

Stanovisko školitele

Doktorand: Ing. Jiří Korbel

Název disertační práce: Metody pro automatické nastavování a ladění parametrů spojitých regulátorů

Školitel: prof. Ing. Roman Prokop, CSc.

Ing. Jiří Korbel nastoupil do prezenčního doktorského studia na Institutu informačních technologií FT UTB v roce 2003 jako absolvent inženýrského studia „Automatizace a řídicí technika ve spotřebním průmyslu“. Jako disertační téma si vybral oblast autotuningu, tedy automatického nastavování a ladění spojitých jednorozměrných regulátorů, a to v prezenční formě studia. U svého školitele pracoval i v bakalářské a diplomové práci v oblasti algebraických metod ve smyslu diofantických rovnic v okruhu R_{PS} . Plán studia a zkoušky plnil úspěšně a bez prodlení. V roce 2006 přestoupil ze studia v prezenční formě do formy kombinované a nastoupil jako pedagogický pracovník FAI. V pedagogickém procesu působí v předmětu Počítačové sítě a v kurzech CISCO akademie.

Disertační práce se zabývá problematikou autotuningu, automatického ladění regulátorů. Takový systém, který je součástí řady profesionálních řídicích produktů, se skládá ze dvou částí. V první fázi se pro neznámý dynamický systém provede experiment s relé ve zpětné vazbě. Získaná data se zpracují s cílem identifikace přenosu nebo kritických hodnot. Ve druhé fázi se najdou vhodné nebo dokonce optimální parametry regulátoru, který se pak následně aplikuje na původní systém. Původní návrh Åströma a Hägglunda aplikoval symetrické relé a Ziegler - Nicholsovu metodu. Disertační práce kombinuje různé typy relé, zejména nesymetrické a s hysterezí s parametrickou identifikací a algebraickou syntézou pomocí diofantických rovnic. Autor tak získal řadu původních kombinací principů autotuningu, které následně ladil. Originální je např. aperiodické ladění regulátorů. Byla vytvořena řada simulačních programových produktů v prostředí Matlab, Simulink. Vybraný princip prokázal aplikovatelnost na reálném systému a je připraven pro další průmyslové využití.

Disertant přistupoval k práci zodpovědně a systematicky, byť téma nesouvisí s jeho pedagogickým vytížením. V průběhu své práce vypracoval Ing. Jiří Korbel řadu publikací, které přispěly k rozvoji uvedené problematiky. Výsledky práce byly součástí 20 konferenčních příspěvků, některé na Asian kontrol conference, IEEE Control, DAAAM, ECC, ECMS a na dalších.

Kontakt se školitelem byl pravidelný, konstruktivní a cílevědomý. Konstatuji, že úroveň předložené disertační práce je velmi dobrá, s dostatečným teoretickým přínosem, který byl programově implementován a realizován na reálném zařízení. Doktorand prokázal výjimečné znalosti v oboru a stanovené cíle práce byly v plném rozsahu splněny. V souladu se zákonem č. 111/Sb. **doporučuji** práci Ing. Jiřího Korbela k obhajobě.

Ve Zlíně 16.5.2011


prof. Ing. Roman Prokop, CSc.

Oponentský posudok dizertačnej práce

Dizertant: **Ing. Jiří Korbel**
Odbor: **Technická kybernetika**
Školiteľ: **prof. Ing. Roman Prokop, CSc.**
Názov práce: **Metódy pro automatické nastavování a ladění parametru spojitých regulátorů**

Predkladaná dizertačná práca rieši problematiku automatizovaného nastavovanie parametrov spojitých regulátorov. Práca obsahuje analýzu (prehľad) súčasného stavu a ciele DP, päť ťažiskových kapitol a záver.

Dizertačnú prácu hodnotím nasledovne:

1. Aktuálnosť riešenia dokumentujú práce popredných odborníkov príslušnej oblasti, ktoré dizertant zdokumentoval v úvodnej kapitole. Možno súhlasiť s východnou hypotézou o výhodnosti prepojenia reléovej identifikácie systémov s modernými metódami návrhu (syntézy) regulátorov.
2. Základný cieľ, ktorý sa opiera o známe postuláty z auto-tuningu a ktorý má tieto metódy rozšíriť, je vhodne podopretý čiastkovými cieľmi. Rozloženie úloh v teoretickej a praktickej (simulačnej) oblasti považujem za primerané.
3. Stručný popis reléového experimentu umožňuje pochopiť prístup dizertanta k aproximácii neznámeho riadeného systému. Výsledkom identifikácie je prenosová funkcia (parametre prenosu) systému nízkeho (prvého) rádu s dopravným oneskorením. Použitá metóda je jednoduchá a vhodná pre takéto systémy.
4. Použitie algebraických metód pri návrhu späťoväzbových regulátorov je dizertantom stručne analyzované. Dá sa súhlasiť s možnosťou využitia množiny kauzálnych (rýdzich) a stabilných funkcií. Teoreticky sú dobré zvládnuté a práci vhodne popísané a ilustrované formulácie zákonov riadenia na systémoch 1. a 2. rádu. Cennejšie je aplikácia na systémy s dopravným oneskorením. Táto kapitola potvrdzuje schopnosť dizertanta hlbšie sa orientovať v teórii algebraických metód pre syntézu riadenia. S využitím uvedených metód syntézy riadenia je možné definovať kladný skalárny parameter, ktorého vhodnou voľbou možno ladiť regulátory.
5. V piatej kapitole sú popísané dve metódy stanovenia (automatického návrhu) parametra ladenia. Známa je metóda vyváženého nastavenia vrátane postupov pri experimente. Výpočet ladiaceho parametra pomocou metódy vyváženia je možné považovať za novšiu metódu.
6. Využitie Matlab-u a Simulink-u ako programovacieho prostriedku možno považovať za klasický prístup využívaný pri simulácii a overovaní rôznych metód a postupov v automatickom riadení. Známe sú viaceré práce, riešené na FAI UTB, ktoré majú vytvorené vlastné programovacie prostredie využiteľné pri auto-tuningu. Realizovaná a v práci využívaná verzia programu je s výhodou aplikovateľná na systémy s dopravným oneskorením, ktoré sú identifikované ako systémy 1. rádu s dopravným oneskorením.
7. Ukážkové príklady v siedmej kapitole s využitím navrhnutého programového prostredia dokumentujú životaschopnosť navrhutej metodiky. Je dobré, že príklady poukazujú na určitú univerzálnosť používania navrhutej metodiky. Rovnako pozitívne hodnotím, že doktorand realizoval experiment na reálnej sústave.

Celkové zhodnotenie:

Považujem tému dizertačnej práce za „stále“ aktuálnu. Zameranie na kombináciu reléového experimentu pre identifikáciu a návrh regulátora v podmienkach rýdzich a stabilných racionálnych funkcií poskytuje priestor pre určitú novosť (inovatívnosť) riešenia problému. Téma je spracovaná na primeranej úrovni. Pozitívne hodnotím určitú variabilnosť navrhnujetej metodiky. Overenie na simulačnej a aj experimentálnej úrovni dokumentuje použiteľnosť dosiahnutých výsledkov z riešenia dizertačnej práce v edukačnom procese.

Pri obhajobe práce prosím o zodpovedanie nasledujúcich otázok:

1. Čo je príp. treba, podľa dizertanta, vykonať pre dopracovanie navrhnujetej metodiky?
2. Navrhnutá metodika poskytuje určitú variabilnosť pri identifikácii aj ladení regulátorov. Je predpoklad pre zvýšenie univerzálnosti navrhnujetej metodiky?
3. Vykonaný experiment na tepelnej sústave v laboratórnych podmienkach poukazuje na určité rozdiely pri identifikácii. Mohol by dizertant tieto odchýlky viac zdôvodniť (kvalitatívne a podľa možnosti aj kvantitatívne)?

Záver:

Práca spĺňa požiadavky dizertačnej práce v odbore Technická kybernetika po teoretickej, praktickej aj formálnej stránke.

Prácu odporúčam predložiť k obhajobe.

Košice, 20. 4. 2011

Prof. Ing. Miluše Vítečková, CSc.
katedra automatizační techniky a řízení
Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava
ul. 17. listopadu 15
708 33 Ostrava - Poruba
tel.: 597 324 493
e-mail: miluse.viteckova@vsb.cz

Oponentský posudek

disertační práce

Autor: **Ing. Jiří KORBEL**

Téma: **Metody pro automatické nastavování a ladění parametrů
spojitých regulátorů**

Oponentský posudek je vypracován na základě dopisu děkana Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně pana prof. Ing. Vladimíra Vaška, CSc. ze dne 16. 3. 2011.

Disertační práce Ing. Jiřího Korbela „Metody pro automatické nastavování a ladění parametrů spojité regulátory“ obsahuje 101 stran textu včetně 3 příloh, seznamu použité literatury a přehledu publikační činnosti autora. V seznamu literatury je uvedeno 55 publikací, seznam vlastních publikací obsahuje 24 položek, přičemž 19 z nich jsou příspěvky na národních i mezinárodních konferencích, na kterých se podílel jako spoluautor a jeden je článek v časopise Automatizace. Dále vedl 3 bakalářské práce a jeden projekt FR MŠMT G1/2194 v roce 2005.

1. Zhodnocení významu disertace pro obor

Předložená disertační práce se zabývá velmi důležitou, ale současně teoreticky náročnou problematikou – metodami pro automatické nastavování a ladění parametrů spojité regulátory s využitím identifikace regulované soustavy s pomocí nesymetrického relé s hysterezí. Syntéza regulačních obvodů patří mezi velmi důležité oblasti teorie automatického řízení, kterým je třeba věnovat patřičnou pozornost, a proto zvolené téma je významné.

Důležitost uvedené problematiky vyplývá také z toho, že pro správné seřízení regulátorů potřebujeme znát vlastnosti regulované soustavy a experimentální metoda identifikace s nesymetrickým relé s hysterezí umožňuje získat přenos regulované soustavy ve tvaru, pro který existuje řada vhodných metod syntézy.

Cílem disertační práce bylo navrhnout vhodný reléový experiment pro získání přenosu regulované soustavy v požadovaném tvaru, pro něj navrhnout odpovídající regulátory a vytvořit program v programovém prostředí Matlab/Simulink, který umožní navržené řešení ověřit simulačně a následně i na laboratorním modelu. Proto řešené téma je vysoce aktuální s přínosem jak pro vlastní obor, tak i pro praxi.

2. Postup řešení problému, použité metody a splnění stanoveného cíle

Disertační práce sestává z osmi kapitol, seznamu použité literatury, seznamu vlastních publikací a 3 obrazových příloh s výsledky simulačních experimentů. V úvodní části disertační práce doktorand zpracoval přehled současného stavu řešené problematiky a stanovil cíle disertační práce a jednotlivé dílčí úkoly k jejich dosažení.

V další části disertační práce (kapitola 3 až 7) se doktorand zabýval reléovými zpětnovazebními experimenty pro získání přenosu ve tvaru proporcionální regulované soustavy se setrvačností prvního řádu s dopravním zpožděním, pro ni metodou v okruhu R_{PS} navrhl vhodné regulátory a provedl číslicové simulace pro ověření zvolených postupů, při kterých využil zpracovaný program v programovém prostředí Matlab/Simulink. V poslední části práce popisuje experiment – řízení laboratorního modelu s využitím navržených postupů.

V závěru doktorand provedl zhodnocení experimentů a celkové vyhodnocení splněných cílů disertační práce a její přínos v oblasti teorie automatického řízení.

Celkově lze říci, že disertant pro dosažení stanovených cílů zvolil správné metody a postupy, což dokumentují získané teoretické výsledky, úspěšné simulační experimenty i dosažené praktické výsledky na reálných soustavách.

Celá práce je zpracována na dobré odborné úrovni. Lze konstatovat, že v disertační práci stanovené cíle byly v celém rozsahu splněny a že ukazují na vysokou odbornou úroveň školicího pracoviště.

3. Výsledky disertační práce a konkrétní přínos disertanta

Za důležité výsledky disertanta lze považovat:

- využití reléového experimentu pro získání přenosu regulované soustavy v požadovaném tvaru,
- navržení vhodných regulátorů metodou v okruhu R_{PS} a zdůvodnění doporučení volby hodnoty ladicího parametru m s ohledem na parametry regulované soustavy,
- zpracování programu pro identifikaci a regulaci v programovém prostředí Matlab/Simulink.

Tyto výsledky představují teoretický i praktický přínos v oblasti aplikované teorie automatického řízení a jsou rovněž významné jak z hlediska lepšího poznání stávajících přístupů k řízení dynamických systémů, tak i z hlediska rozšíření a zkvalitnění výuky studentů magisterského i doktorského studia v oborech souvisejících s technickou kybernetikou.

4. Připomínky a dotazy, formální úroveň práce

K disertační práci mám tyto připomínky a dotazy:

- V seznamu symbolů a zkratk nejsou uvedena všechna použitá označení, což snižuje dobrou orientaci v textu. Není sjednocené označení parametrů a proměnných (např. pro šířku hystereze reléové charakteristiky je použito a_0 i ε).
- Legenda u některých obrázků je anglicky, i když celá práce je napsána v češtině.

- str. 19 obr. 2 a) a c) chybí velikost amplitudy relé B ,
- str. 20 na obr. 3 je neshodné označení os grafů s předchozím textem,
- str. 22 je A ve vztazích (24) a (25) totéž, co ve vztazích (20) – (22)? Vysvětlete,
- str. 34, 35 na obr. 6 a 7 mají být obrazy veličin a ne jejich originály,
- str. 37 vysvětlete vztah (50),
- str. 41³ místo „realistickému“ patří „reálnému“,
- str. 46 jsou vztahy (72) správné?
- str. 49 prosím o vysvětlení vztahu (81). Dále jsou uvedena chybná čísla obr. 5 (má být 6) a vztahu (51) v textu [má být (81)],
- str. 61 a 68 proč jste volil menší hodnotu ladicího parametru m při srovnání metody syntézy v okruhu R_{PS} s metodami Zieglera-Nicholse a vyváženého nastavení. V textu chybí hodnoty stavitelných parametrů regulátorů pro metody Zieglera-Nicholse a vyváženého nastavení. Proč nebyly pro srovnání použity i jiné metody pro seřizování regulátorů pro regulované soustavy s dopravním zpožděním?
- str. 75 - 79 v kapitole 7.4 není uveden použitý regulátor, ani hodnoty jeho stavitelných parametrů.

Mé připomínky jsou formální. Nesnižují dobrou odbornou i celkovou formální kvalitu disertační práce, která přináší řadu zajímavých a užitečných výsledků.

5. Publikace disertanta

V závěru disertační práce je uvedeno 24 publikací disertanta, na kterých se podílel jako spoluautor. Z uvedeného seznamu je zřejmé, že disertant se aktivně zapojil do vědecko-výzkumné práce na školícím pracovišti a výsledky publikoval na národních i mezinárodních vědeckých konferencích a jedním v technickém časopise Automatizace.

6. Závěrečné hodnocení

Disertační práce Ing. Jiřího Korbela je zpracována na dobré odborné i formální úrovni. Přináší nové teoretické poznatky, ukazuje na jeho odborné schopnosti, hlubokou znalost řešené problematiky i na jeho způsobilost k samostatné tvůrčí vědecké práci. Disertace v okruhu R_{PS} vyhovuje podmínkám pro doktorské práce, a proto ji **doporučuji k obhajobě**.

V Ostravě 20. 4. 2011


Prof. Ing. Miluše Vítečková, CSc.

Oponentský posudek disertační práce

Autor: Ing. Jiří Korbel

Název: Metody pro automatické nastavování a ladění parametrů spojitých regulátorů

Obor: Technická kybernetika

Pracoviště: UTB Zlín, Fakulta aplikované informatiky

Oponent: doc. Ing. František Dušek, CSc.

Pracoviště: Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky

Doktorand se ve své práci zabývá automatickým jednorázovým určením parametrů spojitého regulátoru na základě aktivního experimentu (autotuning). Základním cílem práce je návrh aktivního experimentu, určení aproximačního přenosu ze získaných dat a návrh stabilizujícího regulátoru pro tento aproximační přenos. V práci je použita jediná metoda aktivního experimentu – nesymetrické relé s hysterezí ve zpětné vazbě. Vyhodnocením experimentu je určen aproximační přenos ve tvaru přenosu soustavy prvního řádu s dopravním zpožděním. Pro tento náhradní přenos jsou uvedeny dvě metody syntézy regulátorů – metoda vyváženého nastavení pro určení parametrů spojitého PI regulátoru a metoda syntézy regulátoru vycházející z algebraické teorie. Teoretické výsledky doktorand implementoval jednak v podobě simulačního programu v prostředí MATLAB/SIMULINK a jednak při řízení reálného laboratorního modelu. Na základě předložené práce mohu konstatovat, že doktorand všechny stanovené cíle splnil.

V teoretické části práce je nejprve dobře a přehledně popsána problematika chování uzavřeného regulačního obvodu (URO) s relé ve zpětné vazbě vycházející z teorie ekvivalentních přenosů. Vztahy popisující souvislost mezi vybranými charakteristikami periodického signálu v URO a trojicí parametrů řízené soustavy prvního řádu s dopravním zpožděním jsou základem identifikační fáze autotuningu. Teoretická část pokračuje přehledným vysvětlením syntézy třídy stabilizujících zpětnovazebních regulátorů v okruhu ryzích a stabilních racionálních funkcí s jedním volitelným parametrem ovlivňujícím dynamické chování výsledného regulátoru. Z těchto stabilizujících regulátorů je vybrán jeden, který kompenzuje poruchy na měřené a akční veličině a odstraňuje trvalou regulační odchylku. Problém dopravního zpoždění řízené soustavy je řešen buď jeho zanedbáním, nebo jeho náhradou aproximačním přenosem.

Teoretická část je převážně rešeršního charakteru s dostatečnou mírou citací. Publikace výsledky doktoranda jsou dostatečné a jsou zaměřené do oblasti zpracované v disertační práci.

Za původní práci doktoranda lze považovat závěr teoretické části tj. analytické určení rozsahu ladícího parametru vedoucí na aperiodický regulační pochod pro soustavu prvního řádu bez dopravního zpoždění. V praktické části se doktorand zabýval simulacemi ideálních regulačních průběhů s automaticky nastaveným regulátorem pro různé soustavy a hodnoty ladícího parametru. Simulační experimenty jsou realizovány pomocí doktorandem vytvořeného programu. Velmi stručně jsou uvedeny také výsledky identifikace a řízení na reálném laboratorním zařízení.

Práce je po formální stránce napsána dobře. K formální stránce práce mám pouze několik nepodstatných připomínky. Myslím, že nebylo nutné uvádět obr. 9 (Hlavní menu původního programu) když jsou experimenty prováděny pomocí jiného programu. Na obr. 10 je přenos

označený „Pade approximation“, který ale představuje celkový aproximační přenos soustavy včetně dopravního zpoždění. Poslední, již ryze formální poznámka, se vztahuje k dvěma nesprávným odkazům na str. 49 – odkaz na obr. 5 a odkaz na rovnici (51).


K obsahové části práce mám několik otázek, na které by měl doktorand v rámci obhajoby odpovědět či k nim zaujmout stanovisko

- 1) V teoretické části je uveden postup pro návrh regulátoru se dvěma stupni volnosti (2DOF), proč nebyl při simulacích použit tento typ regulátoru?
- 2) V popisu funkce programu (provádění simulačních experimentů) chybí informace, jak byl vyhodnocován průběh získaný při regulaci s relé ve zpětné vazbě.
 - a. Jsou výsledky identifikace ovlivněny volbou parametrů relé?
 - b. Hraje roli doba experimentu, je vyhodnocována fáze ustalování, vyhodnocuje se jedna či více period?
 - c. Je použitý způsob vyhodnocení použitelný i při šumu měření?
- 3) Při návrhu regulátoru může být použita Padeho aproximace dopravního zpoždění. Jak je volen stupeň aproximace – je konstantní nebo volitelný, lepší vyšší stupeň kvalitu regulace?
- 4) Na obr. 22 a 23 je průběh regulace stejné soustavy. Proč byl pro porovnání návrhu regulátorů – obr. 23 – použit regulátor bez uvažování dopravního zpoždění, dávající horší výsledky než regulátor zpoždění uvažující použitý na obr. 22?
- 5) Zkoušel doktorand porovnat chování navrženého regulátoru s regulátorem typu Smithův prediktor využívajícím identifikovaný přenos prvního řádu s dopravním zpožděním?
- 6) Popis realizace řízení reálného systému je velmi stručný a chybí některé základní informace
 - a. Byl identifikační experiment s relé ve zpětné vazbě prováděn spojitě či diskrétně?
 - b. Bylo použito automatické (autotuning) či manuální vyhodnocení identifikační části?
 - c. Syntéza regulátoru byla zřejmě prováděna ve spojitě oblasti. Jak byl získán diskrétní přenos regulátorů (str. 82 – 84)?

Ing. Korbek svou prací prokázal, že disponuje potřebnými teoretickými vědomostmi i praktickými zkušenostmi k úspěšnému tvůrčímu a systémovému řešení úkolu obsahujícího jak rešeršní a teoretickou část tak experimentální a implementační část.

předloženou práci doporučuji k obhajobě a v případě úspěšného obhájení navrhuji udělení titulu Ph.D.

V Hradci Králové 12. dubna 2011


.....
Doc. Ing. František Dušek, CSc.