

Posudok dizertačnej práce

Doktorand: Ing. Jan Kolaja
Fakulta strojní, TU v Liberci
Názov práce: Možnosti řízení hydropulzního zařízení – řízení dvojice lineárních hydromotorů v tandemu
Vedný odbor: 2301V031 Výrobní systémy a procesy
Školiteľ: prof. Ing. Miroslav Olehla, CSc.
Posudok vypracovala: doc. Ing. Eva Kureková, PhD.
Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky, Strojnícka fakulta STU v Bratislave

Oponentský posudok bol spracovaný na základe menovacieho dekrétu doc. Ing. Miroslava Malého, CSc., dekana Fakulty strojní, TÚ v Liberci, číslo j.:240/10/ST zo dňa 1. decembra 2010.

V predloženej dizertačnej práci autor zameral svoju pozornosť najmä na lineárne hydromotory zapojené do tandemu.

Rozsah predloženej dizertačnej práce je 104 strán, k práci nie sú priložené žiadne prílohy, CD ani opis vlastného programu (časť kapitoly 9.2).

Práca je rozčlenená na 11 kapitol vrátane úvodu a záveru. Po úvode autor stručne opisuje základy hydraulických systémov, možnosti spracovania meraného signálu a na desiatich stranách sa zmieňuje o teórii identifikácie sústav. Kapitoly 5 až 10 sú zamerané na identifikáciu, riadenie a simuláciu hydraulických sústav. Po navrhnutí vlastného matematického modelu lineárneho hydromotora nasleduje nastavenie hodnôt regulátora s výsledkami identifikácie. V šiestej kapitole sa uvádzajú možné postupy riešenia riadenia servoventilov, pozornosť sa venuje najmä priamemu riadeniu servoventila vrátane počítačovej simulácie zvoleného zapojenia. Nosnou časťou dizertačnej práce je riadenie dvoch lineárnych hydromotorov, ktoré sú zapojené v tandeme. Po zadaní základných pojmov, uvedení základnej riadiacej schémy, úprave riadiaceho systému a rozvodov hydrauliky sa analyzujú možnosti prepojenia hydraulických valcov. Následne sa v praxi overili experimenty riadenia hydromotorov bez pevného spojenia hydraulických valcov, s pružným a pevným spojením valcov. Ôsma kapitola je zameraná na opis sústavy s tretím hydromotorom. Nasleduje kapitola opisujúca stručne softvérovú podporu riadenia a návod na jej obsluhu.

Práca je v závere doplnená zoznamom vlastných publikácií a použitej literatúry.

Aktuálnosť témy dizertačnej práce:

Predložená dizertačná práca je svojou tematikou aktuálna, pričom vyplýva z požiadaviek praxe.

Cieľ dizertačnej práce:

Ciele dizertačnej práce nie sú explicitne v práci uvedené. Z môjho pohľadu, po prečítaní práce usudzujem, že cieľom bol návrh riadenia hydropulzného zariadenia, tvoreného dvojicou hydromotorov zapojených do tandemu a experimentálne overenie vytvoreného návrhu.

Význam práce pre prax alebo rozvoj vedného odboru:

V oblasti rozvoja vedného odboru je prínosom návrh a realizácia rôznych spôsobov tandemového riadenia dvoch lineárnych hydromotorov s piestnicami v jednej osi, medzi ktorými je

umiestnený ďalší hydromotor ako zdroj tlakovej kvapaliny pre meráciu komory tlmičových prvkov.

Aplikačný prínos práce spočíva v tvorbe softvéru v programovacom prostredí LabView na ovládanie hydraulického systému, na riadenie pneumaticky ovládaného ventilu a na zber dát z experimentov.

Prínosy z pohľadu posudzovateľa:

V zásade sa dá konštatovať, že medzi hlavné prínosy predloženej doktorandskej práce patrí:

- a) analýza matematických modelov rôznych lineárnych hydromotorov,
- b) návrh riadiacich systémov navrhnutých modelov,
- c) úpravy riadiaceho systému a rozvodov hydrauliky,
- b) experimentálna identifikácia týchto modelov s pomocou navrhnutého a vytvoreného softvéru na podporu riadenia.

Formálna úprava dizertačnej práce:

Dizertačná práca je po formálnej stránke spracovaná na priemernej úrovni. Text je zrozumiteľne štylizovaný, písaný prehľadne. Gramatické chyby, ktoré sa v ňom vyskytujú, výraznejšie neznižujú jej úroveň. Kvalitu práce by zvýšilo definovanie všetkých použitých premenných, (napr. L na str. 15), precíznejšie definovanie premenných (napr. *polohu šoupátka* označuje X_s , x_s , x_s , x_s , čo sťažuje zrozumiteľnosť čítaného textu). Najdôležitejšie obrázky v práci (obr. 27, 28) sú ťažko čitateľné. Pri prevzatých obrázkoch odporúčam uvádzať ich zdroj. Vyskytujú sa aj chybné odvolávky na obrázky, vzorce, čísla strán.

Konkrétne pripomienky a otázky doktorandovi:

Ďalej uvádzam niektoré pripomienky, poznámky a otázky k predloženej dizertačnej práci, ku ktorým požadujem pri obhajobe vyjadrenie doktoranda.

V druhej kapitole doktorand uvádza najčastejšie zmieňované nelineárne charakteristiky hydraulických motorov. Ich vplyv na výsledok riadenia nie je zanedbateľný. V navrhovaných matematických modeloch nie je zrejmé, či nelinearity sú ich súčasťou.

Časti kapitol 3.2, 3.3, 3.4 sú prehľadové a nesúvisia priamo s ďalšími časťami práce. V časti 5.2.2 *Kalibrácia vnútorných snímačov LVDT* nie sú uvedené technické parametre LVDT snímačov polohy ani posuvného meradla. Vzhľadom na to, že LVDT môžu byť o rád presnejšie ako posuvné meradlá, uvedené výsledky sú dizertabilné.

Doktorand v práci neuvádza, či osobne navrhol tenzometrický mostík, úpravy riadiaceho systému RED alebo rozvodov hydrauliky, či ich zrealizoval resp. akým podielom sa na nich zúčastnil.

Súčasťou aplikačnej časti dizertačnej práce je aj návrh a vykonanie počítačovej simulácie navrhnutého matematického modelu v simulačnom programe MATLAB Simulink a realizácia softvérovej podpory riadenia vytvorená v programovacom prostredí LabView na ovládanie hydraulického systému meracej komory. Simulačný model a softvér nebol súčasťou prílohy (na CD) a preto sa neviem k nim vyjadriť.

Otázky na doktoranda:

- Keby boli dané požiadavky na presnosť polohovania piestnice, dokázali by ste vopred povedať, či uvedené požiadavky pre daný typ zariadenia sa softvérovo dajú riadiť s dostatočnou presnosťou?
- Uveďte, aké požiadavky (napr. presnosť) postačia pre snímač polohy piestnice, aby ste bol schopný dostatočne softvérovo riadiť Vami navrhnuté hydraulické systémy.

- Aké množstvo experimentov ste vykonal? Pri akých nastavených parametroch (množstvo a spôsob zapojenia hydromotorov, typ regulátora, rýchlosť pohybu sústavy, smer pohybu piestnice a pod.)?

Publikácie doktoranda:

Doktorand publikoval 18 odborných prác v slovenských a českých časopisoch a zborníkoch. V štyroch príspevkoch bol spoluautor. Nie všetky príspevky však priamo súvisia s publikovanou prácou.

Záverečné hodnotenie

Predložená práca spĺňa požiadavky kladené na dizertačnú prácu, preto ju **odporúčam** k obhajobe a navrhujem, aby po úspešnom zodpovedaní predložených otázok a celkovej úspešnej obhajobe bola Ing. Janu Kolaji udelená vedecko-akademická hodnosť „philosophiae doctor (PhD)“ v odbore doktorandského štúdia 2301V031 Výrobné systémy a procesy.

Bratislava, 3. januára 2011



doc. Ing. Eva Kureková, PhD.

doc. Ing. Eva Kureková, PhD.

Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky

Strojnícka fakulta STU v Bratislave

Nám. slobody 17, 812 31 Bratislava

Slovenská republika

Posudek disertační práce
Ing. Jana Kolaji

Možnosti řízení hydropulzního zařízení – řízení dvojice lineárních hydromotorů v tandemu

Obsah práce je zaměřen na řešení praktického problému řízení systému na proměřování strojních součástí, konkrétně na zvýšení výkonu zapojením dvou hydromotorů do tandemu. Jedná se o interdisciplinární propojení metod teorie řízení se strojařskými metodami zkoumání pevnosti.

Předkládaná disertační práce má rozsah 105 stran a je rozdělena do 11 kapitol. Po úvodu následuje popis hydraulických mechanismů a poněkud nesourodá kapitola 3 o zpracování měřeného signálu. Následují dvě kapitoly o identifikaci – teoretická kap. 4 a kap. 5, která se týká již hydraulického systému, kde na základě měření jsou vypočteny matematické modely ve tvaru přenosových funkcí. Kapitoly 6 a 7 se zabývají řízením dvou hydromotorů, které jsou zapojené do tandemu. Rozšíření experimentálního zařízení o komoru pro měření tlumičových prvků je popsáno v kap.8. Softwarové vybavení a návody pro obsluhu (kap. 9 a 10) spolu s kap. 6 jsou podle dodatku na str. 105 hlavní výsledky práce doktoranda.

Cíl práce není výslovně vytyčen, až na poslední straně nalezneme „účel práce“. Nicméně z obsahu i z názvu práce vyplývá, čím se autor zabýval a co s úspěchem vykonal. Seznam autorových publikací obsahuje 18 prací většinou z českých a slovenských vědeckých konferencí..

Po formální stránce je práce zpracována na dobré úrovni, i když má drobné nedostatky: V textu jsou překlepy a nepřesnosti, u obrázků často chybí označení veličin a jejich jednotky (např. obr. 46), seznam symbolů a zkratk není úplný, některé symboly jsou použity pro dvě rozdílné veličiny (např. Q jako průtok ale také kvadratické kritérium v (19), později označené jako J), literatura uvedená v seznamu není téměř vůbec citována v textu.

K obsahu práce mám následující připomínky:

Kapitoly 3 a 4 obsahují jednak všeobecně známé údaje (hlavně kap. 3.1, 3.3 , 4.2.1) a dále podrobný popis simplexové metody (kap. 4.2.3), o které není dalším textu zmínka, i když byla zřejmě použita při identifikaci. Teoretická část by měla obsahovat témata odpovídající zaměření práce.

U matematicko-fyzikálního modelu (kap.5.1.1) chybí základní rovnice, fyzikální veličiny nejsou uvedeny v základních jednotkách. Není zřejmé, jak byla počítána plocha pístu v rov. (55), v rov. (56) je plocha v m^3 . Ve schématu na obr. 16 je jiné označení konstanty než na obr. 15 a v textu (K_{sv} , K_Q nebo K_q). Změny polohy pístu (obr.18) jsou opravdu v setinách mm?

Je zbytečné uvádět současně tabulku i graf (str. 49 a 50).

Výsledky měření v kap. 5 nejsou dostatečně popsány (asi P regulátor). Jednalo se zřejmě o změny žádané hodnoty, ale není uvedeno, v jakém rozsahu má zařízení pracovat a proč byly vybrány právě tyto změny. Odhad parametrů je nedostatečně komentován (zda se jednalo o simplexovou metodu, jak bylo zvoleno ukončení algoritmu, atd). Výsledky měření s PI

regulátorem nejsou uvedeny a proto je zbytečná kap.5.2.7, nehledě na to, že v odvozených přenosech je chyba.

V kapitole 6.2.1 je uvedeno simulační schéma tandemového řízení. Jak model hydromotoru (obr.29) souvisí s modelem na obr.15, který je zcela odlišný? Proč jsou uváděny dva různé modely? Popis experimentů ve tvaru „zesílení je sníženo“ bez udání hodnot je nedostatečný. Stejně není definována porucha na obr. 31.

Obr. 32 neodpovídá obr. 26 (vstup žádané hodnoty w_2) ani obr. 27 (vazba je vedena před zesílením P-reg 1).

Str. 84 Hledání optimálního nastavení regulátorů – nadpis neodpovídá textu. Pro optimální nastavení regulátoru je třeba vycházet z požadavků na průběh regulačního pochodu – není uvedeno, stejně jako nastavení regulátoru, pro které byl experiment prováděn. Z grafu 46 nelze odečíst požadovaný nárůst 0,5 mm/s.

Uvedené výhrady ukazují, že doktorand mohl výsledky své práce prezentovat lépe. Je třeba ale ocenit, že požadovaný cíl práce byl úspěšně splněn a vylepšené zařízení slouží v hydrodynamické laboratoři TU Liberec. Doktorand dobře zvládl experimentální práce, které bývají na podobných zařízeních obtížně realizovatelné. Řízení hydraulických zařízení v hydrodynamické laboratoři již řešil kolektiv spolupracovníků a doktoranda na ně navazuje. Musel tedy využít stávající technické prostředky a přizpůsobit se jim. S úspěchem vypracoval programové vybavení v prostředí LabView. Vykonané práce svědčí o tom, že ing. Kolaja je schopen řešit technické problémy na požadované úrovni, že má dobré znalosti v dané problematice a rozšiřuje nové poznatky z oblasti řízení (hlavně v aplikaci počítačů) do netradiční oblasti. Bohatá publikační činnost autora toto potvrzuje.

Z výše uvedených důvodů disertační práci Ing. Jana Kolaji doporučuji k obhajobě.

Pardubice 7.1.2011



Doc. Ing. Jiří Macháček, CSc.
Katedra řízení procesů
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Univerzita Pardubice

Posudek doktorské disertační práce

Autor disertace: Ing. Jan Kolaja

Název práce: Možnosti řízení hydropulzního zařízení – řízení dvojice lineárních motorů v tandemu

Oponent: prof. Ing. Jan Skalla, CSc., Technická universita v Liberci

Předložená disertace je věnována problematice regulace hydraulického pohonu zařízení pro testování hydraulických tlumičových prvků. Užitečnost zvoleného tématu je nesporná v souvislosti se stále trvajícím trendem zlepšování jízdních vlastností a komfortu vozidel. Řešení problému vychází z možností a vybavení hydrodynamické laboratoře Technické university v Liberci. Požadavky na zařízení jsou velmi specifické a řešení rozhodně není rutinní úloha. Disertace je velmi potřebné dílo, protože její výsledky umožňují podrobnější a přesnější experimenty v daném oboru. Text práce má logickou stavbu, je srozumitelný a je vhodně doplněn obrázky. Práce obsahuje 105 stránek včetně obrázků a diagramů.

Disertant si vytkl jako obecný cíl práce ověřit metody pro řízení dvou hydraulických válců v tandemu (toto uspořádání je v rámci možností hydrodynamické laboratoře TUL jediné možné, protože jeden válec nevyvine požadovanou sílu – 400 kN). Práci lze v této souvislosti vytknout, že neuvádí explicitně konkrétní cíle (i když jsou v textu uvedeny). Konkrétní cíle lze shrnout takto:

- identifikace statických a dynamických charakteristik zařízení
- návrh řízení a jeho počítačová simulace
- návrh řídicího programu v prostředí LabView
- zapojení systému pro zvolené řízení a ověření vlastností
- oživení a seřízení zařízení, porovnání výsledků měření se simulací
- návrh postupu pro seřízení

Konstatuji, že uvedené **cíle byly dosaženy** nejen v teoretické rovině ale byly také úspěšně ověřeny v laboratoři na testovacím zařízení pro tlumičové prvky.

Rozbor současného stavu problematiky uvedený ve druhé kapitole obsahuje stručný popis hydraulických mechanismů. Poměrně velká část práce je věnována přehledu zpracování signálu a identifikaci dynamických soustav (3. a 4. kapitola – 18 stran). Znamější partie v této části by mohly být vyloženy stručněji.

Teoretický přínos práce je soustředěn v kapitolách 5 a 6. Disertant podrobně zpracovává model řízení hydraulických válců a experimentálně jej ověřuje. K experimentům mám tyto připomínky: I když autor správně sleduje průběh výchylky servoventilu (obr.20 a 21 signál „akce 1 resp.2“) a nastavuje skok polohy tak, aby nedocházelo k saturaci (t.j. servoventil na maximální výchylce), je třeba konstatovat, že použití skoku polohy není zcela vhodné. Jednak během provozu zařízení ke skoku polohy nedochází, jednak z definice skoku polohy vyplývá požadavek na průběh rychlosti a zrychlení odpovídající Diracovu impulsu, což samozřejmě žádné reálné zařízení nemůže splnit. Považoval bych za vhodnější použít skok rychlosti (velikost skoku musí být taková, aby se zařízení nedostalo na silové omezení), z kterého se snadněji identifikuje dynamika měřeného objektu. Nicméně výsledky identifikace uvedené v práci odpovídají očekávání, lze je považovat za věrohodné a souhlasí s naměřenými charakteristikami. Dále jsem v práci nenalezl porovnání vypočtené vlastní frekvence (včetně rozsahu, ve kterém se pohybuje) s výsledky experimentů. Tyto výpočty autor zcela jistě provedl (jsou nutné pro sestavení modelu) ale v práci je opomněl uvést.

Praktický přínos práce je v ověření sestavených modelů na skutečném zařízení – ve všech případech úspěšně (kapitoly 7 až 10). Je třeba ocenit značný objem práce vykonané doktorandem. Jeho činnost zahrnovala návrh zařízení, identifikaci a počítačovou simulaci, kalibraci snímačů, elektrické a hydraulické zapojení, vývoj a odladění řídicího programu, zpracování návodu pro obsluhu a uvedení zařízení do chodu.

Metody řešení použité v disertaci odpovídají zvolenému tématu. Při řešení bylo nutno na základě známých základních vztahů sestavit model řízení a odladit jej (postupně) na počítači a na navrhovaném zařízení. Pro (laboratorní) provoz bylo nutné věnovat zvláštní pozornost bezpečnosti. Rád bych zdůraznil, že náročnost úkolu vyplývá už jen z dosahovaných sil (400 kN).

V práci jsem nenalezl zásadní chyby. Práce je pečlivě zpracována a má dobrou grafickou úroveň. K textu mám několik připomínek, které však svým dosahem neovlivňují výsledky a závěry práce:

str. 12¹⁴ – rotační hydromotory dnes rozhodně nejsou v porovnání s elektromotory desetkrát menší. Moderní elektrické synchronní servomotory jsou rozměrově i hmotností srovnatelné s hydromotory pro běžné tlaky (10 až 16 MPa).

str. 14¹⁰ – U válce s jednostrannou pístnicí neteče přes hrany ventilu stejné množství kapaliny. Množství kapaliny je dané rychlostí a plochou dané strany pístu.

str. 17² – Servoventil na obr. 3 má vnitřní mechanickou zpětnou vazbu.

str. 18 – vztah (7) je nejasný – zesílení servoventilu je jednoznačně dané průtokovou rovnicí a je funkcí pouze otevření ventilu (resp. proudu vinutím ventilu), tlakového spádu na ventilu a konstrukce ventilu (průměr šoupátka).

str. 19^{1 a 5} – místo „ostrost“ šoupátka má být „krytí hran šoupátka“.

str. 20 – (obr. 7) u tlakové charakteristiky by měl být udán průtok motorem (pravděpodobně nulový průtok), při kterém byla měřena.

str. 20⁷ – formulace „zavazbení pístnice v polohové ... vazbě“ je neobratná – vhodnější by bylo např. „hydromotor v polohové vazbě“ (případně doplnit „signál skutečné polohy je odvozen od pohybu pístnice“).

str. 25⁵ – tvrzení „... aby vzorkovací frekvence byla celistvým násobkem vlastní frekvence signálu nebo vyšší.“ je nepřesné. Přitom Shannonův teorém je uveden o osm řádků dále.

str. 28 – platí-li rovnice (19) pak musí být ve vztazích poslední člen se znaménkem minus (-y_i)

str. 33 až 43 – nesprávné odkazy na obrázky (např. str. 33₁ místo obr.10 má být obr.12)

str. 44 – ve vztahu (66) má být rozměr $K_Q = [m^2/s]$ popřípadě $[m^3/s/A]$

str. 44₃ – není jasné, jaká je hodnota K_p

str. 46 – bylo by vhodné, aby obr.18 měl stejné časové měřítko jako obr.17

str. 52⁷⁻⁸ – má být „zesílení integrační složky $[1/s]$ “ resp. „zesílení derivační složky $[s]$ “

str. 53⁷ – formulace „... servoventilem neustále protéká kapalina (i když píst stojí).“ je zavádějící. Za uvedených podmínek tíhovou silou kompenzuje rozdíl tlaků způsobený vychýlením servoventilu z nulové polohy. Průtok odpovídá poloze servoventilu a průsakům ve válci a je obecně malý – zhruba do 2 l/min.

str. 87 – v obr. 47 chybí pozice 1 až 8.

Disertace splnila sledovaný cíl – bylo navrženo a realizováno řízení tandemového uspořádání válců pro testování tlumičových prvků. Praktický přínos spočívá v tom, že doktorand uvedl do chodu popsané zařízení s využitím přístrojů, které jsou k dispozici v hydrodynamické laboratoři TUL. Je třeba ocenit značný objem vykonané práce od návrhu, identifikace a simulace zařízení přes kalibraci snímačů, elektrické a hydraulické zapojení, vývoj a odladění řídicího programu a zpracování návodu pro obsluhu až po uvedení zařízení do chodu. Teoretický přínos vidím v identifikaci dynamiky zařízení, v aplikaci postupů pro návrh regulace polohy válců

v tandemu a v ověření shody výsledků simulace s experimentem (shoda naměřených a simulovaných charakteristik je dobrá).

ZÁVĚR

V předložené disertaci autor přesvědčivým způsobem prokázal, že má schopnosti pro tvůrčí vědeckou práci, ovládá vědecké metody práce a má dobré teoretické znalosti. Cíl práce byl splněn a obhajované závěry považuji za správné. Práce je přínosem pro rozvoj vědního oboru a splňuje podmínky stanovené pro doktorské disertace.

Doporučuji proto přijmout práci k obhajobě.

Disertace byla hodnocena podle současného stavu rozvoje vědního oboru.

V Liberci dne 18.2.2011



prof. Ing. Jan Skalla, CSc.

oponent

Technická universita v Liberci
Katedra Výrobních systémů