

Prof. Ing. Ivan Taufer, DrSc.

člen učených společností Ruské federace MAI, MAEV a AIV

emeritní profesor Moskevského energetického institutu

Katedra řízení procesů

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Univerzita Pardubice

Oponentský posudek na dizertační práci *Ing. Přemysla Matouška* **Polohová regulace pneumatického servosystému**

Předložená disertační práce má celkem 119 stran textu, který je rozdělen do 13 kapitol a 37 stran příloh. První kapitola je úvodní (3 str.), která obsahuje i podkapitoly kde jsou formulovány cíle disertační práce (1 str.) a velmi stručně popsán současný stav problematiky (1 str.). Druhá kapitola (1,3 str.) je věnována přehledu servomechanizmů a lze ji chápat jako součást literaturní rešerše. Podobně jsou koncipovány i třetí (13 str.), čtvrtá (1,3 str.) a pátá kapitola (11 str.), které jsou postupně podrobně věnovány literaturním přehledům identifikace systémů, estimaci a algoritmům řízení. Toto členění však nepovažuji za vhodné. Úvod by měl být samostatná kapitola, podobně jako cíle disertace. Současný stav problematiky by měl pak zahrnovat stávající kapitoly 2, 3, 4 a 5 jako podkapitoly. Šestá kapitola (4,5 str.) je věnována popisu experimentálního zařízení. V kapitolách 7 – identifikace systému (11,5 str.), 8 – regulace systému (20 str.), 9 vyhodnocení regulace (2 str.), 10 – kompenzace nelinearity (6 str.), 11 – zatěžování systému (4,5 str.) a 12 – elektronický obvod regulátoru (7 str.) jsou postupně uvedeny výsledky experimentů, identifikace soustavy a její regulace a lze je chápat jako výsledky výzkumné činnosti dizertanta. Zhodnocení výsledků a závěr je uveden v kapitole třinácté (3 str.).

Seznam literatury obsahuje celkem 41 citací a 14 autocitací (na které však v textu nejsou žádné odkazy).

Rozsah textu disertace je přiměřený, typografická úprava na odpovídající úrovni.

Aktuálnost zvolené tematiky

Řešení problematiky identifikace a řízení složitých a nelineárních pneumatických systémů s omezujícími podmínkami představuje vděčné a aktuální téma. Každý výsledek v tomto výzkumu, zejména je-li realizován na funkčním modelu, je třeba hodnotit kladně.

Metody řešení

Postup řešení odpovídá standardní vědeckovýzkumné činnosti. Analýza současného stavu, vytýčení cílů, výstavba experimentálního zařízení a odpovídající experimenty s prezentací dosažených výsledků.

Výsledky výzkumu a jejich prezentace

Výsledky výzkumu byly prezentovány v 7 publikacích, z toho 2 v zahraničí a 7 příspěvků na konferencích, z toho 1 v zahraničí. Tento počet i zaměření považuji za dostatečný.

Cíle disertační práce byly splněny.

Přínos pro rozvoj vědy a praxi

Přínos předložené práce je třeba spatřovat předně v její praktické aplikaci.

Text autoreferátu odpovídá obsahově textu disertace.

K textu disertace mám následující otázky a připomínky:

Obsahové

- 12¹⁴ – co je chápáno pod pojmem „horizont optimalizace“?
- 17₄ – co je myšleno pod pojmem „samostatně“?
- 19³ – jak si vysvětlit regulaci derivace podle času? Jde zřejmě o regulaci rychlosti.
- 24⁸ – odhad parametrů podle ARX modelu. To nedává smysl. ARX je typ modelu a ne metoda pro odhad parametrů.
- 24₃ – proč pseudolineární a ne nelineární? Vysvětlit pojem regrese a rozdíl mezi lineární, pseudolineární a nelineární regresi.
- 25₁₄ – vysvětlit rozdíl mezi korelační a regresní metodou identifikace.
- 28⁹ – proč je numerická stabilita nedostatkem?
- 34⁴ – je chemický reaktor soustava složitá nebo s rozloženými parametry? Z textu to není zřejmé.
- 36⁹ – jak rozumět pojmu „syntéza zákona řízení“? Vysvětlit význam pojmu „syntéza“.
- 38₁₅ – pokud indexy R, I a D představují příslušnost k P, S a D složce regulátoru, pak by bylo vhodnější použít pro indexy tyto symboly. A je vůbec možné tyto parametry srovnávat s klasickými složkami regulátoru, tak jak je to uvedeno v seznamech symbolů (str. 11)? U přírůstkového regulátoru to přece neplatí.
- 44¹⁴ – v literatuře se uvádějí i jiné pojmy pro horizonty. Jaké? A jak se volí horizont N_1 ?
- 53_a dále – pro identifikaci parametrů je několikrát deklarováno použití MNC. Byl algoritmus autorem programován nebo byla použita knihovná funkce příslušného výpočetního systému (Matlab, Excel)?
- 59 – v tabulce 7.1 by měl být uveden i reziduální rozptyl jako veličina hodnotící chybu řešení.
- 59_{odst. 2} – vizuální hodnocení přesnosti je velmi subjektivní. Chybí-li objektivní kritérium (a jeho hodnota), potom deklarované závěry jsou značně nevěrohodné.
- 62 – tabulka 7.3 a další. Pro důslednost měly být v tabulkách uvedeny i hodnoty kritéria (7.8). Pro čtenáře je velmi nepraktické další hledání tak důležitého údaje až v přílohách.
- 65_{odst. 2} – autor se nevhodně odvolává na další kapitoly (10 a 11) o jež obsahu čtenář ještě nemá potřebné informace.
- 69₃ – jakým způsobem byly stanoveny hodnoty „opravných“ koeficientů? V čem bylo dosaženo zlepšení regulačního pochodu a podle jakého kritéria bylo hodnoceno?
- 71₁ – jak lze z obr. 8.10 usuzovat o správnosti návrhu estimátoru?
- 72 – je výsledek průběžné aktualizace estimátoru lepší než v předcházejícím případě?
- 75 – na základě čeho byl stanoven „horizont optimalizace“ $N = 100$?
- 76_{1,7} a dále – jakým přístrojem a s jakou třídou přesnosti bylo měřeno napětí? Skutečně bylo možné nastavit hodnotu napětí na dvě desetinná místa?
- 86_{5,6} – jaké bylo kritérium kvality regulačního pochodu. Jenom vizuální pohled? Pokud tak, potom bylo hodnocení velmi subjektivní a nevěrohodné.

Formální a typografické

- 11^{3,5,6,8,9} – symboly koeficientů diferenciální a diferenční rovnice je třeba rozlišit.
- 11¹⁶ – označování různých veličin stejným symbolem je nevhodné.
- 11_{1,3,7} – označování stejné veličiny různým symbolem není vhodné.
- 12²⁴ – průtok by měl podle normy mít rozměr $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a ne $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$.
- 13₁ – to určuje přímo ČSN ISO 31-11 a není to nutné deklarovat.
- 14^{10,11,13} – symboly definované normou není nutné deklarovat.
- 16 – podle ČSN ISO 7144 má být seznam obrázků a tabulek před úvodem a ne na konci textu.
- 16₁₈ – místo „mohou“ by bylo vhodnější „musí“ nebo „měly by“.
- 17^{6,7} – „mikrokontrolér“ – poangličtělá čeština. Co tím autor myslel?
- 17₅ – pneumatické prvky jsou součástí řídicích obvodů a ne firem.
- 18₅ – $\pm 0,25\%$ má správně být $\pm 0,25 \%$.

18₄ – $\pm 2\text{mm}$ má správně být $\pm 2\text{ mm}$.

19^{14,17,18} – používáme-li u výčtů jako oddělovač pořadí „)“, potom následující text začíná malým písmenem.

17₁₁ a dále – současné odkazy se umísťují do jedné závorky.

35⁴ – nevhodná formulace. Hodnota proměnné se může blížit k něčemu a ne do.

46 – vztahy (5.54) – (5.56) nejsou rovnice, ale nerovnice.

46 – vztah (5.57) není nerovnost, ale nerovnice.

49_{1,2,3,10} a dále – není vhodné se odkazovat na obrázky uvedené až v přílohách na konci textu.

49_a dále – rozměr fyzikální veličiny se od její hodnoty zásadně odděluje pevnou mezerou!

52² – „dvou jádrový“ má být „dvoujádrový“.

53₅ – zašumělí!!!

53 – graf na obr. 7.1 a další. Rozměr veličiny a symbol veličiny se podle ČSN 01 3180 odděluje čárkou. Rozměr se uvádí bez závorek. Autor hranaté závorky používá i u odkazů na citovanou literaturu. To může při některých automatických kontrolách textu vézt k problémům.

53 – graf na obr. 7.1 a další. Hodnoty číselné stupnice os mají mít stejný počet desetinných míst. Místo 0 – 0,5 – 1 ..., má být 0,0 – 0,5 – 1,0

71⁵ – místo „spadnutí“ by bylo vhodnější použít běžný termín „zhroucení“.

71₅ – co chápat pod pojmem „vyčíslení“ rovnice?

75_{6,9} – vypočítat mohu jenom a jenom hodnotu a ne rovnici! Vysvětlit co vlastně bylo počítáno metodou klouzavého horizontu.

76 – v rovnicích v textu se používají „pevné“ mezery, aby nedocházelo k „roztahování“ nebo „trhání“ zápisu rovnice.

79₂ – jak vypočítám matice?

89_{obr. 10.1, 10.2} – je-li použita vertikální mřížka, pak je nutná i horizontální.

91⁸ – chybně „... musí tak ...“; správně „... musí být tak ...“.

104₁₃ – „... přenastavit ...“; asi „... přednastavit ...“.

105_{obr. 12.5} – značka konce vývojového digramu má být na konci.

106_{obr. 12.6} – není uživatelský program, ale uživatelské okno.

111_{literatura} – je-li literatura uspořádána abecedně podle autorů a odkazy v textu na autora, pak se podle ČSN ISO 690 již citace nečíslují pořadovým číslem. Oddělovač autorů by měl být jiný než oddělovač jména a příjmení, např. středník, jak to doporučuje výše uvedená norma.

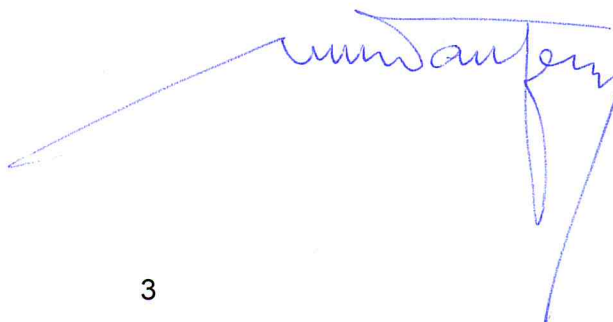
116 – přílohy jsou samostatná část a každá by měla mít svoje vlastní číslování stránek

117 – seznam tabulek a obrázků nepatří mezi přílohy, ale na začátek textu disertace.

I přes výše uvedené poznámky a připomínky předložená dizertační práce splňuje požadavky deklarované v zákoně č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a Studijního a zkušebního řádu TU v Liberci.

Práci doporučuji jako podklad pro obhajobu a po úspěšné obhajobě udělení titulu
doctor of philosophy (Ph.D.)
ve studijním oboru 2301V031 Výrobní systémy a procesy, zaměření Aplikovaná kybernetika.

V Pardubicích dne 30. 11. 2012.



doc. Ing. Josef J a n e č e k , CSc.
Technická univerzita v Liberci, FM, MTI
Studentská 2
461 17 Liberec 1

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Přemysla **MATOUŠKA**

Polohová regulace pneumatického servosystému

Oponentský posudek je vypracován na základě dopisu děkana Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci doc. Ing. Miroslava Malého, CSc., ze dne 24.10.2012.

Disertační práce Ing. Přemysla Matouška „Polohová regulace pneumatického servosystému“ obsahuje 119 stran textu a 28 stran příloh. V seznamu literatury je uvedeno 41 citovaných literárních odkazů a 14 publikací, ve kterých je disertant spoluautorem nebo autorem jediným. Práce vznikla na Katedře aplikované kybernetiky FS TUL ve studijním oboru Výrobní systémy a procesy v zaměření Aplikovaná kybernetika pod vedením prof. Ing. Miroslava Olehly, CSc. Práce je napsaná v jazyce českém.

Předložená disertační práce se zabývá problematikou řízení pneumatického polohového servomechanismu. Návrhem řídicího systému, vhodného optimálního algoritmu a kompletní realizací celého zařízení. Navržený systém byl doveden až do konkrétní HW realizace. Jeho ověření bylo provedeno nejprve simulačně, později na reálném zařízení vlastní konstrukce. V disertační práci jsou uvedeny výsledky reálných experimentů, které prokazují funkčnost celého, relativně složitého řídicího systému a celého servomechanismu sestaveného v laboratorních podmínkách katedry. Disertační práci považuji za kvalitní příspěvek k vývoji řídicích pneumatických systémů, má ale i širší aplikační záběr do různých technických oborů.

Téma disertace pokládám za dobře vybrané a aktuální.

Disertant si stanovil ve své práci pět hlavních cílů :

- Navrhnout a realizovat pneumatický polohový servomechanismus tvořený přímočarým pohonem řízeným elektricky ovládaným průtokovým ventilem
- Provést analýzu nelineárních vlastností soustavy a navrhnout kompenzační algoritmy minimalizující vliv dominantních nelinearit
- Identifikovat dynamiku soustavy a navrhnout vhodný řídicí algoritmus
- Implementovat optimální algoritmus do vybraného mikropočítače, navrhnout a realizovat interface pro jeho komunikaci s elektropneumatickými prvky obvodu
- Ověřit funkčnost celého zařízení

Z předložených výsledků práce vyplývá, že **stanovené cíle byly v plném rozsahu splněny.**

Celková úroveň práce a uvedených výsledků podle mého názoru dostatečně naplňují kritéria a požadavky na kvalitní disertační práci. Aplikace teoretických přístupů dovedená až do realizačního výstupu ověřeného na reálné soustavě představuje **nesporný teoretický i praktický přínos.**

Počet a kvalita publikací doktoranda prokazuje nejen jeho erudici a relativní publikační zkušenost, ale svědčí i tom, že dílčí výsledky jeho práce byly posouzeny odbornou veřejností.

Práci pokládám především za praktickou a realizační se zvládnutím obtížného teoretického zázemí. Přestože mé profesionální zaměření je víceméně teoretické, osobně vítám a oceňuji technicko-inženýrský charakter předložené disertace, která řeší netriviálním způsobem konkrétní technický problém.

Výklad teoretických základů aplikované metodiky v prvních kapitolách disertační práce je proveden velmi dobře a zdá se i s dobrou znalostí problematiky oboru. Tvoří přehledný průřez, jakési kompendium ne zcela jednoduché a propracované teorie řízení. Je omluvitelné, že se v této fázi disertant dopustil některých zjednodušení a nepřesností.

Pozitivně hodnotím velký objem experimentální práce autora, implementaci vybraného složitého algoritmu do mikropočítače v jazyce C# a návrh, realizaci a oživení elektronického interface, vyžadující velkou dávku technické práce a dovedností..

Práce je napsaná po jazykové i grafické stránce pečlivě, při jejím psaní se však disertant neubrání některým terminologickým nepřesnostem, ale i (ne příliš častým) gramatickým a stylizačním prohřeškům. V rozměrech některých fyzikálních veličin nejsou důsledně používány základní jednotky soustavy SI. Popis experimentálních výsledků je poněkud nepřehledný, často chybí důležité údaje, za kterých byl experiment proveden nebo vyhodnocen. Chybí elektronická verze práce.

Přednosti předložené práce

- ◆ dobře volené aktuální téma
- ◆ zvládnutí netriviální teorie
- ◆ technická práce na vysoké odborné úrovni
- ◆ praktický výstup práce dovedený až do konkrétní realizace
- ◆ velký objem experimentálního ověřování

Náměty k diskuzi :

- Byla realizace laboratorního modelu pneumatického servosystému prací disertanta a lze ji považovat za součást disertace ?
- Byla realizace řady ověřovaných algoritmů v prostředí PXI / LabVIEW a následná implementace do mikrokontroléru ATMEL AT91SAM7S256 a později AT91SAM9G20 výhradně jen prací disertanta ?
- Byl návrh elektronické části řídicího systému popsán v kap.12 kompletně prací disertanta (ideový návrh, návrh zapojení, výroba tištěných spojů vč. osazení a oživení, ...) ?

Podrobnější připomínky a komentáře k práci viz příloha. Konstatuji však, že žádná z mých připomínek není zásadního charakteru a významně nesnižuje kvalitu disertační práce, která přináší řadu zajímavých výsledků.

Závěrečné hodnocení

Souhrnně konstatuji, že Ing. Přemysl Matoušek ve své disertaci splnil beze zbytku cíle, které si stanovil. Vhodně zvolené použité metody dovedené až do realizačního závěru prokazují jeho schopnost tvůrčím způsobem aplikovat teoretický aparát na praktické problémy. Po pečlivém prostudování jeho práce jsem dospěl k názoru, že splňuje náročné požadavky kladené na disertační práci a proto ji

doporučuji k obhajobě.

V Liberci dne 30.12.2012


doc. Ing. Josef Janěček, CSc.

Příloha k oponentskému posudku disertační práce Ing. Přemysla Matouška

Podrobnější poznámky, připomínky a komentáře
(pořadí neodpovídá závažnosti, vznikaly chronologicky v průběhu čtení práce) :

str.21, vztah (3.1) a dále

Symbole $y(k)$, $u(k)$, $e(k)$ uvedené ve vztahu jsou Z-obrazy posloupností navzorkovaných hodnot příslušných veličin. Jejich značení ve vztahu (3.1) a dále je poněkud matoucí. Vede to např. k přímé kolizi ve vztahu (3.19), kde je uvedena identita mezi obrazem a jeho předmětem.

str.23

Dosazením (3.14) do (3.17) a po úpravě dostaneme rovnost $\varepsilon(k) = e(k)$. Je to v pořádku ? Pokud ano, tak podle čeho posuzujeme „přesnost odhadu“ jestliže je podle předpokladu $e(k)$ posloupnost bílého šumu ?

$$\begin{aligned}\varepsilon(k) &= y(k) - \hat{y}(k) = -H^{-1}G u(k) + H^{-1}y(k) = \lceil y(k) = G u(k) + H e(k) \rceil = \\ &= -H^{-1}G u(k) + H^{-1}G u(k) + H^{-1}H e(k) = e(k)\end{aligned}$$

str.25, podkap. 3.3

Nesouhlasím s uvedeným členěním na deterministické a stochastické metody identifikace v této podkapitole podle „standardních testovacích signálů (jednotkový skok, Diracův impuls, atd.)“. Stochastický přístup, na rozdíl od deterministického, předpokládá existenci poruch stochastického charakteru a pracuje s pravděpodobnostními charakteristikami signálů.

Terminologické poznámky :

- akčním zásahem je obvykle označována změna akční veličiny
- Luenbergův estimátor (deterministický přístup) x Kalmanův filtr (stochastický přístup)

str.35, ř.1]

$$H_E \rightarrow M_E$$

str.55, podkap. 7.2.1

Proč byla vybrána struktura aproximačního přenosu podle (7.1), když podle Tab.A1 na str.121 nebyla hodnota kritériálního funkcionálu pro tento přenos minimální ?

Při jakém napájecím tlaku průtokového ventilu MPYE byly experimenty prováděny ($p = 6$ bar ? /raději v Pa/) ? Tato důležitá informace v textu (i v obrázku) chybí.

str.56, Obr.7.3, 7.4

Ve druhém měřeném úseku na Obr.7.3 pro $t \in \langle 0,82 ; 1,64 \rangle$ [s] je rychlost poklesu $y_p \approx 145,4$ mm/s. Při udávaném průměru kruhového pístu pneumatického pohonu 40 mm odpovídá tomuto pohybu průtok ventilem zhruba 35,5 l/min. To však neodpovídá na Obr.7.4 uvedenému napětí ca 5,37 V a průtokové charakteristice ventilu na str.89, Obr.10.2.

Jak byl proveden simulační experiment ? Jakému napětí průtokového ventilu odpovídala nulová hodnota vstupního budicího signálu simulačního modelu ? Důležitá informace o volbě pracovního bodu zde není uvedena.

„Parametry obrazového přenosu byly vypočítány metodou nejmenších čtverců ...“. Co tato formulace znamená ? Že byl pro posouzení dynamické shody použit kvadratický funkcionál a simulačním experimentem pomocí funkce „fminsearch“ (nebo jiné optimalizační metody) hledán rekurzivně extrém (na jakém horizontu ?) ? Nebo byla vypočtena optimální kombinace parametrů modelu analyticky na základě vyhodnocení rozdílu reakce modelu a reálné soustavy ?

Proč nebyla pro identifikaci použita některá z procedur Matlab Tbx System Identification ?

str.57, ř.4]

„Pro zdvih šoupátka průtokového ventilu byl zvolen rozsah odpovídající rozmezí 4,3 - 4,6 V.“ Tvrzení nerozumím - tomuto rozsahu podle uvedené charakteristiky ventilu na str.89, Obr.10.2 odpovídá pouze jedna (levá) , byť zhruba lineární větev. Ta umožňuje pohyb servosystému pouze jedním směrem. Respektive tlaková diference tlaků na obou stranách pístu umožní reverzaci pohybu pouze nezatíženého serva. V zatíženém stavu by takováto regulace nemohla fungovat.

str.59, Tab.7.1

Jak vysvětlíte velký rozdíl v tabulce uvedených tří modelů systému ? Ad 1 je dokonce nestabilní ! Statické rychlostní zesílení (ustálená hodnota váhové funkce /rychlost/) je u modelů ad 2,3 téměř dvojnásobné. Za nejdůvěryhodnější byl označen model ad 3. Jeho statické rychlostní zesílení je 3,9 mm/s, což při rozměrech pracovního válce servopohonu a uvedené charakteristice ventilu podle Obr.10.2 vede k průtoku vzduchu nesouhlasící ani řádově s uvedenou charakteristikou.

1 bar $\approx$ 100 kPa ... používat základní jednotky soustavy SI.

str.60, podkap. 7.3.1, vztahy (7.4-7)

Termín „řád modelu“ je zde nevhodně použit.

Jaký byl zvolen krok vzorkování pro diskretní model spojitého systému ?
(Důležitá informace.)

Byl při identifikaci systému implicitně předpokládán astaticismus (jednotkový pól přenosu) nebo alespoň ve výsledném přenosu ověřován ?
Z fyzikální podstaty se jedná o astatický systém.

str.61, ř.7]

„...odezva systému na skok řídicího napětí o velikosti 4,3 V.“ Nerozumím formulaci. Z jaké počáteční hodnoty ? Jednalo se o skokovou změnu napětí ze 4,8 na 4,3 V ?

„řídící“, nikoliv „řídící“

str.61, vztah (7.8)

Jak byl volen počet členů N uvedeného kritéria ?

str.65, podkap. 8

„Vzhledem k tomu, že jsou pneumatické systémy charakterizovány rychlou odezvou ... nezbytnou podmínkou je vysoká frekvence vzorkování kolem 1 kHz.“ Podle identifikované lineární aproximace, označené jako max. důvěryhodné (souhlas s fyzikálním názorem), viz přenos (7.1), Tab.7.1/ozn.3, jsou časové konstanty $T_1 \approx 0,15$ s, $T_2 \approx 3,46$ s, $\tau \approx 1,97$ s. Nejkratší časová konstanta T_1 (daná zřejmě dynamikou průtokového ventilu a rozvedem vzduchu) je více než 100 násobná vůči navrženému kroku regulace (~ 1 kHz). Experimentálně ověřená nutnost extrémně vysoké vzorkovací frekvence je důsledkem nikoliv dynamiky soustavy, ale nelineárním charakterem systému, přítomností šumu, ale hlavně zvoleným adaptivním způsobem řízení s identifikací s krátkým horizontem v každém kroku. Identifikovaný model zachycuje vždy jen krátký úsek náběhu dynamiky.

str.67, Obr.8.3, 8.4

Schodové průběhy některých uvedených signálů bych neočekával u spojitého řízení s PI regulátorem. Lze to vysvětlit korekcí necitlivosti ventilu ?

str.70, Obr.8.8, 8.9 (a další)

Na obrázcích vyjadřujících vývoj parametrů diskretních modelů chybí absolutní členy a_0 , b_0 . Byly rovné jedné ? Pokud ano, jedná se o nestabilní systém se stabilními kmity.

U ARMAX modelů schází vývoj koeficientů čitatele $C(z^{-1})$. Byly vůbec určeny ?

str.76, 77, Obr.8.14, 8.15

Maxima regulační odchylky ca ± 120 mm uvedená na Obr.8.15 neodpovídají průběhu na Obr.8.14. Podobně i na dalších obrázcích.

str.91, podkap.10.3

Uvedenou kompenzaci autoscilací je nutné v konkrétní realizaci velmi citlivě experimentálně nastavit. Špatným nastavením můžeme oscilace naopak posílit. Při jiných podmínkách (např. při jiném zatížení) se kompenzace může chovat zcela jinak. Kompenzace podle 10.4 je vhodnější.

V předložené práci chybí jako příloha její elektronická verze - viz vyhláška děkana FS „Soubor opatření ke studiu v doktorských stud.programech“, článek 25/3j.

Nebezpečí předložené verze adaptivní regulace. Identifikace s extrémně krátkým krokem a horizontem zachycujícím relativně dobře pouze dynamiku dominantně rychlých módů, nikoliv módů pomalých (ovlivňujících ustálené stavy). Toto řešení vyhovuje vybrané aplikaci, ovšem implicitně obsahuje nebezpečí selhání u dynamických systémů s komplikovanější dynamikou (kmitavé, s neminimální fází, s dopravním zpožděním, apod.). Důvodem výrazně lepších výsledků adaptivních přístupů (s rychlou frekvencí a průběžnou identifikací v reálném čase v každém kroku) je, pokud jsem správně pochopil popsany přístup, poněkud diskutabilní způsob identifikace z deterministické jednorázové odezvy systému. Naopak nevýhodou komplikovaných řídicích algoritmů se značně sofistikovanými a složitými přístupy je nutnost extrémního počtu matematických operací v průběhu krátkého regulačního kroku a z toho plynoucí extrémní nároky na výpočetní výkon (a také cenu) mikrokontroléru.

Doc. Ing. Ivan Švarc, CSc.
Ústav automatizace a informatiky
Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně
Technická 2, 616 69 Brno
e-mail: svarc@uai.fme.vutbr.cz

Oponentský posudek disertační práce

Název práce: Polohová regulace pneumatického servosystému
Doktorand: Ing. Přemysl Matoušek
Pracoviště: Technická universita v Liberci, Fakulta strojní,
Katedra aplikované kybernetiky
Školitel: Prof. Ing. Miroslav Olehla, CSc.

Oponentský posudek byl vypracován na základě dopisu děkana Fakulty strojní TU Liberec ze dne 20.10.2012, kterým mne jmenoval recenzentem této doktorské disertační práce.

Předložená disertační práce obsahuje 119 stran textu, v seznamu publikací autora je uvedeno 14 položek, ve kterých figuruje jako autor nebo spoluautor.

Doktorandská práce je zaměřena na v současné době aktuální téma – problematiku řízení pneumatických systémů a návrh optimální regulace těchto systémů.

Téma a cíle disertační práce

Cílem disertační práce je navrhování optimálního regulátoru pneumatického systému, který je tvořen průtokovým ventilem a přímočarým pohonem. Vedle tohoto hlavního úkolu je v práci vytyčeno asi dalších dvanáct dílčích cílů.

Název práce „Polohová regulace pneumatického servosystému“ je koncipován velmi obecně a dává doktorandovi možnost vlastní volby zpracovávaného tématu.

Zvolené metody zpracování a dosažené výsledky

První polovina práce je vysoce teoretická a zabývá se servomechanismy obecně a potom identifikací systémů. V části o řízení pneumatických systémů je uvedena metodika návrhu adaptivních regulátorů.

Druhá polovina práce je věnována popisu soustavy tvořené přímočarým pohonem a proporcionálním průtokovým ventilem. Je konstatováno, že vzhledem ke komplikovanosti a náročnosti sestavení matematického modelu systému je od tohoto upuštěno a že navrhované řízení bude ověřováno přímo na pneumatické soustavě. Soustavou je právě laboratorní model pneumatického servosystému s přímočarým pohonem. Model vznikl v rámci doktorandské práce na katedře.

Byl navržen PI regulátor s pevnou strukturou i parametry. Regulace se ukázala jako nejméně kvalitní. Přešlo se tedy k návrhům adaptivních regulátorů. Adaptivní regulátor s průběžnou identifikací regulované soustavy se ukázal jako velmi výhodný. Nejvyšší jakosti regulace bylo dosaženo s adaptivním prediktivním regulátorem s omezujícími podmínkami.

Tento regulátor byl v závěru práce navržen v elektronickém obvodu s mikropočítačem. Protože takto navržený mikrokontrolér neměl dostatečný výkon, bylo od použití omezujících podmínek upuštěno.

Význam práce pro praxi a rozvoj vědního oboru

Podstatným výsledkem a zároveň i přínosem disertační práce jsou (citace z disertační práce) laboratorně ověřené algoritmy adaptivního řízení pneumatické soustavy s přímočarým pohonem. Adaptivní algoritmy mohou být použity k řízení přímočarých pohonů s různými parametry (průměr pístu, zdvih válce ...). Výsledná řídicí jednotka tvoří zcela autonomní systém. Tyto jednotky pak mohou být použity k řízení pneumatických pohonů v různých manipulátorech či jiných mechanismech. Téma předložené práce je z hlediska současného stavu metod a prostředků řízení nesporně aktuální a zapadá do systematického řešení v této oblasti. Z hlediska širšího pohledu jsou výsledky přínosem pro projekční práce v oblasti řízení s použitím pneumatiky.

Práce není psána příliš přehledně a čtivě z hlediska pedagogického. Nelze říci, že by to byla dobrá učebnice, ale v disertační práci se hodnotí především vědecký přínos k rozvoji oboru. A přínos zde je. Je to jednak přínos pro průmyslové využití, tedy přínos pro praxi a jednak v teoretické oblasti navrhování adaptivních regulátorů pro pneumatické systémy.

Formální úprava a jazyková úroveň disertační práce

Po formální stránce je předložená práce na velmi dobré úrovni, vlastní grafické zpracování jak textu, tak obrázků je přehledné.

Jazyková úroveň práce je dobrá.

Nedostatky práce a připomínky:

Obecným nedostatkem, který je v celé práci, je zaměňování proměnných a jejich obrazů v rovnicích a přenosech systémů. V diferenciálních rovnicích jsou proměnné a jejich derivace. Transformací této rovnice získáme (algebraické) rovnice s Laplaceovými obrazy proměnných. Příklad:

$y'' + 5y' + 6y = 12u' + 3u$... při nul. poč. pod. je obraz ... $s^2Y(s) + 5sY(s) + 6Y(s) = 12s^2Y(s) + 3Y(s)$
a analogicky pro diferenční rovnice

$y(k) + 10y(k-1) + 3y(k-2) = 5u(k) - 6u(k-1)$ $Y(z) + 10z^{-1}Y(z) + 3z^{-2}Y(z) = 5U(z) - 6z^{-1}U(z)$

V celé práci to není dodržováno. Jenom např. strany 22, 23, 28, 29, 30, 31, 32, 60, ...

Také malou formální závadu vidím v označování „parametry přenosu“. Přenos má koeficienty, které odpovídají parametrům systému. Objevuje se např. na str. 33, ...

- str. 21–48 Teoretická část práce je na vysoké úrovni. V mnoha případech jsou zbytečně uváděny metody, které v práci pak nejsou vůbec použity.
- str. 32 Věta: Hledané parametry identifikované soustavy se určí z přenosu uzavřeného regulačního obvodu, od kterého se odpočítá přenos regulátoru. Upřesněte.
- str. 53 První věta kapitoly říká, že daná soustava je nelineární a integrační soustava. Je to správné?
- str. 54 Doktorand se rozhodl nevytvořit matematický model pneumatického servosystému pro jeho komplikovanost a složitost. A ověřovat navržené regulátory přímo na pneumatické soustavě. Je to velmi diskutabilní rozhodnutí. Zvláště když parametry navrhovaných optimálních regulátorů počítá ze zlinearizované soustavy.
- str. 55 Stále je zdůrazňováno, že pneumatická soustava je nelineární. Najednou je zde vypočítáván či přesněji řečeno odhadován její přenos. Mělo být zdůrazněno, že se jedná o linearizaci. A z jakého důvodu je prováděna tato linearizace? Pravděpodobně pouze pro výpočet optimálních parametrů regulátoru. Ale výpočet či odhad typu soustavy – zde nazývaný strukturou obrazového přenosu je velmi nejasný a je uveden vlastně jenom výsledek.

- str. 55 V kapitole 7.2.2 je velmi nejasně identifikována zlinearizovaná soustava. V tabulce 7.1 jsou uvedeny koeficienty přenosu zlinearizované soustavy, ale jak se k nim přišlo je nejasné.
- str. 60 Diskrétní přenos (7.3) byl získán diskretizací spojitého přenosu servosystému (7.1). Mám tomu rozumět tak, že diskretizace spojitého systému se provádí tak, že v Laplaceově přenosu $G(s)$ se zamění písmeno s za z a dostaneme Z -přenos odpovídajícího diskrétního systému?
- str. 65 Třetí věta stránky říká: Vzhledem k tomu, že pneumatické systémy jsou také charakterizovány rychlou odezvou na řídicí signál ... Jak dopadnou ve srovnání s elektronickými systémy? Obr. 8.1 na této straně by si zasloužil vysvětlení.
- str. 66 V prvním odstavci je uvedeno, že se v práci mělo ověřit, že vlastnosti pneumatické soustavy nelze snadno linearizovat a zároveň není možné s pevně danou strukturou regulátorů dosáhnout kvalitních regulačních pochodů. Je tento dílčí cíl práce splněn?
- str. 66 Název kapitoly je PID regulátor s pevně danou strukturou. Ale navržen je PI regulátor. Proč se nepoužívá regulátor s derivační složkou?
Na konci strany je uvedeno, že obsah uživatelské funkce tvořil algoritmus, který na základě hodnoty kritéria řízení stanoveného simulací optimalizoval stavitelné parametry PI regulátoru. To je velmi důležitý prvek. Proč není tento algoritmus uveden a vysvětlen v práci? Sestavení tabulky 8.1 by mělo být vysvětleno. Už kvůli velkým odlišnostem parametrů vypočítaných podle různých metod.
- str. 68 Na konci strany je uvedeno, že z důvodu nekvalitních výsledků v zavedení opravných koeficientů stavitelných parametrů regulátoru byly parametry násobeny experimentálně stanovenými konstantami uvedenými v tab. 8.2. To není nejlepší metoda optimalizace.
- str. 71 Poměrně důležitá věc je stavový popis pneumatického systému. Ale z práce vůbec není jasné, odkud se stavový popis daný rovnicemi (8.3), (8.4) vzal. A z tohoto popisu se pak optimalizují parametry regulátoru.

Dotazy k obhajobě:

Uvedl jsem dosti připomínek, na který by měl doktorand u obhajoby reagovat. Zejména bych chtěl vysvětlit linearizaci systému a provádění diskretizace při sestavování stavových rovnic.

Závěrečné hodnocení

Disertant prokázal ve své práci, že ovládá vědecké metody práce při řešení úkolu z oblasti simulace pneumatických prvků.

Doktorská disertační práce Ing. Přemysla Matouška je přínosem pro průmyslovou praxi i pro teoretickou oblast a prokazuje jeho odborné znalosti a schopnosti, i jeho způsobilost k samostatné vědecké práci.

Publikační činnost disertanta je dostatečná a disertant po této stránce vyhovuje podmínkám, které jsou kladeny na doktorské disertační obhajoby.

Disertant tak splňuje podmínky Zákona o vysokých školách č.111/98 Sb. § 47, odst. 4. pro doktorské disertační práce. Proto předloženou disertační práci

--- doporučuji k obhajobě ---

před Komisí pro obhajoby disertačních prací.

V Brně, 22. listopadu 2012



Ivan Švarc