



# Posudek doktorské disertační práce

Autor: **Ing. Lukáš Pohl**

Téma: **Robustní řízení elektrických pohonů**

Oponent: Prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.

VŠB–Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroniky

17. listopadu 15, 708 33 Ostrava–Poruba

tel.: 597324477, fax: 596994050, e–mail: pavel.brandstetter@vsb.cz

Doktorská disertační práce Ing. Lukáše Pohla představuje svým řešením velice zajímavou úlohu z oblasti moderních způsobů řízení elektrických regulovaných pohonů s perspektivními typy elektrických motorů. Podle doporučení pro zpracování oponentských posudků doktorských disertačních prací předkládám následující hodnocení.

## 1. Aktuálnost zvoleného tématu

Elektrické pohony, jejichž hlavním cílem je systémové využití elektrických strojů pro elektromechanickou přeměnu energie a řízení této přeměny, jsou velice důležitým odvětvím elektrotechniky.

Neoddělitelnou součástí každého nového elektrického pohonu jsou moderní řídicí systémy. Vestavěné řídicí systémy využívají nejmodernější hardwarové a softwarové prostředky pro řízení v reálném čase. Nezbytnou součástí výzkumu a vývoje těchto řídicích systémů je i výzkum a vývoj nových metod řízení založených na nejnovějších vědeckých poznatcích. Téma doktorské disertační práce proto považuji za velice aktuální.

Řízení elektrických pohonů je nezbytnou součástí oboru Kybernetika, automatizace a měření, a proto námět doktorské disertační práce považuji za odpovídající oboru disertace.

## 2. Přínos doktorské disertační práce pro rozvoj vědního oboru

### a) Cíle disertace a jejich splnění

Ing. Lukáš Pohl si stanovil velice rozsáhlý úkol, jehož hlavním cílem byl návrh a realizace robustních regulátorů, které budou využívány v regulačních strukturách střídavých regulovaných pohonů se synchronními a asynchronními motory.

Hlavní cíl spojuje velice dobře propracované dílčí cíle, mezi které patří:

- ✚ Studium teorie robustního řízení.
- ✚ Syntéza robustních regulátorů pomocí lineárních maticových nerovností.
- ✚ Simulace zkoumaných problémů pomocí moderního softwarového produktu Matlab–Simulink.
- ✚ Praktická implementace robustních regulátorů pomocí na platformě dSPACE ds1103.
- ✚ Experimentální ověření algoritmů řízení v regulační struktuře s vektorovým řízením asynchronního motoru a synchronního motoru s permanentními magnety.

Pro ověření zkoumaných problémů doktorand realizoval experimentální pracoviště a provedl různá experimentální měření, která jsou velice zajímavá pro technickou praxi. Stanovený cíl byl jednoznačně splněn.

### b) Výsledky disertace, přínos pro vědní obor a technickou praxi

Přínosem disertační práce pro vědní obor jsou: nový přístup k  $\mathcal{H}_\infty$  řízení střídavých regulovaných pohonů, který spočívá ve využití parametrické závislosti rovnic motoru na jeho otáčkách, vytvoření programu pro syntézu regulátoru  $\mathcal{H}_\infty$  pomocí lineárních maticových nerovností (LMI), návrh lineárně parametricky proměnného regulátoru (LPV) pro proudové složky vektoru statorového proudu, simulační analýzy různých koncepcí robustních regulátorů.

Význam doktorské disertační práce pro technickou praxi spočívá ve využití poznatků z realizace a experimentálního ověření algoritmů řízení v regulační struktuře s vektorovým řízením asynchronního motoru a synchronního motoru s permanentními magnety.

### **3. Zpracování doktorské disertační práce**

#### *a) Zvolené metody zpracování*

Zvolené metody zpracování zahrnují popis současného stavu, teoretický rozbor řešeného problému, analýzu a syntézu robustních regulátorů. Na základě rozboru současného stavu řešené problematiky jsou navrženy nové algoritmy robustního řízení. Pro ověření správné činnosti navržených algoritmů robustního řízení byly provedeny simulace vektorového řízení asynchronního motoru a synchronního motoru s permanentními magnety v prostředí Matlab–Simulink s využitím LMI Toolboxu, dále pak realizace experimentálního pracoviště s funkčními prototypy a experimentální ověření zkoumaných problémů.

Elektrické regulované pohony s moderními způsoby řízení patří mezi složité technické systémy. Považuji proto využití numerických simulací uvedených struktur a metod řízení za nanejvýš opodstatněné. Simulace vycházejí z velmi dobrých znalostí řešeného problému, které doktorand získal při svém výzkumu na řešitelském pracovišti.

Zvolený postup prací Ing. Lukáše Pohla je logický a správný. Dosažené a prezentované výsledky potvrzují správnost zvoleného postupu.

#### *b) Jazyková, terminologická a grafická úroveň práce*

Doktorská disertační práce je logicky členěna a srozumitelně formulována. Textové a grafické zpracování má velmi dobrou úroveň. Obrázky, tabulky a schémata vhodně doprovázejí text. Určitou výhradu lze mít ke kapitolám popisujícím asynchronní motor a synchronní motor s permanentními magnety.

Celkové zpracování doktorské disertační práce velice dobře prezentuje velký objem prací, které musel doktorand vynaložit při výzkumu perspektivního a technicky náročného problému.

### **4. Přehled publikovaných prací**

Ing. Lukáš Pohl seznámil odbornou veřejnost s jádrem své doktorské disertační práce na tuzemských a zahraničních mezinárodních konferencích. Přehled jeho publikací podle metodiky RVVI zahrnuje 9 položek, ve kterých je uveden jako spoluautor. Další 4 publikace byly prezentovány na tuzemských workshopech a studentských konferencích. Velice si cením zejména publikací uvedených

v databázích Web of Science (3 publikace) a SCOPUS (8 publikací, 5 citací, H-index=1).

Celkový počet publikací splňuje požadavek na obvyklý počet publikací doktoranda. Mohu tedy konstatovat, že jádro doktorské disertační práce bylo na patřičné úrovni publikováno a publikační aktivita doktoranda je velmi dobrá.

## 5. Připomínky a dotazy k doktorské disertační práci

Dotazy a připomínky, které uvádím, nesnižují velice dobrou úroveň doktorské disertační práce. Jsou určeny k diskusi při vlastní obhajobě.

1. Anglický překlad názvu disertační práce není korektní.
2. Konstrukce vektoru statorového proudu z okamžitých hodnot statorových fázových proudů (obr. 2.1, str.19) a souvislost s rovnicí 2.2.
3. Co představuje "spřažený magnetický tok"  $\Psi_f$ ?
4. Nulové vektory při přímém řízení momentu jsou popsány stejným symbolem  $u_0$  (obr. 2.5, str.27).
5. Jaký vliv na výstupní napětí napěťového střídače bude mít přepínání jen aktivních vektoru napětí  $u_1$  až  $u_6$  (tab. 2.1, str.27)?
6. Jak se změní regulační struktura pohonu se synchronním motorem s permanentními magnety v případě, že budeme požadovat chod v oblasti nad jmenovitými otáčkami motoru?
7. Jakou hodnotu má ochranná doba (dead-time) výkonových prvků napěťového střídače?. Zvlnění proudových složek vektoru statorového proudu je způsobeno ochrannou dobou výkonových prvků napěťového střídače?
8. Jaké jsou další jmenovité parametry použitých střídavých motorů (výkon, otáčky, statorové napětí a proud, moment)?
9. Jaké jsou parametry připojené zátěže? Připojená zátěž způsobí statorový proud cca 30% maximálního proudu synchronního motoru (obr. 4.9, str.80 – reálný motor bez zátěže)?
10. Vysvětlete tvrzení "permanentní magnet použitého motoru byl vyroben ze směsi neodymu o velké síle magnetického pole". Co znamená "velká síla

magnetického pole"? Lze provádět odbuzování synchronního motoru s permanentními magnety ze strany statoru?

11. Napěťové rovnice asynchronního motoru v systému orientovaných souřadnic na vektor spřaženého rotorového toku a rovnice synchronního motoru s PM v systému rotorových souřadnic obsahují vzájemné vazby, jejichž zrušení se obvykle řeší přidáním napětí s opačnou polaritou k výstupům klasických PI-regulátorů složek vektoru statorového proudu. Byla prováděna experimentální měření také s tímto způsobem zrušení vazby a jejich porovnání s robustními LPV regulátory?
12. Čím je způsoben pokles proudové složky  $i_d$  do záporných hodnot (obr.4.18, str.90)?
13. Jaká je časová náročnost výpočtu algoritmu realizovaného robustního regulátoru v porovnání s klasickým PI regulátorem?

## 6. Závěr

Ing. Lukáš Pohl splnil stanovený cíl doktorské disertační práce. Tvořivý přínos této práce a její využití v praxi je dán body 1, 2, 3, uvedenými v posudku. Ze seznamu vědecké činnosti doktoranda vyplývá, že se jedná o pracovníka s vědeckou erudicí. Doktorand aplikoval moderní poznatky z teorie řízení v oblasti řízení střídavých elektrických pohonů.

Doktorská disertační práce Ing. Lukáše Pohla odpovídá obecně uznávaným požadavkům k udělení akademického titulu, a proto ji **doporučuji** k obhajobě před státní komisí pro obhajoby doktorských disertačních prací. Po úspěšné obhajobě doporučuji udělit Ing. Lukáši Pohlovi titul "Philosophiae Doctor", ve zkratce "Ph.D."

V Ostravě, dne 30. 11. 2014

