

9

ZÁVĚRY

9.1 Přehled výsledků

Podstatným výstupem této práce je funkční moderní elektrický pohon. Výkonový měnič je tvořen 3-fázovým napěťovým IGBT střídačem, který je schopen vyprodukovat na svém výstupu pulsní napětí o amplitudě 1200V (záleží na velikosti a charakteru napětí v DC meziobvodu) a proud až 50A. Maximální modulační kmitočet je 20kHz. Součástí měniče jsou i měřicí obvody pro snímání napětí a proudů na vstupu i výstupu střídače. Spínáním výkonových prvků dle řídicího algoritmu a zpracování měřených signálů je prováděno rychlým signálovým procesorem Motorola DSP56F805, který reprezentuje ve své kategorii velmi vysoký standard.

Celý systém je vhodný pro aplikaci moderních způsobů řízení nejen asynchronních, ale i bezkomutátorových DC motorů (*BLDC*) a synchronních motorů s permanentními magnety (*PMSM*).

S pomocí tohoto pohonu byla realizována otáčková regulace asynchronního motoru bez použití čidla rychlosti na principu metody přirozeného řízení (*Natural Field Orientation – NFO*).

Metoda přirozeného řízení (NFO) vyžaduje specifickou kombinaci hardwarových a softwarových prostředků. Z tohoto důvodu se její realizace, narozdíl od vlastního principu, stává poměrně náročnou. Přesto se mi podařilo docílit výsledků, které dokazují, že je navržena metoda vhodná pro řízení rychlosti standardního asynchronního motoru bez použití čidla otáček. Nejlepší přesnost a robustnost vykazuje systém při konstantním zatížení motoru a nižších otáčkách, což by jej mohlo předurčovat k použití v aplikacích jako jsou výtahy, nebo jeřáby.

Číslicová realizace matematického modelu ASM dle metody NFO je skutečně velmi nenáročná na strojový čas procesoru. To umožňuje její implementaci i na pomalejších DSP, anebo využití výpočetní kapacity pro jiné výpočty, jenž zkvalitní celkovou regulaci, jako je například on-line identifikace parametrů motoru a střídače, použití sofistikovanějších regulátorů anebo zavedení diagnostických algoritmů.

Výsledky realizace potvrdily vysoké nároky metody na přesnou informaci o fázovém napětí motoru. Tu jsem získával z vnitřních napěťových signálů vstupujících do PWM modulatoru s použitím kompenzace nelinearit střídače. Tato kompenzace se ale ukázala jako málo účinná pokud je použita rychlá proudová regulace. Důvodem je poměrně velká ochranná doba (*deadtime*), jenž je výrobcem IGBT modulu doporučena 3 μ s a vysoká

modulační PWM frekvence 16kHz. Přesnost rekonstrukce okamžité hodnoty statorového napětí by se zlepšila při použití IGBT tranzistorů a budících obvodů, jenž by vyžadovaly menší ochrannou dobu a při nižší spínací frekvenci.

Celková kvalita regulace je znatelně degradována při použití nepřesných hodnot parametrů ASM. Týká se to hlavně odporu statorového vinutí a magnetizační indukčnosti při vyhodnocování synchronní frekvence (potažmo transformačního úhlu) a časové konstanty rotoru při vyhodnocování mechanických otáček motoru.

I přes uvedené problémy je tato ve své podstatě velmi jednoduchá metoda vhodná pro použití v otáčkové regulaci ASM bez čidla rychlosti.

9.2 Návrhy pro další rozvoj

Návrhy na vylepšení lze rozdělit dle toho, zda se týkají přístrojového vybavení (hardware), anebo způsob implementace dané metody řízení na platformě signálového procesoru (software).

Vylepšení HW

Prostředí laboratoře je velice výrazně poznamenáno elektromagnetickými rušivými vlivy. To je samozřejmě dáno samotným účelem laboratoře, neboť se v ní (a v okolních místnostech) provozují často nestandardní přístroje, zařízení či prototypy, které mají ve svém stádiu vývoje a testování často nepředvídatelné účinky na své okolí. Toto rušení v případě elektrického pohonu negativně ovlivňuje hlavně měřené elektrické signály. Rušení však lze různými způsoby více, či méně potlačit, a právě v této oblasti lze očekávat nejbližší změny.

Zároveň bych chtěl docílit co nejpřesnějšího měření skutečných otáček motoru. Budto lze vylepšit charakter a přenos budícího a výstupních signálů resolveru, anebo vhodným způsobem instalovat ke společné hřídeli řízeného ASM a brzdného DC motoru nové inkrementální čidlo.

Napětí a proudy lze v elektrickém pohonu snímat různými způsoby. Při volbě záleží na tom, zda upřednostňujeme levnou, anebo přesnou variantu. Proto by bylo velice cenné otestovat všechny dostupné technologie a metody měření a na základě komplexní analýzy vyhodnotit, které jsou vhodné pro použití ve střídavých pohonech.

Abychom mohli kvalitně testovat vektorově řízený motor, musíme mít k dispozici regulovatelnou zátěž. Zatím jsem používal cize buzený motor, ovšem bez jakékoliv regulace (otáček nebo proudu). Proto se budu snažit prosadit nákup vhodného měniče pro napájení a regulaci zátěžného DC motoru.

Vylepšení SW

V případě algoritmů pro bezsenzorové řízení ASM bude vždy prostor pro vylepšování. U realizované metody NFO je to v první řadě způsob rekonstrukce statorového napětí, které spolu se statorovým proudem velmi podstatně ovlivňuje celkovou kvalitu regulace otáček. Je třeba při rekonstrukci napětí zohlednit všechny vlivy, které na něj působí a docílit toho, aby do matematického modelu motoru v DSP vstupoval takový tvar napětí, který je co nejvíce podobný skutečnému průběhu napětí na svorkách motoru.

Dalším problémem je co nejpřesnější identifikace vnitřních parametrů ASM. Jejich kolísání s teplotou nebo zatížením s sebou přináší rozladění matematického modelu ASM, a tudíž chybné výpočty vnitřních veličin, což degraduje přesnost regulace.

Výhledově bych chtěl do regulačního algoritmu zakomponovat blok pro diagnostiku poruch motoru a měniče, případně jejich včasné předvídaní.

9.3 Osobní přínos problematice

Od teoretického zpracování nové řídicí metody a případné simulace na PC k její úspěšné praktické realizaci vede velice komplikovaná cesta. Vyžaduje jednak teoretické znalosti, ale hlavně praktické zkušenosti s velice širokým záběrem v celé oblasti elektrotechniky. Během práce na tomto projektu jsem musel řešit technologické problémy, o kterých jsem na počátku ani netušil, že vyvstanou. Mnohé z těchto problémů jsem ani uspokojivě nedořešil, neboť byly často nad rámec této práce. Témata jako identifikace a adaptace parametrů ASM, komplexní analýza a kompenzace nelinearit napěťového střídače, nebo vhodný způsob snímání proudů a napětí ve střídavém pohonu, by mohla být náplní samostatné disertační práce.

Konkrétně řešený nový způsob řízení asynchronního motoru se mi nyní jeví jen jakousi třešničkou na dortu v porovnání s celkovým fungujícím systémem vytvořeným v laboratoři FEL ČVUT. S drobnými úpravami jsem schopen na něm realizovat většinu moderních způsobů regulace otáček a momentu motoru.

Na katedře elektrických pohonů a trakce se již několik let implementují pohonářské aplikace na platformě signálového procesoru firmy Texas Instruments. Použití DSP Motorola je tedy jakousi novinkou, a právě tento projekt dokázal, že jsou oba typy pro oblast řízení elektrických motorů srovnatelné. I nadále budou vznikat nové aplikace na obou platformách. Věřím, že praktické srovnání obou typů DSP povede ke konkrétnímu vylepšení řídicích desek a pomocného vývojového programového prostředí.

Celá tato práce bude prezentována v elektronické podobě na internetové adrese <http://disertace.kadanik.cz>. Kromě textů uvedených v této tištěné verzi budou na stránkách dokumenty a odkazy související s mikroprocesorovým řízením střídavých pohonů. Zdrojový kód realizovaného řídicího algoritmu pro DSP Motorola poskytnu vážným zájemcům po osobní domluvě.

Obsah

POVINNÁ ČÁST II. **1**

9.1	PŘEHLED VÝSLEDKŮ	1
9.2	NÁVRHY PRO DALŠÍ ROZVOJ	2
9.3	OSOBNÍ PŘÍNOS PROBLEMATICE	3