



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

**Modulární koncepce trakčního pohonu se vstupním
vysokonapět'ovým měničem a středofrekvenčním
transformátorem**

Ing. Bedřich Bednář

Plzeň, 2019

Autoreferát disertační práce

k získání akademického titulu doktor v oboru

Elektronika

Ing. Bedřich Bednář

**Modulární koncepce trakčního pohonu se vstupním
vysokonapět'ovým měničem a středofrekvenčním
transformátorem**

Školitel: Doc. Ing. Pavel Drábek, Ph.D.

Datum státní doktorské zkoušky:

Abstrakt

Předkládaná disertační práce seznamuje s navrhovanou modulární koncepcí trakčního měniče se středofrekvenčním transformátorem s využitím maticového měniče a pulsního usměrňovače. Důvodem rozdělení topologie do několika separátních buněk je napěťová variabilita koncepce měniče.

Vzhledem k velkému množství spínaných prvků je řízení měničů rozloženo mezi digitální signálový procesor DSP a programovatelné hradlové pole FPGA.

Jeden stupeň této trakční topologie se skládá z primárního měniče – přímého měniče kmitočtu (maticového měniče), dále pak středofrekvenčního transformátoru a napěťového pulsního usměrňovače.

V této práci je navrhovaná topologie popsána teoreticky, simulačně i experimentálně.

Klíčová slova

Středofrekvenční transformátor, MFT, maticový měnič, DSP, FPGA, napěťový pulsní usměrňovač

Abstract

The presented PhD thesis introduces the proposed modular topology of traction converter with medium-frequency transformer using matrix converter and voltage-source active rectifier. The reason for dividing the topology into several separate cells is the voltage variability of the traction converter concept.

Due to the large number of switching elements, the power converters control is distributed between the digital signal processor DSP and the field programmable gate array FPGA.

One cell of this traction topology consists of a primary converter - a direct frequency converter (matrix converter), a medium-frequency transformer and a voltage-source active rectifier.

In this work, the proposed topology is described in theory, simulation and experiment.

Keywords

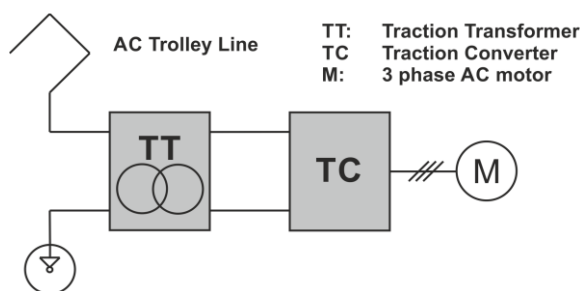
Medium-frequency transformer, MFT, matrix converter, DSP, FPGA, voltage-source active rectifier

Obsah

1	ÚVOD.....	4
2	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	5
3	METODY ŘEŠENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE.....	7
3.1	KOMUTACE MATICOVÉHO MĚNIČE	7
3.2	OPTIMALIZACE SPÍNACÍ FREKVENCE MATICOVÉHO MĚNIČE	8
3.3	BALANCOVÁNÍ NAPĚTÍ VSTUPNÍCH KONDENZÁTORŮ	9
3.4	REALIZACE FYZIKÁLNÍHO MODELU	10
4	HLAVNÍ DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	11
5	ZÁVĚR	12
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	14
	SEZNAM PUBLIKACÍ A VÝSTUPŮ STUDENTA VZTAHUJÍCÍCH SE K PŘEDMĚTU DISERTAČNÍ PRÁCE	15
	OSTATNÍ PUBLIKACE A VÝSTUPY STUDENTA.....	17

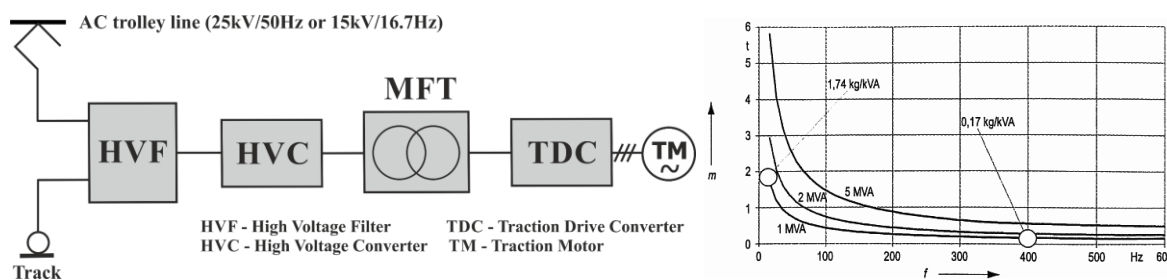
1 Úvod

Významným limitujícím faktorem pro vícesystémová trakční vozidla velkých výkonů, je požadavek splnit maximální nápravový tlak (například dnes v Evropě nejvýkonnější lokomotivy 6,4 MW jsou omezeny maximální hmotností 4 x 22,5 t). Klasické uspořádání trakčního vozidla užívá nízkofrekvenční transformátor a trakční měnič. Nízkofrekvenční trakční transformátor (tj. obvyklých 50 Hz, nebo dokonce v německy mluvících zemích 16,7 Hz) představuje výraznou část hmotnosti celého vozidla. V případě potřeby zvýšení instalovaného výkonu hnacího vozidla (např. pro potřeby vysokorychlostního provozu s velkou tažnou silou) je nutné významně zredukovat hmotnost elektrické výzbroje. Součástí elektrické výzbroje vozidel střídavé trakce je trakční transformátor. Hmotnost tohoto transformátoru je silně závislá na frekvenci. Pro vozidla určená k provozu na síti 15 kV / 16,7 Hz a pro vícesystémová vozidla určená pro sítě 25 kV / 50 Hz i 15 kV / 16,7 Hz je nutno použít těžký trakční transformátor. Zjednodušené schéma vozidla s klasickým trakčním transformátorem je zobrazeno na Obr. 1.1.



Obr. 1.1 - Zjednodušené schéma vícesystémového trakčního vozidla s transformátorem na 50 Hz (16,7 Hz)

Jednou z možných cest významného snížení hmotnosti trakčního transformátoru je použití středofrekvenčního transformátoru. Zjednodušené blokové schéma je zobrazeno vlevo na Obr. 1.2. Výhoda trakční výzbroje s MFT oproti klasickému trakčnímu transformátoru na 50 / 16,7 Hz je hlavně ve velikosti magnetického obvodu, tím několikanásobně klesne jeho hmotnost. Aby bylo možné MFT použít, je nutné zvýšit frekvenci napájecího napětí transformátoru. Toho lze dosáhnout vložím výkonových měničů přímo na primární (vysokonapěťovou) stranu trakčního transformátoru.



Obr. 1.2 - Zjednodušené schéma vícesystémového trakčního vozidla se středofrekvenčním transformátorem (vlevo).

Závislost mezi hmotností trakčního transformátoru m [t] a pracovní frekvencí f [Hz] pro několik příkladů instalovaného výkonu. Obr. převzat z [1] (vpravo)

Závislost hmotnosti trakčního transformátoru na pracovní frekvenci je zobrazena vpravo na Obr. 1.2. Je třeba zmínit, že tato charakteristika platí pro magnetické jádro standartního trakčního transformátoru vyrobeného z transformátorových plechů. Pro použití ještě vyšších frekvencí se předpokládá využití materiálů na bázi feritů. V grafu jsou znázorněny 3 hodnoty instalovaného výkonu (1 MVA, 2 MVA a 5 MVA) a jsou zde označeny dva body pro pracovní frekvenci 16,7 Hz a 400 Hz. Vyšší provozní frekvence vstupních vn měničů umožňuje použití středofrekvenčního transformátoru, který oproti transformátoru na trolejovou frekvenci 16,7 Hz přináší významný pokles hmotnosti.

2 Cíle disertační práce

S ohledem na nevýhody vyplývající z použití společného středofrekvenčního transformátoru (složitá konstrukce, ovlivňování vinutí vlivem parazitních vazeb, komplikované zástavbě, možnosti výměny a technologické problémy s izolací) si tato práce klade za cíl navrhnout modulární topologii se separátními středofrekvenčními transformátory.

Z důvodu absence magnetické vazby mezi jednotlivými buňkami navrhované topologie je nutné řešit problematiku balancování kondenzátorů vstupního filtru. Pro ověření funkčnosti navrhované topologie bude vytvořen matematický a fyzikální model. Pro popisovanou modulární topologii výkonového obvodu budou navrženy řídicí a regulační algoritmy, které budou implementovány do vhodného řídicího hardware s ohledem na možnost velkého množství řízených výkonových polovodičových součástek (DSP jako nadřazená řídicí jednotka, a podřízené řídicí jednotky na bázi FPGA pro řízení jednotlivých buněk a vhodné komunikační rozhraní mezi nimi).

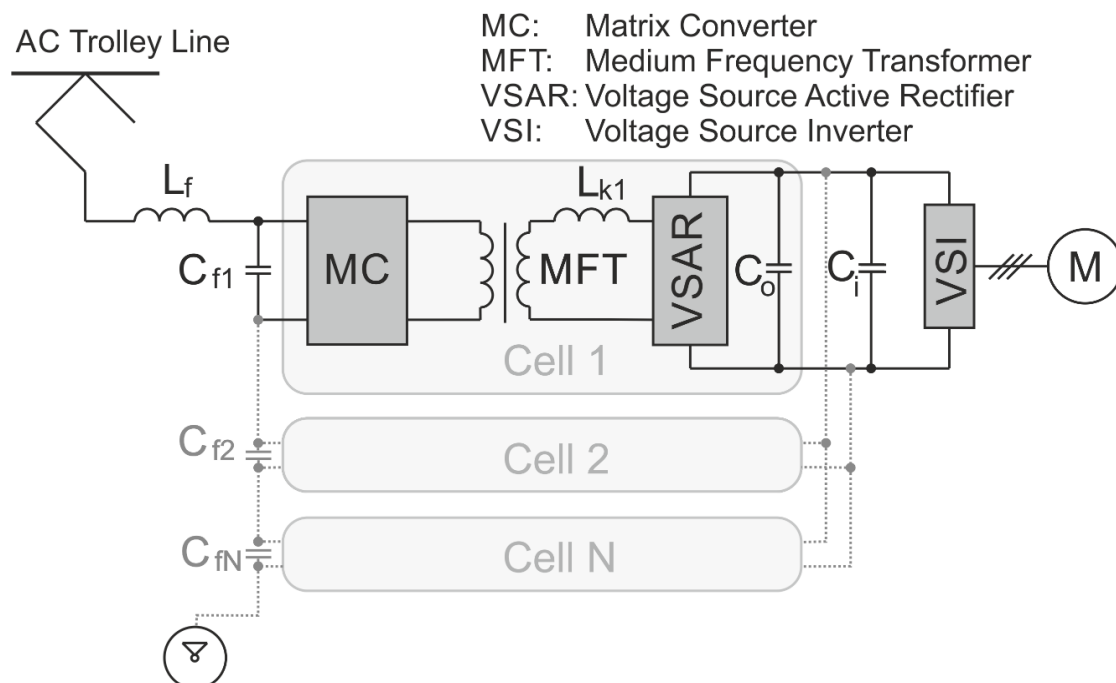
V rámci možností budou do těchto řídicích algoritmů implementována další rozšíření, to konkrétně z hlediska použití kombinovaného výběru komutace, změna spínací

frekvence z hlediska optimálního syčení magnetického jádra transformátoru. Vzhledem k možnosti více variant řízení napěťového pulsního usměrňovače (NPU) budou tyto varianty blíže zkoumány a na základě toho bude zvolena jedna varianta řízení NPU.

Vytyčené základní cíle:

- Navrhnout modulární topologii se středofrekvenčním transformátorem.
- Sestavit matematický model pro simulaci pohonu.
- Sestavit fyzikální model v laboratoři.
- Vytvořit algoritmus pro kombinovaný výběr komutace.
- Navrhnout řízení s optimalizací spínací frekvencí.
- Navrhnout a realizovat algoritmy pro balancování napětí kondenzátorů.
- Zrealizovat algoritmy řízení pulsních usměrňovačů.
- Implementovat algoritmy řízení do DSP.
- Implementovat algoritmy spínacích sekvencí do FPGA.
- Propojit řízení procesorů DSP a FPGA.

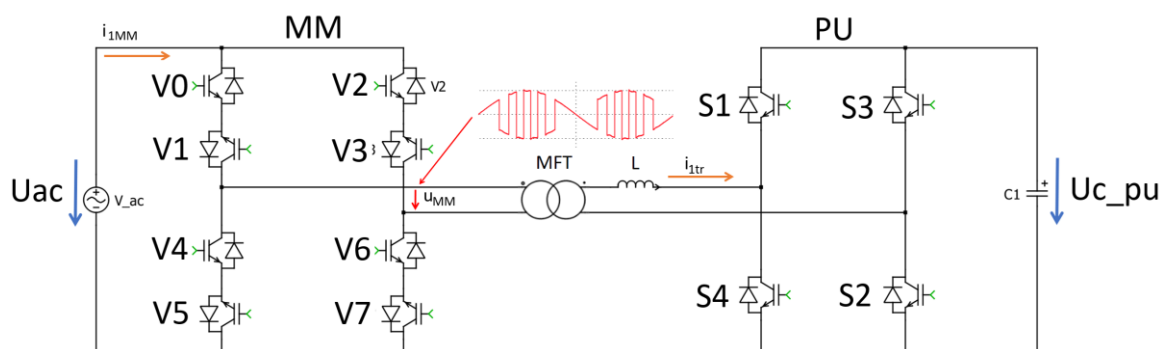
K řešením uvedených problémů bude použita modulární koncepce zobrazená na Obr. 2.1.



Obr. 2.1 - Obecné blokové schéma nové modulární koncepce trakčního pohonu s MFT

3 Metody řešení disertační práce

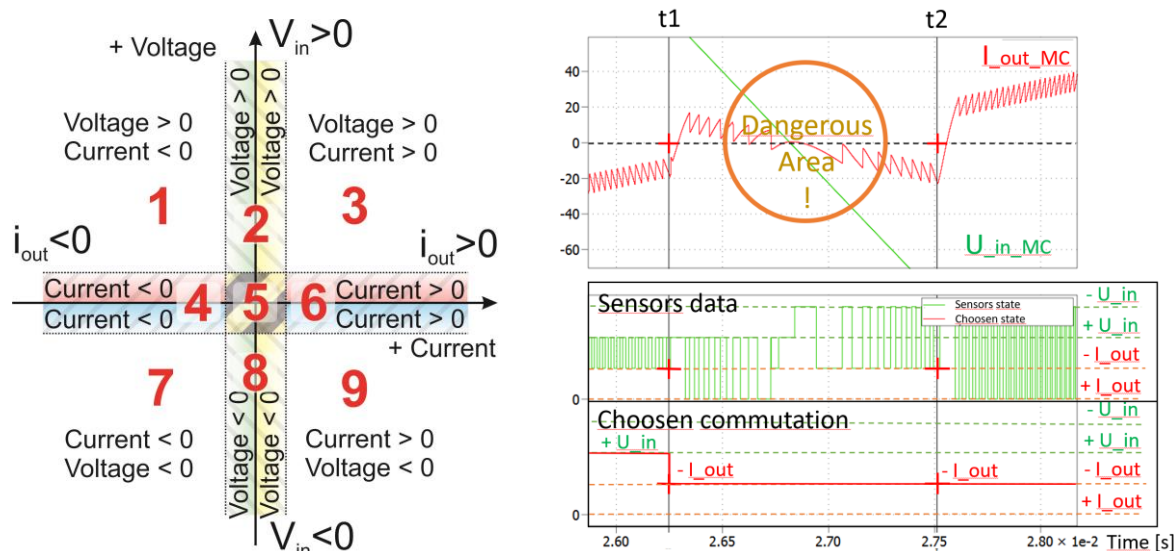
K řešení problematiky bylo nutné nejprve zprovoznit jednu buňku navrhované modulární topologie. Zjednodušené schéma jedné buňky je zobrazeno na Obr. 3.1. V rámci jedné buňky je možné vyřešit problémy spojené s komutacemi maticového měniče a optimalizací spínací frekvence maticového měniče kvůli optimálnímu syčení magnetického jádra transformátoru. Po následném ověření funkčnosti jedné buňky je možné přistoupit k realizaci vícestupňové topologie.



Obr. 3.1 - Schéma zapojení jedné buňky

3.1 Komutace maticového měniče

Maticový měnič ke spínání prvků využívá komutace buď podle znalosti polarity vstupního napětí, nebo znalosti polarity výstupního proudu. Konkrétní komutační algoritmus je volen podle aktuálního provozního stavu (dle relevance správnosti určení polarity napětí nebo proudu).

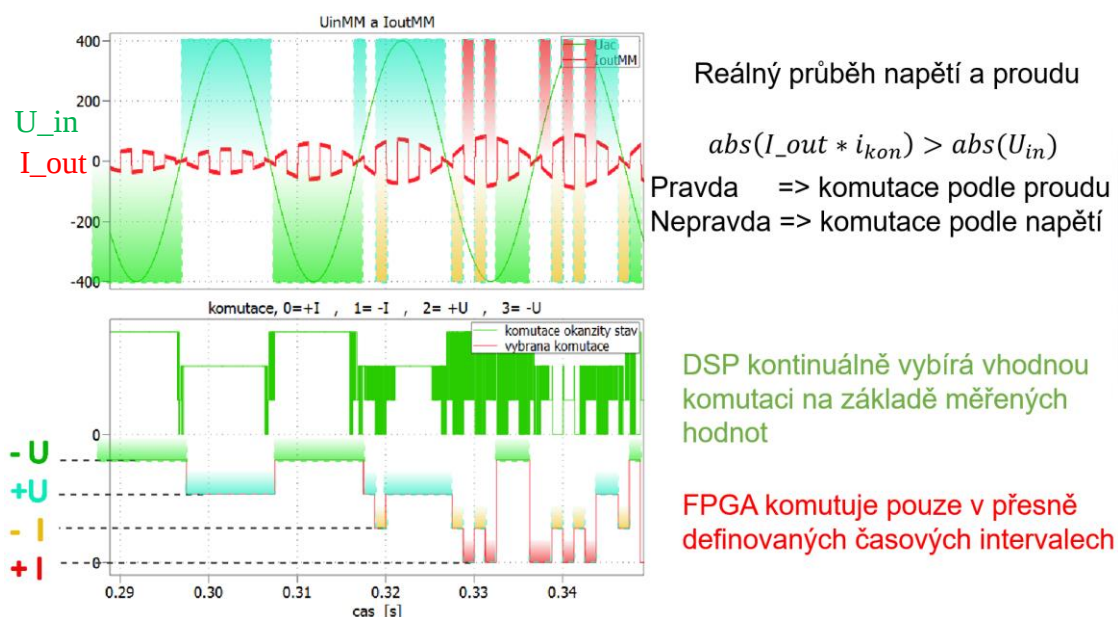


Obr. 3.2 - Nebezpečná oblast volby komutace (vlevo).

Rozdělení provozních oblastí na preferované metody komutace (vpravo).

Obr. 3.2 vlevo ukazuje princip kombinovaného algoritmu (tj. preferovaný způsob komutace). V oblastech 2 a 8 je velmi malý proud, a proto je nejprve komutováno na základě znalosti polarity vstupního napětí. V oblastech 4 a 6 (nízké napětí) komutace probíhá na základě znalostí polarity výstupního proudu. V oblastech 1, 3, 7 nebo 9 je možné vybrat komutaci na základě znalostí polarity proudu nebo napětí. Prostřední oddíl 5 je problematický, protože proud i napětí jsou velmi nízké (detekce polarity může způsobit nebezpečí).

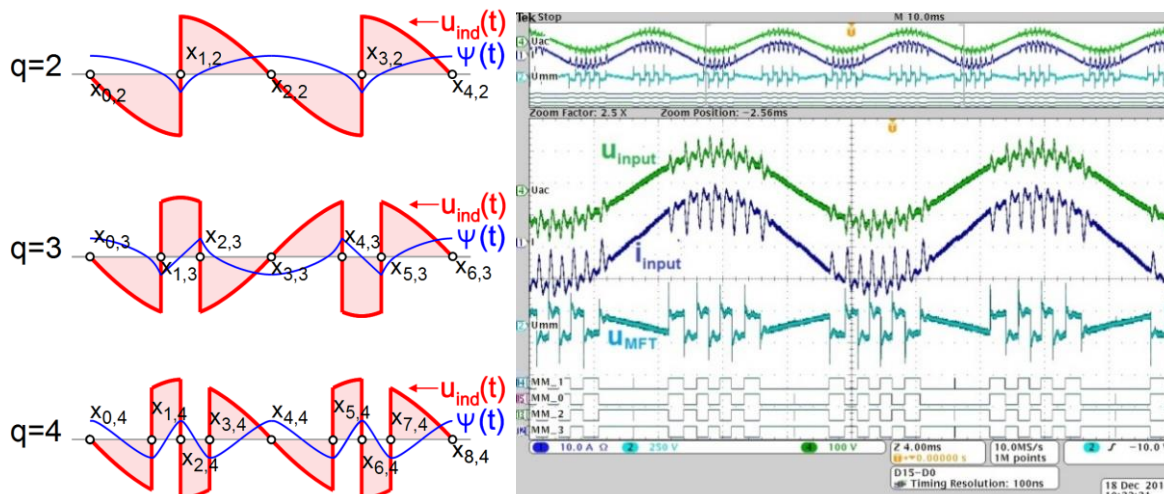
Detailní průběh problematické oblasti je vysvětlen na Obr. 3.2 vpravo. Kde časy t_1 a t_2 vyznačují místa, kde dochází k výběru komutace. V těchto oblastech je již velikost měřených veličin dostatečná pro správné vyhodnocení. Obr. 3.3 názorně ilustruje změnu preferencí metod komutace podle aktuálního stavu. V naznačeném případě hodnota výstupního proudu I_{out} postupně roste a algoritmus zhruba od poloviny zachyceného průběhu začíná upřednostňovat komutace podle znalosti výstupního proudu (o zvolené metodě komutace vypovídá spodní část Obr. 3.3, kde symboly +/-U a +/-I označují zvolenou komutaci podle napětí nebo proudu).



Obr. 3.3 - Ověření činnosti kombinovaného algoritmu volby komutace

3.2 Optimalizace spínací frekvence maticového měniče

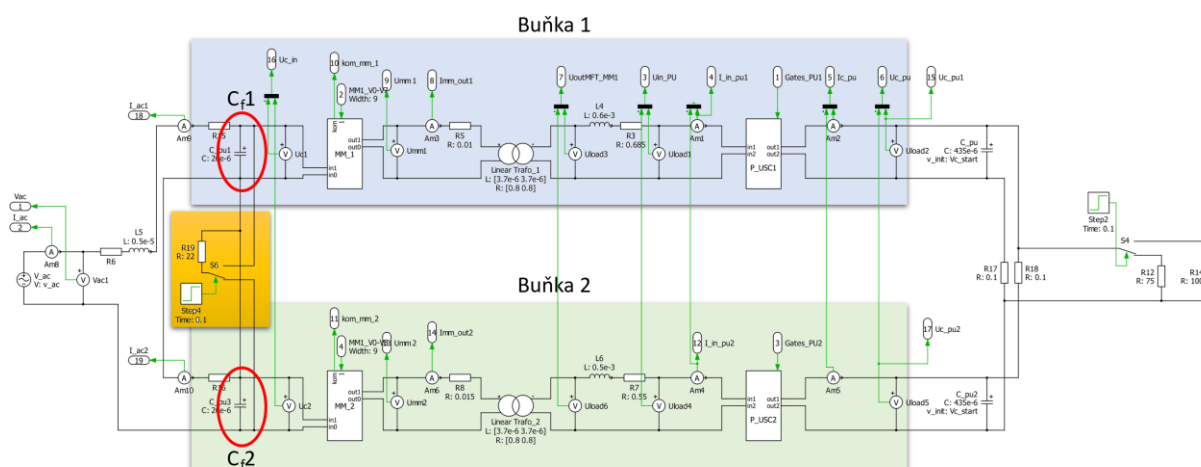
Obr. 3.4 demonstruje spojitost magnetického toku Ψ a průběhu napětí U_{ind} pro různé poměry q spínací frekvence maticového měniče a frekvence napájecího napětí troleje. Pro optimální sycení magnetického jádra transformátoru jsou optimální okamžiky přepnutí maticového měniče pro daný poměr q .



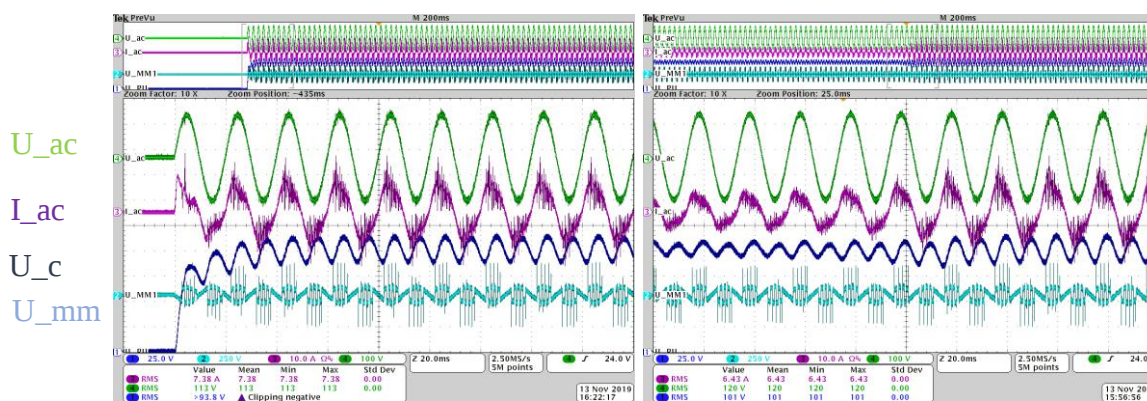
Obr. 3.4 – Indukované napětí a magnetický tok na středofrekvenčním transformátoru (vlevo pro malé hodnoty poměru q).
Měřené průběhy napětí a proudu při poměru $q=9$ (vpravo).

3.3 Balancování napětí vstupních kondenzátorů

Na rozdíl od předcházejících prací, které umožňovaly využít pro balancování vstupních kondenzátorů magnetickou vazbu společného transformátoru, u modulární koncepce s oddělenými transformátory je nutné balancování řešit za pomoci speciálního algoritmu. K demonstraci rozvážení napětí na vstupních kondenzátorech separátních buněk byla využita simulace poruchového stavu pomocí svodového odporu připojeného paralelně k jednomu ze vstupních kondenzátorů viz Obr. 3.5.



Obr. 3.5 - Simulace rozvážení výkonu na separátních buňkách



Obr. 3.8 – Naměřené průběhy na experimentálním měniči se dvěma buňkami

4 Hlavní dosažené výsledky

Nejprve se práce zabývá stručnou analýzou trakčních měničů využívajících středofrekvenční transformátor a následně představuje ideu navrhované modulární koncepce využívajících identických buňek. Buňky jsou složeny z maticového měniče, středofrekvenčního transformátoru a pulsního usměrňovače. Z hlediska maticového měniče je zejména v práci představen algoritmus kombinovaného výběru komutace spínacích prvků a modifikace okamžité hodnoty spínací frekvence s ohledem na magnetické sycení jádra středofrekvenčního transformátoru. Z hlediska řízení napětového pulsního usměrňovače (NPU) je věnována část práce problematice metod spínání NPU, v součinnosti s maticovým měničem a vstupním filtrem. Dále je popsán princip balancování napětí kondenzátorů vstupního filtru. Implementace řídicích algoritmů a výsledky experimentálního ověření na fyzikálním modelu jsou popsány v závěru předkládané práce.

Hlavní přínosy práce:

- Byla realizována a ověřena nová topologie modulární struktury trakčního pohonu složená z dílčích výkonových buněk vytvořených kombinací jednofázového maticového měniče + středofrekvenčního transformátoru + pulsního usměrňovače. Pro tuto topologii bylo navrženo silové schéma, řídicí schéma, simulační model, fyzikální model v laboratoři, implementace řídicích algoritmů a série měřených testů.
- Pro možnost realizace vysokonapětového měniče s velkým počtem spínacích prvků, bylo rozděleno řízení na nadřazené řídicí algoritmy implementované do DSP a na podřazené algoritmy spínacích sekvencí realizovaných v FPGA.
- Pro komutaci mezi jednotlivými prvky maticových měničů byl vyvinut,

implementován a vyzkoušen kombinovaný algoritmus komutace, který selektivně vybírá nejvhodnější komutační strategii založenou buďto na komutaci dle znalosti výstupního proudu, nebo komutaci založenou dle znalosti vstupního napětí.

- Pro optimalizaci syčení magnetického jádra středofrekvenčního transformátoru a minimalizaci spínacích ztrát prvků, bylo navrženo a ověřeno řízení s optimalizací spínací frekvence.
- Pro řízení pulsních usměrňovačů byly porovnány vlastnosti několika typů modulací, jako jsou hysterezní modulace a šířkově pulsní modulace.

5 Závěr

Předkládaná disertační práce se zabývá perspektivní koncepcí trakčního měniče se středofrekvenčním transformátorem a využitím přímých měničů kmitočtu (maticových měničů). Současná trakční vozidla pro střídavou trolej (25kV nebo 15kV) snižují trolejové napětí pomocí nízkofrekvenčního transformátoru (50 Hz, nebo 16,7 Hz), což zvyšuje hmotnost trakční výzbroje zejména pro moderní vozidla s velkým instalovaným výkonem. Navrhovaná koncepce využívá modulárního uspořádání n -identických buněk skládajících se z kondenzátoru vstupního filtru, vysokonapětového jednofázového měniče, středofrekvenčního transformátoru a pulsního usměrňovače.

Simulace a měření na fyzikálním modelu ověřily vhodnost navrhovaného silového schématu a zvolených regulačních algoritmů. Jako hlavní přínosy práce lze jmenovat zejména realizace algoritmů kombinovaného výběru komutace, proměnné frekvence maticového měniče pro optimálního syčení mg. jádra transformátoru, problematiku balancování napětí jednotlivých buněk (bez využití magnetické vazby transformátoru) a implementace algoritmů do řídicího systému DSP s FPGA (s ohledem na možnost realizace vysokonapětové struktury s velkým počtem oddělených buněk).

Splnění cílů práce:

- Byla navržena nová modulární topologie se středofrekvenčním transformátorem.
- Byl sestaven matematický model pro simulaci pohonu.
- Byl sestaven fyzikální model sníženého výkonu v laboratoři.
- Byl vyvinut kombinovaný algoritmus komutace.
- Bylo realizováno řízení s optimalizací spínací frekvence s ohledem na sycení magnetického obvodu MFT.
- Byl navržen a realizován algoritmus pro balancování napětí kondenzátorů.
- Bylo realizováno několik algoritmů řízení pulsních usměrňovačů.
- Byly vytvořeny algoritmy řízení s využitím DSP - TMS320F28335.
- Byly vytvořeny algoritmy spínacích sekvencí v FPGA - Altera Cyclone III.
- Byla navržena komunikace těchto procesorů DSP a FPGA.

Perspektivní směry dalšího zkoumání:

- Vytvoření matematického popisu trakčního měniče, který by sloužil jako základ k návrhu moderních typů řízení jako například prediktivní řízení (FSC-MPC, CCS-MPC, LQ, GPC a jiných druhů lineárních řízení).
- Aspekty pohonu v poruchových stavech (chování při vzniku velkých přepětí v troleji, rychlé změny napětí v troleji, ochrany a případně realizace překlenutí vadné buňky).
- Řešení technologických detailů realizace vysokonapětových provedení (trolej 25kV): realizace izolačního systému, vliv parazitních kapacit, částečné výboje, realizace chlazení, větší strmost napětových pulsů du/dt vlivem použití moderních vysokonapětových polovodičových součástek na bázi SiC.

Seznam použité literatury a informačních zdrojů

- [1] Victor M. "Energieumwandlung auf AC - Triebfahrzeugen mit mittelfrequenztransformator," in Fahrzeugtechnik eb 103 (2005) Heft 11, pp. 505-510.
- [2] M. Glinka; R.Marquardt, „A New AC/AC-Multilevel Converter Family Applied to a Single-Phase Converter“ Munchen 2003
- [3] M. Glinka. „Prototype of Multiphase Modular-Multilevel-Converter“ Německo 2004
- [4] M. Glinka; R.Marquardt, „A New AC/AC-Multilevel Converter Family“ 2005“
- [5] P. W. Wheeler, J. Rodriguez, J. C. Clare, L. Empringham, and A. Weinstein, “Matrix converters: A technology review“ IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 49, no. 2, pp. 276-288, Apr. 2002.
- [6] M. Y. Lee, P. Wheeler, and C. Klumpner, “Space-vector modulated multilevel matrix converter“ IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 57, no. 10, pp. 3385-3394, Oct. 2010.
- [7] Blahník, V: Algoritmy řízení a regulace sestavy trakčního měniče se středofrekvenčním transformátorem. Disertační práce, 2011.
- [8] Cedl M.: Trakční pohon s maticovým měničem, středofrekvenčním transformátorem a jednofázovým napět'ovým pulzním usměřňovačem. Disertační práce, 2011
- [9] Los, M.: Využití přímých měničů kmitočtu pro trakční pohony. Disertační práce, 2012.
- [10] Kehl, Z., KOŠAN, T.: „Manuál na připojení k FPGA v MLC interface pomocí JTAG XD100“. Výzkumná zpráva 2018
- [11] PEROUTKA, Z.: „Napět'ový pulzní usměřňovač – Návrh, konstrukce a možnosti regulace“. Výukový materiál – prezentace; Plzeň. 2016
- [12] VONDRÁŠEK, František, Tomáš GLASBERGER, Jiří FOŘT, Martin JÁRA a Jan MICHALÍK. Výkonová elektronika. 3. rozšířené vydání. V Plzni: Západočeská univerzita, 2017. ISBN 978-80-261-0688-3.
- [13] M. Pastor, J. Durdík, “Comparison of MPC and PIcontroller for gridconnected cascade inverter”, Elektronika ir elektrotechnika, vol. 20, pp. 46–50, 2014
- [14] ZAVŘEL, Martin. „New measuring cards for MLC interface“ Prezentace 2019
- [15] STREIT, Luboš.: Výkonový obvod přímého měniče kmitočtu. DP, 2007.
- [16] LOM, Antonín.: Stavba napět'ového střídače s modulem IXYS. DP, 2008.

Seznam publikací a výstupů studenta vztahujících se k předmětu disertační práce

- [A1] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., LOS, M., PITTERMANN, M. Přímý měnič kmitočtu pro trakční pohony - analýza vstupního filtru, modifikace řízení primárního měniče pomocí nulových vektorů,. In Elektrické pohony : XXXIII. konference. Praha: Česká elektrotechnická společnost , 2013. s. 1-6. ISBN: 978-80-02-02457-6
- [A2] DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., LOS, M., BEDNÁŘ, B. Traction drive with medium-frequency transformer : smoothing trolley current by inserting zero vectors. In Proceedings of IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. New York: IEEE, 2013. s. 4973-4978. ISBN: 978-1-4799-0224-8 , ISSN: 1553-572X
- [A3] DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., LOS, M., BEDNÁŘ, B. Traction drive with medium-frequency transformer - control strategy based on NULL vectors. In Elektro 2014. Neuveden: IEEE, 2014. s. 418-423. ISBN: 978-1-4799-3721-9
- [A4] BHAJANA, V., DRÁBEK, P., JÁRA, M., BEDNÁŘ, B. A novel ZCS single phase matrix converter for traction applications. In The 16th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'14 ECCE EUROPE). Brusel: EPE Association, 2014. s. P.1-P.8. ISBN: 978-1-4799-3015-9
- [A5] BEDNÁŘ, B. Nová koncepce trakčního menice se stredofrekvencním transformátorem s využitím přímých menicu kmitoctu – maticových menicu. In Elektrotechnika a informatika 2014, část druhá, Elektronika. Plzen: Západočeská univerzita v Plzni, 2014. s. 5-8. ISBN: 978-80-261-0366-0
- [A6] DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., LOS, M., BEDNÁŘ, B. Traction drive with MFT - novel control strategy based on zero vectors insertion. In Proceedings of the 19th IFAC World Congress, 2014. Amsterdam: Elsevier, 2014. s. 11968-11973. ISBN: 978-3-902823-62-5 , ISSN: 1474-6670
- [A7] BEDNÁŘ, B., PITTERMANN, M., DRÁBEK, P. Simulace nové modulární koncepce trakčního menice se stredofrekvencním transformátorem s využitím přímých menicu kmitoctu – maticových menicu. Plzen : Západočeská univerzita, 2014. 24 s.
- [A8] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M. Nová koncepce trakčního menice se stredofrekvencním transformátorem s využitím přímých menicu kmitoctu - maticových menicu. In Elektrické pohony : XXXIV. konference (ELPO 2015). Plzen: Česká elektrotechnická společnost, 2015. s. 1-10. ISBN: 978-80-02-02592-4
- [A9] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M. Modifikace aktuální hodnoty spínací frekvence s ohledem na magnetické sycení stredofrekvencního transformátoru. In Elektrické pohony : XXXIV. konference (ELPO 2015). Plzen: Česká elektrotechnická společnost, 2015. s. 1-10. ISBN: 978-80-02-02592-4
- [A10] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M. Přímý menic kmitoctu pro trakční pohony : komutace 1f maticového menice v neurčitých stavech. In Elektrické pohony : XXXIV. konference (ELPO 2015). Plzen: Česká elektrotechnická společnost, 2015. s. 1-11. ISBN: 978-80-02-02592-4
- [A11] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M. Varianty realizace trakčního pohonu se stredofrekvencním transformátorem. In Elektrické pohony : XXXIV. konference (ELPO 2015). Plzen: Česká elektrotechnická společnost, 2015. s. 1-9. ISBN: 978-80-02-02592-4
- [A12] PITTERMANN, M., DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B. Switching algorithms for single

- phase matrix converter with input capacitance. In Proceedings of the 20th International Conference on Applied Electronics 2015 (APPEL 2015). IEEE, 2015. s. 189-192. ISBN: 978-80-261-0385-1 , ISSN: 1803-7232
- [A13] PITTERMANN, M., DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B. Control algorithms for traction drive with high voltage matrix converters and medium frequency transformer. In Proceedings of the 20th International Conference on Applied Electronics 2015 (APPEL 2015). IEEE, 2015. s. 193-196. ISBN: 978-80-261-0385-1 , ISSN: 1803-7232
- [A14] PITTERMANN, M., DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B. High voltage converter for purpose to minimizing of weight of traction transformer. In Proceedings of the 20th International Conference on Applied Electronics 2015 (APPEL 2015). IEEE, 2015. s. 197-200. ISBN: 978-80-261-0385-1 , ISSN: 1803-7232
- [A15] BEDNÁŘ, B., BLAHNÍK, V., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M. Novel control strategy of single matrix traction converter : variable switching frequency. Elektronika ir Elektrotechnika, 2015, roc. 21, c. 5, s. 13-18. ISSN: 1392-1215
- [A16] PITTERMANN, M., DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B. Single phase high-voltage matrix converter for traction drive with medium frequency transformer. In Proceedings of IECON 2015 : 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, 2015. s. 5101-5106. ISBN: 978-1-4799-1762-4
- [A17] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., Novel control strategy of traction converter with medium frequency transformer, 11th International Conference Elektro 2016 : proceedings IEEE, ISBN: 978-1-4673-8698-2
- [A18] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., Implementation of control algorithms for laboratory model of traction drive with high voltage matrix converters and medium frequency transformer, 11th International Conference Elektro 2016 : proceedings, IEEE, ISBN: 978-1-4673-8698-2
- [A19] V.V.Subrahman. Kumar Bhajana, DRÁBEK,P., JÁRA,M.,BEDNÁŘ,B., New modification of a single phase AC-AC matrix converter with auxiliary resonant circuits forac locomotives, Revue Roumaine des Sciences Techniques. Serie Électrotechnique et Énergétique, ISSN: 0035-4066
- [A20] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M.; Porovnání trakčních AC/AC topologií postavených na MFT - M2LC a topologie s maticovými měniči; Výzkumná zpráva, 2016
- [A21] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., Modulární koncepce trakčního měniče se středofrekvenčním transformátorem a maticovým měničem, Výzkumná zpráva, 2016
- [A22] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., Řízení maticového měniče – Optimalizace spínací frekvence za účelem snížení magnetického sycení MFT, Výzkumná zpráva, 2016
- [A23] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., Řízení maticového měniče – kombinovaný výběr komutace, Výzkumná zpráva, 2016
- [A24] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., The comparison of different variants of new traction drives with medium frequency transformer, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM 2016) : proceedings, IEEE, ISBN: 978-1-5090-2067-6
- [A25] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., Modulární koncepce trakčního měniče se středofrekvenčním transformátorem a maticovým měničem, Funkční vzorek, 2016
- [A26] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., Algorithm implementation of traction converter topology based on MFT and single phase matrix converter,

- Electrical Engineering, Archiv für Elektrotechnik, ISSN: 0948-7921
- [A27] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., Řízení jednofázových maticových měničů z hlediska balancování napětí, Česká elektrotechnická společnost ČSVTS, Elektrické pohony : XXXVI. konference (ELPO 2019), Plzeň 2019, ISBN: 978-80-02-02860-4
- [A28] BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., PITTERMANN, M., Implementation of FPGA and DSP combined algorithms for modular single-phase matrix converter with medium frequency transformer for traction drive application, IEEE, Vancouver, 2019, ISSN: 2163-5145, ISBN: 978-1-72813-665-3

Ostatní publikace a výstupy studenta

- [B1] STREIT, L., ŠTEPÁNEK, J., BEDNÁŘ, B., KUBÍK, M., 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
- [B2] BEDNÁŘ, B. Elektrická motokára – Implementace řízení pulzního menice. In Elektrotechnika a informatika 2012. Část 2., Elektronika. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. s. 5-8. ISBN: 978-80-261-0119-2
- [B3] ŠTEPÁNEK, 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
- [B4] BEDNÁŘ, B., STREIT, L., KOŠAN, T. Diagnostic tool for Lithium and Lead-Acid Battery. In 4th International Conference on Clean Electrical Power Renewable Energy Resources Impact. New York: IEEE, 2013. s. 84-86. ISBN: 978-1-4673-4429-6
- [B5] JANÍK, D., ŠTEPÁNEK, J., BEDNÁŘ, B. Modernizace a implementace tepelného procesu pro průmyslový lis. Plzeň : KET Katedra technologií a měření, Fel, ZCU, 2013. 21 s.
- [B6] STREIT, L., ŠTEPÁNEK, 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
- [B7] BEDNÁŘ, B., KOŠAN, T. Mikrokontrolérový modul pro vývojový kit MLC interface s TMS320F2812. 2013.
- [B8] BEDNÁŘ, B., KOŠAN, T. Mikrokontrolérový modul TMS320F2812 pro MLC interface. Plzeň : Západočeská univerzita, 2013. 24 s.
- [B9] BEDNÁŘ, B., STREIT, L. Diagnostický nástroj pro Li-Ion a olovené baterie. In Elektrotechnika a informatika 2013. Část 2., Elektronika. Plzeň: Západočeská univerzita, 2013. s. 5-8. ISBN: 978-80-261-0232-8
- [B10] ŠTEPÁNEK, 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
- [B11] DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B., ŠTEPÁNEK, J. Power system of a new generation : power electronic converters. Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o., výzkumná zpráva, 2013.
- [B12] DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B., ŠTEPÁNEK, J. Power system of a new generation : converter teardown. Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o., výzkumná zpráva, 2013.
- [B13] DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B., ŠTEPÁNEK, J. Power system of a new generation :

- modern power electronics devices overview. Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o., výzkumná zpráva, 2013.
- [B14] 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., výzkumná zpráva, 2013.
- [B15] DRÁBEK, P., BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J. Vibrační test pružných kontaktu modulu MiniSKiiP. Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o., výzkumná zpráva, 2013.
- [B16] BRYCHCÍN, J., BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., STREIT, L. Menic pro BLDC motor., funkční vzorek, 2015.
- [B17] STEJSKAL, M., BEDNÁŘ, B., Proudové sondy pro osciloskopy v rozsahu 500A RMS a 2-5kA RMS pro pásmo 1MHz, výzkumná zpráva, 2016.
- [B18] BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., KOŠAN, T., SONNTAG, D., DOLÍVKA, V., Konstrukční dokumentace pro model výtahu řízený pomocí mikroprocesoru a PLC regulátoru, výzkumná zpráva, 2017.
- [B19] BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., KOŠAN, T., SONNTAG, D., DOLÍVKA, V., Elektronika pro model výtahu řízený pomocí mikroprocesoru a PLC regulátoru, výzkumná zpráva, 2017.
- [B20] BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., Analýza maximální možné proudové zatížitelnosti MOSFETového tranzistoru v pouzdře TO-247, výzkumná zpráva, 2017.
- [B21] BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., KOŠAN, T., SONNTAG, D., DOLÍVKA, V., Plexisklová konstrukce modelu výtahu, výzkumná zpráva, 2017.
- [B22] BEDNÁŘ, B., ŠTĚPÁNEK, J., KOŠAN, T., SONNTAG, D., DOLÍVKA, V., Řídící elektronika pro model výtahu, výzkumná zpráva, 2017.
- [B23] POLÁČEK, L., BEDNÁŘ, B., Sada pro měření proudů, funkční vzorek 2017
- [B24] 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, J., MOLNÁR, J., JÁRA, M., ELIS, L., Zařízení pro kompenzaci zemních poruch 22/0,4 kV 1,35 MVA, Prototyp, 2017.
- [B25] STREIT, L., BEDNÁŘ, B., Li-ion cell capacity test, MW motors, s.r.o., výzkumná zpráva 2018.
- [B26] ŠTĚPÁNEK, J., BEDNÁŘ, B., DRÁBEK, P., Verification of the current load capacity of the MOSFET transistor for low-voltage application using temperature estimation, USB Proceedings 2019 IEEE 28th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2019), IEEE, Vancouver, ISBN: 978-1-72813-665-3.
- [B27] KEHL, Z., BEDNÁŘ, B., SONNTAG, D., Úprava senzoru robotické třídičky barev, výzkumná zpráva 2019.