



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

**Využití SiC polovodičových součástek ve výkonové
elektronice**

Autoreferát disertační práce

k získání akademického titulu doktor v oboru

Elektronika

Ing. Jan Štěpánek

**Využití SiC polovodičových součástek ve výkonové
elektronice**

Školitel: Doc. Ing. Pavel Drábek Ph.D

Datum státní doktorské zkoušky: 12. 10. 2016

Abstrakt

Předkládaná disertační práce se zabývá problematikou výkonových měničů pro speciální aplikace s využitím moderních polovodičových prvků. Práce popisuje návrh výkonových měničů pro tři různé projekty, kde každý klade na výkonový měnič různé požadavky.

První z popisovaných měničů je určený pro použití v oblasti automotive a je navržený jako tzv. „Full SiC“ měnič. Klade si za cíl vývoj trakčního měniče s vysokou hustotou výkonu min. 100kW/l, čímž se parametrově přiblíží cílům projektu U.S. DRIVE. Vyvinutý SiC měnič by měl při napájení 900 VDC z trakční baterie dosahovat výkonu minimálně 200 kW při minimální spínací frekvenci 20 kHz s účinností vyšší než 99 %. Při objemu cca 1,9 l bude dosahovat hustoty výkonu 105 kW / l.

Druhý z popisovaných měničů cílí do prostředí konzervativní energetiky. Zde je kladen velký důraz na spolehlivost a životnost výsledného zařízení. Popisovaný měnič slouží jako základní stavební blok o výkonu 150 kVA pro zařízení na kompenzování zemních spojení (finální pilot sestaven z 9 bloků a celkovém výkonu 1,35 MVA).

Třetí z popisovaných měničů je zaměřen na oblast vozidel lehké trakce, kde se zabývá možnostmi optimalizace a modernizace měničů pro pomocné pohony. Popisovaný měnič si klade za cíl použitím moderních SiC polovodičů o dosažení vyšší účinnosti a snížení hmotnosti a objemu výsledných pomocných pohonů.

Klíčová slova

Si, SiC, hustota výkonu, energetika, pomocné pohony, vstupní stabilizátor, DC/DC izolační měniče

Abstract

This dissertation thesis deals with power converters for special applications using modern semiconductor devices. Main target of this thesis is to design power converters for three different projects with unique requirements.

First power converter variant is designed for automotive field and it is based on SiC semiconductors. It aims to develop a traction converter with a high-power density of min. 100kW / l, targeting the parameters of the U.S. DRIVE. The developed SiC converter should reached power up to 200 kW and min. 20kHz switching frequency with an efficiency of more than 99% when powered from a 900 VDC traction battery. At a volume of approximately 1,9l, it will reach a power density of 105 kW / l.

Second power converter variant is targeting the conservative area for power engineering. Design requirements are focused mainly on reliability and durability of used equipment. Converter is establishing an essential design element disposing of 150 kVA for ground fault compensation systems (the final pilot consists of 9 blocks and the total power 1,35 MVA).

The third described converters are focused on light traction vehicles. This variant is analyzing possibility to optimize and modernize power converters for auxiliary drivers.

Main goal of this type of power converter is to reduce weight and size and increase an efficiency of auxiliary driver system by using modern SiC semiconductors.

Keywords

Si, SiC, Power Density, Power Engineering, Auxiliary Drive, Input stabilizer, DC/DC insulation converter

Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	1
3	HLAVNÍ DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	2
3.1	TRAKČNÍ MĚNIČE PRO ELEKTROMOBILU	2
3.2	MĚNIČE PRO ENERGETIKU	4
3.3	MĚNIČE PRO TRAKČNÍ VOZIDLA – POMOCNÉ POHONY.....	5
4	HLAVNÍ PŘÍNOSY PRÁCE.....	6
5	ZÁVĚR	7
	SPLNĚNÍ CÍLŮ PRÁCE	8
	PERSPEKTIVNÍ SMĚRY DALŠÍHO ZKOUMÁNÍ	9
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	10
	SEZNAM PUBLIKACÍ A VÝSTUPŮ STUDENTA VZTAHUJÍCÍCH SE K PŘEDMĚTU DISERTAČNÍ PRÁCE	12
	OSTATNÍ PUBLIKACE A VÝSTUPY STUDENTA.....	14

1 Úvod

Polovodičové součástky na bázi křemíku (dále jen Si) a arsenidu galia (dále jen GaAs) jsou zastoupeny v portfoliu většiny výrobců polovodičů.

Součástky na bázi GaAs nalezneme nejčastěji ve slaboproudé elektronice, kde se používají při výrobě integrovaných obvodů, tranzistorů, polovodičových laserů a fotovoltaiických článků. Pro výkonovou elektroniku se polovodičové prvky na bázi GaAs nepoužívají, protože nejsou vhodné pro použití v aplikacích s velkou hustotou výkonu (vysoké napětí a zároveň velký proud).

Polovodičové prvky na bázi Si pomalu dosahují svého vrcholu. Vývojové týmy na celém světě se snaží posunout vlastnosti těchto Si polovodičů dále, což je velice obtížné. Přesto se na trhu objevují nové generace polovodičů tohoto typu.

Postupem času se do role perspektivních materiálů pro polovodičové součástky dostávají prvky s velkou šířkou zakázaného pásu, které jsou velmi zajímavé pro výzkum a vývoj nových perspektivních polovodičových součástek. Velká šířka zakázaného pásu zaručuje výrazné zlepšení parametrů polovodičů oproti klasickým prvkům na bázi Si. Tyto prvky jsou schopny pracovat při vyšších teplotách, s vysokou hustotou výkonu a vyšší spínací frekvencí. Díky těmto vlastnostem jsou materiály s velkou šířkou zakázaného pásu ideálními nástupci polovodičových Si součástek. Mezi materiály s velkou šířkou zakázaného pásu patří: karbid křemíku (dále jen SiC), galium nitrid (dále jen GaN) a ve fázi výzkumu jsou polovodičové prvky na bázi diamantu. Ve světě dochází k diskuzím, který z materiálů je vhodnější pro výkonové aplikace. Je ovšem jisté, že polovodičové součástky s velkou šířkou zakázaného pásu jsou velkým přínosem pro výkonovou elektroniku, obzvláště materiály SiC a GaN si v této oblasti naleznou své místo. elektroniku, zvláště materiály SiC a GaN si naleznou své místo ve výkonové elektronice.

2 Cíle disertační práce

Na základě analýzy současného stavu trhu výkonových polovodičových součástek a při porovnání standardních Si prvků se speciálními tzv. širokopásmovými součástkami na bázi SiC a GaN si tato práce klade za cíl posoudit vhodnost použití SiC polovodičových prvků pro vybrané aplikace v elektrotechnice.

Vytyčené základní cíle:

- Po provedeném průzkumu dostupných komponent vybrat SiC výkonový prvek vhodný pro použití v měniči s vysokou hustotou výkonu (minimálně 100kW/l) pro elektromobilitu.

- Charakterizace ztrát výkonového měniče s vysokou hustotou výkonu a z toho plynoucí účinnosti na základě znalosti parametrů chladicího systému, měření obvodových veličin a na základě navrženého simulačního modelu.
- Navrhnout, realizovat a experimentálně ověřit prototyp SiC měniče s vysokou hustotou výkonu (minimálně 100kW/l).
- Na základě analýzy možných polovodičových prvků použitelných pro aplikace v energetice navrhnout výkonový blok modulárního výkonového měniče pro kompenzaci zemních poruch o výkonu přibližně 1 MVA.
- Návrh řídicí karty modulárního výkonového měniče sestávající se z budících obvodů pro výkonové moduly, DC zdrojů, měřicích čidel napětí, proudů, teplot a signalizace atd.
- Realizovat a experimentálně ověřit prototyp měniče pro kompenzaci zemních poruch.
- Na základě analýzy možných polovodičových prvků a topologických řešení navrhnout strukturu nové diskretní generace pomocných pohonů pro vozidla lehké trakce s využitím SiC prvků.
- Návrh řízení a simulační ověření funkčnosti měničů pro pomocné pohony.
- Návrh a stavba dílčích měničů pomocných pohonů.
- Realizovat a experimentálně ověřit prototypy měničů pro pomocné pohony.

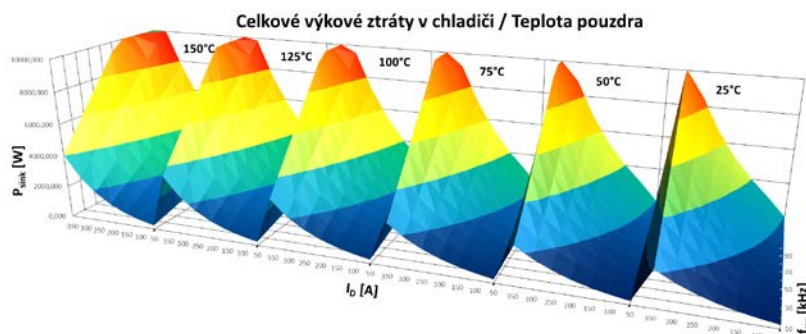
3 Hlavní dosažené výsledky

Předkládaná disertační práce se zabývá využitím moderních výkonových polovodičových součástek na bázi Si a SiC ve výkonových měničích určených pro vybrané aplikace v oblasti elektrotechniky s ohledem na vhodnost dané technologie pro cílovou aplikaci.

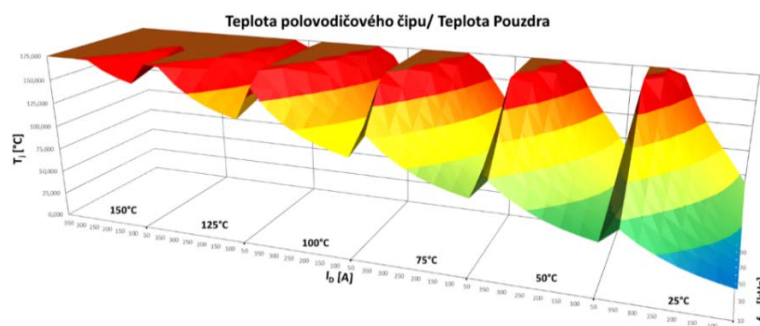
3.1 Trakční měniče pro elektromobilu

Návrh a realizace výkonového měniče s vysokou hustotou výkonu s cílem dosáhnout hodnoty 100kW/l dle automotive projektu US drive při uvažování bateriového napájení měniče. V návrhu výkonového měniče byly použité plně SiC výkonové moduly CREE – CAS325M12HM2 [9]. Byl sestaven simulační model pro odhad ztrát a teploty polovodičového přechodu výkonového modulu měniče. Výsledky modelu vidíme na grafech Obr. 1 celkové ztráty v chladiči a Obr. 2 teploty polovodičových čipů, jednotlivé části grafů jsou simulované pro různé teploty pouzdra tranzistoru. Barevná škála je volena tak, aby co nejvíce respektovala bezpečné hodnoty nejlépe je to vidět na Obr. 2, kde je graf ukončen na teplotě čipu $T_{j-max} = 175^{\circ}\text{C}$, červená oblast značí rozmezí teplot

150°C až 175°C. Další oblasti mají hodnotu tepelného rozdílu vždy 25°C. Pro graf ztrátového výkonu byl zvolen krok barevné škály 2000 W, kdy červená odpovídá 10 kW.

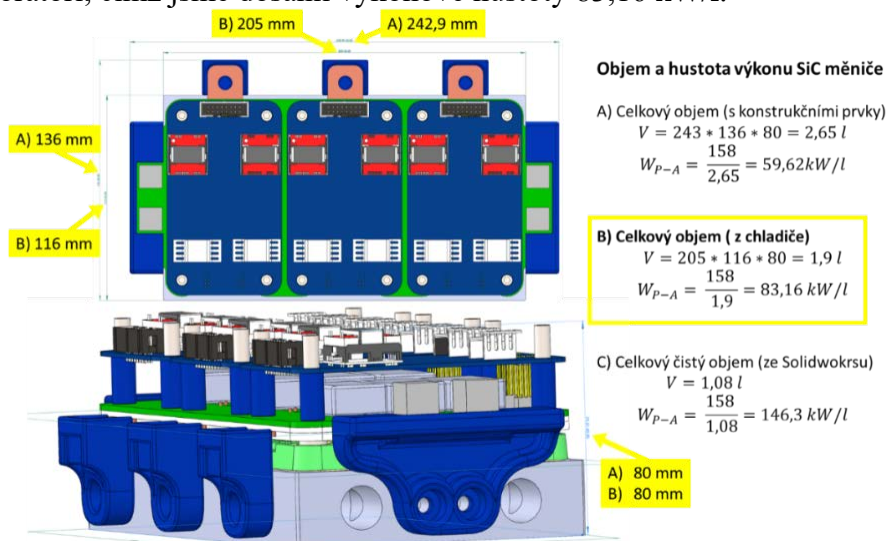


Obr. 1 – Tepelné mapy (pro různé TC) ztrát v chladiči získané pomocí simulačního modelu



Obr. 2 – Tepelné mapy (pro různé TC) teplot polovodičových čipů získané pomocí simulačního modelu

Měření prokázalo, že je SiC měnič na Obr. 3 plně funkční a ztrátové výkony odpovídají předpokladům. Měnič disponuje objemem 1,9 litrů (pro případ bateriového provozu) a byl experimentálně ověřen při výkonu 158kW z důvodu omezení výkonového zatížení v halové laboratoři, čímž jsme dosáhli výkonové hustoty 83,16 kW/l.



Obr. 3 – Rozměry SiC měniče a výsledná výkonová hustota vztažená k 1 l

3.2 Měníče pro energetiku

Návrh a realizace měniče pro použití v energetice, v součinnosti s projektem TAČR alfa TA04020235. Během práce byla provedena rozsáhlá analýza dostupných výkonových polovodičů na bázi Si a SiC, pro uvažované blokové napětí prvků 1200 V a 1700 V. Analýza a výběr součástek si kladly za cíl dosažení co nejvyšší spínací frekvence, která by umožnila minimalizovat rozměry a hmotnost integrovaného LCL filtru.

Na základě této analýzy byly postaveny dva prototypy (Prototyp-A, Prototyp-B) základních stavebních bloků o výkonu 150 kVA.

Prototyp-A byl pomocí experimentálního měření v sestavě dvou vzduchem chlazených výkonových bloků 150 kVA otestován. Při tomto měření byla provedena kvalifikace vhodných polovodičových modulů pro stavbu základního stavebního bloku 150 kVA. V rámci této části bylo provedeno porovnání výkonových modulů Si s SiC s cílem ověření předpokládaných přínosů technologie SiC.

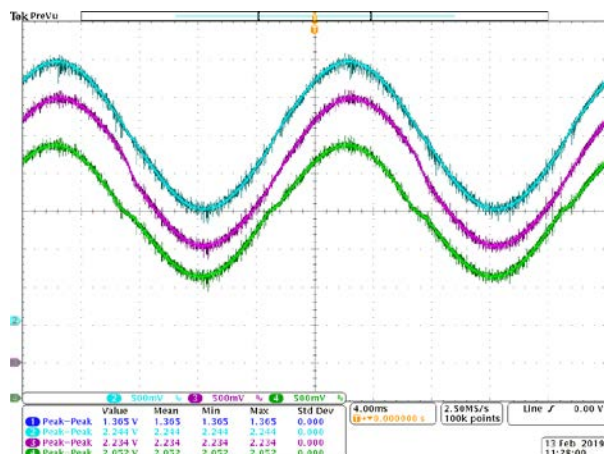
Prototyp-B byl pomocí experimentálního měření v sestavě dvou vzduchem chlazených výkonových bloků 150 kVA byl ověřen návrh a dimenzování těchto základních stavebních bloků. Výsledky měření prokázaly, že výkonové měniče mohou trvale pracovat o jmenovitém výkonu 150 kVA, při napětí 400 V na střídavé straně se jmenovitým proudem 375 A. Navržené vzduchové chlazení umožňuje dosáhnout spínací frekvence 9 kHz až do teploty okolí 45°C. Na základě těchto měření byl Prototyp-B zvolen jako finální měnič pro aplikaci v energetice o výkonu 1,35 MVA.

Finální prototyp nyní prochází pilotním provozem na VN rozvodně v Kralovicích, viz Obr. 4. Skříň s výkonovými měniči o celkovém výkonu 1,35 MVA navržená pro venkovní provoz je vidět na Obr. 4. Obr. 5 zobrazuje finální testy jedné fáze kompenzátoru s výstupním proudem 1000 ARMS, průběhy jsou výstupem DAC s ofsetem 2,5 V.

Výzbroj skříně je realizována jako soustava devíti základních bloků, napěťových střídačů, z nichž každý disponuje výkonem 150 kVA, dále soustavou výstupních LC filtrů zajišťujících kvalitu generovaného proudu, systému přístrojů pro připojení a chránění i komplexního řídicího systému je na Obr. 6.



Obr. 4 - Pilotní provoz na rozvodně Kralovice



Obr. 5 – Výstupní proud finální trojice bloků

Ch2 (Tyrkysová) - proud měniče M1 [250A/div]

Ch3 (Fialová) - proud měniče M2 [250A/div],

Ch4 (Zelená) - proud měniče M2 [250A/div]



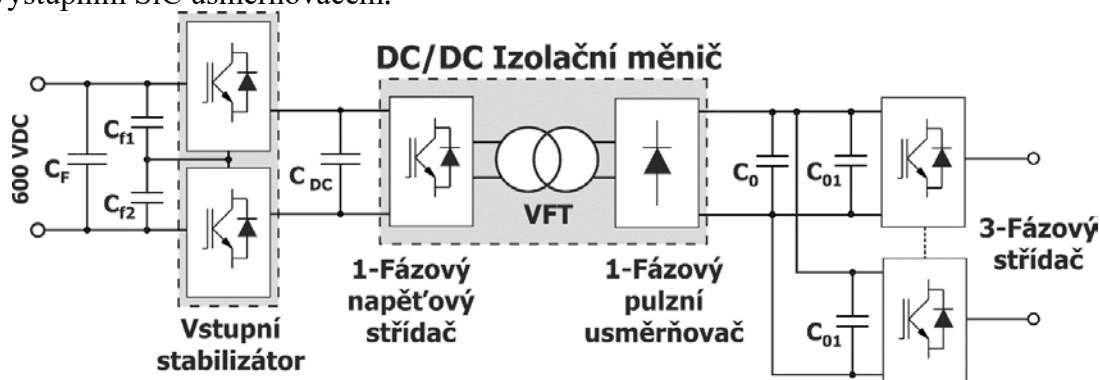
Obr. 6 - Výzbroj skříně s výkonovými měniči – soustava základních stavebních bloků 150 kVA

3.3 Měniče pro trakční vozidla – Pomocné pohony

Byly navrženy koncepty struktur měničů pro pomocné pohony, pro finální prototyp byla zvolena struktura viz Obr. 7. Záměrem této části práce bylo vyvinut a realizovat několik měničů s nejmodernějšími Si a SiC diskretními polovodičovými prvky. Byla provedena analýza dostupných prvků i s uvažováním inženýrských vzorků. V rámci této analýzy byly vybrány ekvivalentní polovodičové prvky Si a SiC.

Poté byly navrženy funkční prototypy sériově spojených měničů vstupního stabilizátoru pro strukturu pomocných pohonů viz Obr. 7. Dále byl navržen DC/DC izolační měnič skládající se z jednofázového střídače a SiC usměrňovače. Ten slouží jako část izolujících DC/DC měničů pro větve generátoru palubní sítě a nabíječe.

První část struktury je tvořena vstupním napěťovým stabilizátorem, který byl navržen v topologii sériového dvoukvadrantového pulzního měniče o výkonu 22 kW a spínací frekvenci 30 kHz. Druhá část struktury DC/DC izolačního měniče je tvořena jednofázovým střídačem, který umí pracovat se spínací frekvencí 100 kHz a více a výstupním SiC usměrňovačem.



Obr. 7 – Zvolená struktury pomocných pohonů se vstupním stabilizátorem

Každý z měničů použitých pro stavbu struktury pomocných pohonů na Obr. 7 byl realizován a experimentálně otestován. Cílem měření je určit vlastnosti navržených měničů a experimentálně určit jejich účinnosti charakteristiky, a tak následně určit účinnost celé struktury pomocných pohonů.

Využití nejmodernějších Si polovodičových prvků pro měniče pomocných pohonů se ukázalo být efektivní cestou ke zvýšení jejich účinnosti, a to i při současném zvýšení spínací frekvence tím dochází ke snížení výsledné hmotnosti a objemu měničů pomocných pohonů. Tyto navržené měniče dosahují účinnosti cca 96% v celém pracovním rozsahu a dosahují tak několikaprocentního navýšení účinnosti oproti původnímu konceptu postaveného s IGBT 1700 V tranzistory.

4 Hlavní přínosy práce

- Návrh výkonového měniče s vysokou hustotou výkonu s cílem dosáhnout hodnoty minimálně 100kW/l (projekt – US drive) při uvažování bateriového napájení měniče. Byl sestaven simulační model pro odhad ztrát a teploty polovodičového přechodu výkonového modulu měniče. Realizovaný výkonový měnič je postaven z SiC výkonový modulů CREE – CAS325M12HM2 [9] a disponuje objemem 1,9 litrů a experimentálně byl ověřen při výkonu 158 kW. Čímž jsme dosáhli výkonové hustoty 83,16 kW/l. Dle předběžných propočtů předpokládáme maximální výkon minimálně 200kW a dosažení výkonové hustoty 105 kW/l.
- Byl navržen a realizován základní stavební blok o výkonu 150 kVA, a to ve dvou variantách, označené jako Prototyp-A a Prototyp-B, v součinnosti s projektem TAČR alfa TA04020235. Výsledky měření prokázaly, že výkonové měniče mohou trvale pracovat o jmenovitém výkonu 150 kVA, při napětí 400 V na střídavé straně s jmenovitým proudem 375 A. Na základě prototypu-B byl sestaven finální prototyp měniče o výkonu 1,35MVA a nyní prochází pilotním provozem na VN rozvodně v Kralovicích jako součást Zařízení pro kompenzaci zemních poruch 22/0,4 kV 1,35 MVA.
- Byla provedena analýza možných polovodičových prvků a topologických řešení. Pro novou generaci pomocných pohonů pro vozidla lehké trakce s využitím diskretních Si a SiC prvků. V rámci této analýzy byly vybrány ekvivalentní polovodičové prvky Si a SiC. Poté byly navrženy a experimentálně ověřeny funkční prototypy sériově spojených měničů vstupního stabilizátoru (22 kW při 30 kHz) pro strukturu pomocných pohonů. Dále byl navržen DC/DC izolační měnič

(10 kW při 100 kHz) skládající se z jednofázového střídače a SiC usměrňovače. DC/DC izolační měnič slouží jako zdroj pro větve generátoru palubní sítě 3x400VAC a nabíječe palubních baterií.

5 Závěr

Předkládaná disertační práce se zabývá využitím moderních výkonových polovodičových součástek na bázi Si a SiC ve výkonových měničích ve vybraných aplikacích v oblasti elektrotechniky s ohledem na vhodnost dané technologie pro cílovou aplikaci.

Nejprve je práce věnována současnému trendu vývoje výkonových polovodičů a podrobné analýze dostupných polovodičových součástek, kde je proveden předběžný výběr polovodičů s ohledem na technologii samotného polovodiče Si, Si hybridní moduly (Si+SiC), SiC výkonové prvky a velmi perspektivní GaN. Na základě této analýzy byl vytvořen přehled prvků vhodných pro cílové aplikace popsané v jednotlivých kapitolách.

Následně práce pojednává o návrhu výkonového měniče s vysokou hustotou výkonu s cílem dosáhnout hodnoty 100kW/l dle automotive projektu US drive při uvažování bateriového napájení měniče. Byl sestaven simulační model pro odhad ztrát a teploty polovodičového přechodu výkonového modulu měniče, navržen a sestaven prototyp výkonového měniče s vysokou hustotou výkonu s vodním chladícím okruhem. Realizovaný výkonový měnič disponuje objemem 1,9 litrů a experimentálně ověřený při výkonu 158kW z důvodu omezení výkonového zatížení v halové laboratoři, čímž jsme dosáhli výkonové hustoty 83,16 kW/l.

Dále se práce zabývá návrhem měniče pro použití v energetice, v součinnosti s projektem TAČR alfa TA04020235. Během práce byla provedena rozsáhlá analýza dostupných výkonových spínacích polovodičových součástek na bázi Si, SiC a hybridní, pro uvažované blokové napětí prvků 1200 V a 1700 V, pro součástky diskrétní i integrované výkonové moduly IPM. Analýza a výběr součástek si kladly za cíl dosažení co nejvyšší spínací frekvence, která by umožnila minimalizovat rozměry a hmotnost integrovaného LCL filtru.

Na základě analýzy součástek byla provedena úvodní kvalifikace výkonových polovodičů vhodných pro stavbu laboratorních prototypů i finálního zařízení. Kvalifikace je klíčová pro detailní napěťové a proudové dimenzování, fixaci spínací frekvence mající vazbu na výkonové ztráty.

Z vybraných polovodičů byly postaveny dva experimentální prototypy (A,B), které byly experimentálně měřeny v sestavě dvou vzduchem chlazených měničů, byl ověřen návrh a dimenzování těchto základních stavebních bloků. Výsledky měření na měničích prototypu-B prokázaly, že výkonové měniče mohou trvale pracovat o jmenovitém výkonu

150 kVA, při napětí 400 V na střídavé straně s jmenovitým proudem 375 A. Navržené vzduchové chlazení umožňuje dosáhnout spínací frekvence 9 kHz až do teploty okolí 45°C. Na základě těchto měření byl Prototyp-B zvolen jako finální měnič pro aplikaci v energetice o celkovém výkonu 1,35 MVA.

Poslední část se věnuje návrhu konceptu struktury měničů pro pomocné pohony. Záměrem této části práce bylo vyvinout a realizovat několik měničů s nejmodernějšími Si a SiC diskretními polovodičovými prvky.

Využití nejmodernějších Si polovodičových prvků ve vybraných měničích pro pomocné pohony se ukázalo být efektivní cestou ke zvýšení jejich účinnosti, a to i při současném zvýšení spínací frekvence. Dosažené účinnosti v okolí 96% jak ve vstupním měniči, tak v následujícím DC/DC izolačním měniči pro napájení větve generátoru palubní sítě. Tyto navržené měniče zajišťují v celém rozsahu vstupního napětí a zátěže, několikaprocentní navýšení účinnosti oproti původnímu konceptu s IGBT 1700 V tranzistory. Těchto hodnot bylo dosaženo při současném navýšení spínací frekvence z 8 kHz na 30 kHz u vstupního měniče a zdvojnásobení spínací frekvence u měniče v galvanické bariéře z 50 kHz na 100 kHz. Tento nárůst dává značný prostor pro optimalizaci pasivních součástek výkonového obvodu.

Splnění cílů práce

- Byla provedena analýza komponent SiC. Na základě analýzy byl vybrán výkonový modul CAS325M12HM2 pro stavbu měniče s vysokou hustotou výkonu (minimálně 100 kW/l).
- Byla provedena charakterizace ztrát výkonového měniče s vysokou hustotou výkonu a z toho plynoucí účinnosti.
- Byl realizován a experimentálně ověřen prototyp „Full SiC“ měniče s vysokou hustotou výkonu (naměřená hustota výkonu 83,16 kW/l vlivem omezeného výkonu použitou zátěží – 158kW z plánovaných 200kW).
- Byla provedena analýza vhodných polovodičových prvků použitelných pro aplikace v energetice.
- Byly navrženy řídicí karty modulárního výkonového měniče sestávající se z budících obvodů pro výkonové moduly, DC zdrojů, měřících čidel napětí, proudů a teplot a signalizace atd.
- Byly realizovány a experimentálně ověřeny dva prototypy (Prototyp-A, Prototyp-B) měniče pro kompenzaci zemních poruch.

- Byl navržen modulární systém pro kompenzaci zemních poruch o výkonu 1,35 MVA ve spolupráci s Cegelec a.s., který je postaven z výkonových měničů (Prototyp-B).
- Byla provedena analýza možných polovodičových prvků a topologických řešení pro novou generaci pomocných pohonů vozidel lehké trakce s využitím diskretních Si a SiC prvků.
- Byly navrženy a postaveny měniče vstupního stabilizátoru dle zvolené topologie sériově spojeného dvoukvadrantového pulzního měniče a DC/DC izolujícího měniče.
- Bylo navrženo řízení a simulačně ověřena funkčnost měničů s tímto řízením.
- Byly realizovány a experimentálně ověřeny prototypy měničů pro pomocné pohony.

Perspektivní směry dalšího zkoumání

- Realizace kalorimetrického měřícího stanoviště pro přesné určení celkové účinnosti polovodičových měničů na základě ztrátového tepla.
- Návrh a realizace kompaktní řídicí jednotky s budicími obvody pro SiC měnič z důvodu minimalizace měniče a tím navýšení jeho výkonové hustoty
- Návrh matematického modelu měniče základního stavebního bloku s ohledem na optimalizaci chlazení s využitím kapalinového chlazení pro zvýšení instalovaného výkonu měniče.
- Návrh a realizace DC/DC izolujícího měniče s využitím GaN polovodičových prvků s pracovními frekvencími až 1 MHz pro výraznou redukci hmotnosti a objemu izolačního transformátoru.

Seznam použité literatury a informačních zdrojů

- [1] Ayalew, T., SiC Semiconductor Devices Technology Modeling and Simulation [online] Dostupné z: <http://www.iue.tuwien.ac.at/phd/ayalew/node95.html>
- [2] Infineon, 2016 [online] Dostupné z: https://www.infineon.com/Infineon--ower_and_Sensing_Selection_Guide_2016-SG-v00_00-EN.pdf?fileId=5546d4625607bd13015621522aa012cb
- [3] Semikron SEMiX603GB12E4SiCp, 2018 [online] Dostupné z: <https://www.semikron.com/dl/service-support/downloads/download/semikron-datasheet-semix603gb12e4sicc-27895300/>
- [4] Semikron SKM200GB12F4SiC2, 2019 [online] Dostupné z: <https://www.semikron.com/dl/service-support/downloads/download/semikron-datasheet-skm200gb12f4sic2-22896100/>
- [5] Semikron SKiM459GD12F4SC4, 2018 [online] Dostupné z: <https://www.semikron.com/service-support/downloads/detail/semikron-datasheet-skim459gd12f4v4-23930320.html>
- [6] Semikron SKiP39AC12F4V19, 2016 [online] Dostupné z: <https://www.semikron.com/dl/service-support/downloads/download/semikron-datasheet-skiip39ac12f4v19-25231730.pdf>
- [7] Infineon FF600R12IS4F, 2014 [online] Dostupné z https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-FF600R12IS4F-DS-v02_05-en_de.pdf?fileId=db3a30431f848401011feb8dfb623eae
- [8] Infineon FS3L50R07W2H3F_B11, 2017 [online] Dostupné z https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-FS3L50R07W2H3F_B11-DataSheet-v03_03-EN.pdf?fileId=db3a30433fe811c7013fec12b85d3c49
- [9] Cree CAS325M12HM2, 2018 [online] Dostupné z <https://www.wolfspeed.com/downloads/dl/file/id/967/product/204/cas325m12hm2.pdf>
- [10] Cree CAB450M12XM3, 2019 [online] Dostupné z <https://www.wolfspeed.com/media/downloads/1493/CAB450M12XM3.pdf>
- [11] ROHM BSM300D12P2E001, 2015 [online] Dostupné z https://d1d2qsbl8m0m72.cloudfront.net/en/products/databook/datasheet/discrete/sic/power_module/b-sm300d12p2e001-e.pdf
- [12] Gan Systems GS66516T, 2018 [online] Dostupné z <https://gansystems.com/wp-content/uploads/2018/04/GS66516T-DS-Rev-180422.pdf>
- [13] Gan Systems GSM-065-240-1-N-0 (Preliminary Information), 2018 [online] Dostupné z https://cz.mouser.com/datasheet/2/692/gansystems-10-04-2018-GSM-065-120-1-N-0_-_Brief_-_1489859.pdf
- [14] Sources of Loss. In: National instruments [online]. Dostupné z: <http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/375482B-01/multisim/sourcesooss/>
- [15] WINTRICH, Arendt et al. Application Manual Power Semiconductors. SEMIKRON International, 2015. ISBN 978-3-938843-83-3.
- [16] VONDRÁŠEK, František. Projektování výkonových polovodičových měničů: vybrané stati. FEL ZČU, 2008. ISBN 978-80-7043-653-0.
- [17] Delmat polyester 68010. In [online]. Dostupné z: <https://www.vonroll.com/en/product-detail/delmat-68010-gpo-3/?id=product12390>
- [18] High Tg FR-4. In [online]. Dostupné z: <http://www.tlm.co.th/download/TDSTLM170.pdf>
- [19] B58033I9505M001. In [online]. https://cz.mouser.com/datasheet/2/400/B58033_SP-1526202.pdf
- [20] KOMRSKA, T., BLAHNÍK, V., STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., PEROUTKA, Z. Zařízení pro kompenzaci zemních poruch: Návrh topologie výkonového obvodu. ZČU v Plzni : Neuveden, 2014.
- [21] Infineon FF450R12KT4, 2013 [online] Dostupné z https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-FF450R12KT4-DS-v03_00-EN.pdf?fileId=db3a3043156fd573011619a84a5e1de5
- [22] Fuji Electric 2MBI300VD-120-50, 2014 [online] Dostupné z https://www.fujielectric-europe.com/downloads/2MBI300VD-120-50_1735028.PDF

- [23] CREE - CAS300M12BM2, 2017 [online] Dostupné z https://www.wolfspeed.com/downloads/dl/file/id/178/product/101/comparing_cree_sic_mosfet_module_to_silicon_igbt_based_module.pdf
- [24] STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., KOMRSKA, T. Základní stavební blok: výkonový měnič a řídicí HW. ZČU v Plzni: Západočeská univerzita v Plzni, 2016.
- [25] STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., KOMRSKA, T., JÁRA, M., PEROUTKA, Z. DC losses heatsink verification of IGBT converter for power systems. In *USB Proceedings 2019 IEEE 28th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2019)*. Piscataway: IEEE, 2019. s. 798-803. ISBN: 978-1-72813-665-3, ISSN: 2163-5145
- [26] KOMRSKA, T., STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J. Výkonový polovodičový blok 150 kVA: experimentální měření. ZČU v Plzni : Západočeská univerzita v Plzni, 2019.
- [27] ŠTĚPÁNEK, J., STREIT, L., KOMRSKA, T. Comparison of Si and SiC based power converter module of 150 kVA for power system applications. *Transactions on Electrical Engineering*, 2018, roč. 7, č. 1, s. 10-13. ISSN: 1805-3386
- [28] Coccia, A.; Canales, F.; Barbosa, P.; Ponnaluri, S., "Wide input voltage range compensation in DC/DC resonant architectures for on-board traction power supplies," *Power Electronics and Applications*, 2007 European Conference on , vol., no., pp.1,10, 2-5 Sept. 2007
doi: 10.1109/EPE.2007.4417709
- [29] Wei Guo; Hua Bai; Szatmari-Voicu, G.; Taylor, A.; Patterson, J.; Kane, J., "A 10kW 97%-efficiency LLC resonant DC/DC converter with wide range of output voltage for the battery chargers in Plug-in Hybrid Electric Vehicles," *Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, 2012 IEEE , vol., no., pp.1,4, 18-20 June 2012
doi: 10.1109/ITEC.2012.6243457
- [30] O. Deblecker, A. Moretti, and F. Vallee, "Comparative Study of Soft-Switched Isolated DC-DC Converters for Auxiliary Railway Supply," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol 23, Issue 5, pp. 2218 – 2229, Sept. 2008.
- [31] B. Whitaker, A. Barkley, Z. Cole, B. Passmore, D. Martin, T.R. McNutt, A.B. Lostetter, J. S. Lee, and K. Shiozaki, "A High-Density, High-Efficiency, Isolated On-Board Vehicle Battery Charger Utilizing Silicon Carbide Power Devices," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol.29, no. 5, pp.2606-2617, May 2014.
- [32] B.P. McGrath, D.G. Holmes, P.J. McGoldrick, and A.D. McIver, "Design of a Soft-Switched 6-kW Battery Charger for Traction Applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol.22, no.4, pp.1136–1144, July. 2007.
- [33] XinkeWu, Guichao Hua, Junming Zhang, and Zhaoming Qian, "A New Current-Driven Synchronous Rectifier for Series-Parallel Resonant (LLC) DC-DC Converter, " *IEEE Trans. Industrial electronics*, vol. 58, no. 1, pp. 289–297, Jan. 2011.
- [34] Steigerwald, R.L., "A comparison of half-bridge resonant converter topologies," *Power Electronics*, *IEEE Transactions on* , vol.3, no.2, pp.174,182, Apr 1988
doi: 10.1109/63.4347
- [35] Sha, S., Guo, Z. and Liao, X., "Control Strategy for Input-Parallel-Output-Parallel Connected High-Frequency Isolated Inverter Modules," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol.26, no.8, pp.2237-2248, Aug. 2011.
- [36] Fan, H., and Li, H., "High-Frequency Transformer Isolated Bidirectional DC-DC Converter Modules With High Efficiency Over Wide Load Range for 20 kVA Solid-State Transformer," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol.26, no.12, pp.3599-3608, Dec. 2011.
- [37] Labella, T., Yu, W., Lai, J.-S., Senesky, M., and Anderson, D. "A Bidirectional-Switch-Based Wide-Input Range High-Efficiency Isolated Resonant Converter for Photovoltaic Applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol.29, no.7, pp.3473–3484, July. 2014.

- [38] Ranstad, P.; Nee, H.-P.; Linner, J.; Pefitsis, D., "An Experimental Evaluation of SiC Switches in Soft-Switching Converters," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol.29, no.5, pp.2527,2538, May 2014 doi: 10.1109/TPEL.2013.2265380
- [39] Jordan, J.; Esteve, V.; Sanchis-Kilders, E.; Dede, E.J.; Maset, E.; Ejea, J.B.; Ferreres, A., "A Comparative Performance Study of a 1200 V Si and SiC MOSFET Intrinsic Diode on an Induction Heating Inverter," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol.29, no.5, pp.2550,2562, May 2014 doi: 10.1109/TPEL.2013.2282658
- [40] Radvan, R., Dobrucky B., and M. Frivaldsky, "Modelling and Design of HF 200 kHz Transformers for Hard- and Soft-Switching Application". *ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA*. vol. 4, pp.7-12, 2011.
- [41] JÁRA, M., PEROUTKA, Z., Stavba laboratorního prototypu 1200V střídače s rychlými IGBT spínači, 2012
- [42] ŠTĚPÁNEK, J., BLAHNÍK, V., DRÁBEK, P., JÁRA, M. Zapojení regulačních obvodů dvou sériově spojených dvoukvadrantových pulzních měničů s SiC součástkami. Výzkumná zpráva, 2013
- [43] ŠTĚPÁNEK, J., BLAHNÍK, V., DRÁBEK, P., JÁRA, M. Zapojení regulačních obvodů dvou sériově spojených dvoukvadrantových pulzních měničů s SiC součástkami. Výzkumná zpráva, 2013
- [44] Infineon IGW40N120H3, 2014 [online] Dostupné z https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IGW40N120H3-DS-v02_02-EN.pdf?fileId=db3a304325305e6d0125921b9364704d
- [45] Infineon IDW20S120, 2015 [online] Dostupné z https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IDW20S120-DS-v02_00-en.pdf?fileId=db3a304336724dc4013678241c12486c
- [46] Cree C2M0025120D, 2016 [online] Dostupné z <https://www.wolfspeed.com/media/downloads/161/C2M0025120D.pdf>
- [47] Cree C4D40120D, 2016 [online] Dostupné z <https://www.wolfspeed.com/media/downloads/109/C4D40120D.pdf>
- [48] Semikron Chladič p16, 2014 [online] Dostupné z <https://www.semikron.com/dl/service-support/downloads/download/semikron-datasheet-p-16-pm139410.pdf>
- [49] Infineon IKW40N120H3, 2014 [online] Dostupné z https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IKW40N120H3-DS-v02_01-EN.pdf?fileId=db3a304325305e6d012591d4832f7032
- [50] Microsemi APTDC40H1201G, 2009 [online] Dostupné z <http://elmechanics.com/documents/pdf/110/APTDC40H1201G.pdf>

Seznam publikací a výstupů studenta vztahujících se k předmětu disertační práce

- [A1] JÁRA, M., BLAHNÍK, V., DRÁBEK, P., ŠTĚPÁNEK, J. *22kW dvoukvadrantní sériový měnič s SiC prvky*. 2013.
- [A2] JÁRA, M., BLAHNÍK, V., DRÁBEK, P., ŠTĚPÁNEK, J. *Dvoukanálový driver pro SiC normally-on JFET tranzistory*. 2013.
- [A3] ŠTĚPÁNEK, J., BLAHNÍK, V., DRÁBEK, P., JÁRA, M. Zapojení regulačních obvodů dvou sériově spojených dvoukvadrantových pulzních měničů s SiC součástkami. 2013.
- [A4] BLAHNÍK, V., DRÁBEK, P., JÁRA, M., ŠTĚPÁNEK, J. *Simulační testovací software určený pro vstupní měnič pomocných pohonů ve variantě ZPM pracující při kritických podmínkách*. 2013.
- [A5] BLAHNÍK, V., DRÁBEK, P., JÁRA, M., ŠTĚPÁNEK, J. *Simulační program pro testování sériového dvoukvadrantového pulzního měniče o výkonu 22kW*. 2013.
- [A6] DRÁBEK, P., BLAHNÍK, V., JÁRA, M., ŠTĚPÁNEK, J. *Dvoukvadrantový pulzní měnič s high speed IGBT tranzistory H3 a SiC diodami 22kW*. 2013.
- [A7] BLAHNÍK, V., ŠTĚPÁNEK, J., DRÁBEK, P., JÁRA, M. *Stavba laboratorního prototypu 1200V sériového vstupního stabilizátoru napětí 22kW s H3 IGBT*. Západočeská univerzita v Plzni, 2013.

- [A8] JÁRA, M., DRÁBEK, P., BLAHNÍK, V., ŠTĚPÁNEK, J. *Výkonový jednofázový usměrňovač s SiC modulem*. 2013.
- [A9] JÁRA, M., DRÁBEK, P., ŠTĚPÁNEK, J., BLAHNÍK, V. *Silový obvod 22kW SiC dvoukvadrantního měniče*. Plzeň : Škoda Electric, a.s., 2013. 33 s.
- [A10] JÁRA, M., DRÁBEK, P., BLAHNÍK, V., ŠTĚPÁNEK, J. *Silový obvod dvojitého SiC jednofázového střídače*. Plzeň : Škoda Electric, a.s., 2013. 18 s.
- [A11] ŠTĚPÁNEK, J., JÁRA, M., DRÁBEK, P., BLAHNÍK, V. *Elektrické měření laboratorního prototypu 1200V vstupního stabilizátoru napětí pro pomocné pohony s rychlými IGBT spínači*. Plzeň : Škoda Electric, a.s., 2013. 23 s.
- [A12] ŠTĚPÁNEK, J. Pulzní stabilizátor napětí s rychlými IGBT tranzistory a SiC diodami. In *Elektrotechnika a informatika 2014. Část 2., Elektronika*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2014. s. 73 - 76. ISBN: 978-80-261-0366-0
- [A13] KOMRSKA, T., BLAHNÍK, V., STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., PEROUTKA, Z. *Zařízení pro kompenzaci zemních poruch: Návrh topologie výkonového obvodu*. ZČU v Plzni : Neuveden, 2014.
- [A14] STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J. *Preselekcce spínacích polovodičových součástek pro měnič 100 kVA*. ZČU v Plzni : Neuveden, 2014.
- [A15] ŠTĚPÁNEK, J., JÁRA, M. Návrh vstupního stabilizátoru napětí. In *Elektrické pohony : XXXIV. konference (ELPO 2015)*. Plzeň: Česká elektrotechnická společnost, 2015. s. 1-8. ISBN: 978-80-02-02592-4
- [A16] ŠTĚPÁNEK, J., JÁRA, M., DRÁBEK, P. Cost-effective solution of input voltage stabilizer of auxiliary drive converter for traction vehicles. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 2015, roč. 21, č. 6, s. 18-23. ISSN: 1392-1215
- [A17] STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., KOMRSKA, T. *Základní stavební blok: výkonový měnič a řídicí HW*. ZČU v Plzni : Západočeská univerzita v Plzni, 2016.
- [A18] ŠTĚPÁNEK, J., STREIT, L., POLÁČEK, L. *HW prototyp řídicí části zařízení pro kompenzaci zemních poruch*. 2016.
- [A19] STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J. *Výkonový měnič - základní stavební blok 150 kVA*. 2016.
- [A20] ŠTĚPÁNEK, J. *Stavba prototypu měničů pro pomocné pohony (galvanickou bariéru)*. Západočeská univerzita v Plzni, 2016.
- [A21] ŠTĚPÁNEK, J. *Topologie měničů pro použití v galvanické bariéře*. Západočeská univerzita v Plzni, 2016.
- [A22] ŠTĚPÁNEK, J. *Polovodičové součástky SiC a GaN vhodné pro výkonovou elektroniku*. Západočeská univerzita v Plzni, 2016.
- [A23] ŠTĚPÁNEK, J. Topologie pomocných pohonů v lehké trakci. In *Elektrické pohony : XXXV. konference (ELPO 2017)*. Plzeň: Česká elektrotechnická společnost ČSVTS, 2017. s. 1-16. ISBN: 978-80-02-02724-9
- [A24] ŠTĚPÁNEK, J. Model pomocných pohonů. In *Elektrické pohony : XXXV. konference (ELPO 2017)*. Plzeň: Česká elektrotechnická společnost ČSVTS, 2017. s. 1-11. ISBN: 978-80-02-02724-9
- [A25] KOMRSKA, T., STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J. Porovnání technologie Si a SiC u výkonových měničů 150 kVA pro energetiku. In *Elektrické pohony : XXXV. konference (ELPO 2017)*. Plzeň: Česká elektrotechnická společnost ČSVTS, 2017. s. 1-4. ISBN: 978-80-02-02724-9
- [A26] ŠTĚPÁNEK, J., DRÁBEK, P. *Výkonový 1200V SiC usměrňovač*. 2017.
- [A27] PEROUTKA, Z., KOMRSKA, T., TALLA, J., BLAHNÍK, V., STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., KOŠAN, T., BEDNÁŘ, B., SKALA, B., KINDL, V., POLÁČEK, L., TURJANICA, P., ŠTENGL, J., BURIAN, P., MICHALÍK, , MOLNÁR, , JÁRA, M., ELIS, L. *Zařízení pro kompenzaci zemních poruch 22/0,4 kV 1,35 MVA*. 2017.
- [A28] STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., POLÁČEK, L., KOŠAN, T., JÁRA, M., KOMRSKA, T. *Výkonový polovodičový blok 150 kVA: budící obvody*. ZČU v Plzni : Západočeská univerzita v Plzni, 2017.
- [A29] ŠTĚPÁNEK, J., STREIT, L., KOMRSKA, T., JÁRA, M. *Výkonový polovodičový blok 150 kVA: analýza stejnosměrným proudem*. ZČU v Plzni : Západočeská univerzita v Plzni, 2017.
- [A30] ŠTĚPÁNEK, J., STREIT, L., KOMRSKA, T. Comparison of Si and SiC based power converter module of 150 kVA for power system applications. *Transactions on Electrical Engineering*, 2018, roč. 7, č. 1, s. 10-13. ISSN: 1805-3386

- [A31] KOMRSKA, T., TALLA, J., SKALA, B., KINDL, V., STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., KOŠAN, T., POLÁČEK, L., ŠTENGL, J., PEROUTKA, Z. *Zařízení pro kompenzaci zemních poruch 22/0,4 kV 1,35 MVA*. 2018.
- [A32] STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., POLÁČEK, L., KOŠAN, T., JÁRA, M., KOMRSKA, T. *Budící a měřicí obvody výkonových měničů 150 kVA*. 2019.
- [A33] KOMRSKA, T., STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., JÁRA, M. *Experimentální sestava pro analýzu ztrát a chladicího systému výkonových měničů 150 kVA*. 2019.
- [A34] STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., KOMRSKA, T., JÁRA, M., PEROUTKA, Z. DC losses heatsink verification of IGBT converter for power systems. In *USB Proceedings 2019 IEEE 28th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2019)*. Piscataway: IEEE, 2019. s. 798-803. ISBN: 978-1-72813-665-3, ISSN: 2163-5145
- [A35] KOMRSKA, T., STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J. *Výkonový polovodičový blok 150 kVA: experimentální měření*. ZČU v Plzni : Západočeská univerzita v Plzni, 2019.
- [A36] KOMRSKA, T., STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J. *Experimentální sestava výkonových polovodičových bloků 150 kVA*. 2019.

Ostatní publikace a výstupy studenta

- [B1]. STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., HOŘAN, M. *Budící obvody pro MOSFETový měnič*. 2011
- [B2]. STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J. *MOSFETový měnič pro elektromotokáru*. 2011.
- [B3]. ŠTĚPÁNEK, J. Stavba pulzního měniče s MOSFET tranzistory. In *Elektrotechnika a informatika 2012. Část 2., Elektronika*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. s. 127-130. ISBN: 978-80-261-0119-2
- [B4]. STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., BEDNÁŘ, B., KUBÍK, , ELIS, L. Electric Kart with LiFeYPO4 Batteries. In *2012 International Conference on Applied Electronics*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. s. 305-308. ISBN: 978-80-261-0038-6, ISSN: 1803-7232
- [B5]. JÁRA, M., BLAHNÍK, V., DRÁBEK, P., ŠTĚPÁNEK, J. *Jednotka napájecích zdrojů +-15V pro externí čidla LEM LA125-P a LEM LV 25-1000/SP1*. 2013.
- [B6]. ŠTĚPÁNEK, J., BEDNÁŘ, B., STREIT, L., ELIS, L. Elektrická motokára "FeLis". In *Elektrotechnika a informatika 2013. Část 1. Elektrotechnika*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2013. s. 151-154. ISBN: 978-80-261-0233-5
- [B7]. STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J., ELIS, L., BEDNÁŘ, B. Electric Kart as a Student Project. In *EPE 13 ECCE Europe*. Brussel: EPE Association, 2013. s. "P.1"- "P.6". ISBN: 978-1-4799-0116-6
- [B8]. JANÍK, D., ŠTĚPÁNEK, J., BEDNÁŘ, B. *Modernizace a implementace tepelného procesu pro průmyslový lis*. Plzeň : KET Katedra technologií a měření, Fel, ZCU, 2013. 21 s.
- [B9]. ŠTĚPÁNEK, J., BEDNÁŘ, B., STREIT, L., ELIS, L. Electric Kart "FeLis" with LiFeYPO4 Batteries. In *4th International Conference on Clean Electrical Power : Renewable Energy Resources Impact*. New York: IEEE, 2013. s. 151-154. ISBN: 978-1-4673-4429-6
- [B10]. ŠTĚPÁNEK, J., DRÁBEK, P., JÁRA, M. Analýza tepelné izolace diskretních polovodičových součástek v pouzdře TO247. In *Elektrické pohony : XXXIII. konference*. Praha: Česká elektrotechnická společnost, 2013. s. 1-7. ISBN: 978-80-02-02457-6
- [B11]. ŠTĚPÁNEK, J. *Dvoukvadrantový pulzní měnič s MOSFETovými tranzistory v pouzdře DirectFET*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2013. 17 s.
- [B12]. DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J. *Vibrační test pružných kontaktů modulu MiniSKiiP*. Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o., 2013.
- [B13]. JÁRA, M., DRÁBEK, P., BLAHNÍK, V., ŠTĚPÁNEK, J. *Dvojitý jednofázový střídač s SiC JFET prvky 2x10kW*. 2013.
- [B14]. JÁRA, M., DRÁBEK, P., BLAHNÍK, V., ŠTĚPÁNEK, J. *Dvoukanálový driver pro normally-on SiC JFET tranzistory*. Plzeň : Škoda Electric, a.s., 2013. 25 s.
- [B15]. ŠTĚPÁNEK, J., BLAHNÍK, V., JÁRA, M., DRÁBEK, P. *Analýza tepelné izolace diskretních polovodičových součástek v pouzdře TO247*. Plzeň : Škoda Electric, a.s., 2013. 17 s.

- [B16]. DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J. *Power system of a new generation : power electronic converters*. Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o., 2013.
- [B17]. DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J. *Power system of a new generation : converter teardown*. Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o., 2013.
- [B18]. DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J. *Power system of a new generation : modern power electronics devices overview*. Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o., 2013.
- [B19]. DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J. *Power system of a new generation : power losses calculation of SKiiP39AC12T4V1*. Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o., 2013.
- [B20]. BRYCHCÍN, J., BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., STREIT, L. *Měnič pro BLDC motor*. 2015.
- [B21]. STREIT, L., ŠTĚPÁNEK, J. *Měřicí interface pro teplotní čidla Pt100*. 2016.
- [B22]. ŠTĚPÁNEK, J., BEDNÁŘ, B. *Analýza maximální možné proudové zatížitelnosti MOSFETového tranzistoru v pouzdře TO-247*. Západočeská univerzita v Plzni, 2017.
- [B23]. BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., KOŠAN, T., DAVID, S., VÁCLAV, D. *Elektronika pro model výtahu řízený pomocí mikroprocesoru a PLC regulátoru*. Západočeská univerzita v Plzni, 2017.
- [B24]. BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., KOŠAN, T., DAVID, S., VÁCLAV, D. *Konstrukční dokumentace pro model výtahu řízený pomocí mikroprocesoru a PLC regulátoru*. Západočeská univerzita v Plzni, 2017.
- [B25]. BLAHNÍK, V., ŠTĚPÁNEK, J., JÁRA, M., TALLA, J. Ultra-fast charging station for public transport vehicles. In *Proceedings of the IECON 2017 : 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Piscataway: IEEE, 2017. s. 6658-6662. ISBN: 978-1-5386-1127-2
- [B26]. BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., KOŠAN, T., SONNTAG, D., DOLÍVKA, V. *Plexisklová konstrukce modelu výtahu*. 2017.
- [B27]. BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., KOŠAN, T., DOLÍVKA, V., SONNTAG, D. *Řídící elektronika pro model výtahu*. 2017.
- [B28]. ŠTĚPÁNEK, J., MICHAL, S. *Frekvenční měnič pro napájení asynchronního motoru*. 2018.
- [B29]. DRÁBEK, P., ŠTĚPÁNEK, J. *Výpočet ztrát 3,3kV IGBT IHV modulů*. Západočeská univerzita v Plzni, 2018.
- [B30]. KEHL, Z., ŠTĚPÁNEK, J. *Analýza měniče GE MV6603-27-AA*. Západočeská univerzita v Plzni, 2019.
- [B31]. ŠTĚPÁNEK, J., BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P. Verification of the current load capacity of the MOSFET transistor for low-voltage application using temperature estimation. In *USB Proceedings 2019 IEEE 28th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2019)*. Piscataway: IEEE, 2019. s. 1014-1019. ISBN: 978-1-72813-665-3 , ISSN: 2163-5145