



Posudek doktorské disertační práce

Autor: Ing. David Uzel
Téma: Modelování, řízení a identifikace parametrů synchronních strojů s vyniklými póly
Oponent: Prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
VŠB–Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroniky
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava–Poruba
tel.: 596994477, fax: 596994050, e–mail: pavel.brandstetter@vsb.cz

Doktorská disertační práce Ing. Davida Uzla představuje svým řešením velice zajímavou úlohu z oblasti elektrických regulovaných pohonů se synchronními motory. Podle doporučení pro zpracování oponentských posudků doktorských disertačních prací předkládám následující hodnocení.

1. Aktuálnost zvoleného tématu

Synchronní stroje s vyniklými póly stály na počátku dynamického rozvoje střídavých regulovaných pohonů. V osmdesátých letech minulého století se ve světě poprvé objevují průmyslové aplikace střídavého pohonu se synchronním motorem napájeným z cyklokonvertoru, které splňují dynamicky náročné požadavky. Realizované pohony těžních strojů o výkonu 4,22 MW a 2,65 MW na dole "Neu Monopol" přinesly roční úsporu elektrické energie ve výši 1,8 mil. kWh ve srovnání s klasickým stejnosměrným pohonem.

V současné době nabývají na významu střídavé regulované pohony se synchronními motory, u nichž je budící vinutí nahrazeno permanentními magnety, které prošly významným materiálovým a konstrukčním vývojem.

Téma doktorské disertační práce je velice aktuální, neboť přispívá k řešení problematiky perspektivních elektrických regulovaných pohonů, mezi které patří střídavé regulované pohony se synchronními motory. Tyto pohony velkou měrou přispívají k velkým úsporám elektrické energie.

Úspory energie a zvyšování účinnosti její přeměny (Energy Efficiency and Savings) představují významnou oblast pro výzkumné projekty rámcových programů EU.

O aktuálnosti tématu svědčí rozsáhlý přehled domácí a zahraniční literatury, ze které doktorand čerpal a vytvořil kvalitní úvodní rešerši řešené problematiky.

2. Přínos doktorské disertační práce pro rozvoj vědního oboru

a) Cíle disertace a jejich splnění

Ing. David Uzel si stanovil velice náročný cíl týkající se modelování, řízení a identifikace parametrů synchronních strojů s vyniklými póly. Hlavní cíl disertační práce je naplněn spojením následujících dílčích cílů:

- ⤵ Analýza existujících matematických modelů synchronních strojů s vyniklými póly.
- ⤵ Identifikace parametrů vybraných matematických modelů synchronních strojů s vyniklými póly.
- ⤵ Návrh algoritmů optimálního řízení synchronních strojů s vyniklými póly.
- ⤵ Návrh algoritmů bezsensorové estimace polohy rotoru stroje včetně počáteční polohy.
- ⤵ Implementace řídicích algoritmů do řídicího systému s DSP.
- ⤵ Experimentální ověření algoritmů řízení na funkčních prototypch střídavých pohonů s různými typy synchronních strojů.

Pro ověření zkoumaných problémů doktorand provedl velké množství simulací pomocí moderních simulačních programů a experimentálních měření, která jsou zajímavá pro technickou praxi. Mohu konstatovat, že hlavní cíl disertační práce byl jednoznačně splněn.

b) Výsledky disertace a nové poznatky

Mezi nové vědecké poznatky patří především matematické modely synchronních strojů s vyniklými póly a jejich použitelnost pro danou aplikaci, návrh měřicích metod parametrů modelu stroje a jejich experimentální ověření, simulační modely synchronních strojů a regulačních struktur, implementace řídicích algoritmů do řídicího systému s konkrétním DSP, experimentální výsledky získané měřením na prototypch střídavých pohonů.

Význam doktorské disertační práce pro technickou praxi spočívá ve využití ucelené metodiky, kterou lze využít při projekčním návrhu a návrhu řízení dynamicky náročných pohonů se synchronními stroji s vyniklými póly.

3. Zpracování doktorské disertační práce

a) Zvolené metody zpracování

Doktorská disertační práce je členěna do 6 kapitol. Teoretickou část tvoří kapitoly 1 a 2. Praktickou část představují kapitoly 3 až 5. Kapitola 6 shrnuje důležité přínosy a výsledky práce, dále pak představuje nové směry řešené problematiky. Použitá literatura zahrnuje 37 titulů.

Zvolené metody zpracování zahrnují analýzu a teoretický rozbor řešené problematiky, experimentální měření parametrů synchronních strojů, návrh regulačních struktur, realizaci experimentálního pracoviště s funkčními prototypy střídavých pohonů se synchronními motory a experimentální ověření zkoumaných problémů.

Zvolený postup prací Ing. Davida Uzla je tvořen výzkumnou linií „teorie – simulace – experimentální ověření – aplikační možnosti“. Elektrické regulované pohony patří mezi složité technické systémy. Považuji proto využití numerických simulací uvedených struktur za nanejvýš opodstatněné. Simulace vycházejí ze znalostí řešeného problému, které doktorand získal při svém výzkumu na řešitelském pracovišti.

Interdisciplinární přístup a efektivní spojení teoretických a praktických znalostí z různých oblastí elektrotechniky a informačních technologií mohou vést k úspěšnému řešení náročného technického problému. Dosažené výsledky potvrzují správnost zvoleného přístupu.

b) Jazyková, terminologická a grafická úroveň práce

Celkovou úroveň zpracování disertační hodnotím kladně. Disertační práce je logicky členěna a srozumitelně formulována. Textové a grafické zpracování má velmi dobrou úroveň. Obrázky a schémata vhodně doprovázejí text. Obrázky získané experimentálním měřením mohly být uvedeny pro lepší čitelnost ve větším měřítku. Určitou výhradu lze mít k některým slovním spojeními, která

nejsou terminologicky správná (např. zajištění sinusovosti magnetického pole, nesinusové chování magnetického obvodu a další).

K vysoké úrovni práce přispívají rovněž přiložené fotografie z experimentálního pracoviště, které umožňují posoudit velký objem prací, které musel doktorand vynaložit při výzkumu perspektivního a technicky náročného problému.

4. Přehled publikovaných prací

Přehled publikací Ing. Davida Uzla zahrnuje 56 položek, ve kterých je uveden jako autor nebo spoluautor. Doktorand seznámil odbornou veřejnost s jádrem své doktorské disertační práce na domácích (8 titulů) a mezinárodních konferencích (11 titulů). K dnešnímu dni jsou na Web of Science uvedeny 4 tituly (3 citace bez autocitací, H-index=1), v databázi Scopus je uvedeno 8 titulů (3 citace bez autocitací, H-index=1).

Ing. David Uzel byl rovněž spoluřešitelem celé řady výzkumných projektů, které byly v posledních letech řešeny na školicím pracovišti (autor nebo spoluautor 21 výzkumných zpráv, 13 funkčních vzorků a 3 aplikační software).

Publikační aktivita doktoranda vysoce převyšuje obvyklý počet publikací doktorandů a je možné ji hodnotit jako vynikající. Mohu tedy konstatovat, že jádro doktorské disertační práce bylo na patřičné úrovni publikováno.

5. Dotazy k doktorské disertační práci

Dotazy, které uvádím, nesnižují vynikající úroveň doktorské disertační práce. Jsou určeny k diskusi při vlastní obhajobě.

- ⚡ K čemu slouží tlumicí vinutí u klasických synchronních strojů? Musí mít synchronní stroj tlumicí vinutí v případě vektorového řízení?
- ⚡ Vysvětlete řízení synchronního stroje s budícím vinutím s jednotkovým účíníkem.
- ⚡ Je možné použít pro vektorové řízení synchronního stroje s budícím vinutím jiný systém orientovaných souřadnic, např. systém souřadnic orientovaný na výsledný spřažený tok ve vzduchové mezeře?
- ⚡ Jaký je rozdíl mezi zátěžným úhlem β a úhlem β_u (obr. 2.9, str. 29)?

- ✚ Vysvětlete funkci bloku výpočtu napětí v regulačních strukturách obr. 4.2 (str. 51), obr. 4.5 (str. 53) a obr. 4.42 (str. 66). Souvisí jeho funkce s rovnicemi 2.32 (str. 28)?
- ✚ Vysvětlete bezsenzorovou estimaci počáteční polohy synchronního stroje s budícím vinutím (str. 73). Bylo by možné využít pro tuto estimaci indukovaná statorová napětí při nezkratovaném statorovém vinutí během přechodného děje při nabuzování stroje?

V práci jsem nenalezl žádné závažné nedostatky. Případné další dotazy položím po prezentaci výsledků disertační práce při vlastní obhajobě.

6. Závěr

Ing. David Uzel splnil stanovený cíl doktorské disertační práce. Tvořivý přínos této práce a její využití v praxi je dán body 1, 2, 3, 4 uvedenými v posudku. Doktorand vykonal velké množství realizační a experimentální práce.

Doktorskou disertační práci jednoznačně **doporučuji** k obhajobě před komisí pro obhajoby ve studijním oboru "Elektronika". Po úspěšné obhajobě této disertační práce doporučuji udělit Ing. Davidu Uzlovi akademický titul "doktor", ve zkratce "Ph.D."

V Ostravě, dne 16. 12. 2014



Oponentní posudek doktorské disertační práce

Autor: **Ing. David Uzel**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky
Fakulta elektrotechnická ZČU v Plzni
306 14 Plzeň, Univerzitní 8

Téma: **Modelování, řízení a identifikace parametrů synchronních strojů s vyniklými póly**

Oponent: **Prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.**

Katedra elektrických pohonů a trakce
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze
166 27 Praha 6, Technická 2
tel.: 224 352 147, fax: 233 339 972, e-mail: lettl@fel.cvut.cz

Doktorská disertační práce Ing. Davida Uzla se zabývá technicky zajímavou a v současnosti z praktického hlediska velice významnou problematikou specifických vlastností řízení a regulace pohonů synchronními motory s vyjádřenými póly, vytvářením a identifikací parametrů jejich matematických modelů, možnostmi bezsenzorového řízení. Pozornost je věnována klasickému synchronnímu motoru s vinutým rotorem (WRSM) a synchronnímu motoru s vnitřními permanentními magnety na rotoru (IPMSM).

1. Aktuálnost daného tématu

Téma disertační práce je vysoce aktuální a má praktický význam pro objasnění specifických problémů spojených s návrhem a realizací systému řízení a regulace některých náročných pohonů synchronními motory s vyjádřenými póly, jako je například synchronní motor s vnitřními permanentními magnety na rotoru a nalezení optimalizovaných trajektorií pracovních bodů takovýchto pohonů.

2. Stanovené cíle a jejich splnění

Písemná formulace stanovených cílů je uvedena přehledně v kapitole 1.2 na str. 17 disertační práce, přičemž je zde vytyčeno sedm konkrétních dílčích cílů. Stručně lze vytyčené cíle charakterizovat jako matematickou analýzu a návrh optimálních modelů pohonu synchronním motorem s vinutým rotorem a synchronním motorem s vnitřními permanentními magnety na rotoru, identifikaci parametrů matematických modelů, návrh optimalizovaných metod řízení a regulace včetně algoritmu bezsenzorové estimace polohy rotoru jak pro WRSM, tak pro IPMSM, stavbu laboratorního prototypu referenčního zařízení, implementaci navržených algoritmů a algoritmu Kalmanova filtru do mikroprocesorového regulátoru, verifikaci funkčnosti celého systému. Lze konstatovat, že ze 118 stránek textu tvoří cca 18 % nezbytné úvodní prohlášení, poděkování, abstrakt, klíčová slova, obsah, seznam použitých symbolů a zkratk, seznam literatury, seznam prací autora. Pouze cca 10 % práce má rešeršní či popisný charakter (úvodní kapitola 1 a přílohy 1, 2), zbytek je věnován matematickým modelům a metodám identifikace jejich parametrů (kapitoly 2 a 3), optimalizovanému řízení a regulaci i bezsenzorovému řízení (kapitoly 4 a 5) a závěrečnému shrnutí výsledků (kapitola 6). V této části představující cca 72 % textu, obsahující množství odvozených vztahů a průběhů veličin získaných jak simulací, tak měřeními na funkčním vzorku systému spatřují hlavní přínos práce. Zvolený přístup umožnil získat ucelený pohled na specifické oblasti

řízení a regulace synchronních motorů s vyjádřenými póly a provést podrobné zhodnocení problematiky i stanovit konkrétní praktická doporučení. Získané výsledky prokazují, že stanovené cíle byly splněny.

3. Zpracování doktorské disertační práce

a) Zvolené metody zpracování

Použité metody zpracování zahrnují vymezení základních pojmů a rešeršní popis současného stavu poznání v dané oblasti, sestavení matematického modelu synchronního motoru s vyniklými póly, nalezení měřicích metod pro určení parametrů matematického modelu, návrh optimalizovaného řízení z hlediska maximalizace momentu, návrh algoritmů pro bezsenzorovou identifikaci polohy rotoru a ověření funkčnosti navrženého systému simulací i měřením na funkčním vzorku pohonu. Odvozené vztahy a v práci doložené průběhy veličin i jejich v praxi využitelné vyhodnocení prokázaly oprávněnost zvolených postupů a použité metodiky.

Disertant by měl blíže uvést, vysvětlit či zhodnotit:

- co přesně a za jakých předpokladů znamená definice uvedená na str. 49: "Optimálním řízením je chápáno získání maximálního momentu stroje v celém otáčkovém rozsahu", co plyne z porovnání málo zřetelných průběhů dle obr. 4.12 a obr. 4.13 na str. 55, kolik procent jmenovitého momentu stroje představuje zmíněná hodnota 6 Nm;
- co přesně vyjadřují obr. 4.16 a obr. 4.17 na str. 57 při zmíněném uvažování lineární magnetizační charakteristiky, konstantního magnetického toku permanentních magnetů a konstantní maximální hodnoty statorového proudu, když vztah (4.2) na str. 56 odpovídá maximu momentu v závislosti na složce statorového proudu I_{sq} ;
- jaké hodnoty veličin charakterizují pracovní bod E2 v oblasti odbuzování (MTPF) dle obr. 4.19 na str. 59, jaká je či může být odpovídající hodnota zátěžného úhlu;
- způsob vytváření signálu skutečné hodnoty U_{m} v dolní části obr. 4.24 na str. 61;
- zda zvolená varianta nadřazené regulace dle obr. 4.41 na str. 66 pro vektorové řízení v kartézských souřadnicích, která využívá regulátor momentu, nepředstavuje přílišné zjednodušení oproti variantě dle obr. 4.24 na str. 61 nebo variantě dle obr. 4.40 na str. 65 se složitějšími optimalizačními funkcemi, viz kapitola 4.3.3;
- shrnutí nejvýznamnějších problémů, které se projevily při návrhu a verifikaci bezsenzorové estimace polohy rotoru synchronního motoru buzeného vnitřními permanentními magnety a dalších možností jejich řešení, viz kapitoly 5.4 a 5.5.

b) Systematičnost, přehlednost, jazyková, terminologická a grafická úroveň

Disertační práce má velmi dobrou formální úroveň. Kromě úvodních pasáží, seznamu použitých symbolů a zkratk, literatury, prací autora a dvou příloh je práce rozdělena do šesti kapitol, které jsou dále logicky členěny do dvou úrovní podkapitol. Jednotlivé části práce tak vytvářejí vhodnou návaznost řešených problémů a umožňují dobré seznámení s danou problematikou. Práce má přehlednou skladbu a ucelený charakter. Autor nezabíhá do zbytečných podrobností, vhodně cituje použitou literaturu. Ke srozumitelnosti práce přispívá zařazený seznam použitých symbolů a zkratk, vítané je rovněž doplnění kapitol o dílčí závěry. Pečlivý přístup k realizaci úkolu dokumentuje i celkově vysoká grafická úroveň zpracování práce. Připomínky lze mít jen k některým obrázkům s průběhy, které jsou malých rozměrů a čtenář se v nich obtížně orientuje. Některé chyby formální (např. na str. 86, 6. řádek shora: "...opatrné nadřazené řízení otáček..."), stylistické, gramatické (např. na str. 36, 3. řádek shora: "...data byly vyhodnoceny..." místo data byla vyhodnocena)

a překlepy (např. na str. 75, 6. řádek zdola: "...obrázky poukazují funkci..." pravděpodobně místo obrázky prokazují funkci) nemají závažný charakter ani nesnižují srozumitelnost formulací a jistě se jim bylo možno vyhnout pečlivější korekturou čistopisu.

4. Přínos disertační práce pro rozvoj vědního oboru

a) Výsledky disertace

Kvalitu doktorské disertační práce potvrzuje v práci doložený přehled odvozených matematických vztahů, navržených blokových schémat i průběhů veličin získaných jak simulací, tak měřeními na funkčním vzorku systému. Hlavní přínosy disertační práce lze spatřovat v odvození a sestavení vhodných matematických modelů zkoumaného systému, návrhu, implementaci a verifikaci způsobů identifikace parametrů modelu vyšetřovaných typů synchronních strojů, vytvoření a verifikaci regulačních algoritmů pohonu synchronním motorem s vinutým rotorem (WRSM) a synchronním motorem s vnitřními permanentními magnety na rotoru (IPMSM), stavbu experimentálních laboratorních prototypů pohonů včetně implementace navržených optimalizačních algoritmů řízení a regulace do signálového procesoru, jakož i návrh, simulaci, implementaci a experimentální ověření bezsensorových metod pro systémy s WRSM i s IPMSM. Zpracovaný ucelený náhled i získané průběhy veličin a odvozené závěry představují důležitý prostředek pro návrh a realizaci uvažované koncepce náročných regulovaných pohonů synchronními motory s vyjádřenými póly, přičemž lze z dosažených výsledků vycházet jak při projekčním návrhu, tak při návrhu řízení a regulace.

b) Přehled publikovaných prací

Seznam autorových prací na str. 109-113 disertační práce obsahuje celkem 56 prací, které zahrnují 11 příspěvků na významných zahraničních konferencích a 8 příspěvků na domácích konferencích, přičemž je Ing. David Uzel vždy prvním nebo jediným autorem. Podobně je tomu u dále uvedených 21 výzkumných zpráv a 13 funkčních vzorků. Doktorand se rovněž podílel na vytvoření 3 software. Publikační aktivitu považuji za dostatečnou, neboť celkový počet uvedených prací překračuje obvyklý počet prací doktorandů daného oboru v ČR a jistě tedy odpovídá v současné době požadovanému množství doktorandských publikací.

5. Závěr

Ing. David Uzel splnil stanovené cíle doktorské disertační práce. Disertace obsahuje původní vědecké poznatky vhodné pro praktické využití při řešení problematiky návrhu a realizace regulovaných pohonů synchronními motory s vyjádřenými póly včetně identifikace parametrů neznámého stroje a bezsensorové estimace počáteční polohy rotoru. Práce splňuje obecně uznávané požadavky na úroveň doktorských disertačních prací, formálně byla zpracována na vysoké úrovni a její základní části již byly v dostatečné míře publikovány. Doktorand prokázal schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce a dokázal, že se jedná o pracovníka se značnou vědeckou erudicí. Z výše uvedených důvodů doktorskou disertační práci

d o p o r u č u j i k o b h a j o b ě .

V Praze dne 5. ledna 2015



Prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.

Oponentní posudek na disertační práci Ing. Davida Uzla na téma Modelování, řízení a identifikace parametrů synchronních strojů s vyniklými póly

1. Význam disertační práce pro obor

Předložená práce je zaměřena na specifickou oblast identifikace a regulace synchronních strojů s magnetickými nesymetriemi na rotoru. Tato problematika je zpracována velmi komplexně jak po stránce konstrukce stroje – pozornost je věnována strojům s budícím vinutím i strojům s permanentními magnety, tak po stránce problémů, které řeší – struktura matematických modelů, identifikace parametrů, optimalizace řízení z hlediska dosažení maximálního momentu, možnosti bezsenzorového vyhodnocování úhlového natočení rotoru. V práci se vyskytují odkazy na literární zdroje, které dokládají, že autor řešil předmětnou problematiku v kontextu s vývojem poznání ve studované oblasti a doplnil dosavadní poznatky o výsledky své výzkumné práce. Práci tímto považují za kvalitní a komplexní příspěvek, který pro synchronní stroje s magnetickou nesymetrií rotoru mapuje zejména možnosti využití specifických vlastností spojených s existencí reluktančního momentu pro zvýšení celkového momentu stroje a vlastností spojených se specifiky magnetické nesymetrie pro bezsenzorové určení polohy rotoru. Je zřejmé, že pro maximalizaci efektů metod prezentovaných v práci by bylo vhodné optimalizovat i konstrukci elektrického stroje.

2. Postup řešení problému, použité metody a splnění cílů práce

Přístup disertanta k řešení dané problematiky je komplexní. V první části práce je proveden rozbor přístupů ke konstrukci a řešení matematického modelu synchronního stroje – je zpracována problematika matematického modelu v třífázové soustavě a v transformované souřadnicové soustavě d, q , přičemž je provedeno srovnání vlastností obou forem modelu. Ve druhé části je věnována pozornost několika metodám určování indukčnosti statorového vinutí a to jak ve stojícím stavu, tak i při otáčejícím se rotoru, při sinusovém i pulsním napájení. V další části jsou rozpracovány metody pro optimální řízení motoru z hlediska dosažení maximálního momentu. Tato problematika je zpracována jak pro motor s budícím vinutím, tak pro motor s permanentními magnety. Závěrečná část práce studuje možnosti bezsenzorového vyhodnocování polohy rotoru několika metodami (určení vycházející z analogie resolveru, fázový závěs, Kalmanův filtr) orientovanými na stroje s magnetickou nesymetrií rotoru a to jak pro stroje s budícím vinutím, tak pro stroje s permanentními magnety. Disertant studuje veškerá témata jak na úrovni teoretické, tak na úrovni simulačních modelů a na úrovni implementační a experimentální. Cíle práce pokrývají široce problematiku řízení specifikovaných strojů a vzhledem k hloubce zpracování jednotlivých témat považují splnění cílů za nadprůměrné.

3. Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnosti řešení

V práci prezentované výsledky představují původní řešení, zejména v oblasti optimalizace řízení pro dosažení maximálního momentu a v oblasti bezsenzorového vyhodnocování. Z výsledků práce je zřejmé, že synchronní stroje s magnetickou nesymetrií rotoru představují řešení, které ve spojení se sofistikovaným řízením nabízí nové možnosti zlepšení vlastností pohonu. Metod optimalizace řízení momentu, zejména na úrovni simulačních modelů, by bylo vhodné využít i jako podporu ke specifikaci parametrů při vývoji motoru, protože na základě výsledků práce se ukazuje, že maximalizace efektu optimálního řízení je závislá nejen na provedení tohoto řízení, ale i na parametrech elektrického stroje.

4. Formální úprava a jazyková úroveň disertační práce

Po formální stránce je práce zpracována přehledně a pečlivě. Práce má logické uspořádání a dává dobrý přehled o zpracovávané problematice, o rozsahu provedených činností a splnění cílů. Velmi dobrou úroveň mají obrázky a veškeré grafické části práce. V práci se vyskytují občasné překlepy a drobné jazykové chyby, zejména pokud se jedná o shodu podmětu s přísudkem, nicméně po formální stránce lze práci hodnotit jako nadprůměrnou.

5. Publikační činnost disertanta

V disertační práci je uveden seznam publikací autora, kde je 11 příspěvků na mezinárodních konferencích a 8 příspěvků na domácích konferencích. Většina publikací je vytvořena autorským kolektivem, u pěti publikací je Ing. Uzel jediným autorem. Publikace se vztahují k tématu disertační práce a většinu jich disertant publikoval se svým školitelem. Publikační činnost disertanta považuji za velmi dobrou.

K práci mám následující připomínky resp. dotazy:

1. V úvodu kapitoly o matematických modelech by bylo vhodné rekapitulovat zjednodušující předpoklady.
2. I když v celé práci lze alespoň z kontextu vysledovat význam symbolů, na některých místech by bylo vhodné uvést exaktně jejich vysvětlení (např. symbol $L_{s\sigma}$ na str. 21).
3. Na str. 49 dole je věta: „Simulace dále byla provedena pro sinusové napájení motoru, konstantní napětí meziobvodu...“ – jaké simulační modely motoru a za jakých podmínek jste používal při simulacích optimálního řízení?
4. Jaký předpokládáte vliv optimálního řízení na celkovou účinnost pohonu?

Předloženou disertační práci považuji za kvalitní a **doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení doporučuji udělení titulu Ph.D.**

V Pardubicích dne 16.12. 2014


prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.