



Posudek doktorské disertační práce

Autor: Ing. David Vošmik

Téma: Pokročilé techniky estimace polohy a rychlosti rotoru a jejich aplikace na bezsenzorové řízení pohonu s PMSM

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 Vošmika představuje svým řešením ucelenou úlohu z oblasti elektrických regulovaných pohonů s moderními způsoby řízení, které jsou předmětem vědeckého bádání na mnoha výzkumných pracovištích nejen v tuzemsku, ale také v zahraničí. Podle doporučení pro zpracování oponentských posudků doktorských disertačních prací předkládám následující hodnocení.

1. Aktuálnost zvoleného tématu

V současné době jsou požadavky na průmyslovou výrobu charakterizovány vysokou intenzifikací, minimální spotřebou a optimalizací technologických procesů, čehož lze dosáhnout dokonalejším výrobním zařízením, jeho úspornějším provozováním a dokonalejším řízením. Úspory energie a zvyšování účinnosti její přeměny (Energy Efficiency and Savings) představují významnou oblast pro výzkumné projekty rámcových programů EU.

Moderní trendy řízení střídavých regulovaných pohonů zahrnují aplikace adaptivních a robustních algoritmů, automatickou identifikaci parametrů regulovaných soustav a aplikaci bezsenzorových metod řízení vhodných nejen pro střední a vysoké otáčky, ale také pro velmi nízké otáčky střídavých motorů.

Téma doktorské disertační práce je velice aktuální, neboť přispívá k řešení problematiky moderních elektrických regulovaných pohonů, mezi které mimo jiné patří střídavé regulované pohony se synchronními motory s permanentními



magnety (SMPM). Aplikace moderních signálových procesorů v řízení elektrických pohonů jsou velmi perspektivní a vedou ke zlepšení jejich technicko-ekonomických parametrů.

O aktuálnosti tématu svědčí rozsáhlý přehled domácí a zahraniční literatury, který je uveden v závěru práce.

2. Přínos doktorské disertační práce pro rozvoj vědního oboru

a) Cíle disertace a jejich splnění

Bezsensorné metody vyhodnocení polohy rotoru SMPM lze rozdělit do třech základních skupin: a) metody založené na různých matematických modelech, které využívají pro stanovení polohy rotoru, resp. mechanické úhlové rychlosti, měřitelné nebo rekonstruovatelné stavové veličiny; b) metody založené na odezvě na vnější injektovaný signál; c) hybridní metody, které přepínají oba předchozí přístupy. V doktorské disertační práci jsou analyzovány některé metody uvedených skupin. Podrobně je analyzována metoda s využitím rozšířeného Kalmanova filtru (Extended Kalman Filter – EKF), který umožňuje stanovit složky vektoru statorového proudu, elektrickou rotorovou úhlovou rychlost, polohu vektoru magnetického toku permanentních magnetů (PM) a zátěžný moment. Pro oblast velmi nízkých otáček je zkoumána metoda injekce pomocného napěťového signálu do statorového vinutí, jehož proudovou odezvu lze využít pro estimaci polohy rotoru a rotorové rychlosti. V závěru práce jsou uvedeny 2 typy hybridních estimátorů, které využívají výše uvedené typy estimátorů a ve vhodném okamžiku řídí přepnutí na vhodný typ estimátoru pro danou oblast rotorové úhlové rychlosti.

Ing. David Vošmik si stanovil velice rozsáhlý úkol, který zahrnuje analýzu a následný vývoj řídicích algoritmů bezsensorného elektrického regulovaného pohonu s SMPM, návrh funkčního prototypu střídavého pohonu s SMPM včetně řídicího systému s moderním signálovým procesorem a aplikačním softwarem.

Splnění takového náročného cíle vyžadovalo prostudování velkého objemu odborné literatury a rovněž praktické zkušenosti z oblasti řídicí techniky, výkonové elektroniky, elektrických pohonů a informatiky. Ing. David Vošmik realizoval funkční prototyp střídavého pohonu v laboratoři řešitelského

pracoviště a provedl na něm různá experimentální měření, která jsou velice zajímavá pro technickou praxi. Stanovený cíl byl jednoznačně splněn.

b) Výsledky disertace a nové poznatky

Mezi nové vědecké poznatky patří především teoretická analýza a realizace uvedených metod bezsensorového řízení SMPM včetně experimentální ověření vlastností jednotlivých estimátorů. Dále pak návrh a odladění programového vybavení pro bezsensorové řízení SMPM, aplikace konkrétního typu signálového procesoru v řídicím systému střídavého pohonu a vytvoření aplikačního software.

Velice kladně hodnotím rovněž zpracování teoretických částí, ze kterých zkoumané metody vycházejí. Hybridní estimátor s bayesovským výběrem optimálního modelu estimace považuji za excelentní řešení, které je velkým přínosem pro bezsensorové řízení elektrických pohonů.

Kvalitu doktorské disertační práce potvrzují experimentální výsledky získané měření na realizovaném funkčním prototypu střídavého regulovaného pohonu s SMPM.

Význam doktorské disertační práce pro technickou praxi spočívá ve využití poznatků z realizace funkčního prototypu střídavého pohonu a experimentálního ověření navržených metod při řízení pohonu s SMPM.

3. Zpracování doktorské disertační práce

a) Zvolené metody zpracování

Zvolené metody zpracování zahrnují analýzu a teoretický rozbor zkoumaných estimátorů, struktur a řízení estimátorů, realizaci experimentálního pracoviště s funkčním prototypem a experimentální ověření zkoumaných problémů.

Ve zvoleném postupu prací Ing. Davida Vošmika lze identifikovat používanou výzkumnou linii „teorie – aplikační možnosti – experimentální ověření“. Tento postup považuji za logický a správný. Řešená problematika vyžaduje interdisciplinární přístup, který zahrnuje efektivní spojení teoretických a praktických znalostí z různých oblastí elektrotechniky a informačních technologií. Dosažené výsledky potvrzují správnost zvoleného přístupu.

b) Jazyková, terminologická a grafická úroveň práce

Celkovou úroveň zpracování disertační, která působí vyváženým dojmem mezi teoretickou, experimentální a realizační částí, hodnotím velice 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.

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 Vošmika zahrnuje 35 položek, ve kterých je uveden jako autor nebo spoluautor. Ing. David Vošmik seznámil odbornou veřejnost s jádrem své doktorské disertační práce na domácích (8 titulů) a mezinárodních konferencích (9 titulů). K dnešnímu dni jsou na Web of Science uvedeny 4 tituly (1 citace), v databázi Scopus je uvedeno 7 titulů (3 citace).

Ing. David Vošmik byl rovněž spoluřešitelem celé řady výzkumných projektů, které byly v posledních letech řešeny na školícím pracovišti (autor nebo spoluautor 6 výzkumných zpráv a 12 funkčních vzorků).

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.

- Obecně lze říci, že neexistuje jednoznačný způsob pro ladění a nastavování parametrů Kalmanova filtru. Jaký způsob ladění, který by vedl co nejrychleji ke kvalitnímu výsledku, byste doporučil? Bylo by možné využít také optimalizačních algoritmů s využitím soft computingových metod?

- ✦ Může nějakým způsobem ovlivnit chování elektrického pohonu s SMPM injekce napěťového signálu? Jaké parametry by měl mít injektovaný napěťový signál (frekvence, amplituda)?
- ✦ Stanovení správné polaroty a polohy vektoru magnetického toku PM je rozhodující pro vektorové řízení SMPM. Jaká je maximálně přípustná chyba úhlu a jaká chyba vzniká v okamžiku přepínání modelů estimace v hybridním estimátoru?

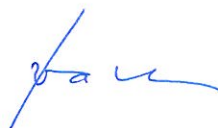
V práci jsem nenalezl žádné závažné nedostatky. Případné další dotazy položím po prezentaci výsledků disertační práce při vlastní obhajobě.

6. Závěr

Ing. David Vošmik 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 Vošmikovi akademický titul "doktor", ve zkratce "Ph.D."

V Ostravě, dne 25. 10. 2013



Oponentský posudek disertační práce

Autor: **Ing. David Vošmik**

Název práce: **Pokročilé techniky estimace polohy a rychlosti rotoru a jejich aplikace na bezsenzorové řízení pohonu s PMSM**

Oponent: **Ing. Jiří Cibulka, Ph.D.**

Škoda Electric, a.s.

Tylova 1/57, 301 28 Plzeň

Tel.: +420 378 181 231, Fax: +420 378 181 092, Email: jiri.cibulka@skoda.cz

Tento oponentní posudek hodnotí disertační práci Ing. Davida Vošmika z následujících hledisek:

1) Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Disertační práce se zabývá problematikou návrhu bezsenzorového řízení pohonu se synchronním motorem s permanentními magnety na povrchu rotoru, jenž dokáže pracovat v celém regulačním rozsahu. Je zřejmé, že se předkládaná práce zabývá velmi aktuálním tématem, neboť palčivý problém, který brání úspěšnému nasazování všech dosud známých algoritmů bezsenzorového řízení v trakčních aplikacích, spočívá zejména v nutnosti spolehlivé funkce tohoto řízení v celém rozsahu otáček. Tato řízení se v poslední době stávají stále diskutovanějším tématem nejen v oblasti průmyslových pohonů, ale i pohonů trakčních. Děje se tak zejména díky rostoucímu výpočetnímu výkonu mikrokontrolérů, který umožňuje implementaci sofistikovaných a velmi náročných algoritmů bezsenzorových řízení. V oblasti průmyslových pohonů malých a středních výkonů se jedná spíše o snahu celou aplikaci zlevnit, zatímco v trakčních aplikacích jde především o zvýšení spolehlivosti celého zařízení, neboť porucha absolutního čidla polohy představuje velmi častou závadu způsobující částečnou nebo úplnou nefunkčnost daného vozidla.

2) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Cílem posuzované disertační práce bylo jednak postavit referenční model pohonu se synchronním motorem s permanentními magnety v podobě vektorového řízení s čidlem polohy na rotoru a jednak navrhnout bezsenzorový algoritmus založený jak na rozšířeném Kalmanově filtru, tak na injektovaném testovacím napěťovém signálu využívající magnetickou anizotropii stroje. V neposlední řadě si předkládaná práce kladla za jeden ze svých cílů i nalezení limitů použitelnosti u výše uvedených algoritmů a navržení hybridního algoritmu, jehož účelem bude dosáhnout maximální přesnosti v odhadu polohy rotoru a zajistit uspokojivé dynamické vlastnosti pohonu v celém otáčkovém rozsahu.

Pro splnění výše uvedených cílů bylo nutné nejen navrhnout algoritmy bezsenzorového řízení a sestavit laboratorní model pohonu se synchronním motorem s permanentními magnety, ale také implementovat tyto algoritmy do mikroprocesorového regulátoru a provést jejich experimentální ověření na vybraných přechodových jevech. Zvolený postup Ing. Davida Vošmika považuji za logický a správný. Podle mého názoru použil velmi originální způsob řešení problému založený na sofistikovaném matematickém aparátu a úspěšně splnil definované cíle práce.

3) Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce

Hlavní přínos předkládané disertační práce spatřuji především v návrhu hybridního algoritmu založeného na bayesovském výběru optimálního estimátoru polohy rotoru a v následném ověření jeho funkce na laboratorním prototypu pohonu o jmenovitém výkonu 10,7 kW. Funkčnost navržených algoritmů bezsensorového řízení je dokládána především experimentálními výsledky, které tvoří hlavní jádro této práce. Autor musel při řešení tohoto úkolu prokázat nejen teoretické, ale i programátorské znalosti a praktické dovednosti. Posuzovaná práce představuje vhodný základ pro navazující vědecko-výzkumnou činnost autora pracoviště a je nesporným přínosem i z hlediska výuky na KEV ZČU v Plzni. Funkční laboratorní prototypy pohonu dávají předpoklad pro úspěšné aplikování dosažených poznatků v praxi.

4) Vyjádření k systematické, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

První kapitola shrnuje současný stav poznání popisované problematiky a cituje hlavní literární prameny zabývající se tímto tématem. Dále jsou zde uvedeny cíle předkládané disertační práce. Druhá kapitola se zaměřuje na vektorové řízení s čidlem polohy na rotoru, které slouží jako reference při porovnávání experimentálních výsledků u jednotlivých způsobů bezsensorového řízení. Ve třetí kapitole jsou jednak publikovány navržené stavové modely synchronního motoru s permanentními magnety využitelné pro rozšířený Kalmanův filtr a jednak je zde popsána anizotropie magnetického obvodu stroje, která slouží jako teoretický základ pro návrh estimátoru s pulsujícím injektážním algoritmem. Čtvrtá kapitola se věnuje bezsensorovému řízení založenému na rozšířeném Kalmanově filtru. U navrženého řízení je zejména zkoumána přesnost estimace polohy rotoru a rozsah použitelnosti algoritmu s ohledem na rychlost otáčení motoru. Vše je dokladováno řadou měření na laboratorním prototypu pohonu o výkonu 10,7 kW. Pátá kapitola popisuje algoritmus pro identifikaci polohy rotoru, jenž je založen na injektování testovacího napětíového signálu do statorového vinutí. Je zde uveden princip injektážních metod, zmíněna omezení v použitelnosti této metody a popsána problematika startu algoritmu včetně způsobu, jak lze nalézt při nulové rychlosti správnou polaritu permanentních magnetů. Šestá kapitola se věnuje návrhu hybridního estimátoru polohy, který kombinuje silné stránky rozšířeného Kalmanova filtru s přednostmi injektážní metody, čím vzniká algoritmus, který je schopný pracovat v celém otáčkovém rozsahu stroje. Kombinace těchto dvou estimátorů je prováděna buď prostřednictvím hysterezního přepínání v pevných okamžicích otáčkového spektra, nebo na základě bayesovského výběru optimálního modelu, který vyhodnocuje apriorní pravděpodobnosti jednotlivých estimátorů v čase. Je zde řešena i problematika související u injektážní metody se špatným odhadem polarity magnetického toku permanentních magnetů. Sedmá kapitola shrnuje důležité závěry předkládané práce, formuluje její hlavní přínosy a nastiňuje perspektivní směry dalšího zkoumání.

Z formálního hlediska konstatuji, že je práce zpracována pečlivě, jazyková i grafická úroveň práce je velmi dobrá a odpovídá standardům pro psaní odborných textů.

5) Hodnocení publikační činnosti autora disertační práce

Přehled publikační činnosti Ing. Davida Vošmika obsahuje 17 původních autorských a spoluautorských publikací, jedná se především o příspěvky na zahraničních a domácích konferencích. Dále se autor podílel na vytvoření šesti výzkumných zpráv. Výsledky disertační práce byly dle mého názoru publikovány dostatečně, odborná veřejnost byla seznámena s jádrem disertační práce.

Závěr

Ing. David Vošmik podle mého názoru splnil stanovené cíle disertační práce a prokázal schopnost nejen řešit složité elektrotechnické problémy, ale i zvládnout náročné teoretické a experimentální metody.

Na základě posouzení disertační práce pana Ing. Davida Vošmika na téma „Pokročilé techniky estimace polohy a rychlosti rotoru a jejich aplikace na bezsenzorové řízení pohonu s PMSM“ a po seznámení se s výsledky jeho odborné práce **doporučuji ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách disertační práci k obhajobě**. Po úspěšné obhajobě této disertační práce doporučuji udělit panu Ing. Davidovi Vošmikovi akademický titul „doktor“, ve zkratce „Ph.D.“.

V Plzni dne 7. listopadu 2013

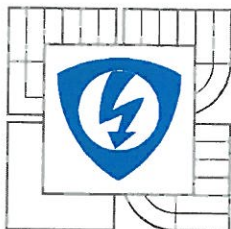


Ing. Jiří Cibulka, Ph.D.

Dotazy a připomínky k posuzované disertační práci

Níže uvedené připomínky a dotazy nijak nesnižují odbornou úroveň disertační práce. Jsou převážně určeny k diskusi při obhajobě práce:

- 1) Abychom matematickými úpravami vyjádřili rovnici (3.2.10) ve tvaru (3.2.13) je nutné ji dle mého názoru vynásobit členem „ $e^{j\theta_{inj}}$ “, nikoliv členem „ $e^{j\theta_e}$ “, jak je uvedeno na str. 25.
Na str. 46 v druhé větě se domnívám, že je napsána nepřesná formulace, neboť indukčností v daném směru není ovlivněna maximální velikost proudové špičky, jak se zde uvádí, nýbrž strmost nárůstu tohoto proudu.
- 2) Rád bych se zeptal, proč se u bezsenzorového řízení založeného na EKF nerespektoval vliv mrtvých časů a úbytků na polovodičových prvcích, mohlo tím dojít k rozšíření rozsahu použitelnosti této metody s ohledem na rychlost otáčení motoru?
Dále bych se chtěl zeptat, jaká byla vytíženost procesoru TMS320F2812 při realizaci bezsenzorového řízení pomocí EKF se stavovým prostorem 4. a 5. řádu?
- 3) U pulzující injekeční metody jsem v předkládané práci v 5. kapitole nenalezl žádný oscilogram přechodového děje, který by zachycoval chování této metody pro uzavřenou smyčku. Chtěl bych se tedy zeptat, zda autor disponuje nějakým záznamem, kde by byl výstup z tohoto estimátoru přímo použit pro regulaci?
Zajímalo by mne také, jaký nejmenší poměr mezi frekvencí injekečního signálu a frekvencí použité PWM považuje autor práce ještě za únosný z pohledu správné funkce injekeční metody?



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY
Technická 12, 616 00 Brno

Oponentský posudek disertační práce

Název: ***Pokročilé techniky estimace polohy a rychlosti rotoru a jejich aplikace na bezsnímačové řízení pohonu s PMSM***

Autor: ***Ing. David Vošmik***

Školitel: ***Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.***

Oponent: ***Doc. Ing. Pavel Václavek, Ph.D.***

Ústav automatizace a měřicí techniky

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Vysoké učení technické v Brně

Technická 12, 616 00 Brno

Tel 541 146 413 e-mail vaclavek@feec.vutbr.cz

Oponovaná disertační práce se zabývá problematikou algoritmů odhadu rychlosti a polohy rotoru synchronních motorů s permanentními magnety. Bezsnímačové řízení pohonů, pro které je návrh kvalitního estimátoru mechanických veličin klíčovou částí, nabývá stále většího významu v řadě reálných aplikací z důvodu snížení výrobních nákladů pohonu a zvýšení jeho spolehlivosti. Z tohoto pohledu považuji téma práce za aktuální a přínosné jak pro teorii, tak i praxi.

Pomineme-li členění práce na kapitoly, lze v ní spatřovat tři logické celky. První část se věnuje popisu vektorového řízení a modelování synchronního motoru s permanentními magnety. Doktorand zde uvádí v kapitolách 3.1.1.1 a 3.1.1.2 dva modely synchronního motoru, kdy v prvním případě jsou uvažovány pomalu se měnící otáčky, ve druhém případě pak pomalu se měnící zátěžný moment. Striktně vzato není terminologie, kdy se o vytvořených modelech mluví jako o modelu PMSM, správná. Zatímco v případě pomalu se měnících otáček by bylo vhodnější jak otáčky, tak i polohu chápat jako proměnný parametr a nezahrnovat je do stavu systému, u modelu v kapitole 3.1.1.2 by měl být zátěžný moment chápán jako vstupní veličina – porucha (a opět ne jako stavová proměnná), která je následně vyhodnocována pozorovatelem poruchy. Modely v kapitolách 3.1.1.1 a 3.1.1.2 tak nejsou modelem PMSM, ale spíše již klasickým způsobem prvního kroku implementace stavového pozorovatele, který má odhadovat měnící se parametr (rychlost) nebo poruchu (zátěžný moment).

Druhá část se orientuje na popis a ověření algoritmů odhadu mechanických veličin založených na EKF i injektování pomocného signálu. Doktorand uvádí, že EKF selhává v případě otáček blízkých nule z důvodu ztráty pozorovatelnosti systému a to i v případě IPMSM. Tento závěr není zcela přesný, lze ukázat, že v případě IPMSM lze zajistit pozorovatelnost stavu i v případě nulových otáček, pokud je injektováním přídavného

signálu vyvolán proměnný statorový proud. Je však pravdou, že se i v takovém případě jedná jen o lokální pozorovatelnost stavu, která umožní použití EKF pro sledování polohy ve velmi nízkých otáčkách, neumožňuje však detekci počáteční polohy z důvodu nejednoznačné polaroty. Zajímavý je výsledek, kdy EKF s odhadem zátěžného momentu nedává lepší výsledky, než bez odhadu momentu, důvodem může být nepřesnost ve znalosti momentu setrvačnosti, jak správně uvádí doktorand v práci.

Poslední část práce je věnována algoritmům přechodu mezi algoritmy vhodnými pro oblast nízkých a vysokých otáček. Tato část představuje patrně jádro vlastní práce doktoranda. Výsledky testování ukazují, že navržené algoritmy přepínání estimatorů jsou funkční. Je třeba ocenit především schopnosti implementace a praktického ověření poměrně komplikovaných algoritmů.

Během obhajoby by měl doktorand vyjasnit zejména následující oblasti:

- Byla provedena analýza pozorovatelnosti PMSM v oblasti nízkých otáček?
- Lze s modely z kapitoly 3.1.1.1 a 3.1.1.2 dosáhnout lokálního odhadu polohy pomocí EKF i v případě otáček blízkým nule?
- Bylo provedeno ověření chování EKF s odhadem momentu a bez odhadu momentu při uzavření zpětné vazby od estimovaných veličin při konstantních otáčkách a proměnném momentu? Pokud ano, tak s jakými výsledky?
- Byla posouzena výpočetní náročnost algoritmu EKF i ostatních algoritmů? Jaký čas je potřebný k jejich výpočtu na použitém procesoru?

Předložená disertační práce dokumentuje, že cílů stanovených pro dané téma bylo dosaženo. Práce obsahuje i jádro, které je výsledkem vlastní činnosti doktoranda. Po stránce obsahové i formální práce splňuje požadavky na disertační práci. Vytknout lze snad jen poměrně graficky nepřehlednou prezentaci průběhů měřených a estimovaných veličin, kdy lze jen velmi obtížně identifikovat jednotlivé průběhy a jejich hodnoty na osách grafů.

Výsledky práce doktoranda byly dostatečně publikovány na národní i mezinárodní úrovni, je snad jen škoda, že doktorand nedosáhl významnější časopisecké publikace.

Závěrem konstatuji, že předložená disertační práce svědčí o schopnostech studenta řešit komplikované úlohy v oblasti výzkumu a vývoje a přenášet dosažené výsledky k praktickému využití. Disertační práci proto **doporučuji k obhajobě**.

V Brně 1. listopadu 2013



Doc. Ing. Pavel Václavek, Ph.D.