

**Fakulta  
elektrotechnická**

**Katedra elektromechaniky a  
výkonové elektroniky**

Fakulta elektrotechniky a komunikačních  
technologií VUT  
Vědecké oddělení  
Vysoké učení technické v Brně  
Technická 10  
BRNO  
616 00

VÁŠ DOPIS ZNAČKY / ZE DNE

NAŠE ZNAČKA

VYŘIZUJE / LINKA

DATUM

187/18915/13/17.10.2013

2216098/11/13

Skala /+420 377 634 473

29.10.2013

**Věc: Oponentský posudek disertační práce studenta**

**Ing. MUSTAFA OSMAN ELRAYAH ABOELHASSAN –  
Fault-tolerant control of a flux-switching permanent magnet synchronous machine**

### 1. Aktuálnost zvoleného tématu

Stroje s permanentními magnety patří mezi moderní stroje s vysokým poměrem výkonu a hmotnosti. Mezi tyto stroje patří též stroj s permanentními magnety a se spínaným tokem (dále jen FS - SMPM), který je předmětem disertační práce. Je řešen zvláštní způsob řízení, který umožňuje s jistými omezeními provoz stroje s definovanou poruchou (přerušení obvodu, zkrat). Tyto stroje mají své omezené použití vlivem zvlnění momentu. I toto však práce řeší.

### 2. Splnění cílů práce

Na základě studentem provedených studií, rozborů, měření, experimentů a jejich analýz lze konstatovat, že vytčených cílů práce

- Vývoj řízení stroje FS-SMPM při zkratu a přerušení obvodu
- Vývoj řízení stroje pro letecké aplikace
- Zlepšení dynamiky stroje a momentová kompenzace
- Řízení stroje v odbuzovacím režimu

nebylo beze zbytku dosaženo. Současně je však potřeba podotknout, že tyto cíle jsou příliš náročné ke splnění. Vykonaná práce rozhodně disertabilní je a pro splnění vytčených cílů (zejména pro letecké aplikace) v ní byly položeny kvalitní základy.

Jak plyne z vlastní disertační práce, student se seznámil s odbornou literaturou a aktivně se účastnil různých konferencí. Tím získal jistý přehled o dané problematice. Na základě těchto vědomostí student navrhl, realizoval a vyhodnotil řadu experimentů i simulací, ze kterých učinil příslušné závěry.

### 3. Zvolené metody řešení

Student se v práci věnoval zejména analytickým metodám, ale využíval velmi významně i podporu počítače, zejména MATLAB + SIMULINK, metody MKP použil pro vyšetření průběhu indukčnosti v závislosti na poloze rotoru. Jistou zkušenost prokázal i v praktické oblasti, kdy měřením verifikoval vlastnosti pohonu jako celku.

#### 4. Dosažené výsledky, původní přínos práce, nové poznatky

Výsledkem studentovy práce je sestavení matematického modelu dvojitého stroje FS-SMPM a naladění modelu pro daný prototyp tohoto stroje. Model samotného stroje dále použil do modelu pohonu jakožto celku. Zde pak simuloval a později i verifikoval jeho chování pro různé provozní stavy a poruchy.

#### 5. Přínos pro další rozvoj vědy a techniky

Přínosem pro domovské pracoviště je nejen realizace funkčního vzorku pohonu, ale zejména zvládnutí řízení a proto i možné nasazení na jiné pohony nebo využití získaných a ověřených zkušeností v budoucnosti.

#### 6. Formální úprava, jazyková úroveň

Práce je napsána v anglickém jazyce s výjimkou *Abstraktu*, *Klíčových slov* a *Prohlášení autora o původnosti práce*. Po formální stránce je práce zpracována na vysoké úrovni. Obrázky, grafy a schémata jsou zpracovány kvalitně. V práci jsou výjimečně některé obrázky bez legendy, což však vzhledem k rozsahu práce není významné. Z typografického hlediska též nemám vážnějších připomínek.

#### 7. Publikace studenta

Ve *zkrácené verzi doktorské práce* i v *Disertační práci* samotné je pod nadpisem „Literatura“ uveden seznam jak „Použité literatury“ tak vlastní „Publikace studenta“.

Dle uvedeného seznamu lze konstatovat, že student Ing. Mustafa Aboelhassan roce 2008 až 2013 byl

- autorem 4 tuzemských publikací a 1 zahraniční
- spoluautorem 5 mezinárodních a 3 tuzemských publikací.

Proto mohu prohlásit, že vlastní jádro studentovy práce bylo publikováno náležitým způsobem. Lze také vyvodit, že se jedná o pracovníka s vědeckou erudicí.

#### 8. Dotazy a připomínky k práci

V abstraktu je v jedné části uvedeno, že je „vhodné řídit každou fázi samostatně“ a v jiné části, že je vhodné řídit „každý kanál stroje samostatně“. Která varianta platí?

s. 25, bod první – v práci není obsažen návrh stroje (výpočet magnetického obvodu, výpočet PM, určení počtu závitů, ...)

s. 32, obr. 2.1 – jaká je orientace jednotlivých permanentních magnetů (PM)?

s. 49 - Pokud určujete sílu na základě stlačení /natažení pružiny – je splněn předpoklad její konstantní tuhosti?

s. 55, obr. 2.11. – v legendě a u popisu šipek je prohozeno jejich označení

s. 56, obr. 2.12. – v textu je odvolání na proud, jehož indexy nejsou v legendě obrázku uvedeny

s. 61, obr. 3.1 – jaká je orientace všech permanentních magnetů na obrázku? Z rovnic (3.7) – (3.12) pro statorový spřažený tok, uvedených na str. 63 vyplývá, že je shodná.

s. 61 -Princip činnosti stroje je v práci popsán většinou pouze formou odkazů na jinou literaturu, tj. velmi povrchně.

s. 64, obr. 3.2 - jaký je význam jednotlivých průběhů na obrázku? Chybí tam legenda. Legendu mají pouze obdobné obrázky ve zkrácené verzi práce.

s. 65, obr. 3.3 - jaký je význam jednotlivých průběhů na obrázku? Chybí tam legenda. Legendu mají pouze obdobné obrázky ve zkrácené verzi práce.

s. 66, rovnice (3.16) – jsou jednoty veličiny  $J$  [ $\text{kg}\cdot\text{cm}^2$ ] správné? V jakých jednotkách je pak udána  $d\omega_r/dt$  ?

s. 67 – bývá zvykem uvádět počet fází a pólů statoru, nikoliv rotoru (7).

s.80 – z obrázku 4.9. a parametrů  $L_d$  a  $L_q$  na s. 67 plyne, že je značení pomocí os d-q ne zcela dostatečné. Je možným řešením zavedení osy +d, -d, +q, -q?

s.110, obr. 6.8 – jedná se o proud strojem nebo o proud tekoucí z měniče? Pokud vznikne souměrný 3f zkrat na jednom kanálu stroje, pak je výhodnější tento kanál stále napájet? Je spojení vinutí jednoho kanálu stroje do Y spolehlivější než spojení do D? Bude potřeba jiné řízení pro spojení vinutí do D?

s. 112, obr. 6.10 – průběh zobrazuje asi 6 period za dobu 40 ms, tj. asi 150 Hz. Je to skutečně pro mechanickou rychlost  $2000 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ , tj.  $19\,098 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ ? Na s. 67 je uvedena jmenovitá rychlost  $7600 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ .

s.139, obr. 7.21 – jakým momentem byl stroj zatížen? Kolik je to procent jmenovitého momentu  $7,92\text{Nm}$ ? Jak se změní zvlnění momentu při zkratu jedné fáze jednoho kanálu stroje?

s.157, obrázky – kolik vrstev elementů připadá na vzduchovou mezeru? Jaká je orientace proudů v cívkách a PM na jednotlivých obrázcích? Z obrázků je patrná velká vzájemná indukčnosti obou kanálů stroje. V práci je

tvrzeno, že se změní (klesne) vzájemná indukčnost kanálů při zatížení stroje momentem. Nastane skutečně přesun toku do „tenkých zubů“ bez vinutí?  
s.158, obrázek nahoře – drážky (rybiny) v kostře stroje slouží pro přenos reakce momentu jha statoru na patky?  
s. 158, obr. dole – jsou podobné rybiny i na dílech jha statoru? Jak vznikne na statoru „tenký zub“ z vyfotografovaných částí – nechybí tam nějaký díl?

Ke kapitolám

- 4 FS-PMSM drive system,
- 5 Fault tolerant FS-SMPM drive control
- 6 Simulation results

se vzhledem ke svému zaměření na elektrické stroje nemohu zcela odpovědně vyjádřit. Přesto jsou výše některé dotazy a nejasnosti také k těmto kapitolám uvedeny.

## 9. Doporučení k obhajobě

Námět práce odpovídá oboru disertace. Na základě výše uvedených skutečností a přes své kritické poznámky disertační práci

„Fault-tolerant control of a flux-switching permanent magnet synchronous machine“  
studenta Ing. Mustafa Aboelhassan

doktorského studijního oboru Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

*doporučuji k obhajobě*

a po jejím úspěšném složení

*navrhuji*

udělení akademicko-vědeckého titulu Ph.D. ve studijním oboru Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika.

V Plzni dne 29.10.2013

.....  
Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.  
oponent