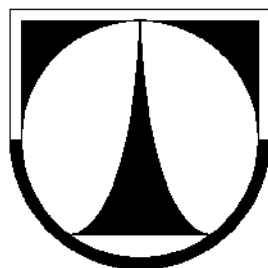


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
AUTOMATIZOVANÉ SYSTÉMY ŘÍZENÍ VE STROJÍREN
STVÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Identifikace pneumatického systému metodou odhadu
parametrů modelu

Liberec 2008

Jaromír Tymeš

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:	Jaromír Tymeš
Téma práce:	Identifikace pneumatického systému metodou odhadu parametrů modelu
Theme of work:	Identification of the pneumatic system by the method estimation parametrs of the model
Rok obhajoby DP:	2008
Vedoucí DP:	Ing. Michal Moučka, Ph.D.
Konzultant DP:	prof. Ing. Miroslav Olehla, CSc.

Anotace:

Cílem diplomové práce je identifikace pneumatického systému FESTO, složeného z lineární pneumatické bezpístnicové jednotky DGPL-25-225-PPV-A-KF a pneumatického proporcionálního ventilu MPYE-5-1/8-LF-010-B metodou odhadu parametrů modelu. Pro řešení této metody vybrat vhodné algoritmy a ověřit zda zvolená metoda je vhodná pro danou pneumatickou soustavu.

Annotation:

The aim of this diploma thesis is identification of the pneumatic systém FESTO, thaht is made of a linear pneumatic non-piston unit DGPL-25-225-PPV-A-KF and a pneumatic proportional valve MPYE-5-1/8-LF-010-B by the method estimation parametrs of the model. For resolution of this metos choose decision procedure and verify if choice metod is appropriate for this pneumatic systém.

Místopřísežné prohlášení:

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

V Liberci 23.05.2008

.....
Jaromír Tymeš

1 Úvod

Cílem této diplomové práce je seznámit se s problematikou identifikace technologických soustav a ověřit, zda je daná metoda identifikace vhodná pro lineární pneumatický systém. Zpracované výsledky budou poskytnuty studentům katedry aplikované kybernetiky, jako pomůcka pro názorné seznámení s problematikou identifikace pneumatických soustav.

Diplomová práce je rozdělena na dvě části. Na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části je přiblížena problematika identifikace technologických soustav. Dále je zde přiblížena metoda odhadu parametrů modelu a také je zde popsán užitý algoritmus výpočtu pro danou metodu a popsány vstupní signály.

Praktická část se nejprve věnuje popisu jednotlivých prvků pneumatického obvodu a následně samotné identifikaci lineárního pneumatického systému metodou odhadu parametrů modelu, metodě výpočtu a zpracování naměřených dat a také zobrazení výsledů.

2 Pneumatické systémy

Protože úkolem této diplomové práce je identifikace pneumatického systému, jsou v této kapitole přiblíženy vlastnosti pneumatického systému.

V pneumatických systémech probíhají termomechanické jevy. Pracovním médiem jsou plyny, které jsou pod tlakem, aby vykonaly práci.

Při modelování pneumatického systému je nutno respektovat fakta :

- stlačitelnost pracovního média,
- změna teploty pracovního média

V důsledku stlačitelnosti plynů se změní také hustota. Změny hustoty, které téměř vždy nastanou u pneumatických systémů, musí být uvažovány v modelu. Stlačitelnost plynů má také za následek pomalejší odezvu na změnu stavu než např. u hydraulických systémů. Teplota jakožto míra vnitřní energie plynu, je důležitou stavovou proměnou modelovaného procesu. V pneumatických systémech se mohou objevit velké změny teplot, když se mechanická energie přeměňuje v tepelnou. Teplota se mění podle zákonů termomechaniky.

$$p = \rho \cdot R \cdot T, \quad \text{resp.} \quad p \cdot V = m \cdot R \cdot T. \quad (2.1)$$

Při analýze pneumatických systému je nutné používat zákonů mechaniky tekutin i zákonů termomechaniky. Musí být uvažována interakce všech tří základních termodynamických veličin – tlaku p , hustoty ρ , popřípadě objemu V a teploty T . Při modelování pneumatických systémů je ale tlak p hlavní stavovou veličinou, která je středem našeho zájmu, jelikož při působení tlaku na plochu vzniká síla, která působí na mechanickou zátěž a může konat mechanickou práci [2].

3 Identifikace

Identifikace systému je vlastně zjištění dynamických vlastností daného systému a jejich matematický popis. Pomocí matematického popisu systému, je pak možné sestavit model reálné soustavy, navrhnout neoptimálnější regulaci a tím docílit neoptimálnějšího chodu daného systému.

3.1 Identifikace a její metody

V prvé řadě se rozlišuje identifikaci na tzv. on-line a off-line. O identifikaci off-line hovoříme tehdy, vyhodnocujeme-li data získaná měřením soustavy od počátku činnosti procesu až do konce. Oproti tomu identifikace on-line, znamená, že vyhodnocujeme data za běhu soustavy průběžně v libovolném časovém okamžiku.

Dále se identifikace dělí 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 [2].

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 popsitelné. 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 [2]. 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.

3.4 Identifikace systému odhadem parametrů modelu

3.4.1 Popis metody identifikace systému odhadem parametrů modelu

Metoda odhadu parametrů umožňuje stanovit parametry modelu zvolené struktury (řád modelu, stupeň polynomu v čitateli a jmenovateli přenosu, zavedení dopravního zpoždění apod.) z průběhu posloupnosti změřených hodnot vstupu u a výstupu y . Metoda předpokládá diskrétní měření signálů, čímž se získají odpovídající si číselné posloupnosti hodnot vstupu $u(k)$ a výstupu $y(k)$. Matematický model se předpokládá v diskrétním tvaru vyjádřený např. diferenční rovnicí

$$y(k) + a_1 \cdot y(k-1) + \dots + a_n \cdot y(k-n) = b_0 \cdot u(k) + b_1 \cdot u(k-1) + \dots + b_n \cdot u(k-n), \quad (3.1)$$

resp. Z – přenosem

$$G(z) = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + \dots + b_n z^{-n}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}}. \quad (3.2)$$

Ověření správnosti modelu se provádí porovnáním výstupu systému y s výstupem modelu y_M při vybuzení systému i modelu stejným vstupním signálem. Měřitelný výstupním signál systému y se skládá z neměřitelného výstupu y_s a poruchy na výstupu r_s . Přenos modelu je vyhodnocován odchylkou vstupů

$$e = y - y_M \quad (3.3)$$

Pokud je tato dostatečně malá, znamená to, že byly odhadnuty dostatečně přesné parametry modelu. Pokud tomu tak není, je nutné vhodným způsobem změnit koeficienty modelu, aby se chyba zmenšila[2].

3.4.2 Model systému

Očekávaný diskrétní model systému je ve tvaru diferenční rovnice

$$y_M(k) + a_1 \cdot y_M(k-1) + \dots + a_n \cdot y_M(k-n) = b_0 \cdot u(k) + b_1 \cdot u(k-1) + \dots + b_n \cdot u(k-n), \quad (3.4)$$

jehož koeficienty $a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_n$ se mají určit. Výstup systému lze vyjádřit jako

$$y_M(k) = -\sum_{i=1}^n a_i \cdot y_M(k-i) + \sum_{i=1}^n b_i \cdot u(k-i), \quad (3.5)$$

resp. pro aplikaci Z-transformace

$$Y_M(z) = Z_M(z)(a_1 \cdot z^{-1} + \dots + a_n \cdot z^{-n}) + U(z)(b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + \dots + b_n \cdot z^{-n}). \quad (3.6)$$

Pro zjednodušení dalších zápisů je zde uveden zkrácený zápis polynomů:

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1 \cdot z^{-1} + \dots + a_n \cdot z^{-n}, \\ B(z^{-1}) &= b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + \dots + b_n \cdot z^{-n}. \end{aligned}$$

Diskrétní přenos systému lze pak snadno vyjádřit ve tvaru:

$$G_M(z) = \frac{Y_M(z)}{U(z)} = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + \dots + b_n \cdot z^{-n}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + \dots + a_n \cdot z^{-n}}. \quad (3.7)$$

4 Průběžné metody

V technické praxi se často řeší s problémem určení koeficientů regresního modelu pro rozsáhlá měření nebo pro průběžné měření a vyhodnocování. Také v této diplomové práci bylo třeba zvolit metodu pro vyhodnocení naměřených dat. Z důvodů velkého množství dat byla zvolena metoda elementární matice rotací. Metoda elementární matice rotací umožňuje nejen vyhodnocení rozsáhlých měření, ale rovněž průběžné vyhodnocení[3].

4.1 Elementární matice rotací

Při numerických výpočtech lineárních rovnic můžeme dostat ne zcela přesný výsledek. Může se to stát jednak zaokrouhlováním mezivýsledků, způsobeným konečnou délkou slova u počítače, která bývá především u řídicích počítačů krátká, jednak tím, že koeficienty soustav rovnic jsou známy jen přibližně. Soustava rovnic z technické úlohy má koeficienty získané zpravidla experimentálně a pak je nutno znát nejen řešení této soustavy, ale též vliv změn koeficientů na měření. Může se totiž stát, že malá změna koeficientů vede k velkým změnám ve výsledku, a tím je výsledek řešení bezcenný. Tento problém malé stability vzniká u soustav lineárních rovnic se špatně podmíněnou maticí. Takto se nazývá čtvercová regulární matice, u níž je inverzní matice nestabilní.

V mnoha případech je proto výhodné i z hlediska stability použít modifikace eliminační metody, při které se jako pomocné matice volí elementární matice rotací. Tato metoda vyžaduje čtyřnásobek výpočetních operací oproti např. Gaussově metodě, má však větší stabilitu a je málo citlivá na nepřesnosti vzniklé malými hodnotami determinantů pomocných soustav rovnic[3].

Elementární matice rotací má pak tento tvar:

$$\mathbf{T}_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & c \dots - s & & \\ & \vdots & \ddots & \\ & s \dots - c & & \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

kde $c^2 + s^2 = 1$.

Elementární matice rotací se liší od jednotkové matice nejvýše ve čtyřech prvcích ležících v průsečících řádků a sloupců s indexy i a j , $i \neq j$.

Je zřejmé, že při násobení matice $\mathbf{A}$ maticí $\mathbf{T}_{ij}$ zleva se změní jen prvky v i -tém a j -tém řádkem matice $\mathbf{A}$. Bude totiž pro prvky matice $^{(1)}\mathbf{A} = \mathbf{T}_{ij}\mathbf{A}$ platit

$$^{(1)}a_{iL} = ca_{iL} - sa_{jL}$$

$$L = 1, 2, \dots, n.$$

$$^{(1)}a_{jL} = sa_{iL} - ca_{jL}$$

Je-li alespoň jeden z prvků a_{iL} a a_{jL} různý od nuly, lze zřejmě zvolit čísla c a s tak, aby prvek $^{(1)}a_{jL}$ matice $^{(1)}\mathbf{A} = \mathbf{T}_{ij}\mathbf{A}$ byl roven nule. Stačí totiž vzít

$$s = -\frac{a_{jL}}{\sqrt{a_{iL}^2 + a_{jL}^2}}, \quad c = \frac{a_{iL}}{\sqrt{a_{iL}^2 + a_{jL}^2}}$$

a potom je

$$^{(1)}a_{iL} = \sqrt{a_{iL}^2 + a_{jL}^2} > 0, \quad ^{(1)}a_{jL} = 0.$$

Platí tedy věta, že každou regulární matici lze řetězcem násobení elementárními maticemi rotací převést v pravou trojúhelníkovou matici, jejíž všechny diagonální prvky, popř. s výjimkou posledního, jsou kladné.

Popis postupu výpočtu.

Je zvolna matice např. $A_{3,3}$ a provedme násobení maticí T_{12} zleva.

$$\begin{bmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 \\ s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} c_{12}a_{11} - s_{12}a_{21} = a_{11}^{(1)} & c_{12}a_{12} - s_{12}a_{22} = a_{12}^{(1)} & c_{12}a_{13} - s_{12}a_{23} = a_{13}^{(1)} \\ s_{12}a_{11} + c_{12}a_{21} = 0 & s_{12}a_{12} + c_{12}a_{22} = a_{22} & s_{12}a_{13} + c_{12}a_{23} = a_{23}^{(1)} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}.$$

Koeficienty c_{12} a s_{12} jsou určeny z podmínky

$$c_{12}^2 + s_{12}^2 = 1$$

$$s_{12}a_{11} + c_{12}a_{21} = 0 \quad (a_{21}^{(1)})$$

$$s_{12} = \frac{a_{21}}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{21}^2}}; \quad c_{12} = \frac{a_{11}}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{21}^2}}.$$

Jestliže $a_{11} = a_{21} = 0$ položíme $c_{12} = 1$, $s_{12} = 0$.

Násobením T_{12} A zleva se nuluje prvek a_{31} a násobením T_{23} A prvek a_{32} .

$$A^{(3)} = \begin{bmatrix} a_{11}^{(3)} & a_{12}^{(3)} & a_{13}^{(3)} \\ 0 & a_{22}^{(3)} & a_{23}^{(3)} \\ 0 & 0 & a_{33}^{(3)} \end{bmatrix}.$$

Obecně pro vytvoření trojúhelníkové matice z matice řádu $n \times n$ je zapotřebí $\frac{1}{2}(n-1)n$ kroků.

V případě řešení lineárních rovnic je nutné provést stejné úpravy také u vektoru pravých stran.

$$A \cdot x = b$$

5 Vstupní signály

5.1 Rozdělení vstupních signálů

Vstupní signály mohou být deterministické nebo stochastické. Deterministické se dají analyticky popsat, patří mezi ně skoková změna, rampový signál, puls, harmonický signál.

Stochastické (náhodné) signály nelze analyticky popsat, jejich každá realizace je jedinečná, náhodná a neopakovatelná. Typickým představitelem stochastického signálu je bílý šum.

Pseudonáhodné signály představují náhodné signály, jejichž vlastnosti jsou za určitých podmínek stejné, jako nenáhodných signálů, avšak jsou získané deterministickým způsobem (např. PRBS- pseudonáhodný binární signál) [2].

5.2 PRB signál

Lineární rekurentní generátor mod 2 (PRBS)

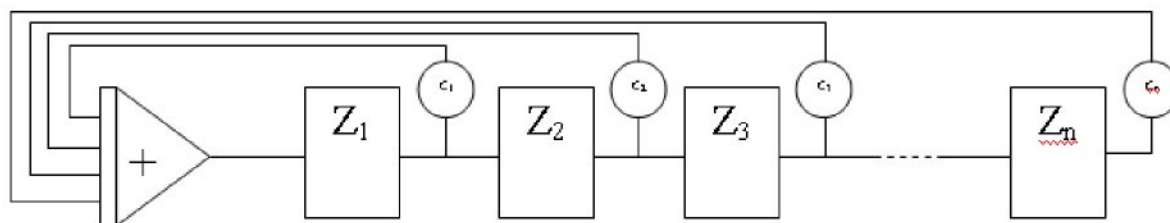
Pod pojmem pseudonáhodný binární signál se rozumí determinovaný periodický signál, který může nabývat pouze dvou hodnot $+A$ nebo $-A$. Pseudonáhodné binární signály se snadno generují při značné jednoduchosti přístrojové techniky – v případě použití samotného generátoru mimo počítač. Generování se provádí podle vztahu

$$x(k) = c_1 x(k-1) \oplus c_2 x(k-2) \oplus \dots \oplus c_n x(k-n) \quad (\text{mod } 2),$$

kde $\oplus$ označuje sčítání mod 2, tedy platí

$$0 + 0 = 1 + 1 = 0 \quad a \quad 0 + 1 = 1 + 0 = 1.$$

Pomocí posuvných registrů se zpětnou vazbou je možno snadno vytvářet posloupnost PRBS. Na následujícím schématu konstanty c mohou mít hodnotu jen 0 nebo 1 a udávají, zda příslušný signál $c_k x$ se přivádí nebo nepřivádí do sumátoru (sčítání mod 2). Operátor z značí zpoždění o jeden krok[3].



Obr. 5-1

Pro libovolné počáteční podmínky $x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-j}$, přičemž alespoň jedna z těchto hodnot není rovná nule, a při splnění podmínky, že charakteristický polynom $1 \oplus c_1 z \oplus c_2 z^2 \oplus \dots \oplus c_n z^n$ je primitivním polynomm mod 2, dostaneme maximální možnou periodu

$$N = 2^n - 1.$$

Poznámka:

Pro primitivní polynom (mod 2) musí platit

a) Nesmí být polynomm typu $1 \oplus z^K$, kde $K < N = 2^n - 1$,

b) Nesmí být rozložitelný na faktory $\square$

Primitivní polynomy, zajišťující posloupnost maximální délky, jsou uvedeny v tabulce:

Tabulka 5.1 Koeficienty primitivních polynomů

	2111111111	
Řád (= n)		098765432109876543210
3		1011
4		10011
5		100101
6		1000011
7		10000011
8		100011101
9		1000010001
10		10000001001
11		100000000101
12		1000001010011
13		10000000011011
14		100010001000011
15		1000000000000011
16		10001000000001011
17		100000000000001001
18		1000000000010000001
19		10000000000000100111
20		100000000000000001001

Podle uvedené tabulky se např. pro 5.řád dosáhne maximální periody při zapojení bitu 2 a 5, resp. 5 a 3 [3].

Tabulka 5.2 Sčítání resp. odčítání mod 3:

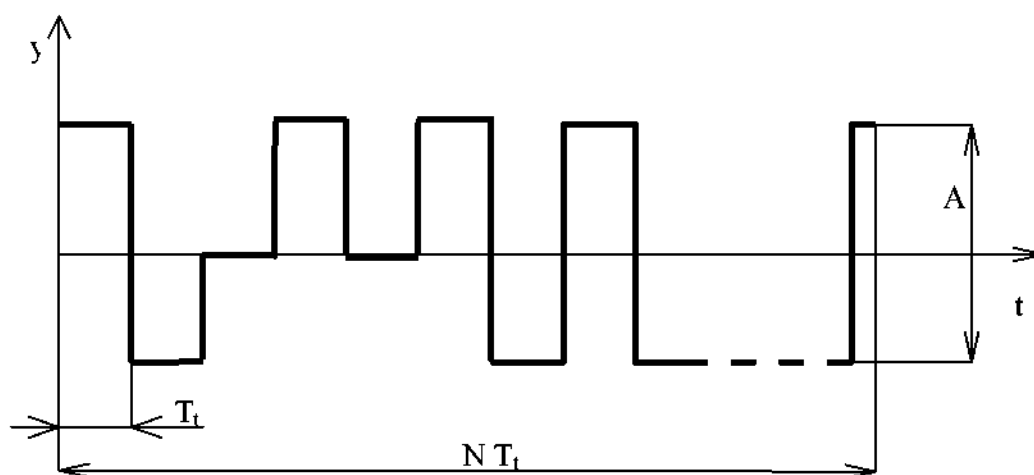
A	B	+ mod 3	- mod 3
+1	+1	-1	0
+1	0	+1	+1
+1	-1	0	-1
0	+1	+1	-1
0	0	0	0
0	-1	-1	+1
-1	+1	0	+1
-1	0	-1	-1
-1	-1	+1	0

Základní vlastnosti:

1. Druhá polovina posloupnosti je záporná oproti první polovině, tedy $c_r = -c_{r+N/2}$
2. Posloupnost lze získat pomocí posuvných registrů a sčítáním, resp. odečítáním mod 3

$Rc \pm \text{mod } 3 \text{ } c^{\delta} Dc$, kde R, D jsou čísla v intervalu 1 až $3^n - 2$ a $R \neq D$ [3].

PRB3 signál se od PRBS liší především tím, že nenabývá pouze dvou hodnot ale tří.



Obr. 5-4

PRAKTICKÁ ČÁST

6 Popis jednotlivých prvků soustavy

Hlavním prvkem celé pneumatické soustavy je lineární pneumatická jednotka od firmy FESTO s označením DGPL-25-PPV-A-KF-B (obr.6-1).



Obr. 6-1

Jedná se o lineární dvojčinný bezpístnicový pneumatický pohon s kruhovým pístem. Jeho provozním médiem je filtrovaný stlačený vzduch. Vedení jezdce je realizováno pomocí kuličkového uložení, což je výhodné vzhledem podstatnému zmenšení pasivních odporů oproti variantě s kluzným uložení. Tento způsob uložení zlepšuje dynamické vlastnosti pohonu a možnosti jeho regulace. Jezdec je také opatřen permanentním magnetem.

Skutečná poloha pneumatického válce je snímána pomocí připojeného potenciometrického snímače FESTO MLO – POT – 225 – TLF se zdvihem 225 mm (obr.6-2), dodaného výrobcem přímo s válcem. Napětí na výstupu z potenciometru v rozsahu 0 V – 10 V je přímo úměrné poloze jezdce. Je přenášeno na A/D převodník, ze kterého je údaj posílán do regulátoru jako údaj o skutečné poloze.



Obr. 6-2

Další součástí pneumatického systému je proporcionální průtokový ventil MPYE – 5 – M5 – 010B (obr.6-3), který také pochází od firmy FESTO. Jedná se o ventil typu 5/3(5 propojovaných cest, 3 polohy ventilu). Tento ventil ovládá proudění stlačeného vzduchu do pneumatického válce. Tento ventil se ovládá elektrickým analogovým signálem v rozpětí 0 V – 10 V. Výstupní pneumatický signál je přímoúměrný vstupnímu napětí. Pro hodnotu 5V je uzavřený a pro 0V nebo 10V je plně otevřený jeden nebo druhý tlakový výstup



Obr. 6-3

Nedílnou součástí pneumatického okruhu je integrovaná jednotka s redukčním ventilem a úpravou vzduchu FESTO LFR – D – 5M – MINI (obr.6-5). Jde o redukční ventil s filtrem, s kovovým ochranným košem a manometrem. Je vybaven ručním odpouštěním kondenzátu. Jeho hlavní funkcí v obvodu je nastavení přesné hodnoty vstupního tlaku, která je zde s určitou tolerancí udržována a následná filtrace napájecího vzduchu.



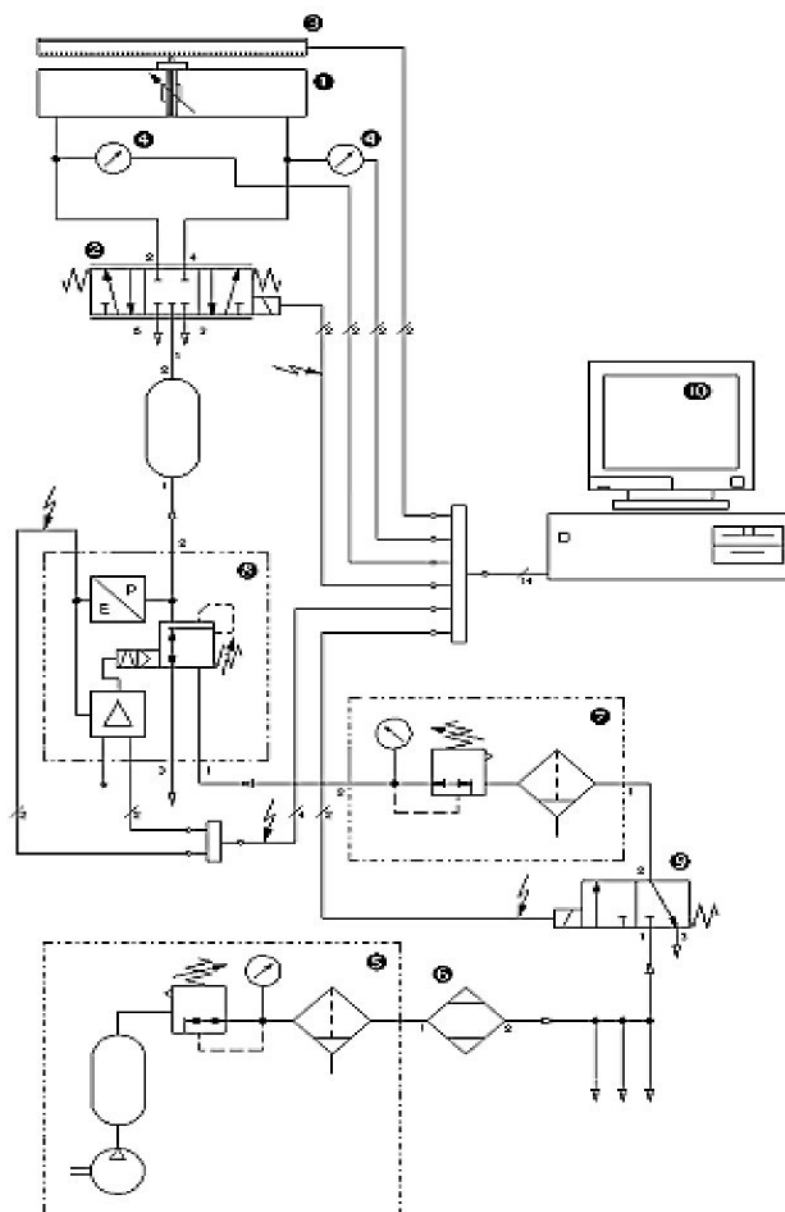
Obr. 6-4



Obr. 6-5

Zdrojem stlačeného vzduchu je pak kompresor ORLÍK poháněný elektromotorem o výkonu 1,5 kW. Součástí kompresoru je vyrovnávací nádoba o objemu 200 l. Výstupní tlak může nabývat maximální hodnoty 1 MPa s průtočným množstvím 150 l/min (obr.6-5).

Všechna tato popsaná zařízení jsou zapojena do pneumatického obvodu. Schéma celého pneumatického systému je znázorněno v obr. 6-6 .



Obr. 6-6: Blokové schéma

1. Lineární pneumatická jednotka FESTO DGPL-25-225-PPV-A-KF-B
2. Proporcionální průtokový ventil FESTO MPYE 5 – 1/8 – LF-010B
3. Potenciometrického snímače FESTO MLO – POT – 225 – TLF
4. Senzor tlaků působících na píst
5. Kompresor ORLÍK SKS9/200
6. Kondenzační filtr
7. Redukční ventil s úpravou vzduchu FESTO LFR – 1/4– 5M – MINI
8. Proporcionální regulátor tlaku FESTO MPPE 3-1/4-10-010B
9. Stop ventil FESTO HEE 1/4mini-24
10. PC

PŘÍLOHY