

Oponentní posudek disertační práce

Název disertační práce: Robustní řízení elektrických pohonů

Doktorand: Ing. Lukáš Pohl

Školitel: doc. Ing. Petr Blaha, Ph.D.

Studijní obor: Kybernetika, automatizace a měření

Oponent: prof. Ing. Roman Prokop, CSc., FAI UTB ve Zlíně, Nad Stráněmi 4511, 762 72 Zlín

1. Aktuálnost, téma, obsah a struktura práce

Předložená disertační práce se zabývá teoreticky i prakticky aktuální a náročnou problematikou, jakou je robustní řízení elektrických pohonů s využitím pojmů neurčitosti a teorie H_∞ , která využívá principy lineárních maticových nerovností (LMI). Autor prokázal hluboké znalosti nejen v oblasti teorie řízení, ale i v matematice, v teorii elektrických pohonů a programování. Formální úroveň práce je solidní, členění práce, matematická korektnost a srozumitelnost nemá výraznější nedostatky.

Práce je napsána v českém jazyce a má rozsah celkem 114 stran včetně několika stran referencí a příloh. Seznam použité literatury představuje 40 referencí, dále je uveden seznam 9 vlastních prací. Práce je rozdělena do 5 nestejně dlouhých částí, vlastní přínosy jsou obsahem části 4. Uveden je i seznam obrázků, symbolů a zkratk. Práce je napsána přehledně a pozorně, obsahuje 52 obrázků a fotografií s vysokou grafickou kulturou.

Část 1 je stručným úvodem do problematiky LMI, teorie H_∞ , L_2 , H_2 , zde jsou také formulovány cíle práce v 6 hlavních bodech. Kapitola 2 v rozsahu 15 stran je věnována modelování a řízení elektrických pohonů. Pozornost je věnována dvěma hlavním typům motorů, asynchronnímu a synchronnímu s permanentními magnety a jejich řízení na báze transformace souřadnic. Třetí kapitola se v rozsahu 23 stran zabývá teorií robustního řízení v obecném pojetí. Čtvrtá kapitola je obsáhlá, je rozdělena do 5 částí a na 44 stranách je uveden návrh různých algoritmů včetně implementace v prostředí dSpace ds 1103. V tomto směru možno konstatovat, že námět a cíle disertační práce jsou z pohledu současného stavu vědy aktuální a přínosné.

2. Použité metody řešení

Základní přístup doktoranda ke zpracování problematiky pokládám za racionální a správný. Formulované cíle práce v 6 bodech lze rozdělit do tří oblastí. V první řadě jde o identifikaci klíčových vlastností $d - q$ rovnic elektrických motorů, v druhé části jde o syntézu robustních H_∞ regulátorů se strukturou LPV (lineárně parametricky proměnná). Ve třetí oblasti se jedná o vytvoření testovací platformy a verifikace výsledků práce. Tyto tři hlavní oblasti jsou také obsahy kapitol 2, 3, 4.

Kapitola 2 uvádí modely střídavých pohonů, které jsou vesměs převzaty z citované literatury. Jsou vysvětleny Clarkova a Parkovy transformace souřadnic a jsou formulovány diferenciální napěťové rovnice pro synchronní a asynchronní motor. Část 2.2 se zabývá metodami řízení elektrických motorů. Popsána je přímá metoda DTC a vektorové řízení. Závěrem této části je stručně uvedena simulace. Popis simulace, modelové schéma i simulační experiment měl být analyzován mnohem podrobněji.

V kapitole 3 jsou uvedeny teoretické pojmy a nástroje robustního řízení jako normy, maticové nerovnosti (LMI), Schurův doplněk, ... Nutno poznamenat, že teoretická část 3.1 je zbytečně stručná, nepřesná, nejasná a nekompletní. Část 3.2 se zabývá stabilitou, strukturou a robustností zpětnovazebních obvodů. Pojmy a metodika jsou převzaty z monografií Zhou, 1996 a Skogestad a

Postlethwaite, 2005. Část 3.3 popisuje použití LMI v robustním řízení. Je zde velmi málo referencí na použitou literaturu a výklad je poněkud zmatený.

Klíčovou částí práce je kapitola 4, která se zabývá aplikací robustního řízení na asynchronní motor. Část 4.1 popisuje robustní LPV regulátor statorových proudů PMSM, část 4.2 se zabývá analogickým řízením otáček. Části 4.3 a 4.4 se zabývají regulací otáček a to kaskádními regulátory a část 4.5 popisuje implementaci algoritmů na platformě ds1103.

3. Původní přínosy disertační práce, splnění cílů disertační práce.

Za nejdůležitější a výsledky doktoranda lze považovat:

- ověření metod robustní regulace pro řízení synchronních a asynchronních elektrických motorů,
- vytvoření robustní syntézy H_∞ pomocí maticových nerovnic (LMI),
- kompaktní formulace a modely elektrických motorů,
- využití kaskádní regulační struktury s LPV
- implementace a ověření navržených algoritmů s využitím platformy ds1103.

Tyto výsledky představují významný teoretický i praktický přínos jak v oblasti aplikované teorie automatického řízení, tak i pro rozvoj oboru řízení elektrických pohonů. Konstatuji, že formulované cíle práce byly splněny.

4. Připomínky a dotazy k disertační práci

Disertační práce je napsána zřetelně, v některých částech zbytečně stručně. Překlepů je v práci relativně dost, např. UVOD na s. 13, chybějící čárka v 21^1 , Elektormagnetický v 29^3 , doplněk na s. 36, linárního v 41_7 , plitipickým parametrem v 69_2 , signulárních v 89^9 apod. Pozornost vzbuzují spíše podivné, atypické formulace a nejasnosti, např. s. 14¹ „Rozbor literatury“, „Clarkové transformace“ na s. 22, 29 (spíše Clarkovy), popis os na obr. 2.8 (i dále) – levá a pravá svislá osa mají jiné jednotky, „Nikolaj Tesla“ na s. 20₄, věta 21^1 není úplně srozumitelná.

Připomínky a podněty se týkají více filosofie, struktury a didaktiky práce. Na tomto poli lze podněty a připomínky shrnout do následujících bodů:

P1. Autor použil 40 referencí monografií, časopiseckých a konferenčních příspěvků. Část z nich je použita v kapitole 1, v části 2.1, 2.2, ale např. v 2.2.2 o vektorovém řízení není jediná reference. Podobně při teoretické části 3 by bylo vhodné častější odvolání se na zdroje.

P2. Některé pojmy nejsou definovány, ani popsány slovně. Jde např. o jádro lineárního zobrazení (s.38), Choleskyho odmocnina (dekompozice) pozitivní matice (s. 61).

P3. Jméno Ljapunov se ve světové literatuře vyskytuje jako Lyapunov. V textu jedné práce by se měl použít jednoznačný zápis, podle tradice v češtině Ljapunov.

P4. Většina rovnic a vztahů jsou v práci číslovány. Přesto jsou části, ve kterých číslování chybí a není zřetelné proč. Jedná se o text na s. 48-51, 55-56, 60-61.

P5. Na s. 37 by v nečíslovaných vztazích matice S měla být označena jako Q .

P6. Na s. 36-37 je popsán Schurův doplněk matice. Encyklopedická interpretace je však spjata s inverzí blokové matice, což zde uvedeno není.

P7. Na s. 79 pojmy bezpečný čas (dead-time) a přechodný děj by mohly být vysvětleny.

P8. Z pohledu přehledů metod a přístupů k robustního řízení postrádám monografie autorů Doyle, Francis, Tanenbaum; Sanchez-Pena; Boyd, Barrat; Yoanou, Sun;... ve smyslu monografické literatury. Někteří jsou uvedeni v časopiseckých referencích.

Dotazy:

- D1. Jaká je interpretace úhlu Φ ve vztahu (2.3)?
- D2. Existují i jiné způsoby řízení motorů kromě uvedených metod v části 2.2?
- D3. V části 2.2.2 je velmi stručně popsáno vektorové řízení, byla také provedena také simulace?
- D4. Dotazy k části 3.1.2: Vysvětlit význam Schurova doplňku a co znamená sloupcová dimenze matic P, Q v (3.7)?
- D5. Plyne z Ljapunovovy stability BIBO stabilita nebo opačně?
- D6. Jak je chápána žádaná veličina na obr. 3.1, jde o poruchu na vstupu?
- D7. Co znamená výraz „hledaná Ljapunovova funkce“ na s. 42⁹ a s. 47 ?
- D8. Jak se interpretuje podmínka (s. 47) „...aby blok neurčitostí byl stabilní a normalizovaný následujícím způsobem“ ?
- D9. Jak se získá vztah pro použití Choleskyho dekompozici (odmocnině) matice na s. 61?
- D10. Co jsou singulární hodnoty veličin S a T ?
- D11. Byla simulována i situace s další změnou otáček podle obr. 4.8?
- D12. Jak se interpretují průběhy podle obr. 4.22?

5. Publikace autora, výstupy disertační práce, doporučení.

Ve výpisu tvůrčích aktivit doktoranda je uvedeno 21 publikací v různých kategoriích (4 v A1, 2 v A2,...). Jedná se o publikace vesměs konferenční. V databázi Scopus má autor ke dni vypracování posudku 6 záznamů. Je škoda, že v práci se autor na vlastní publikace odvolává velmi zřídka. Aplikační příklady jsou promyšleny korektně a správně. Jazykově je práce na solidní úrovni. Zřetelněji by mohly být uvedeny vlastní přínosy práce. Práce si zasluhuje více časopiseckých publikací.

6. Závěr

Závěrem konstatuji, že disertační práce splňuje podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce v oblasti teorie automatického řízení. Předložená práce obsahuje původní a autorem disertační práce publikované výsledky (v souladu s § 47, odst. 4 zákona č. 111/98 Sb). Dále jsem našel dostatečný rozbor současného stavu, teoretický i praktický přínos, vhodný výběr metod i jejich implementace. Konstatuji, že stanovené cíle práce byly v plném rozsahu splněny. V souladu s § 47, odst. 4 zákona č. 111/98 Sb. **doporučuji** práci Ing. Lukáše Pohla k obhajobě.

Ve Zlíně 5.12.2014

prof. Ing. Roman Prokop, CSc.

