



CIDAM

*Centrum inteligentních pohonů
a pokročilého řízení strojů*

Název:	Prototype of low-voltage low-power modular power electronics converter - popis výstupu
Číslo výstupu:	DV029
Pracovní balíček	WP1
Autoři:	Luboš Streit, Martin Zavřel

Dokument vznikl s finanční podporou TA ČR v rámci projektu TE02000103.

Pracoviště: RICE

Výzkumná zpráva č.: 22190 - 049 - 2015

Prototype of low-voltage low-power modular power electronics converter - popis výstupu

Druh úkolu:	Vědecko-výzkumný
Řešitelé:	Ing. Luboš STREIT, Ph.D., Bc. Martin ZAVŘEL
Vedoucí úkolu:	Ing. Tomáš Glasberger, Ph.D.
Počet stran:	32
Datum vydání:	listopad 2015
Revize:	1

Tento projekt byl realizován za finanční podpory TAČR v rámci projektu TE02000103 (CIDAM).

Anotace

Tato zpráva se zabývá realizací čtyř-fázových výkonových měničů s konstrukcí vhodnou pro řazení do topologií modulárních vysokonapěťových měničů i jiných aplikací díky nezávislému osmi-kanálovému budiči (driveru).

Ve zprávě je v první části uvedeno přehledové schéma, prostorové uspořádání a možnosti použití a v druhé části textu se zpráva zabývá uvedením kompletního měniče do chodu. Jsou zde popsány konektory a nastavení propojovacích polí. Taktéž je zde věnována pozornost měřícím rozsahům a úrovním řídicích signálu ze signálového procesoru.

Poslední část textu je členěna do dvou podkapitol, ve kterých jsou detailněji popsány základní části realizovaného výkonového měniče, tedy řídicího obvodu a výkonového obvodu.

Seznam symbolů a zkratek

TTL	Tranzistorově tranzistorová logika
CMOS	Unipolární logika
I_C	Maximální proud tranzistoru při teplotě pouzdra $T_C=80^{\circ}\text{C}$ [A]
I_F	Maximální proud diody při teplotě pouzdra $T_C=80^{\circ}\text{C}$ [A]
IGBT	Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem
U_{CE}	Napětí kolektor-emitor IGBT tranzistorů [V]
V_{DC}	stejnoseměrné napětí [V]
T_c	Teplota pouzdra součástky [$^{\circ}\text{C}$]
$t_{d(on)}$	doba zapnutí tranzistoru [ns]
$t_{d(off)}$	doba vypnutí tranzistoru [ns]
DPS	Deska plošných spojů
V_{RMS}	Efektivní hodnota napětí [V]

Obsah

1. ÚVOD.....	4
2. UVEDENÍ MĚNIČE DO CHODU.....	9
2.1. popis konektorů driveru.....	10
2.2. popis propojovacích polí driveru.....	13
3. KONSTRUKCE ČÁSTÍ MĚNIČE.....	14
3.1. Konstrukce driveru.....	14
3.1.1. DPS, obvodové schéma, seznam součástek driveru.....	17
3.2. konstrukce výkonového měniče.....	23
4. LITERATURA.....	30
5. HISTORIE REVIZÍ.....	31

1 Úvod

Realizované měniče jsou čtyřfázové napěťové střídače s osmi-kanálovým řízením pomocí TTL driveru, který získává řídicí signály ze signálového procesoru s výstupní logikou TTL nebo CMOS.

Popisované měniče byly realizovány ve dvou variantách s ohledem na požadavek rychlosti spínání, nebo velikosti výstupního proudu střídače. Jedna varianta je osazena IGBT moduly SKM195GB126D a druhá varianta SKM100GB12T4.

Oba typy IGBT modulů mají U_{CE} 1200 V. Maximální napětí stejnosměrného napěťového meziobvodu bylo vzhledem ke spínací frekvenci okolo 10 kHz a napěťovým možnostem použitých filtračních kondenzátorů stejnosměrného meziobvodu stanoveno na 700 V_{DC}.

Měnič ve variantě s IGBT moduly SKM195GB126D má maximální výstupní trvalý (bez spínání) proud měniče $I_C = 160$ A při teplotě pouzdra $T_c = 80$ °C a je tak výkonnější variantou nežli měnič s IGBT moduly SKM100GB12T4, který má maximální trvalý (bez spínání) výstupní proud měniče $I_C = 123$ A při teplotě pouzdra $T_c = 80$ °C.

Zmíněnou rychlost spínání, které je možno dosáhnout, je možné reprezentovat časy $t_{d(on)}$ a $t_{d(off)}$. Rychlejší z variant měniče je osazena IGBT moduly SKM100GB12T4 a dosahuje časů $t_{d(on)} = 165$ ns a $t_{d(off)} = 400$ ns. Pomalejší varianta měniče je pak osazena IGBT moduly SKM195GB126D a dosahuje časů $t_{d(on)} = 280$ ns a $t_{d(off)} = 560$ ns.

Uvedené mezní parametry jsou přehledně uspořádány do tabulky Tab. I. Hodnoty I_C , I_F , T_c , $t_{d(on)}$ a $t_{d(off)}$ jsou převzaty z katalogových listů výrobce uvedených v literatuře [3].

Tab. I

Mezní parametry měničů			
varianta s SKM195GB126D		varianta s SKM100GB12T4	
veličina	hodnota	veličina	hodnota
V_{DC}	700 V	V_{DC}	700 V
I_C ($f_{sw}=0$ Hz)	160 A	I_C ($f_{sw}=0$ Hz)	123 A
I_F	115 A	I_F	91 A
T_c	80 °C	T_c	80 °C
$t_{d(on)}$	280 ns	$t_{d(on)}$	165 ns
$t_{d(off)}$	560 ns	$t_{d(off)}$	400 ns
f_{swmax}	10 kHz	f_{swmax}	10 kHz

Velikost proudu při spínání silně závisí na spínací frekvenci a účinnku. Pro dosažení limitního výkonu je zapotřebí řídit se katalogovými hodnotami a kontrolovat teplotu chladiče.

Obě zmíněné varianty měničů jsou buzeny stejným typem driverů. Právě tyto drivery ve spojení se signálovým procesorem, který není předmětem této realizace, umožňuje nezávislé spínání všech osmi tranzistorů výkonového obvodu. Samozřejmě však s podmínkou, že nesmí být současně sepnut horní a spodní tranzistor jedné fáze. To je zajištěno logikou spínání a hardwarovými mrtvými časy, které jsou realizovány časovou konstantou sériového RC obvodu. **Tyto hardwarové mrtvé časy jsou pouze 700 ns, což je zcela minimální doba, která slouží jako nouzová ochrana při absenci softwarových mrtvých časů. Je proto doporučeno použití softwarových mrtvých časů cca 2 μ s.**

Drivery jsou uzpůsobeny pro oba nejpoužívanější druhy logických úrovní, tedy pro logiku TTL a CMOS. Logické signály vystupující ze signálového procesoru tedy mohou být buď TTL, nebo CMOS. Přičemž přizpůsobení se provede nastavením propojovacího pole level-shifterů CD4504. Samotné vstupy ze signálového procesoru jsou opatřeny pull-down odporovou sítí, což zamezuje neočekávanému spínání (způsobené rušením) v případě odpojení řídicího kabelu.

Logika spínání driverů je realizována pomocí logických obvodů s tvarovači 7414N a 74132N. Jde tedy o TTL logiku, pro kterou je pomocí level-shifterů přizpůsoben signál ze signálového procesoru.

Spínací impulzy pro jednotlivé tranzistory jsou realizovány pomocí obvodů HCPL 316J1. Tento obvod je určen pro generování spínacích pulzů IGBT tranzistorů z TTL logiky. Tyto obvody jsou však navrženy pro spínání výkonově slabších tranzistorů. Proto je zapotřebí, pro zajištění požadované rychlosti spínání, generované spínací signály výkonově posílit. K tomu je použito obvodů IXDD 430YI, což je ultrarychlý 30A IGBT/MOSFET driver. Požadavky na napájení tohoto výstupního driveru byly pokryty DC/DC měniči VMI 1515S1H6 s dodatečnou stabilizací -15V výstupu na -5V.

Obvod HCPL je použit nejen pro kvalitu generovaných spínacích signálů, ale také pro své integrované funkce v podobě desaturační ochrany, podpěťové ochrany a zpětné vazby detekce chyby.

Funkci desaturační ochrany lze shrnout tak, že pokud se na sepnutém tranzistoru objeví napětí vyšší než 7 V, je tranzistor vypnut. To zároveň vyhodnotí zpětná vazba detekce chyby a zastaví chod daného kanálu driveru. Tato informace je zároveň odeslána do signálového procesoru. Tím je zamezeno zničení tranzistorů z pohledu nesprávného spínání. V případě potřeby je možné driver resetovat pomocí resetovacího tlačítka.

Driver dále disponuje signalizačními LED diodami pro signalizaci správné stabilizace -15 V, +15 V a +5 V. Dále pro signalizaci sepnutí jednotlivých tranzistorů, respektive vysílání kladného spínacího signálu pro daný tranzistor.

Drivery jsou doplněny o nezávislou měřicí část, kde je možno měřit například napětí DC meziobvodu pomocí čidla LEM LV 25-P a předřadných odporů až do 660 V_{RMS} nebo 930 V_{DC}.

Dále je možnost měření proudů třemi fázemi, tedy třemi čidly proudu LEM LA 55-P až do 70 A_{AMP}, přičemž výstup je možné nastavit jako napěťový nebo proudový pomocí propojovacího pole.

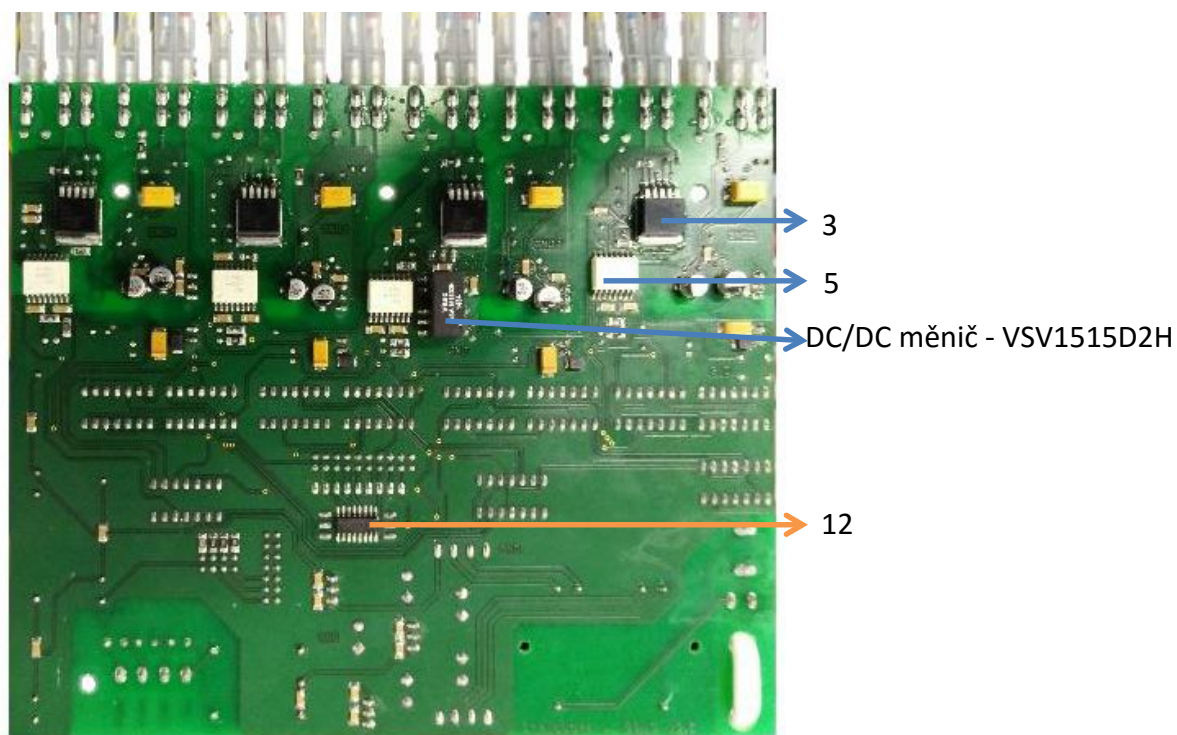
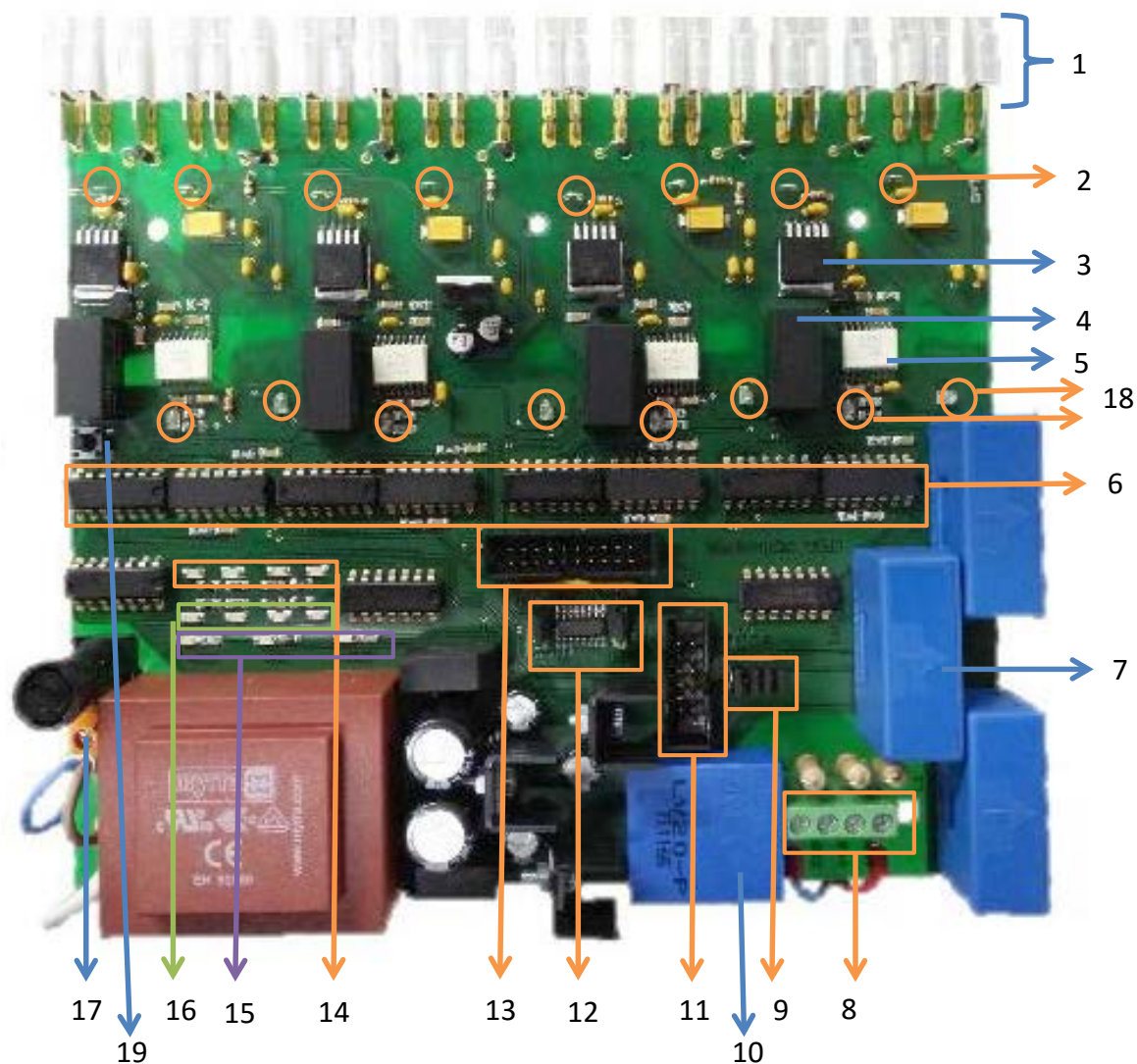
Vzhledem k tomu, že generované řídicí signály pomocí signálového procesoru, tedy softwarově, mohou být zcela libovolné (omezení zde tvoří pouze maximální spínací frekvence), že logika řízení zajišťuje minimální mrtvé časy a zabraňuje současnému sepnutí horního a spodního tranzistoru, že výkonový obvod je ve všech fázích realizován jako plnohodnotný čtyř-fázový napěťový střídač, že je zajištěna ochrana před desaturací všech tranzistorů a že lze použít řídicí signály s logikou CMOS i TTL je tento střídač velmi univerzální.

Uvedený čtyř-fázový střídač je možné využít pro základní DC/DC měniče včetně aplikací s brzdovým a vybíjecím odporem, jedno-fázové střídače, tří-fázové střídače, jedno a tří fázové střídače s použitím chopperu, Tří-fázové střídače se spínaným středním vodičem a v neposlední řadě k začlenění do modulárních topologií vysokonapěťových střídačů jako dvojice H-můstků.

Uvedenými střídači je možné realizovat pouze Napěťové střídače vzhledem k charakteru stejnosměrného meziobvodu.

Na obrázku obr. 1 je uveden přehled popisovaných částí 4-f napěťového střídače. Na obrázku obr. 2 je uveden přehled realizace výkonového obvodu.

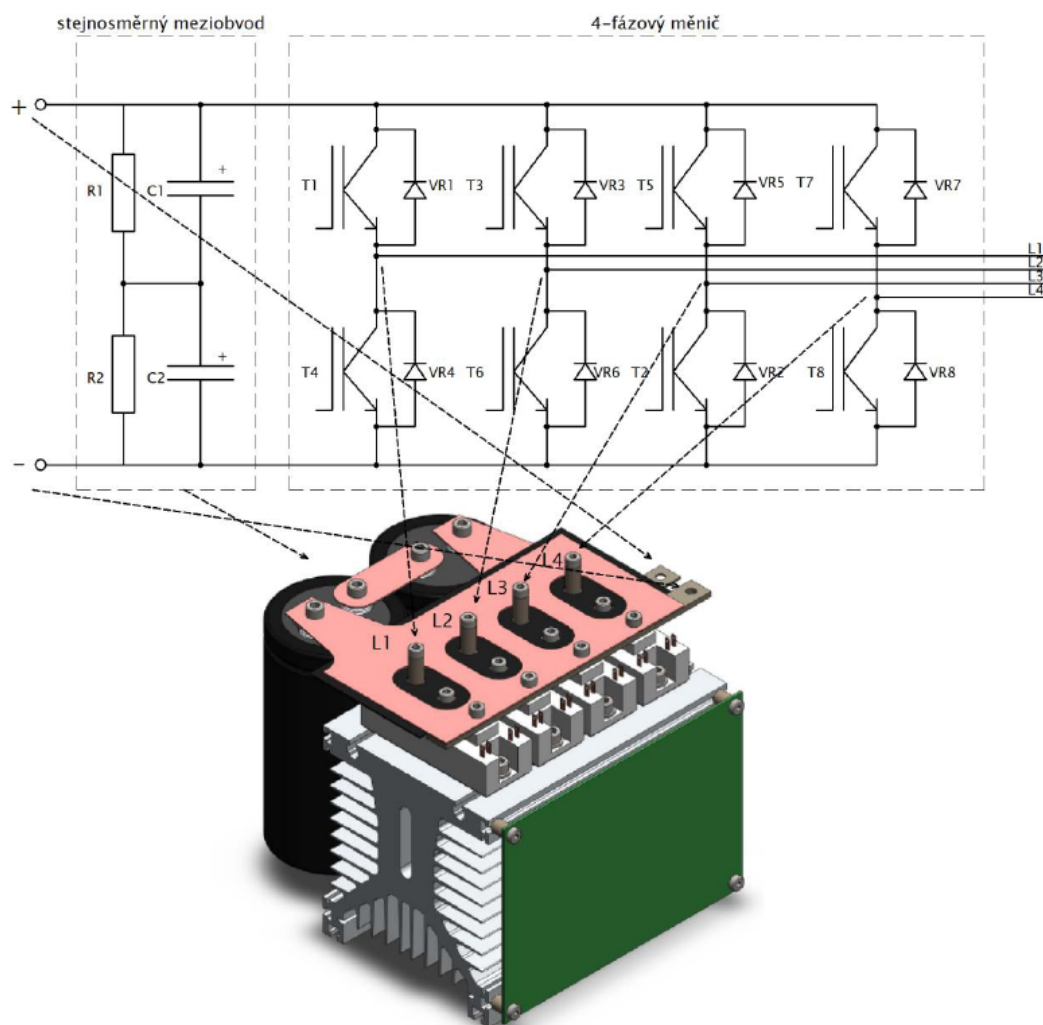
Celková obestavěná plocha měniče je 220 mm*165 mm*220 mm (Š*H*V).



obr.1 přehled popisovaných částí

Legenda k obr. 1:

- 1 Výstupy spínacích signálů – FASTON1-24
- 2 Externí odpor RG – NENÍ OSAZEN – PROPOJKA
- 3 Výkonové posilovače IXDD 430YI
- 4 DC/DC měniče VMI 1515S1H6
- 5 Optické oddělení a generování spínacích impulzů - HCPL 316J1
- 6 Logika řízení a mrtvé časy - 7414N a 74132N
- 7 Proudové sondy – LEM
- 8 Svorkovnice pro měření napětí DC meziobvodu (220/440/660 V_{RMS})
- 9 Propojovací pole pro volbu výstupu měřících sond
- 10 Napěťové sondy – LEM
- 11 Výstupní konektor měření
- 12 level-shiftery CMOS/TTL s propojovacími poli – CD4504
- 13 Vstupní konektor řídících signálů a výstup desaturace
- 14 4*LED pro signalizace sepnutí horních tranzistorů
- 15 3*LED pro signalizaci správné stabilizace
- 16 4*LED pro signalizaci sepnutí spodních tranzistorů
- 17 Napájecí svorkovnice 230 V/50 Hz s pojistkou
- 18 4*LED desaturace horního tranzistoru a 4*LED desaturace spodního tranzistoru
- 19 Tlačítko RESERT driveru



obr. 2 Přehled realizace výkonového obvodu

2 Uvedení měniče do chodu

Výkonový obvod a driver je z hlediska ovládání a uvedení do chodu velmi jednoduchý. Je však zapotřebí před prvním zapojením **správně zvolit vstupní úroveň řídicích signálů (5/15 V, TTL/CMOS) a zvolit správný rozsah měření napětí pomocí LEM čidla (220/440/660 V_{RMS})**

K připojení driveru na signálový procesor slouží Vstupní konektor řídicích signálů, jehož mapa pinů je uvedena na obr. 3 v kapitole 2.1. Signálový procesor musí na jednotlivé piny posílat řídicí signály pro uvedené tranzistory, které mají být tímto signálem spínány.

K připojení měřicího procesoru slouží Výstupní konektor měření, jehož mapa pinů je uvedena na obr. 4 v kapitole 2.1. Volba měřicího rozsahu napěťového čidla, které slouží pro měření napětí stejnosměrného meziobvodu se provádí záměnou vstupní svorky Svorkovnice pro měření napětí DC meziobvodu. Zapojení pro jednotlivé rozsahy je uvedeno na obr. 6 v kapitole 2.1.

Zapojení stejnosměrného napěťového meziobvodu výkonového obvodu spočívá pouze v připojení stejnosměrného napětí pomocí kabelových oček průměru 8 mm k propojovacím silovým plechům výkonového obvodu. Polarita je patrná z obr. 2 v kapitole 1

Před připojením napájecích napětí je ještě zapotřebí nastavit dvě propojovací pole a to pro volbu mezi logikou výstupních řídicích signálů CMOS/TTL ze signálového procesoru, které řídí driver a tedy spínání jednotlivých tranzistorů. Druhé propojovací pole slouží k volbě druhu výstupu měřicích sond napětí a proudů - lze volit mezi napěťovým a proudovým výstupem. Nastavení propojovacích polí a s tím související měřicí rozsahy jsou uvedeny na obr. 7 v kapitole 2.2.

Po připojení pohyblivého síťového přívodu driveru je driver okamžitě plně funkční. Není tedy zapotřebí složitějšího zapínacího procesu.

Z hlediska signálového procesoru, který může být pro daný výkonový měnič použit, platí tedy pouze omezení na minimální počet výstupních řídicích signálů. Ten je pro každou aplikaci měniče odlišný, avšak vždy je řízen každý tranzistor vlastním řídicím signálem.

Z hlediska řídicího programu pak platí doporučení na vložení softwarových mrtvých časů o dostatečné velikosti s ohledem na spínání a zátěž. Hardwarové mrtvé časy jsou pevné a o velmi krátkém čase, jak bylo zmíněno v kapitole 1. Další omezení z hlediska řídicího programu se vztahuje k maximální možné spínací frekvenci. Ta je obecně 10 kHz, je však vhodné provést kontrolu z hlediska proudů zátěže a jejího druhu za pomoci katalogového listu správného IGBT modulu.

Poslední upozornění se týká kontroly výkonové části měniče, tedy kontroly použitých IGBT modulů a s tím souvisejícího maximálního proudu. Toto je přehledně uvedeno v Tab. I v kapitole 1.

Poznámka: Řídicím signálem TTL se rozumí řídicí signál, jehož logická 1 je reprezentována napětím od 2 V do 5 V a logická 0 je reprezentována napětím od 0 V do 0,8 V. Řídicím signálem CMOS se rozumí řídicí signál, jehož logická jednička je reprezentována napětím o velikosti více jak 70 % napájecího napětí (např. při napájecím napětí 15 V je log. 1 reprezentována napětím nejméně 13,5 V) a logická nula napětím do 30 % napájecího napětí (pro napájecí napětí 15 V tedy do 1,5 V). Detailní popis vstupních parametrů lze nalézt v katalogovém listu použitého level-shifteru CD4504.

2.1 Popis konektorů driveru

Deska s plošnými spoji je opatřena dvěma konektory a jednou sadou fastonů. Jeden konektor je výstupním pro analogové signály měření. Druhý konektor je vstupním pro řídicí signály logiky CMOS/TTL a výstupní pro poruchový/bezporuchový stav. Sada fastonů slouží pro propojení výkonového obvodu s DPS driveru.

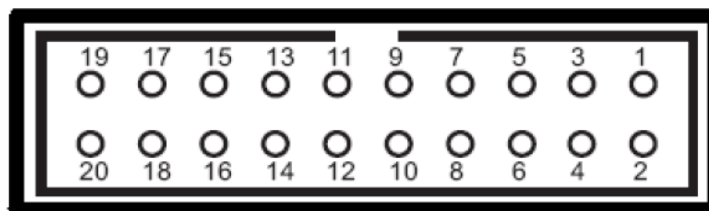
Popis konektoru Vstupní konektor řídicích signálů a výstup desaturace(13) z obr.1 je na obrázku obr. 3 .

Popis konektoru Výstupní konektor měření (11) z obr. 1 je uveden na obrázku obr. 4.

Popis sady fastonů Výstupy spínacích signálů – FASTON1-24 z obr. 1 je uveden na obrázku obr. 5.

Popis Svorkovnice pro měření napětí DC meziobvodu (8) z obr. 1 je uveden na obrázku obr. 6.

Tento konektor je určen pro připojení DSP (digitálního, signálového procesoru), který řídí spínání tranzistorů.

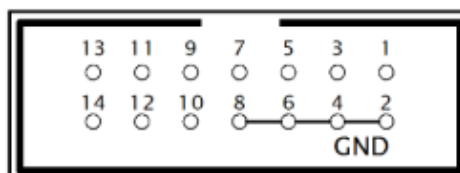


1. Pin - volný
3. Pin - řídicí signál pro IGBT tranzistor TOP 1
5. Pin - řídicí signál pro IGBT tranzistor BOT 1
7. Pin - řídicí signál pro IGBT tranzistor TOP 2
9. Pin - řídicí signál pro IGBT tranzistor BOT 2
11. Pin - řídicí signál pro IGBT tranzistor TOP 3
13. Pin - řídicí signál pro IGBT tranzistor BOT3
15. Pin - řídicí signál pro IGBT tranzistor TOP 4
17. Pin - řídicí signál pro IGBT tranzistor BOT 4
19. Pin - FAULT – vstupní signál pro DSP

Piny 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 jsou připojené na GND

obr. 3 Vstupní konektor řídicích signálů

Tento konektor slouží pro vyvedení signálů z čidel LEM (napětí a proudů)

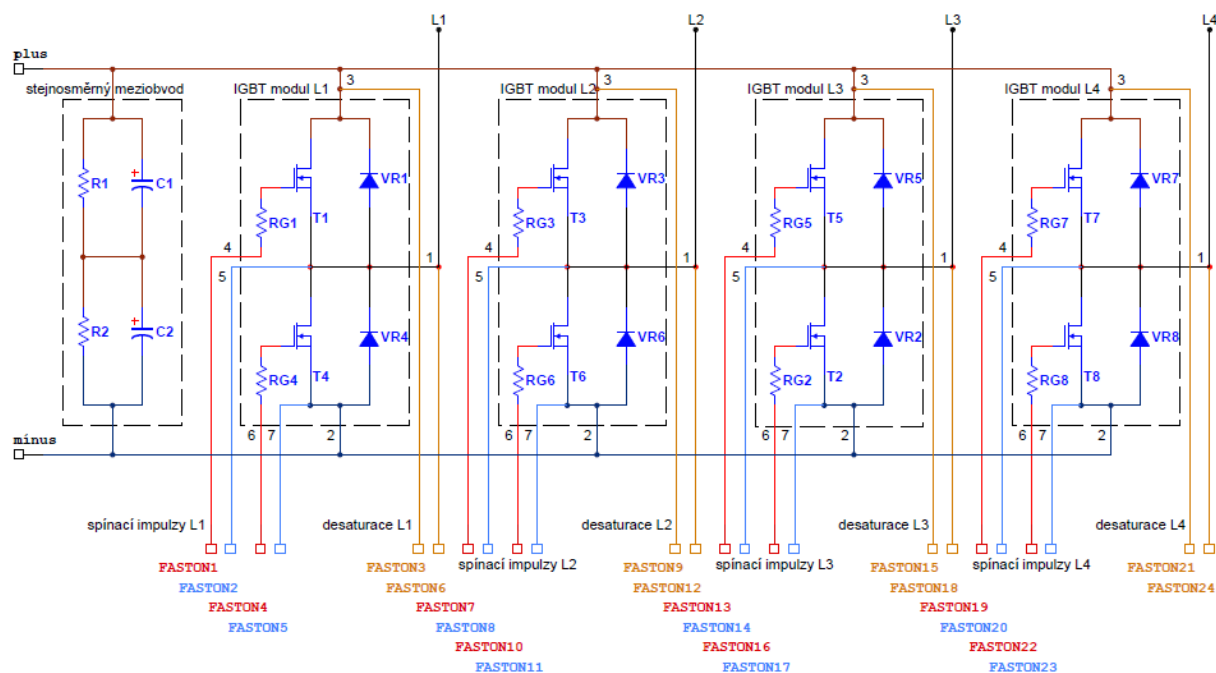


1. Pin – výstup z čidla proudu – fáze 1
3. Pin – výstup z čidla proudu – fáze 2
5. Pin – výstup z čidla proudu – fáze 3
7. Pin – výstup z čidla napětí

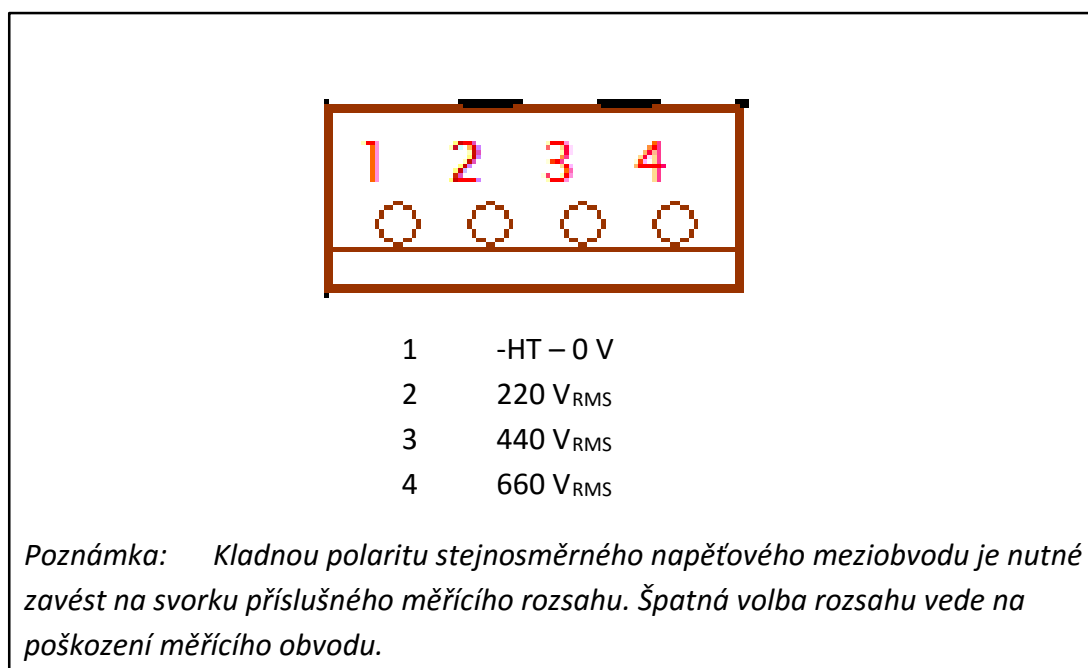
Piny 2, 4, 6, 8 jsou připojeny na GND

Piny 9, 10, 11, 12, 13, 14 jsou neobsazeny. Konektor WSL se 14 piny byl použit proto, že v laboratoři KEV tento konektor pro čtení hodnot z čidel LEM, u podobného driveru, již používají.

obr. 4 výstupní konektor měření



obr. 5 Sada fastonů propojení driveru a výkonového obvodu



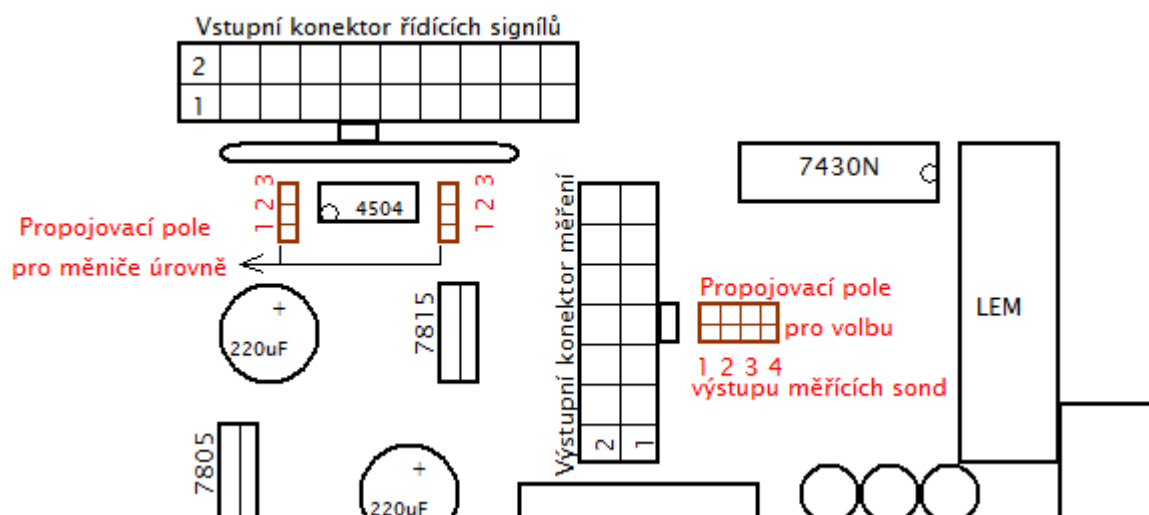
obr. 6 Svorkovnice měření DC napětí

2.2 Popis propojovacích polí driveru

Driver obsahuje nastavitelné funkce a to volbu mezi řídicími signály TTL/CMOS logiky a volbu proudového/napěťového výstupu proudových a napěťového čidla.

Umístění nastavovacích propojovacích polí na DPS driveru je patrné z obr. 1 .

Popis propojovacího pole pro volbu výstupu měřících sond (9) z obr. 1 a popis propojovacího pole pro měniče úrovně (12) z obr. 1 se níže v textu odkazuje na obr. 7 .



obr. 7 Nastavení propojovacích polí
(obrázek je schématickým znázorněním části DPS z obr. 1)

Nastavení výstupu měřících čidel:

Jsou-li jumpery 1-3 osazeny, je výstup měření proudu napěťový (úbytek na odporu 100 Ω)

Jsou-li jumpery 1-3 neosazeny, je výstup měření proudu proudový

Je-li jumper 4 osazen, je výstup čidla napětí napěťový (úbytek na odporu 200 Ω)

Je-li jumper 4 neosazen, je výstup čidla napětí proudový

Poznámka: Každé čidlo může mít nastavení výstupu individuální.

Nastavení level-shifterů:

Jsou-li jumpery osazeny mezi piny 1 a 2 je level-shifter nastaven na TTL logiku.

Jsou-li jumpery osazeny mezi piny 2 a 3 je level-shifter nastaven na CMOS logiku.

Pozor: Propojeny musejí být vždy piny 1 a 2 nebo 2 a 3 obou propojovacích sub-polí propojovacího pole pro měniče úrovně. Jiná kombinace není možná

3 Konstrukce částí měniče

Tato kapitola je věnována informacím, které mohou být nápomocné při řešení problémů vzniklých při provozu měniče nebo při jeho opravách.

Samotný měnič je složen ze dvou částí. Proto je i tato kapitola rozdělena na dva odstavce - odstavec 3.1 Konstrukce driveru a odstavec 3.2 Konstrukce výkonového obvodu.

Jelikož má tento text sloužit spíše jako příručka pro rychlé uvedení do problematiky řešených měničů je v tomto odstavci použito více grafických znázornění nežli plnohodnotného slovního popisu.

3.1 Konstrukce Driveru

Driver čtyřfázového výkonového měniče je spolu s měřícím obvodem integrován na společnou dvoustrannou desku plošných spojů.

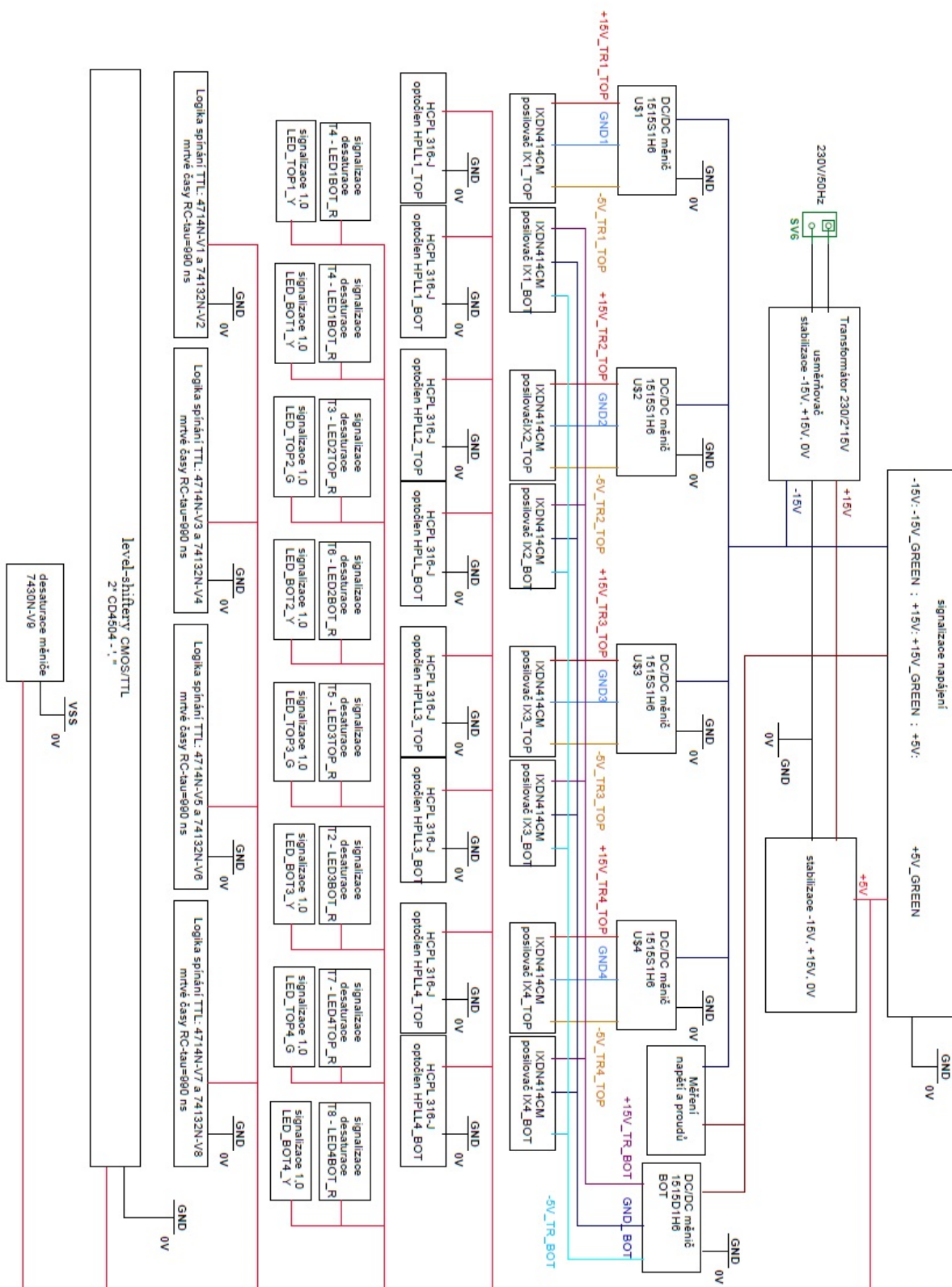
Napájení je společné z jednofázové sítě 230 V/50 Hz. Pro ochranu před zkratem byla použita přístrojová pojistka F125mA/230V na primární straně transformátoru. Použité napěťové hladiny a struktura napájení je patrna z obrázku obr. 9 .

Mimo napájení je pro vytvoření rychlé představy o fungování driveru také důležité Signálové blokové schéma. To je uvedeno na obrázku obr. 10 .

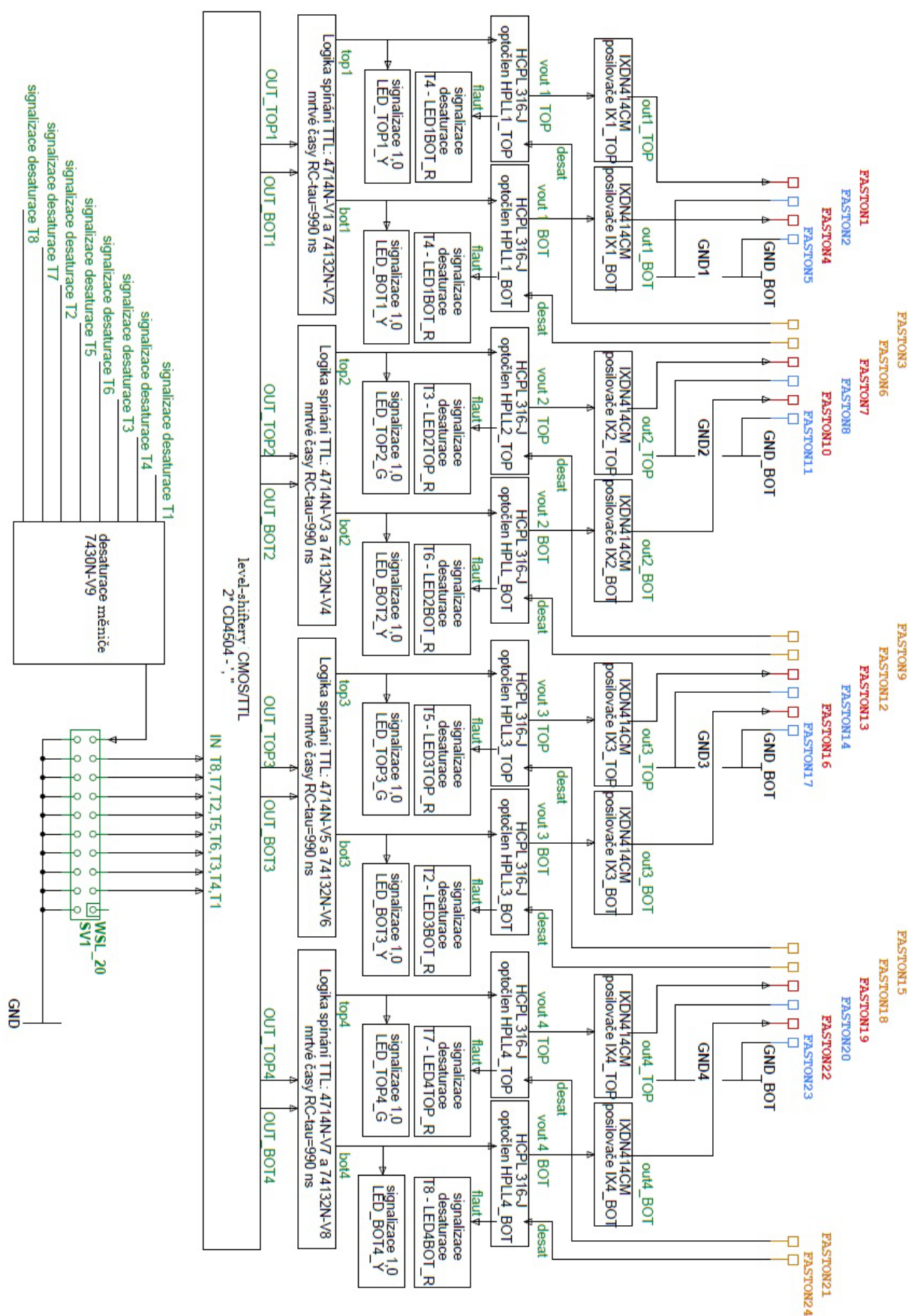
Schéma měřicího obvodu, které je na společné DPS s driverem je uvedeno na obrázku obr. 11 .

Na obrázku obr. 1 je uvedena fotografie osazené DPS driveru s popiskami. Mimo jiné slouží pro rychlou orientaci mezi blokovými schématy, úplným obvodovým schématem a skutečnou DPS.

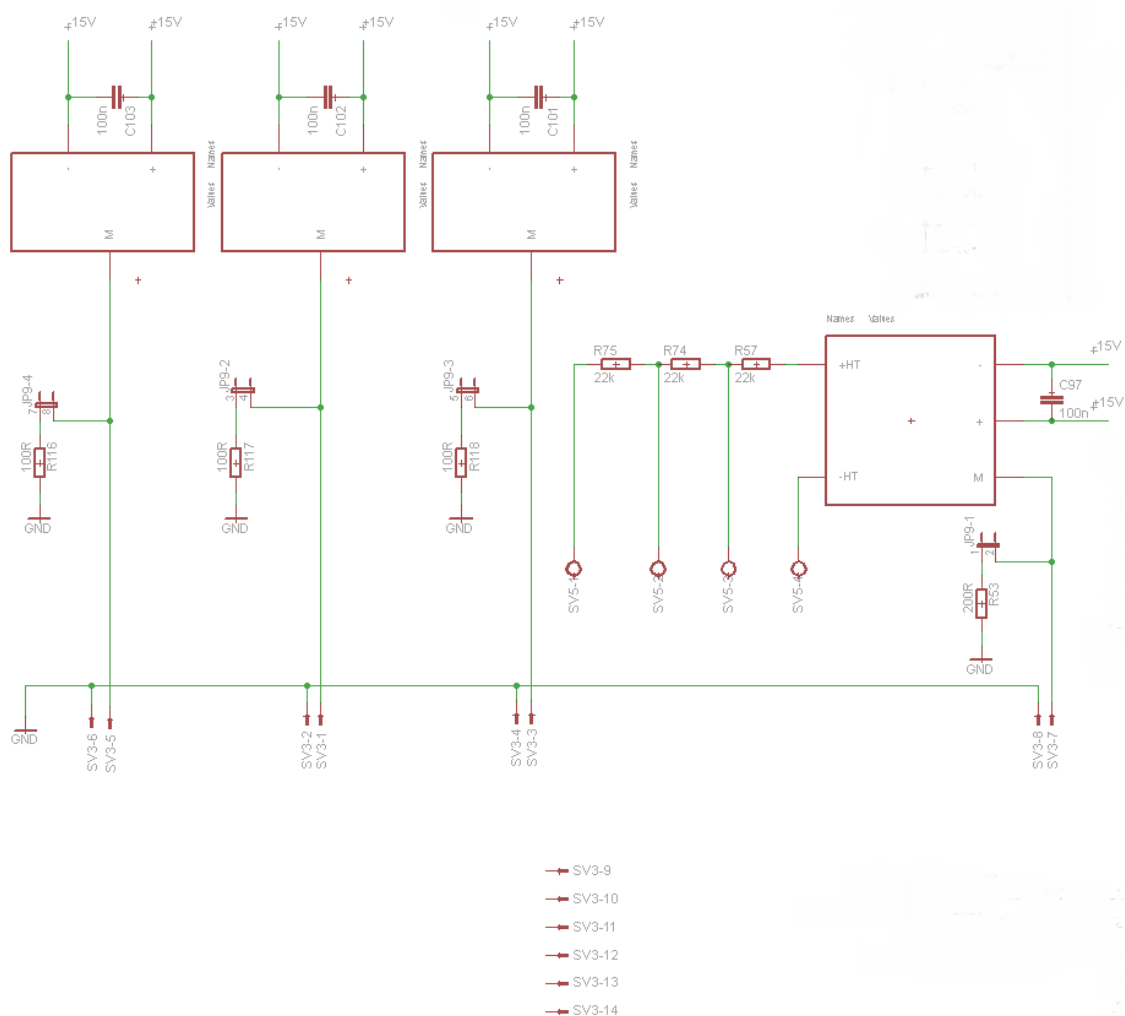
Úplné obvodové schéma je pak uvedeno na obrázku obr. 15 v podkapitole 3.1.1 .



obr. 9 Blokové schéma napájení



obr. 10 Signálové blokové schéma

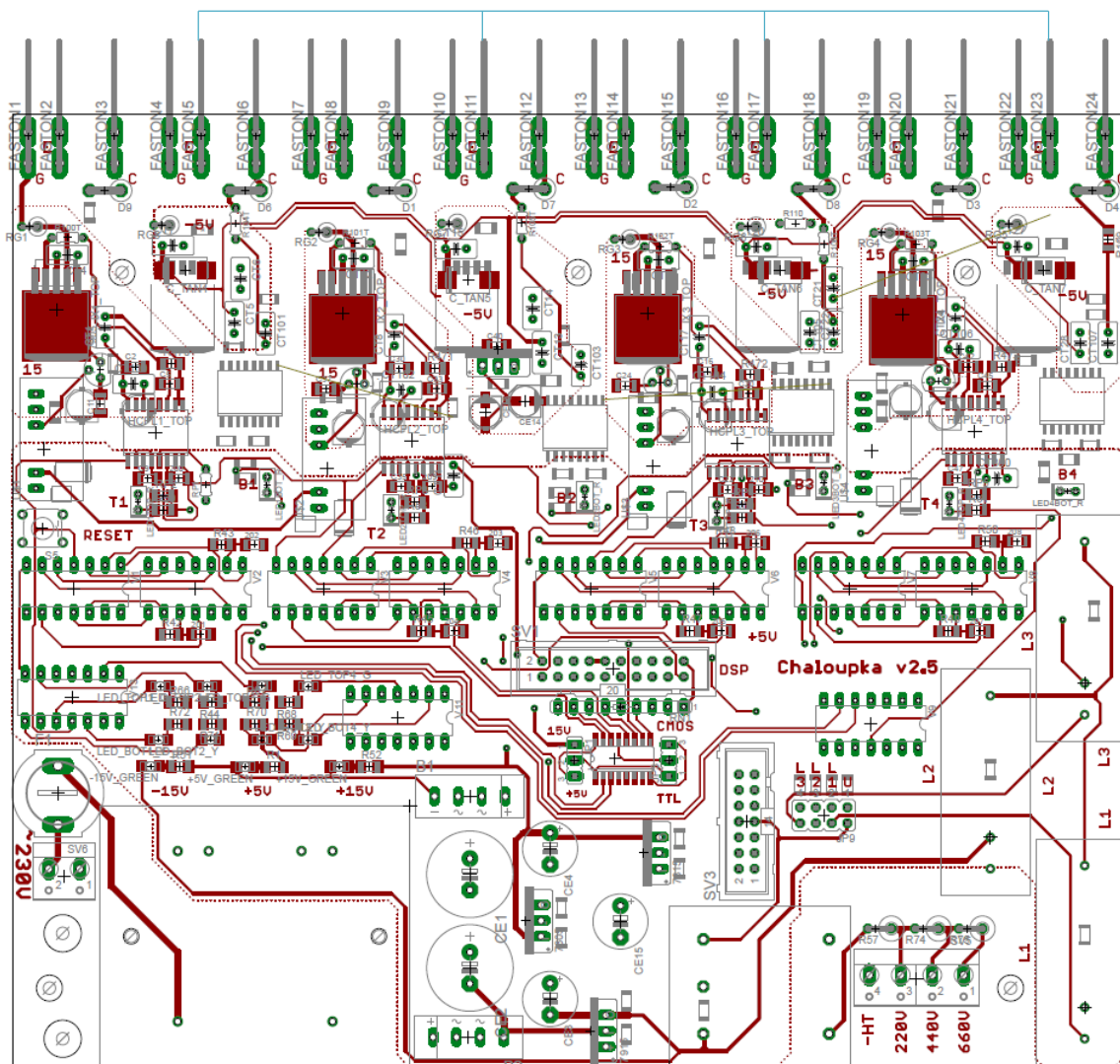


obr. 11 Schéma měřících obvodů

3.1.1 DPS, obvodové schéma a seznam součástek driveru

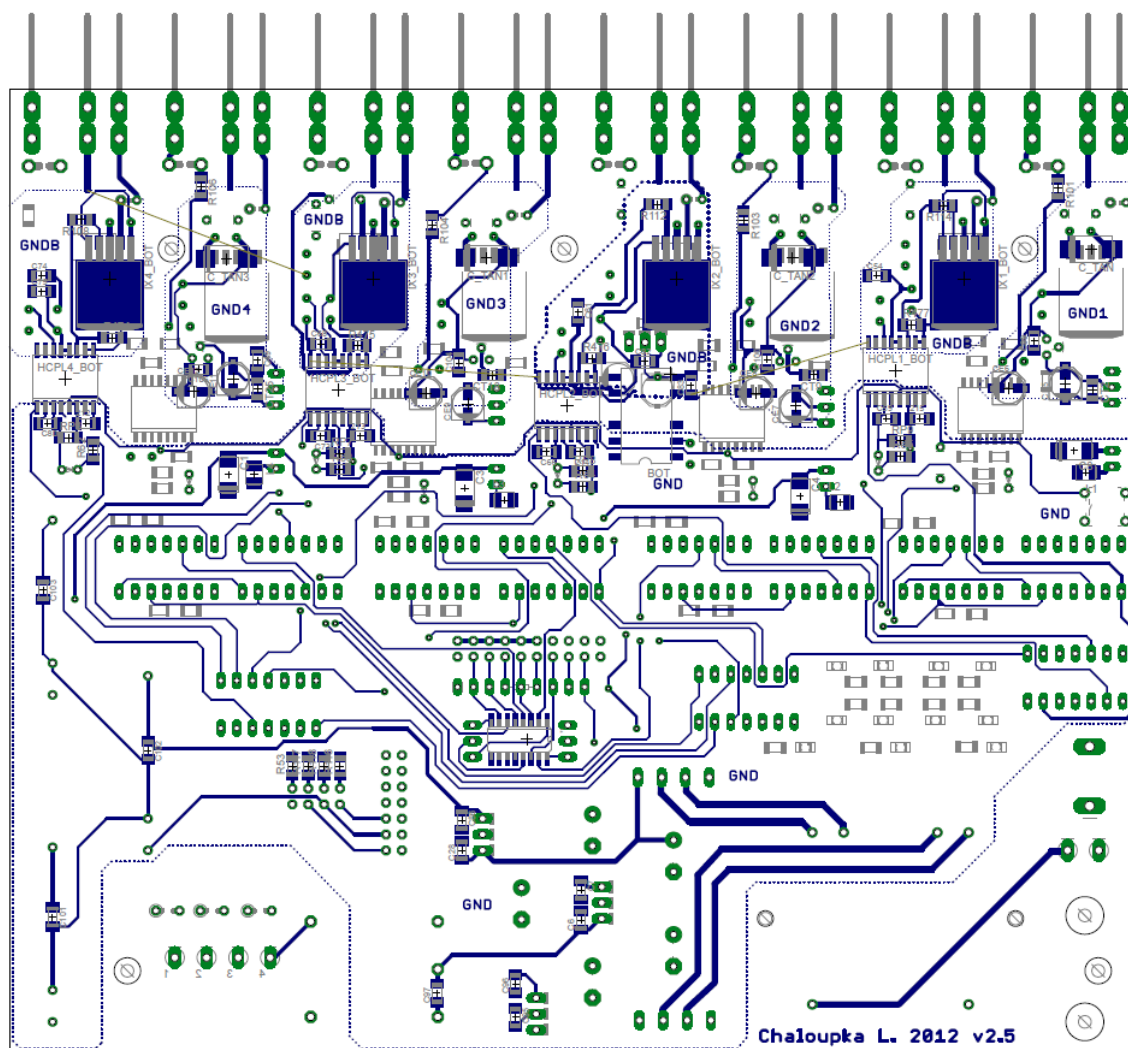
V tomto pododstavci je uveden návrh DPS realizovaného driveru ve verzi 2.5, který je použit pro tyto měniče. Samotné DPS byly pomocí tohoto návrhu vyrobeny firmou *PragoBoard s.r.o.* Vyobrazené DPS jsou s vyznačením okrajů polygonů. Návrh je uveden na obr. 13 a obr. 14.

Dále je zde uvedeno úplné obvodové schéma na obr. 15, taktéž ve verzi 2.5 a seznam součástek včetně dodavatelů a poznámek k montáži v tabulce Tab. II.

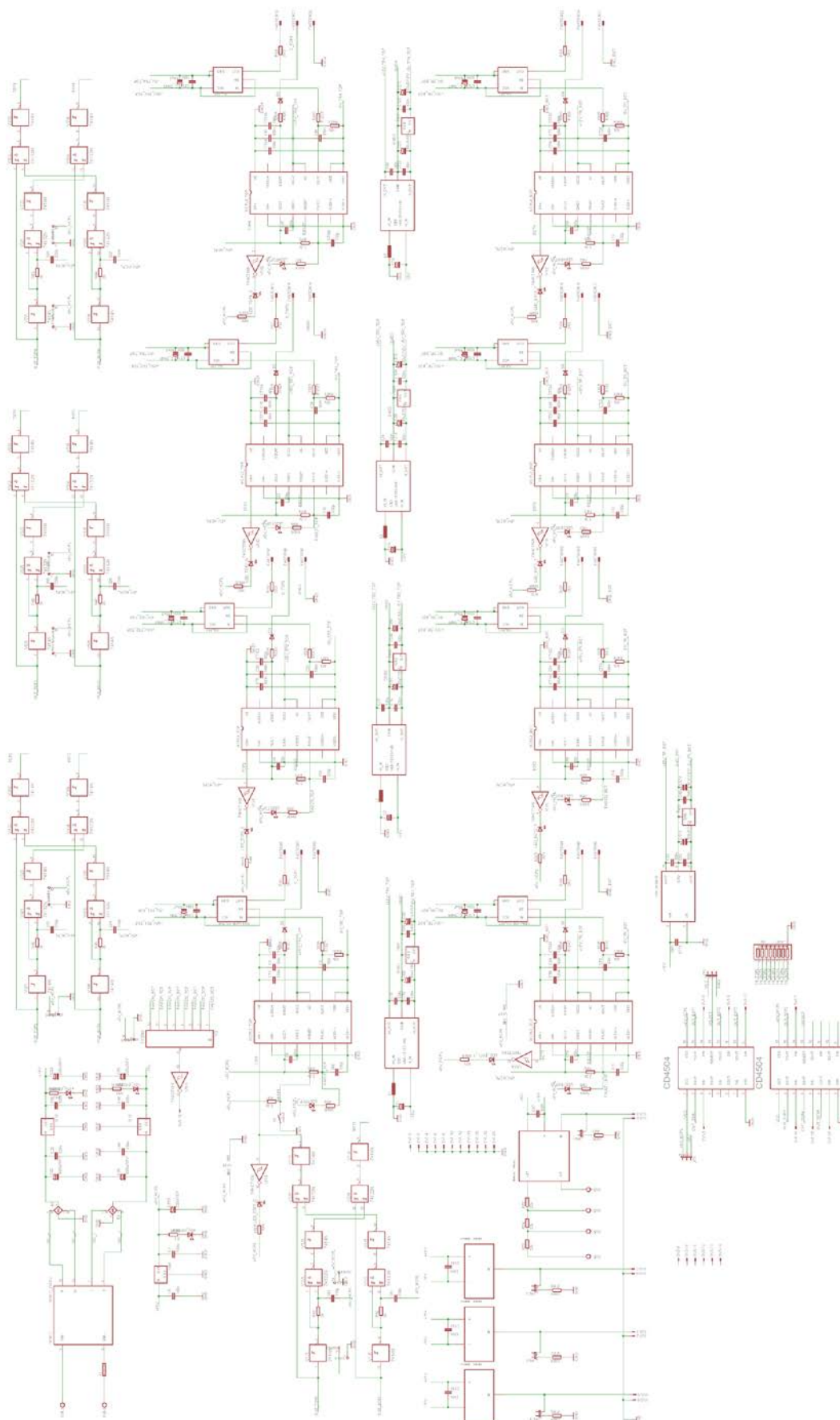


obr. 13 Návrh DPS TOP

Poznámka: V oblasti pole Fastonů jsou zřejmé modré propoje, které jsou realizovány na výkonovém obvodu, nikoli na DPS samotné. Při případných zkouškách samotného driveru je zapotřebí tyto propoje realizovat a simulovat tím GND_BOT z obr. 10 uvedeného v kapitole 3.1 a v úplném obvodovém schématu na obr. 15 v této podkapitole.



obr. 14 Návrh DPS BOT (pohled zespodu)



obr. 15 Úplné obvodové schéma

Tab. II Seznam součástek

Označení	Hodnotza	Typ	Poznámka	obj.č.	Pouzdro	Kus ů
V1,3,5,7,11,13	SN74AC 14N	SN74AC 14N	Schmitt invert	1470853	DIP14(THT)	6
V2,4,6,8	74HC132	74HC132	2* NAND schmitt	380532	DIP14(THT)	4
V9	7430N	SN74F30N	8*NAND	1750026	DIP14(THT)	1
S5	12V/50mA	FSM8JH	mikro tlačítko	1555985	THT	1
SV1	header 20 pins	MC9A12-2034		2215309	THT	1
SV3	header 14 pins	MC9A12-1434		2215307	THT	1
NA	NA	CAB 4 GR	jumper	9728961	NA	6
JP9	NA	AMP - 826925-4	propojovací pole	1248134	THT	1
JP1,3	NA	AMP - 826936-3	propojovací pole	1248150	THT	2
F1	250V/12A	313751		1838851	THT	1
NA	F-125 mA	fuse		1360773	tube glass	1
B1,2	400V/1,5A	2KBP04M	usměrňovač	9098712	KBL	2
SV6	5,08mm	PM5,08/2/90	svorkovnice	1131853	THT	1
D1 - D9	1000V/10A/75 ns	UF407	rychlá dioda	4085310	DO-41	8
SV5	5,08mm	PM5,08/4/90	svorkovnice	1792768	THT	1
TRAFO	2360V/2*15V	44274	transformátor	1214609	do PCB zalitý	1
7805	20V/5V	LM340AT-5,0/NOPB	stabilizátor	9490183	THT	1
CT100 -CT107	100pF/50V	K101J15C0GF53L2	kondenzátor	1141765	THT	8
LEM U	10mA_IN	LV 25-P	napěťové čidlo	1617416	THT	1
LEM I	70A Im	LA 55-P	proudové čidlo	1617405	THT	3
HCPL 1 -4 _TOP	2A out	HCPL 316J	optočlen	9994726	SO-16	4
HCPL 1 -4 _BOT	2A out	HCPL 316J	optočlen	9994726	SO-16	4
IX1-4 TOP	30A out	IXDD_430YI	posilovací obvod	jiný dodavatel	TO-263	4
IX1-4 BOT	30A out	IXDD_430YI	posilovací obvod	jiný dodavatel	TO-263	4
UŠ1-4	1W	VSA 1515D	DC/DC měnič	1007530	smd 18pin	4
BOT	2W	VSV1515D2H	DC/DC měnič	jiný dodavatel	smd 22pin	1
L1-L4	12uH	TDK NLV32T-120J-PF	induktor	1669927	SMD 1210	4
CT1,3,4,8	100uF/25V	TR3W107K025C0100	tantal	2353011	SMD B	4
CE1,2	1mF/35V	35YXF1000MEFC12.5X2 5	elektrolyt	1144630	THT E25-13	2
CE3,4	220uF/25V	25ML220MEFC8X9	elektrolyt	8126410	THT E9-8	2
CE15	220uF/10V	10ML220MEFC8X7	elektrolyt	8126186	THT E7-8	1
C2,5,6,7,9, CT10-105, CT2,9,18,25	100nF/50V	MC1206B104M250CT	kondenzátor	1759361	SMD 1206	45
CT1-28 (bez CT25,18,9,2)	100nF/50V	MCRR25104Z5UM0050	kondenzátor	1216444	THT radial	20
CT300	330pF/100V	C317C331J1G5TA	kondenzátor	1457669	THT radial	1
200-215	330pF/50V	MCCA000451	kondenzátor	1759330	THT radial	16
C_TAN - C_TAN7	68uF/25V	TPSE686K025R0125	tantal	1135121	SMD E	8
CE13	100uF/16V	EEEFT1C101AR	kondenzátor	2065969	SMD C	1
CE14	47uF/10V	EEEHA1A470WR	kondenzátor	1973293	SMD C	1
CE5,7,9,11	68uF/16V	EEEFT1C680AR	kondenzátor	1868405	SMD C	4

CE6,8,10,12	33uF/10V	EEE1AA330SR	kondenzátor	9696911	SMD C	4
R1,44,51,52, R66-72, R58-65	680R	MC 0.125W 1206 5% 680R		9337547	SMD 1206	19
R57,74,75	22K/2W	MCF 2W 22K	rezistor	9338179	THT	3
R101-109, R111-118	100R	MCHP06W2F1000T5E	rezistor	1576615	SMD 1206	11
R110, R100T-106T	100R	MCRE000025	rezistor	1700223	THT	8
RG1-8	0R	NA	propojka	NA	THT	4
R42,43, R45-50	3K	ERJ8GEYJ302V	rezistor	2057847	SMD 1206	10
RP2-9	3K3	ERJ8GEYJ332V	rezistor	2057848	SMD 1207	8
RP1	3K3	MCRE000043	rezistor	1700243	THT	1
R470-477	47K	ERJ8GEYJ473V	rezistor	2057862	SMD 1206	8
RN1	10K	4609X-101-103LF	rezistorová síť	9356819	THT	1
R53	200R	MCPWR06FTEO2000	rezistor	1887431	SDM 1206	1
CD4504' CD4504''	NA	CD4504BM	level-shifter	1740091	SMD SOIC	2
7905	NA	LM79L05ACZ/NOPB	stabilizátor	1685572	THT TO92	4
7905	NA	LM7905CT	stabilizátor	9490370	THT TO220	1
7815	NA	BA17815T	stabilizátor	1831824	THT TO220	1
7915	NA	LM7915CT	stabilizátor	9490450	THT TO220	1
±15V_GREEN, +5V_GREEN, LED_TOP 1-4 G	20mA	LGN971	LED	1226371	SMD 1206	7
LED_BOT 1-4 Y	20mA	LYN971-Z	LED	1226417	SMD 1206	4
LED_BOT 1-4 R, LED_BOT 1-4 R	20mA	L-2060SRC	LED	1142459	THT 1,8mm	8
FASTON	6,3*0,8mm		faston 90° pro PCB	jiný dodavatel	THT	24

3.2 Konstrukce výkonového obvodu

Obvodové schéma výkonového obvodu je uvedeno na obrázku obr. 2 v kapitole 1. Zde je také poukázáno na umístění součástek na paketu výkonového měniče, který je popisován v této kapitole.

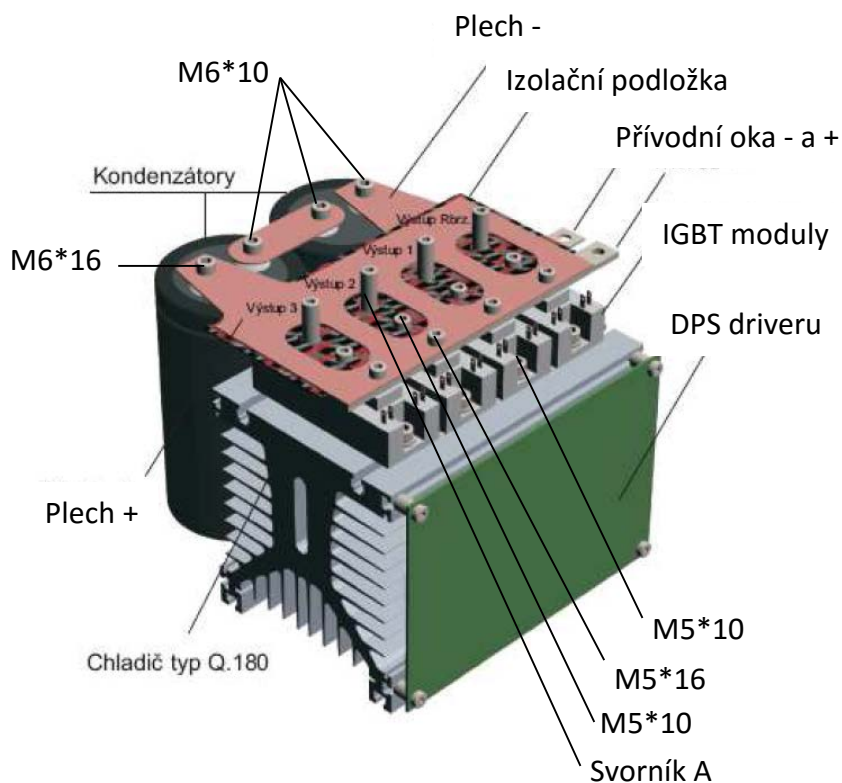
Výkonový obvod měniče je tvořen kompaktním celkem spojujícím IGBT moduly a stejnosměrný napěťový meziobvod s chladičem. Celý výkonový obvod je s driverem propojen slanými vodiči. Zapojení vodičů v této kapitole koresponduje se zapojením plynoucím z obrázků obr. 10 v kapitole 3.1 a obr. 5 v kapitole 2.1. Driver je k chladiči také přišroubován pomocí izolačních distančních sloupků.

Celý zmíněný paket je vyobrazen na obrázku obr. 16. Jednotlivé části poukázané na obrázcích obr. 16 a obr. 17 jsou přiblíženy v tomto odstavci.

Hlavní část paketu výkonového měniče tedy tvoří chladič typu Q 180 - 118, jehož profil je vyobrazen na obrázku obr. 18. Na hladkou stranu chladiče jsou připevněny IGBT moduly výkonového obvodu. Na opačné straně chladiče je na drážky pro šrouby nalepena guma, která zabraňuje poškození povrchu pracovní desky. Na stranu, u které jsou konektory IGBT modulů, je připevněna DPS driveru.

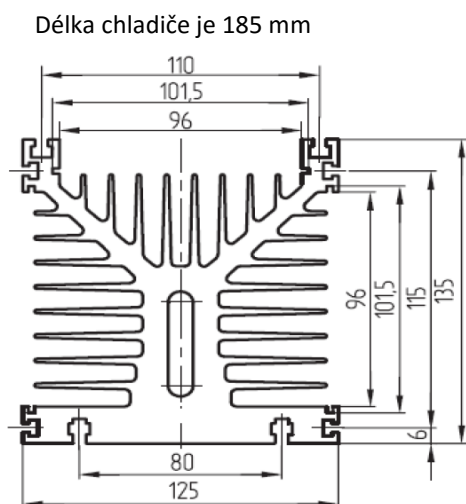
Další velmi důležitou část tvoří stejnosměrný napěťový meziobvod. Ten tvoří silové plechy a filtrační elektrolytické kondenzátory. Uložení jednotlivých plechů a kondenzátorů je patrné z obrázků obr. 16 a obr. 17. Technické výkresy silových plechů jsou uvedeny na obrázcích obr. 19a a obr. 19b . Uvedené silové plechy byly zadány do výroby firmě **RC OFFROAD René Štika** Cheznovice 60 a k pocínování firmě **ŠKARDA PALMET s.r.o.** Skupova 2515/5 301 00 Plzeň. Mezi silový plech + a silový plech – je vložena izolační podložka z Makrolonu (Makrolon mono UV s oboustranným UV filtrem) dodaná firmou **ISOMA s.r.o.** Magistrů 1275/13, CZ-14000 Praha 4-Michle. Technický výkres této izolace je uveden na obrázku obr. 20. Poslední část výkonového obvodu tvoří propojovací vodiče. Jejich provedení a rozměry jsou patrné z obrázku obr. 21.

Seznam materiálu použitý na výkonový obvod je uveden v tabulce Tab. III.

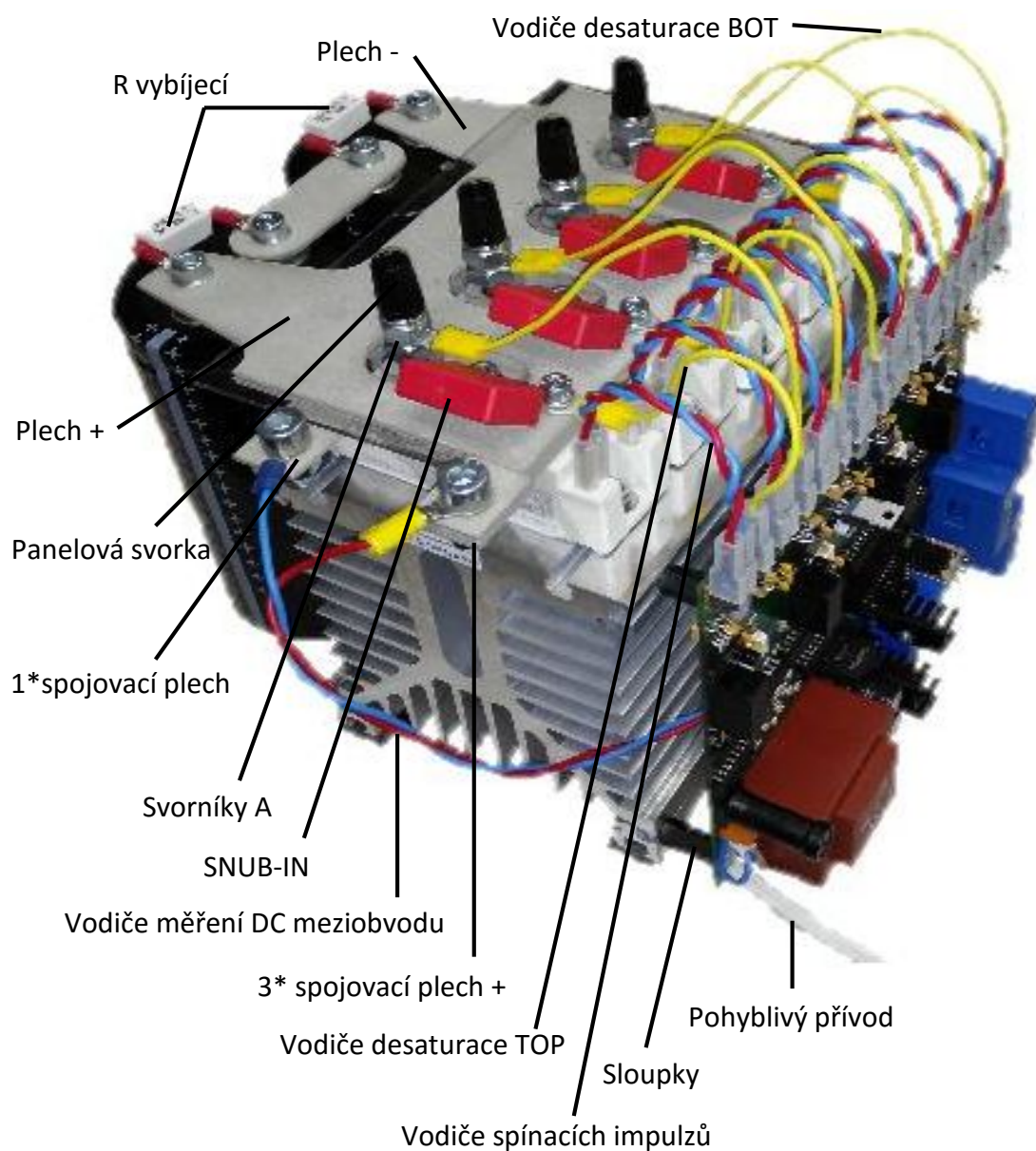


obr. 16 Paket výkonového měniče

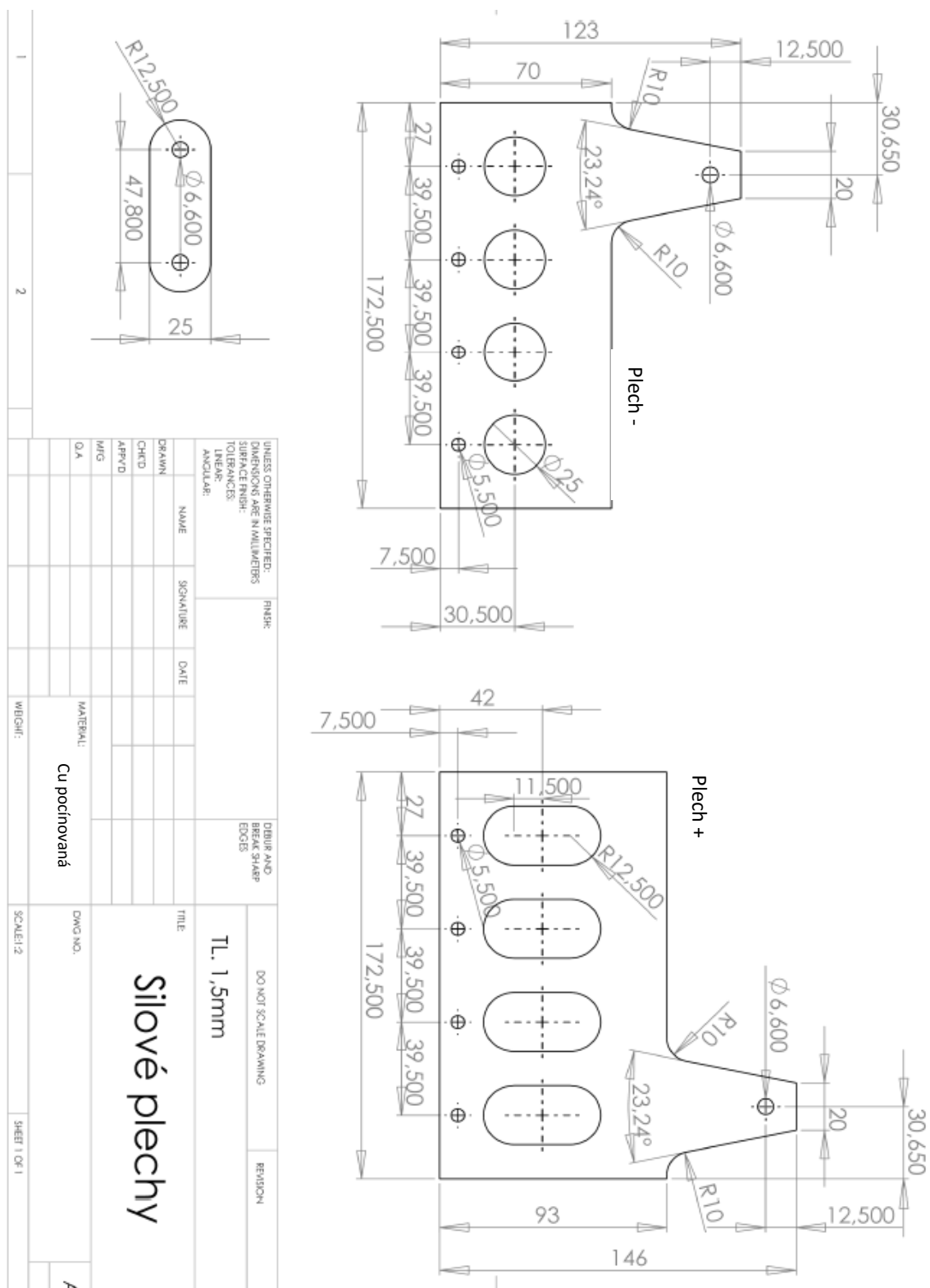
Poznámka: Obrázek obr. 16 je vytvořen CAD 3D softwarem. Oproti reálnému řešení nejsou zaneseny SNUB IN kondenzátory a vybíjecí odpory kondenzátorů stejnosměrného meziobvodu. Nejen na tyto odlišnosti je poukázáno na obrázku obr. 17.



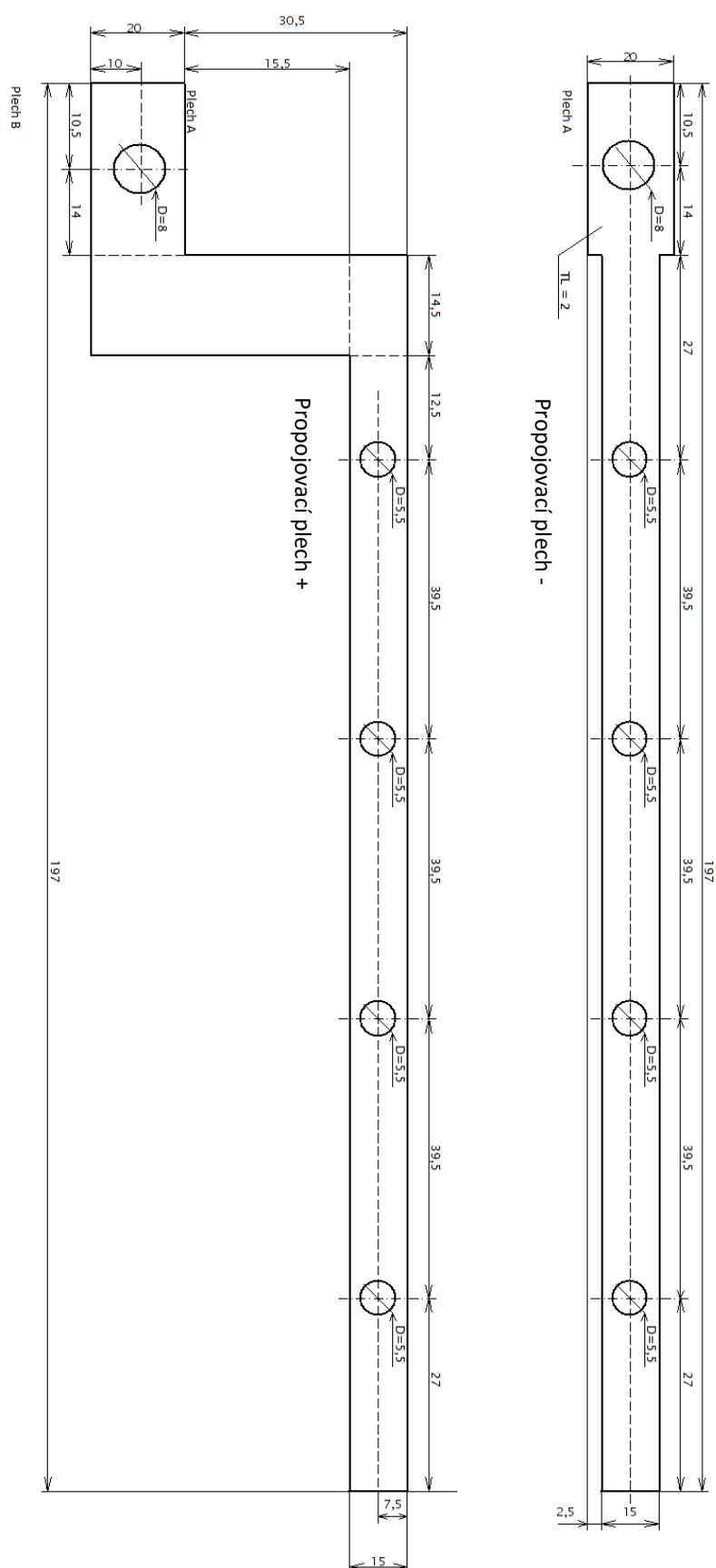
obr. 18 Profil chladiče



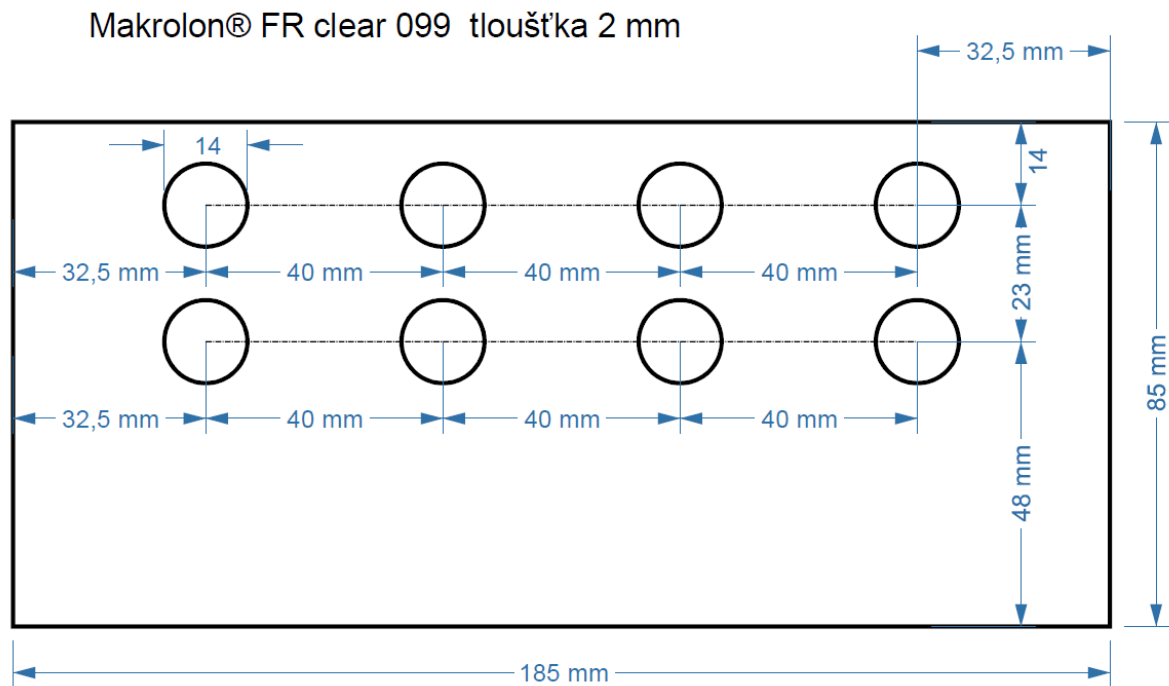
obr. 17 Fotografie paketu měniče



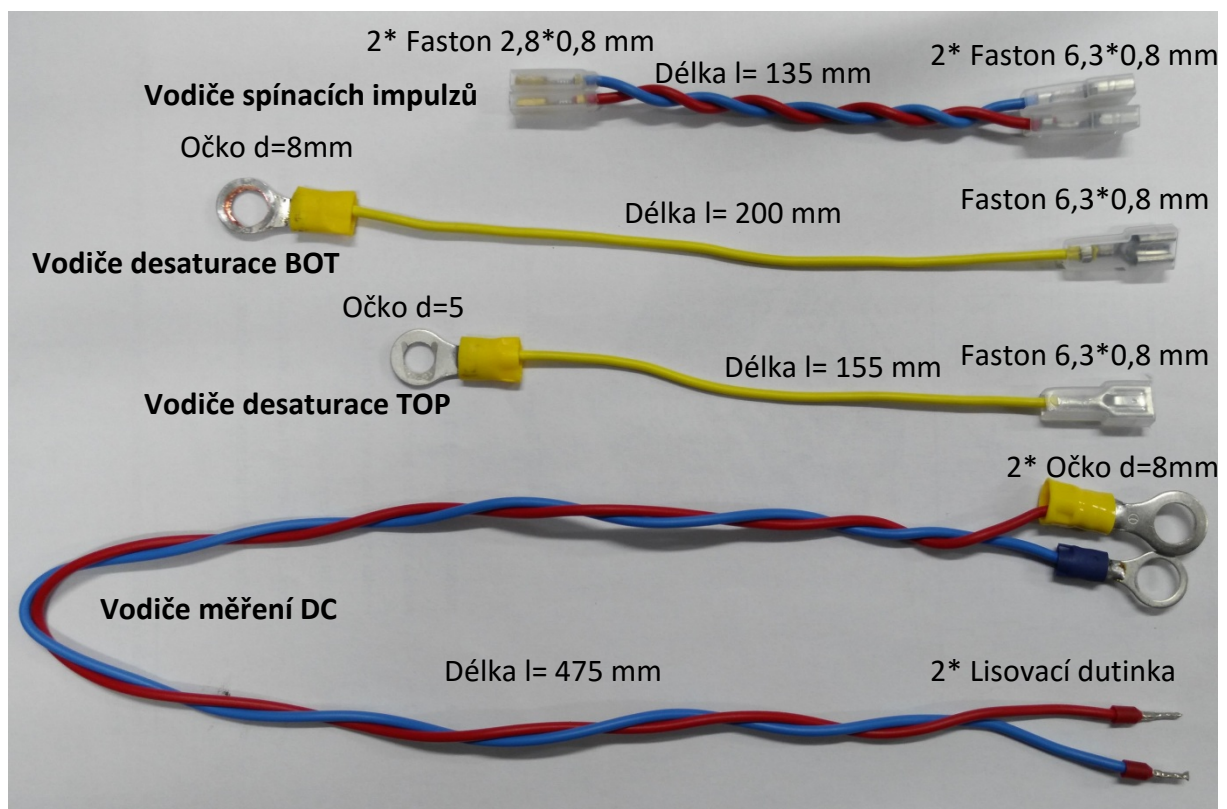
obr. 19a Silové plechy



obr. 19b Propojovací plechy



obr. 20 Izolace mezi silovými plechy



obr. 21 Propojovací vodiče

Tab. III Seznam materiálu výkonového obvodu

Název	Typ	popis	poznámka	poznámka 2	specifikace	Ku sů
SNUB-IN	0,1/600VAC		svitkový kond.	jiný dodavatel	THT	4
R vybíjecí	22K/5W		odpor	jiný dodavatel	THT	2
C DC meziobvodu	6,8mF/400VDC	B43456-A9688-M	elektrolyt	jiný dodavatel	Šroubový M6	2
faston	6,3*0,8mm		na kabel + převlek	jiný dodavatel	kabelový	24
faston pro IGBT	2,8*0,8mm		na kabel + převlek	jiný dodavatel	kabelový	16
lisovací očko	d=5mm		izolované	jiný dodavatel	kabelové	4
lisovací očko	d=8mm		izolované	jiný dodavatel	kabelové	6
lisovací očko	d=5mm		neizolované	jiný dodavatel	pájecí	8
lisovací očko	d=6mm		izolované	jiný dodavatel	kabelové	4
Lisovací dutinka	peo 0,75mm ²		izolované	jiný dodavatel	kabelové	2
Panelová svorka	M6	BL1014042880	černá	GME		4
ŠROUBY						
	M4*10	kovový	šestihranná hlava			5
	M4*10	plastový	válcová hlavička		izolační	5
	M5*10	kovový	imbusový válcová	s podložkami		12
	M5*16	kovový	imbusový válcová	s podložkami		4
	M6*10	kovový	imbusový válcová			3
	M6*16	kovový	imbusový válcová	3*velkoplošná podložka		1
	M8*16	kovový	imbusový válcová	s podložkami		2
Svorník A	M6*13,M8*22,M5*11	mosazný		obr. 22		4
Matky						
	pro M8	kovová	šestihranná hlava			10
	pro M5	kovová	šestihranná hlava			8
Podložky						
	pro M5	kovová		pod svorníky A		4
SLOUPKY	M4*20	Izolační distanční sloupek				5
Plechý a izolace						
	Silový plech +	Cu pocínovaná	tloušťka 1,5 mm	obr. 19a		1
	Silový plech -	Cu pocínovaná	tloušťka 1,5 mm	obr. 19a		1
	Plech mezi kondenzátory	Cu pocínovaná	tloušťka 1,5 mm	obr. 19a		1
	Propojovací plech +	Cu pocínovaná	tloušťka 1,5 mm	obr.19b		3
	Propojovací plech -	Cu pocínovaná	tloušťka 1,5 mm	obr.19b		1
	Izolace mezi silové plechy	Makrolon	tloušťka 2 mm	obr. 20		1

Literatura

- [1] Horejš Miroslav: Diplomová práce, Stavba laboratorního měniče pro výuku předmětu Elektrické pohony, KEV/FEL ZČU v Plzni 2009
- [2] Bc. Lukáš Chaloupka: Diplomová práce, Stavba driveru výkonového 4f střídače, KEV/FEL/ZČU v Plzni 2012
- [3] Dokumentace k součástkám a součástem [online].[cit.2014-11-04]. Dostupné z adresy: <http://datasheetcatalog.com>

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum Jméno / Odd.
1	Všechny	Publikování dokumentu	15.11.2015 LS / KEV