

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
AUTOMATIZOVANÉ SYSTÉMY ŘÍZENÍ VE STROJÍRENSTVÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Identifikace lineární pneumatické jednotky

Liberec 2005

Antonín Novák

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Studijní obor: 23-40-8 Automatizované systémy řízení ve strojírenství

Zaměření: Automatizace inženýrských prací

Katedra aplikované kybernetiky

Identifikace lineární pneumatické jednotky

Identification of the Linear Pneumatic Unit

Antonín Novák

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Moučka, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Slavomír Němeček

Rozsah diplomové práce:

Počet stran: 58

Počet příloh: 2

ANOTACE

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra aplikované kybernetiky

Studijní obor:	23-40-8 Automatizované systémy řízení ve strojírenství
Studijní zaměření:	Automatizace inženýrských prací
Diplomant:	Antonín Novák
Téma práce:	Identifikace lineární pneumatické jednotky
Theme of work:	Identification of the Linear Pneumatic Unit
Rok obhajoby DP:	2005
Vedoucí DP:	Ing. Michal Moučka, Ph.D.
Konzultant DP:	Ing. Slavomír Němeček

Anotace:

Cílem diplomové práce je identifikace pneumatického systému FESTO, složeného z lineární pneumatické bezpístnicové jednotky DGPL-25-PPV-A-KF a pneumatického proporcionálního ventilu MPYE-5-M5-010-B. Systém je identifikován pro různá zatížení působící na jezdec pneumatického válce a různé tlaky stlačeného vzduchu. Získané výsledky jsou vyneseny v grafech a přenosy vzájemně porovnány. Pro úspěšné zvládnutí hlavního úkolu diplomové práce je nutno navrhnout vhodný přípravek pro zatěžování jezdce jednotky DGPL-25-PPV-A-KF rovnoběžně s osou jeho pohybu.

Annotation:

The goal of this thesis is the identification of the pneumatic system FESTO, that is made up of a linear pneumatic non-piston unit DGPL-25-PPV-A-KF and a pneumatic proportional piston MPYE-5-M5-010-B. The system is identified for different loads of rider of pneumatic cylinder and varying thrust of compressed air. The results obtained are presented in graphs and the transfers are compared to each other. To successfully accomplish the thesis objective it was necessary to propose feasible settings for the thrust of the unit DGPL-25-PPV-A-KF rider that is parallel with the axis of its movement.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 26.05.2005

.....
Antonín Novák

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Michalu Moučkovi, Ph.D. a Ing. Slavomíru Němečkovi za odborné vedení, pomoc při zpracování diplomové práce a poskytnuté informace. Dále bych rád poděkoval svým rodičům i všem blízkým, kteří mě podpořili v době, kdy se mi moc nedařilo.

Seznam zkratek a symbolů:

a_i	koeficienty jmenovatele přenosu
A	množina prvků systému
b_i	koeficienty čitatele přenosu
c_p	měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku [$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
c_v	měrná tepelná kapacita při konstantním objemu [$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
$d(t)$	deterministická složka poruchového signálu
F	síla [N]
F_t	třecí síla [N]
g	gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-1}$]
h	výška [m]
$h(t)$	složka poruchového signálu neznámého charakteru
$G(s)$	přenos soustavy
k_0	zesílení systému
K	množina vazebních závislostí systému, zesílení systému
m	hmotnost [kg]
$n(t)$	vysokofrekvenční stochastická složka poruchového signálu
N	počet měření
p	tlak [Pa]
Q	množina výstupních veličin systému
R	univerzální plynová konstanta [$J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$]
ρ	hustota [$kg \cdot m^{-3}$]
s	komplexní proměnná
S	systém
T	termodynamická teplota [K]
T_d	dopravní zpoždění
T_n	doba náběhu
T_u	doba průtahu
$u(t)$	vstupní veličina

$U(s)$	Laplaceův obraz vstupu
v	rychlost [$m \cdot s^{-1}$]
V	objem [m^3]
W	množina vstupních veličin systému
$y(t)$	výstupní veličina
$y_m(t)$	odezva modelu
$y_z(t)$	obecný poruchový signál
Δs	diference dráhy
Δt	diference času
κ	poměr měrných tepel

Obsah

1 Úvod	10
2 Vymezení pojmu systém	11
2.1 Definice a struktura systému	11
3 Identifikace	13
3.1 Identifikace a její metody	13
3.2 Analytická identifikace	14
3.3 Experimentální identifikace	15
3.3.1 Popis systému lineární diferenciální rovnicí	15
3.3.2 Přenos systému	16
3.3.3 Experimentální identifikace pomocí deterministických signálů	18
3.3.3.1 Aproximace přechodových charakteristik	18
3.3.3.2 Aproximace odezev integračních členů	20
3.3.3.3 Aproximace odezev derivačních členů	21
3.3.4 Statistické metody identifikace systémů	22
4 Signály	24
5 Pohony	27
5.1 Pneumatické pohony	27
5.1.1 Vlastnosti pneumatických mechanismů	28
5.1.2 Základní fyzikální zákony pneumatických systémů	29
6 Popis prvků pneumatického okruhu	32
7 Ovládání pneumatického pohonu	35
8 Identifikace soustavy lineárního pohonu	37
8.1 Metoda identifikace a volba přenosu	42
8.2 Kritérium	44
8.3 Adaptace – přizpůsobení parametrů modelu identifikované soustavě	45
9 Návrh přípravku pro zatěžování	50
10 Výsledky	52
10.1 Výsledky v grafech	54
11 Závěr	57
12 Použitá literatura	58

Přílohy

1 Úvod

Cílem diplomové práce je identifikace pneumatického systému pro různá zatížení a tlaky stlačeného vzduchu a poskytnutí zpracovaných výsledků studentům na katedře aplikované kybernetiky jako pomůcku pro názorné seznámení s problematikou pneumatických systémů.

Teoretická část diplomové práce je zaměřena na problematiku identifikace technologických soustav pomocí analytické a experimentální identifikace a volbu vhodného testovacího signálu. Dále pak na základní seznámení s problematikou pohonů, jejich základním dělením a vlastnostmi.

Praktická část diplomové práce je věnována postupu při identifikaci lineárního pneumatického pohonu, návrhu zatěžovacího přípravku, použité metodě při identifikaci systému a samotnému zpracování a zobrazení výsledků.

Všechna naměřená data, zdrojové kódy funkcí a fotky zařízení se nacházejí na přiloženém CD-ROMu.

Teoretická část diplomové práce

2 Vymezení pojmu systém

Systémem rozumíme obecně soubor prvků, mezi nimiž existují vzájemné vztahy a jako celek má určité vztahy ke svému okolí.

Každý systém je charakterizován dvěma základními vlastnostmi:

1. chováním systému, charakterizujícím jeho vnější vztahy k okolí; chování systému je závislost mezi podněty okolí systému, působícími na jeho vstup, a příslušnými odezvami, objevujícími se na jeho výstupu.
2. strukturou systému, charakterizující jeho vnitřní funkční vztahy; strukturou systému rozumíme jednak způsob uspořádání (organizace) vzájemných vazeb mezi prvky systému a jednak chování těchto prvků.

Obě tyto vlastnosti systému jsou ve velmi úzkém vztahu, který lze charakterizovat jednak, že určité strukturu odpovídá jednoznačně určité chování, a naopak, že určitému chování odpovídá třída struktur, definovaná tímto chováním.

Při definování systému dochází ke zjednodušení, tzv. redukci, která spočívá v eliminaci nebo agregaci. Při eliminaci neuvažujeme některé prvky nebo vztahy, naproti tomu při agregaci některé prvky nebo vazby slučujeme [1].

2.1 Definice a struktura systému

Systémem rozumíme množinu:

$$S = \{A, W, K, Q\}, \quad (2.1)$$

kde:

A – množina prvků α_i ($i = 1, 2, \dots, p$) systému S,

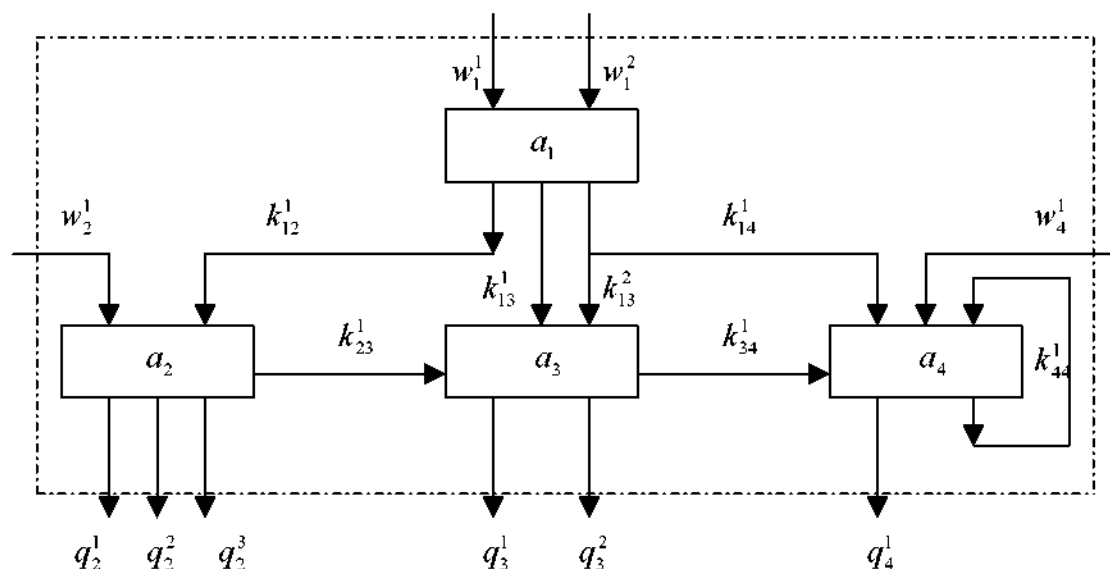
W – množina vstupních veličin w_j ,

Q – množina výstupních veličin q_h ,

K – množina vazebních závislostí k_{sr} výstupních a vstupních veličin prvků systému.

Jestliže množiny W i Q jsou prázdnými množinami, jde o absolutně uzavřený systém. V ostatních případech jde o relativně uzavřený systém, což vyjadřuje, že systém jako celek komunikuje se svým okolím prostřednictvím vstupů a výstupů.

Příklad obecného vyjádření systému je na obr.2.1.



Obr.2.1: Model systému (zdroj: [1]).

Každý systém je tvořen jednotlivými prvky, které jsou jeho základními částmi. Prvek chápeme jako relativně uzavřený systém nižšího řádu rozlišovací úrovně vzhledem k uvažovanému systému S . Prvek pro danou rozlišovací úroveň již dále nečleníme i kdybychom jeho strukturu znali.

Při popisu organizace struktury libovolného systému se používají tři základní vazby prvků systému, jejichž příklady lze nalézt na předchozím obr.2.1.

Sériová vazba - např. složky k_{13}^1, k_{13}^2 jsou vyjádřením sériové vazby mezi prvky a_1 a a_3 .

Paralelní vazba - složka $k_{13}^2 = k_{14}^1$ prvku a_1 je společnou částí vstupních vektorů prvků a_3 a a_4 .

Zpětná vazba - je uplatněna u prvku a_4 , kde složka k_{44}^1 je vyjádřením zpětnovazební závislosti prvku a_4 .

3 Identifikace

Jelikož hlavním cílem této práce je identifikace systému, přichází na řadu krátký rozbor tohoto pojmu a některé metody identifikace.

3.1 Identifikace a její metody

Identifikací soustav se rozumí zjištění vlastností těchto soustav. Výsledkem identifikace jsou pak obvykle statické a dynamické charakteristiky soustav, matematický popis chování soustavy a pod. Výsledky slouží pro odhad chování soustavy za daných podmínek, pro řešení optimálního řízení. Na základě výsledků identifikace je možno stanovit modely soustav a celých zařízení a řešit potřebné problémy mimo vlastní zařízení. Je možno vyzkoušet všechny varianty provozu bez nákladného a často i nebezpečného experimentování a vybrat z hlediska technického a ekonomického nejvýhodnější variantu řešení.

Vlastnosti soustavy se však v čase mění v důsledku změn vnějších podmínek (změny zatížení, jakosti vstupního zatížení apod.). V těchto případech je třeba identifikaci provádět opakovaně nebo i nepřetržitě. Hovoříme proto o identifikaci jednorázové (off-line), kde se provádí nejdříve celé měření všech hodnot a pak jejich vyhodnocení a nakonec následuje využití výsledků a o identifikaci průběžné (on-line), kde se měření, vyhodnocování i využívání všech výsledků provádí současně [2].

Identifikaci lze rozdělit na analytickou a experimentální. V technické praxi se často setkáme s případy, kdy oba dva přístupy je nutné vzájemně kombinovat. Oba dva přístupy mají své přednosti a nevýhody. Zásadní rozdíl je v tom, že analytické postupy sestavení matematického modelu umožňují analyzovat dynamické vlastnosti vyvíjených zařízení ještě před jejich zhotovením. Simulační závěry tak mohou významně přispět k dimenzování zařízení, mohou upřesnit projekční podklady zařízení a urychlit tak cestu k finálnímu výrobku s minimalizací výroby prototypů. Analyticky získané modely lze

upřesnit pomocí měření a aplikace metod experimentální identifikace na prototypovém nebo zkušebním zařízení.

Výběr identifikační metody zahrnuje volbu testovacího signálu, zvolení identifikovaného matematického modelu, stanovení postupu vyhodnocení naměřených dat a způsobu verifikace získaného modelu [7].

Správnost provedených rozhodnutí závisí na dostupných informacích o identifikované soustavě, podmínkách identifikace a předešlých zkušenostech. Ověření správnosti modelu a jeho realizace (verifikace modelu), analýzu získaných výsledků a jejich následné využití nazýváme *simulací*.

3.2 Analytická identifikace

Analytické metody identifikace vyžadují hlubokou znalost fyzikálních procesů a jejich matematického popisu probíhajících ve zkoumaném systému.

Jedná se o postupy vedoucí k sestavení matematických modelů systémů. Struktura modelu vyplývá z přírodních zákonů a jeho platnost je pro celou třídu typů procesu a pro různé provozní stavy. Důležitá je znalost vnitřních procesů systému a tyto procesy musí být matematicky popsatelné. Model může být vytvořen i pro neexistující systém. Samotný matematický model však ještě nedává řešiteli informaci v podobě, kterou potřebuje pro vyhodnocení zkoumaného děje. Tu získáme teprve řešením matematického modelu. Řešení zpravidla provádíme s využitím numerických metod řešení diferenciálních rovnic na číslicových počítačích ve vhodných simulačních programech.

Při tvorbě matematického modelu postupujeme tak, že na zkoumaném objektu definujeme systém, který bude postihovat námi zkoumané jevy, sledované příznaky budou odpovídat výstupním, případně stavovým proměnným systému.

Modelování je důležitý nástroj při vyšetřování složitých dynamických systémů a jejich řízení. Analyticky získaný matematický model lze charakterizovat jako „vnitřní“ popis

chování zkoumaného systému. Jeho parametry mají fyzikální smysl, popisuje chování ve „větším rozsahu“.

3.3 Experimentální identifikace

Předmětem experimentální identifikace systémů je vyšetření dynamických vlastností systému a stanovení jeho matematického modelu experimentálním postupem. Pomocí vhodných testovacích signálů působíme na systém a zaznamenáváme jeho odezvu. Z vyhodnocení měřených signálů určíme model systému.

Metody experimentální identifikace vyžadují existenci zkoumaného objektu a možnost experimentování s ním. Nevyžadují přesnou znalost struktury systému a popis probíhajících procesů, avšak jsou náročné na přístrojové vybavení. Souhrnně platí, že čím širší a hlubší apriorní znalosti o zkoumaném objektu jsou k dispozici, tím lépe je možné připravit identifikační experiment, vyhodnotit měřená data a sestavit přesnější matematický model.

Struktura modelu u experimentální identifikace musí být zvolena. Systém je pak popsán pouze pomocí relace vstup-výstup. Model platí pouze pro zkoumaný proces a konkrétní provozní stav [7]. Proto lze chování popsat relativně přesně.

Empiricky získaný model lze charakterizovat jako „vnější“ popis chování daného systému. Má většinou jednoduchý tvar, parametry se snadno určují, ale často nemají fyzikální smysl.

3.3.1 Popis systému lineární diferenciální rovnicí

Chování spojitého systému s jednou vstupní a jednou výstupní veličinou lze popsat lineární diferenciální rovnicí s konstantními koeficienty ve tvaru

$$a_n y^{(n)}(t) + a_{n-1} y^{(n-1)}(t) + \dots + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_m u^{(m)}(t) + \dots + b_0 u(t), \quad (3.1)$$

kde a_i, b_j jsou konstantní koeficienty,

$u(t)$ – vstupní veličina,

$y(t)$ – výstupní veličina systému.

Z podmínky fyzikální realizovatelnosti systému musí platit, že stupeň nejvyšší derivace výstupní veličiny musí být větší nebo roven stupni derivace vstupní veličiny

$$m \leq n. \quad (3.2)$$

Pro řešení diferenciální rovnice (3.1) musíme znát počáteční podmínky systému $y(0), y'(0), \dots, y^{(n-1)}(0)$ a průběh vstupní veličiny $u(t)$ včetně jejích počátečních podmínek.

V systémech s konečnou rychlostí šíření signálu se může vyskytovat tzv. dopravní zpoždění T_d . Diferenciální rovnice systému s dopravním zpožděním je:

$$\sum_{i=0}^n a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^m b_j u^{(j)}(t - T_d). \quad (3.3)$$

3.3.2 Přenos systému

Přenos systému je definován jako poměr Laplaceova obrazu výstupní veličiny k Laplaceově obrazu vstupní veličiny při nulových počátečních podmínkách systému y a vstupního signálu u . Lineární diferenciální rovnici s konstantními koeficienty (3.1) můžeme transformovat použitím pravidel Laplaceovy transformace a splněním výše uvedených podmínek:

$$[a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0] Y(s) = [b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0] U(s). \quad (3.4)$$

Z této rovnice podle výše uvedené definice má přenos systému tvar:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0}. \quad (3.5)$$

Opět musí platit podmínka fyzikální realizovatelnosti systému (3.2).

Polynomy ve jmenovateli i čitateli lze vyjádřit ve tvaru součinu kořenových činitelů. Přenos systému (3.5) pak můžeme pomocí pólů a nulových bodů vyjádřit ve tvaru:

$$G(s) = \frac{b_m(s-n_1)\dots(s-n_j)\dots(s-n_m)}{a_n(s-s_1)\dots(s-s_i)\dots(s-s_n)}. \quad (3.6)$$

Záporně vzatým převráceným hodnotám reálných pólů a nul (nulových bodů) říkáme časové konstanty systému a označujeme časové konstanty čitatele

$$\tau_j = -\frac{1}{s_j}, \quad (3.7)$$

a časové konstanty jmenovatele

$$T_i = -\frac{1}{s_i}. \quad (3.8)$$

Jsou-li nulové body i póly systému reálné, můžeme přenos systému vyjádřit pomocí časových konstant ve tvaru

$$G(s) = \frac{b_0(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)\dots(1+s\tau_m)}{a_0(1+sT_1)(1+sT_2)\dots(1+sT_n)}. \quad (3.9)$$

Poměr

$$\frac{b_0}{a_0} = k_0, \quad (3.10)$$

se nazývá zesílení systému

Přenos systému s dopravním zpožděním, odpovídající popisu diferenciální rov. (3.3), má tvar

$$G(s) = \frac{\sum_{j=0}^m b_j s^j}{\sum_{i=0}^n a_i s^i} e^{-sT_d}. \quad (3.11)$$

Více o Laplaceově transformaci a přenosech např. v [1], [5].

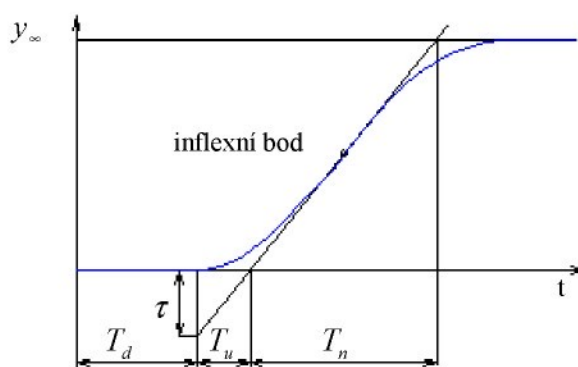
3.3.3 Experimentální identifikace pomocí deterministických signálů

Použijeme-li při experimentální identifikaci deterministické vstupní signály, získáme odezvy, které buď přímo představují některou neparametrickou charakteristiku systému nebo po vyhodnocení odezvy systému jsme schopni pomocí vhodných postupů neparametrickou charakteristiku sestavit. Průběh neparametrické charakteristiky můžeme dále parametrizovat některým z dále uvedených postupů.

3.3.3.1 Aproximace přechodových charakteristik

Identifikace systémů pomocí aproximace změřených přechodových charakteristik patří mezi deterministické metody, jejichž odvození vychází z analytického rozboru odezvy proporcionálních přenosových členů. Pro správné použití těchto metod je důležitá znalost typů odezev základních přenosových členů, jejichž sériovým řazením získáme přenosy, kterými aproximujeme změřené odezvy – přechodové charakteristiky.

Při aproximaci přechodových charakteristik je důležité na základě hodnocení tvaru přechodové charakteristiky rozhodnout o typu přenosu, kterým budeme přenos aproximovat. Rozhodnutí usnadní stanovení základních parametrů odezvy systému podle obr.3.1.



Obr.3.1: Vyhodnocení přechodové charakteristiky systému (zdroj: [7]).

Sestrojíme tečnu v inflexním bodě charakteristiky a odečteme hodnoty vyznačené v obrázku. Hodnota τ je potom rozhodující pro určení typu aproximujícího modelu. Z podobnosti trojúhelníků na obr.3.1 plyne pro τ

$$\frac{\tau}{1} = \frac{T_u}{T_n} \quad (3.12)$$

Stanovíme-li dopravní zpoždění T_d , bude mít aproximující přenos tvar

$$G_s(s) = G(s) \cdot e^{-T_d s}, \quad (3.13)$$

kde přenos $G(s)$ určíme některým z dalších postupů

- Aproximací proporcionální soustavou se setrvačností 1.řádu

Použijeme ji, pokud je doba průťahu nulová a odezva systému má průběh podobný odezvě proporcionálního členu se setrvačností 1.řádu

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} \quad (3.14)$$

- Aproximací proporcionální soustavou se setrvačností 2.řádu

Vykazuje-li odezva systému aperiodický průběh, můžeme ji aproximovat proporcionální soustavou 2.řádu s rozdílnými časovými konstantami

$$G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}, \quad (3.15)$$

nebo proporcionální soustavou n-tého řádu se stejnými časovými konstantami

$$G(s) = \frac{K}{(Ts + 1)^n}, \quad (3.16)$$

vykazuje-li charakteristika kmity, je zřejmé, že alespoň dva kořeny jsou komplexně sdružené

$$G(s) = \frac{K}{T_0^2 s^2 + 2\xi T_0 s + 1} \quad (3.17)$$

3.3.3.2 Aproximace odezev integračních členů

Integrační člen s přenosem

$$G(s) = \frac{K_1}{s} = \frac{1}{T_1 s}, \quad (3.18)$$

kde:

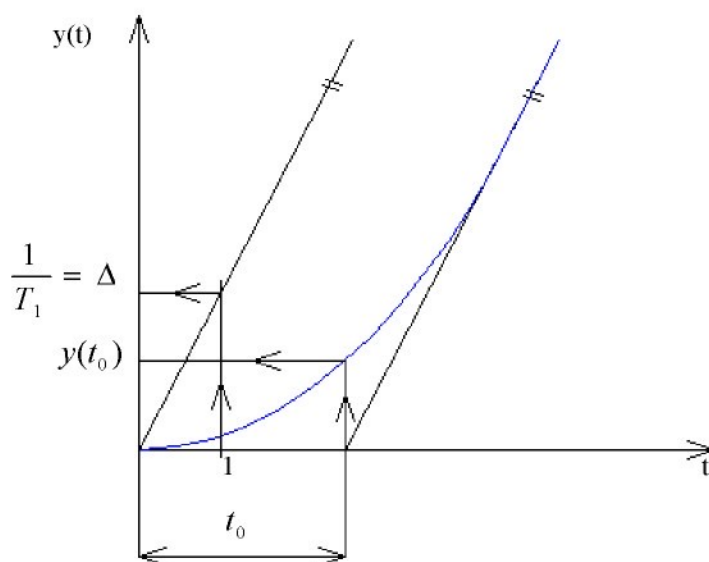
K_1 – zesílení

T_1 – integrační časová konstanta

$$T_1 = \frac{u_0}{\frac{\Delta y}{\Delta t}}. \quad (3.19)$$

Obsahuje-li přenosový člen vedle integračního členu i setrvačné členy

$$G(s) = \frac{1}{T_1 s} \cdot \frac{1}{(Ts + 1)^n}. \quad (3.20)$$



Obr.3.2: Přechodová charakteristika integračního členu (zdroj: [7]).

Pro stanovení řádu setrvačnosti n a velikosti časové konstanty přenosu postupujeme následovně:

1. Z grafu podle obr.3.2 odečteme hodnoty $t_0, y(t_0)$ a $\frac{1}{T_1}$, vypočteme pomocnou konstantu:

$$A = \frac{y(t_0) \cdot T_1}{t_0}.$$

2. Z tabulky určíme řád systému podle velikosti pomocné konstanty A . Viz [7].
3. Stanovíme hodnotu časové konstanty

$$T = \frac{t_0}{n}.$$

3.3.3.3 Aproximace odezev derivačních členů

Derivační přenosové členy jsou popsány přenosem ve tvaru

$$G(s) = \frac{T_D s}{\prod_{i=1}^n (T_i s + 1)}. \quad (3.21)$$

Integrujeme-li přechodovou charakteristiku derivačního členu, nebo derivujeme-li přechodovou charakteristiku integračního členu, dostáváme odezvu proporcionálního členu, na které můžeme aplikovat metody uvedené v kapitole (3.3.3.1).

3.3.4 Statistické metody identifikace systémů

Přesto, že statistické metody identifikace nebudou v této práci využity, sehrávají významnou úlohu při identifikaci technologických soustav, a proto je důležité se o nich aspoň zmínit.

Statistické metody identifikace dynamických systémů vychází z jiného pohledu na popis dynamických vlastností systémů a používají k tomu také jiný matematický aparát vycházející z pravděpodobnostního počtu a statistické dynamiky. Na okamžité hodnoty systémových proměnných nahlížíme jako na okamžité hodnoty realizace náhodného procesu.

Náhodný proces je funkce času, která může náhodně nabývat různých hodnot, přičemž není předem známo, které nabude. Vyhodnocení vlastností náhodných procesů je spojeno s vyhodnocováním velkých souborů měření na daném systému za stejných podmínek. Příčiny náhodných změn v jednotlivých souborech měření jsou na sobě nezávislé, takže okamžité hodnoty průběhů se navzájem liší.

Příkladem různých náhodných procesů mohou být různé náhodné signály, kolísání napětí, šumy v elektrických obvodech, hluk vzniklý při turbulentním proudění apod. Vlastnosti náhodného procesu popisujeme pomocí statistických charakteristik, které dělíme do dvou skupin. Statistické charakteristiky prvního řádu postihují pouze okamžité hodnoty náhodných veličin a nejsou schopny postihnout rychlost náhodných změn v průběhu realizace náhodného procesu.

Mezi tyto charakteristiky patří:

- střední hodnota,
- rozptyl,
- distribuční funkce,
- hustota pravděpodobnosti.

Statistické charakteristiky druhého řádu popisují realizaci náhodného procesu a celý náhodný proces i z hlediska rychlosti probíhajících změn.

Doposud zavedené statistické charakteristiky hodnotí náhodný proces pouze „staticky“ v daném čase a neposkytují informaci o dynamických vlastnostech náhodného procesu. Není v nich obsažena informace o statistické souvislosti hodnot realizací náhodného procesu ve dvou rozdílných časových okamžicích t_1 a t_2 .

Dynamické vlastnosti, tj. zákonitosti změn v čase se charakterizují pomocí:

- autokorelační funkce náhodného procesu,
- vzájemné korelační funkce náhodného procesu,
- kovariance.

Dosavadní charakteristiky procesů jsou vyjádřeny v časové oblasti. Jejich transformací do frekvenční oblasti dostaneme spektrální zobrazení v podobě:

- spektrální výkonové hustoty,
- vzájemné spektrální výkonové hustoty.

4 Signály

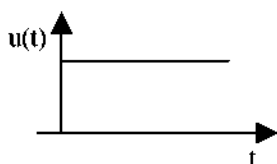
Vstupní signály mohou být signály, které se běžně vyskytují v provozu a působí na systém během jeho provozu (řídící signály, provozní šumy, apod.). Pokud tyto signály svými vlastnostmi neumožňují provést identifikační experiment, např. mají malou amplitudu, nevhodné frekvenční spektrum, používají se uměle vytvořené vstupní signály, tzv. testovací signály, které:

- dovedeme jednoduše opakovaně generovat,
- matematicky popsat,
- realizovat pomocí akčních členů (fyzikální realizovatelnost signálů),
- lze použít pro daný proces (systém je možné vybudit uvedeným signálem),
- dostatečně vybudí systém vzhledem k jeho dynamice.

Vstupní signály mohou být deterministické a stochastické.

Deterministické signály dovedeme analyticky popsat, patří mezi ně:

- skoková změna - Heavisideův skok:

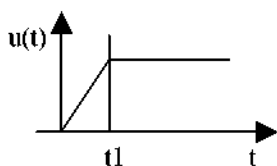


$$u(t) = A \cdot \eta(t),$$

$$u(t) = 0 \quad \text{pro } t < 0,$$

$$u(t) = A \quad \text{pro } t \geq 0,$$

- reálný skok (rampová funkce):

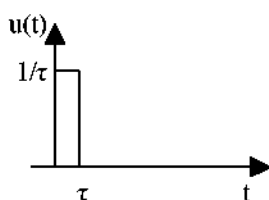


$$u(t) = 0 \quad \text{pro } t < 0,$$

$$u(t) = \frac{1}{t_1} \cdot t \quad \text{pro } 0 \leq t < t_1,$$

$$u(t) = 1 \quad \text{pro } t_1 \leq t < \infty,$$

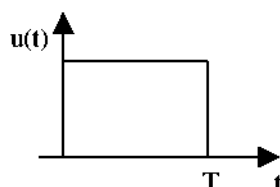
- jednotkový impuls:



$$\delta(t) = \frac{1}{\tau} \quad \text{pro } 0 \leq t < \tau,$$

$$\delta(t) = 0 \quad \text{pro } \tau \leq t < \infty,$$

- pravouhlý impuls:



$$u(t) = 1 \quad \text{pro } 0 \leq t < T,$$

$$u(t) = 0 \quad \text{pro } T \leq t < \infty,$$

- trojúhelníkový impuls,
- skok rychlosti,
- dvojitý impuls,
- harmonický signál.

Stochastické (náhodné) signály na rozdíl od těch deterministických nedovedeme analyticky popsat, jejich každá realizace je jedinečná, náhodná, neopakovatelná. Takovým typickým představitelem stochastického signálu je bílý šum.

Pseudonáhodné signály představují náhodné signály, jejichž vlastnosti jsou za určitých podmínek stejné, jako náhodných signálů, avšak jsou získány deterministickým způsobem (pseudonáhodný binární signál, apod.).

Na lineární dynamický systém působí vedle vstupního signálu $u(t)$ poruchový signál $y_z(t)$. Pokud není poruchový signál $y_z(t)$ zanedbatelně malý, musí se jeho zkreslující vliv při identifikaci pokud možno co nejvíce eliminovat.

Poruchový signál $y_z(t)$ se skládá obecně z více složek, které lze následovně rozdělit:

- vysokofrekvenční kvazistacionární stochastická složka poruchového signálu $n(t)$ s nulovou střední hodnotou,
- nízkofrekvenční nestacionární stochastický signál nebo deterministická složka

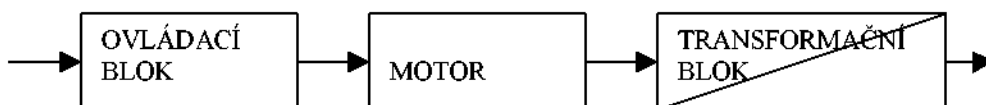
- poruchového signálu $d(t)$,
- složky poruchového signálu neznámého náhodného charakteru $h(t)$.

Běžně používané identifikační metody mohou eliminovat obecně pouze poruchový signál $n(t)$, což vyžaduje rostoucí dobu měření. Často je dostatečné určení střední hodnoty nebo využití regrese. Odstranění složky $d(t)$ je již složitější, vyžaduje použití speciálních filtrů, případně regresních postupů. Eliminaci náhodné poruchy $h(t)$ nelze provést pomocí nějakého obecného postupu. Je nutné ji provést pomocí speciálních filtrů nebo vyloučením příslušných vzorků dat [7].

Identifikaci systému pomocí měření odezev systému na deterministické testovací signály a následné vyhodnocení získaných neparametrických charakteristik použijeme, pokud na systém působí poruchové signály, jejichž úroveň je malá vzhledem k úrovni testovacího signálu a jejich vliv lze eliminovat např. pomocí filtrace. Je-li úroveň poruchových signálů vyšší vzhledem k testovacímu signálu, je vhodné použít stochastické metody identifikace.

5 Pohony

Pohony jsou zařízení, jejichž funkcí je přeměna vstupní energie na mechanický pohyb. Pohon je tvořen motorem, který zprostředkovává transformaci vstupní energie na mechanickou a ovládacím blokem, který obsahuje obvody zajišťující ovládání, resp. regulaci parametrů motoru. Pohyb se z výstupu motoru přenáší buď přímo nebo přes transformační blok.



Obr. 5.1: Blokové schéma pohonu (zdroj: [3]).

Podle druhu primární energie, které motor transformuje, rozeznáváme pohony:

- elektrické,
- hydraulické,
- pneumatické.

5.1 Pneumatické pohony

Pneumatické pohony společně s hydraulickými patří do skupiny tekutinových pohonů. Jejich praktické využití se v současné době nejvíce soustřeďuje na oblast konstrukce úchopných hlavic průmyslových robotů a manipulátorů, kde se uplatňují hlavně jejich malé rozměry a hmotnost.

Pneumatický pohon lze definovat jako zařízení pro přenos energie a transformaci vstupních funkcí na výstupní, kde nositelem energie a informace je vzdušina, zpravidla stlačený atmosférický vzduch.

5.1.1 Vlastnosti pneumatických mechanismů

Proud plynu je nositelem tří hlavních forem energie:

- potencionální,
- deformační,
- kinetické,

kteé využíváme ke konání mechanické práce. Tepelnou energii stlačeného vzduchu v pneumatických mechanismech nevyužíváme a ve výpočtech ji jako nežádoucí zanedbáváme.

Z hlediska možností využití v pneumatických mechanismech je potenciální energie zanedbatelně malá a proto pro praktické využití zbývají energie tlaková a kinetická.

Mechanismy, které využívají tlakovou energii nazýváme pneumaticko-statické (pneumostatické) mechanismy:

ty se dále dělí na:

- mechanismy, jejichž pracovní prostory motoru se zaplňují plynem o konstantním tlaku. Deformační a kinetická energie se zde nevyužívá (i když se projeví jejich působení) ,
- mechanismy, jejichž pracovní prostory motoru jsou naplněny v počátečním stavu takovým objemem plynu, aby jeho deformací došlo k provedení požadované činnosti. Využívá se deformační energie.
- pneumaticko-dynamické mechanismy - jejich použití je však omezeno malou hmotností plynu. Používá se proto kombinovaných mechanismů využívajících kinetické energie tuhých částí.

Při návrhu pneumatického pohonu je třeba zohlednit výhody a nevýhody pneumatického mechanismu (zdroj: [3]).

Výhody:

- možnost využití centrální výroby stlačeného vzduchu v závodě,
- jediný vodič bez vratného vedení(odpad přímo do ovzduší),
- čistota provozu (vzduch unikající z mechanismu neznečišťuje okolí ani vlastní stroj),

- zanedbatelný vliv okolí (např. horké provozy),
- přípustnost přetížení (pneumatické motory lze přetížit až k zastavení),
- odolnost proti prašnosti,
- bezpečnost provozu (výbušné a zápalné prostředí),
- snadná regulace (v celém rozsahu bez maření energie),
- tlumicí vlastnosti (rázy v systému se tlumí pomocí polštářů vzduchu),
- nízké pořizovací i provozní náklady.

Nevýhody:

- stlačitelnost vzduchu (malá tuhost zařízení),
- objemové ztráty (ztráta kompresní práce při reverzaci expanzí do atmosféry),
- nutnost přimazávání vzduchu (kvůli mazání pohyblivých částí),
- koroze a nesprávná funkce způsobená vylučováním vody v systému,
- hlučnost (v důsledku expanze tlakového vzduchu na tlak atmosférický),
- při centrálním rozvodu v důsledku netěsností a špatné údržby nastává pokles tlaku.

5.1.2 Základní fyzikální zákony pneumatických systémů

Mezi základní používané fyzikální zákony patří zákon zachování hmotnosti

$$m = \rho \cdot V = konst., \quad (5.1)$$

kde

m - představuje hmotnost,

ρ - hustotu,

V - objem.

Jeho použití umožňuje vyjádřit probíhající změny hustoty

Zákon zachování mechanické energie vyjádřený pomocí Bernoulliho rovnice

$$\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gh = konst., \quad (5.2)$$

kde první člen na levé straně představuje kinetickou energii, druhý člen tlakovou (deformační) energii a třetí člen energii potenciální (tíhovou).

Vzorec však nemůže být v tomto tvaru použit, jelikož předpokládá nestlačitelnost media (hydraulické systémy). Pro potřeby pneumatických systémů je nutno použít analogický vztah v diferenciálním tvaru:

$$v \cdot dv + \frac{dp}{\rho} + g \cdot dh = 0. \quad (5.3)$$

V tomto vztahu jsou dv, dp a dh přírůstky proměnných v, p a h , které vzniknou podél dráhy sledované malým objemem tekutiny v ustáleném proudu, kdy rychlost proudění je tečná k proudnici. Bernoulliho rovnici lze získat integrací uvedeného diferenciálního tvaru. Pro stlačitelné médium ale nelze rovnici integrovat přímo, protože hustota ρ není konstantní. Proto pro plyny vycházíme z uvedeného diferenciálního tvaru, do kterého dosazujeme uvažované změny hustoty.

Popis změn termomechanických veličin je popsán stavovou rovnicí plynu. Pro ideální plyn platí v termodynamickém rovnovážném stavu tzv. Boyle-Mariotův zákon:

$$p = \rho \cdot R \cdot T, \text{ resp. } p \cdot V = m \cdot R \cdot T, \quad (5.4)$$

Předpoklad platnosti uvedeného vztahu je splněn u většiny pneumatických systémů.

Další důležitý předpoklad u termodynamických procesů je, že všechny termodynamické procesy jsou adiabatické. To znamená, že jsou reverzibilní, bez tření a probíhají podle adiabatické změny stavu, teplo není dodáváno z okolí nebo do něho odváděno, systém je dokonale izolován. Adiabatický děj je idealizací, ve skutečnosti nikdy přesně nenastane. Pro hodnoty stavových veličin platí

$$p \cdot \rho^{-\kappa} = \text{konst.}, \text{ resp. } p \cdot V^{\kappa} = \text{konst.}, \quad (5.5)$$

kde κ je poměr měrných tepel

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}, \quad (5.6)$$

pro vzduch je $\kappa = 1.4$. Měrné teplo c_p , resp. c_v , je množství tepla, které je nutno přivést látce o hmotnosti 1 kg, aby se ohřála o 1 °C nebo 1 K při konstantním tlaku, resp. objemu. Zdrojem pro uvedené vztahy byla práce [7]. Více informací o pneumatických mechanismech lze získat např. v [3], [4].

Praktická část diplomové práce

6 Popis prvků pneumatického okruhu

V úvodu by možná bylo vhodné seznámit se s jednotlivými prvky systému zkoumaného pneumatického zařízení a stručně je charakterizovat..

Jednou z nejdůležitějších součástí systému je pneumatická lineární jednotka FESTO DGPL-25-PPV-A-KF-B. Jedná se o lineární dvojčinný bezpístnicový pneumatický válec s kruhovým pístem. Jeho provozním médiem je filtrovaný stlačený vzduch, který způsobuje zasunutí i vysunutí pístu. Vedení jezdce je realizováno pomocí kuličkového uložení, což je výhodné pro podstatné zmenšení pasivních odporů oproti variantě s kluzným uložením. Místo působení síly je pojištěno proti otáčení okolo podélné osy pohonu. Válec má nastavitelné tlumení v obou koncových polohách. Na pístu se nachází permanentní magnet, jehož magnetické pole může být snímáno vhodným snímačem polohy. Tak lze bezdotykově snímat mezipolohy a krajní polohy. Díky bezpístnicovému uspořádání je kratší než běžné válce.

Dalším důležitým prvkem, který je součástí identifikace, je proporcionální průtokový ventil MPYE – 5 – M5 – 010B. Tento ventil ovládá proudění stlačeného vzduchu jdoucího do pneumatického válce. Ventil patří do řady spojitých, resp. proporcionálních ventilů. Jedná se o průtokový ventil ovládaný elektrickým analogovým signálem (napětí), jehož pneumatický výstupní signál se proporcionálně mění dle vstupního signálu. Je ovládán napětím v rozsahu 0 V – 10 V, přičemž hodnota 5V znamená, že ventil je uzavřen. Jedná se o typ 5/3 (5 propojovaných cest, 3 polohy ventilu).

Pro odměřování skutečné polohy jezdce pneumatického válce bylo použito odměřovacího systému FESTO MLO – POT –225 – TLF. Jedná se o analogový odměřovací systém, založený na principu potenciometrického snímání. Napětí na výstupu z potenciometru bylo v rozsahu 0 V – 10 V a je přímo úměrné poloze jezdce.

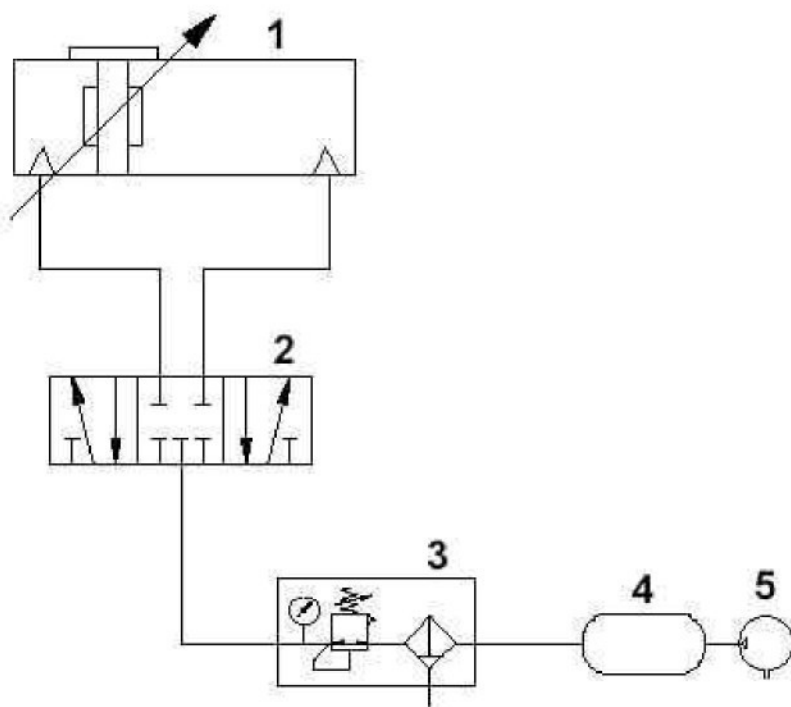
Součástí pneumatického okruhu je filtr s redukčním ventilem FESTO LFR – D – 5M – MINI. Úlohou filtru je odfiltrovat nečistoty ze stlačeného vzduchu. Ventil umožňuje nastavit požadovanou hodnotu tlaku, která je poté s určitou tolerancí stabilně držena. Redukční ventil je opatřen ručním odpouštěním kondenzátu, který je nutno před dosažením max. hladiny ručně odpustit, aby se zabránilo jeho proniknutí do zařízení. Kovový ochranný koš chrání zařízení před mechanickými vlivy. Součástí ventilu je i manometr.

Zdroj: <http://www.festo.cz>.

Zdrojem stlačeného vzduchu je kompresor ABAC SpA poháněný elektromotorem o výkonu 1,1 kW. Maximální výstupní tlak kompresoru je $p=0,8\text{Mpa}$ a maximální průtokové množství je 210 l/min.

Pro zajištění optimální účinnosti při přerušované řízeném provozu kompresoru vypnuto/zapnuto a pro zamezení tlakových rázů při provozu je do rozvodu stlačeného vzduchu vestavěn vzdušník CRVZS-2.

Tato výše popsaná zařízení jsou zapojena do pneumatického obvodu. Schéma zapojení pneumatického obvodu je znázorněno na obr. 6.1 na následující stránce.



Obr.6.1: Schéma zapojení prvků v pneumatickém obvodu.

Legenda:

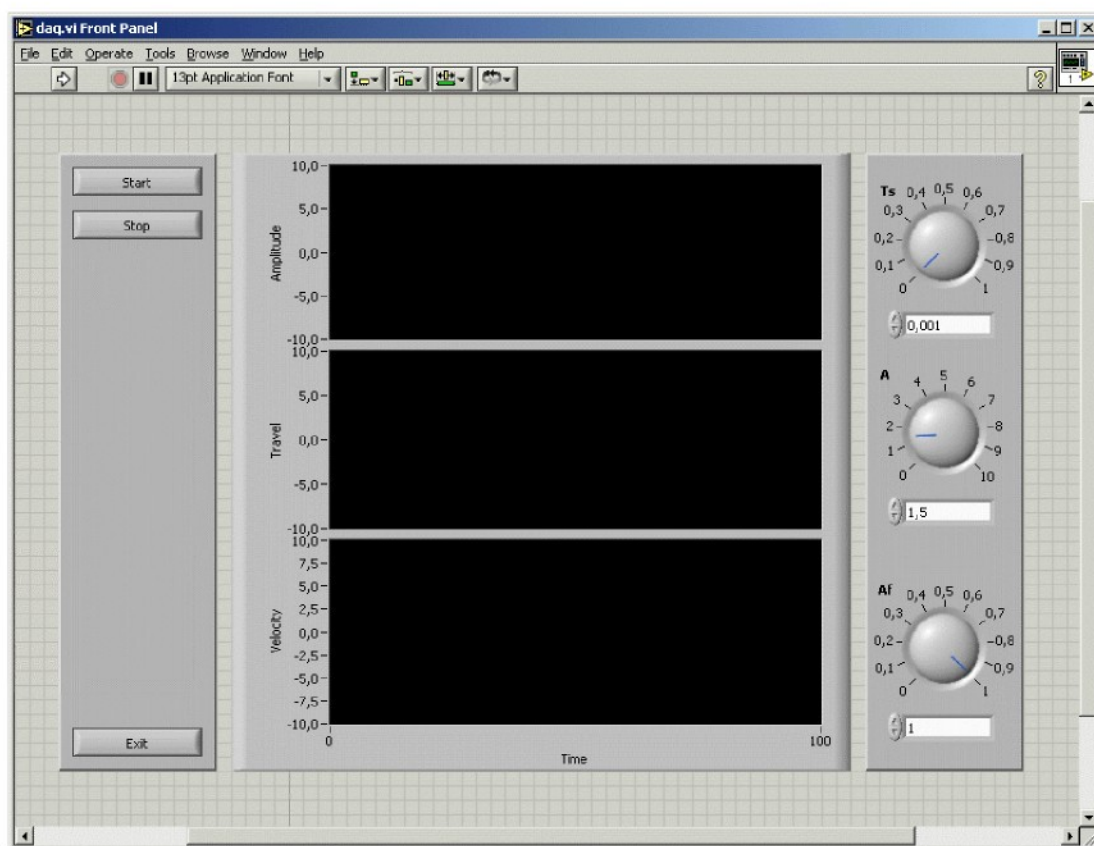
- 1-lineární pneumatická jednotka,
- 2-proporcionální ventil,
- 3-redukční ventil a úprava vzduchu,
- 4-vzdušník,
- 5-kompresor.

7 Ovládání pneumatického pohonu

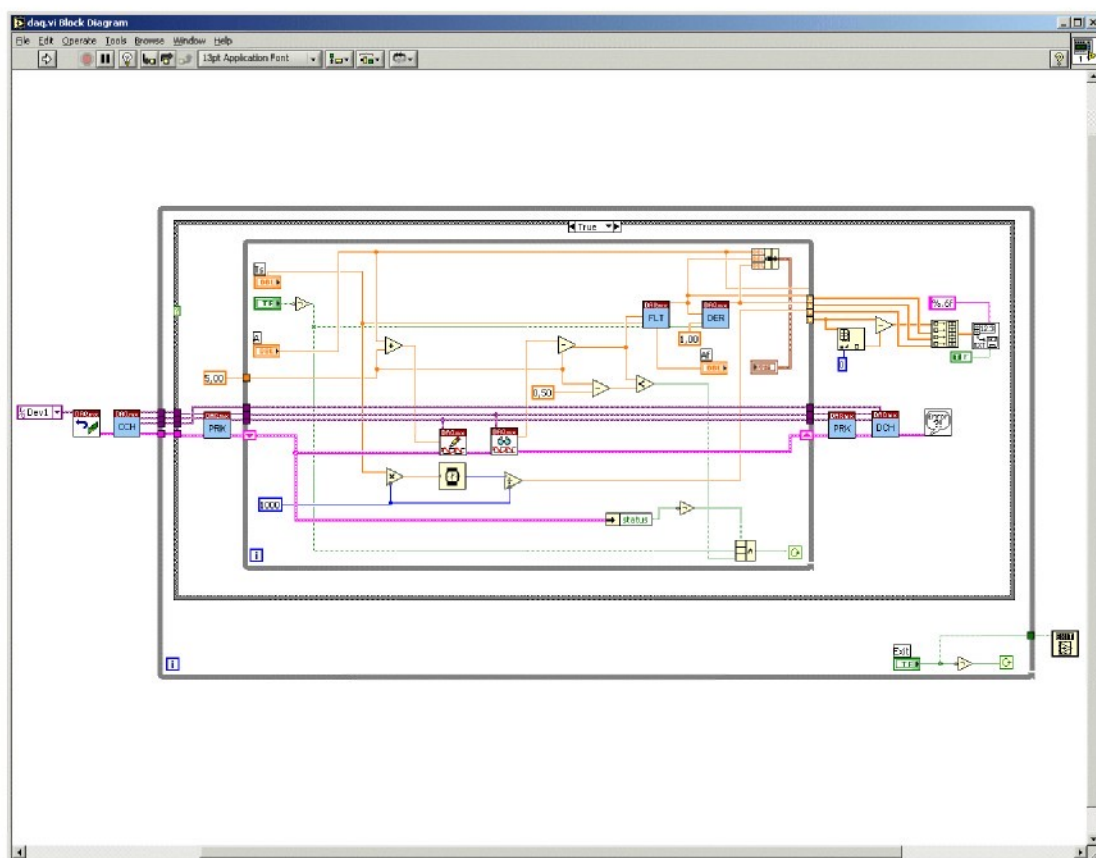
K ovládání pohybu pneumatického pohonu bylo zvoleno programové prostředí LabView 5.1 firmy National Instruments. LabView se liší od standardních programových prostředí tím, že nepoužívá textový programovací jazyk, ale používá grafický ve tvaru blokového diagramu.

LabView programy můžeme rozdělit do dvou částí:

- Blokový diagram – zdrojový kód simulující daný problém (obr. 7.2).
- Čelní panel – tento panel simuluje ovládací panel skutečného přístroje; obsahuje tlačítka, přepínače, grafy a jiné ovládací a indikační prvky (obr. 7.1).



Obr.7.1: Čelní panel.



Obr.7.2: Blokový diagram.

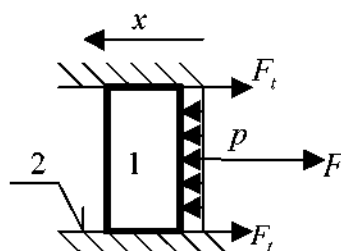
Pro účely měření byl použit blokový diagram (obr.7.2) a čelní panel (obr.7.1) z již používané laboratorní úlohy. Pomocí ovládacího panelu lze jednoduše zadávat hodnotu skokové vstupní veličiny, velikost vzorkovacího kroku a rovněž sledovat průběhy snímané veličiny.

8 Identifikace soustavy lineárního pohonu

Identifikace pohonu byla prováděna pomocí programových prostředí LabView 5.1 a Matlab 6.5 .

Pomocí LabView byla soustava buzena skokem velikosti 1.5V. Odezva polohy systému snímaná potenciometrickým odměřováním polohy byla zapisována do souboru pro pozdější zpracování. Takto provedené měření bylo opakováno 6x pro všechny zvolené hodnoty tlaků stlačeného vzduchu a zvolené hodnoty zatížení.

Vstupní skokový signál o velikosti amplitudy $A=1.500V$ byl posílán na proporcionální ventil, který se jeho působením pootevře. Po vyrovnání síly vyvozené stlačeným vzduchem a součtu zátěže a vnitřních odporů dojde k pohybu pístu z jedné (počáteční) krajní polohy do druhé (koncové).



Obr. 8.1: Schematické zobrazení působení sil na píst.

kde 1- představuje píst,

2- válec,

F_t - třecí síla od těsnění pístu,

F - síla vyvozená vahou závaží ($F = m \cdot g$),

p - tlak stlačeného vzduchu, který na píst působí silou dle vzorce $F = p \cdot S$.

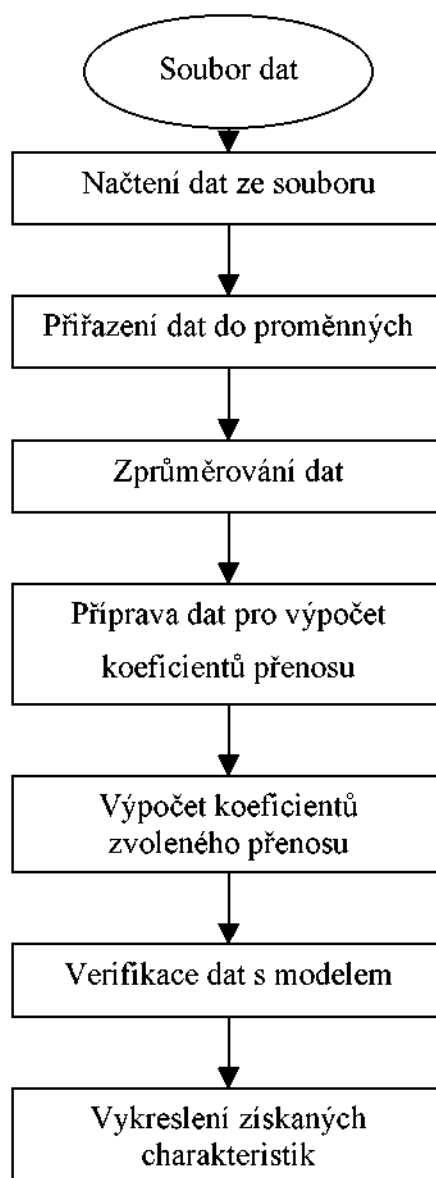
Program v LabView zabezpečuje, že při přiblížení pístu k druhé (koncové) krajní poloze válce dojde nejdříve k uzavření ventilu a poté k následnému převrácení polohy ventilu vzhledem ke střední (základní) poloze. To zamezí nárazu pístu v krajní poloze a možnému

poškození zařízení pohonu, ale rovněž umožní návrat zařízení do původního (počátečního) stavu.

Vlastní identifikace soustavy probíhala v prostředí Matlab 6.5, kdy zpracování dat bylo provedeno pomocí vlastního programu s prvky Systém Toolboxu, který je součástí Matlabu a obsahuje nástroje pro identifikaci.

Na následujících stránkách bude popsán postup identifikace a funkce vytvořené v Matlabu, pomocí nichž byla soustava identifikována.

Schéma postupu identifikace:



Obr. 8.2: Schéma postupu identifikace.

Data, která byla načítána v již dříve na katedře vytvořeném programu v prostředí LABVIEW, byla ukládána do souboru pro pozdější tzv. OFF-LINE zpracování. Aby bylo možno data dále zpracovat, bylo nutno data opět načíst pomocí programu v souboru *main.m*, který se nachází v příloze této práce. Tento program načítá data ze souborů a volá některé další funkce, které budou popsány dále. Všechny funkce jsou uvedeny pod názvem souboru, v kterém jsou uloženy na přiloženém CD-ROMu.

První funkcí, kterou tento program po načtení dat volá, je funkce *data*, která provádí přiřazení dat k jednotlivým proměnným vektorů. Těmito proměnnými jsou y (odezva), t (čas) a u (buzení).

Další funkcí programu *main*, kterou tento program volá, je funkce *vprumer*, jejímž úkolem je volání funkce *prumer* pro každou zvolenou hodnotu zatížení. Funkce *prumer* pak zprůměruje data z opakovaných měření pro stejné vstupní parametry.

Jak bylo již popsáno v teoretické části této práce, výsledky každého měření provázejí šumy, které je nutno v naměřených datech co nejvíce eliminovat. Proto bylo měření několikrát opakováno pro každé zvolené hodnoty tlaku a zatížení. Z těchto naměřených hodnot byl poté proveden průměr dle vzorce:

$$y_{vi} = \frac{\sum_{k=1}^N y_{ki}}{N}, \quad (8.1)$$

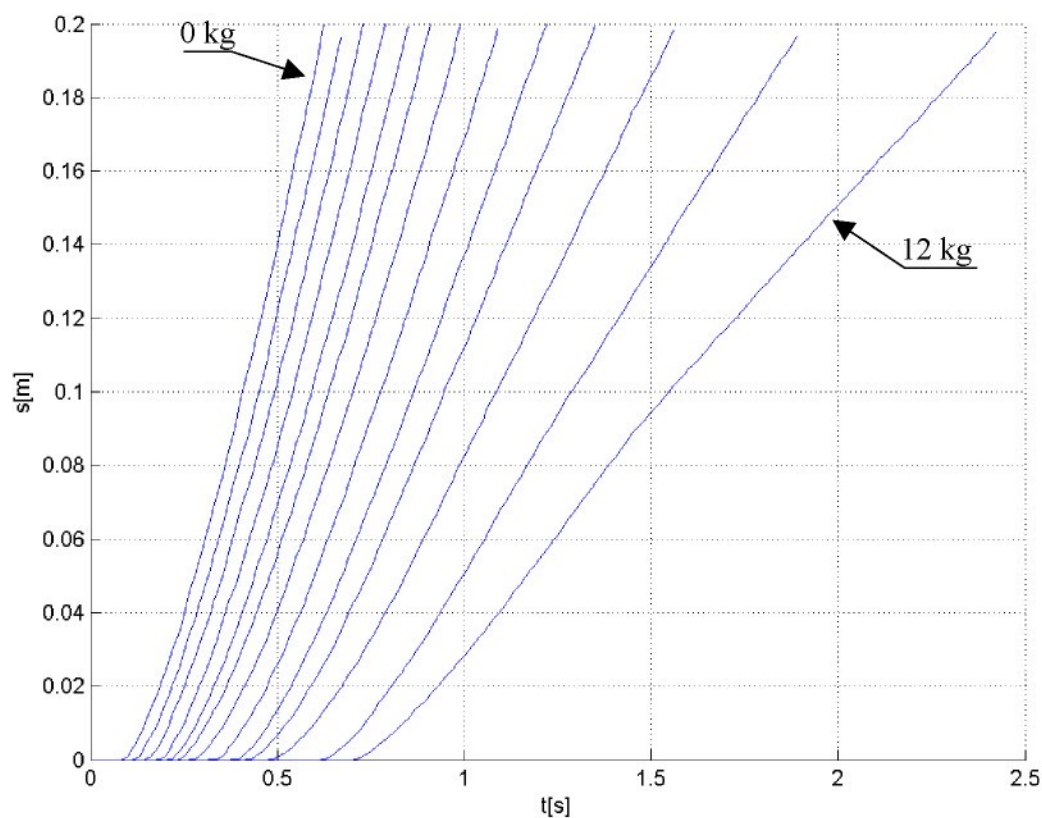
kde y_{vi} - je i -tá pořadnice výsledné funkce,

N - počet měření,

y_{ki} - je i -tá pořadnice funkce v k -tém měření.

Tím, že měření několikrát opakujeme, je možné, v případě že dojde k velké odchylce v měřených hodnotách při stejných podmínkách, nepřesná měření vyčlenit. Při zprůměrování se odstraňují menší chyby, které se v měřených datech vyskytují.

Na následující stránce jsou v obr. 8.3 a 8.4 zobrazeny průběhy polohy a rychlosti pístu pro hodnotu tlaku $p = 4$ bar a zvolená zatížení po zprůměrování.



Obr. 8.3: Průběhy polohy pístu po zprůměrnování dat.

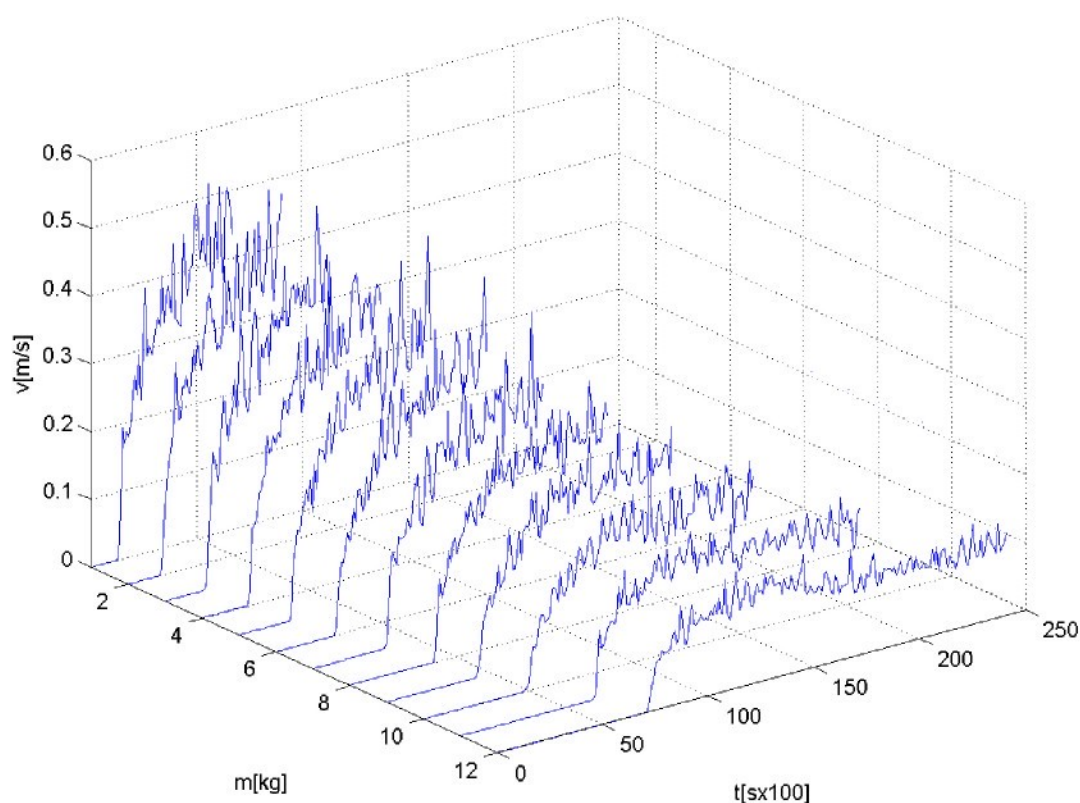
V grafu 8.3 jsou naznačeny průběhy polohy pístu. Průběhy rychlosti pístu jsou na obr.8.4. U tohoto zobrazení bylo použito 3D grafu, a to z důvodu, aby se jednotlivé průběhy navzájem nepřekrývaly. Rychlost pístu lze získat ze změřeného průběhu polohy dle známého fyzikálního vzorce:

$$v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad (8.2)$$

kde Δs - je difference dráhy,

Δt - je difference času (v tomto případě je difference rovna vzorkovacímu kroku),

v - střední rychlost v době od t_1 do t_2 .



Obr. 8.4: Průběh rychlosti pístu po zprůměrování.

Pro účely získávání rychlosti z dat určujících polohu byla v Matlabu napsána funkce *derivace*:

```
function derivace(pcas,podezva)
global rychlost cas_rt
    rychlost(1)=0;cas_r(1)=0;
    for j=1:(n-1)
        rychlost(j+1)=(podezva(j+1)-podezva(j))/(pcas(j+1)-pcas(j));
        cas_r(j+1)=((pcas(j+1)+pcas(j))/2.);
    end;
```

Všechna data získaná výše zmiňovanými funkcemi jsou uložena do předem pojmenovaného souboru. Pro další zpracování byl vytvořen program *identifikace*. Tento program načte data ze souboru, provede přípravu dat k výpočtu koeficientů přenosu a volá funkci *prenos*. Jelikož dochází k dopravnímu zpoždění, tedy doby od okamžiku spuštění

budicího signálu po okamžik vychýlení pístu z nulové polohy, je nutno nulové hodnoty polohy v době dopravního zpoždění pro další výpočet odstranit. Jistě by bylo možné menší dopravní zpoždění aproximovat vyšším řádem přenosu. Je však vhodnější tyto hodnoty z dat pro další výpočet odstranit a hodnotu dopravního zpoždění T_d uchovat v příslušné proměnné, aby ji bylo možno zapsat v přenosu (8.3) nebo (8.4). To provádí funkce *identifikace*.

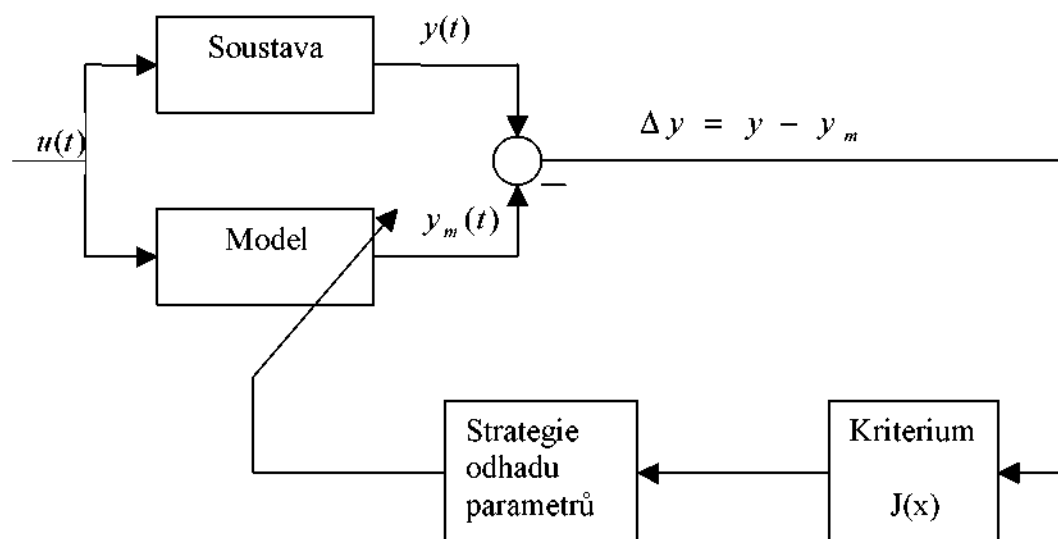
Funkce *prenos* provádí na základě zvolené metody popsané v kapitole 8.1 a na základě kritéria popsaného v kapitole 8.2 výpočet koeficientů přenosu (8.3) a (8.4).

Pro zobrazení výsledků identifikace byl napsán zvláštní program *vysledky*, který zobrazuje průběhy polohy v čase ve 2D zobrazení.

8.1 Metoda identifikace a volba přenosu

První myšlenkou při volbě metody bylo, že se soustava bude budit pomocí PRBS (pseudonáhodný binární signál) signálu a identifikovat modelem ARX. Hned při prvním měření se zatížením se však tento postup ukázal být nevhodným. Docházelo totiž při pohybu do počáteční polohy vlivem zátěže k nárazům v krajní poloze s velkými otřesy. Proto byl použit již zmiňovaný skok o velikosti 1.5 V. Tato velikost byla zvolena z důvodu vhodného vybuzení soustavy, jak bylo pojednáno v teoretické části v kap.(4).

Zvolená metoda parametrizace obrazového přenosu vychází z minimalizace kritéria, které vyhodnocuje chybu modelu vůči reálné soustavě pro nastavené parametry, za podmínky, že šumový signál má střední hodnotu nulovou. Struktura identifikace je naznačena v obr. 8.5.



Obr. 8.5: Struktura identifikace(zdroj: [6]).

kde je:

- $u(t)$ - budící vstupní signál,
- $y(t)$ - odezva identifikované soustavy na budící signál,
- $y_m(t)$ - odezva modelu na budící signál,
- Δy - chyba modelu vůči reálné soustavě pro nastavené parametry.

Nejdříve však bylo třeba určit strukturu modelu identifikované soustavy. Strukturou modelu je chápán zvolený tvar obrazového přenosu, kde hledané parametry pak jsou koeficienty polynomů čitatele a jmenovatele.

Než se začne s volbou modelu, je nutné si uvědomit, o jakou soustavu se vlastně jedná. Soustava pneumatického pohonu z hlediska polohy je soustavou astatickou, což znamená, že soustava nemá na rozdíl od soustav statických samoregulační schopnost. Soustava se po svém vybuzení neustálí na konkrétní hodnotě výstupní veličiny, ale tato hodnota bude konstantně nabývat. Přenosy astatických soustav se vyznačují tím, že koeficient jmenovatele $a_0 = 0$ (viz [9]). Z hlediska rychlosti se jedná o soustavu statickou. Protože výsledek identifikace pomocí uvedené metody významně

závisí na počátečních hodnotách koeficientů se kterými se do výpočtu vstupuje a průběh rychlosti se pro odhad hodí lépe, byla identifikována derivace naměřených dat (rychlost). Pro účely identifikace byly zvoleny dva druhy přenosů s ohledem na jednoduchost a přesnost aproximace naměřených hodnot. Další podmínkou je, aby řád jmenovatele přenosu byl větší než řád čitatele.

Při volbě přenosu bylo postupováno tak, že byl nejdříve zvolen řád čitatele 0 a postupně byl měněn řád soustavy. Jelikož odezva takto vzniklého přenosu nedokázala dostatečně přesně aproximovat naměřená data, bylo nutno zvolit řád čitatele 1 a 2.

Zvolené přenosy pak jsou:

$$G_p(s) = \frac{b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + 1} \cdot e^{-T_d s}, \quad (8.3)$$

$$G_p(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1} \cdot e^{-T_d s}, \quad (8.4)$$

8.2 Kritérium

Jako míru shody mezi identifikovaným dynamickým systémem a jeho aproximací modelem bylo použito kvadratického kritéria ve tvaru:

$$J_2 = J_{(x)} = \int_0^T [y(t) - y_m(t)]^2 dt = \sum_{i=1}^N (y_i - y_m)^2, \quad (8.5)$$

kde $\mathbf{x}$ je vektor parametrů obrazového přenosu.

$y(t)$ odezva identifikované soustavy na budící signál

$y_m(t)$ odezva modelu na budící signál

Ke zjišťování shody mezi identifikovaným systémem a jeho modelem byla napsána funkce *crit* v Matlabu:

```

function f=crit(x)
global tg yg ug ff rychlost           % globální proměnné
b1=x(1);                             % do proměnných uloží hodnoty z
b0=x(2);                             % optimalizovaného vektoru pro daný krok
a2=x(3);
a1=x(4);
B=[b1 b0];
A=[a2 a1 1];
sys=tf(B,A);                         % přenos z optimalizovaných koeficientů
[yi,tj]=lsim(sys,ug,tg);             % simulace dat
f=0;
for k=1:ff
    f=f+((yg(k)-yi(k))*(yg(k)-yi(k))); % kritérium určující shodu dat a modelu
end;

```

8.3 Adaptace – přizpůsobení parametrů modelu identifikované soustavy

Přizpůsobení parametrů modelu identifikované soustavy je možno formulovat jako hledání minima funkce $J(\mathbf{x})$. K tomu je vhodné využít softwarové podpory programu MATLAB, speciálně pak toolboxu Optimization, ve kterém je minimalizační funkce **fmins**. Funkce **fmins** slouží k minimalizaci funkce několika proměnných (viz [6]).

Syntaxe funkce

```

x= fmins('fun',x0),
x= fmins('fun',x0,options),

```

kde fun	-je funkce, která má být minimalizována (<i>crit</i>),
x0	-je vektor parametrů, se kterými se do optimalizace vstoupí,
x	-je vektor parametrů, na kterém je uložen výsledek minimalizace,
options	-je vektor řídicích parametrů: options(2) ...definuje přesnost fun(x) a x, options(14) ...definuje maximální počet

výpočtových kroků.

Výpis z funkce *prenos* vytvořené v Matlabu za účelem výpočtu koeficientů modelu:

```

b1=0.5;b0=6;a2=0.002;a1=0.1;      % vstupní hodnoty koeficientů modelu
B=[b1 b0];
A=[a2 a1 1];
x=[b1 b0 a2 a1];                  % vektor hodnot vstupující do optimalizace
crit(x)                            % kritérium pro optimalizaci
disp('pocitam...')
OPTIONS(2)=1e-9;                   % definuje přesnost
OPTIONS(14)=50;                    % max. počet výpočetních cyklů
x=fmins('crit',x,OPTIONS);          % minimalizační funkce
crit(x)
B=[x(1) x(2)];
A=[x(3) x(4) 1];

```

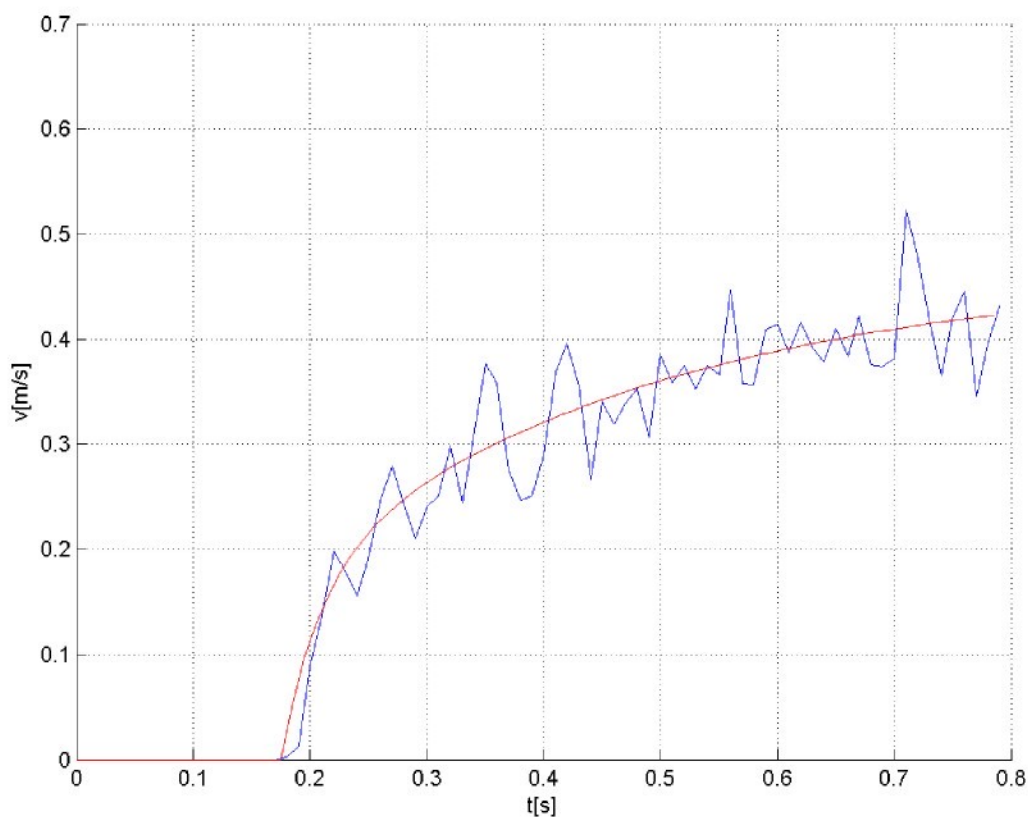
Při identifikaci bylo zjištěno, že rozhodující pro přesnost aproximace je kromě vhodné zvoleného přenosu také volba vstupních hodnot koeficientů přenosu. Osvědčilo se použití menšího počtu výpočtových cyklů a snaha o nalezení co nejpřesnějších vstupních hodnot koeficientů, které by se blížily hodnotám výsledného přenosu. Pro upřesňování koeficientů zvoleného přenosu je pak možné zvýšit počet výpočetních cyklů, případně použít vypočtené hodnoty jako nové vstupní hodnoty při zachovaném počtu výpočetních cyklů.

Verifikace modelu je chápána jako proces ověřování shody výstupu modelu $y_m(t)$ a naměřených odezev systému $y(t)$ na vstupní identifikační signál $u(t)$. Posuzování shody bylo prováděno subjektivně.

Na ukázkou je v následujících grafech (obr.8.6 a 8.7) zobrazen průběh odezvy soustavy a vypočtených modelů na skok 1.5V, při tlaku $p = 4$ bar a hmotnosti závaží $m = 3$ kg.

Přenos získaný parametrizací derivovaných dat podle času pro výše uvedené parametry p a m je:

$$G_P(s) = \frac{1,8931s + 13,7834}{0,0105s^2 + 0,3487s + 1} \cdot e^{-0,17s} \quad (8.6)$$



Obr.8.6: Odezva rychlosti.

Pozn:

modrá - naměřená data

červená - simulovaná data z modelu

Protože přenos 8.6 je získán parametrizací derivovaných dat, je třeba provést integraci. Z vlastností Laplaceovy transformace použijeme větu o integrování originálu. Je-li $F(s) = L\{f(t)\}$, pak platí:

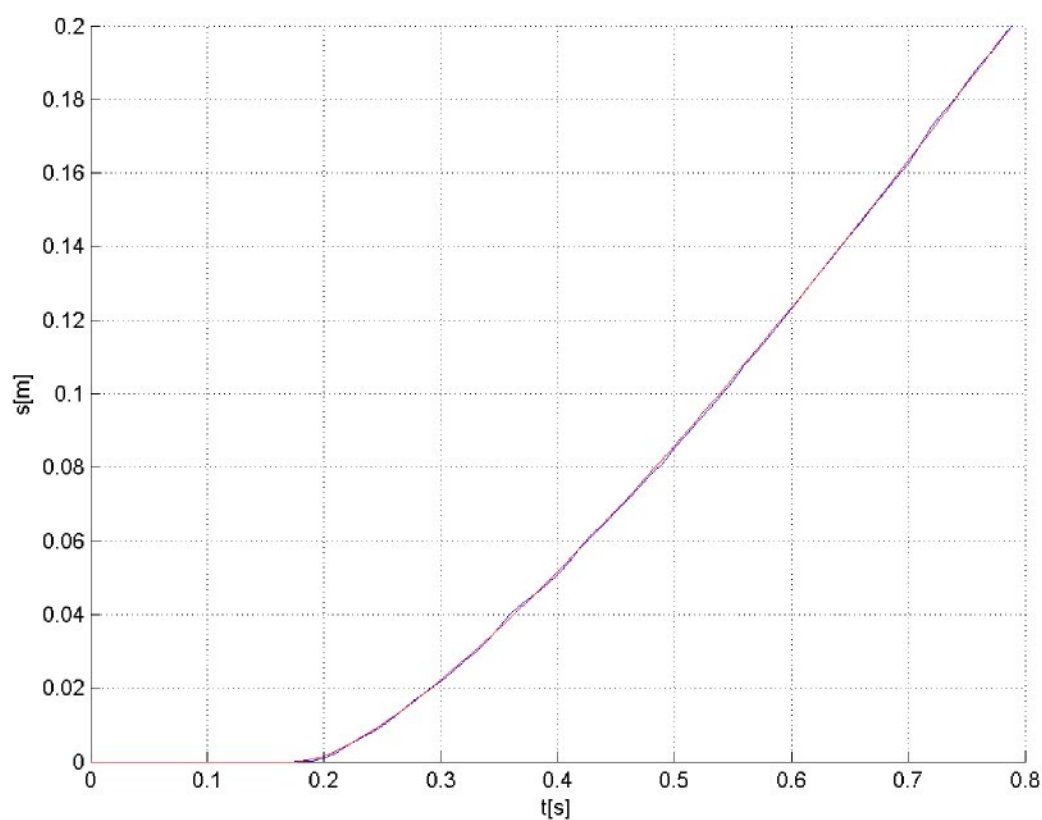
$$L\left\{\int_0^t f(\tau)d\tau\right\} = \frac{1}{s}F(s). \quad (8.7)$$

Podle vztahu (8.7) lze pro integraci v Laplaceově transformaci použít vztah:

$$G(s) = \frac{1}{s} \cdot G_P(s). \quad (8.8)$$

Takto získáme skutečný přenos soustavy:

$$G(s) = \frac{1,8931s + 13,7834}{0,0105s^3 + 0,3487s^2 + s} \cdot e^{-0,17s}. \quad (8.9)$$



Obr.8.7: Odezva polohy.

Pozn:

modrá - naměřená data

červená - simulovaná data z modelu

Při simulaci s uvedeným přenosem získáme odezvu, která představuje napětí měřené potenciometrickým odměřovacím zařízením. Pro lepší představu je odezva v grafech uvedena v metrech, stejně jako naměřená data. Pro převod byla použita konstanta získaná ze vztahu:

$$\frac{zdvih}{rozsah} = \frac{0.225}{10} = 0.0225 \left[\frac{m}{V} \right], \quad (8.10)$$

kde: *zdvih* - zdvih odměřovacího systému,

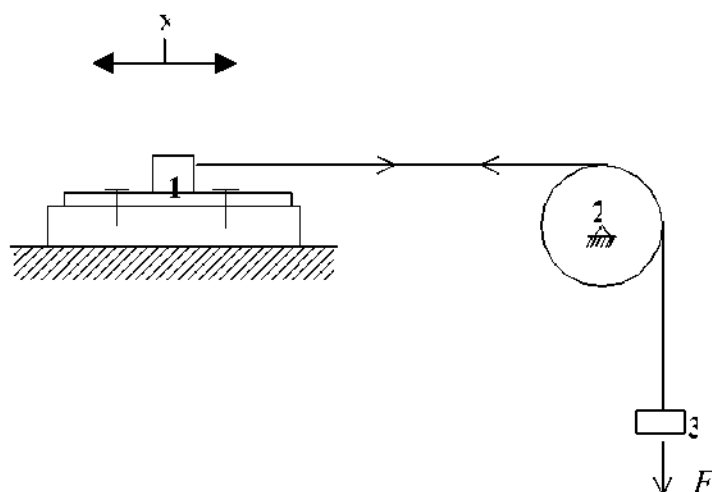
rozsah - rozsah výstupu odměřovacího systému.

Vynásobíme-li hodnotou 8.10 odezvu ve voltech, získáme odezvu v metrech.

9 Návrh přípravku pro zatěžování

Úkolem práce bylo identifikování pneumatického systému zatěžovaného silou působící rovnoběžně s osou pohybu pístu. Pro toto měření bylo třeba nejdříve navrhnout a vyrobit přípravek, který by umožnil na vodorovně se pohybující píst přenést sílu vyvozenou vahou břemene zavěšeného ve svislém směru.

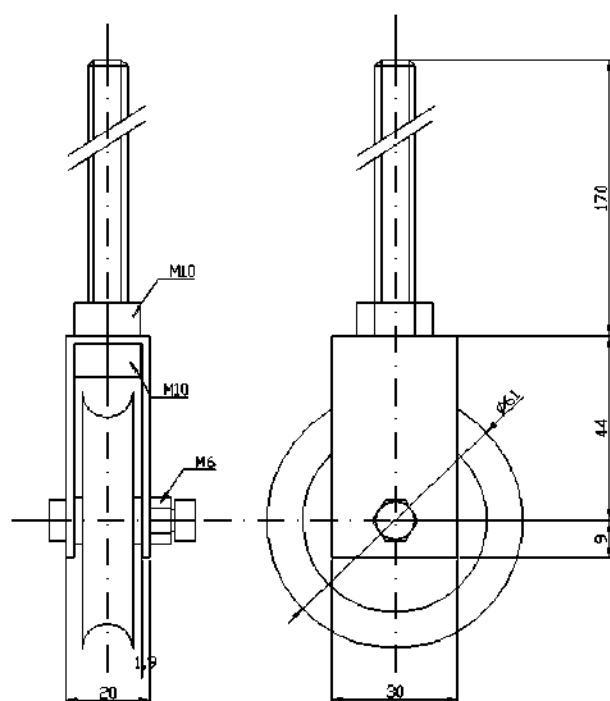
K tomuto účelu byla navržena kladka (obr.9.2), která umožňuje svislou sílu vyvozenou vhodně zvoleným závažím transformovat na sílu působící ve vodorovném směru. Kladka je upevněna jednotlivými díly „stavebnice“, která tvoří konstrukci, ve které jsou umístěny jednotlivé části pneumatického systému. Pro uchycení lanka k jezdcí pneumatického pohonu byl navržen přípravek dle obr.9.3.



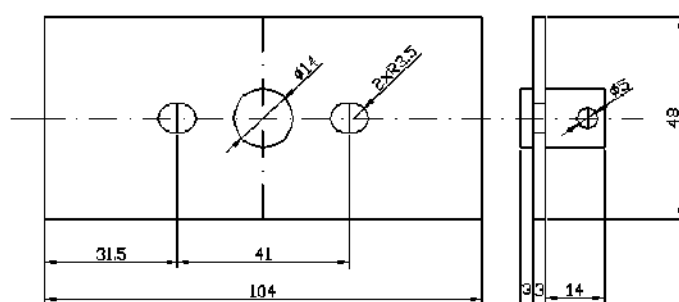
Obr.9.1: Schéma zapojení přípravku s kladkou.

Legenda:

1. přípravek pro uchycení lanka (je přišroubován k jezdcí válce),
2. kladka,
3. břemeno.



Obr.9.2: Kladka.



Obr.9.3: Přípravek pro uchycení lanka.

10 Výsledky

V následujících tabulkách jsou vypsány koeficienty přenosů (8.3) a (8.4). V místech tabulky, kde je v buňce ve sloupci pro koeficienty b_2 a a_3 hodnota 0, je použit přenos (8.3). Pokud je hodnota nenulová, je použit přenos (8.4). V levém horním rohu tabulky se vždy nachází hodnota tlaku stlačeného vzduchu použitého jako hnací médium.

2 bar	b_2	b_1	b_0	a_3	a_2	a_1	T_d
0 kg	0	2,0153	10,4746	0	0,0141	0,4674	0,14
1 kg	0	2,4703	7,9061	0	0,0233	0,5235	0,20
2 kg	0	1,8507	5,6088	0	0,0125	0,4283	0,30
3 kg	0,3015	1,0457	3,4284	0,0045	0,0988	0,3122	0,35

Tab.10.1: Koeficienty přenosů pro $p = 2$ bar.

3 bar	b_2	b_1	b_0	a_3	a_2	a_1	T_d
0 kg	0	2,0452	15,6503	0	0,0084	0,4322	0,11
1 kg	0	1,9608	14,6858	0	0,0116	0,4439	0,14
2 kg	0	1,3795	12,0781	0	0,0078	0,3482	0,18
3 kg	0	1,1622	10,6293	0	0,0073	0,3261	0,22
4 kg	0	0,7499	8,7378	0	0,0043	0,2466	0,28
5 kg	0	0,9664	7,3417	0	0,0067	0,2677	0,35
6 kg	0	0,2853	5,6533	0	0,0035	0,1582	0,39
7 kg	0,1652	1,9262	3,7517	0,0009	0,0657	0,4104	0,55
8 kg	0,2877	1,4903	2,3536	0,0041	0,1343	0,3705	0,66

Tab.10.2: Koeficienty přenosů pro $p = 3$ bar.

4 bar	b_2	b_1	b_0	a_3	a_2	a_1	T_d
0 kg	0	1,7369	16,3995	0	0,0053	0,3211	0,08
1 kg	0	1,3728	15,0275	0	0,0035	0,2817	0,11
2 kg	0	1,6065	14,4460	0	0,0061	0,3089	0,14
3 kg	0	1,8931	13,7834	0	0,0105	0,3487	0,17
4 kg	0	1,7147	13,1257	0	0,0110	0,3540	0,20
5 kg	0	0,9745	12,4259	0	0,0028	0,2963	0,23
6 kg	0	1,2439	11,6039	0	0,0110	0,3439	0,26
7 kg	0	1,2054	9,9917	0	0,0141	0,3146	0,31
8 kg	0	0,7527	8,6005	0	0,0084	0,2452	0,37
9 kg	0	0,2697	7,4718	0	0,0025	0,1801	0,41
10 kg	0	0,1874	6,2044	0	0,0023	0,1689	0,47
11 kg	0,3066	5,9927	4,0753	0,0029	0,1745	1,1858	0,61
12 kg	0,0996	0,7540	3,3635	0,0008	0,0511	0,2028	0,70

Tab.10.3: Koeficienty přenosů pro $p = 4$ bar.

5 bar	b_2	b_1	b_0	a_3	a_2	a_1	T_d
0 kg	0	1,7711	16,9745	0	0,0070	0,3146	0,06
1 kg	0	2,1920	16,4734	0	0,0109	0,3603	0,08
2 kg	0	2,2967	15,6385	0	0,0112	0,3657	0,11
3 kg	0	1,8406	15,2929	0	0,0117	0,3349	0,13
4 kg	0	2,0925	14,5005	0	0,0096	0,3509	0,17
5 kg	0	2,0876	14,4014	0	0,0127	0,3809	0,19
6 kg	0	1,5524	13,5070	0	0,0102	0,3399	0,21
7 kg	0	0,9815	12,4759	0	0,0093	0,2794	0,23
8 kg	0	1,1592	11,9415	0	0,0131	0,3062	0,26
9 kg	0	1,6373	11,3155	0	0,0210	0,3725	0,30
10 kg	0	1,9151	10,2428	0	0,0253	0,3878	0,35
11 kg	0	0,4619	9,1827	0	0,0030	0,2174	0,41
12 kg	0	0,3369	8,0583	0	0,0028	0,2135	0,45

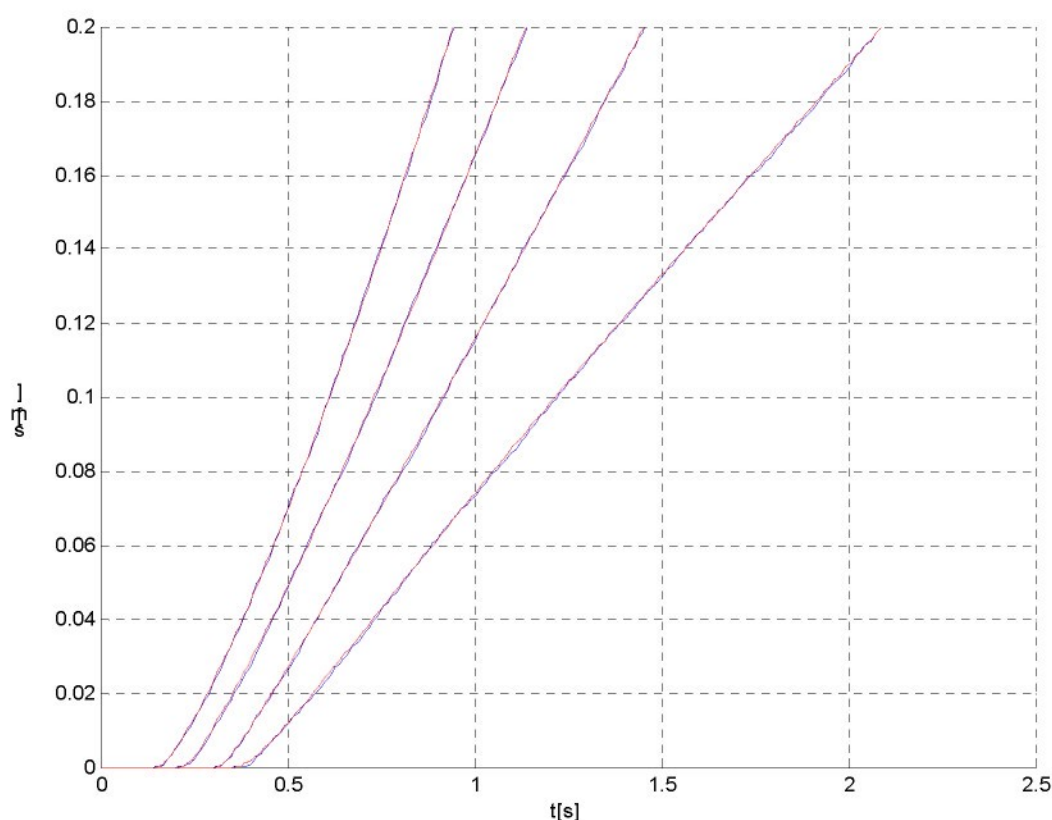
Tab.10.4: Koeficienty přenosů pro $p = 5$ bar.

6 bar	b_2	b_1	b_0	a_3	a_2	a_1	T_d
0 kg	0	3,0047	20,3561	0	0,0079	0,4813	0,06
1 kg	0	4,8798	18,2095	0	0,0365	0,5999	0,07
2 kg	0	2,0820	16,6239	0	0,0139	0,3663	0,08
3 kg	0	2,5303	14,5679	0	0,0262	0,3782	0,09
4 kg	0	1,2190	14,3352	0	0,0073	0,2585	0,13
5 kg	0	1,2781	14,0399	0	0,0073	0,2639	0,16
6 kg	0	1,5849	13,8779	0	0,0085	0,2923	0,19
7 kg	0	0,9693	12,7579	0	0,0063	0,2412	0,20
8 kg	0	0,6304	12,3546	0	0,0055	0,2204	0,22
9 kg	0	0,3287	11,7896	0	0,0010	0,1921	0,25
10 kg	0	0,3906	11,6320	0	0,0053	0,2256	0,26
11 kg	0	1,2130	11,4660	0	0,0158	0,3050	0,30
12 kg	0	0,5676	10,9550	0	0,0052	0,2665	0,34

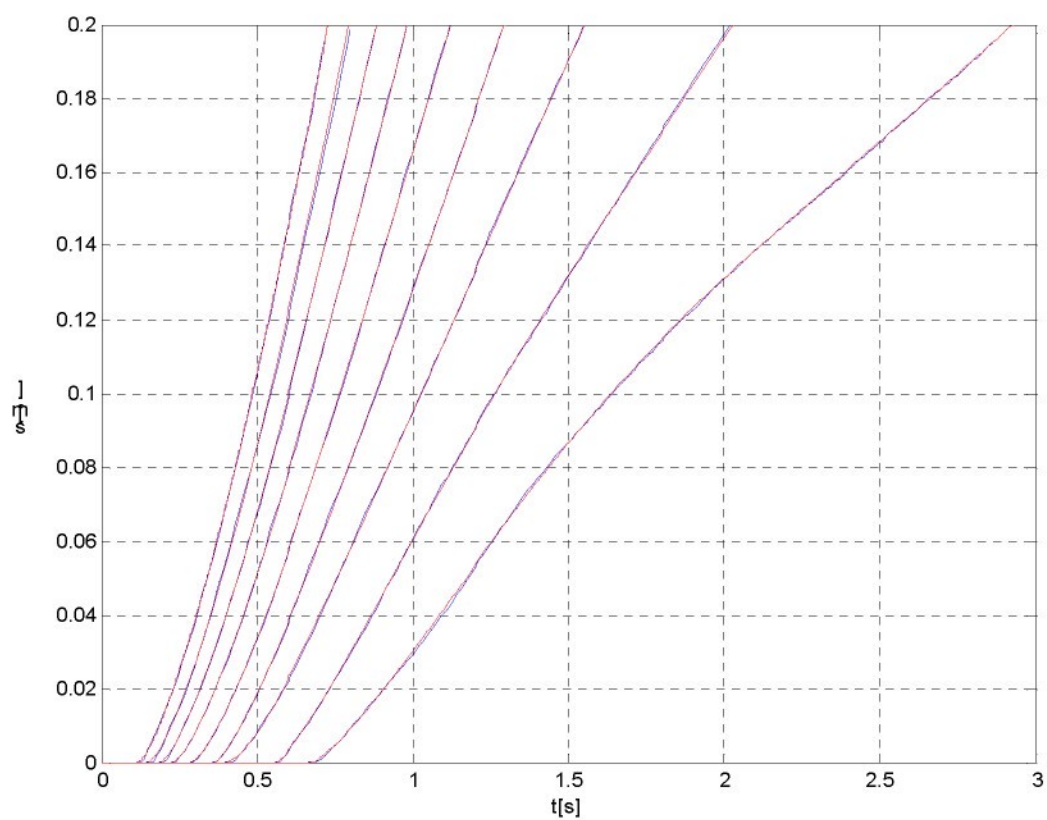
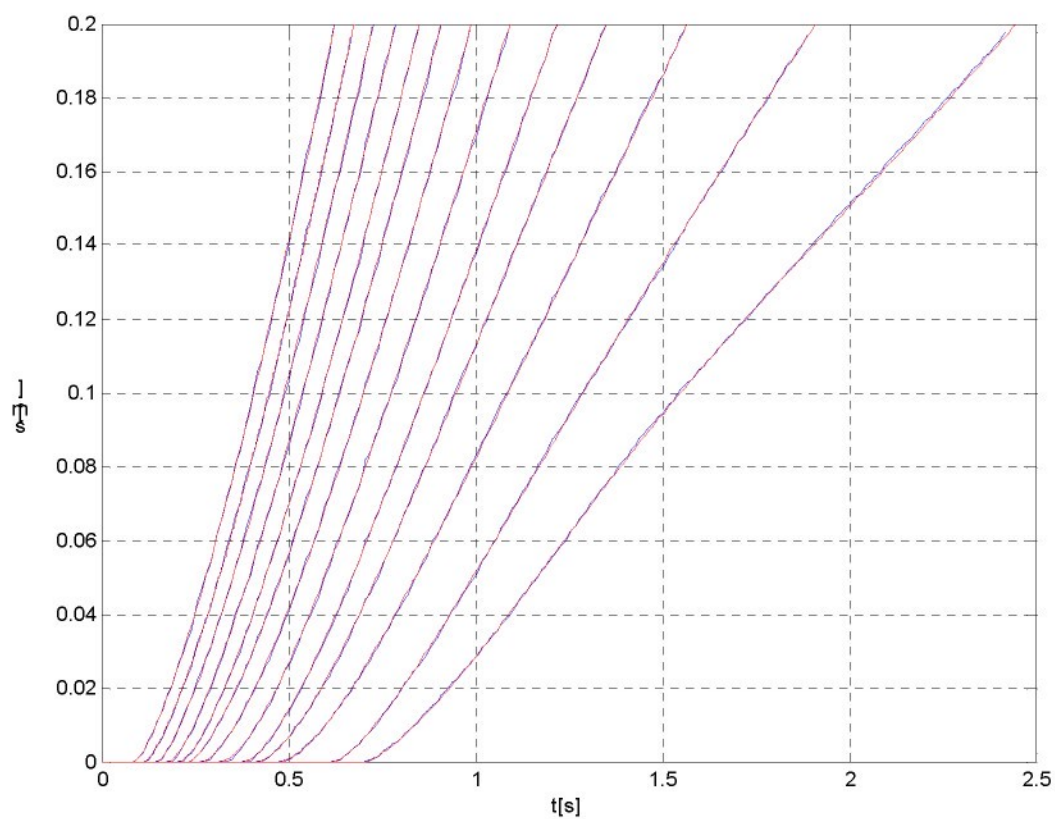
Tab.10.5: Koeficienty přenosů pro $p = 6$ bar.

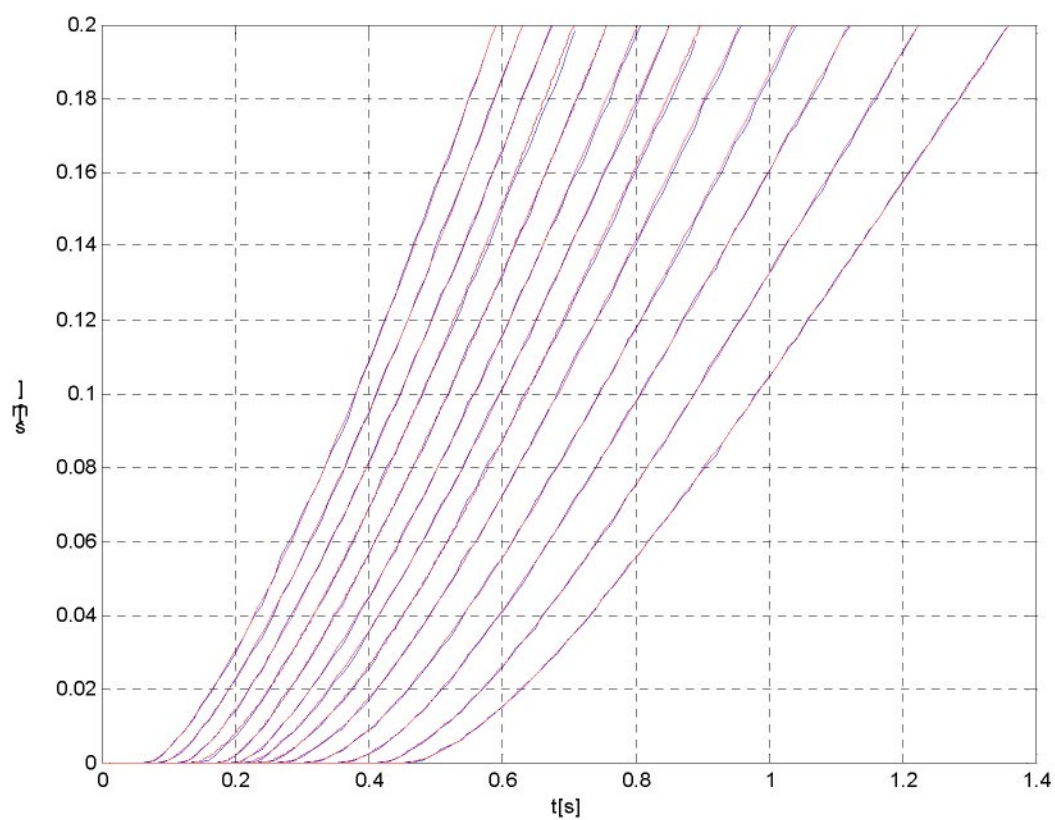
10.1 Výsledky v grafech

Chování pneumatického systému je závislé na mnoha vlivech. Po identifikaci systému pro různá zatížení a tlaky hnacího vzduchu měl být posouzen vliv těchto změn vstupních parametrů na chování pneumatického systému. Výsledky zobrazené v následujících grafech naznačují vliv změn zmíněných parametrů na chování systému. Na obr.10.1 až 10.5 jsou modře vykresleny průběhy naměřených dat a červeně nasimulované průběhy odezev pro $u(t) = 1.5 \cdot \eta(t)$ z přenosů $G(s)$. Odezvy jsou pomocí 8.10 přepočteny na metry. První průběh zleva vyznačuje průběh polohy pístu v čase při zatížení 0 kg. Další průběhy směrem doprava ukazují chování pístu pro zatížení vždy o 1 kg vyšší. Z výsledků je vidět, že zatížení má vliv na velikost dopravního zpoždění a průběh odezev. Zejména pak pro hodnoty zatížení, které se blíží maximu, pro které je tlak stlačeného vzduchu schopen uvést píst do pohybu (obr.8.1). Rovněž tlak stlačeného vzduchu má významný vliv na dopravní zpoždění, průběh odezev a nosnost zařízení. Na chování systému má dále vliv také teplota a nelinearity způsobené spínáním kompresoru při poklesu tlaku ve vzdušníku na hranici sepnutí a tření.

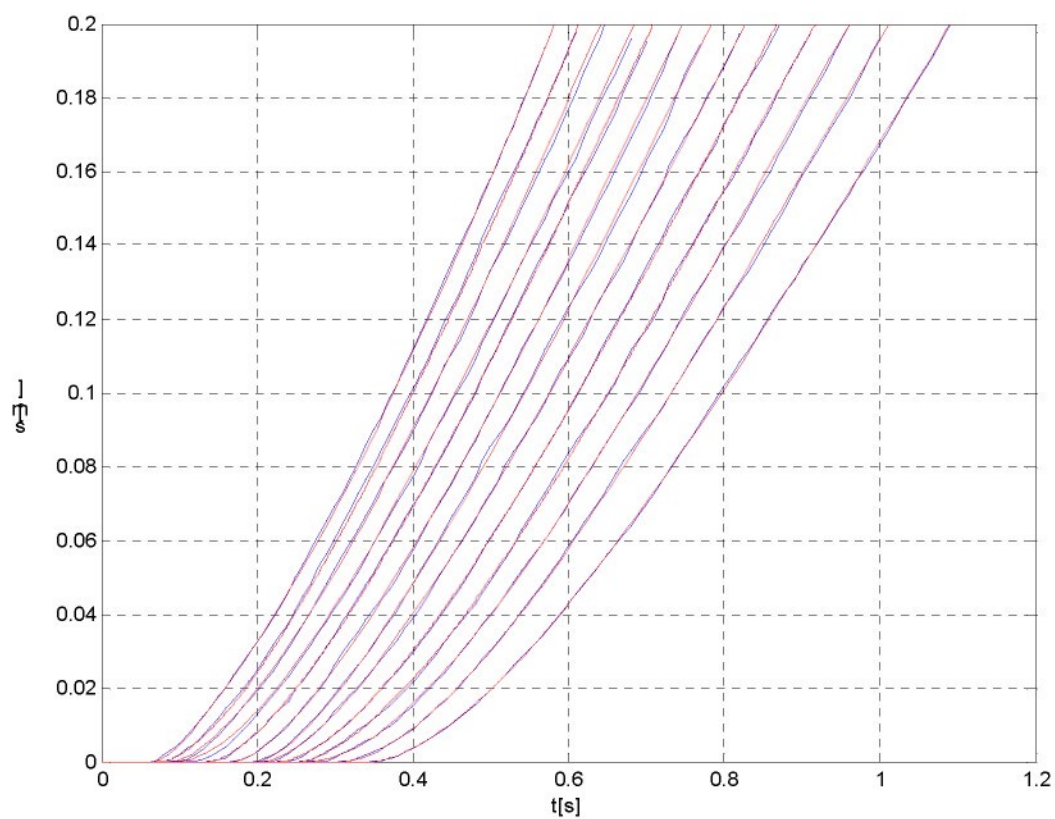


Obr.10.1: Průběh polohy jezdce pro $p = 2\text{bar}$ a $m = 0 - 3\text{kg}$.

Obr.10.2: Průběh polohy jezdce pro $p = 3 \text{ bar}$ a $m = 0 - 8 \text{ kg}$.Obr.10.3: Průběh polohy jezdce pro $p = 4 \text{ bar}$ a $m = 0 - 12 \text{ kg}$.



Obr.10.4: Průběh polohy jezdce pro $p = 5 \text{ bar}$ a $m = 0 - 12 \text{ kg}$.



Obr.10.5: Průběh polohy jezdce pro $p = 6 \text{ bar}$ a $m = 0 - 12 \text{ kg}$.

11 Závěr

Práce spočívala v identifikaci pneumatického systému s lineárním pohonem, kdy jezdec pneumatického pohonu byl zatěžován pomocí přípravku a kladky (kap.9) zvolenými hodnotami zatížení a pohon byl buzen skokovým signálem se zvolenými hodnotami tlaků hnacího média. Výsledky v podobě koeficientů přenosů byly přehledně vepsány do tabulek (kap.10) a shoda naměřených dat a dat získaných simulací z vypočtených přenosů je naznačena v grafech v kapitole 10.1.

Samotné zpracování naměřených dat představuje poměrně zdoluhavý úkon, který se podařilo částečně eliminovat pomocí několika do sebe vnořených funkcí vytvořených v Matlabu. Tyto funkce byly napsány v takové podobě, aby je bylo možno v případě potřeby snadno upravit nebo v některých případech použít v nezměněném tvaru i při jiných měřeních.

Pro potřeby měření byl navržen a za pomoci kolegů z katedry zhotoven přípravek s kladkou (kap.9), které plně postačují pro cvičná měření při hodinách na katedře aplikované kybernetiky.

Porovnání výsledků naznačuje velkou proměnlivost chování pneumatického pohonu v závislosti na změnách tlaku hnacího média a zátěže. I přes všechny nedostatky s tím spojené se domnívám, že pneumatické systémy jsou naopak díky svým přednostem v některých aplikacích nenahraditelné.

12 Použitá literatura

- [1] Balátě, J.: Automatické řízení. Ben-technická literatura, Praha 2004.
- [2] Hanuš, B., Balda, M a kol.: Základy technické kybernetiky-I.část. VUT, Brno 1981.
- [3] Chvála, B., Nedbal, J. a Dunay, G.: Automatizace. SNTL/ALFA 1987.
- [4] Kopáček, J.: Pneumatické mechanismy. VŠDS v Žilině, Žilina 1991.
- [5] Modrlák, O.: Analýza dynamických systémů. TU Liberec 2002.
- [6] Modrlák, O.: Úvod do identifikace. TU Liberec 2002.
- [7] Noskievič, P.: Modelování a identifikace systémů. Montanex, Ostrava 1999.
- [8] Olehla, M.: Identifikace technologických soustav. TU Liberec, Liberec 1997.
- [9] Olehla, M.: Základy aplikované kybernetiky. TU Liberec, Liberec 1997.

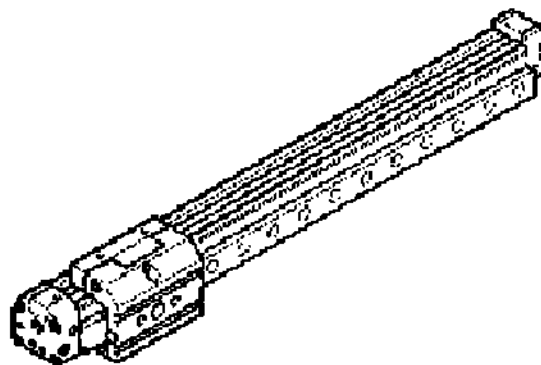
PŘÍLOHY

Seznam příloh:

- 1 Technické specifikace prvků v pneumatickém okruhu.
- 2 Naměřená data a zdrojové texty funkcí – na přiloženém CD-ROM.

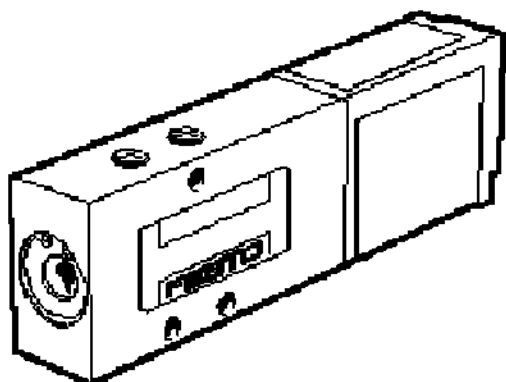
Příloha 1:

Lineární pohon DGPL – 25 –PPV-A-KF-B



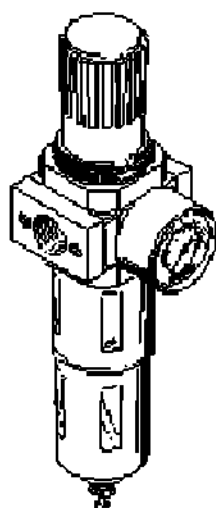
parametr:	hodnoty:
typ provozu	dvojčinný
tvár pístu	kruhový
způsob snímání	magnetick.
typ tlumení	nastavitelné, pneumatické tlumení
délka tlumení	18 mm
pojištění proti pootočení	vedení
princip unášení	uzavřený tvar (drážka)
princip vedení	kuličkové uložení
velikost pístu	25
zdvih X	X
zdvih min. při X-zdvihu	10 mm
zdvih max. při X-zdvihu	3000 mm
provozní tlak min.	2 bar
provozní tlak max.	8 bar
min. teplota okolí	-10 °C
max. teplota okolí	60 °C
typ připojení	vnitřní závit
připojovací závit strany 1	G 1/8
způsob připojení připojovacíh	závitů vnitřní závit
připojovací závit strany 2	G 1/8
využitel. síla (teor.) při 6 barech	295 N
spotř. vzd. při 6 barech/10 mm	0,034 l
provozní médium	filtrovaný tlakový vzduch

Proporcionální průtokový ventil MPYE-5-M5-010-B



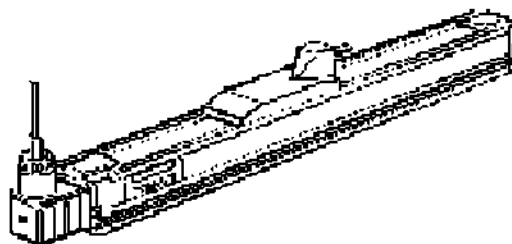
parametr:	hodnoty:
symbol spínací funkce	ventil 5/3, střední poloha uzavřena
zkratka spínací funkce	5/3
funkce ve středové poloze (=klidové)	uzavřeno
funkční princip	šoupě
funkční část	píst
jmen. světlost	2 mm
provozní tlak min.	0 bar
provozní tlak max.	10 bar
min. teplota okolí	0 °C
max. teplota okolí	50 °C
min. teplota média	5 °C
max. teplota média	40 °C
jmenovité provozní napětí (DC)	24 V
provozní napětí min. (DC)	17 V
provozní napětí max. (DC)	30 V
příkon max.	20 W
druh signálu požadované hodnoty	napětí
požadované napětí min.	0 V
požadované napětí max.	10 V
hystereze max.	0,4 %
hmotnost výrobku	0,29 kg
normál. jmen. průtok	100 l/min
provozní médium	filtrovaný (5 µm) tlakový vzduch, nemazaný

Redukční ventil s filtrem LFR-1/8-D-5M-MINI



parametr:	hodnoty:
vstupní tlak 1 min.	1 bar
vstupní tlak 1 max.	16 bar
výstupní tlak 2 min.	0,5 bar
výstupní tlak 2 max.	12 bar
poloha pro instalaci	svisle
min. teplota okolí	-10 °C
max. teplota okolí	60 °C
min. teplota média	-10 °C
max. teplota média	60 °C
kovová ochrana nádobky	ano
jemnost filtru	5 um
max. množství kondenzátu	22 cm ³
technika odpouštění kondenzátu	ručně, otáčení
uzamčení pohonu (tlak-reg.)	aretace
tlaková hystereze (redukční ventil)	0,2 bar
manometr ano/ne	ano
vlastnosti při změně směru proudění	sekundární odvětrání
hmotnost výrobku	0,46 kg
normál. jmen. průtok 1 - 2	650 l/min

Odměřovací systém MLO-POT-225-TLF



parametr:

hodnoty:

zdvih

225 mm

hmotnost výrobku

0,9 kg

Prohlášení o využití diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 o právu autorském, zejména §60(školní dílo) a §35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci 26.05.2005

.....
Antonín Novák

