

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Analýza a měření výkonového usměrňovače s atypickým
napájením**

Originál (kopie) zadání BP/DP

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou výkonového diodového usměrňovače s atypickým napájením ve vybraných stavech. Chování výkonového usměrňovače bylo analyzováno v simulačním prostředí Matlab/Simulink s knihovnou Plecs a porovnáno s výsledky získanými laboratorním měřením. Měření bylo provedeno na univerzálním čtyřfázovém měniči.

Klíčová slova

Výkonový usměrňovač, Simulace, Plecs, Trakční měnič, Vstupní proud, Výstupní napětí, Nezatížený usměrňovač, Zatížený usměrňovač, Transformátor.

Abstract

This bachelor thesis deals with the analysis of power diode rectifier with atypical source in selected states. The behaviour of power rectifier was analysed by the simulation at the Matlab/Simulink-Plecs software and it was compared with the laboratory experiments results. The measurements was done versatile four-phase converter.

Key words

Power rectifier, Simulation, Plecs, Traction converter, Output current, Input voltage, Unloaded rectifier, Loaded rectifier, Transformer.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 2. 6. 2015

Michal Poláček

Poděkování

Rád bych poděkoval zejména mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Vojtěchovi Blahníkovi, Ph.D. za metodické vedení a cenné rady v průběhu tvorby práce, dále pak děkuji mým rodinným příslušníkům a přátelům za podporu při tvorbě této bakalářské práce.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	2
1 ÚVOD.....	3
2 SIMULACE VÝKONOVÉHO USMĚRŇOVAČE.....	4
2.1 MODEL VÝKONOVÉHO USMĚRŇOVAČE	4
2.2 NEZATÍŽENÝ VÝKONOVÝ USMĚRŇOVAČ.....	5
2.3 ZATÍŽENÝ VÝKONOVÝ USMĚRŇOVAČ	7
2.4 MODEL VÝKONOVÉHO USMĚRŇOVAČE S OMEZENÍM POČÁTEČNÍHO NÁRŮSTU PROUDU	9
3 MĚŘENÍ VÝKONOVÉHO USMĚRŇOVAČE.....	12
3.1 POPIS MĚNIČE A DANÉ PARAMETRY	12
3.2 NEZATÍŽENÝ VÝKONOVÝ USMĚRŇOVAČ.....	13
3.3 ZATÍŽENÝ VÝKONOVÝ USMĚRŇOVAČ	15
ZÁVĚR	19
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	20
PŘÍLOHY.....	21

Seznam symbolů a zkratk

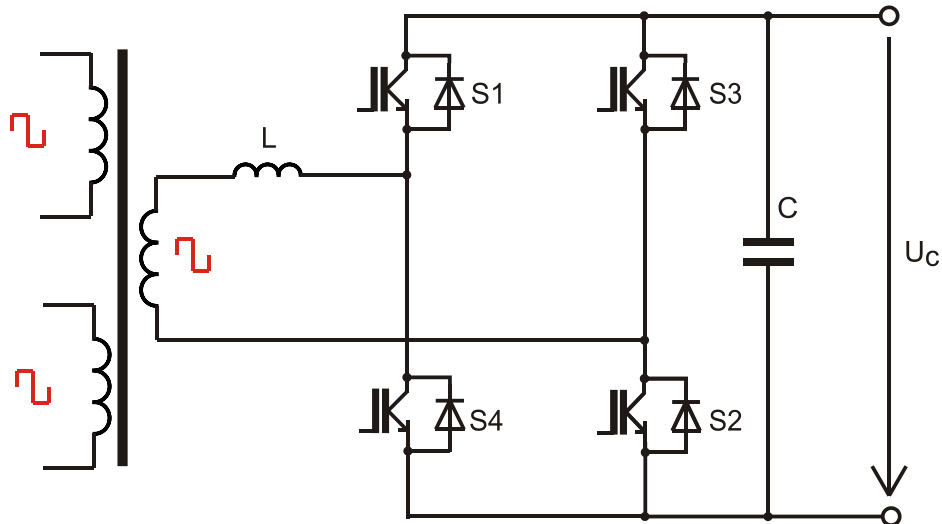
U_N	napájecí napětí usměrňovače
I_{vst}	vstupní proud usměrňovače
U_C	výstupní napětí usměrňovače
R	odpor napěťového zdroje a parazitní odpor tlumivky
L	předřadná tlumivka
C_1, C_2	kapacity představující výstupní filtr napětí
R_{V1}, R_{V2}	vybíjecí odpory
R_Z	zátěžný odpor
τ	časová konstanta RC obvodu

1 Úvod

V oblasti nových topologií trakčních měničů pro vícesystémová vozidla a vozidla napájená ze střídavé troleje se klade stále větší důraz na snižování rozměrů a hmotnosti elektrické výzbroje pro novou generaci lokomotiv, rychlovlaků a příměstských vozidel. Z tohoto důvodu se testuje nahrazení klasického transformátoru transformátorem středofrekvenčním, který je lehčí a menší. Tímto zajímavým problémem se zabývají práce významných organizací např. ABB ([1], [2]), Bombardier [3], Siemens [4], Škoda a ZČU [5]. Použitím středofrekvenčního transformátoru v elektrické trakci je potřeba změnit klasickou topologii elektrické výzbroje (transformátor připojený přímo na trolej) tak, že se přímo na trolej připojí vysokonapěťový frekvenční měnič, který zvýší frekvenci napájecího napětí. K usměrnění výstupního napětí ze středofrekvenčního transformátoru o dané frekvenci (v našem případě 400Hz) je použit výkonový usměrňovač, který je hlavním předmětem této bakalářské práce. Schéma zapojení usměrňovače se středofrekvenčním transformátorem je na obr. 1. V této práci je vyhodnoceno chování výkonového usměrňovače ve vybraných stavech, kdy pracuje pouze jako diodový usměrňovač s obdélkovým napájením. Vlastnosti usměrňovače jsou testovány za pomoci simulace a skutečné chování je následně ověřeno měřeními na laboratorním modelu nízkého výkonu.

Výsledky simulací usměrňovače jsou prezentovány v kapitole 2. Jednotlivé simulace jsou vytvořeny ve speciální knihovně Plecs, která je určena pro simulaci v oblasti výkonové elektroniky a elektrických pohonů. Plecs je součástí Simulinku, který je podprogramem matematického výkonného výpočetního softwaru Matlab.

Výsledky měření jsou uvedeny v kapitole 3. Jednofázový diodový můstkový usměrňovač je realizován pomocí univerzálního čtyřfázového měniče, který je blíže popsán v kapitole 3.1. Jako napájecí zdroj usměrňovače, je použit programovatelný zdroj Agilent 6813B. Pomocí digitálního osciloskopu Tektronix DPO 4034B jsou analyzovány průběhy jednotlivých veličin.

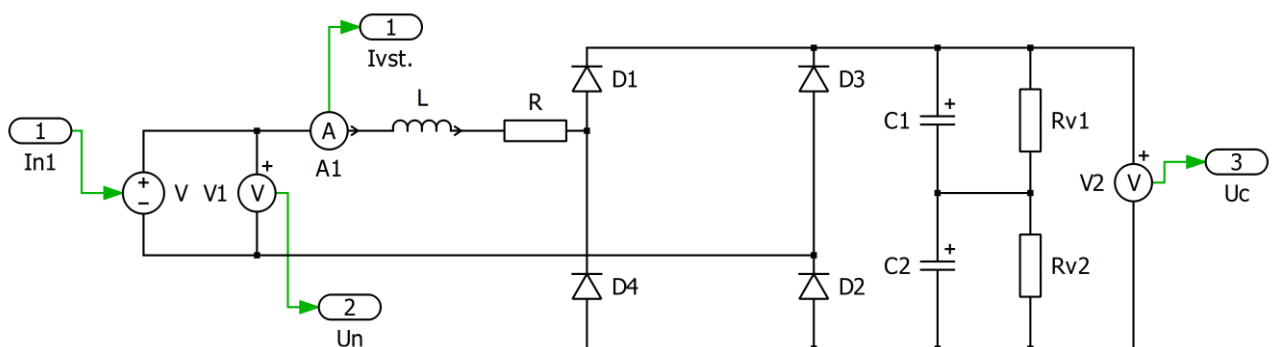


Obr. 1: Výkonové schéma pulzního usměrňovače se středofrekvenčním transformátorem

2 Simulace výkonového usměrňovače

2.1 Model výkonového usměrňovače

Chování výkonového usměrňovače bylo nejprve analyzováno za pomoci simulačního modelu, který byl vytvořen v prostředí Matlab/Simulink/Plecs. Náhradní schéma je prezentováno na obr. 2. Jako napájecí zdroj je použit generátor signálu, nastavený na obdélníkový průběh napětí s amplitudou 80V a frekvencí 400Hz. K napájecímu zdroji je sériově připojen odpor ($R=0,2\Omega$), představující malý vnitřní odpor reálného zdroje napětí a parazitní odpor tlumivky. Dále předradná tlumivka ($L=6mH$) k omezení počátečního nárůstu proudu. Na výstupu usměrňovače jsou připojeny dva kondenzátory C_1 , C_2 ($C_1=C_2=6,8mF$), charakterizující výstupní filtr napětí měniče. Ke každému kondenzátoru je připojen, z důvodu bezpečnosti, vybíjecí odpor R_{V1} a R_{V2} ($R_{V1}=R_{V2}=44k\Omega$). Pomocí příslušného bloku jsou analyzovány průběhy vstupního a výstupního napětí usměrňovače a vstupního proudu. Všechny uvedené parametry simulace jsou zvoleny tak, aby korespondovaly s laboratorním měřením.

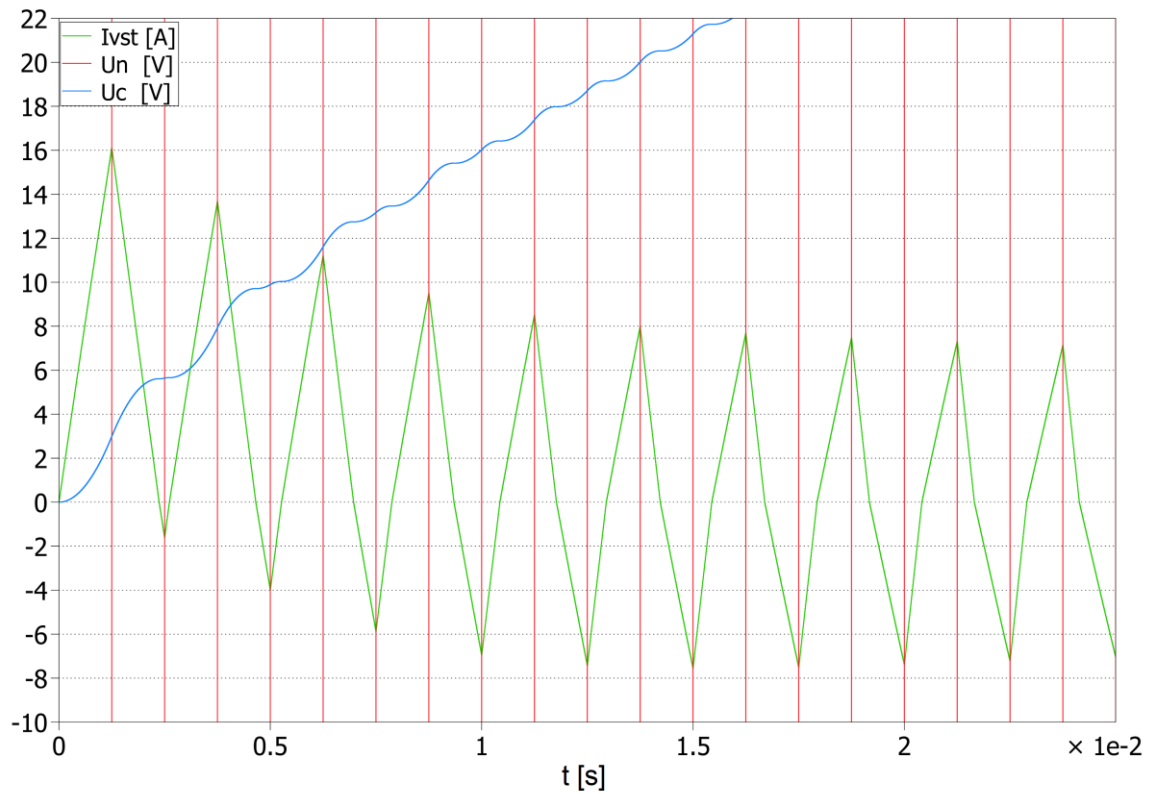


Obr. 2: Model nezátíženého výkonového usměrňovače

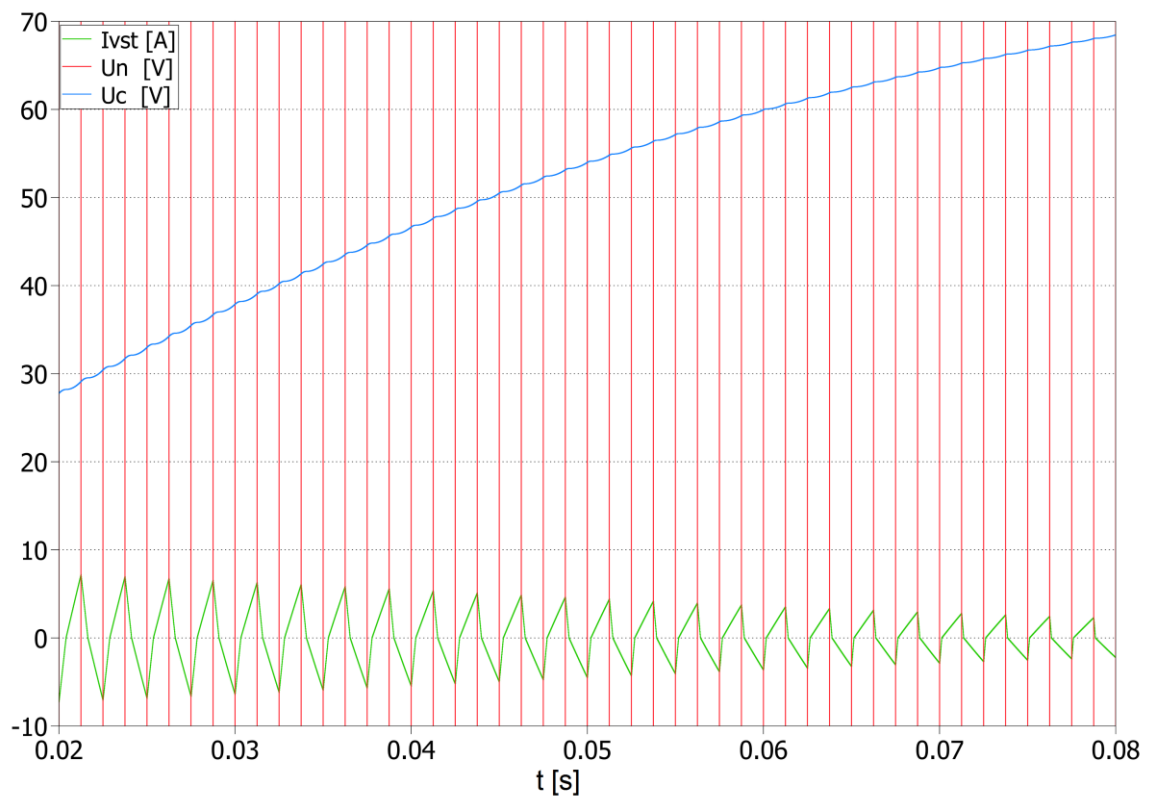
2.2 Nezatížený výkonový usměrňovač

Nezatížený usměrňovač má na svých výstupních svorkách připojen pouze filtr napětí v podobě kondenzátorů, které jsou součástí měniče. Při připojení nezatíženého usměrňovače k napájecímu zdroji, by docházelo ke zkratu zdroje (vybitý kondenzátor představuje zkrat), čemuž zamezí předřadná tlumivka. Na obr. 3 je uvedena simulace přechodného děje nezatíženého usměrňovače. Vstupní proud usměrňovače I_{vst} (proud na indukčnosti) spojitě narůstá a klesá shodně s polaritou napájecího zdroje. V prvním okamžiku proud naroste na hodnotu 16A, protože je omezen pouze předřadnou tlumivkou a maximálně vychýlen stejnosměrnou složkou. Velikost stejnosměrné složky závisí na okamžiku připojení usměrňovače, vzhledem k velikosti okamžité hodnoty napájecího napětí. Z obr. 3 je také vidět, že komutace diod neprobíhá ve stejném okamžiku, kdy dochází ke změně polarity napětí, ale proud při změně polarity napájecího zdroje spojitě klesá k nule a následně narůstá v opačném smyslu. Doba změny polarity proudu závisí na velikosti amplitudy proudu a na velikosti předřadné tlumivky. Na obr. 4 je patrné, že s nárůstem výstupního napětí usměrňovače U_C (nabíjení kondenzátorů) dochází k poklesu amplitudy proudu. Celý přechodný děj trvá zhruba 220ms.

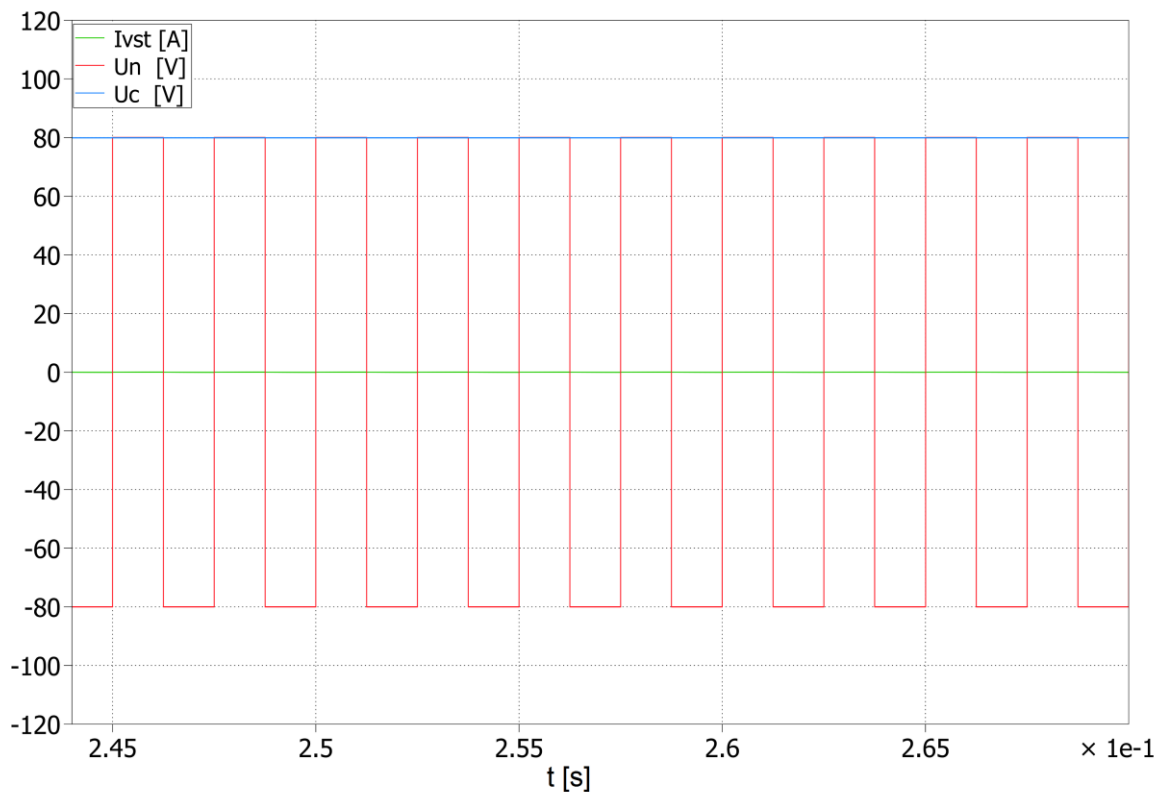
Simulace ustáleného stavu nezatíženého usměrňovače je prezentována na obr. 5. Proud je nulový, protože kondenzátory jsou maximálně nabity, chovají se jako rozpojené svorky a výstupní napětí usměrňovače je rovno amplitudě napájecího napětí, tedy $U_C=80V$.



Obr. 3: Simulace - nezatížený usměrňovač, přechodný děj



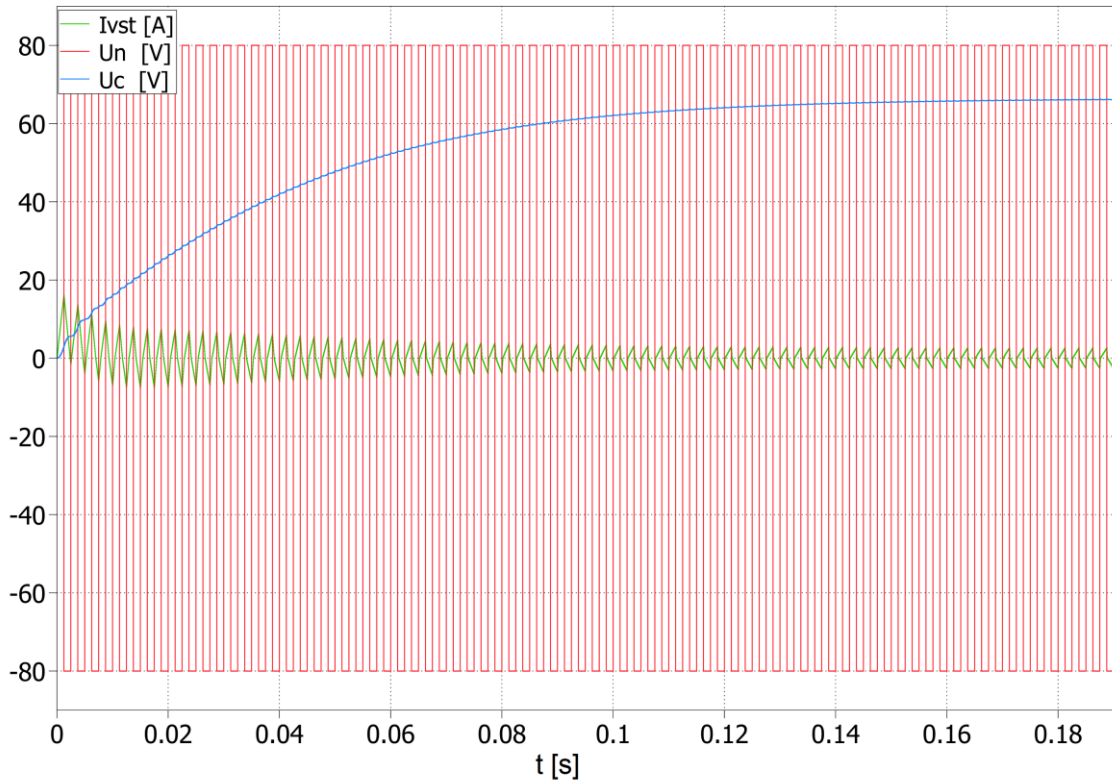
Obr. 4 Simulace - nezatížený usměrňovač, pokles amplitudy proudu s nárůstem výstupního napětí usměrňovače



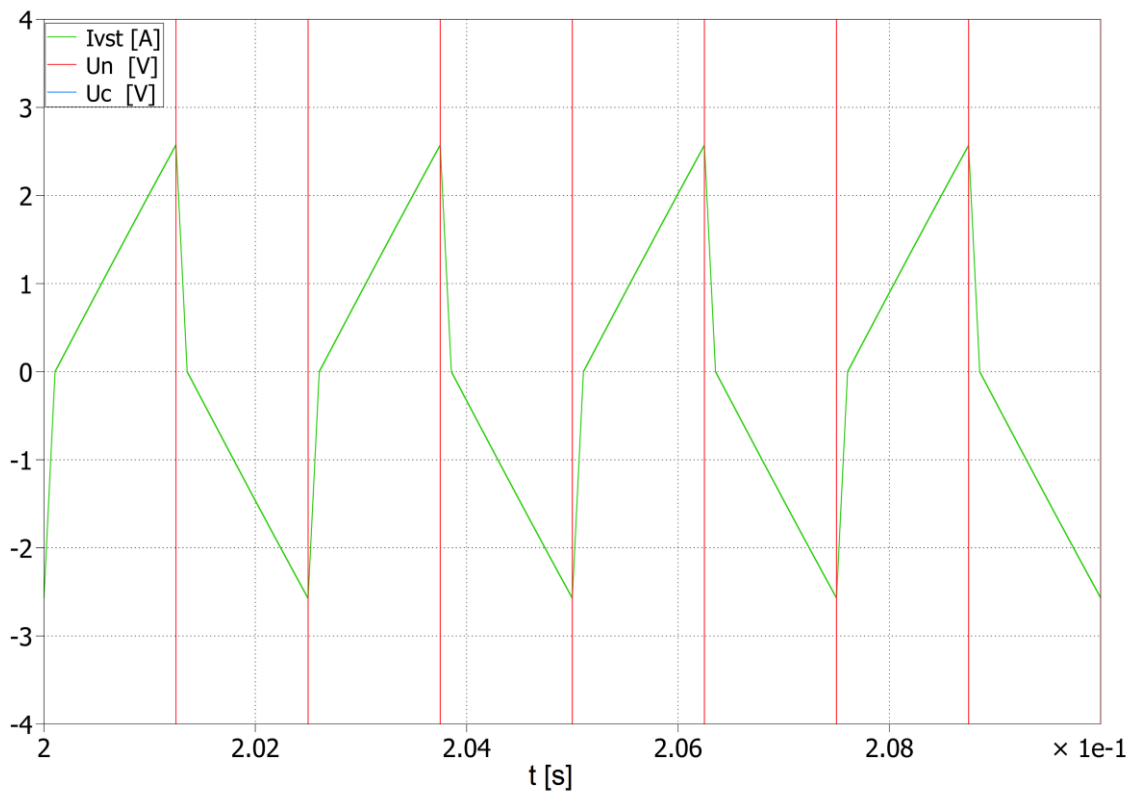
Obr. 5: Simulace - nezatížený usměrňovač, ustálený stav

2.3 Zatížený výkonový usměrňovač

Na výstupních svorkách výkonového usměrňovače je připojena zátěž v podobě odporu $R_Z=52\Omega$. Počáteční přechodný děj zatíženého usměrňovače je totožný s nezatíženým stavem usměrňovače (obr. 3), protože nenabitě kondenzátory se chovají jako zkrat, připojená zátěž má jen malý vliv na průběh přechodného děje, protože je překlenuta výstupním filtrem napětí. Výstupní napětí usměrňovače U_C v ustáleném stavu je dáno velikostí připojené zátěže. V našem případě z obr. 6 je vidět, že napětí se ustálí na hodnotě $U_C=67V$. Velikost vstupního proudu usměrňovače v ustáleném stavu $I_{vst}=2,5A$, obr. 7.



Obr. 6: Simulace - zatížený usměrňovač, přechodný děj

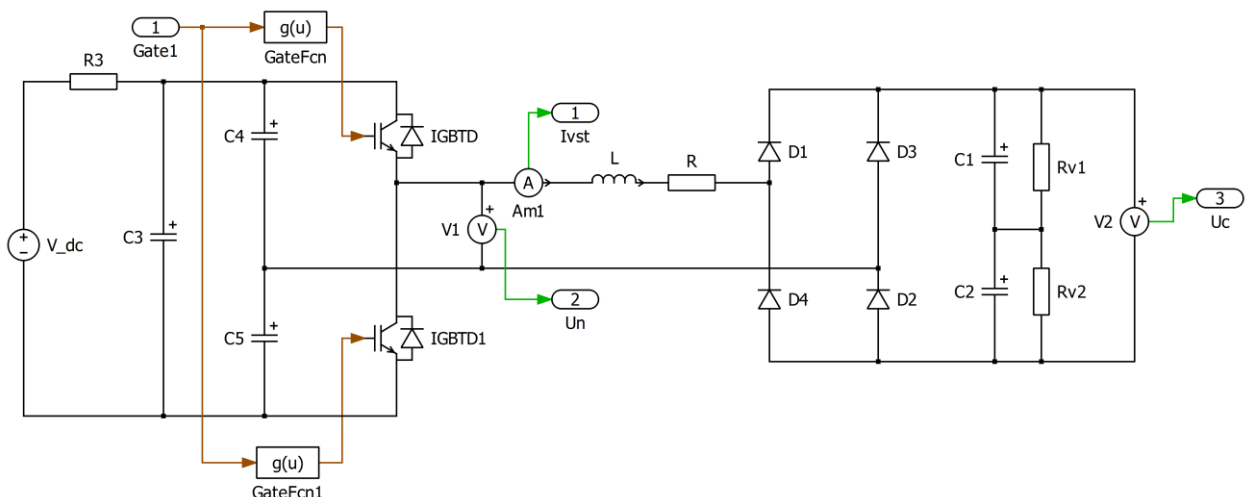


Obr. 7: Simulace - zatížený usměrňovač, vstupní proud v ustáleném stavu

2.4 Model výkonového usměrňovače s omezením počátečního nárůstu proudu

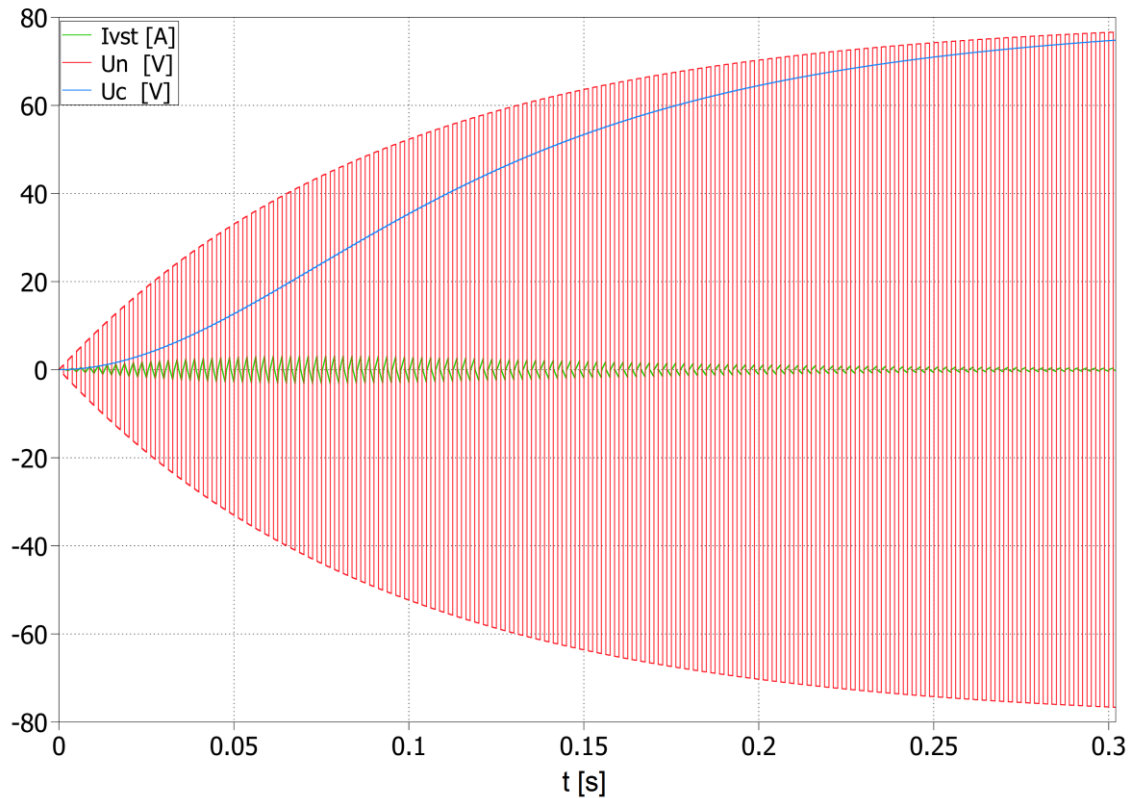
Při připojení výkonového usměrňovače k napájecí síti dochází v prvním okamžiku k velkému nárůstu proudu. Velikost tohoto proudu není dána pouze charakterem obvodu, ale také velikostí stejnosměrné složky, která dokáže proud vychýlit do nežádoucích velikostí. Z tohoto důvodu je žádoucí omezit počáteční nárůst proudu. Další z důvodů proč se tímto problémem zabývat je, že se jedná o stav nejvíce se přibližující reálnému použití výkonového usměrňovače na sledovaném trakčním měničích uvedeném v [5].

Jednou z variant, jak omezit velikost proudu, je zvolení vhodné doby zapnutí/vypnutí tranzistorů napět'ového střídače, tzv. střídou, která udává poměr mezi těmito stavy. V našem případě je proud omezen pomocí stejnosměrného RC obvodu (prvky R_3 , C_3), kde pozvolný nárůst napětí je dán časovou konstantou $\tau = R_3 \cdot C_3$. Narůstající napětí je rozstřídáno pomocí napět'ového střídače. Realizace simulačního modelu s RC obvodem a napět'ovým střídačem je vidět na obr. 8. Z důvodu realizace simulace ve studentské verzi programu Plecs, kde je umožněno využít maximálně 6 polovodičových součástek, je jednofázový napět'ový střídač realizován jako půlmůstek tzv. half-bridge, kde nám stačí pouze dvě vypínatelné polovodičové součástky, oproti můstkovému spojení, kde je nutno použít čtyři polovodičové součástky. Nevýhoda půlmůstkového spojení je, že na výstupu střídače je možné dosáhnout maximálně polovičního napětí stejnosměrného zdroje.

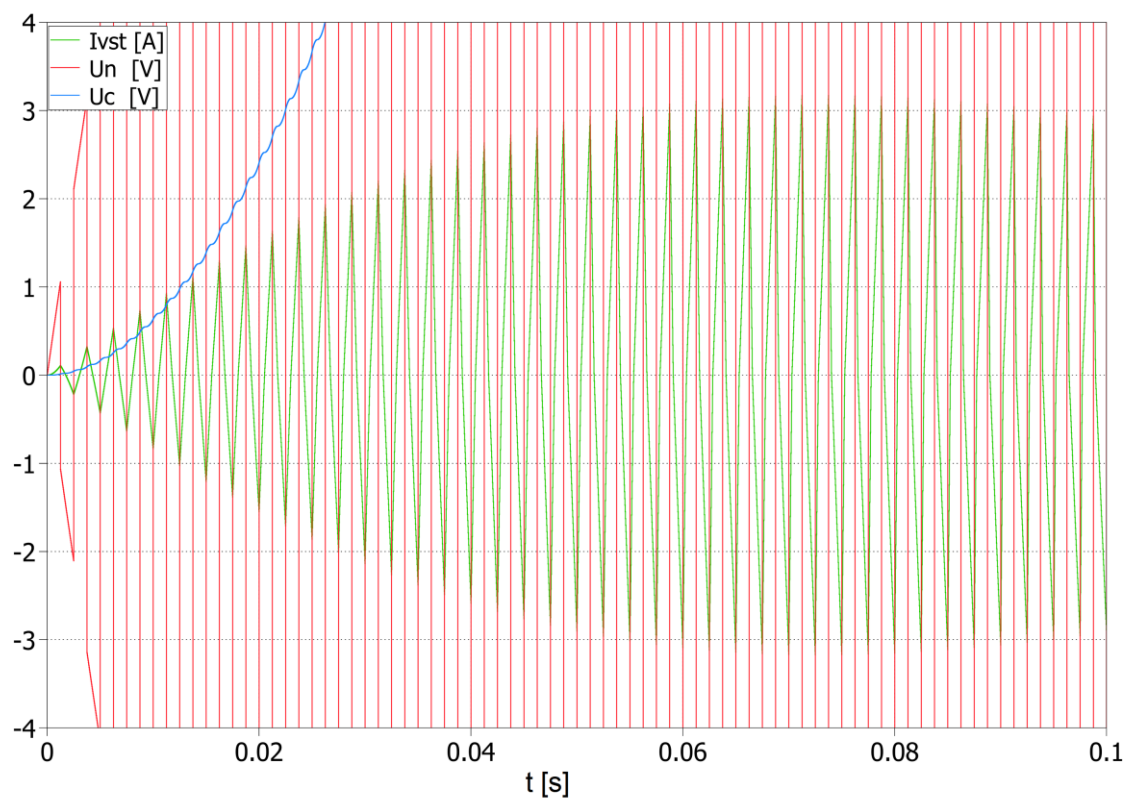


Obr. 8: Simulační model s omezením proudu

Výsledek simulace nezatíženého usměrňovače s postupným nárůstem napětí je prezentován na obr. 9. Napětí U_N narůstá z nulové hodnoty až na hodnotu 80V a výstupní napětí usměrňovače U_C narůstá s amplitudou napětí U_N . Dále je na obr. 10 vidět průběh proudu I_{vst} při počátečním přechodném ději, kde jeho maximální hodnota narostla na 3,2A. V porovnání se simulací (obr. 3) a laboratorním měření (obr. 12), kde byl proud omezen pouze předřadnou tlumivkou, je patrný příznivější průběh proudu.



Obr. 9: Simulace - nezatížený usměrňovač, postupný nárůst napětí

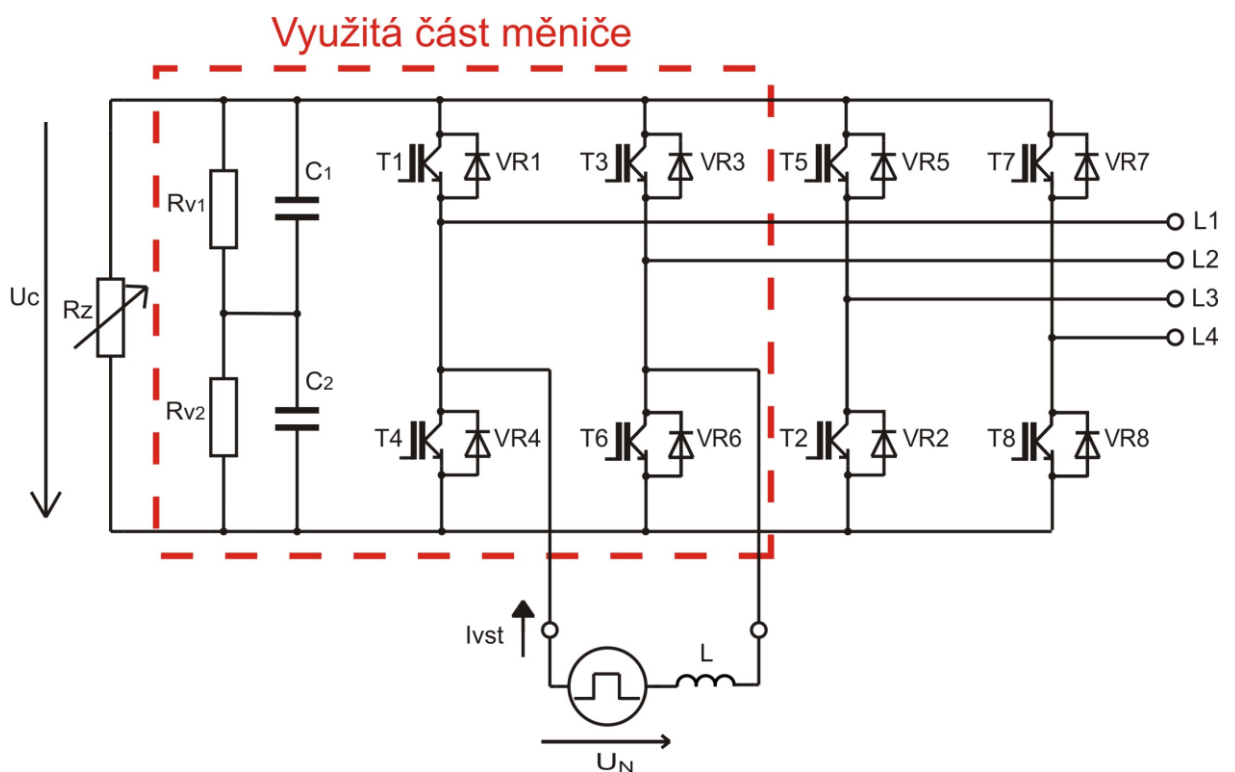


Obr. 10: Simulace - nezatížený usměrňovač, průběh proudu

3 Měření výkonového usměrňovače

3.1 Popis měniče a dané parametry

Schéma univerzálního čtyřfázového měniče je na obr. 11. Pro měření vlastností usměrňovače jsme využili pouze čtyři diody (jednofázový diodový usměrňovač) a kondenzátory jako výstupní filtr napětí, jak je vyznačeno na obr. 11. Parametry měniče, napájecího zdroje, předřadné tlumivky a připojené zátěže jsou uvedeny v tabulce 1, parametry diod jsou uvedeny v příloženém DataSheetu. Detailnější informace o použitém měniči je možné nalézt ve výzkumné zprávě [6].

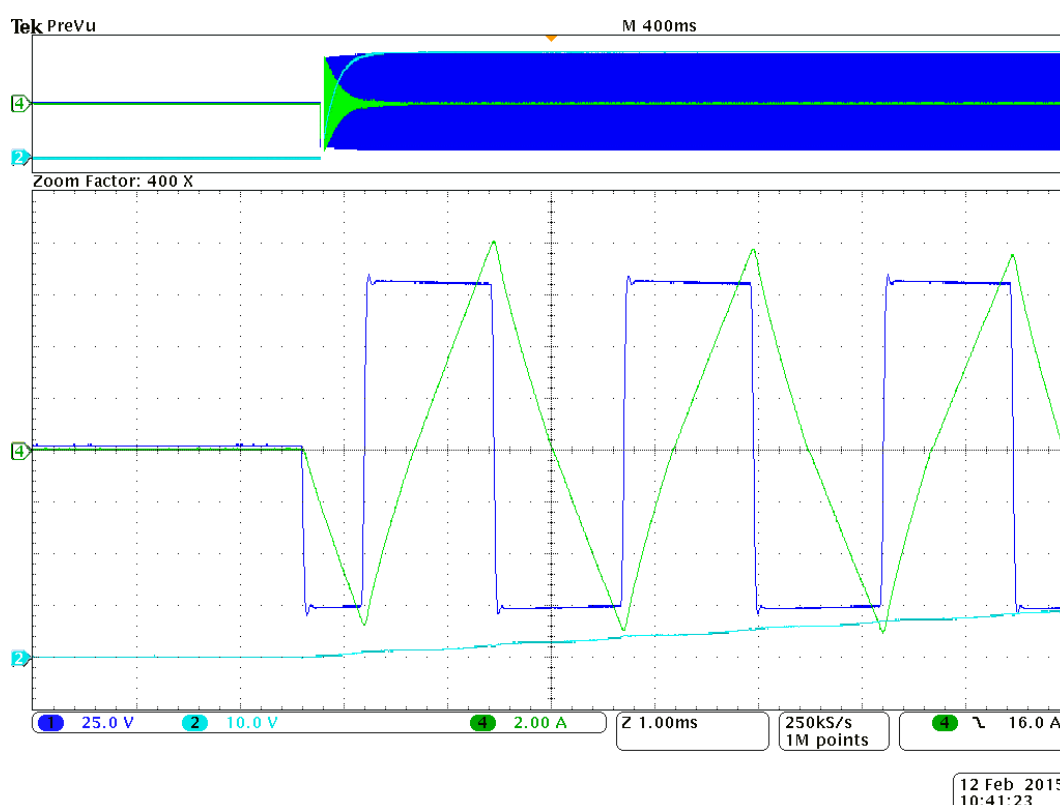


Obr. 11: Schéma univerzálního čtyřfázového měniče

Tabulka 1: Parametry	
Napájecí napětí	$U_N=80\text{V}, 400\text{Hz}$
Předřadná tlumivka	$L=6\text{mH}$
Výstupní kondenzátory	$C_1=C_2=2 \times 6,8\text{mF}$
Vybíjecí odpory	$R_{V1}=R_{V2}=44\text{k}\Omega$
Potenciometr	$R_Z=4 \times 13\Omega/6,3\text{A}$

3.2 Nezatížený výkonový usměrňovač

Nezatížený usměrňovač a jeho chování bylo již blíže popsáno v kapitole 2.2. Na obr. 12 je vidět naměřený průběh přechodného děje nezatíženého usměrňovače. V porovnání se simulací, je průběh vstupního proudu totožný s průběhem proudu I_{vst} v simulaci (obr. 3). Rozdílné hodnoty počátečních amplitud vstupních proudů jsou dány různou velikostí stejnosměrných složek. Z průběhu napájecího napětí je patrné, že použitý zdroj napětí (Agilent 6813B) není ideální jako v případě simulace, kde napětí má tvar ideálního obdélníkového průběhu.



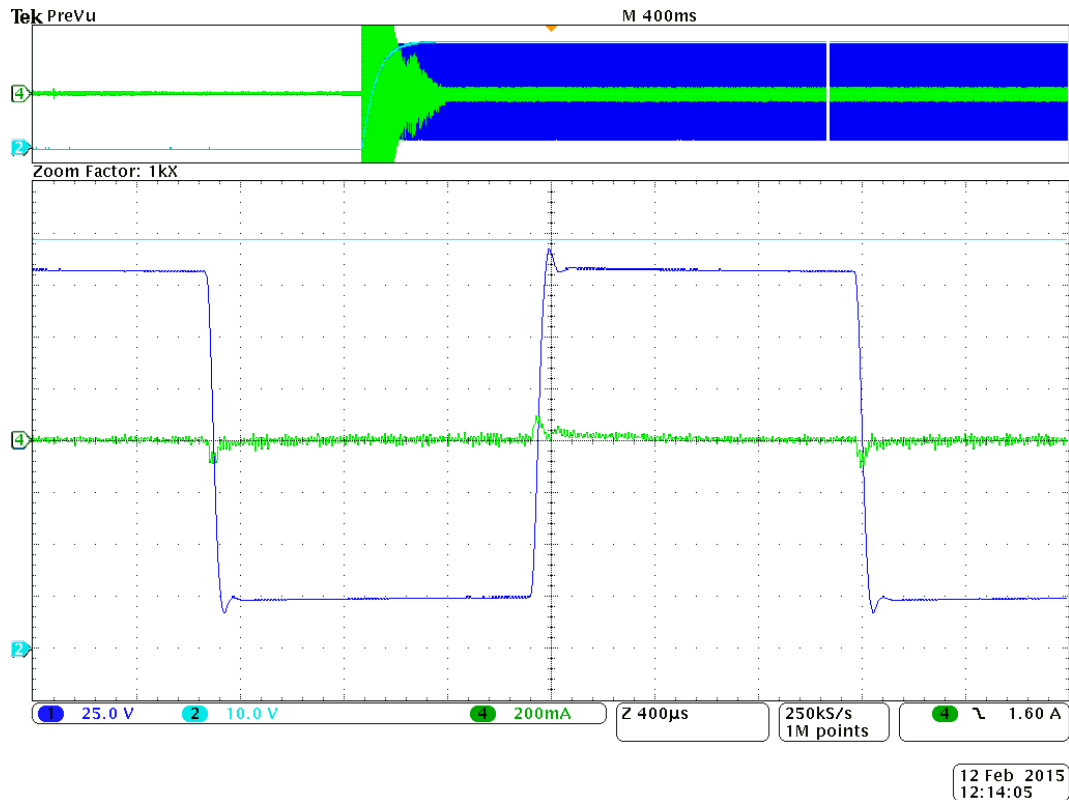
Obr. 12: Měření - nezatížený usměrňovač, přechodný děj

ch1: Napájecí napětí U_N (25V/dílek),

ch2: Výstupní napětí usměrňovače U_C (10V/dílek),

ch4: Vstupní proud usměrňovače I_{vst} (2A/dílek)

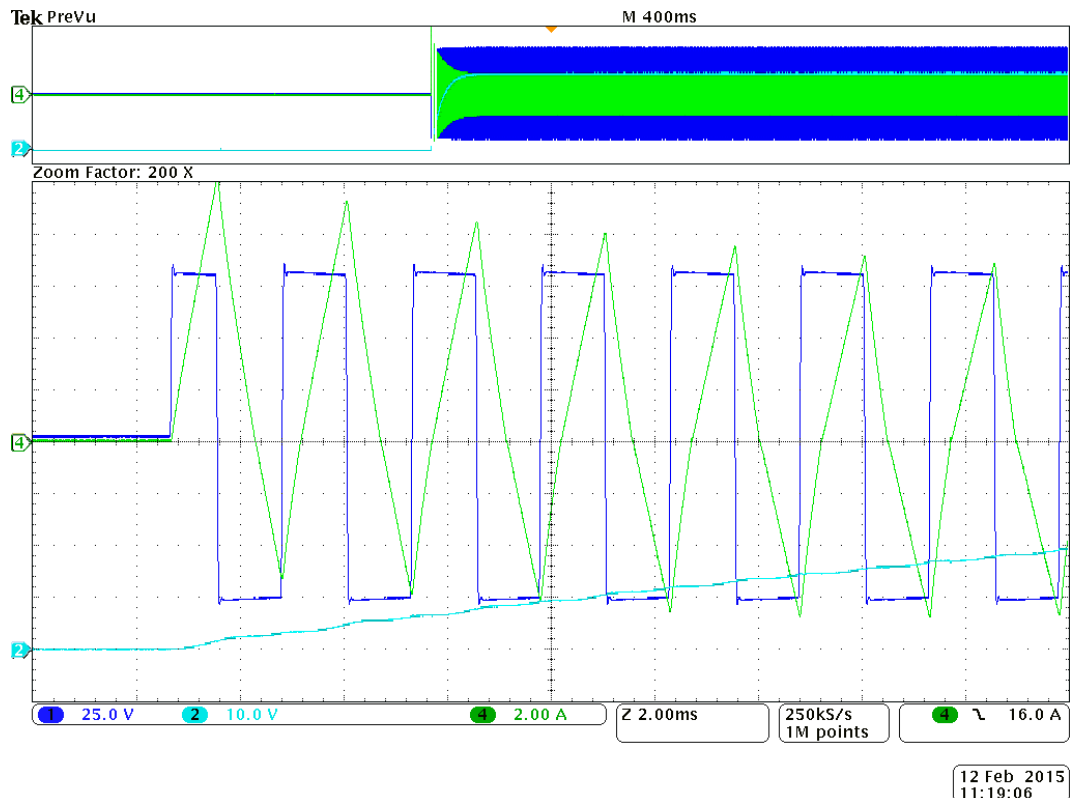
V ustáleném stavu, obr. 13, teče usměrňovačem proud zanedbatelné velikosti, který je dán připojenými vybíjecími odpory. Výstupní napětí usměrňovače U_C se nerovná amplitudě napájecího napětí, jako v případě simulace, ale je menší o úbytky napětí na diodách. Tyto úbytky jsou velmi malé a v simulaci jsou zanedbány.



Obr. 13: Měření - nezatížený usměrňovač, ustálený stav
ch1: Napájecí napětí U_N (25V/dílek),
ch2: Výstupní napětí usměrňovače U_C (10V/dílek),
ch4: Vstupní proud usměrňovače I_{vst} (200mA/dílek)

3.3 Zatížený výkonový usměrňovač

Průběh přechodného děje zatíženého usměrňovače (obr. 14) je totožný s průběhem nezatíženého usměrňovače (obr. 12), z důvodů které jsou uvedeny v kapitole 2.3. Rozdílné hodnoty amplitud vstupních proudů jsou dány velikostí stejnosměrných složek.



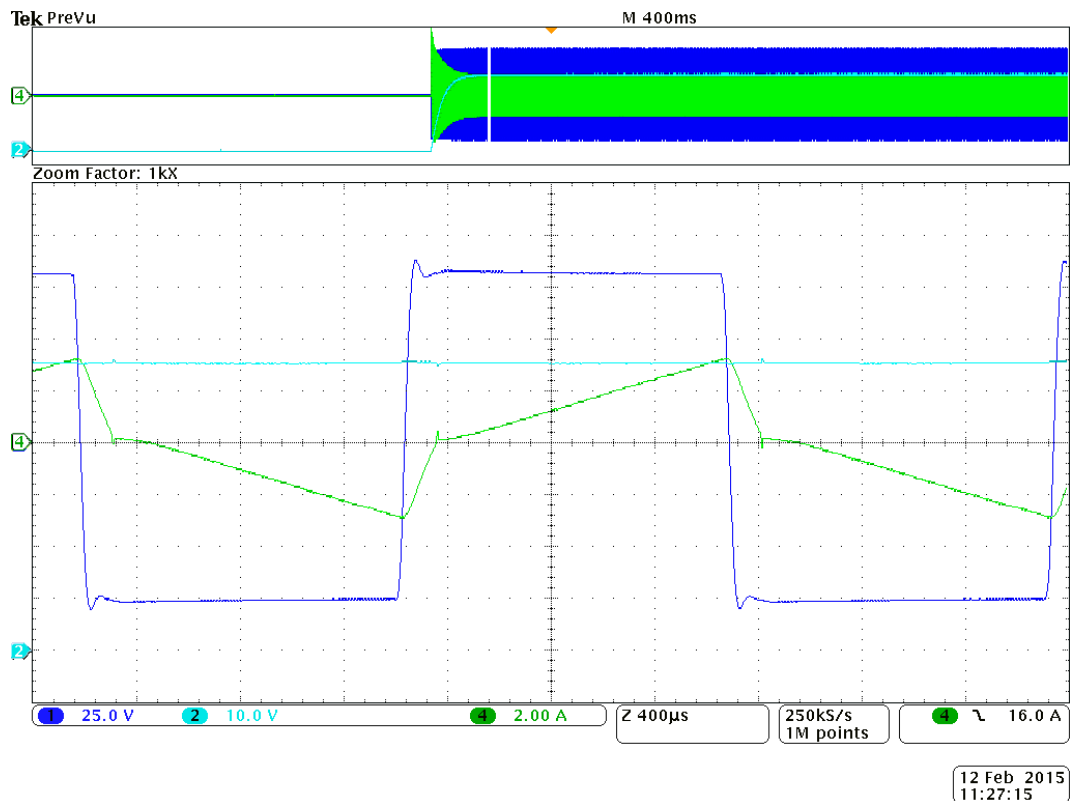
Obr. 14: Měření - zatížený usměrňovač, přechodný děj

ch1: Napájecí napětí U_N (25V/dílek),

ch2: Výstupní napětí usměrňovače U_C (10V/dílek),

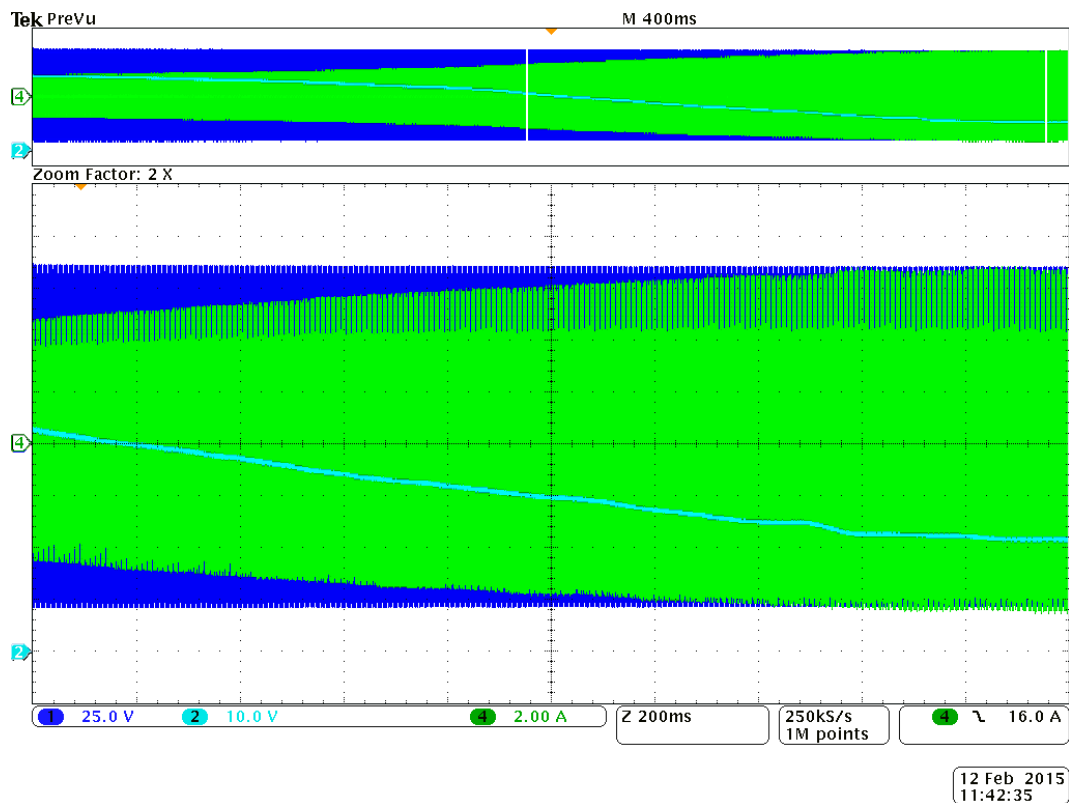
ch4: Vstupní proud usměrňovače I_{vst} (2A/dílek)

Na obr. 15 je uveden ustálený stav zatíženého usměrňovače. Průběh vstupního proudu usměrňovače je shodný s průběhem proudu v simulaci (obr. 7). Velikost proudu $I_{vst}=3,2A$ a velikost výstupního napětí $U_C=56V$. Protože použitý zdroj napětí není ideální, dochází při změně polaritě napětí k malému překmitu. Z obr. 15 je také vidět komutace diod, kdy proud přechází z jedné polaritě na opačnou. Více informací o komutačním ději je možné nalézt v [7].



Obr. 15: Měření - zatížený usměrňovač, ustálený stav
 ch1: Napájecí napětí U_N (25V/dílek),
 ch2: Výstupní napětí usměrňovače U_C (10V/dílek),
 ch4: Vstupní proud usměrňovače I_{vst} (2A/dílek)

Chování usměrňovače bylo také analyzováno s proměnnou zátěží. Na obr. 16 je vidět plynulé zvyšování zatížení, skokové zvyšování zatížení je prezentována na obr. 17. Z průběhů je patrné, že se zvyšujícím se zatížením narůstá vstupní proud usměrňovače I_{vst} a klesá výstupní napětí U_C .

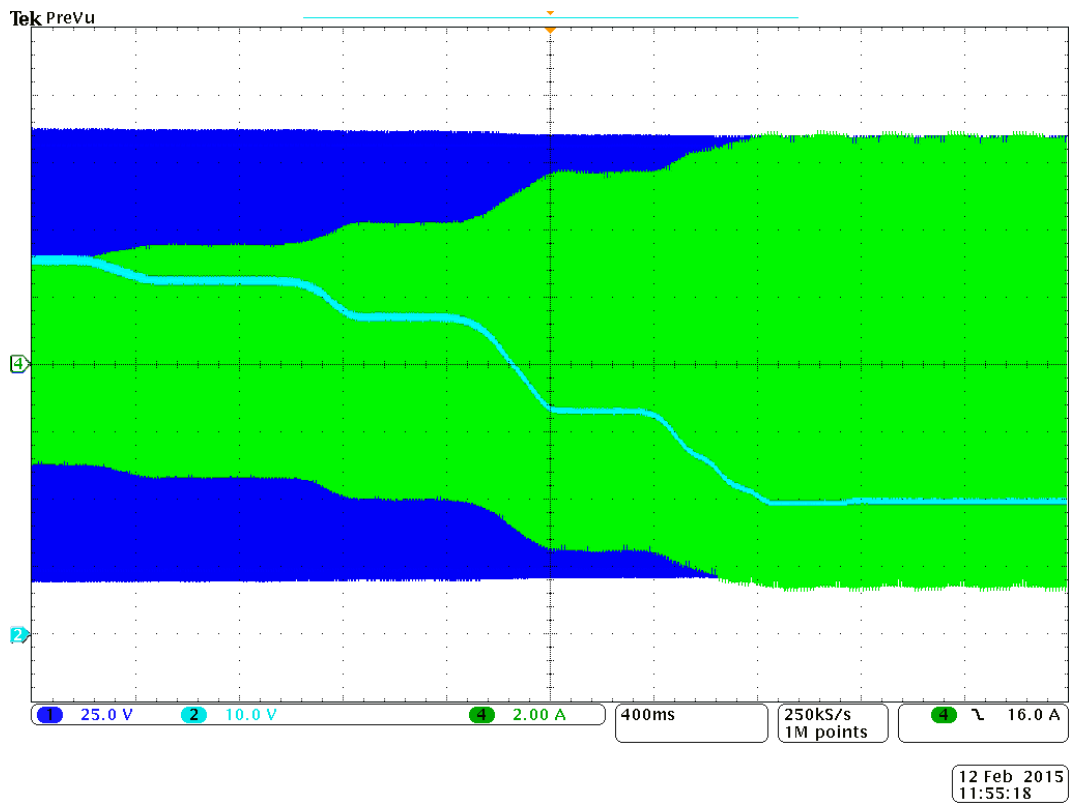


Obr. 16: Měření - zatížený usměrňovač, plynulé zvyšování zatížení

ch1: Napájecí napětí U_N (25V/dílek),

ch2: Výstupní napětí usměrňovače U_C (10V/dílek),

ch4: Vstupní proud usměrňovače I_{vst} (2A/dílek)



Obr. 17: Měření - zatížený usměrňovač, skokové zvyšování zatížení

- ch1: Napájecí napětí U_N (25V/dílek),
- ch2: Výstupní napětí usměrňovače U_C (10V/dílek),
- ch4: Vstupní proud usměrňovače I_{vst} (2A/dílek)

Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá chováním výkonového diodového usměrňovače s atypickým napájením, který se využívá v oblasti nových topologií trakčních měničů.

Simulační modely výkonového usměrňovače, bez omezení, a s omezením vstupního proudu, byly sestaveny v prostředí Matlab/Simulink s využitím knihovny Plecs. Ze simulačních výsledků modelu bez omezení proudu, je patrný nežádoucí nárůst vstupního proudu v okamžiku připojení usměrňovače k napájecí síti a to jak v nezátíženém i zatíženém stavu. Použití výkonového usměrňovače v tomto spojení je nežádoucí, z důvodu velkého zatížení polovodičových součástek. Varianta s omezením proudu, která byla realizována pomocí RC obvodu, má mnohem příznivější průběh proudu. Proud v tomto případě má pětkrát menší hodnotu oproti variantě s přímým připojením usměrňovače k napájecí síti. Tato varianta je také prakticky využita na reálném trakčním měniči, kde je proud omezen přednabíjecím odporem.

Chování výkonového usměrňovače bez omezení proudu bylo také prakticky ověřeno laboratorním měřením. Z výsledků měření je patrné, že se velmi přibližují simulaci. Nepatrné rozdíly jsou dány například zanedbáním úbytků napětí na diodách a ideálním zdrojem napětí v simulačním programu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Zhao Chuanhong, D. Dujic, A. Mester, J. K. Steinke, M. Weiss, S. Lewdeni-Schmid, T. Chaudhuri and P. Stefanutti, "Power Electronic Traction Transformer—Medium Voltage Prototype," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol.61, no.7, pp.3257-3268, July 2014.
- [2] T. Besselmann, A. Mester and D. Dujic, "Power Electronic Traction Transformer: Efficiency Improvements Under Light-Load Conditions," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol.29, no.8, pp.3971-3981, Aug. 2014.
- [3] M. Steiner and H. Reinold, "Medium frequency topology in railway applications," *European Conference on Power Electronics and Applications 2007*, pp.1-10, 2-5 Sept. 2007.
- [4] J. Weigel, A. Nagel and H. Hoffman, "High voltage IGBTs in medium frequency traction power supply," *Power Electronics and Applications, 2009. EPE '09. 13th European Conference on*, pp.1-10, Sept. 2009.
- [5] V. Blahnik, J. Zak and Z. Peroutka, "Vector control of primary active rectifiers in traction converter with medium-frequency transformer," *Power Electronics and Applications (EPE 2011)*, pp.1-9, 2011.
- [6] Streit, L., Zavřel, M.: Návrh čtyřfázových měničů pro modulárních vysokonapětové topologie. Výzkumná zpráva č. 22190-089-2014. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2014.
- [7] Vondrášek, F.: Výkonová elektronika, svazek II. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2003.

Přílohy

DataSheet Univerzálního čtyřfázového měniče:

SKM 195GB126D ...



SEMITRANS® 2

Trench IGBT Modules

SKM 195GB126D

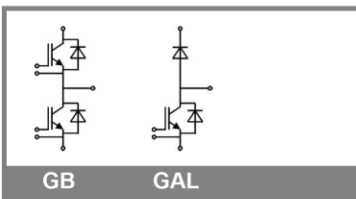
SKM 195GAL126D

Features

- Trench = Trenchgate technology
- $V_{CE(sat)}$ with positive temperature coefficient
- High short circuit capability, self limiting to $6 \times I_C$

Typical Applications*

- AC inverter drives
- UPS
- Electronic welders



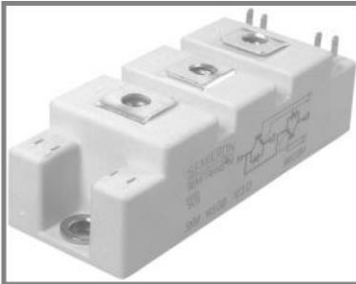
GB

GAL

Absolute Maximum Ratings		$T_{case} = 25^\circ C$, unless otherwise specified		
Symbol	Conditions	Values	Units	
IGBT				
V_{CES}	$T_j = 25^\circ C$	1200	V	
I_C	$T_j = 150^\circ C$	$T_c = 25^\circ C$	220	A
		$T_c = 80^\circ C$	160	A
I_{CRM}	$I_{CRM} = 2 \times I_{Cnom}$	300	A	
V_{GES}		± 20	V	
t_{psc}	$V_{CC} = 600 V$; $V_{GE} \leq 20 V$; $T_j = 125^\circ C$ $V_{CES} < 1200 V$	10	μs	
Inverse Diode				
I_F	$T_j = 150^\circ C$	$T_c = 25^\circ C$	170	A
		$T_c = 80^\circ C$	115	A
I_{FRM}	$I_{FRM} = 2 \times I_{Fnom}$	200	A	
I_{FSM}	$t_p = 10 ms$; sin.	$T_j = 150^\circ C$	900	A
Freewheeling Diode				
I_F	$T_j = 150^\circ C$	$T_c = 25^\circ C$	170	A
		$T_c = 80^\circ C$	115	A
I_{FRM}	$I_{FRM} = 2 \times I_{Fnom}$	200	A	
I_{FSM}	$t_p = 10 ms$; sin.	$T_j = 150^\circ C$	900	A
Module				
$I_{l(RMS)}$		200	A	
T_{vj}		-40 ... +150	$^\circ C$	
T_{stg}		-40 ... +125	$^\circ C$	
V_{isol}	AC, 1 min.	4000	V	

Characteristics		$T_{case} = 25^\circ C$, unless otherwise specified			
Symbol	Conditions	min.	typ.	max.	Units
IGBT					
$V_{GE(th)}$	$V_{GE} = V_{CE}$, $I_C = 6 mA$	5	5,8	6,5	V
I_{CES}	$V_{GE} = 0 V$, $V_{CE} = V_{CES}$		0,1	0,3	mA
V_{CE0}		$T_j = 25^\circ C$	1	1,2	V
		$T_j = 125^\circ C$	0,9	1,1	V
r_{CE}	$V_{GE} = 0 V$	$T_j = 25^\circ C$	4,7	6,3	m Ω
		$T_j = 125^\circ C$	7,3	9	m Ω
$V_{CE(sat)}$	$I_{Cnom} = 150 A$, $V_{GE} = 15 V$	$T_j = 25^\circ C_{chiplev.}$	1,7	2,15	V
		$T_j = 125^\circ C_{chiplev.}$	2	2,45	V
C_{res}	$V_{CE} = 25$, $V_{GE} = 0 V$	$f = 1 MHz$	10,5		nF
C_{oes}			0,9		nF
C_{res}			0,8		nF
Q_G	$V_{GE} = -8V \dots +20V$		1380		nC
R_{Gint}	$T_j = ^\circ C$		5		Ω
$t_{d(on)}$	$R_{Gon} = 2 \Omega$	$V_{CC} = 600V$ $I_C = 150A$	280		ns
t_t			50		ns
E_{on}	$R_{Goff} = 2 \Omega$	$T_j = 125^\circ C$ $V_{GE} = \pm 15V$	16		mJ
$t_{d(off)}$			560		ns
t_t			70		ns
E_{off}			24,5		mJ
$R_{th(j-c)}$	per IGBT			0,16	K/W

SKM 195GB126D ...



SEMITRANS® 2

Trench IGBT Modules

SKM 195GB126D

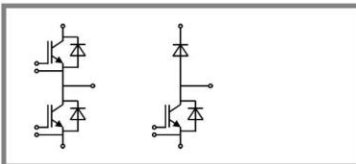
SKM 195GAL126D

Features

- Trench = Trenchgate technology
- $V_{CE(sat)}$ with positive temperature coefficient
- High short circuit capability, self limiting to $6 \times I_C$

Typical Applications*

- AC inverter drives
- UPS
- Electronic welders



GB

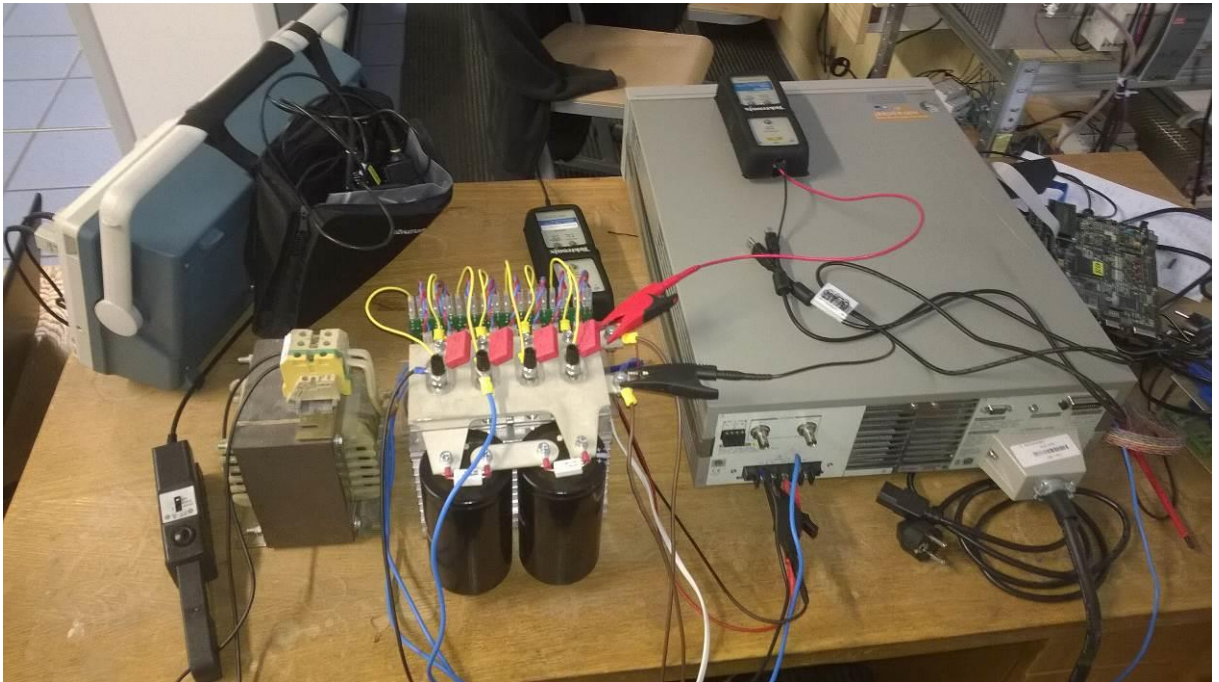
GAL

Characteristics					
Symbol	Conditions	min.	typ.	max.	Units
Inverse Diode					
$V_F = V_{EC}$	$I_{Fnom} = 100 \text{ A}; V_{GE} = 0 \text{ V}$	$T_J = 25 \text{ }^\circ\text{C}_{chiplev.}$	2	2,5	V
		$T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}_{chiplev.}$	1,8		V
V_{F0}		$T_J = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	1,1	1,2	V
		$T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$			V
r_F		$T_J = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	9	13	mΩ
		$T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$			mΩ
I_{RRM}	$I_F = 150 \text{ A}$	$T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	86		A
Q_{tr}	$di/dt = 2200 \text{ A}/\mu\text{s}$		17		μC
E_{tr}	$V_{GE} = -15 \text{ V}; V_{CC} = 600 \text{ V}$		5,8		mJ
$R_{th(j-c)D}$	per diode			0,32	K/W
Freewheeling diode					
$V_F = V_{EC}$	$I_{Fnom} = 100 \text{ A}; V_{GE} = 0 \text{ V}$	$T_J = 25 \text{ }^\circ\text{C}_{chiplev.}$	2	2,5	V
		$T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}_{chiplev.}$	1,8		V
V_{F0}		$T_J = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	1,1	1,2	V
		$T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$			V
r_F		$T_J = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	9	13	V
		$T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$			V
I_{RRM}	$I_F = 150 \text{ A}$	$T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	86		A
Q_{tr}	$di/dt = 2200 \text{ A}/\mu\text{s}$		17		μC
E_{tr}	$V_{GE} = -15 \text{ V}; V_{CC} = 600 \text{ V}$		5,8		mJ
$R_{th(j-c)FD}$	per diode			0,32	K/W
Module					
L_{CE}				30	nH
$R_{CC^+EE^+}$	res., terminal-chip	$T_{case} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	0,75		mΩ
		$T_{case} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	1		mΩ
$R_{th(c-s)}$	per module			0,05	K/W
M_s	to heat sink M6		3	5	Nm
M_t	to terminals M5		2,5	5	Nm
w				160	g

This is an electrostatic discharge sensitive device (ESDS), international standard IEC 60747-1, Chapter IX.

* The specifications of our components may not be considered as an assurance of component characteristics. Components have to be tested for the respective application. Adjustments may be necessary. The use of SEMIKRON products in life support appliances and systems is subject to prior specification and written approval by SEMIKRON. We therefore strongly recommend prior consultation of our personal.

fotografie 1: Postavený laboratorní model jednofázového výkonového diodového usměrňovače



fotografie 2: Snímání měřených veličin pomocí osciloskopu

