POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Strategie MTPA (Maximum Torque per Amper) v elektrických pohonech s asynchronními pohony
Jméno autora:	**Bc. Monika Kotyk**
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra elektrických pohonů a trakce
Oponent práce:	Ing. David Havelka, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	PEG, spol. s r.o.

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **průměrně náročné**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Přestože se v případě vektorového řízení asynchronního motoru jedná o téma relativně náročné, je vzhledem k široké rozšířenosti velmi dobře zpracováno v dostupné literatuře. Samotný popis vektorového řízení, resp. návrh jeho simulačního modelu by byl v současné době jako téma diplomové práce již nedostatečný. Zadání práce se však zaměřuje na strategie MTPA, což práci činní adekvátně náročnou.

Splnění zadání **splněno**

Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.

Všech pět bodů zadání diplomové práce autorka splnila.

Zvolený postup řešení **správný**

Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.

Zvolený postup řešení je správný. Autorka postupuje obvyklým způsobem, když po teoretickém úvodu přechází k vysvětlení hlavního tématu práce (strategie MTPA), a dále pak k popisu navrhovaných modelů řízení. V závěrečné části autorka uvádí výstupy simulací a závěrečné hodnocení. Rozsah jednotlivých částí práce je vyvážený.

Odborná úroveň **A - výborně**

Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Autorka v práci osvědčila odborné zvládnutí problematiky. V textu práce se nevyskytují pasáže, které by zavdávaly podnět k úvahám, zda autorka tématu dostatečně porozuměla.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce **A - výborně**

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Práce splňuje všechny formální požadavky. Text je poměrně stručný, přesto dobře srozumitelný**.** Jazyková úroveň práce je také velmi dobrá. V práci jsem prakticky nezaznamenal překlepy ani jiné typografické nebo gramatické nesrovnalosti. Některé obrázky by však mohly být vloženy v lepší kvalitě (např. obrázek č. 7.1.). U dalších obrázků by pak bylo vhodné volit měřítko (např. obrázky 7.9, 7.11, 7.12). Na str. 58 jsou pak špatně označeny jednotky svislých os zobrazených grafů.

Výběr zdrojů, korektnost citací **B - velmi dobře**

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Výběr zdrojů je správný, uvedené zdroje jsou stále také relativně aktuální. Vzhledem k velké šíři dostupných pramenů týkajících se vektorového řízení s orientací na magnetický tok by však práce s literaturou mohla být rozsáhlejší**.** S citacemi pracuje autorka rovněž správně.
Práce nicméně vykazuje určitou podobnost (spíše však obsahovou, nikoli doslovnou) s diplomovou prací Bc. Václava Kotyka, která je obhajována souběžně s prací autorky. Lze se tak důvodně domnívat, že při zpracování některých částí práce, zejména teoretického popisu vektorového řízení, a dále pak také při tvorbě samotných matematických modelů pro prostředí Matlab Simulink docházelo ke spolupráci. Taková spolupráce samozřejmě není na škodu, naopak může být přínosná. V každém případě by však každá takové spolupráce měla být v práci zmíněna, resp. by mělo být z diplomové práce zřejmé, co je vlastním originálním výstupem autora, a na kterých částech práce, resp. matematických modelů spolupracoval. Žádnou takovou zmínku jsem však v práci autorky nenalezl. (Zmínku jsem nenalezl ani v práci Bc. Václava Kotyka)

Další komentáře a hodnocení
Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.
Viz celkové hodnocení uvedené níže.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Práci hodnotím svojí celkovou kvalitou jako nadprůměrnou. Autorka splnila všechny body zadání, prokázala dobré odborné zvládnutí tématu, stejně jako schopnost samostatně řešit a prezentovat úkoly v rámci akademické práce. Práce je psána věcně a přehledně, veškerým bodům zadání je věnována adekvátní pozornost. Rovněž zvolený postup řešení považuji za správný. Zvláště kladně pak hodnotím dostatečný rozsah části věnované prezentaci výsledků simulací, kdy autorka dobře vybrala průběhy relevantních výstupů simulací a v dostačeném rozsahu je prezentovala, stejně jako je v dostatečném rozsahu (a věcně zcela správně) slovně zhodnotila. V mnoha obdobných pracích se přitom po rozsáhlém úvodu (mnohdy převzatém) setkáváme s nedostatečnou prezentací vlastních výstupů a jejich nedostatečným zhodnocením.
Ocenit lze i (zřejmě původní) navrženou variantu jedné z metod optimalizace dynamiky řízení odbuzeného asynchronního stroje (str. 26), která se zdá být principiálně správná, a i prezentované výsledky simulací naznačují její praktickou použitelnost.

I přes výše uvedené kladné hodnocení bych měl k práci některé drobné připomínky:

1. U metody řízení toku založené na minimalizaci činných ztrát motoru (Loss minimization control) na str. 22 autorka (oproti originálnímu zdroji v literatuře) zanedbává ztráty v železe, neboť jí používaný zjednodušený matematický model se ztrátami v železe nepočítá. Ztráty v železe však při určování účinnosti asynchronního stroje jistě nejsou zanedbatelné, a je tak relevantní otázkou, zda lze ztráty v železe právě při metodě založené na minimalizaci ztrát zanedbat. Této relevantní otázce se však autorka nijak nevěnuje. Tato otázka je v kontextu práce o to významnější, že pokud zanedbáme ztráty v železe, z elektrických ztrát nám zbydou pouze ztráty ve vinutí (Jouleovy), které jsou ovšem závislé na velikosti proudu asynchronního stroje. V takovém případě by ale takto zjednodušená metoda řízení velikosti toku mohla splývat s druhou v práci popisovanou metodou řízení toku, která je založena právě na minimalizaci proudu asynchronního stroje. Tomuto předpokladu ostatně napovídají i prezentované (dosti podobné) výsledky simulací, byť např. na obr. 8.36 jsou patrné rozdílné výsledky obou metod v určení tokotvorného proudu.
2. U obou v práci simulovaných MTPA metod řízení toku jsou v jejich základní verzi (bez optimalizačních kritérií) používány struktury, které omezují velikost tokotvorné složky proudu na jeho jmenovitou

hodnotu, tj. na hodnotu, která odpovídá v ustáleném stavu jmenovitému toku. Tímto nastavením jsou ovšem tyto metody při porovnání s optimalizovanými metodami dosti „poškozeny“. I u základního nastavení totiž není vhodné omezovat tokotvornou složku proudu na takto nízké hodnoty, neboť to výrazně snižuje dynamiku pohonu (viz např. rovnice 4.6). Proti přesycení motoru se lze bránit omezením rotorového toku, nikoli nutně též omezením tokotvorné složky proudu. Například v regulační struktuře MTPA strategie (i1d = i1q) znázorněné na obr. 5.3. by bylo vhodnější omezovat tokotvornou složku proudu na jmenovitou hodnotu až v okamžiku, kdy by tok motoru dosáhl jmenovité hodnoty. Takovéto jednoduché řešení by dynamiku pohonu výrazně zlepšilo, a umožnilo by pak zajímavé porovnání s oběma dalšími v práci simulovanými optimalizačními opatřeními. To vše pochopitelně za předpokladu současného doplnění mechanismu řízení priorit rozdělení maximálního statorového proudu do tokotvorné a momentotvorné složky (pokud tuto funkcionalitu již základní model neobsahuje).

Na autorku bych měl několik doplňujících dotazů:

1. Jaký si myslíte, že má zanedbání ztrát v železe vliv na matematický model strategie MTPA založený na minimalizaci činných ztrát?
2. Z jakého důvodu není regulační schéma zobrazené na obr. 5.4, tj. schéma vektorového řízení s minimalizací činných ztrát (bez optimalizačních opatření) schopno dosáhnout na výstupu regulátoru toku většího žádaného tokotvorného proudu než cca 11 A (obr. 8.24), kterýžto proud zřejmě odpovídá jmenovité hodnotě tokotvorného proudu? Maximum vektoru celkového proudu statoru (daného štítkovým proudem) se přitom pohybuje někde okolo 31 A. Je výstup regulátoru toku nějak omezen? Je zde nějak řešena priorita rozdělení požadovaných složek (tokotvorné a momentotvorné) statorového proudu tak, aby pouze ve své přeponě, tj. velikosti celkového vektoru statorového proudu nepřekročily obě tyto složky celkový jmenovitý statorový proud motoru?

Vzhledem k výše uvedenému práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře.**

Datum: 9.6.2022 Podpis: Ing. David Havelka, Ph.D.