

Oponentský posudek disertační práce

Autor práce: Ing. Dušan Janík
Název disertační práce: Univerzální modulátor s aktivním balancováním a modulární strukturou pro víceúrovňové měniče

Oponent: Ing. Pavel Cejnar, Ph.D.
Elektrizace železnic Praha a.s.
Náměstí Hrdinů 1693/4a
140 00 Praha 4

Tento oponentní posudek je vypracován na základě žádosti Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni v souladu s požadavky zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a Zásadami studia v doktorském studijním programu na ZČU FEL v Plzni.

1. Aktuálnost řešeného tématu a jeho význam pro praxi a rozvoj oboru

Potřeba použití elektronických výkonových měničů v aplikacích vysokého napětí je stále více zřejmá, ať již se jedná o samotné pohony, které autor v práci zmiňuje především, nebo o energetické systémy průmyslového kmitočtu jako jsou systémy obnovitelných zdrojů, centrální systémy zálohování napájení vyšších výkonů, systémy kompenzace účinnosti apod. Tyto aplikace se ale s ohledem na napětí zatím neobejdou bez víceúrovňových měničů. Předkládaná disertační práce představuje podle mého názoru velmi dobře zvládnutou komplexní studii reálně i ekonomicky použitelných řešení víceúrovňových měničů, kdy funkčnost byla vždy ověřena praktickým měřením s uvedením výsledků.

2. Obsah disertační práce, posouzení zvolené metodiky řešení

a) Obsah disertační práce

Posuzovaná disertační práce sestává ze čtyř hlavních kapitol: úvodu, návrhu modulátorů s rozsáhlejší analýzou vybraných případů, kapitoly věnované univerzálnímu modulátoru pro předem analyzované případy, a závěru se zhodnocením výsledků a obrázkovými přílohami. Samotné řazení do těchto kapitol s podkapitolami zaručuje logickou návaznost práce, volbu více typů topologií považuji za správnou, především díky přínosným výsledkům získaným při reálném ověření.

Při hodnocení obsahu vycházím z faktu, že samotné detailní publikační zpracování tak komplexního tématu práce, tj. modulací i topologií měničů, by vzhledem k jejímu rozsahu zabralo několikanásobně větší obsah, než dovoluji osnovy- autor se ale problematice věnoval i v předchozí publikační činnosti.

V první kapitole autor uvádí současný stav ve zkoumané problematice rozdělením na podkapitoly uvádějící topologie víceúrovňových měničů a algoritmy jejich řízení, posuzuje nároky na hardware, a stanovuje si cíle práce a metodiku řešení. Obr. 1.12 na straně 13 obsahuje zapojení, které je nefunkční a nedává tak smysl- to považuji za hrubou chybu při zpracování disertační práce, kterou je zapotřebí opravit s ohledem na budoucí procházení práce čtenáři.

V druhé kapitole věnované návrhu modulátoru vysvětluje autor způsob získání PWM signálů- kapitola je velmi názorně vysvětlena bez dopadu na rozsah sdělení, to kladně hodnotím. Na druhou stranu obsahuje kapitola některé formální nedostatky:

- u vztahů pro činitel harmonických 2.18 a 2.19 není uveden zdroj výpočtů, který může být i předmětem dalšího zpracování výsledků v celé práci (byť je v grafech obsah vždy uveden do 50.harmonické)
- bez indexace prvků v jednotlivých fázích se zapojení v Obr.2.11 jeví jako nefunkční
- bez indexace prvků v jednotlivých fázích se zapojení v Obr.2.44 jeví jako nefunkční
- s ohledem na tematiku řízení PWM úplně chybí zde zásadní poznámky o mrtvých dobách a způsob jejich řešení v prakticky realizovaných příkladech
- v kap. 2.3.1 je přijato tvrzení „...2/3 spínací periody pro vyvažující, 1/3 pro rozvažující (kombinace)...“ bez ohledu na zdroj takového tvrzení.

Třetí kapitola popisuje řešení univerzálního modulátoru s aktivním balancováním. Výsledky, tzn. stabilní, správně balancující systémy automatického řízení, ukazují na správnost přijatých úvah a správné zpracování řídicího systému. V kapitole ale postrádám praktický dopad přijatých optimalizací ve spínání měniče na zásadní parametr: účinnost měniče.

Rozsah práce včetně obrázkových příloh je 138 stran.

Práce obsahuje několik chyb, které nemají rozsahem dopad na sdělení práce samotné (viz např. str.8 „...řídící jednotka...“, str.11-„...H-můstu...“, str.15-„... vliv na rychlost přirozené balancování...“), dále několik chyb v interpunkci.

Kladně lze hodnotit dobře a pečlivě zpracovaný seznam symbolů a zkratk.

Z formálního hlediska je práce zpracována dobře, až na uvedené nedostatky nemám připomínek.

b) Posouzení zvolené metodiky řešení

Kritériem posouzení zde zvolil autor v kapitole 1.2 nízkou výpočetní náročnost, prakticky je ale významnější z mého pohledu posouzení řešení pomocí obsahů vyšších harmonických na střídavé straně měniče, které ale je také obsahem práce.

3. Posouzení přínosu disertační práce

a) Cíle disertační práce a jejich splnění

Cíle práce stanovené v podkapitole 1.2 byly v řešení v kapitole 3 splněny- kritériem posouzení zde zvolil autor v kapitole 1.2 nízkou výpočetní náročnost, prakticky je ale významnější posouzení řešení pomocí obsahů vyšších harmonických na střídavé straně měniče, které ale práce obsahuje, a které považuji za zásadní v přínosu práce- z práce navíc nevyplývá, že by výpočetní náročnost byla kritickým bodem při realizaci řešení.

b) Výsledky disertační práce, dosažené nové poznatky a jejich přínos pro praxi a rozvoj vědního oboru

Práce zpracovává řešení SVC a rozdělení entit výjimečně přehledným a logickým způsobem- pro budoucí řešitele modulátorů tak bude jistě poskytovat návod, jakým způsobem se lze vyhnout nepřehledným návrhům, které mohou být zdroji častých chyb nebo zdržení ve vývoji. Pro drážní aplikace, citované zde také jako oblast využití, může ve způsobu popisu entit sloužit výborně jako výchozí popis modulátoru pro regulační struktury, které podléhají nejednoduchému schvalování dle ČSN EN 50128 „Drážní zařízení - Sdělovací a zabezpečovací systémy a systémy zpracování dat - Software pro drážní řídicí a ochranné systémy“.

Za významný považuji také jednoznačně rozsáhlý přínos práce pro další snadnější navázání na dosažené výsledky- snadnější proto, že je práce velmi dobře zpracována co do věci výkladu problematiky. Jako téma dalšího navázání bych označil provedení detailních optimalizací, především posuzování ztrát měniče.

4. Hodnocení publikační činnosti autora

Při hodnocení publikační činnosti autora jsem vycházel ze seznamu uvedeného na straně 125- seznam publikací prezentovaných na mezinárodních konferencích, seznamu na straně 126- seznam publikací prezentovaných na českých konferencích, a seznamu výzkumných zpráv na straně 127. Přehled čítá 12 publikací na mezinárodních konferencích, 6 publikací na českých konferencích a 25 výzkumných zpráv. Z rozsahu je zřejmé, že autor výsledky své rozsáhlé práce průběžně dostatečně publikoval, je s problematikou dobře obeznámen, a proto zde nemám námitek.

5. Dotazy a komentáře k disertační práci

K práci uvádím několik dotazů a připomínek, které ale nemají za cíl napadat celkově dobrou odbornou úroveň předkládané práce:

- 1) Vysvětlete funkci zapojení v Obr.1.12 na straně 13
- 2) Str. 20- regulace dosazena do DSC, modulace do FPGA- zkoušel autor, zda DSC zvládne (alespoň u topologií s méně PWM signály) obě funkce, tj. zda lze FPGA úplně vynechat? Jaká jsou pak negativa?
- 3) Str.22 chybí vysvětlení- proč autor vybral právě topologie 9L-CHB, 3L-NPC, 3L-ANPC, a4L-FLC? Jak to souvisí s poslední větou str.22 „...byly vyvinuty simulační kódy pro sedmiúrovňový střídač s plovoucími kondenzátory...“?
- 4) Kap.2.1.1, obr.2.1, poznámka v obr.:“Střídavá trolej“- jaké hodnoty by reálně mohlo dosáhnout napětí na kondenzátorech $U_{C1}-U_{C4}$ při napájení ze střídavé troleje $\sim 25[\text{kV}]50[\text{Hz}]$?
- 5) Uveďte, jak se pro THD liší posuzování dle CENELEC EN50160 s posuzováním dle IEEE-519.
- 6) V kap.2.2.4.5 chybí u entity časování, případně u jiné entity, informace o zajištění mrtvých dob. Jak byly mrtvé doby u prakticky zkoušených aplikací zaručeny?
- 7) V kap.2.3.1- jak vzniklo v kapitole 2.3.1 tvrzení „...2/3 spínací periody pro vyvažující, 1/3 pro rozvažující (kombinace)...“?

- 8) V kap.3.2.5- lze v reálném provozu bez zablokování měniče připustit popsáný stav: „...kondenzátor se bude vybíjet samovolně přes svůj paralelně připojený vybíjecí odpor...“? Jakou uvažujete časovou konstantu vybíjecího obvodu?
- 9) Vzhledem k malému využití zdrojů FPGA do 20%, jaké další funkce autor navrhuje nebo chce do FPGA zahrnout?

6. Závěr

Autor disertační práce Ing. Dušan Janík podle mého posouzení splnil stanovené cíle disertační práce a prací samou i rozsahem publikační činnosti prokázal svoji dobrou znalost problematiky a schopnost řešení regulačních úloh jak po teoretické, tak po praktické stránce- z práce i z publikací je zřejmé, že praktická stránka převládá.

Na základě posouzení disertační práce pana Ing. Dušana Janíka na téma „Univerzální modulátor s aktivním balancováním a modulární strukturou pro víceúrovňové měniče“, a po seznámení se s výsledky jeho odborné práce ve smyslu §47 zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, doporučuji disertační práci k obhajobě.

V Praze, dne 6.6.2016

Ing. Pavel Cejnar, Ph.D.



OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE ING. DUŠANA JANÍKA

NÁZEV DISERTAČNÍ PRÁCE: *UNIVERZÁLNÍ MODULÁTOR S AKTIVNÍM BALANCOVÁNÍM A MODULÁRNÍ STRUKTUROU PRO VÍCEÚROVŇOVÉ MĚNIČE*

OBOR DISERTACE: *ELEKTRONIKA*

OPONENT: *PROF.ING. PETR CHLEBIŠ, CSC.*

PRACOVNÍŠTĚ OPONENTA: *VŠB- TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA,
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY,
KATEDRA ELEKTRONIKY*

Ing. Dušan Janík zpracoval disertační práci s názvem „Univerzální modulátor s aktivním balancováním a modulární strukturou pro víceúrovňové měniče“. Posudek této práce jsem zpracoval na základě Žádosti o vypracování oponentního posudku děkana Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni pod značkou. DFEL/Le/16. Na základě požadavků této žádosti oponentní posudek hodnotí disertační práci Ing. Dušana Janíka z následujících hledisek požadovaných ve jmenování.

ZHODNOCENÍ VÝZNAMU DISERTAČNÍ PRÁCE PRO OBOR

Oblast polovodičových měničů je stěžejní pro trvalý rozvoj elektrotechnických systémů téměř ve všech oblastech lidské činnosti. Zvyšování instalovaných výkonů přináší stále nové požadavky do oblasti polovodičových měničů, které svou topologií řízení velkých výkonů umožňují. Nejrozšířenější skupinou těchto měničů pro velké výkony jsou víceúrovňové měniče. V současnosti je poměrně široký výběr jejich obvodových struktur a ve výzkumných centrech se vyvíjejí neustále struktury nové. Velká skupina těchto měničů využívá pro rozdělení napětí na spínače různé formy kapacitních děličů. Metody řízení této skupiny měničů proto musí obsáhnout dvě základní úlohy – algoritmus modulace výstupního napětí daného typu měniče a algoritmus balancování pro rozložení napětí na jednotlivé kondenzátory v daném typu kapacitního děliče. Rozmanitost struktur na jedné straně a metod řízení na straně druhé tak vytvářejí poměrně složitý prostor tvorby řídicích algoritmů víceúrovňových měničů. Jakákoliv snaha o unifikaci v tomto „prostoru“ je velice záslužná, neboť přinese zjednodušení řízení jinak poměrně složitých obvodových struktur měničů s velkým množstvím spínacích prvků.

Disertační práce je velice záslužná tím, že se snaží zobecnit poznatky pro tvorbu modulací a zároveň balancování napětí a tyto poznatky implementovat do univerzálního řídicího systému modulátoru. Tento přístup požaduji za velice komplexní a celkem ojedinělý. Význam dizertace pro obor proto považuji za zásadní a výsledky, které jsou v práci dosaženy, jsou plně srovnatelné s úrovní předních světových výzkumných pracovišť. Práci považuji vzhledem k aktuálnímu stavu vědy a výzkumu za velice aktuální.

VYJÁDRĚNÍ K POSTUPU ŘEŠENÍ PROBLÉMU, POUŽITÝM METODÁM A SPLNĚNÍ URČENÉHO CÍLE

Řešení problematiky disertační práce vychází z důkladné analýzy současného stavu poznatků jak pro výkonové struktury víceúrovňových měničů, tak pro metody jejich řízení. Z těchto poznatků jsou vybrány častěji používané topologie a pro tyto jsou vybrány a analyzovány vlastnosti jejich řídicích metod včetně techniky balancování napětí. Pro uvedené struktury a

jejich metody řízení jsou pro ověření funkce vytvořeny numerické modely, na nichž je ověřována funkčnost vytvořených metod. Simulací ověřené algoritmy jsou implementovány do HW, který se opírá o spojení signálového mikrokontroléru a programovatelného logického pole FPGA. S pomocí této výkonné HW konfigurace jsou jednotlivé řídicí metody ověřovány a následně jsou porovnávány výsledky jak z pohledu kvality výstupních veličin víceúrovňového měniče (nejčastěji výstupní časové průběhy a spektrální charakteristiky), tak z pohledu výpočetní náročnosti. Snahou je převést co možná největší část algoritmů na FPGA, aby byl uvolněn výpočetní výkon signálového mikrokontroléru pro nadřazené regulační úlohy. Z pohledu metodiky je dodržen ověřený postup návaznosti teoretického rozboru problému a jeho následného odladění simulací s navazujícím ověřením na fyzikálním modelu.

Tímto způsobem jsou v plném rozsahu naplněny stanovené Cíle práce z kap. 1.2 na str. 21. Považuji za nutné podotknout, že množství typů měničů i počet prověřovaných metod převyšuje obvyklý rozsah disertačních prací.

STANOVISKO K VÝSLEDKŮM DISERTAČNÍ PRÁCE A K PŮVODNÍMU PŘÍNOSU PŘEDKLADATELE

Výsledky disertační práce jsou publikovány v dílčích závěrech jednotlivých kapitol a následně v celkovém závěru práce. V širším kontextu považuji za hlavní přínos disertace uvedení do života myšlenky univerzálního modulátoru víceúrovňových střídačů, byť jak uvádí disertant, je dosud nutné konfigurovat tuto jednotku pro konkrétní typ měniče „manuálně“. Použitá koncepce však umožňuje využít v budoucnu možnost pouze SW konfigurace, což je obrovským přínosem práce.

Vzhledem k rozsáhlosti práce bych uvítal, kdyby disertant u obhajoby vymezil svůj osobní přínos a rozsah svých prací zejména v realizační části disertace.

VYJÁDRĚNÍ K SYSTEMATICE, PŘEHLEDNOSTI, FORMÁLNÍ ÚPRAVĚ A JAZYKOVÉ ÚROVNI DISERTAČNÍ PRÁCE

V práci je pro jednotlivé typy měničů a jejich řídicí metody úzkostlivě dodržována struktura a postup řešení popsány ve druhém bodě tohoto posudku. Práce tím nabývá na přehlednosti, byť množství publikovaných výsledků je velmi vysoké.

Poněkud horší srozumitelnosti napomáhá značné množství zkratků názvů, které však jsou důsledně používány v souladu se Seznamem zkratků a symbolů na str. 3. Formální úprava a grafické zpracování je na velmi vysoké úrovni. Vytknout lze snad jen naprosto nečitelné obrázky typu „Vnitřní struktura entity...“ (např. obr. 2.46 na str. 65). V podobném provedení lze obrázek považovat jen jako grafické doplnění stránky, což je určitě škoda. Některé obrázky jsou však ve větším zobrazení uvedeny v příloze. Jsem si vědom, že při korektním zobrazení jen těchto obrázků by práce narostla o další, nemalé množství stran.

Jazyková úroveň práce je velice dobrá. Má úroveň kvalitního technického textu, ve kterém jsou dodržovány normy i pravidla pro zpracovávání technických textů. Množství překlepů, na které jsem narazil, je minimální.

Celkově proto hodnotím formální zpracování práce jako velice dobré.

VYJÁDRĚNÍ K PUBLIKACÍM STUDENTA

Publikační činnost studenta je shrnuta v disertační práci od str. 125. Seznam čítá celkem 49 publikovaných titulů v rámci zahraničních (mezinárodních), nebo českých konferencí, dále seznamu funkčních vzorků, výzkumných zpráv a zpracovaného SW. Svým rozsahem

publikační činnost přesahuje obvyklé požadavky jak na opublikování disertabilního jádra práce, tak všech ostatních výsledků disertační práce a jiných odborných výsledků doktoranda.

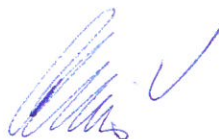
VYJÁDRĚNÍ OPONENTA, ZDA DOPORUČUJE PRÁCI K OBHAJOBĚ

Vzhledem k velice dobré odborné úrovni disertační práce, vysoké disertabilitě tématu, přínosu pro obor i prokázání dobré úrovně zvládnutí teoretických i praktických metod vědeckého bádání, je zřejmé, že ing. Dušan Janík je pracovník s vysokou vědeckou erudicí a jeho disertační práce s názvem „Univerzální modulátor s aktivním balancováním a modulární strukturou pro víceúrovňové měniče“ odpovídá obecně uznávaným požadavkům pro udělení titulu Ph.D..

Proto práci

doporučuji k obhajobě

a v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. o vysokých školách, doporučuji po úspěšné obhajobě udělit titul Ph.D. v oboru Elektronika



prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.
VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

V Ostravě dne 25.04.2016

Oponentní posudek doktorské disertační práce

- Autor:** **Ing. Dušan Janík**
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky
Fakulta elektrotechnická
Západočeská univerzita v Plzni
306 14 Plzeň, Univerzitní 8
- Téma:** **Univerzální modulátor s aktivním balancováním a modulární strukturou pro víceúrovňové měniče**
- Oponent:** **Prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.**
Katedra elektrických pohonů a trakce
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze
166 27 Praha 6, Technická 2
Tel.: +420 224 352 147, e-mail: lettl@fel.cvut.cz

1. Aktuálnost zvoleného tématu, význam disertační práce pro obor

Doktorská disertační práce Ing. Dušana Janíka se zabývá řízením víceúrovňových měničů a je zaměřena především na problematiku algoritmů šířkově pulzní modulační a balancování napětí na daných prvcích měniče. Konkrétně jsou analyzovány topologie devítiúrovňového kaskádního modulárního měniče CHB (Cascade H-Bridge Converter), tříúrovňového střídače s upínacími diodami NPC (Neutral Point Clamped) a s aktivními upínacími prvky ANPC (Active Neutral Point Clamped), čtyřúrovňového měniče s plovoucími kondenzátory FLC (Flying Capacitors), přičemž jednotlivé kroky směřovaly k návrhu modulární struktury univerzálního modulátoru, nezávislé na počtu úrovní a topologii víceúrovňového měniče. V rámci jednotlivých dílčích kroků byly postupně implementovány modulační algoritmy PS-PWM (Phase Shifted Pulse Width Modulation), PD-PWM (Phase Disposition Pulse Width Modulation), SV-PWM (Space Vector Pulse Width Modulation), zjednodušené SVM (Space Vector Modulation) i přímé prediktivní řízení bez použití PWM modulátoru FCS-MPC (Finite Control Set Model Predictive Control). Navržené modulační algoritmy byly zhodnoceny a porovnány s ohledem na výpočetní náročnost, složitost vlastní implementace a možnost další rozšiřitelnosti, celkové harmonické zkreslení (THD) napětí a proudů měniče. Navržený algoritmus modulární struktury univerzálního modulátoru je implementován v hradlovém poli FPGA, což umožnilo uvolnění výpočetního výkonu digitálního signálového kontroléru DSC pro implementaci algoritmů nadřazených řídicích a regulačních strategií elektrického pohonu. Téma disertační práce je vysoce aktuální a má značný význam v oblasti návrhu a realizace v současné době stále více využívaných víceúrovňových měničů určených pro náročné průmyslové a trakční aplikace, např. jako součást vysokonapěťových pohonů.

2. Stanovené cíle, jejich splnění, postup řešení, použité metody

Přehledné shrnutí stanovených cílů je uvedeno v šesti bodech na str. 21 disertační práce. Provedená rešerše současného stavu zkoumané problematiky zahrnuje přehled v praxi používaných topologií víceúrovňových měničů, souhrnný přehled využívaných modulačních strategií a popis hardware nejčastěji používaného k řízení víceúrovňových měničů. Mezi vybrané topologie byl zařazen devítiúrovňový kaskádní modulární měnič CHB s modulační strategií PS-PWM, tříúrovňový střídač s upínacími diodami NPC nebo s aktivními upínacími prvky ANPC řízený modulačními technikami SV-PWM, SVM nebo FCS-MPC, jakož i čtyřúrovňová varianta měniče s plovoucími kondenzátory FLC využívající modulační strategie PD-PWM nebo zjednodušené SVM. V kapitole 2 je potom pro každou topologii měniče a zvolenou modulační strategii proveden návrh, simulační ověření a implementace algoritmu modulátoru pomocí programovacího jazyka VHDL do programovatelného logického pole FPGA umístěného spolu s digitálním signálovým kontrolérem DSC na speciálně navržené universální řídicí desce MLC interface. Vždy následuje validace experimentálním měřením na funkčním prototypu měniče. V kapitole 3 je potom na základě algoritmů řešených pro jednotlivé topologie a modulační strategie navržen univerzální modulátor pro víceúrovňové měniče s aktivním balancováním a modulární strukturou. Ověření funkčnosti bylo provedeno v programovém prostředí MatLab/Simulink/Plecs pomocí sestaveného simulačního modelu měniče. Z uvedeného je zřejmé, že řešení stanovených dílčích cílů je obsahem jednotlivých kapitol a podkapitol práce. Lze konstatovat, že ze 138 stránek textu je více než 70 % věnováno vlastnímu návrhu, implementaci a simulačnímu i experimentálnímu ověření funkčnosti navržených modulačních algoritmů řízení. Získané výsledky simulací a experimentálních měření přesvědčivě dokazují, že stanovené cíle byly splněny v plném rozsahu.

Disertant by měl blíže uvést, vysvětlit či zhodnotit:

- pojem „vektorová modulace SVC“ (str. 18 nahoře) v porovnání se zkratkou „SVM“,
- sdělení „ ... pokud během přenosu dat došlo k chybě, ponechají se v platnosti naposledy správně přenesená data ... “ (str. 27, 10. řádek shora),
- výhody, nevýhody a omezení použití algoritmu CORDIC (str. 36) a konstatování „ ... postačí, když ... se výsledek vynásobí hodnotou 0,6073 ... „ (str. 37 nahoře),
- význam indexů na Obr. 2.28 (str. 48) v porovnání s indexy na Obr. 2.13 (str. 37),
- konkrétní kritéria optimality a volbu penalizací u definované ztrátové funkce pro horizont 1 (str. 56-58),
- měření fázového napětí tříúrovňového střídače u pohonu s asynchronním motorem (Obr. 2.57, str. 71),
- příčiny a důsledky pravděpodobně vyšších harmonických fázového proudu troleje zřejmých na Obr. 2.7, str. 30 až Obr. 2.10, str. 31,
- závěry plynoucí z porovnání výsledků simulací navrženého univerzálního modulátoru (kap. 3, str. 95-116) s předpokládanými výsledky experimentálního měření.

3. Výsledky a původní konkrétní přínos disertační práce

Kvalitu doktorské disertační práce potvrzuje množství graficky zpracovaných výsledků simulací a zejména experimentálního měření na realizovaných prototypu systému s různými topologiemi víceúrovňových měničů a vybranými modulačními i jinými algoritmy jejich řízení. Konkrétní původní přínos oponované práce lze spatřovat ve výzkumu, vývoji i praktické validaci funkčnosti nových či modifikovaných modulačních algoritmů pro řízení víceúrovňových měničů, jakož i v tvorbě odpovídajícího softwarového vybavení a jeho implementaci do programovatelného hradlového pole FPGA. Těžiště práce pak spočívá v návrhu univerzálního modulátoru s modulární strukturou nezávisle na počtu úrovní a topologii víceúrovňového měniče, vycházejícím z dílčích kroků vývoje jednotlivých typů modulačních algoritmů (PS-PWM, PD-PWM, SV-PWM, SVM) i přímého prediktivního řízení (FCS-MPC) pro různé topologie víceúrovňových měničů (CHB, NPC, ANPC, FLC). Výsledky simulací a experimentů jsou významným přínosem, neboť poskytují detailní praktický pohled na řešenou problematiku a porovnání vlastností zkoumaného systému s různými implementovanými algoritmy řízení v různých pracovních stavech i jejich vzájemné srovnání.

4. Systematičnost, přehlednost, formální úprava, jazyková úroveň

Kromě obsahu, seznamu symbolů a zkratk, úvodu shrnujícího současný stav ve zkoumané problematice, cíle práce a metodiku řešení, dále pak závěru, seznamu použité literatury, seznamu autorových publikací a grafických příloh, je práce rozdělena do dvou částí (kapitola 2 a kapitola 3), které jsou dále logicky členěny do dvou podúrovní několika podkapitol. Práce má přehlednou skladbu a ucelený charakter. Autor nezabíhá do zbytečných podrobností, vhodně uvádí odkazy na použitou literaturu. K přehlednosti práce přispívá též zařazení seznamu použitých symbolů a zkratk a zejména dílčích závěrů u jednotlivých kapitol a podkapitol. Pečlivý přístup k realizaci úkolu dokumentuje i celkově vysoká grafická úroveň zpracování práce. Čtenář by však jistě uvítal zřetelnější rozlišení popisu jednotlivých průběhů naměřených čtyřkanálovým osciloskopem (viz např. Obr. 2.7, str. 30 až Obr. 2.10, str. 31, Obr. 2.57, str. 71 a další), např. doplněním čísla kanálu barvou průběhu - Ch4 (zelená). Některé chyby formální a stylistické nemají závažný charakter, nenalezl jsem žádné nesrovnalosti terminologické. V práci je více překlepů (např. str. 34, 3. řádek zdola: „ ... Rozmístění reálné ... ??? ... spínacích kombinací v rámci ... “ atd.) i řada chyb gramatických (např. str. 96, 3. řádek shora: „ ... Modul 3 ... stanoví dobu sepnutí ... „, atd.), jimž se jistě bylo možno vyhnout pečlivější korekturou čistopisu.

5. Přehled publikovaných prací

Seznam autorových publikací zařazený na str. 125 až 129 doktorské disertační práce obnáší celkem 49 položek zveřejněných vědeckých a odborných prací, které zahrnují 12 příspěvků prezentovaných na mezinárodních konferencích, 6 příspěvků prezentovaných na českých konferencích, 2 autorem zpracované funkční vzorky, 25 výzkumných zpráv a 4 software. Sborníky uvedených mezinárodních konferencí jsou excerptovány do prestižních databází (Web of Science, Scopus atd.) pro vyhledávání aktuálních vědeckých informací. V přehledu publikovaných prací, kde je doktorand autorem nebo spoluautorem, jsem však nenalezl žádný

článek publikovaný v některém impaktovaném časopise. I tak lze publikační aktivitu autora, obsahující uvedený počet publikovaných prací, považovat v daném oboru za nadprůměrnou a je zřejmé, že jádro disertační práce bylo publikováno v dostatečné míře a na přiměřené úrovni.

6. Závěr

Doktorand Ing. Dušan Janík splnil stanovené cíle doktorské disertační práce a prokázal schopnost samostatné vědecké činnosti. Disertace je věnována aktuální problematice, obsahuje původní vědecké poznatky, formálně je zpracována na vysoké úrovni, její jádro již bylo dostatečně publikováno a předložené dílo tak dle mého názoru splňuje obecně uznávané požadavky kladené na úroveň doktorských disertačních prací v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. o vysokých školách. Z výše uvedených důvodů doktorskou disertační práci

d o p o r u č u j i k o b h a j o b ě .

V Praze dne 4. dubna 2016



Prof. Ing. Jirí Lettl, CSc.