

# Oponentní posudek

## disertační práce k získání akademického titulu Doktor (Ph.D)

- Autor práce:* **Ing. Mustafa Osman Elryah Aboelhassan**  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky
- Téma práce:* **Fault-Tolerant Control of a Flux-Switching Permanent Magnet Synchronous Machine**
- Školitel:* **Prof. Ing. Jiří Skalický, CSc.**  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky
- Rozsah práce:* 172 stran, z toho abstrakt v českém jazyce – 1 strana, klíčová slova v českém jazyce – 1 strana, abstrakt v anglickém jazyce – 1 strana, klíčová slova v anglickém jazyce – 1 strana, bibliografická citace – 1 strana, prohlášení – 1 strana, poděkování – 1 strana, obsah – 3 strany, seznam obrázků 6 stran, seznam tabulek – 1 strana, seznam symbolů – 5 stran, dodatky A (seznam publikací disertanta) až D – 11 stran, literatura – 4 strany+ nečíslovaný titulní list – 1 strana a vakát – 1 strana (pouze v elektronické formě)

### Rekapitulace cílů práce

Oponovaná disertační práce shrnuje výsledky, dosažené disertantem při teoretickém návrhu speciální koncepce synchronního motoru s permanentními magnety se spínaným magnetickým tokem a jeho robustního řízení včetně experimentálního ověření celé soustavy. Cílem práce je návrh a ověření nového konceptu pohonu se synchronním servomotorem, který bude schopen práce při poruchách vinutí motoru typy přerušení nebo zkrat i proti poruchám měniče. Splnění tohoto cíle bezpochyby představuje disertabilní problém. Tento koncepční cíl je pak dekomponován do čtyř dílčích cílů, které mají jasně stanovený obsah a logicky na sebe navazují.

### Charakteristika práce a její výsledky

Vlastní práce je členěna do osmi kapitol číslovaných kapitol a dalších nečíslovaných odstavců – viz výše. Poměrně značná část práce, až neúměrně velká, je věnována podkladům z dostupné literatury, avšak tyto podklady disertant vcelku vhodně využil pro svoji práci a provedení praktického experimentu.

V úvodu (1 – Introduction – 6 stran) je nejprve uvedena velmi stručná literární rešerše z oblasti pohonů odolných vůči poruchám se zaměřením na synchronní motory s vinutím a permanentními magnety na statoru s implementací řízení se spínaným magnetickým tokem. Na jejím základě je pak stanoven cíl disertace a jeho dekompozice

do pěti dílčích cílů. Z textu však není zcela zřejmé směřování do leteckých aplikací – viz druhý dílčí cíl.

Další kapitola (2 *Position control of PM synchronous AC servomotor based of vector control* – 31 stran) obsahuje popis a princip a princip činnosti synchronního motoru s permanentními magnety, odvození matematického modelu stroje v souřadnicích  $d$ - $q$  a tento model byl implementován do prostředí Matlab-Simulink a v něm i ověřen. Zbytek kapitoly je věnován problematice vektorového řízení motoru, včetně konceptu napájecího měniče (VSI – PWM) s tranzistory IGBT, přičemž se předpokládá struktura s uzavřenou polohovou, rychlostní a proudovou smyčkou. U návrhu řízení jsou sice uvedeny konkrétní časové konstanty v přenosových funkcích regulátorů proudu a rychlosti, ale postup, jak byly získány, je uveden poněkud vágně. U vztahů (2. 21) a (2. 22) pak postrádám definici výstupní a vstupní veličiny, u simulací pak postrádám stanovení dynamických parametrů zátěže.

Třetí kapitola (*Flex-switching permanent magnet synchronous machine* – 9 stran) obsahuje popis a výklad principu činnosti trojfázového FS – PMSM motoru se dvěma nezávislými navzájem izolovanými vinutími a jeho matematický model v souřadnicích  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  (jedno vinutí), a  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$  (druhé vinutí), a dále uvádí způsob získání modelu v souřadnicích  $d$ ,  $q$ .

Obsah čtvrté kapitoly (*FS – PMSM drive system* – 24 stran) je zaměřen na návrh topologie pohonu, odolného vůči výše stanoveným poruchám, přičemž tato topologie je založena na použití napěťového střídače. Je zde prezentován originální způsob napájení FS-PMSM odolného vůči poruchám ze dvou samostatných vektorově řízených napěťových měničů. Rovněž je prezentována strategie MTPA pro zachování maximálního kroutícího momentu v celém rozsahu otáček.

V páté kapitole (*Fault-tolerant FS – PMSM drive control* – 8 stran) jsou nejprve uvedeny obecné požadavky na odolnost systémů vůči poruchám a možné poruchy elektrického stroje, měniče a řídicí elektroniky, a poté je popsána strategie řízení odolného vůči poruchám pro dvojitý FS – PMSM motor pro oba provozní stavy – normální a poruchový. Tato strategie je východiskem pro simulační ověření v prostředí Matlab/Simulink

Šestá kapitola (*Simulation results* – 17 stran) je orientována na výsledky simulací, zaměřených na ověření přístupu, prezentovaného v předchozí kapitole. Jsou zde uvedeny průběhy rychlosti a obvodový veličin motoru pro případ bezporuchového stavu pohonu, i pro oba typy stanovených poruch. Z výsledků těchto simulací plyne, že zvolená strategie řízení je správná a je možno přistoupit k ověření praktickým experimentem. Přesto mám dotaz k Obr. 6. 2, 6. 3 a 6. 5 – je nárůst rychlosti skutečně lineární? – a k Obr. 6. 13 – opravdu se pulsace momentu neprojeví na rychlosti? Jaké jsou mechanické parametry zátěže (moment setrvačnosti, tlumení, zatěžovací moment)?

Kapitola sedmá (*Experimental drive system* – 30 stran) popisuje verifikační experiment. Je zde podrobně popsán maquineware a hardware experimentálního pracoviště, hardware měniče a hardware řízení, které je založeno na signálním procesoru Texas Instruments TI C6713 a FPGA Actel ProAsic3. Dále jsou uvedeny výsledky praktických experimentů v porovnání s výsledky simulací pro ustálený stav a pro vybrané případy přechodových stavů. Zde se ukazuje – viz Obr. 7. 20 a Obr. 7. 22 – že naměřené hodnoty nejsou zcela v souladu s výsledky simulací. Přesto však obsah kapitoly přesvědčivě dokazuje správnost zvoleného řešení stanoveného problému a prokazuje splnění podstatných cílů disertace.

V osmé kapitole (*Conclusion and future work* – 5 stran) disertant shrnuje obsah práce a formuluje závěry z práce plynoucí včetně doporučení pro další práci na daném

problému. Se zde uvedeným v podstatě souhlasím, bohužel zde chybí formulace vlastních přínosů disertace pro rozvoj vědní disciplíny a pro praxi.

#### **K požadovaným bodům posudku uvádím:**

1. Námět práce odpovídá oboru disertace a její téma je nepochybně aktuální, protože zvyšování výkonnosti servomotorů s permanentními magnety a zajištění bezporuchové činnosti pohonů s těmito motory je podmínkou jejich aplikace v kritických aplikacích. Výsledky práce odpovídají tématu disertace a jsou beze sporu v dalším výzkumu a vývoji a v technické praxi využitelné.
2. Disertace beze sporu obsahuje původní a přínosné části. Disertant vytvořil matematický a simulační model dvojitého synchronního stroje s permanentními magnety a se spínaným tokem, navrhl a simulačně ověřil originální metodu řízení tohoto stroje pro normální režim práce a pro stanovené poruchové režimy zvoleného stroje. Zvolené metody zpracování jsou adekvátní řešené problematice. Disertant vhodně využil dostupných technických poznatků, tyto aplikoval na jí vytvořené modely a výsledky získané modelováním ověřila praktickým experimentem. Provedla také vyhodnocení simulačních a praktických experimentů a experiment potvrdil použitelnost zvoleného přístupu. Přesto, že všechny dílčí cíle nebyly splněny beze zbytku, disertace v potřebné míře splnila stanovený cíl.
3. Jádru práce bylo na potřebné úrovni publikováno. Publikační činnost disertanta obsahuje 13 titulů (dva vysoké kvality), ale pouze u pěti, a to nepřilíš prestižních publikací, je jediným autorem. Proto bych pro další odborný růst disertantovi doporučoval více samostatných publikací v zahraničí. K seznamu publikací poznamenávám, že citace nejsou úplné – pro snadné vyhledání chybí ISSN, případně IBSN.
4. Ze seznamu vědecké činnosti disertanta vyplývá, že tento vykazuje potřebnou vědeckou erudici. Je schopen samostatné tvůrčí práce, dokáže pracovat v týmu a prosadit se v odborné komunitě.

#### **Závěr:**

Celá disertační práce svědčí o tom, že disertant ovládá metody vědecké práce, má potřebné teoretické a praktické dovednosti v oboru, je schopen přinášet nové teoretické poznatky a v technické praxi je aplikovat.

Pan Ing. Mustafa Osman Elryah Aboelhassan prokázal schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu a vývoje a tím splnil podmínky stanovené v § 47, odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách. Proto doporučuji, aby mu byl po úspěšné obhajobě udělen akademický titul

**„doktor (Ph.D)“.**

Kromě reakce na dotazy uvedené v posudku požaduji během rozpravy zodpovězení následujících otázek:

1. Porovnejte Vámi navržené řešení pohonu s řešením se dvěma BLDC motory na společném hřídeli! V čem je Vaše jistě originální řešení lepší?
2. Je opravdu řízení měniče schopno v případě obou stanovených poruch (přerušení fáze, zkrat fáze) uřídít motor tak, aby nevznikly pulsace momentu během jedné otáčky motoru?
3. Součástí přípravy experimentu jistě bylo i software řízení – podílel jste se na jeho tvorbě?
4. Uveďte, v čem Vy sám spatřujete přínos disertační práce pro rozvoj vědní disciplíny!

Doc. Ing. Vladislav Singule, CSc.  
Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně  
Technická 2  
616 69 Brno

V Brně dne 4. listopadu 2013