

Oponentský posudek disertační práce

Řešitel: Ing. Lukáš Bouzek

Název: Elektromagnetické pole, síly, chvění a hluk v elektrických strojích

Školitel: Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

Ve své disertační práci se Ing. Lukáš Bouzek věnuje problematice elektromagnetických sil vznikajících v elektrických strojích a jejich vlivu na vznik vibrací a hluku. Disertant se zaměřil pouze na asynchronní stroj, což představuje určité zúžení zadaného tématu. Na začátku práce jsou popsány a analyzovány zdroje hluku a vibrací v elektrických strojích při různých typech napájení. Dále se práce věnuje zejména modální analýze jednotlivých částí elektrického stroje. V práci jsou obsaženy výsledky numerických výpočtů i experimentálních měření.

Zvolené téma disertační práce je aktuální a důležité zejména pro posouzení vlivu elektrických strojů na životní prostředí a také z hlediska jejich spolehlivosti a životnosti. Problematice vibrací a akustického hluku u elektrických strojů je dlouhodobě věnována značná pozornost na řadě světových univerzit a výzkumných institucí. Jedná se o komplexní a interdisciplinární problematiku. Zejména analytické a numerické modelování vibrací elektrických strojů, kterému je věnována hlavní část posuzované práce, je značně náročná úloha.

Vytčené cíle disertační práce uvedené v kapitole 1.2 byly splněny. Disertant zvolil pro řešení dané problematiky vhodné teoretické i experimentální metody. V disertační práci jsou dostatečně podrobně popsány postupy řešení a porovnány výsledky analytických výpočtů, numerického modelování a experimentálního měření.

Hlavním výsledkem disertační práce byla analýza konkrétního asynchronního stroje, určení jeho mechanických vlastností a vlastních mechanických kmitočtů. Výpočetně získané výsledky jsou porovnávány s výsledky experimentálních testů. V práci je podrobně a logicky popsána metodika určení potřebných vlastností a parametrů. Toto lze považovat za hlavní přínos práce. V práci jsou většinou použity standardní metody a práce tyto metody dále příliš nerozvíjí.

Práce je celkově vypracována na poměrně dobré odborné úrovni a svědčí o předpokladech disertanta k samostatné tvůrčí práci. V některých částech je však příliš velká pozornost věnována podrobnému popisu obecně známých principů a postupů. Jedná se například o kapitoly 5.1 a 5.2, kde jsou popisovány systémy s jedním a n stupni volnosti stylem vysokoškolských skript. V některých případech jsou uváděny rovnice bez odvození a bez uvedení zdroje (např. v kapitole 4). Není tedy zřejmé, zda byly odvozeny disertantem, nebo převzaty z literatury. V názvu práce je zmíněn také hluk. Mimo popis zdrojů hluku v kapitole 2 však není tento jev dále blíže analyzován.

Disertační práce je členěna do částí, které na sebe logicky navazují. Popis principů a použitých metod je ilustrován řadou vhodně zvolených obrázků. Formální úprava disertační práce je na dobré úrovni. Po jazykové stránce obsahuje text některé drobné chyby a jsou v něm někdy použity hovorové výrazy a formulace. Literatura není v sekci "Použitá literatura" uvedena v pořadí, v jakém je v textu citována. V uvedených matematických výrazech se vyskytují drobné chyby nebo nevhodné formální úpravy rovnic (např. poslední výraz v rovnicích 3.1.1 je chybný; v rovnici 3.1.9 by měl být použit operátor aproximace místo rovnosti). U některých symbolů není správně formátován index

(např. na str. 27 'm1' nebo na str. 28 v Tab. 1 'fsw'), střídavě je pro stejnou veličinu používáno velkého a malého písmene (str. 28 v Tab. 1 'R' a 'r') nebo je stejný symbol vysvětlován různými způsoby (n_m [ot/s] za rovnicí 2.4 na str. 17 je chybně označován jako obvodová rychlost ventilátoru a později za rovnicí 2.5 jako rychlost ventilátoru). V obr. 3.4 na str. 32 jsou použity nestandardní zkratky pro fyzikální jednotky – Amp/Meter. Na str. 35 je u obr. 3.10 chybný popis. V textu chybí popis řady uvedených obrázků (obr. 5.35 – 5.38, 5.44 – 5.49, str. 66 až 74). Číslo obrázku 5.50 na str. 75 je použito dvakrát pro různý obrázek.

Disertant publikoval dílčí výsledky formou příspěvků na odborných konferencích a workshopech. V seznamu literatury disertanta není uveden žádný článek v odborném recenzovaném časopise. Publikační aktivita disertanta je z tohoto hlediska poměrně slabá.

Posuzovanou disertační práci **doporučuji k obhajobě**.

Otázky k obhajobě:

1. Byly výsledky numerického výpočtu radiální síly ve vzduchové mezeře uvedené v kap. 3.3 využity pro výpočet mechanických vibrací elektrického stroje?
2. V práci jsou uvedeny výsledky pro jeden konkrétní elektrický stroj. Byla provedena analýza i jiných strojů, např. s jiným jmenovitým výkonem, jiným počtem pólů a drážek, apod.?
3. Byla věnována pozornost i jiným typům elektrických strojů, např. synchronním strojům s permanentními magnety, nebo spínaným reluktančním strojům?
4. Jak lze vytvořený model elektrického stroje využít pro predikci hluku zmíněnou v cílech disertační práce?

V Praze, dne 4. 3. 2015



Ing. Miroslav Chomát, CSc.

Posudek disertační práce

<i>Autor práce:</i>	Ing. Lukáš Bouzek Fakulta elektrotechnická, Západočeská univerzita v Plzni
<i>Název práce:</i>	Elektromagnetické pole, síly, chvění a hluk v elektrických strojích
<i>Rozsah práce:</i>	81 stran
<i>Oponent:</i>	prof. Ing. Jan Leuchter, Ph.D. Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany v Brně

Rekapitulace cílů práce

Posuzovaná disertační práce je věnována problematice vibrací u elektrických asynchronních strojů. Zaměřuje se na elektromagnetický popis, vibrace a na vliv neharmonického napájení asynchronního motoru. Autor se zde zaměřil na úlohy numerického modelování magnetického obvodu, vinutí a mechanické kostry stroje.

Disertační práce Ing. Lukáše Bouzka zahrnuje zejména popis zdrojů vibrací a hluku u elektrického stroje. Obsahuje části analýzy vlastností indukčního stroje napájeného harmonickým napětím a popisu magnetického pole asynchronního motoru. Jsou zde uvedeny vlivy neharmonického napájení a oblast modelování asynchronního stroje včetně analytického rozboru vlastností statorového systému z pohledu vlastních frekvencí. Práce je aktuální a prokazuje znalosti autora v oblasti elektrických strojů. Konkrétními cíli disertační práce bylo popsat chování magnetického pole ve vzduchové mezeře stroje a identifikovat parametry modelu; tvorba dynamického modelu statorového magnetického obvodu; realizace modelu vinutí stroje, atd. Autor v práci uvedl zajímavá řešení a popsal možnosti modelování elektrických strojů.

Charakteristika práce a její výsledky

Práce je členěna do šesti kapitol, přičemž kapitola 1 je úvod do problematiky, popis současného stavu a dále jsou uvedeny cíle disertace. Autor zde odkazuje minimálně na současnou literaturu a uvedený popis bohužel je uveden velmi krátce na dvou stranách včetně cílů disertace. Cíle disertační práce jsou vhodně zvoleny, nicméně myslím, že tato část měla být obsáhlejší a detailněji mělo být popsáno čeho chce autor dosáhnout.

V kapitole 2 autor uvádí již detailní popis jednotlivých možných zdrojů hluku a vibrací v elektrických strojích včetně analytického popisu. V kapitole 3 uvádí popis radiální síly u indukčního stroje s harmonickým napětím. Je zde uvedena problematika deformace magnetického jádra způsobená rozložením radiálních sil. Zde je velmi pěkně a názorně uveden výsledek modelování deformace magnetického jádra na obr. 3.1. Dále je v kapitole 3 detailně analyzován vliv neharmonického napájení, které způsobuje další vibrace a s nimi spojený i hluk. Je zde uveden vliv usměrňovače, který bohužel je na straně 32 popsán na dvou řádcích a jednou rovnicí. Dále je uveden model asynchronního stroje a rozložení magnetické indukce různých asynchronních strojů.

V kapitole 4 je popsán analytický rozbor vlastností statorového systému, kde je zřejmé, že popis je velmi obtížný a autor se dopustil několika zjednodušení, které pravděpodobně nezaručují přesnost výsledků. Nicméně popis je na velmi dobré úrovni, kde zajímavým výsledkem je obr. 4.4 charakterizující příklady tvarů kmitů. V páté kapitole je uvedena experimentální modální analýza, která zahrnuje cenné výsledky řešení magnetického obvodu. Dále jsou zde uvedeny výsledky numerického modelování vinutí. Autor navazuje na řešení problematiky jádra s vinutím, kde se zabývá například modelováním vlastních tvarů vinutí pro různé frekvence. Správně uvažuje vliv čel vinutí a podobně. Pravděpodobně stěžejní výsledky řešení disertační práce jsou uvedeny v kapitole 5.7 a část 5.8. Zde bohužel musím konstatovat, že tato část by zasloužila větší a detailnější rozbor. Podobně lze charakterizovat závěr disertační práce, který autor shrnul na 1 stranu a možné směry dalšího výzkumu do 8 řádků.

Formální úprava disertční práce

Formální úprava práce je na velmi dobré úrovni a práce je zpracována pečlivě, jazyková i grafická úroveň je velmi dobrá. Řešená problematika je podána srozumitelně, nicméně disertační práci by prospělo uvedení detailnějších analýz výsledků včetně experimentálního ověření. Bohužel jsou až příliš stručně popsány prakticky dosažené výsledky vlastní práce autora.

Za klad práce považuji jasnou formulaci řešené problematiky. Autorův seznam použité literatury je poměrně obsáhlý, což dokumentuje, že se uvedenou problematikou zabývá systematicky řadu let. Z publikací autora, které souvisí s obsahem práce, vyplývá, že se jedná o perspektivního pracovníka. Předložená práce tvoří dobrý základ pro další pokračování řešení problematiky elektrických strojů ve vědecko-výzkumné činnosti autora na ZČU v Plzni.

Závěr:


- Téma disertační práce je zcela jistě aktuální.
- Disertační práce splnila stanovený cíl.
- Po stránce formální je zvolená přehledná forma.
- Celá problematika je zpracovávána v logické posloupnosti.

Rád konstatuji, že disertační práce Ing. Lukáše Bouzka splňuje podmínky stanovené č. 111/1998 Sb. a práci doporučuji k obhajobě.

Při obhajobě doporučuji aby se uchazeč vyjádřil k následujícím doplňujícím otázkám:

1. Detailněji vysvětlíte porovnání analytického a numerického výpočtu ze strany 54. Zkuste definovat nejistotu obou řešení.
2. Jak se projevuje vliv „overmodulace“ měniče, který napájí asynchronní motor, na vibrace motoru?
3. Jak byste specifikoval přínos Vaší disertační práce pro pedagogickou praxi?

V Brně dne 12. 2. 2015


prof. Ing. Jan Leuchter, Ph.D.
Univerzita obrany, FVT
Kounicova 64
662 10 Brno

Oponentský posudok na dizertačnú prácu

Doktorand:	Ing. Lukáš BOUZEK
Študijný program:	Elektrotechnika a informatika
Odbor:	Elektrotechnika
Téma dizertačnej práce:	Elektromagnetické pole, sily, chvění a hluk v elektrických strojích
Školiteľ:	doc. Ing. Bohumil SKALA, PhD.

Zhodnotenie významu dizertačnej práce pre odbor a aktuálnosť témy

Predložená dizertačná práca sa zaoberá detailnou analýzou a zisťovaním modálnych parametrov satorových systémov malých asynchrónnych strojov. Daná práca je interdisciplinárna, pretože sa venuje elektrickému stroju z hľadiska jeho mechanického správania sa, čo je v súčasnosti aktuálne. V práci sú opísané magnetické sily pri harmonickom a neharmonickom napájaní. Autor uvádza analytický model, pomocou ktorého je možné vyšetrovať vlastné frekvencie jednotlivých častí daného systému. Dôležitým bodom práce, ktorý tvorí súčasne aj prínos pre daný vedný odbor je experimentálna modálna analýza. Dosiahnuté výsledky boli získané jednak analytickým výpočtom, 3D FEM analýzou a niektoré výpočty sú podložené aj experimentmi. Práca je komplexná a podáva veľmi dobrý prehľad o možnostiach ďalšieho využitia tohto modelu. Práca má význam pre odbor o čom svedčia aj autorove publikácie.

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, ktoré sú použité na riešenie v simulačných modeloch. Doktorand preukázal veľmi dobrú zručnosť v použití a aplikovaní týchto metód.

Cieľom dizertačnej práce bolo vytvoriť a verifikovať komplexný model statora pre malé asynchrónne stroje z hľadiska mechanického namáhania, vibrácií a možného hluku. 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. Veľmi dobrá zhoda výsledkov získaných z analytického výpočtu na základe odvodených diferenciálnych rovníc, ktoré opisujú satorový zväzok z hľadiska pružného systému. Model je vylepšovaný získanými parametrami z experimentálnej verifikácie. Z výsledkov a ich porovnaním s inými metódami dokazujú správnosť a vedeckú erudovanosť doktoranda. Vedecké a praktické prínosy sú zhrnuté v samostatnej kapitole v závere práce a po jej prečítaní môžem s nimi súhlasiť. Práca je využiteľná jednak z praktického hľadiska a jednak je možné ďalej pokračovať a nadviazať na niektorú kapitolu v ďalšej vedeckej práci.

Systematickosť, prehľadnosť, formálna a jazyková úroveň dizertačnej práce

Práca je vypracovaná na výbornej úrovni s takmer žiadnymi preklepmi a gramatickými chybami, čo je v súčasnosti zriedkavé. Obrázky sú jasné a majú dobrú vypovedaciu hodnotu. Grafy aj tabuľky sú na výbornej úrovni a majú svoju vypovedaciu hodnotu.

Vyjadrenie k publikáciám doktoranda

Predkladaná dizertačná práca obsahuje celkovo 10 prác, kde je doktorand autor alebo spoluautor. Predpokladám podľa názvov prác, že sú publikované v českom a aj anglickom jazyku. Za najvýznamnejšie publikácie možno považovať 8 a 10, ktoré sú v medzinárodnej databáze.

Pripomienky a komentáre k dizertačnej práci

Formálne pripomienky k práci:

- Niektoré parametre a veličiny neboli vysvetlené ani v texte ani v zozname
- Názov Poissonovej konštanty by mal byť s veľkým „P“
- Niektoré obrázky sú slabšie čitateľné, napr. Obr.5.22
- Str. 13, je neobvyklé začínať citáciami 23, 24
- Niekedy použitý iný font na písanie vzorcov a veličín
- Str. 34 zlý názov obr. 3.7 a 3.10

K predloženej dizertačnej práci mám nasledovné pripomienky resp. otázky:

1. Pri obhajobe prosím opísať, čo znamená komplexný statorový systém.
2. Čo reprezentujú veličiny n a n'' ?
3. Ktorému motoru odpovedá B-H charakteristika na obr.3.4?
4. V anotácii je uvedené, že práca je zameraná na zisťovanie modálnych parametrov statorového systému malých asynchrónnych strojov. V kapitole 3.3 sú ukázané dva príklady asynchrónnych strojov: 250 kW a 84 kW. Prosím o vysvetlenie, čo sa považuje za malý asynchrónny stroj.
5. Na str. 37, na základe čoho alebo odkiaľ sú odvodené rovnice?
6. Str. 43, Sú rovnice (5.2) a (5.4) správne? Keď podelíme celú rovnicu m , tak v prvom člene to m nezostane.
7. Odpovedajú motory použité na experimentálne analýzy tým istým, ktoré sú uvedené na str.32?

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

V Žiline 4.3.2015

