

# Napět'ový střídač s SiC moduly

Martin Zavřel

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

zavrelm@students.zcu.cz

www.kev.zcu.cz

## Voltage converter with SiC modules

**Abstract** – This topic is focused on issue of proposal, constructing and commissioning of voltage inverter with SiC (Silicon-Carbide) modules for needs of electric kart. The base of proposal are in the numerical simulation of inverter (thus on calculation ratios of voltage, current, losses and warming in the case of selected cooler) and in the design of printed circuit boards and in the 3-D design of whole model. The important parameters for design this inverter are: as least weight as possible and as more efficiency as possible.

*Keywords* – circuit scheme of driver; dimensioning of DC circuit and inverter commissioning; numerical simulation of inverter; printed circuit board (PCB) for power pack; selected radiator; SiC (silicon-Carbide) modules; voltage inverter; warming.

### I. ÚVOD

V tomto článku jsou ve stručnosti popsána specifika návrhu napět'ového střídače s SiC moduly. Tato specifika vyplývají z určení měniče do závodního vozidla nezávislé trakce, kde je kladen důraz na minimalizaci rozměrů (tedy i hmotnosti) a maximalizaci účinnosti měniče. Jsou zde také zmíněny výsledky oteplovací a zatěžovací zkoušky na reálné konstrukci pro potřeby ověření správnosti návrhu.

### II. NÁVRH STŘÍDAČE

#### A. Návrh obvodového schéma

V návrhu obvodového schéma je kladen důraz na minimalizaci kapacity DC obvodu, která se opodstatňuje použitím trakčních baterií jako zdroje energie. Zároveň se touto minimalizací celý měnič znatelně odlehčí, což je pro vozidlo nezávislé trakce velice příznivé. Minimalizace kapacity DC obvodu vychází z teorie vstupního filtru napět'ového střídače. Výsledná kapacita při zvlnění napětí 10,37 V, spínací frekvenci 60 kHz a jmenovitém výkonu střídače (tabulka 1.) činí 215  $\mu\text{F}$  a je realizována kondenzátory 15\* B58031I5105M002, 1 $\mu\text{F}$ , 500V, Cera Link a 2\* MKP1848C DC-Link, 100 $\mu\text{F}$ , 500V, Wishay.

Obvodové schéma vychází z běžné topologie třífázového napět'ového střídače, kdy jako výkonové prvky jsou použity moduly CAS300M12BM2 od firmy Cree.

Takto navržená výkonová část střídače je při uvedené podmínce napájení z trakční baterie schopna velmi kvalitně pracovat při vstupních parametrech střídače, které jsou uvedeny v tabulce 1. Toto tvrzení je ověřeno v budě V. tohoto článku.

TABULKA I. PARAMETRY STRÍDAČE

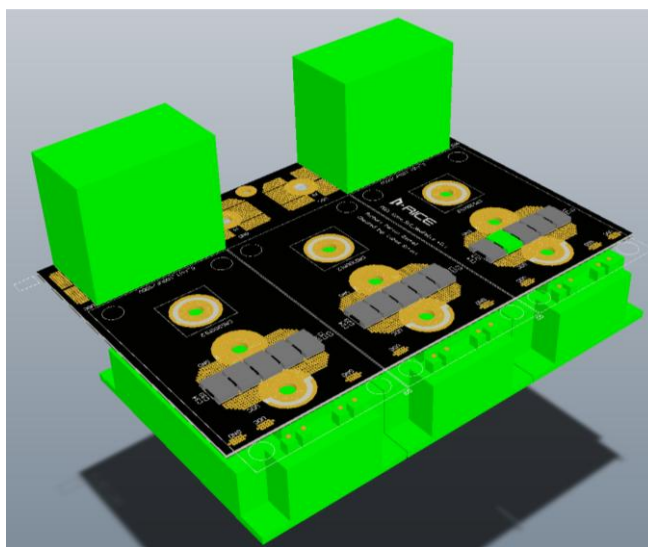
parametr	min.	max.	nom.
P[kW]	0	50	35
I <sub>DC</sub> [A]	0	143	143
U <sub>DC</sub> [V]	350	525	407
I <sub>eff</sub> [A]	0	153	107
U <sub>eff</sub> [V]	0	143	143
f <sub>sw</sub> [kHz]	20	64	64
f <sub>v</sub> [Hz]	1	100	50

### B. Návrh DPS Strídače

Návrh DPS je optimalizován na vysokou spínací frekvenci (60 kHz) a na velký přenášený výkon za podmínky minimalizace rozměrů (hmotnosti) a oteplení DPS.

Tloušťka vodivé vrstvy byla optimalizována na hloubku vniku 0,266 mm. S ohledem na maximální proud byla zvolena DPS se čtyřmi vodivými vrstvami (s prostřídanou polaritou). Rozložení proudu mezi tyto vrstvy je realizováno pomocí prokovů ve třech skupinách – uzavírací, vodící a napájecí. Minimální počet prokovů ve skupinách (21) je dán jejich stanoveným povoleným oteplením o 10 °C při proudové hustotě prokovu  $30 \frac{A}{mm^2}$  a tloušťce stěny 0,105 mm. Rozmístění skupin prokovů pak vychází z proudových drah a je patrné z obrázku 1, kde je uveden výstup návrhu DPS v programu Altium Designer.

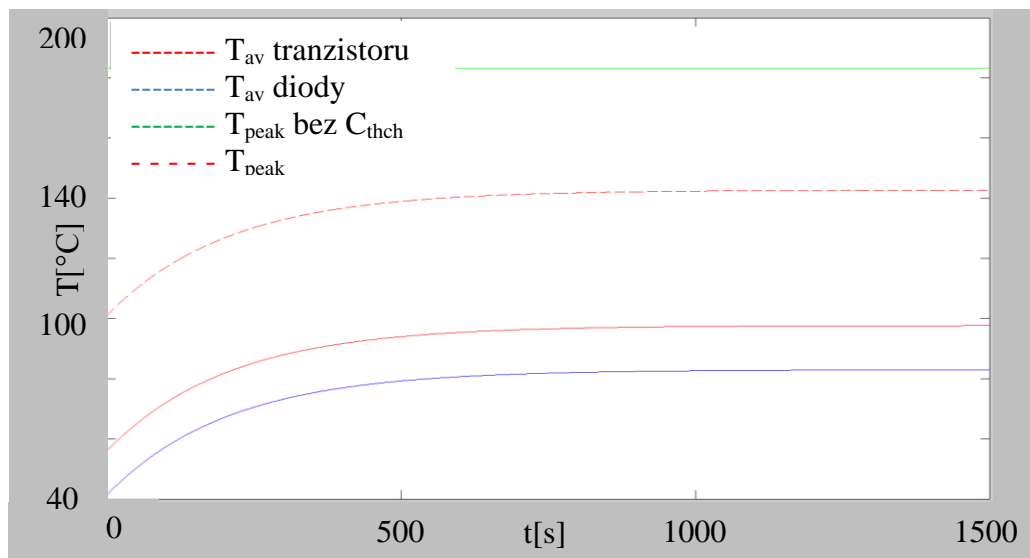
Při návrhu DPS byla také stanovena její parazitní kapacita (20,6 μF) a indukčnost. Velký význam zde má parazitní indukčnost, která při vysokých spínacích frekvencích zhoršuje spínání výkonových prvků a chování celého měniče. Proto byla tato parazitní indukčnost vhodným návrhem DPS minimalizována na přibližně 161 μH. Stanovení parazitní kapacity a indukčnosti vychází ze základních definičních vztahů pro kapacitu a indukčnost v elektromagnetickém poli.



Obrázek I. Návrh DPS strídače

### C. Návrh chlazení

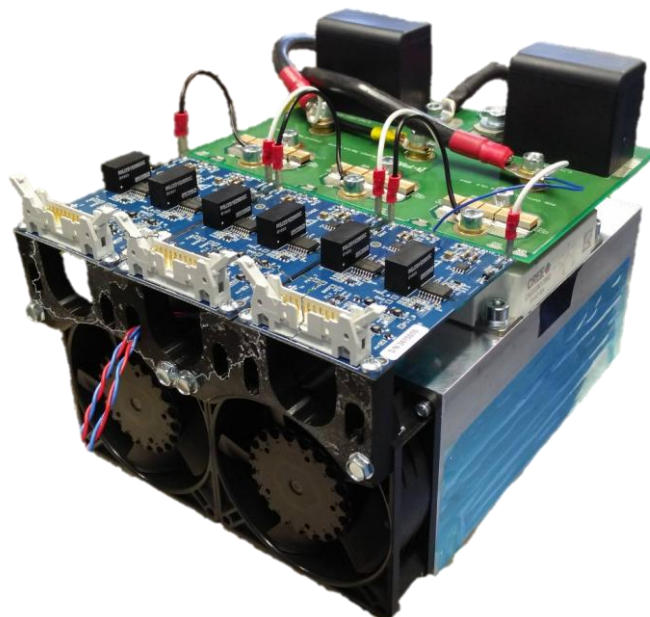
Návrh chlazení tohoto střídače je založeno na detailním numerickém modelu celého střídače (přibližně 600 řádek kódu v prostředí Matlab) při komparační ŠPM. To umožňuje volbu parametrů chladiče s velkou přesností a celý chladič tedy značně minimalizovat a tedy i odlehčit. Parametry prvků v simulaci jsou stanoveny z digitalizovaných grafů z datasheetu použitých modulů. Je zde do detailu řešeno spínání jednotlivých prvků a tedy i okamžité ztráty. Výstupem simulace je především oteplovací křivka a navržené parametry chladiče (tepelný odpor a kapacita). Navržené parametry chladiče jsou upraveny na parametry skutečného chladiče ( $R_{thch} = 0,06 \frac{K}{W}$ ,  $C_{thch} = 4121,6 \frac{J}{Kg \cdot K}$ ) a je vykreslena reálná oteplovací křivka při maximálním výkonu, která je uvedena na obrázku 2.



Obrázek II. Oteplovací křivka

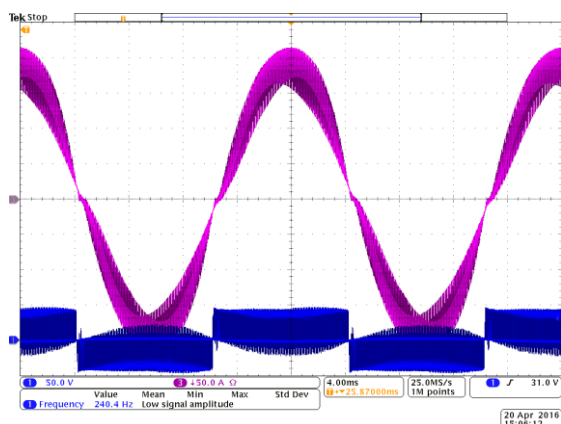
### III. KONSTRUKCE A FUNKČNOST STRÍDAČE

Z důvodu minimalizace celého měniče byl vytvořen jeho 3-D model, který je podkladem pro reálnou konstrukci, jejíž fotografie je uvedena na obrázku 3.

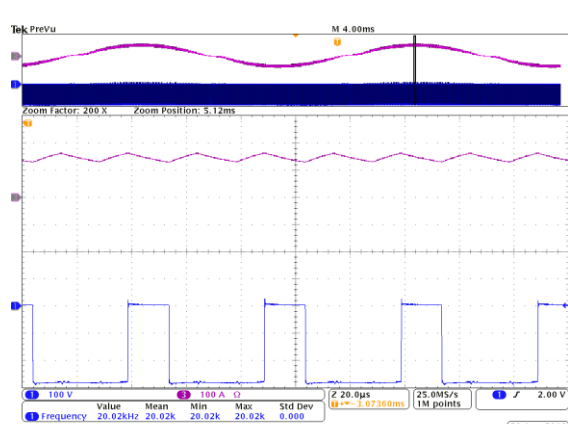


Obrázek III. Konstrukce měniče

Na reálné konstrukci bylo provedeno měření vlastností střídače. Mimo běžných měření při ožívování prototypu byla provedena také měření na vysokých výkonech. S ohledem na technické možnosti laboratoře, v níž bylo prováděno měření, byl však velký výkon dosažen v jednom měření napětím a v druhém měření proudem. Oscilografy z měření jsou uvedeny na obrázku 4 a obrázku 5.



**Obrázek IV. Oscilograf ( $I_f = 216$  A)**



**Obrázek V. Oscilograf ( $U_{DC} = 260$  A)**

#### IV. ZÁVĚR

Vzhledem k určení střídače pro závodní vozidlo nezávislé trakce byl návrh optimalizován na maximální hustotu výkonu a minimální ztráty. V návrhu byly provedeny tyto specifické kroky:

Na základě použití trakční baterie jako zdroje energie byla minimalizována kapacita stejnosměrného obvodu za použití teorie vstupního filtru napěťového střídače.

Na základě vstupních parametrů měniče byla navržena DPS střídače s minimálními parazitními kapacitami, indukčností a odporem, čímž byly zkvalitněny vlastnosti spínání a celého střídače.

Na základě detailní numerické simulace byly stanoveny parametry chladiče s co nejmenší hmotností a objemem.

Byl vytvořen detailní 3-D model pro potřeby konstrukce měniče a jeho instalace.

Díky provedeným krokům v návrhu a použitým výkonovým prvkům bylo dosaženo výkonové hustoty  $6,2 \frac{kW}{dm^3}$  a účinnosti  $> 98$  %.

Byla provedena zjednodušená oteplovací zkouška, která potvrdila správnost návrhu. Dále bylo zjištěno velmi kvalitní a rychlé spínání, což potvrzuje správnost návrhu stejnosměrného obvodu a DPS střídače.

Podrobné informace o tomto střídači a detaily z článku naleznete v literatuře [1].

#### PODĚKOVÁNÍ

Článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a projektu Moderní metody řešení, návrhu a aplikace elektronických a komunikačních systémů SGS-2015-002.

#### LITERATURA

- [1] Zavřel, M.: diplomová práce: Napěťový střídač s SiC moduly, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Plzeň (Česká Republika) 2016.