

## **Oponentní posudek na diplomovou práci Simona Kalomba na téma „Sensorless vector control of synchronous permanent magnet motor implemented on DSP“**

Diplomová práce Simona Kalomba je orientována na problematiku simulačních výpočtů, implementace a ověření regulační struktury otáček pro vysokootáčkový synchronní motor s permanentními magnety s bezsenzorovým vyhodnocováním úhlového natočení rotoru. Cíle práce zahrnují získání orientace v problematice bezsenzorového vyhodnocování úhlového natočení rotoru s využitím odpovídajících literárních zdrojů, návrh a implementaci simulačního modelu motoru a odpovídající regulační struktury, implementaci řídicích algoritmů v DSP a ověření funkčnosti a vlastností simulačního modelu a reálného pohonu. Diplomant všechny cíle práce splnil ve velmi dobré kvalitě.

V první části práce jsou shrnuty základní poznatky o matematickém modelu a vektorové regulaci momentu synchronního motoru s permanentními magnety. Následuje kapitola s poměrně důkladným rozbořem možných přístupů při bezsenzorovém vyhodnocování úhlového natočení rotoru synchronního stroje s permanentními magnety, kde autor odpovídajícím způsobem čerpal z literatury.

Pro svou práci diplomant zvolil využití algoritmu bezsenzorového vyhodnocování, který je založen na určování úhlového natočení rotoru z průběhu indukovaného napětí statoru, průběh indukovaného napětí je určen pomocí rozšířeného Kalmanova filtru pro nelineární systémy.

V další části práce jsou popsány algoritmy, které diplomant uplatnil při vývoji simulačního modelu v prostředí Matlab Simulink. Vyvinutý simulační model zahrnuje část motoru a měniče a dále část regulační struktury. Regulační struktura byla implementována s ohledem na její převod do kódu DSP pro realizaci experimentální části práce. Regulační struktura zahrnuje standardní bloky (blok paralelní regulace složek fázoru proudu statoru, bloky transformací souřadnic, blok šířkově pulsního modulátoru, regulátor otáček) a dále bloky, jejichž implementace je těžištěm tvůrčího přínosu diplomanta (rozšířený Kalmanův filtr, algoritmus startu pohonu z nulových otáček). Pro určení úhlového natočení rotoru z průběhů složek indukovaných napětí využil diplomant fázového závěsu.

V další části autor prezentuje výsledky simulačních výpočtů, nejprve pro zjednodušenou formu výkonového měniče jako zdroje spojitého napětí a následně v reálné formě jako zdroje, který pracuje se šířkově pulsní modulací. Z výsledků simulačních výpočtů a z uvedených průběhů simulovaných veličin pohonu je zřejmá funkčnost metody i simulačního modelu. Podrobně jsou zdokumentovány časové průběhy veličin při startu pohonu a při přechodu ze startovacího módu s proudově frekvenční regulací do módu s vektorovou regulací a bezsenzorovým vyhodnocováním úhlového natočení rotoru (implementovaná metoda bezsenzorového vyhodnocování není z principu použitelná od nulových otáček).

V následující části práce je popsána implementace regulační struktury v DSP TMS320F28379D. V experimentální části práce diplomant využil HW vybavení Odboru elektrotechniky a soustředil se na vývoj SW části. Uplatnil zde výsledky simulačních výpočtů s podporou generování kódu pro použitý DSP. Při návrhu algoritmu vyšel diplomant z informací v literatuře o implementaci v hradlovém poli a modifikoval implementaci metody pro DSP. V této části práce jsou rovněž uvedeny významné parametry komponent experimentálního pracoviště.

V závěrečné části jsou prezentovány výsledky experimentů a porovnání s výsledky simulačních výpočtů. Diplomant provedl rozbor výsledků a zhodnotil především vliv velikosti rychlosti pohonu na zvlnění hodnoty rychlosti estimované. Dále ověřil vlivy spojené s rychlostí výpočtu regulační struktury – vliv využití jednoho nebo dvou jader DSP, vliv podoby popisu soustavy a výpočtu Kalmanova filtru (popis 1x čtvrtý řád/2x třetí řád). Z výsledků simulačních výpočtů a experimentů je zřejmá funkčnost metody a splnění cílů práce.

V rámci diplomové práce diplomant prokázal dobrou schopnost zorientovat se v dané problematice, schopnost využívat účelně prostředky pro simulaci dynamických soustav pro vývoj regulačních metod, prokázal i schopnost výzkumné a vývojové práce na experimentální úrovni.

Po formální stránce je práce zpracována pečlivě a přehledně, má logickou stavbu, překlepy se v ní prakticky nevyskytují, kvalita grafické části je velice dobrá. V grafické části jsou hůře čitelné jen popisky na výřezech grafického zadání programu v prostředí Matlab Simulink. Student vhodně pracuje s informačními zdroji a používá odpovídající odkazy na použitou literaturu.

K práci mám tyto dotazy resp. připomínky:

1. Na straně 8 v rovnici 2.11 (pohybová rovnice pohonu) správně nemá být žádná závislost na P (počet pólových dvojic).
2. Předpokládáte, že by Vámi navržená a implementovaná metoda mohla být použita i v režimu odbuzování?
3. Obr. 6.7 – proč jsou průběhy složek proudů rozkmitané v okolí času 40 s?
4. Jak jste ladil parametry regulační struktury (regulátory, Kalmanův filtr)?
5. Jsou-li zvlněné hodnoty estimovaných otáček (v oblasti nízkých rychlostí), lze předpokládat nežádoucí zvlnění i u průběhu estimovaného úhlového natočení rotoru. Jaký má tato skutečnost dopad na průběh reálného momentu stroje?

**Předloženou práci doporučuji k obhajobě a hodnotím stupněm A.**

V Praze dne 20.6. 2022

prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.