

Oponentský posudek dizertační práce

Téma dizertační práce:	Dynamické chování konstrukčních částí elektrických strojů
Doktorand:	Ing. Jan Šobra
Studijní obor:	Elektrotechnika
Školitel:	doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.
Konzultant specialista:	Ing. Miroslav Byrtus, Ph.D.
Konzultant specialista:	doc. Ing. Vladimír Kindl, Ph.D.
Oponent:	doc. Ing. Karel Hruška, Ph.D.

Zhodnocení významu dizertační práce pro obor

Předkládaná dizertační práce se zabývá problematikou dynamického chování konstrukčních částí elektrických strojů, tj. problematikou mechanické odezvy mechanických součástí elektrického stroje na kmitání vybuzené elektromagnetickou interakcí statoru a rotoru. Autor se v práci zaměřuje na vyhodnocení mechanické odezvy asynchronních motorů, nicméně nastíněná metodika je obecně přenositelná na libovolný typ stroje. Asynchronní stroj je zde použit víceméně pro demonstraci vyvinutých postupů v kontextu v současné době kvalitně zpracovaného matematického popisu tohoto stroje z hlediska složení harmonických ve vzduchové mezeře stroje.

Největším přínosem této práce je tak její multioborovost – řešení problematiky magnetického pole v elektrickém stroji a stanovení důsledků jeho kvality na mechanické části elektrického stroje – výchylku, rychlost a zrychlení, kterými jsou namáhány.

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

Z hlediska řešení problému práce působí poněkud nekonzistentně. V zásadě je rozdělena do dvou hlavních částí – řešení problémů stroje vykazujícího statickou excentricitu a řešení problémů stroje vykazujícího dynamickou excentricitu. I když oba typy úloh lze řešit v zásadě jedinou metodikou, je každá z těchto partií uvedena samostatným teoretickým úvodem zaměřeným na odlišné vlastnosti stroje a celé soustavy. Řešení samotné pak probíhá též za použití jiné systematiky a software.

Těžištěm řešení problému je pak metoda konečných prvků, jejíž výsledky jsou v případě stroje s uměle vytvořenou dynamickou excentricitou verifikovány za pomoci měření. Ačkoliv je v práci nastíněn způsob analytického výpočtu, který by umožňoval verifikaci dosažených výsledků jinou cestou, není analytický výpočet proveden a jsou konstatována pouze základní fakta plynoucí z analytického popisu stroje.

Pro svou práci si dizertant vytyčil následující cíle:

- Analyzovat síly ve vzduchové mezeře asynchronního stroje a vliv vybraných poruch na jejich velikost a spektrum a také na moment stroje
- Definovat metodiku pro modelování sdružených úloh magnetického pole (síly) – vibrace s pomocí software využívajícího metodu konečných prvků
- Provedení analýzy vlivu kostry a uložení stroje na spektrum buzených vibrací
- Experimentální ověření modelů

Z pohledu práce lze uvedené díle považovat za bezesbytku **splněné** s výhradou vůči neúplnému analytickému popisu uvedených partií.

Stanovisko k výsledkům dizertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele dizertační práce

Výsledky předložené práce ukazují na správné zvolení metodiky řešení nastíněných problémů. Z hlediska frekvenčního spektra je dosaženo dobré shody měření s modelovanými výsledky, z hlediska amplitud je pak posouzení přesnosti výsledků velmi problematické z důvodu mnoha faktorů, které ovlivňují výsledné chování celé soustavy.

Značným původním přínosem pak je tvorba metodiky pro analýzu frekvenční odezvy stroje jako celku na jeho konstrukční uspořádání a zatížení. Na základě uvedených metod pak lze perspektivně založit i výpočet hlučnosti stroje a jeho vliv na okolní prostředí.

Vyjádření k systematice, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni dizertační práce

Jak bylo uvedeno výše, práce jako celek působí poměrně nekonzistentně. Teoretické pasáže se navzájem střídají s výpočty za pomoci metody konečných prvků a měřeními, díky čemuž práce působí nepřehledně. Z tohoto pohledu by bylo vhodnější tradiční uspořádání ve tvaru teoretický úvod → výpočet → ověření měřeními, který by byl uzavřen porovnáním dosažených výsledků, které v současné podobě v práci chybí a čtenář si jej musí vytvořit sám.

Z hlediska formální úpravy je však práce na vynikající úrovni a až na několik překlepů jí nelze v tomto ohledu nic vytknout.

Vyjádření k publikacím studenta

Dizertant se v průběhu svého působení na Katedře elektromechaniky a výkonové elektrotechniky FEL ZČU podílel na třiceti publikacích od výzkumných zpráv přes publikace na konferencích až po články v časopisech. Z hlediska jeho publikační činnosti jsou pak velmi významné publikace, které vznikly v mezinárodním kolektivu na základě jeho zahraniční stáže.

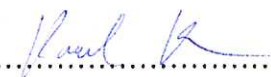
Připomínky a komentáře k dizertační práci

K předložené dizertační práci mám následující připomínky, respektive dotazy:

1. Můžete demonstrovat, pro který typ stroje platí vztah (14)?
2. Str. 35 – Zde podle popisu provádíte natočení rotoru v rozsahu 0 stupňů – 60 stupňů (pravděpodobně mechanických). Jakému natočení v elektrických stupních odpovídá tento rozsah?
3. Str. 41 – Proč uvažujete otočení rotoru pouze o 40 stupňů? Jaký by byl průběh obdržených sil při otočení rotoru o 360 stupňů v porovnání s prezentovanými výsledky?
4. Str. 67 – Proč není uvažována vodivost mědi při jmenovité teplotě motoru?
5. Kapitoly 2.2 a 2.3 – Je při uvažování pohybu rotoru ve statoru uvažován i pohyb statorového magnetického pole?

Jednoznačné vyjádření oponenta, zda doporučuje či nedoporučuje dizertační práci k obhajobě

Na základě výše uvedeného posudku **doporučuji** dizertační práci Ing. Jana Šobry k obhajobě.


.....
Karel Hruška
oponent práce

Oponentský posudok na dizertačnú prácu

Doktorand:	Ing. Jan ŠOBRA
Odbor:	Elektrotechnika
Téma dizertačnej práce:	Dynamické chovanie konštrukčných častí elektrických strojů
Školiteľ:	doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

Zhodnotenie významu dizertačnej práce pre odbor a aktuálnosť témy

Predložená dizertačná práca sa zaoberá problematikou vibrácií statora v asynchrónnych strojoch, ktoré sú vybudené vnútornými elektromagnetickými silami. Práca je multidisciplinárna, pretože je realizovaná jednak v elektrotechnike a taktiež v mechanike. Pokiaľ sa vyšetrojú a analyzujú možné elektromagnetické sily v elektrickom stroji (v tomto prípade sa jedná o asynchrónny stroj v motorickom režime), tak je potrebné vyšetrovať aj ich vplyv na mechaniku, vibrácie a hluk stroja. V práci je to takýmto spôsobom analyzované pre zdravý stroj bez poruchy a taktiež sú uvedené dôsledky pri poškodenom stroji. Uvedené výsledky dizertačnej práce je možné použiť pri návrhu alebo optimalizácii asynchrónnych motorov pre rôzne aplikácie nielen v priemysle, ale hlavne tam, kde vibrácie poškodeného stroja majú významný vplyv na celý elektromechanický systém. Práca má význam pre príslušný odbor.

Vyjadrenie k postupu riešenia problému, k použitým metódam, k splneniu stanoveného cieľa

Použité postupy riešenia danej problematiky, ktoré sú použité v dizertačnej práci sú správne a vhodne zvolené. Využívajú potenciál výpočtovej techniky na riešenie matematických a numerických metód využívajúc program Ansys, ktoré sú použité na riešenie v simulačných modeloch. Doktorand preukázal veľmi dobrú zručnosť v použití a aplikovaní týchto metód. Jedným z cieľov dizertačnej práce bolo namodelovať elektromagnetické namáhanie statora asynchrónneho motora pre bezchybný technický stav stroja a s dynamickou excentricitou pre stav naprázdno a menovité zaťaženie. Ďalším z cieľov bolo navrhnúť metodiku pre modelovanie združených úloh elektromagnetického poľa verzus vibrácie pomocou konečno prvkového softvéru, čo zároveň považujem za dizertabilné jadro práce. Vysoko hodnotím aj experimentálne overenie niektorých simulácií. Môžem skonštatovať, že tieto ciele boli splnené.

Stanovisko k výsledkom dizertačnej práce a pôvodného konkrétneho prínosu doktoranda

Výsledky, ktoré boli dosiahnuté v tejto dizertačnej práci potvrdzujú správnosť riešenia daného problému. Prínosom je spracovaný postup alebo metodika pri modelovaní združenej úlohy pre vibrácie, ktoré sú vybudené elektromagnetickými silami. Táto metodika je založená na prepojení magnetickej tranzientnej (prechodovej) analýzy a analýzy harmonickej odozvy. Tu je uvedené aj prepojenie s mechanickou analýzou stroja z hľadiska vibrácií. Je to aplikované v šiestej kapitole, v ktorej je zároveň prevedená analýza vplyvu kostry statora a konštrukcie pre uloženie stroja na spektrum vybudených vibrácií.

Systematickosť, prehľadnosť, formálna a jazyková úroveň dizertačnej práce

Práca je vypracovaná na dobrej úrovni. Vo všeobecnosti je práca spracovaná na dobrej grafickej úrovni a takmer všetky uvedené obrázky a tabuľky sú prehľadné. Niekedy sú niektoré obrázky aj zbytočne veľké a nadobúda sa dojem, zbytočne zvýšiť počet strán. V závere by bolo možné zhrnúť a rozdeliť dosiahnuté výsledky pre vedu a pre prax, čo by mohlo byť uvedené v závere prezentácie dizertačnej práce počas obhajoby.

Vyjadrenie k publikáciám doktoranda

Predkladaná dizertačná práca obsahuje celkovo 22 prác, kde je doktorand autor alebo spoluautor a ktoré priamo súvisia s témou dizertačnej práce. Jedna práca je publikovaná v impaktovanom časopise a celkovo 16 publikácií je evidovaných na Web of Science, čo je vysoká hodnota. Niektoré práce sú publikované na renomovaných medzinárodných konferenciách v zahraničí. Oceňujem aj medzinárodný autorský kolektív. Okrem toho má autor ešte 8 prác, ktoré nepriamo súvisia s dizertačnou prácou.

Pripomienky a komentáre k dizertačnej práci

K predloženej dizertačnej práci mám nasledovné pripomienky resp. otázky:

1. Je relatívne málo rozpísaný súčasný stav skúmanej problematiky. Zvyčajne sa mu v dizertačných prácach venuje niekoľko strán (cca 6-15). V tomto prípade sú to iba necelé dve strany. Prosím zaujať stanovisko.
2. Kapitola 3.3 je relatívne krátka. Bolo nutné to uvádzať ako samostatnú kapitolu?
3. Na str. 47 je uvedená menovitá hodnota napätia 333 V. Je to neštandardná hodnota napájacieho napätia. Bol použitý motor určený pre nejakú špeciálnu aplikáciu?
4. V kap. 4.1 je uvedené, že meraný stroj bol napájaný z autotransformátora a zaťažovaný typovo rovnakým strojom, ktorý bol napájaný z frekvenčného meniča. Nebol autotransformátor mäkký zdroj z hľadiska udržania konštantného napájacieho napätia?

Na základe vyššie uvedeného posudku **odporúčam** dizertačnú prácu Ing. Jana Šobru k obhajobe a po jej úspešnom vykonaní udeliť akademický titul PhD. v odbore Elektrotechnika.

V Žiline 3. 10. 2018



Oponentní posudek disertační práce Ing. Jana Šobry

„*Dynamické chování konstrukčních částí elektrických strojů*“

Námět práce zcela odpovídá oboru disertace „*Elektrotechnika*“. Téma disertační práce přináší nový pohled na problematiku vibrací a deformací statoru asynchronních strojů vlivem vnitřních parazitních magnetických sil.

Zvolené téma má velký praktický význam a je v souladu se současným stavem poznání.

Samotný název práce je příliš obecný a nevystihuje tematicky obsah práce. Hlavní osnova disertace je přehledná a správná. Cíle práce jsou dobře definované.

Detailní úvod předkládá vyčerpávající rozbor současného stavu poznání. Autor dobře a jasně definoval cíle svého výzkumu. Originálním způsobem analyzuje síly ve vzduchové mezeře asynchronního stroje a zaměřuje se na vybrané (možné) poruchy, jejich velikost a spektrum. Sleduje jejich vliv na moment stroje. Vhodně definuje metodiku pro modelování sdružených úloh magnetického, silového a vibračního pole. Doktorand využívá modelování pomocí metody konečných prvků. Provedená analýza vlivu kostry a uložení stroje na spektrum buzených vibrací je zajímavá a je možné ji považovat za nový přínos. Experimentální ověření modelů potvrzuje teoretické předpoklady a provedené simulace.

Cíle disertační práce jsou splněny.

Student prokázal, že je teoreticky velmi zdatný a je schopen své poznatky přenést do reálné praxe.

Práce není vždy napsána srozumitelně s logickou větnou stavbou. Například v anotaci jsou tyto části textu pro čtenáře nesrozumitelné:

... .. včetně teoretického popisu rozložení magnetické indukce ve vzduchové mezeře stroje a jím danou velikostí magnetických sil působících na zuby statoru a rotoru.

.... Metodika je ověřena konečněprvkovou analýzou konkrétního stroje, kde jsou frekvenční spektra vypočtených magnetických sil působících na jednotlivé zuby statoru použita jako zdroje buzení vibrací stroje.

Po formální stránce je práce zpracována na vyhovující úrovni. Překlepy jsou v minimální míře a neodpoutávají pozornost od čtivého textu.

Poznámka k výpočtu síly působící na tyč klece nakrátko:

Na straně 24 je uveden výraz (25) pro výpočet Lorenzovy síly působící na tyč v tangenciálním směru.

$$F = BI_{FE}$$

Pro tento způsob výpočtu je nutno znát velikost magnetické indukce. V práci není uveden podrobnější rozbor analytických výpočtů magnetických toků uvnitř motoru.

Odborná část práce nastiňuje následující otázky k diskuzi při obhajobě:

Bylo provedeno porovnání výpočtu magnetického toku uvnitř motoru analytickými metodami a diskrétními metodami? Jaké výsledky byly zjištěny?

Jedna z možných závad, které je uváděna v práci například na str. 35, je přesycený zub rotoru vlivem přerušené sousední tyče rotoru. Jak často se tento typ závady v praxi vyskytuje? Je častější výskyt této závady závislý na jmenovitém výkonu motoru nebo technologii?

Disertant předloženou práci prokázal, že je samostatně schopen komplexně řešit složité systémy elektrických strojů.

Autor publikoval hlavní část své práce na mezinárodní úrovni. Počet příspěvků autora, souvisejících s tématem disertace, je nadprůměrný počtem a především kvalitou příspěvků.

Doporučuji uvedenou práci k obhajobě a bude-li práce úspěšně obhájena, k následnému udělení akademického titulu Ph.D. panu Ing. Janu Šobrovi

V Liberci 30. 9. 2018



Prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Technická univerzita v Liberci