

OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE ING. MARTINA JÁRY

NÁZEV DISERTAČNÍ PRÁCE: *NOVÉ TOPOLOGIE POLOVODIČOVÝCH MĚNIČŮ S VYSOKOU ÚČINNOSTÍ*

OBOR DISERTACE: *ELEKTRONIKA*

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

PRACOVÍŠTĚ Oponenta: *VŠB- TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA,
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY,
KATEDRA ELEKTRONIKY*

Ing. Martin Jára zpracoval disertační práci s názvem „Nové topologie měničů s vysokou účinností“. Posudek této práce jsem zpracoval na základě Žádosti o vypracování oponentního posudku děkana Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni pod značkou DFEL/Le/17 z 12.července 2017. Na základě požadavků této žádosti oponentní posudek hodnotí disertační práci Ing. Martina Járy z následujících hledisek požadovaných ve jmenování.

ZHODNOCENÍ VÝZNAMU DISERTAČNÍ PRÁCE PRO OBOR

Vlastnosti nových typů spínacích polovodičových součástek přinášejí nejen nové možnosti při vytváření topologií výkonových polovodičových měničů, ale zároveň vyžadují nové přístupy při jejich aplikacích. Pro nové koncepce měničů jsou charakteristické požadavky na snižování rozměrů měničů při současném zvyšování jejich účinnosti. Oba tyto požadavky bývají naplňovány s pomocí zvyšování spínacího kmitočtu při využití nových generací polovodičových spínacích součástek – dnes nejčastěji na bázi SiC.

Disertační práce je velice záslužná tím, že se snaží dosavadní poznatky aplikovat do měničových struktur přímo využitelných u aplikačního partnera s tradiční výrobou dopravních zařízení. Kromě toho, že práce nabízí řadu ojedinělých výsledků z oblasti návrhu měničů a jejich ověření simulací a měřeními, jsou výsledky ověřeny i provozem v praxi. Význam dizertace pro obor proto považuji za zásadní a výsledky, které jsou v práci dosaženy, jsou 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

Společným rysem řešení jednotlivých topologií je využití spínacích prvků SiC v měničích s vysokou účinností určených pro vozidla lehké trakce. Řešení problematiky disertační práce vychází z důkladné analýzy koncepcí pomocných pohonů. Na základě známých poznatků disertant navrhuje dvě nové koncepce pomocných pohonů, a pro tyto koncepce vybírá dva měniče – zvyšující vstupní stabilizátor DC napájení pomocných pohonů varianty A a izolující měnič varianty B. Zkušenosti a poznatky získané z řešení obou měničů jsou v závěru práce využity pro měnič systému bezdrátového přenosu energie. Pro uvedené typy měničů jsou vybrány vhodné topologie, ty jsou teoreticky popsány a analyzovány, ověřeny pomocí numerických modelů a realizovány do formy prototypů měničů. Správnost návrhu je ověřena měřeními na realizovaných měničích.

Z pohledu metodiky je dodržen ověřený postup návaznosti teoretického rozboru problému a jeho následného odladění simulací s navazujícím ověřením na reálném zařízení. Tímto způsobem jsou v plném rozsahu naplněny stanovené Cíle práce z kap. 3 na str. 13.

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 ověření vlastností a praktické použitelnosti dostupných SiC tranzistorů a diod v měničích určených pro reálné provozní aplikace na vozidlech lehké trakce. Zkušenosti, které získal řešitel těmito pracemi považuji v podmínkách České republiky za ojedinělé, v kontextu světového stavu výzkumu aplikací SiC prvků za velice dobré. K těmto poznatkům řadím zejména zkušenosti z návrhu driverů SiC pro oblast vysokých spínacích kmitočtů a zkušenosti z konstrukčního návrhu měničů s vysokými pracovními kmitočty a minimalizovaným zastavbovým objemem. Právě tyto získané zkušenosti jsou zásadním a původním přínosem předkladatele pro obor výkonové elektroniky.

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

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

Formální úprava a grafické zpracování je na velmi dobré úrovni, byť se po formální stránce vyskytují např. nepřiměřeně zmenšené a tím i téměř nečitelné obrázky - obvykle průběhy z osciloskopu (např. obr. 6.19, str.44, nebo 7.20, str.69), nebo schémata simulací (např. Obr.7.7 str. 58), některým obrázkům chybí popisy os, u některých neodpovídají popisy a symboly v textu značkám na obrázcích. Tyto formální nedostatky však nepovažuji za zásadní. Jazyková úroveň práce je až na několik jazykových chyb velice dobrá. Disertační práce má úroveň kvalitního technického textu, ve kterém jsou dodržovány normy i pravidla pro zpracovávání technických textů.

Celkově proto hodnotím formální zpracování práce jako velice dobré.

VYJÁDŘENÍ K PUBLIKACÍM STUDENTA

Publikační činnost studenta je shrnuta v disertační práci od str. 107 do str. 112. Seznam čítá celkem 70 publikovaných titulů v rámci časopisů, zahraničních (mezinárodních), nebo českých konferencí, dále obsáhlého seznamu funkčních vzorků, výzkumných zpráv, kapitol v knihách 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. Seznam publikací rovněž prokazuje, že disertant je platným členem výzkumného kolektivu svého školitele.

PŘIPOMÍNKY A NÁMĚTY DO DISKUSE K OBHAJOBĚ

1. Dosažené účinnosti reálných měničů jsou poměrně vysoké. (např. u zvyšujícího měniče se blíží téměř k 99%) Jakým způsobem byly tyto účinnosti měřeny a byly nějakým způsobem prováděny rozklady ztrát v jednotlivých komponentech či částech měniče? Jaká je přesnost měření účinnosti?

2. Na obr. 6.15 jsou uvedeny průběhy proudu a napětí transformátoru v „nerezonanční“ a „podrezonanční“ oblasti. Rozdíly v průbězích jsou téměř zanedbatelné. Moje zkušenosti s rozladěním podobných LLC měničů jsou poněkud jiné, zejména s ohledem na zatížení transformátoru. Je nějakým způsobem korigována frekvence spínacích pulzů z jednotky řízení?
3. Na str.40 (odstavec pod obr. 6.14) je zmíněn předpoklad frekvenční modulace. Co je frekvenční modulací míněno?
4. V kap. 7.3.6 je popsána koncepce nadproudové ochrany využívající princip zvýšení napětí drainového napětí spínače při poruchovém proudu. Je schopna tato ochrana chránit tranzistor jak v případě vzniku např. zkratu při již sepnutém spínači, tak při sepnutí do zkratu? Dovedl byste porovnat alespoň poměrově množství rozptýlené energie podobných spínačů Si a SiC?

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. Martin Jára je pracovník s vysokou vědeckou erudicí a jeho disertační práce s názvem „Nové topologie měničů s vysokou účinností“ 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 6. srpna.2017

Oponentní posudek doktorské disertační práce

- Autor: **Ing. Martin Jára**
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky
Fakulta elektrotechnická
Západočeská univerzita v Plzni
306 14 Plzeň, Univerzitní 8
- Téma: **Nové topologie polovodičových měničů s vysokou účinností**
- 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.: 224 352 147, e-mail: lettl@fel.cvut.cz

1. Význam disertační práce pro obor

Ing. Martin Jára se ve své disertační práci zabývá velice perspektivní a zajímavou problematikou vývoje výkonových polovodičových měničů s vysokou účinností. Aplikačně je práce zaměřena především na oblast vozidel lehké trakce, konkrétně na topologie měničů pro pomocné pohony trolejbusů a systémy bezdrátového nabíjení elektrických vozidel. V případě lehké trakce patří hmotnost a zástavbový prostor použitých měničů k základním parametrům pro stanovení nové koncepce vývoje. Rozměry měničů jsou mimo jiné závislé na velikosti pasivních prvků a chladiče, dále závislé na spínací frekvenci a velikosti ztrát. Zvyšování spínacího kmitočtu vede na jedné straně k redukci pasivních komponent, na druhé straně však k nárůstu spínacích ztrát polovodičových prvků a tím ke zvětšování rozměrů chladiče. Jedním z velmi perspektivních směrů výzkumu je možnost zvyšování účinnosti při současném zvýšení spínacího kmitočtu využitím moderních polovodičových součástek na bázi SiC. V práci je proveden výzkum, návrh, realizace a experimentální ověření funkčnosti nové koncepce měničů s SiC prvky. Konkrétně byl realizován funkční vzorek vstupního stabilizátoru o výkonu 22 kW a střídačová část izolujícího měniče o výkonu 2 x 10 kW. Efektivní využití vozidel lehké trakce, jako jsou elektrobusy či hybridní vozidla, je podmíněno účinným systémem nabíjení, přičemž k uživatelsky perspektivním způsobům patří nabíjení bezdrátové, kde mohou vysokorychlostní SiC komponenty přispět k dosažení vysokých hodnot účinnosti. Téma disertační práce je proto vysoce aktuální a má značný význam v oblasti návrhu a realizace měničových systémů pro pomocné pohony a bezdrátové nabíjení, v současné době stále více využívaných vozidel lehké trakce.

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

Stanovené cíle, přehledně shrnuté v devíti bodech na str. 13 disertační práce, vycházejí ze současných průmyslových požadavků na vysoce účinná řešení polovodičových měničů pro pomocné pohony a systémy bezdrátového nabíjení vozidel lehké trakce. Cílem práce je návrh struktury nové generace pomocných pohonů (viz kap. 5) pro trolejbus, založené na bázi v současnosti na trhu dostupných, vysokorychlostních SiC výkonových prvků, charakterizace

(viz kap. 6) vybraných výkonových součástek, zahrnující odvození jejich ztrátových modelů, stanovení oteplení kanálu, návrh budicího kanálu i ověření funkce a stanovení účinnosti na experimentálním měniči při plném výkonu. Byl navržen a realizován funkční vzorek měniče pro pomocné pohony trolejbusu (viz kap. 7) se zvolenou topologií sériově spojených dvoukvadrantových pulsních měničů (2QC2) včetně budicích obvodů pro použité SiC JFET moduly s potřebnými ochrannými funkcemi a rozhraním pro řídicí jednotku, jakož i struktura řízení zmíněné měničové sestavy pomocných pohonů. Rovněž bylo navrženo a realizováno experimentální stanoviště pro výzkum bezdrátového přenosu energie s maximálním přenášeným výkonem 5 kW (viz kap. 8). Byla navržena topologie zapojení a řešení měničů pro bezdrátový přenos energie a na realizovaném laboratorním modelu zařízení byla experimentálně doložena funkce systému v rozsahu kmitočtů 100-250 kHz.

Z výše uvedeného je zřejmé, že řešení stanovených dílčích cílů je obsahem jednotlivých kapitol, přičemž z celkových 112 stránek textu představuje 74 % (83 stránek, kapitoly 5 až 9) vlastní podíl autorův, věnovaný volbě topologií měničů pro novou koncepci pomocných pohonů trolejbusů ve dvou variantách, analýze ztrát zvoleného výkonového modulu s SiC JFET prvky a porovnání s technologií Si IGBT, vlastnímu návrhu jednotlivých komponent a experimentálnímu ověření funkce měničů i návrhu měřicího stanoviště pro experimentální ověření funkce měničového systému pro bezdrátový přenos energie. Pečlivě provedený návrh komponent měničů a zejména graficky doložené výsledky experimentálního ověření funkce jednotlivých měničů přesvědčivě dokazují, že stanovené cíle byly splněny.

Použité metody zpracování zahrnují rozbor současného stavu poznání ve zkoumané problematice včetně uvedení hlavních problémů existujících řešení jak u pomocných pohonů trolejbusu, tak u systému bezdrátového přenosu energie, rozvahu nad topologií měničů i návrh variant nové koncepce měničové soustavy, výběr a charakterizaci perspektivního výkonového modulu s SiC JFET tranzistory včetně příslušných měření, vývoj funkčního vzorku vstupního stabilizujícího měniče v topologii sériově spojených dvoukvadrantových měničů s výstupním výkonem 22 kW včetně dvoukanalového driveru i demonstraci funkčnosti systému pro bezdrátové nabíjení elektrických vozidel na bázi SiC polovodičů pracujících při kmitočtu 100 - 250 kHz. Celkově lze prohlásit, že oprávněnost použitých postupů a prostředků jasně prokázaly výsledky experimentů na realizovaných funkčních vzorcích.

Disertant by měl blíže uvést, vysvětlit či hodnotit :

- metodu měření účinnosti měniče 2QC2 dle obr. 7.35 na str. 79, kde při zátěži 22 kW dosahuje účinnost hodnoty 98,5 % (uvedeno na str. 74 dole),
- podrobnější porovnání účinnosti u spínačů Si IGBT a SiC IGBT, případně GaN IGBT,
- odhad hodnoty parazitní kapacity a dU/dt napájecího zdroje dle kap. 6.2.3, str. 34 a obr. 6.7 na str. 35 původního a nově vyvinutého zdroje, co byl zásadní krok vedoucí k odstranění rušení,
- podrobnější porovnání odolnosti driverů vůči rušení u spínačů Si IGBT a SiC IGBT, případně GaN IGBT,
- zda jste se při experimentech s bezdrátovým přenosem energie setkali s jevem bifurkace (str. 91 - 94).

3. Výsledky a původní konkrétní přínos disertační práce

Kvalitu doktorské disertační práce potvrzuje zejména velké množství graficky zpracovaných výsledků experimentálního ověření funkčnosti realizovaných laboratorních vzorků (měniče pro pomocné obvody viz např. obr. 7.26 až obr. 7.34 na str. 75 až 79, měničový systém pro bezdrátový přenos energie viz např. obr. 8.11 až obr. 8.17 na str. 91 až str. 94). Za původní konkrétní teoretický i praktický přínos disertace lze považovat ucelený návrh nové koncepce měničů na bázi SiC prvků pro pomocné pohony a bezdrátové nabíjení vozidel lehké trakce, zahrnující výkonový obvod, drivery, algoritmy řízení a dále pak praktické zkušenosti a nové znalosti získané provedením kompletní experimentální verifikace, včetně vyhodnocení všech klíčových elektrických, tepelných i účinnostních parametrů. Výsledky experimentálního ověření funkčnosti realizovaných funkčních vzorků měničů představují významný přínos práce, neboť poskytují detailní praktický pohled na řešenou problematiku a chování zkoumaných systémů v různých pracovních režimech.

4. Systematičnost, přehlednost, formální úprava a jazyková úroveň

Kromě obsahu, seznamu symbolů a zkratk, úvodu (kap. 1), shrnutí současného stavu zkoumané problematiky (kap. 2), cílů práce (kap. 3), metodiky práce (kap. 4), závěru (kap. 9) s uvedením hlavních přínosů práce a perspektivních směrů dalšího výzkumu, seznamu použité literatury i seznamu autorových publikací, je práce rozdělena do čtyř částí (kap. 5 až kap. 8), které jsou dále logicky členěny do dvou podúrovní několika podkapitol. Práce je zpracována velice pečlivě, má přehlednou skladbu a ucelený charakter. Autor vhodně uvádí odkazy na použitou literaturu a nezabíhá tak do zbytečných podrobností. K přehlednosti práce přispívá též zařazení seznamu použitých symbolů a zkratk. Čtenář rovněž jistě ocení uvedení srozumitelných dílčích závěrů u hlavních kapitol. Odpovědný přístup k realizaci úkolu dokumentuje i celkově vysoká grafická úroveň zpracování práce, jakož i snaha o zřetelnější rozlišení popisu jednotlivých průběhů naměřených čtyřkanálovým osciloskopem. Některé chyby formální a stylistické nemají závažný charakter, nenalezl jsem žádné nesrovnalosti terminologické. V práci je více nepodstatných překlepů (např. str. 19, 15. řádek shora: ... součástky k běžně komerčně dostupné od většiny hlavních výrobců ... atd.) i chyb gramatických (např. str. 21, 1. řádek shora: ... na obrázku 5.3 a kterou lze ... atd.), jimž se bylo možno vyhnout pozornější korekturou čistopisu.

5. Publikované práce

Seznam autorových publikací zařazený na str. 107 až 112 doktorské disertační práce obnáší celkem 70 položek zveřejněných vědeckých a odborných prací, které zahrnují 3 články v časopisech, 6 příspěvků prezentovaných na mezinárodních konferencích, 4 příspěvky prezentované na českých konferencích, 27 autorových funkčních vzorků, 26 výzkumných zpráv, 2 kapitoly v knihách a 2 software. V databázi Web of Science pro vyhledávání aktuálních vědeckých informací jsem k dnešnímu datu našel 8 položek z uvedeného přehledu publikovaných prací, kde je doktorand autorem nebo spoluautorem, z toho 3 články v časopisech a 5 příspěvků ve sbornících mezinárodních konferencí. Publikáční aktivitu autora lze dle mého názoru 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. Martin Jára splnil v plném rozsahu stanovené cíle doktorské disertační práce a prokázal schopnost samostatně vědecky pracovat. Disertace je věnována vysoce 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

doporučuji k obhajobě.

V Praze dne 28. července 2017



Prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.

Oponentní posudek disertační práce

Název: **Nové topologie polovodičových měničů s vysokou účinností**

Autor: **Ing. Martin Jára**

Oponent: **Doc. Ing. Pavel Vorel, Ph.D.**
Vysoké učení technické v Brně
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky
Technická 12, 616 00 Brno
tel.: +420 5 4114 6720, E-mail: vorel@fec.vutbr.cz

1) Význam disertační práce pro obor

Předložená disertační práce řeší velice aktuální problematiku konstrukce výkonových pulzních měničů s vysokou účinností a přitom také s vysokou objemovou hustotou výkonu. Pro redukci objemu měniče je nutné použití vysokého spínacího kmitočtu za účelem redukce rozměrů tlumivek a pulzních transformátorů. Použití nových spínacích polovodičů (SiC resp. GaN) pak umožňuje provoz na vysokých spínacích kmitočtech, aniž by vznikaly nepřijatelně velké spínací ztráty. Přitom lze použít často i topologie s tvrdým spínáním (není nutné sáhnout k topologiím s měkkým spínáním, jež jsou obvodově složitější a mívají omezenou říditelnost).

Kombinace velkého spínacího kmitočtu a velkého výkonu zesiluje vliv různých parazitních jevů v silových obvodech měničů (parazitní indukčnosti obvodových smyček, rozptylové indukčnosti transformátorů, parazitní kapacity polovodičů, zpětné a dopředné zotavování diod a s nimi související proudové resp. napěťové překmity, problematika budičů s odolností na du/dt , ringing atd.). V jejich efektivní eliminaci tkví návrhářské umění a know-how v oboru. Použití extrémně rychlých polovodičů také přináší nové výzvy v oblasti EMC (odrušení měniče).

Konkrétním praktickým zaměřením práce je zejména sestava měničů pro pomocné pohony trolejbusu a pak odděleně také problematika bezdrátového nabíjení (indukční vazba s rezonanční kompenzací rozptylu). Obě tato zaměření jsou velmi aktuální, problematika pomocných pohonů s implementací nových funkcí je užitečná bez diskuze. Problematika bezdrátového nabíjení je v současnosti považována za perspektivní a je velmi populární.

V práci jsou prezentovány zajímavé výsledky teoretických výpočtů parametrů měničů s polovodiči SiC JFET v porovnání s rychlými Si IGBT. Dále jsou v práci zajímavé rozbory „jednofázového“ a „dvoufázového“ řízení sériové dvojice zvyšujících měničů (s rozpůleným ss meziobvodem). Celá kapitola 7 pak obsahuje také množství praktických výsledků dotažených do finální průmyslově použitelné podoby. **Odborný přínos práce je podle mého názoru opravdu jednoznačný.**

2) Způsob řešení, splnění cílů práce

Cíle práce jsou jasně a konkrétně formulovány na straně 13. **Všechny cíle se podařilo úspěšně a beze zbytku splnit.** Autor nejprve provádí teoretickou analýzu zapojení silového obvodu a porovnává ztráty při použití různých spínacích kmitočtů a různých

spínacích polovodičů (SiC JFET a rychlých křemíkových IGBT). V práci je i řada dalších teoretických výpočtů, přehledů a srovnání, jež s sebou přineslo plnění cílů.

Oceňuji zejména to, že všechny teoretické výsledky byly prakticky ověřeny. Byl totiž realizován univerzální demonstrační měnič s polovodiči SiC JFET ochuzovacího typu v „kaskodovém“ uspořádání s nízkonapětovými tranzistory MOSFET. Tento měnič byl následně použit k demonstraci a praktickému testování několika topologií, jež se vyskytují v nově navržené koncepci pomocných pohonů. Také byl použit pro praktické pokusy s bezdrátovým nabíjením.

Oceňuji velmi, že se autor v práci věnuje takovým detailům, jako jsou layouty plošných spojů, řešení izolačních bariér, obvodové návrhy ochran, pomocných napájecích zdrojů, budičů atd. Ačkoliv by tyto části mohly někomu připadat příliš praktické, pokládám je naopak za velice cenné a tkví v nich hodně z umu autora (na rozdíl od mnohých disertací založených na simulacích bez bližšího intuitivního sepětí s realitou).

Skutečnost, že autor při návrhu měniče okamžitě sáhl k použití kaskády SiC JFET + MOSFET a nikoliv k použití tranzistorů SiC MOSFET však **je podle mého názoru vhodná k prodiskutování**. Patrně v tom hrály roli i jiné okolnosti než jen technické, např. tendence průmyslového partnera - snaha o použití komponent INFINEON atd. Prosím autora a objasnění v diskuzi, viz otázky níže.

3) Výsledky práce a původní přínos

Experimentálně ověřené výsledky práce představují ucelené původní autorovo dílo. Jednotlivé teoretické i praktické přínosy práce již byly výše uvedeny. Sama skutečnost, že v praktické rovině jsou výsledkem práce homologované bloky měničů pro pomocné pohony trolejbusů, svědčí o **kvalitě, relevanci, důslednosti a úpinosti řešení** – tedy o **autorových schopnostech, důvtipu a také pílí a schopnosti dotáhnout věci do konce**, přestože k tomu jistě také přispívá zázemí jeho pracoviště a silné sepětí s průmyslovým partnerem.

3) Kritika - věcné připomínky

Dále uvedené **připomínky nejsou závažné**, spíše mají doložit, že oponent se prací opravdu zabýval. Autor na ně nemusí nijak podrobně reagovat při obhajobě.

- a) Výraz v závorce ve jmenovateli (6.1) by se měl vyskytovat již hned v prvním vztahu.
- b) Skutečnost, že průběh proudu v Obr. 6.3 je trojúhelníkový by možná zasloužila bližší vysvětlení – po hlubším zamyšlení je to sice docela logické a také to bylo dále doloženo (Obr. 6.11), ale vysvětlení by se hodilo např. pro eventuální studijní účely čtenáře (místo jednoduchého lakonického konstatování s poukázáním na „podélnou impedanci transformátoru“:-)).
- c) Výpočty v kap. 6.1.2 by podle mého názoru mohly být zpřehledněny nějakým obrázkem s okótovanými průběhy.
- d) Nezvyklý, ale hezký výraz „plán“ (sendvičová struktura výkonových plání, str. 32).
- e) V kap. 7.2.1.5 je dle mého názoru možná poněkud zbytečná simulace. Ověřuje analytické výpočty, které musí být správné.
- f) Opakování slov v nadpisu Obr. 7.7 (překlep).
- g) Pojem „napětové množství“ (např. na str. 53) je na pracovišti oponenta nezvyklý. Z kontextu plyne, že jde o maximum časového integrálu napětí na indukčnosti, tedy o maximum spřaženého toku. Také označení Q by mohlo na první pohled mást (je obvyklé spíš pro náboj).

- h) běžný dvojčinný emitorový sledovač z bipolárních tranzistorů je označován cizokrajně znějícím názvem „totem pole“.

4) Formální zpracování

Práce má dobrou grafickou úroveň, obrázky jsou kvalitní a čitelné. Po jazykové stránce je práce na dobré úrovni. Podle mého subjektivního názoru by možná neškodilo více se v textu věnovat výstižnému vysvětlování souvislostí na místo stručného konstatování. Disertace však není učebnice, tedy nejde o žádnou podstatnou výtku. Zajímavé je, že anotace na začátku práce je uvedena nejen v češtině a angličtině, ale i v němčině (na Fakultě elektrotechnické ZČU je to zvykem). Důvody jsou logické (geografické). Navíc to působí osvěžujícím dojmem s příjemným humanitním nádechem (v našem snad poněkud strohém technickém oboru).

Publikační a výzkumná činnost autora

Z uváděného seznamu publikací je patrné, že disertant je autorem nebo spoluautorem celé řady publikací na mezinárodních i národních konferencích. Tyto publikace souvisejí s jádrem práce a to bylo tedy řádně publikováno. Dále je autorem opravdu velkého množství smysluplných funkčních vzorků, což asi nejvíce prokazuje jeho schopnosti.

5) Závěrečné vyjádření

Na základě všech uvedených skutečností práci jednoznačně doporučuji k obhajobě. Dále pokládám několik dotazů, který by měly být při obhajobě zodpovězeny. Po úspěšné obhajobě doporučuji, aby autorovi byl udělen titul „doktor“ (Ph.D.).

Otázky k obhajobě:

- 1) Proč nebyl silový obvod koncipován s tranzistory SiC MOSFET (1200V, např. od CREE)? Považujete strukturu SiC JFET + Si MOSFET za výhodnější? Pokud ano, prosím objasněte důvody.
- 2) Vysvětlíte prosím funkci upínacích diod V1 a V2 na schématu v Obr. 6.6.
- 3) K čemu slouží rezistor R71 v Obr. 7.19?
- 4) Neobjevily se při oživování měniče nějaké potíže se zarušením použité diodové logiky (např. schémata na Obr. 7.15 a 7.18)? (nežádoucí usměrňování rušivých napětí indukovaných do smyček)

V Brně, dne 24.7. 2017.



doc. Ing. Pavel Vorel, Ph.D.