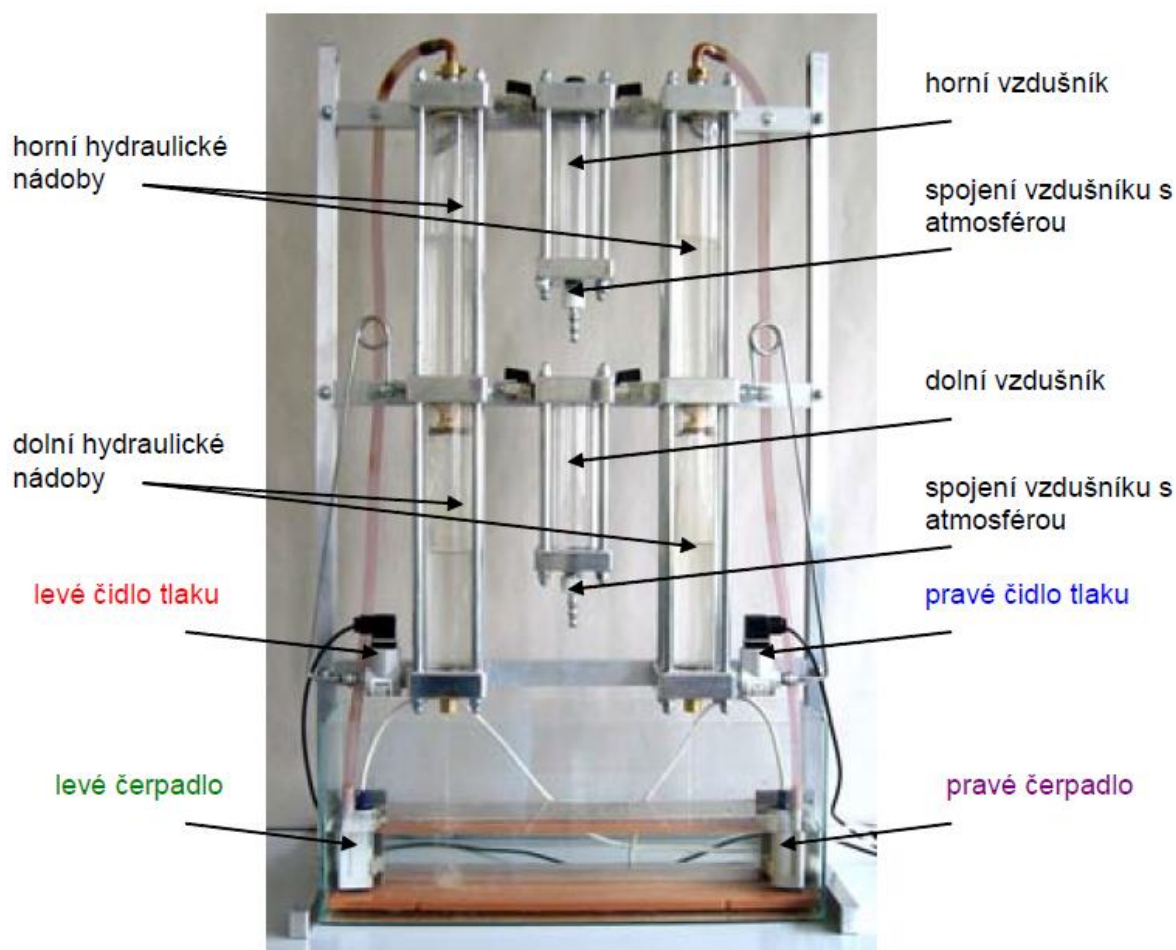
Po skončení všech měření, je třeba vodu vylít. [2]

2 PNEUMATICKO-HYDRAULICKÁ SOUSTAVA

Jde o dvourozměrnou soustavu s vnitřními interakcemi. Je to model, který kombinován hydraulickými a pneumatickými prvky. Kádě s vodou jsou propojeny přes vzdušníky. Vzdušníky tvoří vazbu, díky které se hydraulické obvody navzájem ovlivňují. [10]

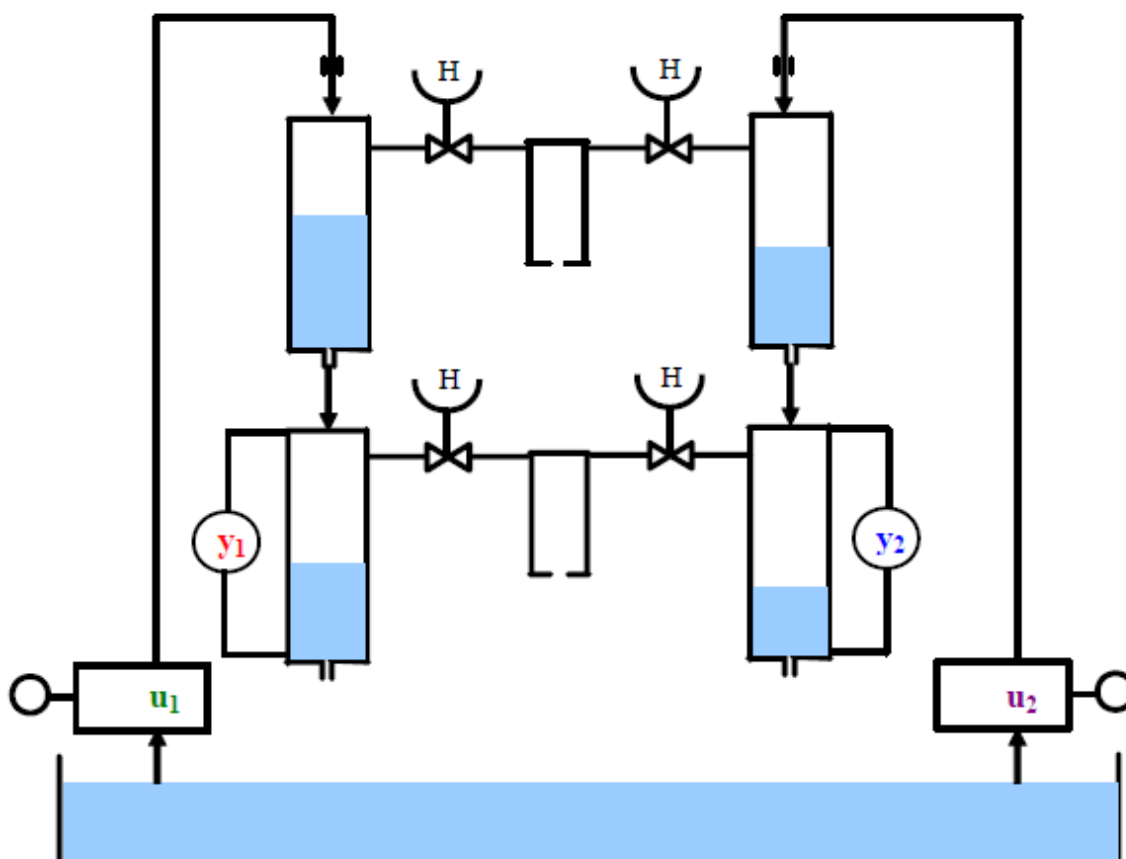
2.1 Popis Pneumaticko-hydraulické soustavy

Soustava je složena ze dvou horních hydraulických nádob a jednoho horního vzdušníku. Dále pak dvou dolních hydraulických nádob a jednoho dolního vzdušníku. Model obsahuje i čidla tlaku a čerpadla. Horní hydraulická nádoba je spojena s dolní hydraulickou nádobou, s čerpadlem a s horním vzdušníkem. Dolní nádoba je navíc propojena s dolním vzdušníkem a s čidlem tlaku. Vzdušníkům je umožněno spojení s atmosférou. [3]



Obrázek 6 - Popis Hydraulicko-pneumatické soustavy [11]

Vzdušníky obsahují clony, s nimiž lze vytvářet jisté poruchy v měření. Úplně dole je zásobní nádrž napuštěna vodou pro čerpadla, která mohou dodávat horním hydraulickým nádobám vodu. Díky cloně ve spodní části horní nádoby protéká voda do dolní a za přístupu clony na dně dolní nádoby, protéká voda zpět do zásobní nádrže. Elektronická část modelu obsahuje výkonový člen pro ovládání čerpadel a zdroj napětí pro napájení čerpadel a snímačů tlaku [3]



Obrázek 7 - Schéma Hydraulicko-pneumatické soustavy [11]

2.2 Reálné řízení Pneumaticko-hydraulické soustavy

Na modelu lze měřit jak spojitě tak i diskrétní algoritmy řízení pro jednorozměrné i dvourozměrné soustavy. Jednorozměrná soustava je složena jen z jedné horní hydraulické nádoby a jedné dolní hydraulické nádoby, spolu s nimi i vzdušníky. Dvourozměrná soustava obsahuje všechny nádoby. Pomocí ručních ventilů lze zavádět poruchy. [10]

Na základě fyzikálních zákonů a konstrukčního postavení modelu, můžeme odvodit matematický model soustavy. [10]

Bilance hmoty založená na zákonu zachování hmoty

$$Q_1 = Q_2 + \rho S \frac{dh}{dt} \quad (7)$$

Kde $Q_1 [kg \cdot s^{-1}]$ – vstupní průtok vody, $Q_2 [kg \cdot s^{-1}]$ – výstupní průtok vody resp. vzduchu, $S [m^2]$ – průřez nádoby, $h [m]$ – výška hladiny, $\rho [kg \cdot m^{-3}]$ – hustota vody resp. vzduchu. [10]

Výtok vody z nádoby

$$Q_2 = \mu S \cdot \sqrt{2\rho} \cdot \sqrt{h\rho g + p_1 - p_2} \quad (8)$$

Kde $g [m \cdot s^{-2}]$ – gravitační zrychlení, $\mu [-]$ – výtokový součinitel, $S [m^2]$ – průřez clony, $\rho [kg \cdot m^{-3}]$ – hustota vody, $p_1 [Pa]$ – tlak nad vodní hladinou, $p_2 [Pa]$ – tlak pod clonou. [10]

Stavová rovnice plynů

$$pV = mRT \quad (9)$$

Kde $p [Pa]$ – tlak vzduchu, $V [m^3]$ – pneumatický objem, $m [kg]$ – hmotnost vzduchu, $R [J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}]$ – plynová konstanta, $T [K]$ – teplota. [10]

2.3 Údržba

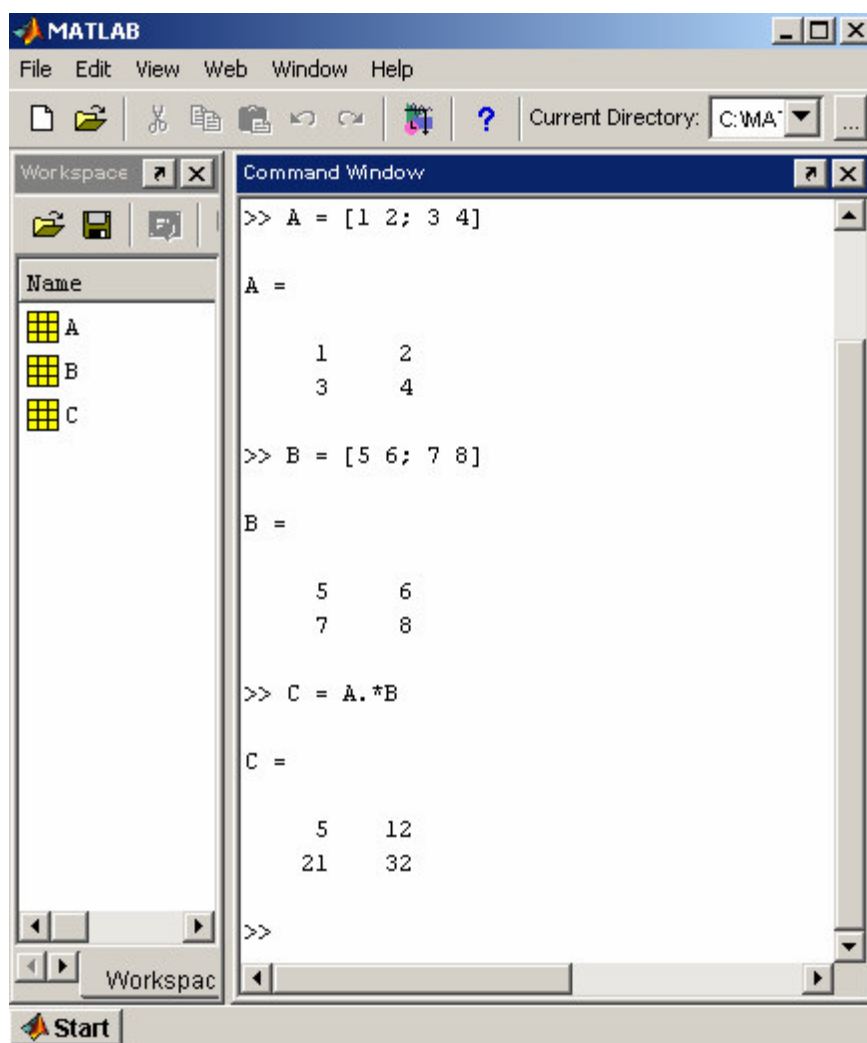
Před měřením je třeba doplnit do zásobovací nádrže vodu. Po skončení měření je třeba vodu z nádob vypustit a ze zásobovací nádrže vodu odstranit, jako prevence před usazeninami.

Objeví-li se usazeniny, měli by se vyčistit, má to negativní vliv na měření. [3]

3 POPIS VÝVOJOVÉHO PROSTŘEDÍ MATLAB

MATLAB (MATrix LABoratory = maticová laboratoř) je výkonné interaktivní prostředí pro vědecké výpočty. Spojuje technické výpočty, vizualizaci dat a programovací jazyk v jednom prostředí. Společně s množstvím dostupných modulů tak vytváří ideální prostředek pro inženýry, vědce, matematiky a učitele při řešení problémů z mnoha oblastí. Aplikaci vyvíjí firma MathWorks a dodává ji s celou řadou rozšíření a toolboxů. Webové stránky firmy najdete na adrese <http://www.mathworks.com>. [12]

Na obrázku uvedeném níže (Obrázek 8) je zobrazeno pracovní prostředí MATLABu v operačním systému Windows, které se skládá z několika částí. Nejdůležitější a také nejvíce používanou částí je příkazové okno *Command Window* v pravé části okna. Slouží ke komunikaci s výpočetním jádrem MATLABu. [12]



Obrázek 8 – Prostředí MATLABu

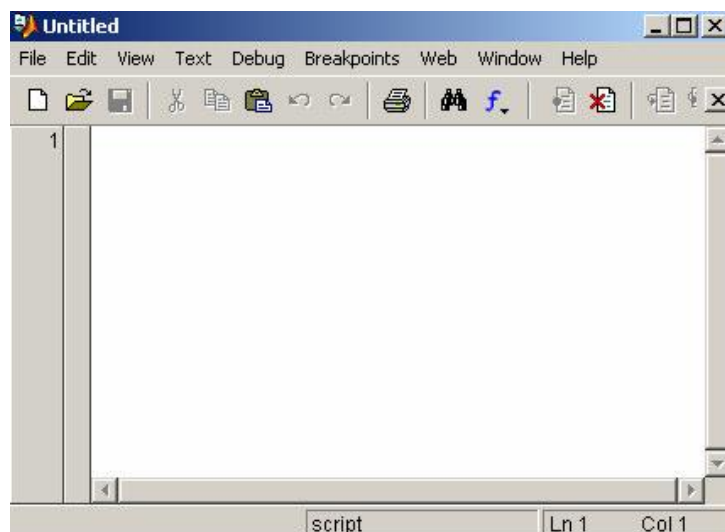
Zde jsou zadávány příkazy, vypisovaná chybová hlášení, varování nebo obsah proměnných. Levá část hlavního okna se skládá z několika samostatných oken. Jedná se o pracovní prostředí *Workspace*, které slouží ke sledování použitých proměnných, historie příkazů *Command History*, kde se průběžně ukládají všechny příkazy napsané do příkazového okna *Command Window*. V horní části okna je aktuální pracovní adresář *Current Directory*, který je možné měnit přepsáním cesty, případně výběrem pomocí tlačítka se třemi tečkami. Z aktuálního adresáře se přenosně spouští skripty a funkce.

Příkazové okno *Command Window* (Obrázek 8) se zobrazí po spuštění MATLABu a slouží ke komunikaci s výpočetním jádrem. Je to nejdůležitější část MATLABu. Slouží k zadávání příkazů uživatelem a k výpisu funkcí, varování nebo chybových výstupů.

Při práci v příkazovém okně si MATLAB pamatuje všechny zadané příkazy a hodnoty proměnných. Tyto proměnné jsou uchovány, proto není potřeba si všechny proměnné pamatovat a je možné je vyvolat později. K vyvolání předchozích příkazů je možné použít kurzorové klávesové (šípky). Stisk šípky nahoru vyvolá poslední příkaz zadaný do příkazového okna. Opakovaným stiskem se vyvolají předchozí příkazy. Podobně stiskem šípky dolů se vyvolají následující příkazy. Tabulátor je velice užitečný pro doplňování názvů proměnných nebo funkcí. Stačí napsat pouze začátek názvu proměnné, stisknout tabulátor a MATLAB sám doplní správný název. V případě, že existuje více možností, nabídne jejich seznam, ze kterého si uživatel může vybrat požadovanou proměnnou nebo příkaz a potvrdit klávesou Enter. Při složitějších výpočtech a použití většího množství proměnných se může stát jejich výpis nepřehledný. Příkaz *clear* bez parametru smaže všechny použité proměnné v prostředí. Pokud je za příkazem uveden indikátor proměnné, smaže se pouze ta proměnná, které se indikátor týká. [12]

3.1 Textový editor

Textový editor slouží k tvorbě skriptů, funkcí a ke spuštění a ladění programů. Okno s novým souborem vidíme na následující stránce (Obrázek 9). Vyvoláme ho z hlavní nabídky, hlavního okna, voláním položek *File – New M-file*. [12]

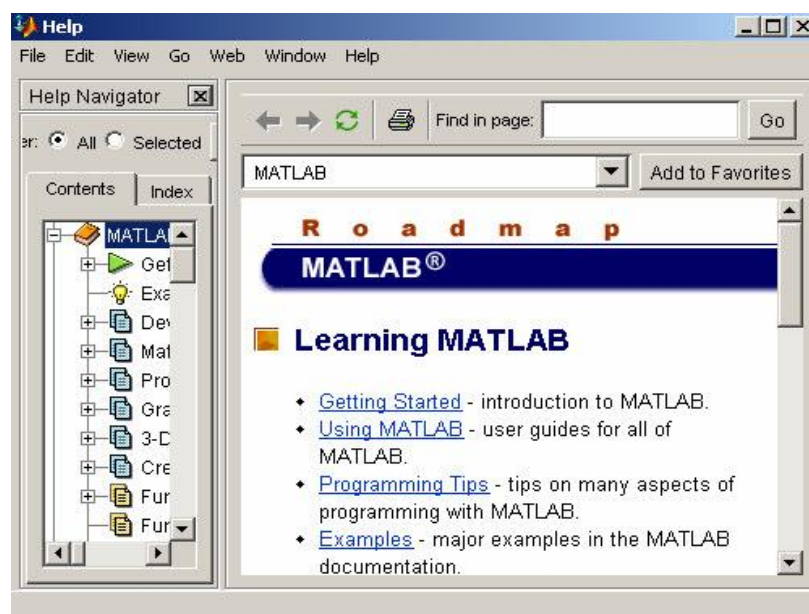


Obrázek 9 – Textový editor

3.2 Náповěda

Součástí MATLABu je vcelku kvalitní nápověda, která obsahuje mimo syntaxe funkcí i velké množství příkladů. Ke zvládnutí práce s MATLABem je nutné osvojit si používání nápovědy.

Nápovědu k MATLABu vyvoláme z hlavní nabídky voláním položek *Help – Matlab Help*. Okno nápovědy (Obrázek 10) obsahuje několik důležitých kapitol. První z nich je kapitola *Začínáme (Getting Started)*, která je věnována začátečníkům a kde se dozvíte o základech práce s MATLABem. [4]



Obrázek 10 – Náповěda MATLABu

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ZPROVOZNĚNÍ MODELU BATYSKAF

K batyskafu se připojí kompresor a zdroj napájecího napětí, který se následně připojí do zásuvky. Z batyskafu jsou vedeny dva sériové porty, ty se propojí s počítačem přes sériové kabely. U jednoho z kabelů je požitá redukce USB na sériový port 9-pin RS 232 pro absenci více sériových portů. Bude-li v budoucnu požit počítač s více sériovými porty, nebude již potřeba redukce, ale musela by se v programu přepsat COM právě na jiný otevřený port.

U batyskafu je třeba do plastové trubice vpravit vodu, k tomu je zapotřebí odejmout vrchní víko, v níž je uložena ultrazvuková sonda. Je třeba postupovat správně. Víko je přišroubováno tak, aby po utáhnutí, nebylo možno pootáčet trubicí. Trubice se naplní do poloviny vodou, do ní se pak vloží kalíšek otočen dnem vzhůru tak, aby se mohl nadnášet, následně se dolije vodou tak, aby hlava senzoru byla ponořena.

4.1 Software pro model Batyskaf

Program pro ovládání modelu je psán jako funkce v programu MATLAB. Ovládání a popisy funkcí budou popsány níže. Některé funkce jsou pouze upraveny.

4.1.1 Popis funkcí

Podpůrné funkce pro komunikaci s batyskafem:

$s = \text{Open_B}(com)$ - vytvoření objektu serial na portu 'COMx' a jeho otevření

$\text{Zad_B}(s, x)$ - vyslání hodnoty s kontrolou na horní a dolní meze

$y = \text{Mer_B}(s)$ - vyčtení poslední přijaté hodnoty

$\text{Close_B}(s)$ - ukončení komunikace, uvolnění portu a zrušení objektu

$\text{Start}(s)$ - inicializace a zahájení komunikace

Hlavní funkce pro celkové měření:

$P_char(o)$ - určení přechodové charakteristiky a její zobrazení

$PD_regulace(w, kp, Td)$ - měření regulace a její zobrazení

4.2 Laboratorní úlohy pro model Batyskaf

Pro soustavu batyskaf byly navrženy dvě úlohy. Jedna pro identifikaci soustavy, která je astatického charakteru a druhá pro návrh daného regulátoru na daný identifikovaný přenos.

4.2.1 Identifikace naměřené přechodové charakteristiky

4.2.1.1 Zadání

Identifikace regulované soustavy

Proveďte identifikaci regulované soustavy „Batyskaf“.

1. Připojte k batyskafu kompresor a zdroj napájecího napětí, spusťte program MATLAB R2009b.
2. V programu MATLAB přejděte do podadresáře Batyskaf32 a do Command Window napište funkci ***P_char*** (*o*), kde za “*o*” dosadíte libovolné číslo mezi 10 a 80.
3. Po skončení měření otevřete položku *data.mat*. Vyhodnoťte naměřené údaje a zpracujte do protokolu.
4. Vykreslete naměřenou přechodovou charakteristiku, proveďte její aproximaci, určete spojitý přenos $G(s)$, určete její diferenciální rovnici, ověřte získaný model v programu MATLAB a porovnejte s naměřenou charakteristikou (v jednom grafu).

Poznámka:

Zadání práce může být zpřesněno, příp. rozšířeno o další požadavky, které vyplynou při řešení tohoto zadání.

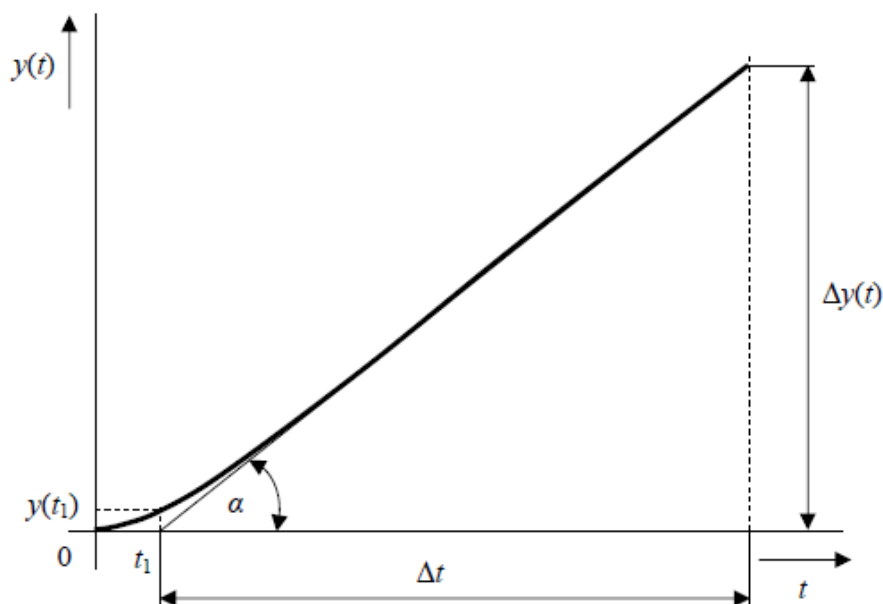
4.2.1.2 Podklady

Aproximace integrační soustavy vyššího řádu

Integrační soustavy s astatismem prvního řádu můžeme aproximovat spojitým přenosem

$$G(s) = \frac{k_v}{s(Ts + 1)^n}$$

Kde k_v je směrnice asymptoty k přechodové charakteristice, T je časová konstanta.



Obrázek 11 – Přechodová charakteristika astatické soustavy

Pro konstanty aproximační soustavy platí

$$\frac{y(t_1)}{k_v} = t_1 \frac{n^{(n-1)}}{(n-1)!} e^{-n}$$

$$\text{Kde } t_1 = nT \Rightarrow T = t_1/n$$

$$k_v = tg(\alpha) = \frac{\Delta y(t)}{\Delta t}$$

Poměr $f(n) = y(t_1) / (t_1 \cdot k_v)$ je funkcí pouze n a můžeme jej využívat na určení řádu soustavy (viz. Tabulka 1).

Tabulka 1 – Tabulka hodnot pro vyhodnocování integračních soustav

n	1	2	3	4	5	6
$\frac{y(t_1)}{(t_1 \cdot k_v)}$	0,368	0,271	0,224	0,195	0,175	0,16

4.2.2 Návrh regulátoru

4.2.2.1 Zadání

Návrh regulátoru pro soustavu batyskař

1. Pro vypočtený statický přenos $G(s)$ z předešlé úlohy navrhnete regulátor pro správnou regulaci.
2. Pomocí metody požadovaného modelu zjistěte konstanty k_p a T_D při periodě $T=1,5s$.
3. Připojte k batyskaři kompresor a zdroj napájecího napětí, spusťte program MATLAB R2009b.
4. V programu MATLAB přejděte do podadresáře Batyskař32 a do Command Window napište funkci ***PD_regulace*** (w, k_p, T_d), kde za “ w ” dosadíte hodnotu Δy kterou jste použili v identifikaci soustavy, za “ k_p ” a “ T_d ” dosadíte vypočtené hodnoty.
5. Po skončení měření otevřete položku *data.mat*. Vyhodnoťte naměřené údaje a zpracujte do protokolu.
6. Porovnejte získaný regulační model v programu MATLAB/SIMULINK a porovnejte s naměřenou charakteristikou

Poznámka:

Zadání práce může být zpřesněno, příp. rozšířeno o další požadavky, které vyplynou při řešení tohoto zadání.

4.2.2.2 Podklady

Návrh regulátoru Metodou požadovaného modelu

Tato metoda nastavení parametrů PSD regulátoru vychází z její spojité verze nastavení parametrů PID regulátoru, tedy ze spojité verze metody požadovaného modelu.

Tabulka 2 – Pro spojitou verzi metody

Regulovaná soustava	typ	kp		T_D
		$L = 0$	$L > 0$	
$G_s(s) = \frac{c_s}{s} e^{-Ls}$	P	$\frac{1}{c_s T_w}$	$\frac{a_0}{c_s}$	-
$G_s(s) = \frac{c_s}{s(T_1 s + 1)} e^{-Ls}$	PD	$\frac{1}{c_s T_w}$	$\frac{a_0}{c_s}$	T_1

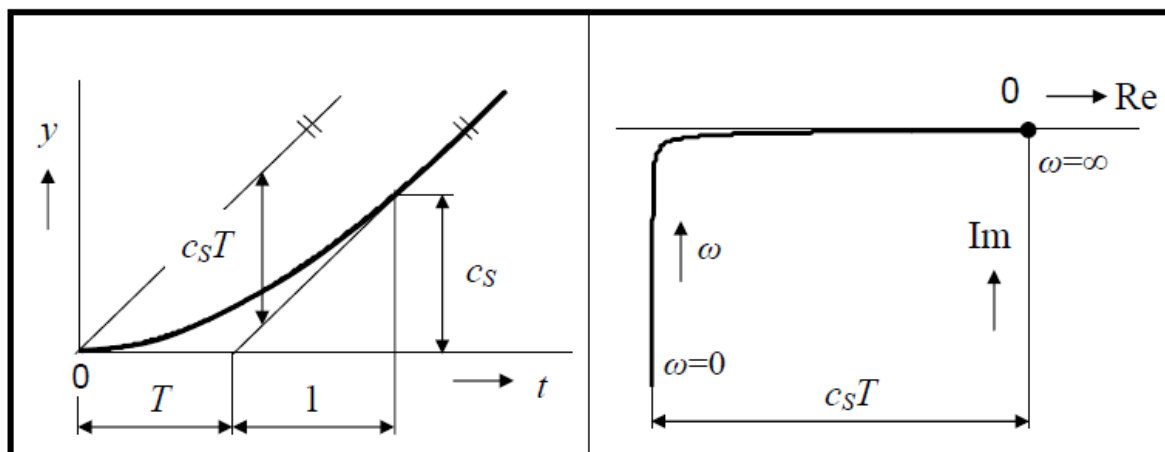
Tabulka 3 – Pro diskrétní verzi metody

Regulovaná soustava	typ	kp		T_D
		$L = 0$	$L > 0$	
$G_s(s) = \frac{c_s}{s} e^{-Ls}$	P	$\frac{2}{c_s(2T_w + T)}$	$\frac{a_0}{c_s}$	-
$G_s(s) = \frac{c_s}{s(T_1 s + 1)} e^{-Ls}$	PD	$\frac{2}{c_s(2T_w + T)}$	$\frac{a_0}{c_s}$	$T_1 - \frac{T}{2}$

Časovou konstantu regulačního obvodu T_w je možno určit ze vztahu

$$\frac{T}{T_w} \leq 0,286$$

Statický činitel rychlost c_s lze určit z přechodové charakteristiky či Nyquistovi křivky jak je ukázáno na obrázku 12.

Obrázek 12 – Přechodová charakteristika a Nyquistova křivka pro určení c_s

5 ZPROVOZNĚNÍ MODELU HYDRAULICKO-PNEUMATICKÁ SOUSTAVA

K Hydraulicko-pneumatické soustavě (dále jen H-P soustava), je připojena elektronická ovládací jednotka, která je připojena do zásuvky. Obsahuje výkonový člen pro ovládání čerpadel a zdroj napětí pro napájení snímačů tlaku. K ní je připojena měřicí jednotka CTRL V3, která je též připojena do zásuvky. K CTRL V3 je připojen kabel RS232 přes kterou je prováděna komunikace s počítačem.

H-P soustava osahuje skleněnou kád', do níž se nalije destilovaná voda. K naplnění bohatě vystačí 3 jedna a půl litrové láhve. Důležité je, aby čerpadla byla ponořena ve vodě. Při plnění nádob nesmí dojít k přetečení vody do vzdušníku a k tlakovým čidlům. Vzhledem k tomu že je soustava zastaralá, je možné použít pouze pravou část tohoto modelu, neboť u levé části je poničen přívod vody do horní nádoby. Po opravení této závažnosti, je možné využít plně model.

5.1 Software pro model Hydraulicko-pneumatické soustavy

Program pro ovládání modelu je psán jako funkce v programu MATLAB. Ovládání a popisy funkcí budou popsány níže. Některé funkce jsou pouze upraveny.

5.1.1 Popis funkcí

Podpůrné funkce pro komunikaci s H-P soustavou:

$s=rstv3(scom)$ - Zavádí sériové spojení s měřicí jednotkou CTRL V3

$setv3_t(s,sampling_period)$ - Nastaví interval zpráv z měřicí jednotky CTRL V3

$setv3_ua(s,channel,value)$ - Nastaví analogový výstup na CTRL V3

$[ya,yd]=getv3_allinputs(s)$ - Přečte všechny vstupy CTRL V3 v časovém období definovaném funkcí $setv3_t$

Hlavní funkce pro celkové měření:

$P_CH_f(W)$ - Určení přechodové charakteristiky

$PID_f(W, kp, Ti, Td)$ - Měření regulace

$H=Kresli(T,N,UP,YP,W)$ - Kreslení grafu pro funkci P_CH_f

$H=KresliPID(T,N,UR,YR,W)$ - Kreslení grafu pro funkci PID_f

5.2 Laboratorní úlohy pro model Hydraulicko-pneumatické soustavy

Program pro ovládání modelu je psán jako funkce v programu MATLAB. Ovládání a popisy funkcí budou popsány níže. Některé funkce jsou pouze upraveny.

5.2.1 Identifikace naměřené přechodové charakteristiky

5.2.1.1 Zadání

Identifikace regulované soustavy

Proveďte identifikaci regulované Hydraulicko-pneumatické soustavy.

1. U Hydraulicko-pneumatické soustavy připojte elektrickou ovládací jednotku a měřicí jednotku CTRL V3 do zásuvky a kád' napusťte vodou, pak spusťte program MATLAB 6.5.
2. V programu MATLAB přejděte do podadresáře H_P soustava a do Command Window napište funkci $P_CH_f(W)$, kde za "W" dosad'íte libovolné celé číslo mezi 4 a 10.
3. Po skončení měření vyhodnoťte naměřené údaje a zpracujte do protokolu.
4. Vykreslete naměřenou přechodovou charakteristiku, proveďte její aproximaci, určete spojitý přenos $G(s)$, určete její diferenciální rovnici, ověřte získaný model v programu MATLAB a porovnejte s naměřenou charakteristikou (v jednom grafu).

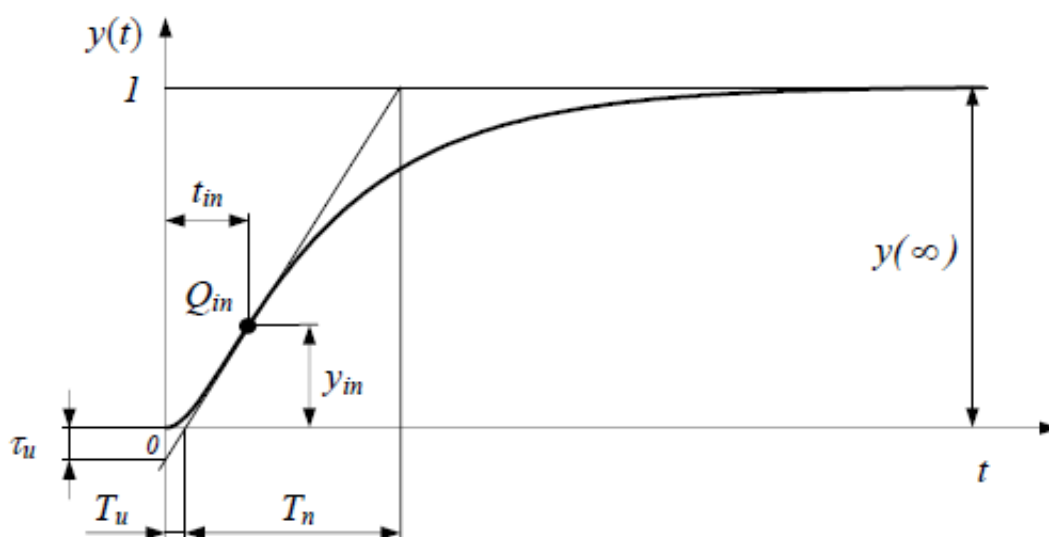
Poznámka:

Zadání práce může být zpřesněno, příp. rozšířeno o další požadavky, které vyplynou při řešení tohoto zadání.

5.2.1.2 Podklady

Strejcova metoda aproximace přechodových charakteristik

Metoda umožňuje aproximovat naměřená data soustavami n -tého řádu se s stejnými časovými konstantami. Způsob aproximace je podle úseku tečny na časové ose, sestrojena v inflexním bodě aproximované přechodové charakteristiky.



Obrázek 13 - Normovaná přechodová charakteristika statické soustavy vyššího řádu

Nejprve v normované přechodové charakteristice sestrojíme tečnu v inflexním bodě přechodové charakteristiky a určíme dobu náběhu T_n a průtahu T_u .

$$\tau_u = T_u / T_n$$

Podle τ_u můžeme zjistit, zda se jedná o soustavu se stejnými nebo různými časovými konstantami.

Inflexní bod se určí pomocí vztahu

$$\frac{y(t^i) - y(t^{i-1})}{t^i - t^{i-1}} = \max, \quad \text{pro } i = 0, 1, 2, \dots, m$$

Pomocí lineární regrese v okolí inflexního bodu se určí rovnice tečny

$$y_t = a + bt$$

Z parametrů a, b se určí doba náběhu T_n a průtahu T_u .

$$T_u = -\frac{a}{b}, T_n = \frac{1}{b}$$

Je-li $\tau_u \geq 0,104$, zvolíme pro aproximaci soustavu n -tého řádu se stejnými časovými konstantami. Z podílu T_u/T_n určíme z tabulky (viz Tabulka 4) nejbližší řád n aproximačního přenosu. Z tabulky (viz Tabulka 4) také stanovíme pro určený řád aproximačního přenosu hodnoty T_n/T , T_u/T příp. t_{in}/T , ze kterých určíme průměrnou neznámou časovou konstantu T . Přenos aproximační soustavy má tvar

$$G(s) = \frac{k}{(Ts + 1)^n}$$

Je-li $\tau_u \leq 0,104$, zvolíme pro aproximaci soustavu druhého řádu s různě velkými časovými úseky t_1 a vypočítáme součet časových konstant. Pro pořadnici $y(t_1) = 0,72$ odečteme z přechodové charakteristiky časový úsek t_1 a vypočítáme součet konstant

$$T_1 + T_2 = \frac{t_1}{1,2564}$$

Vypočítáme časový úsek

$$t_2 = 0,3574(T_1 + T_2)$$

a z naměřené přechodové charakteristiky odečteme příslušnou pořadnici $y(t_2)$.

Z grafu závislosti $y(t_2) = f(\tau)$ na obrázku (viz Obrázek 14) určíme poměr časových konstant

$$\tau = \frac{T_2}{T_1}$$

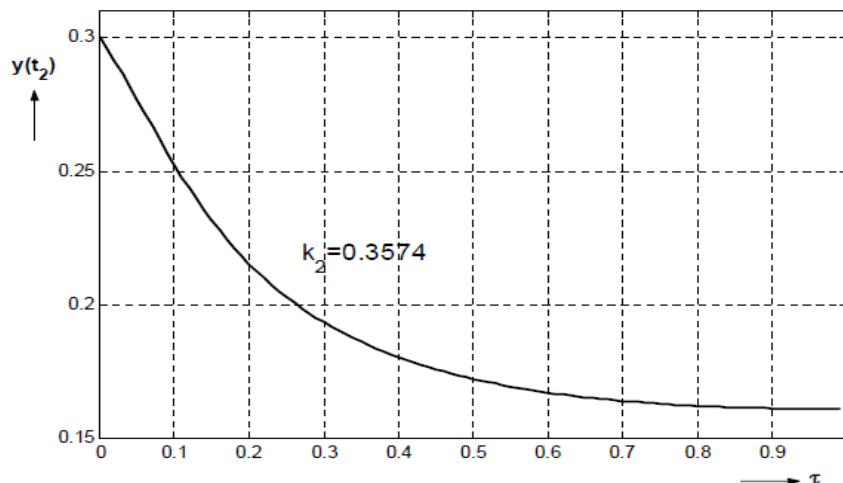
Z rovnic $\tau = \frac{T_2}{T_1}$ a $T_1 + T_2 = \frac{t_1}{1,2564}$ se určí hledané časové konstanty.

Přenos aproximační soustavy má tvar

$$G(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

Tabulka 4 – Tabulka hodnot pro vyhodnocování statických soustav n -tého řádu se stejnými časovými konstantami

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ_u	0	0,104	0,218	0,319	0,41	0,493	0,57	0,642	0,709	0,771
t_i/T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_u/T	0	0,282	0,805	1,425	2,1	2,811	3,549	4,307	5,081	5,861
T_n/T	1	2,718	3,695	4,463	5,119	5,699	6,226	6,711	7,144	7,59



Obrázek 14 – Graf pro určení poměru časových konstant $\tau_u = T_u/T_n$ pro normovanou přechodovou charakteristiku

5.2.2 Návrh regulátoru

5.2.2.1 Zadání

Návrh regulátoru pro soustavu batyskaf Hydraulicko-pneumatické soustavy

1. Pro vypočtený statický přenos $G(s)$ z předešlé úlohy navrhnete regulátor pro správnou regulaci.
2. Pomocí metody požadovaného modelu zjistíte konstanty k_p , T_I a T_D při periodě $T=2s$.
3. Připojte elektrickou ovládací jednotku a měřící jednotku CTRL V3 do zásuvky a káď napusťte vodou, pak spusťte program MATLAB 6.5.
4. V programu MATLAB přejděte do podadresáře Batyskaf32 a do Command Window napište funkci **P PID_f(W,kp,Ti,Td)**, kde za “W” dosadíte libovolné celé číslo mezi 4 a 10, za “kp”, “Ti” a “Td” dosadíte vypočtené hodnoty.
5. Po skončení měření vyhodnoťte naměřené údaje a zpracujte do protokolu.
6. Porovnejte získaný regulační model v programu MATLAB/SIMULINK a porovnejte s naměřenou charakteristikou

Poznámka:

Zadání práce může být zpřesněno, příp. rozšířeno o další požadavky, které vyplynou při řešení tohoto zadání.

5.2.2.2 Podklady

Návrh regulátoru Metodou požadovaného modelu

Tato metoda nastavení parametrů PSD regulátoru vychází z její spojité verze nastavení parametrů PID regulátoru, tedy ze spojité verze metody požadovaného modelu.

Tabulka 5 - Pro spojitou verzi metody

Regulovaná soustava	typ	kp	T_I	T_D
$G_s(s) = \frac{k}{(T_1s+1)} e^{-Ls}$	PI	$\frac{T_I}{kT_w}$	T_1	-
$G_s(s) = \frac{c_s}{(T_1s+1)(T_2s+1)} e^{-Ls}; T_1 \geq T_2$	PID	$\frac{T_I}{kT_w}$	$T_1 + T_2$	$\frac{T_1T_2}{T_1+T_2}$

Tabulka 6 - Pro diskrétní verzi metody

Regulovaná soustava	typ	kp	T_I	T_D
$G_s(s) = \frac{k}{(T_1s+1)} e^{-Ls}$	PS	$\frac{2T_I}{k(2T_w+T)}$	$T_1 - \frac{T}{2}$	-
$G_s(s) = \frac{c_s}{(T_1s+1)(T_2s+1)} e^{-Ls}; T_1 \geq T_2$	PSD	$\frac{T_I}{kT_w}$	$T_1 + T_2 - T$	$\frac{T_1T_2}{T_1+T_2} - \frac{T}{4}$

Časovou konstantu regulačního obvodu T_w je možno určit ze vztahu

$$\frac{T}{T_w} \leq 0,286$$

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zprovoznění dvou modelů batyskaf a pneumaticko-hydraulická soustava. Toto zprovoznění se podařilo u batyskafu bez problému, protože všechny komponenty pro provoz byly v pořádku. Vyskytla se jen jedna potíž, a to ta že z batyskafu jsou vedeny 2 sériové porty a počítač měl pouze jeden sériový port. Musel se proto objednat převodník RS232 na USB, díky čemuž jsem mohl na modelu plně pracovat.

Zprovoznění u modelu pneumaticko- hydraulická soustava, byl problém, protože přívod vody, hadička, byl porušen, nešlo jej jen tak spravit, snaha nahradit přerušení izolepou nebyl dobrý nápad, při spuštění se začala pod tlakem vody podmáčet až na takový vrchol, že voda šlehala všude kolem. Proto bylo nutné využívat jen pravou část tohoto modelu a tak spouštět pouze, pravé čerpadlo. Pokud se v budoucnu stane, že se tato nesrovnalost opraví, bude se moci používat plně celý model.

Jako další bod této bakalářské práce bylo napsání softwaru pro měření a regulaci těchto dvou modelů. Část programů mi byla dodána mým vedoucím bakalářské práce, načež byla upravena, tak aby studenti, kteří s nimi budou pracovat, měla jednoduché rozhraní. Využil jsem tedy programu jako funkce, do níž se zadají pouze parametry.

Poslední bod této bakalářské práce bylo navrhnout ke každému modelu úlohy, tak aby byly kompatibilní s výukovým předmětem Automatizace na fakultě aplikované informatiky. Pro každý model byly navrženy dvě úlohy. Tyto úlohy spočívají k identifikaci modelu a následně pro jejich možnou regulaci.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this work was the opening of two model bathyscaphe and pneumatic-hydraulic system. This succeeded in launching the bathyscaphe no problem, since all components are running fine. There was only one problem, and that they are kept out of the bathyscaphe two serial ports, and the computer has only one serial port. He therefore ordered RS232 to USB, making the model I was able to fully work.

Commissioning for model pneumatic-hydraulic system, was a problem because the water supply hose was broken, it was not just right, the effort to replace it shut interruption was not a good idea when you start began under water pressure flows under up to such a peak that the water lashed all around. Therefore, it was necessary to use only the right part of the model and thus run only right pump. In the future, will that fix the discrepancy, it will be able to use fully the whole model.

As another point of this thesis, was to write software for measurement and control of these two models. Part of the programs I came to my head thesis, then was modified so that students who work with them, the simple interface. So I used the program as a function, in which only the parameters are entered.

The last point of this thesis was to design a model to each task, so that they are compatible with the learning object of Automation at the Faculty of Applied Informatics. For each model were proposed two tasks. These tasks involve the identification of the model and then for their possible regulation.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KLÁN, Petr., HOFREITER, Milan, MACHÁČEK, Jiří, MODRLÁK, Osvald, SMUTNÝ, Lubomír, VAŠEK, Vladimír. 2005. *Process Models for a New Control Education Laboratory. In Preprints of the 16th IFAC World Congress in Prague. Praha: IFAC, July 4 – 8, 2005, paper No. 02597*
- [2] KOLEKTIV AUTORŮ. Laboratorní úloha "Batyskaf" : Grantový projekt "Konsorcionární přístup k vývoji experimentálních modelů" GA ČR RČ. 102/03/0625. Praha, 2005. 33 s. *Manuál k laboratornímu modelu. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní*
- [3] MACHÁČEK, Jiří a kol. *Hydraulicko-pneumatická soustava. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, 2005. 17 s. Laboratorní úloha navržená s podporou grantu GA 102/03/0625*
- [4] OGATA, Katsuhiko. *Matlab for Control Engineers. 1st edition, 2008. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 433 s. ISBN 978-0-13-615077-0*
- [5] PROKOP, Roman, MATUŠŮ, Radek, PROKOPOVÁ, Zdenka. *Teorie automatického řízení - lineární spojité dynamické systémy. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. 102 s. První vydání. ISBN 80-7318-369-2*
- [6] ŠVEJDA, Jaromír. *Studijní opora pro předmět Automatizace. Zlín, 2009. 64 s., 6 s. obr. příloh. Bakalářská práce na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí bakalářské práce Prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc*
- [7] Batyskaf. [online]. [cit. 2012-06-04]. Dostupné z: <http://www.ar-batyskaf.wz.cz/>
- [8] Virtuální laboratoř FSI ČVUT. [online]. [cit. 2012-06-04]. Dostupné z: <http://vlab.fsid.cvut.cz/cz/ulohy/batyskaf.php>
- [9] WASSERBAUEROVÁ. *Matematický model zařízení „BATYSKAF“.* Pardubice, 2008. Dostupné z: http://dSPACE.upce.cz/bitstream/10195/29187/1/WasserbauerovaP_Matematicky%20model_FD_2008.pdf. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická.
- [10] Automa: Výukový laboratorní model hydraulicko-pneumatické soustavy. [online]. [cit. 2012-06-04]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30630

- [11] ŘÍZENÍ VÍCEROZMĚROVÉ SOUSTAVY PREDIKTIVNÍM REGULÁTOREM V
SIMULINKU. Pardubice, 2005. Dostupné z:
http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/matlab05/prispevky/honc/honc.pdf.
Univerzita Pardubice

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

DIO 570 Ultrazvukový tloušťkoměr.

USB Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Popis soustavy Batyskaf [7].....	11
Obrázek 2 - Popis plováčku [7]	12
Obrázek 3 - Schéma soustavy	12
Obrázek 4 - Síly plováčku [9].....	13
Obrázek 5 - Schéma batyskafu [9].....	14
Obrázek 6 - Popis Hydraulicko-pneumatické soustavy [11]	15
Obrázek 7 - Schéma Hydraulicko-pneumatické soustavy [11]	16
Obrázek 8 – Prostředí MATLABu.....	18
Obrázek 9 – Textový editor	20
Obrázek 10 – Náповěda MATLABu.....	20
Obrázek 11 – Přechodová charakteristika astatické soustavy.....	24
Obrázek 12 – Přechodová charakteristika a Nyquistova křivka pro určení cs	26
Obrázek 13 - Normovaná přechodová charakteristika statické soustavy vyššího řádu	29
Obrázek 14 – Graf pro určení poměru časových konstant $\tau_u = T_u T_n$ pro normovanou přechodovou charakteristiku	31

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Tabulka hodnot pro vyhodnocování integračních soustav	24
Tabulka 2 – Pro spojitou verzi metody	26
Tabulka 3 – Pro diskrétní verzi metody	26
Tabulka 4 – Tabulka hodnot pro vyhodnocování statických soustav n-tého řádu se stejnými časovými konstantami	30
Tabulka 5 - Pro spojitou verzi metody	32
Tabulka 6 - Pro diskrétní verzi metody	32

SEZNAM PŘÍLOH

P I: ukázkový příklad k batyskafu: úloha 1

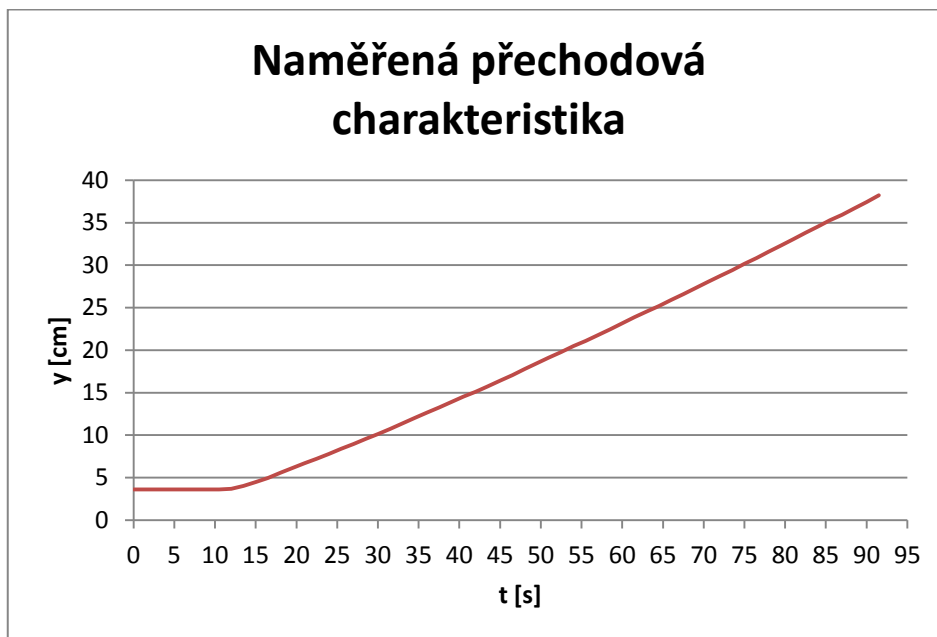
P II: ukázkový příklad k batyskafu: úloha 2

P III: ukázkový příklad k H-P soustavě: úloha 1

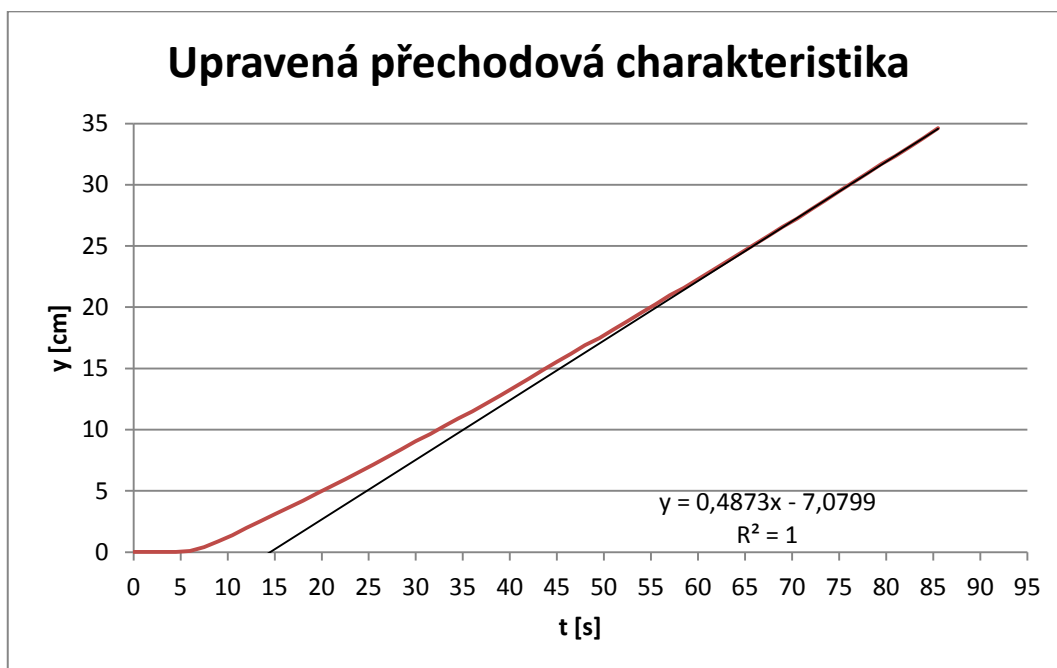
IV: ukázkový příklad k H-P soustavě: úloha 2

PŘÍLOHA P I: UKÁZKOVÝ PŘÍKLAD K BATYSKAFU: ÚLOHA 1

Byla naměřena přechodová charakteristika na modelu batyskaf



Z průběhu přechodové charakteristiky nejprve určíme t_1 a $y(t_1)$



Z průběhu přechodové charakteristiky byly určeny následující data

$t_1 = 14,5, y(t_1) = 2,9, \Delta y(t) = 34,62, \Delta t = 70,97$ Určení zesílení k_v

$$k_v = \frac{\Delta y(t)}{\Delta t} = \frac{34,62}{70,97} = 0,488$$

Určení poměru $f(n) = y(t_1)/(k_v \cdot t_1)$

$$f(n) = \frac{y(t_1)}{k_v \cdot t_1} = \frac{2,9}{14,5 \cdot 0,488} = 0,409$$

Z tabulky pak určíme, ze získaného poměru $f(n)$, hodnotu n , tedy $n = 1$

n	1	2	3	4	5	6
$\frac{y(t_1)}{(t_1 \cdot k_v)}$	0,368	0,271	0,224	0,195	0,175	0,16

Ze vztahu $t_1 = nT$ určíme časovou konstantu T

$$T = \frac{t_1}{n} = \frac{14,5}{1} = 14,5$$

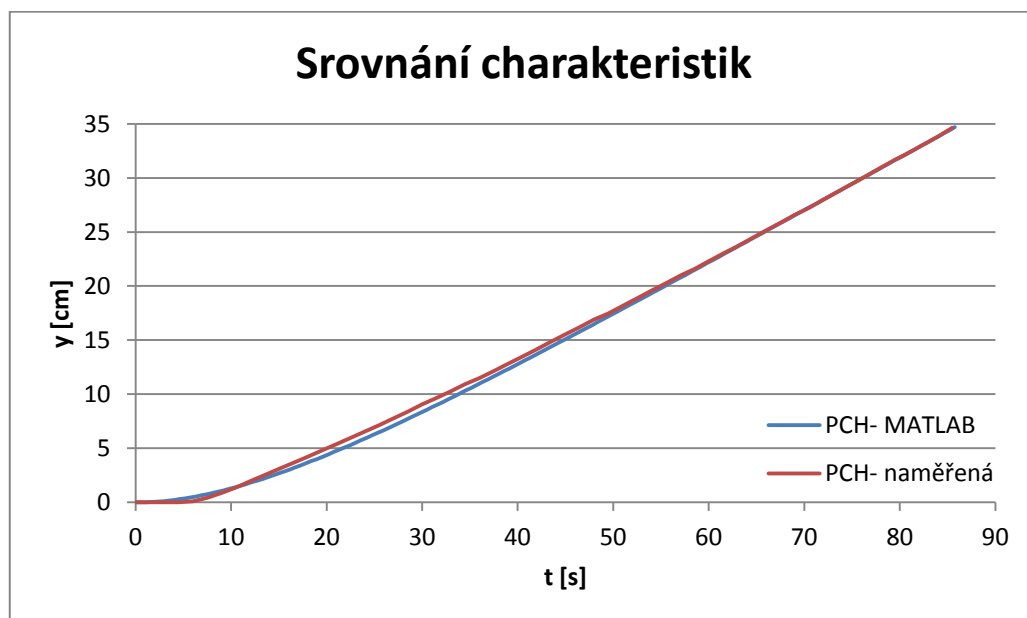
Výsledný aproximovaný přenos

$$G(s) = \frac{0,488}{s(14,5s + 1)}$$

Diferenciální rovnice systému

$$14,5y''(t) + y'(t) = 0,488u(t)$$

Srovnání naměřené a z MATLABu získané přechodové charakteristiky.



Závěr: Na první pohled je jasné vidět že PCH získaná z aproximace ověřená v MATLABu a PCH naměřená se téměř neliší.

PŘÍLOHA P II: UKÁZKOVÝ PŘÍKLAD K BATYSKAFU: ÚLOHA 2

Z naměřené přechodové charakteristiky se má navrhnout PD regulátor.

$$G_s(s) = \frac{c_s}{s(T_1s + 1)} e^{-Ls} = \frac{0,488}{s(14,5s + 1)}$$

Pro periodu vzorkování $T=1,5$ s, časovou konstantu regulačního obvodu T_w ze vztahu

$$\frac{T}{T_w} \leq 0,286 \Rightarrow T_w = 5,24$$

Statický činitel rychlost $c_s = 0,488$

Pro určení konstant regulátor PD použijeme následující vztahy

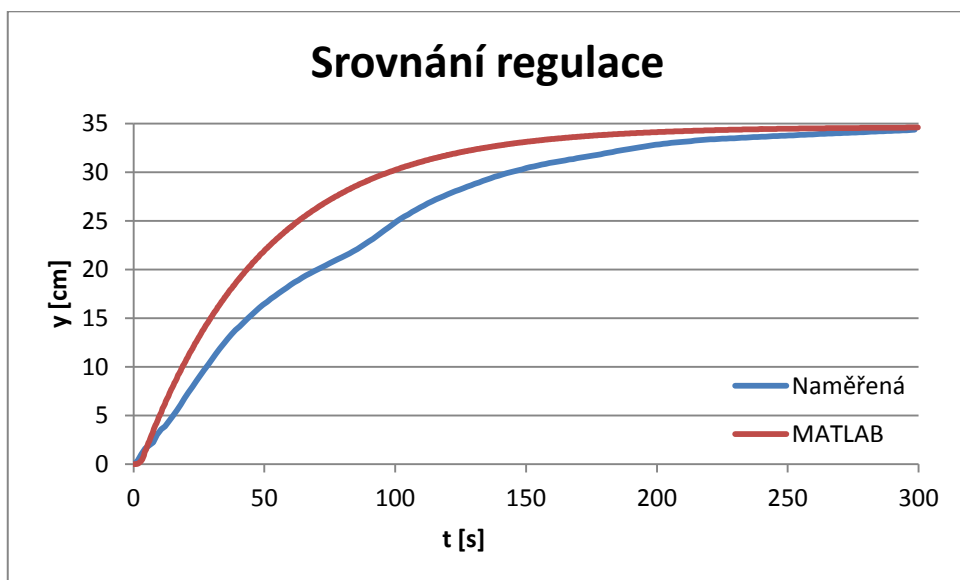
$$k_p = \frac{1}{c_s T_w} = 0,39$$

$$T_D = T_1 = 14,5$$

Pro zjištění konstanty byl navržen tento regulátor

$$G_R(s) = k_p(1 + T_D s) = 0,39(1 + 14,5s)$$

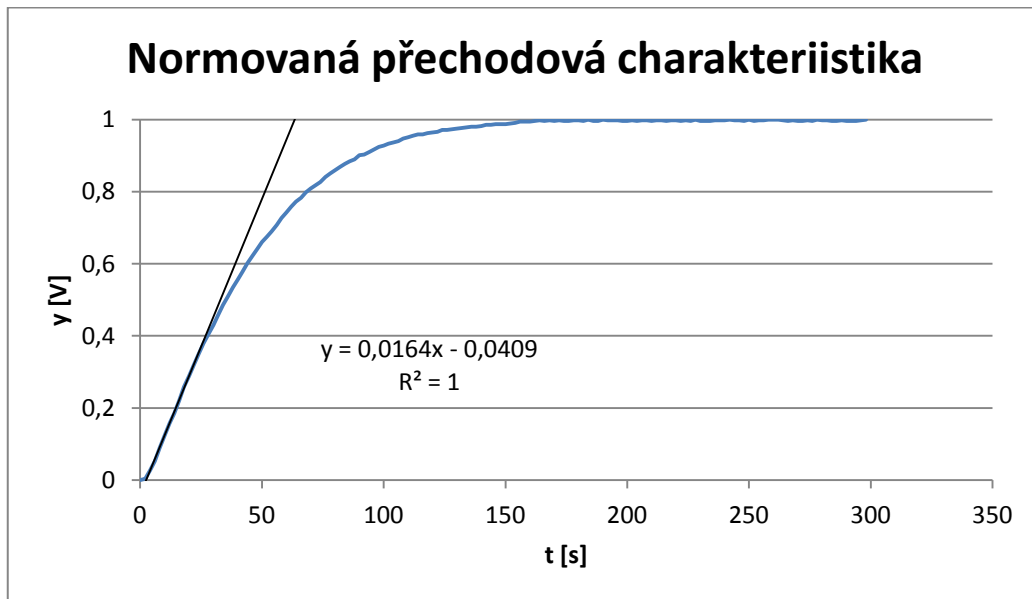
Srovnání regulace z naměřeného modelu a ověřeného v MATLABu



Závěr: Na první pohled je vidět že model nereguluje zcela přesně, je to pravděpodobně způsobeno chybami měření, které mohou nastat.

PŘÍLOHA P III: UKÁZKOVÝ PŘÍKLAD K H-P SOUSTAVĚ: ÚLOHA 1

Byla naměřena a znormována přechodová charakteristika na H-P soustavě



Z normované přechodové charakteristiky byly nejprve odměřeny hodnoty, doba průtahu a doba náběhu, tedy:

$$T_u = 2,49 \text{ s a } T_n = 60,96 \text{ s}$$

Poměr τ_u těchto dvou hodnot je:

$$\tau_u = \frac{T_u}{T_n} = \frac{2,49}{60,96} = 0,041 < 0,104$$

jde o soustavu 2. řádu s dvěma různými časovými konstantami.

Z přechodové charakteristiky odečteme pro $y(t_1) = 0,72$ hodnotu t_1 tedy:

$$t_1 = 57 \text{ s}$$

Součet časových konstant $T_1 + T_2$

$$T_1 + T_2 = \frac{t_1}{1,2564} = 45,37$$

Vypočítáme časový úsek

$$t_2 = 0,3574(T_1 + T_2) = 0,3574 \cdot 45,37 = 16,21$$

Z přechodové charakteristiky určíme $y(t_2)$.

$$y(t_2) = f(\tau) = 0,23$$

Z grafu pro $y(t_2)$ odečteme hodnotu τ :

$$\tau = \frac{T_2}{T_1} = 0,15$$

Časové konstanty určíme z poměru τ a součtu časových konstant $T_1 + T_2$, tedy:
 $T_1 = 39,45 \text{ s}$ $T_2 = 5,91 \text{ s}$

Konstanta zesílení soustavy se určí ze vztahu:

$$k = \frac{\Delta y(t)}{\Delta u(t)} = \frac{5,54}{1} = 5,54$$

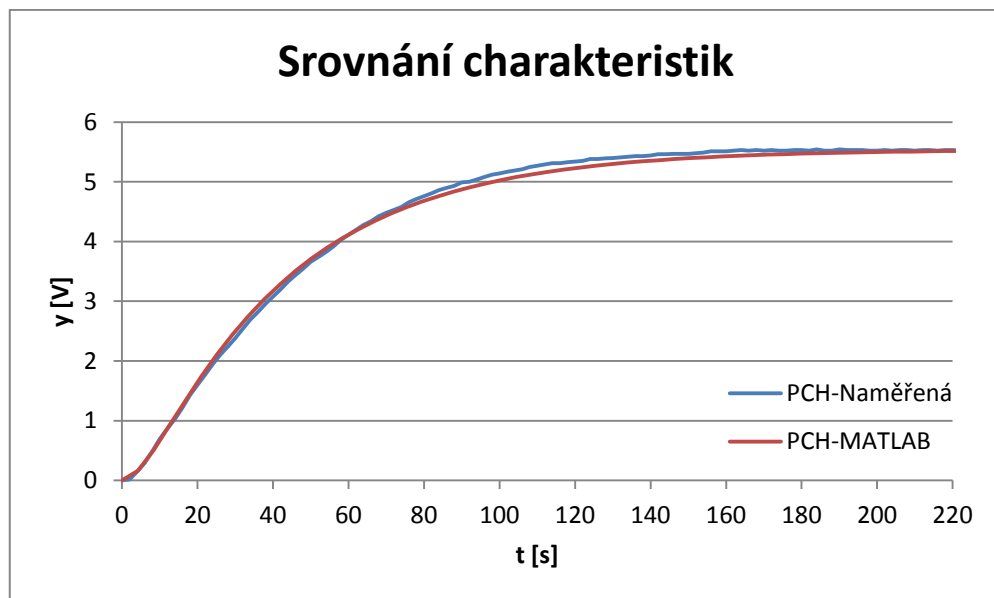
Výsledný přenos aproximované přechodové charakteristiky má tvar:

$$G_s(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} = \frac{5,54}{(39,45s + 1)(5,91s + 1)}$$

Diferenciální rovnice systému

$$233,1y''(t) + 45,36y'(t) + y(t) = 5,54u(t)$$

Srovnání naměřené a z MATLABu získané přechodové charakteristiky.



Závěr: Na první pohled lze vidět že se obě křivky téměř překrývají, aproximace tedy téměř odpovídá systému.

PŘÍLOHA P IV: UKÁZKOVÝ PŘÍKLAD K H-P SOUSTAVĚ: ÚLOHA 2

Z naměřené přechodové charakteristiky se má navrhnout PD regulátor.

$$G_s(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} = \frac{5,54}{(39,45s + 1)(5,91s + 1)}$$

Pro periodu vzorkování $T=2$ s, časovou konstantu regulačního obvodu T_w ze vztahu

$$\frac{T}{T_w} \leq 0,286 \Rightarrow T_w = 6,99$$

Pro určení konstant regulátor PID použijeme následující vztahy

$$k_p = \frac{T_I}{kT_w} = 1,17$$

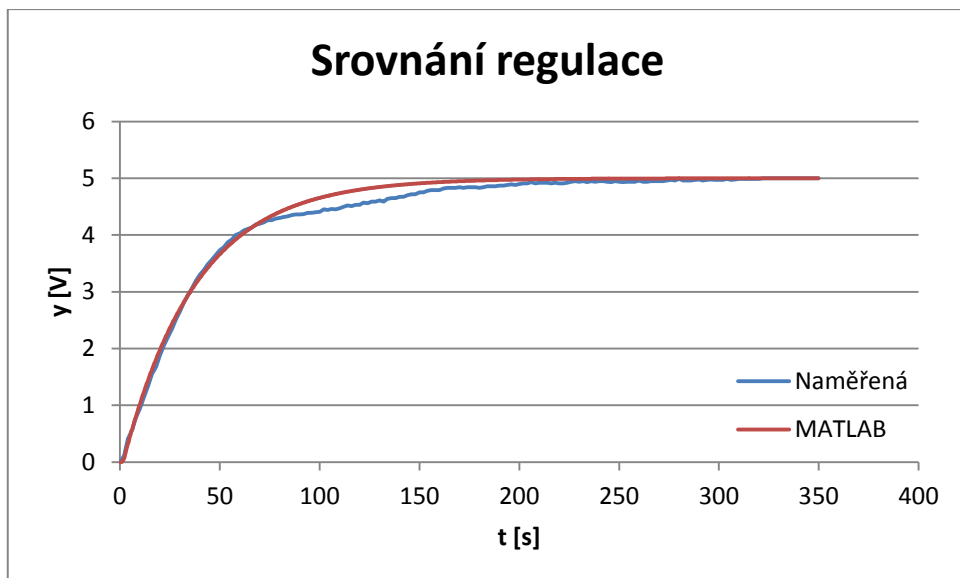
$$T_I = T_1 + T_2 = 45,4$$

$$T_D = \frac{T_1T_2}{T_1 + T_2} = 5,15$$

Pro zjištěné konstanty byl navržen tento regulátor

$$G_R(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) = 1,17 \left(1 + \frac{1}{45,4s} + 5,15s \right)$$

Srovnání regulace z naměřeného modelu a ověřeného v MATLABu



Závěr: Na první pohled můžeme říci, že se charakteristiky regulací téměř překrývají, avšak regulace reálná není vždy ideální.