

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Algorithms for Advanced Motion Control Using Permanent Magnet Synchronous Motors and Brushless DC Motors
Jméno autora:	Lukáš Černý
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Department of Control Engineering
Oponent práce:	Doc. Ing. Michal Kvasnica, PhD.
Pracoviště oponenta práce:	Slovenská technická univerzita v Bratislave, Slovensko

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Cieľom práce je návrh a implementácia prediktívneho riadenia pre DC motory. Zadanie pozostáva zo 6 bodov: opis a matematické modelovanie PMSM motorov, vysvetlenie hlavných konceptov riadenia takýchto motorov, prehľad prediktívnych prístupov k riadeniu motorov, výber, implementácia a simulačné overenie prediktívneho riadenia, voľba hardvérovej platformy a experimentálne overenie. Ide o zadanie z kategórie náročnejších, keďže si vyžaduje zvládnutie techník modelovania, simulácie, optimalizácie a hardvérovej implementácie.	

Splnění zadání	splněno s menšími výhradami
<i>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.</i>	
Zo 6 bodov zadania práca splnila 5, pričom nesplnený (zrejme aj ako dôsledok situácie spôsobenej vírusom COVID-19) ostal posledný bod – experimentálne overenie prediktívneho riadenia. Dôvody študent podrobne špecifikuje v kapitole 5, aj keď mohla byť táto kapitola obsírnejšia a študent v nej mohol analyzovať problém viac do hĺbky. Ostatné body zadania boli splnené. Opis a matematické modelovanie synchronných motorov je detailne rozoberaný v kapitole 2 a prílohe A, kde sú detailne rozoberané všetky nuansy vrátane reportovania exaktných matematických vzťahov. Prehľad dostupných riadiacich prístupov (PI regulátory a dva typy prediktívnych regulátorov) sú podrobne opísané v kapitole 3 a prílohe B. Tu mi však chýba obsírnejšia diskusia výhod/nevýhod CCS a FCS prístupov k prediktívnemu riadeniu. Simulačnému overeniu regulátorov je venovaná kapitola 4.	

Zvolený postup řešení	vynikající
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Na syntézu prediktívnych regulátorov študent použil dva prístupy – tzv. Continuous-Control-Set (CCS) prístup a metódu Finite-Control-Set (FCS). CCS prístup má výhodu v tom, že vediet na konvexný optimalizačný problém, ktorý má potenciál byť riešiteľný v reálnom čase. FCS prístup vyžaduje použitie vetvenia pri riešení optimalizačného problému, čo zvyšuje časovú náročnosť riešenia. Je potrebné poznamenať, že oba prístupy sú dobre dokumentované vo svetovej literatúre. Ich využitie na konkrétny prípad PMSM motorov je teda adekvátne. V práci však absentuje detailnejšia analýza výpočtového času potrebného na riešenie CCS a FCS problémov, predovšetkým ako funkcia dĺžky predikčného horizontu. Po technickej a matematickej stránke je však zvolený postup riešenia správny.	

Odborná úroveň	A - výborně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Práca je po odbornej stránke na dobrej úrovni, matematické vzťahy sú správne zapísané, zámery autora sú jasne formulované a teda pre čitateľa pochopiteľné.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

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

Práce je po formálnej stránke na vysokej úrovni. Kladne hodnotím, že je napísaná v angličtine. To umožní, aby bola nápomocná aj iným študentom mimo ČVUT. Obrázkom by však prospela lepšia grafická úprava, keďže sú často príliš malé a popisky na osiach ťažko čitateľné. Práca obsahuje zopár preklepov a nepresných anglických formulácií (napr. aj chýbajúce členy, predovšetkým neurčité), čo je však pochopiteľné, keďže angličtina nie je autorovým materinským jazykom.

Výběr zdrojů, korektnost citací

A - výborně

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, 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.

Práca sa odkazuje na 20 zdrojov, ktoré boli vhodne zvolené, sú aktuálne a sú správne citované.

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.

Hodnotu práce vidím predovšetkým v detailnom vysvetlení modelovania synchrónnych motorov a prehľade dostupných metód prediktívneho riadenia pre tieto systémy. Simulačné výsledky ukazujú, že metódy riadenia boli vhodne zvolené, aj keď mi chýba detailnejšia analýza vplyvu laditeľných parametrov na kvalitu riadenia (predovšetkým na redukciu oscilácií v okolí žiadanej hodnoty). Hardvérová implementácia a experimentálne overenie bohužiaľ absentujú, zrejme z dôvodov spojených s coronakrízou. Študent však mohol aspoň analyzovať výpočtovú náročnosť jednotlivých metód prediktívneho riadenia na zvolenej hardvérovej platforme.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

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

Predložená diplomová práca je na dobrej technickej úrovni. Poskytuje ucelený a detailný prehľad modelovania synchrónnych motorov ako i rôznych prístupov k syntéze prediktívnych regulátorov. Jednotlivé matematické formulácie sú jasné a presné. Simulačné overenie demonštruje efektivitu zvoleného prístupu. Jediným negatívom práce je absencia hardvérovej implementácie a experimentálneho overenia jednotlivých regulátorov.

Otázky:

- V kapitole 2.6 spomínate možnosť využitia Eulerovej diskretizácie. Tá však niekedy môže viesť k nestabilnému priebehu. Aké iné, relatívne jednoduché, prístupy k diskretizácii by ste vedeli aplikovať?
- V kapitole 2.8 sú podrobne rozoberané ohraničenia, avšak v kapitole 4 nie je jasné, akým spôsobom si s týmito ohraničeniami poradil PI regulátor. Išlo iba o použitie obyčajnej saturácie akčných zásahov? Navyše takáto saturácia sa dá použiť iba na vynútenie vstupných ohraničení, ale nie stavových. Prosím o vysvetlenie, akým spôsobom boli vynútené/dodržané stavové ohraničenia v simuláciách.
- Pripomienka: vo vzťahu (3.11) je zbytočné uvádzať premennú „z“, keďže tá v rovniciach nevystupuje a objavuje sa až v (3.12). To isté platí pre rovnice (3.18).
- Sú pri reálnej implementácii k dispozícii merania všetkých stavových premenných? Ak nie, akým spôsobom by ste ich odhadovali?
- Pri reálnej implementácii bude potrebné uvažovať s odchýlkou medzi predikčným modelom a reálnym správaním motora. Preto by bolo vhodné v predikčných rovniciach (3.11b), (3.11c), (3.18b) a (3.18c) uvažovať s dodatečnou poruchou, ktorú je navyše potrebné vhodne odhadovať. Môžete sa vyjadriť

k tomuto konceptu, ktorý je v komunite prediktívneho riadenia známy pod názvom „disturbance modeling“?

- Pripomenka: v rovniciach (3.11) a (3.18) chýba označenie, aké hodnoty nadobúda premenná „k“ (malo by to tam byť ako v rovniciach (3.12f) a (3.20g))
- Môžete okomentovať časovú náročnosť riešenia CCS a FCS problémov počas simulácií, predovšetkým vzhľadom k zvolenému vzorkovaniu, ktoré je 25 kHz resp. 500 kHz?
- Prečo je v CCS prístupe (kap. 4.1.2) zvolená vzorkovacia frekvencia 25 kHz, ale v FCS metóde (kap. 4.1.3) je to až 500 kHz?
- Na obrázku 4.1 (b) je pekne vidieť, že prediktívny regulátor začína reagovať ešte pred zmenou referencie, keďže uvažujeme, že poznáme jej budúci priebeh (ide teda o tzv. „trajectory preview“). Na obrázku 4.1 (c) sa však zdá, že žiaden „preview“ nebol použitý. Prosím o vysvetlenie.
- Aký solver ste použili na riešenie FCS problému, ktorý si vzhľadom na diskretný tvar množiny „U“ v (3.19) vyžaduje vetvenie?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře.**

Datum: 28.8.2020

Podpis: