

## Oponentský posudok dizertačnej práce

Názov: **Nestabilní systémy: robustní řízení s omezenou akční veličinou**  
Autor: **Ing. Jiří Marholt**

### Charakteristika práce

Predložená dizertačná práca sa zaoberá návrhom algoritmov pre riadenie nestabilných systémov s ohraničenou akčnou veličinou. Po obsahovej stránke je v práci po úvode v 2. kapitole opísaný súčasný stav riešenej problematiky a ciele dizertačnej práce sú sformulované v 3. kapitole. Teoretický rámec práce tvorí 4. kapitola, ktorá postupne uvádza teoretické základy stability a robustnej stability systémov, teoretické princípy spätnoväzbových systémov riadenia v tzv. 1DOF, 2DOF a TFC konfigurácii, teoretické základy návrhu robustného riadenia, princípy zohľadnenia obmedzení akčných veličín a príklady nestabilných systémov z praxe. Táto kapitola sumarizuje známe poznatky. 5. kapitola opisuje zvolené metódy použité pri návrhu robustného riadenia s obmedzenou akčnou veličinou. Autor pre návrh algoritmov riadenia zvolil optimalizáciu kritéria robustnosti definovaného pomocou  $H_\infty$  normy citlivostnej funkcie a špeciálne zadefinovaného kritéria ohraničenosti akčného zásahu. Citlivostná funkcia je odvodená pre 1DOF, 2DOF a TFC konfiguráciu spätnoväzbového systému riadenia a optimalizovanými parametrami sú póly uzavretého regulačného obvodu pri týchto troch štruktúrach spätnoväzbového obvodu riadenia. Na optimalizáciu je využitá štandardná funkcia programového prostredia MATLAB. Najväčším prínosom práce je navrhnutý algoritmus a programový nástroj vyvinutý autorom, ktorý je spolu s tromi teoretickými príkladmi opísaný v 6. kapitole. Táto kapitola opisuje vytvorený program, navrhnuté GUI, simulačné výsledky a výsledky získané riadením laboratórneho procesu – magnetickej levitácie. 7. kapitola stručne sumarizuje dosiahnuté výsledky, v 8. kapitole sú sformulované prínosy pre vedu a prax a v 9. kapitole sú sformulované závery.

Práca, ktorá má spolu 90 strán, je po formálnej stránke členená na abstrakt v českom a anglickom jazyku, 9 kapitol vrátane úvodu, záver a 6 zoznamov, ktoré zahŕňajú použitú literatúru, obrázky, tabuľky, použité symboly a skratky, prílohy a publikačné aktivity doktoranda. Práca je doplnená životopisom doktoranda.

Členenie práce je logické. Obrázky a tabuľky sú po formálnej stránke spracované na dobrej úrovni. Spracovaniu textu mohla byť venovaná väčšia pozornosť, okrem preklepov sa v texte vyskytujú viaceré nesprávne formulované tvrdenia (napr. str. 6 – sú navrhnuté regulátory a aj simulované, str. 11 - rozdelenie regulačných pochodov na systémy, str. 40 – CSTR vykazujúci reakcie, str. 42 - nástrek stúpa do vyšších etáží kolóny, text k obrázkom – priebeh riadenia konfigurácie 1DOF a pod. ).

### Aktuálnosť zvolenej témy

Téma predkladanej dizertačnej práce zameraná na návrh robustného riadenia nestabilných systémov s obmedzeniami akčných veličín je aktuálna vzhľadom na veľký počet potenciálnych praktických aplikácií.

### Splnenie cieľov práce a metódy zvolené na ich plnenie

Prvým cieľom dizertačnej práce je analýza súčasného stavu v oblasti riadenia nestabilných systémov s dôrazom na robustný prístup so zohľadnením obmedzení akčného zásahu pri návrhu riadenia. Avšak v 2. kapitole je analýze robustného riadenia je venovaný len jeden 12-riadkový odsek s tromi referenciami. Ďalší krátky odsek je venovaný analýze riadenia nestabilných systémov s obmedzeniami veľkosti akčného zásahu, nie však v súvislosti s robustným riadením ale viac v súvislosti s prediktívnym riadením. Z tohto dôvodu prvý cieľ dizertačnej práce považujem za nedostatočne splnený. Druhým cieľom bol návrh riadenia nestabilných SISO systémov pomocou polynomického prístupu v robustnom zmysle so zohľadnením obmedzení akčného zásahu. Autor v skutočnosti nenavrhuje robustné riadenie založené na niektorom z teoretických prístupov robustného riadenia, ale len testuje robustnosť regulátorov navrhnutých polynomickou syntézou a optimalizačným algoritmom vyhľadáva taký regulátor, pomocou ktorého zabezpečí minimalizáciu kritéria robustnosti a kritéria vyjadrujúceho nedodržanie ohraničení akčnej veličiny. Toto však korešponduje s formuláciou druhého cieľa. Najväčším prínosom práce je navrhnutý algoritmus a programový nástroj vyvinutý autorom, ktorý je spolu s tromi teoretickými príkladmi opísaný v 6. kapitole. Robustnosť regulátorov je však overená len v súvislosti so schopnosťou regulátorov kompenzovať poruchy. Škoda, že autor neoveril robustnosť regulátorov aj pre neurčitosti v riadených systémoch súvisiace napr. s neurčitostami parametrov. Tretím cieľom bolo overenie možnosti využiť štandardné numerické funkcie MATLABu pre optimalizáciu pólov uzavretého regulačného obvodu. Overenie možností využitia funkcií MATLABu by však malo byť prostriedkom pre dosiahnutie cieľa, nie samotným cieľom dizertačnej práce. Štvrtým cieľom bola realizácia GUI pre navrhnuté algoritmy a vybrané typy riadených systémov. Tu považujem za nevhodnú voľbu v súčasnosti už zastaranej verzie MATLAB 6.5. Uvedené GUI nie je funkčné už ani vo verzii MATLAB 7.5 (R2007b), takže širšie využitie tohto GUI je sporné. Navyše nie je funkčné tlačidlo „Nápověda“. Posledný cieľ zameraný na simulačné overenie algoritmov a overenie riadením v reálnom čase bol splnený. Aj keď autor deklaruje vedecký prínos v oblasti robustnej polynomickej syntézy, vedecký prínos je v oblasti robustného riadenia je sporný.

### Prínos dizertačnej práce

Hlavný prínos dizertačnej práce je v experimentálnej časti práce a spočíva v návrhu algoritmu riadenia nestabilných systémov s obmedzeniami akčných veličín, ktorý vedie k návrhu regulátorov vykazujúcich robustnosť.

### Publikačná činnosť doktoranda

Ing. Marholt je autorom alebo spoluautorom 7 publikácií (4 v databáze Scopus) – 3 časopiseckých publikácií (1 v databáze WoS) a 4 príspevkov na domácich a medzinárodných konferenciách, takže publikačné aktivity možno považovať za dobré.

### Pripomienky a otázky k práci

K práci mám okrem už uvedenej analýzy niekoľko konkrétnych pripomienok a otázok.

- Str. 15, (4.6) a (4.7) – chýbajú funkcie  $f$ ,  $g$ .
- Str. 16, (4.2) –  $C$  je matica.
- Str. 17, tab. 4.1 – pre úplnosť by bolo vhodné uviesť aj situáciu s pólom rovným 0.
- Str. 18 – tvrdenie „určiť kořeny charakteristické rovnice vyššieho než druhého stupně je obtížné“ v súčasnosti neplatí.
- Str. 20, obr. 4.9 – pri klesajúcej logaritmickej fázovej frekvenčnej charakteristike by stupne mali mať znamienko „mínus“.
- Str. 33 – obr. 4.15 je rovnaký ako obr. 4.11, a teda je zbytočný.
- Str. 33, (4.91), str. 34 (4.93), str. 44 (5.3) – pri odvodení mali byť použité  $R$  a  $Q$  definované v (4.53).
- Str. 34 – autor v závere kapitoly 4.3 konštatuje, že informácie sú ďalej využité pre optimalizáciu vybraných ladiacich parametrov obvodu tak, aby bol navrhnutý systém riadenia robustný voči poruchám a nepresnosti v modeli riadeného systému. Aké nepresnosti v modeli riadeného systému autor uvažuje a ako bola overená robustnosť navrhnutého systému riadenia voči takýmto nepresnostiam v modeli riadeného systému?
- Str. 36 – čo reprezentuje vzťah (4.98)?
- Str. 48 a obr. 6.1 – prečo sa názov programu „Optimalizace pólu URO“ neobjaví v hlavnom okne programu?
- Str. 48 – je v programe aj model inverzného kyvadla, ako je uvedený?
- Bolo by vhodné, keby bolo v programe možné nastaviť aj čas simulácie a generovať poruchu. Programom totiž nie je možné overiť všetky prezentované výsledky. Ako boli generované výsledky simulácii prezentované v práci?
- V programe nefunguje tlačidlo „Nápověda“. Prečo?
- Obr. 6.4 a ďalšie - označenie 0 v legende je zbytočné. Prehľadnosť grafov by zlepšilo použitie viacerých farieb, nielen modrej a červenej.
- Str. 53 – konštatovanie, že v čase 6 s sa regulovaná veličina blíži k žiadanej je veľmi približné. Prečo práve v čase 6 s?
- Str. 54 – v  $J_1$  má byť umocnený na druhú aj rozdiel  $w(t)-y(t)$ .
- Prečo je vždy odporúčaný začiatkový odhad ladiaceho parametra horná hranica intervalu jeho hľadania? Konvergovalo by riešenie aj pri odhade na dolnej hranici?
- Ako je vhodné voliť interval hľadania ladiaceho parametra?
- Str. 64, tab. 6.5, str. 68, tab. 6.9 – aké kritérium reprezentuje  $J_1$  a  $J_2$ ?
- Str. 69, prenos magnetickej levitácie – má význam zadávať koeficient -2,418 s presnosťou na 3 desatinné miesta?
- Str. 71, tab. 6.13 – výsledky pre 2DOF konfiguráciu pre 1 ladiaci parameter sú uvedené pre interval hľadania s hornou hranicou 150 a nie 100, ako je uvedené v tab. 6.10.
- Str. 70 – pri testovaní 2 DOF konfigurácie riadenia riešenie vždy skončilo na hornej hranici rôzne odhadnutých intervalov hľadania. Je v tomto prípade naozaj zabezpečená konvergencia algoritmu?
- Prosím, aby sa autor vyjadril k výhradám k splneniu cieľov dizertačnej práce.

#### Záverečné konštatovanie

Autor preukázal svojou prácou hlavne programátorské zručnosti. Ciele dizertačnej práce považujem za splnené len čiastočne a výhrady k plneniu cieľov sú v posudku uvedené. Napriek tomu konštatujem, že predložená dizertačná práca v prevažnej miere spĺňa

požiadavky kladené na práce tohto druhu. Dizertačnú prácu odporúčam na obhajobu s tým, aby komisia zvažila udelenie titulu Ph.D.

V Bratislave 29.07.2014

*Monika Poláčková*

# Oponentský posudek disertační práce

**Autor:** Ing. Jiří Marholt

**Název:** NESTABILNÍ SYSTÉMY: robustní řízení s omezenou akční veličinou

**Obor:** Automatické řízení a informatika

**Pracoviště:** UTB ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky

**Oponent:** doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.

**Pracoviště:** VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní

---

## **Aktuálnost zvoleného tématu**

Předložená disertační práce se zabývá velice aktuální problematikou a to návrhem robustního řízení s omezenou akční veličinou pro nelineární systémy, především jsou rozpracovány tři polynomiální přístupy k syntéze řízení a to konfigurace 1DOF, 2DOF, TFC.

## **Splnění cílů disertační práce**

Cílem práce je návrh řízení nestabilních SISO systémů pomocí polynomiálního přístupu zohledněním omezení akčního zásahu. Dále ověřit možnost využití standardních numerických funkcí MATLABu pro optimalizaci pólů uzavřeného regulačního obvodu.

Ve stručném úvodu autor popisuje současný stav dané problematiky a definuje cíle disertační práce. Nejrozsáhlejší kapitolou je teoretický rámec, kde je popsána stabilita systémů a způsoby testování, zvolené struktury systémů řízení a přístupy k návrhu robustního řízení, přístupy k omezení akčního zásahu a v závěru vybrané příklady nestabilních systémů i s jejich matematickým popisem.

Další kapitola se věnuje popisu použitých matematických metod optimalizace pólů uzavřeného systému řízení při respektování omezení akčního zásahu a maximální robustnosti navrženého obvodu.

Experimentální část popisuje vytvořený program pro návrh robustního regulátoru respektující omezení akčního zásahu, který je vytvořený v programu MATLAB, a umožňuje provést i simulační ověření funkčnosti uzavřeného regulačního obvodu. Také jsou zde uvedeny vybrané řešené příklady a výsledky optimalizace a simulace jsou popsány. Tato část práce je stěžejní.

Po stručném zhodnocení výsledků a přínosu pro vědu a praxi, následuje stručný závěr, seznam použité literatury, obrázků, tabulek, použitých symbolů a zkratek, publikace autora a jeho stručný životopis.

Lze konstatovat, že disertační práce splnila vytýčené cíle.

### **Zvolené metody zpracování a postup řešení**

Disertant se seznámil s dostupnými metodami návrhu robustních regulátorů pro nelineární systémy a navrhl a ověřil vlastní aplikaci pro návrh robustních regulátorů s následným simulačním ověřením dosažené kvality řízení. Metody a postupy odpovídají zadání disertační práce, jsou vhodně využity známé metody a přístupy pro nová řešení.

### **Význam pro praxi nebo pro rozvoj vědního oboru**

Vědeckým přínosem disertační práce jsou jak detailní popis metody robustního polynomiálního návrhu regulátoru s omezením akční veličiny, tak i návrh a realizace programové podpory návrhu robustních regulátorů v prostředí MATLAB. Výsledky práce mohou mít uplatnění nejen v pedagogickém procesu, ale i v technické praxi.

### **Formální úprava disertační práce a jazyková úroveň**

Disertační práce je napsána přehledně, jednotlivé kapitoly na sebe logicky navazují, ale nejsou obsahově vyvážené. K formální stránce mám několik připomínek.

- U veličin vyskytujících se v textu je závorka psaná kurzívou, občas je to uvedené správně, to znamená, že autor nevěnoval této formalitě náležitou pozornost.
- Dále je porušováno pravidlo vysvětlení veličin při jejich prvním výskytu ve vzorcích (např. vztahy (4.1), (4.2), (4.8), (4.9), (4.21), ...), a pokud už jsou vysvětleny, jsou psány v několika různých formátech (např. vztahy (4.5), (4.12)).
- Poměrně často chybí čárky v souvětích (např. str. 13, 14, 15, ...).
- V textu se používá termín přenosová funkce i přenos, měl by se používat jen jeden z nich. Rovněž byl použit termín přenosové soustavy. Jaký správný pojem má být použit místo „přenosové soustavy“ na str. 47?
- V kapitole 4.1.2 jsou použity popisy ve stavovém prostoru pro mnohorozměrné systémy, ale převod do vnějšího popisu odpovídá jednorozměrným systémům.
- Nejednotné označení frekvence a úhlového kmitočtu v textu práce a seznamu použitých symbolů a zkratek.
- Nejednotné formátování symbolů v obrázku a popisu v textu, viz str. 13, 21.

- Záměna pojmů nespojitý a diskrétní.
- Proč ve vztazích (4.83) – (4.86) se používá velké  $S$  místo malé  $s$  pro označení proměnné  $L$  transformace?
- Zbytečně použité zkopírované vzorce (např. na str. 38, 39), které nejsou příliš složité a mohly být přepsány.
- V životopise je uveden obor doktorského studia Technická kybernetika, ale práce je pro obor Automatické řízení a informatika. Studuje doktorand dva obory?

Tyto nedostatky však nemají podstatný vliv na odbornou stránku disertační práce.

### **Publikační aktivita disertanta**

V seznamu je uvedeno 7 publikací, na kterých se disertant podílel jako spoluautor, z toho 3 články v recenzovaných časopisech (z toho jeden IF a jeden v databázi Scopus) a 4 na mezinárodních konferencích. Publikační činnost považují za přiměřenou.

### **Připomínky k disertační práci**

Doporučuji, aby autor v rámci obhajoby disertační práce zodpověděl následující otázky:

1. Vámi vytvořená aplikace je funkční v prostředí MATLAB 6.5, zkoušel jste její funkčnost ve vyšších verzích. Popř. jak složité by bylo upravit aplikaci i pro vyšší verze MATLABu.
2. Pro správný optimalizační proces parametrů regulátorů je důležitá vhodná volba počátečních hodnot parametrů a jejich interval. Jak jste tyto hodnoty volil a lze definovat obecný postup jejich návrhu?
3. Počáteční odhad parametrů optimalizačního procesu jste vždy volil horní mez. Bude to fungovat i pro volbu minimální hodnoty, popř. hodnoty uvnitř intervalu?

### **Závěrečné zhodnocení**

Lze konstatovat, že práce splňuje požadavky po formální i věcné stránce a předloženou disertační práci **doporučuji** k obhajobě a Ing. Marholtovi doporučuji po úspěšné obhajobě udělit titul Ph.D.

V Ostravě 6. srpna 2014



doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.





## Oponentní posudek disertační práce

Autor: Ing. Jiří Marholt  
Školitel: Doc. Ing. František Gazdoš, Ph.D.  
Studijní obor: Automatické řízení a informatika  
Pracoviště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

Název disertační práce:

**Nestabilní systémy: robustní řízení s omezenou akční veličinou**

Disertant se ve své práci zabývá návrhem regulátoru pro nestabilní soustavy pomocí polynomiálního postupu.

Práce si klade za úkol vyřešit:

- návrh regulátoru pomocí 1DOF, 2DOF a speciální konfigurace,
- návrh robustního systému,
- omezení akčního zásahu k omezení saturace.

Práce je rozdělena do devíti kapitol, kde v úvodní kapitole Ing. Jiří Marholt popisuje současný stav problematiky. Další kapitola je věnována metodám řízení nestabilních systémů, popis metod robustního řízení, omezení akční veličiny a popisem obsahu předkládané práce. V následujících kapitolách jsou uvedeny konkrétní cíle disertační práce, kde jsou popsány vytýčené cíle a popsána stabilita systému a používané metody. V následující kapitole je uveden polynomiální návrh řízení pro nestabilní systémy včetně robustního řízení a omezení akčního zásahu. V kapitole Zvolené metody zpracování jsou uvedeny metody optimalizace pomocí MATLABU a další kapitole Experimentální část je uveden sestavený MATLAB program pro optimalizaci pólů a návrh regulátoru polynomiální metodou.

*Dosažené cíle:* V dané práci byla navržena optimalizační funkce finincom a popsány výsledky získané metodami optimalizace.

*Úroveň rozboru současného stavu:* Současný stav řešené problematiky je velmi dobře popsán v kapitole Úvod a Současný stav řešené problematiky, kde jsou uvedeny problémy, se kterými se setkáme při řešení problematiky .





*Teoretický přínos:* Práce je zaměřena převážně prakticky, teoretickým přínosem je návrh robustního řízení a zvolené metody zpracování pro optimalizaci pólů, dále jsou uvedena použitá kritéria robustnosti.

*Praktický přínos:* Jak bylo uvedeno v předchozím odstavci, práce je zaměřena převážně prakticky, je proveden návrh a realizace programu pro vytvoření robustního regulátoru včetně omezení akčního zásahu..

*Vhodnost použitých metod řešení a způsob aplikace použitých metod:* V uvedené práci jsou využity současné metody vytvoření programu na reálném modelu a rovněž simulace na vybraných přenosových soustavách.

*Prokázání odpovídajících znalostí v daném oboru:* Pan Ing. Jiří Marholt prokázal řešením ne právě snadného úkolu „Nestabilní systémy: robustní řízení s omezenou akční veličinou“ dobrou orientaci v dané oblasti.

*Formální úroveň práce:* Formální úroveň uvedené práce je na dobré úrovni, bez překlepů a grafy a obrázky jsou zpracovány rovněž na dobré úrovni.


V práci jsem nenašel závažnější chyby, graficky je dobře zpracována a pan Ing. Jiří Marholt prokázal vypracovat disertační práci na požadované úrovni.

Z uvedených důvodů

**doporučuji**

práci k obhajobě.

Liberec 26.8.2014

  
prof. Ing. Miroslav Olehla, CSc.  
Technická univerzita v Liberci  
Katedra aplikované kybernetiky  
461 17 LIBEREC 1