

Oponentní posudek diplomové práce

- Student: **Bc. Jaroslav Petráš**
Fakulta strojní ČVUT v Praze
Ústav přístrojové a řídicí techniky
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Přístrojová a řídicí technika
- Název: **Laboratorní model elektromotoru s aktivními magnetickými ložisky**
- Vedoucí: **Doc. Ing. Martin Novák, Ph.D.**
Odbor elektrotechniky FS ČVUT v Praze
- Oponent: **Prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.**
Katedra elektrických pohonů a trakce
Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze
CZ – 166 27 Praha 6, Technická 2
Tel.: +420 224 352 147, e-mail: lettl@fel.cvut.cz

Díky magnetickému poli vyvolanému aktivně řízenými elektromagnety umožňují aktivní magnetická ložiska bezkontaktní uložení hřídele, což lze s výhodou využít v případě vysokootáčkových elektromotorů, kde vysoké třecí ztráty způsobují zahřívání klasických ložisek. Obrovskou výhodou magnetických ložisek je, že není potřeba jakékoliv mazání rotujících částí. Nevýhodou je nutnost dodávky elektrické energie a nezbytnost speciálního výkonného hardware vybaveného rychlým řídicím software.

Stanovené cíle a jejich splnění

Diplomová práce se zabývá vývojem aktivních magnetických ložisek, která by měla být součástí souběžně vyvíjeného vysokootáčkového motoru. Stanovené cíle jsou shrnuty ve čtyřech bodech na str. 21 diplomové práce a zahrnují konstrukční návrh laboratorního modelu aktivního magnetického ložiska, rešerši materiálu vhodného pro stator motoru a jader magnetického ložiska, stavbu laboratorního modelu pomocí 3D tisku a experimentální ověření funkčnosti. Výsledkem je konstrukční návrh, realizace a ověření funkčnosti jednotlivých modulů laboratorního modelu BLDC motoru s magnetickými ložisky (aktivními radiálními a pasivními axiálními). Stanovené cíle diplomové práce byly splněny.

Obsahová náplň, postup řešení, výsledky a jejich kvalita

V práci je provedena rešerše a přehledně shrnuta teorie BLDC motoru, jeho konstrukce a řízení, principy, druhy a možnosti řízení aktivních i pasivních magnetických ložisek (kap. 2), diskutováno a navrženo konstrukční řešení statoru, rotoru, pláště, chlazení i řídicího systému BLDC motoru, ověřen návrh a provedení elektromagnetů, snímače polohy a způsob řízení aktivních radiálních ložisek i pasivních axiálních ložisek (kap. 4), popsáno měření a shrnuty výsledky měření magnetických vlastností dostupných materiálů (kap. 5),

zdokumentována a diskutována vlastní realizace BLDC motoru s aktivními magnetickými radiálními ložisky a pasivními magnetickými axiálními ložisky, sensorového modulu i kompletního zařízení (kap. 6). Z výše uvedeného je zřejmé, že řešení stanovených dílčích cílů je zhruba obsahem jednotlivých kapitol. Výsledkem je návrh, realizace a ověření vlastností a funkce jednotlivých modulů kompletního systému BLDC motoru s aktivními a pasivními magnetickými ložisky i řada praktických poznatků získaných během realizace zařízení. Zajímavostí je ověření možnosti stavby jednotlivých částí zařízení z plastů (PLA a pro větší tepelně zatížení PET-G) pomocí 3D tisku. Za přínos daného řešení lze považovat navržená modulová koncepce, kdy se jednotlivé moduly jednoduše připojují nebo propojují konektory.

Diplomant by měl blíže uvést, vysvětlit či zhodnotit

- zda je k regulaci otáček využita metoda šířkově pulsní modulace nebo metoda šířkově pulsního řízení a proč (viz např. Obr. 3 na str. 13),
- účinnosti jakých elektromotorů jsou porovnávány na Obr. 4, str. 14,
- detailní provedení navrženého systému vodního chlazení BLDC motoru, jeho výhody a nevýhody, vliv pláště z plastu, vliv vlastního chlazení (viz str. 27 dole "... čerpadlo poháněné přímo BLDC motorem ..."), odpovídající výkonová omezení,
- možnosti využití hybridních magnetických ložisek,
- kalibraci a přesnost nastavení modulu s optickými senzory (viz str. 32 – 34),
- příčinu jevu popisovaného na str. 50 („... magnet se uvnitř pólových nástavců nedokázal roztočit ...“), výkonové dimenzování systému,
- dynamické vlastnosti realizovaného systému.

Formální náležitosti, úprava, systematická a přehlednost práce

Kromě obsahu, úvodu (kap. 1), závěru (kap. 7), seznamu použitých zkratk, seznamu použité literatury a zdrojů, seznamu obrázků, seznamu použitého SW, seznamu tištěných příloh a seznamu digitálních příloh, je práce rozdělena do pěti kapitol (kap. 2 až kap. 6), zahrnujících teoretickou část (kap. 2), cíle práce (kap. 3), konstrukční část (kap. 4), experimentální část (kap. 5) a realizaci (kap. 6), které jsou dále logicky členěny do dvou podúrovní vždy několika podkapitol. Tato nosná část práce čítá 52 stránek (73 %) z celkových 72 tištěných stran. Práce je zpracována pečlivě, má přehlednou skladbu a ucelený charakter. K přehlednosti práce přispívá zařazení seznamu použitých symbolů a zkratk. Odpovědný přístup k realizaci úkolu dokumentuje i celková grafická úroveň zpracování práce, jakož i snaha o zřetelný popis obrázků. Některé chyby formální a stylistické nemají závažný charakter, nenalezl jsem žádné nesrovnalosti terminologické. V práci je více nepodstatných překlepů i chyb gramatických (např. str. 25, 4. řádek shora „... tím je obvodový tvar tvořen magnety kruhovitější ...“ či na str. 48, 10. řádek zdola se v případě Obr. ?? zřejmě jedná o Obr. 34 ... atd.), jimž se bylo možno vyhnout pozornější korekturou čistopisu.

Závěr

Diplomant Bc. Jaroslav Petráš splnil stanovené cíle diplomového úkolu v plném rozsahu a prokázal schopnost samostatné vývojové práce. Práce je věnována aktuální problematice provozování vysokorychlostních motorů, obsahuje ve vyváženém poměru části teoretické a části experimentální, vhodně uplatňuje poznatky získané rešerší literatury při praktickém návrhu a realizaci laboratorního modelu BLDC motoru s magnetickými ložisky. Práce je zpracována systematicky a přehledně, umožňuje čtenáři sledovat autorovy úspěchy i nezdary vedoucí k úspěšné realizaci navrženého laboratorního modelu. Formálně je práce zpracována na vysoké úrovni, některým drobným nepřesnostem a chybám gramatickým i stylistickým se bylo možno vyhnout pečlivější korekturou čistopisu. Diplomant prokázal znalosti a schopnosti požadované od absolventa vysoké školy technického zaměření. Z uvedených důvodů předloženou diplomovou práci doporučuji k obhajobě a navrhuji její klasifikaci známkou

v ý b o r n ě

V Praze dne 17. června 2019



Prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.