

Michal Skřivánek:

# Svařovací invertor

Popis konstrukce a návod ke stavbě amatérského svařovacího invertoru do 135A



Zpracováno pro [www.svarbazar.cz](http://www.svarbazar.cz) – www pro vaše svařování.

## SVARBAZAR

**Poznámka:** na Svarbazaru v sekci **SVARINFO** naleznete také množství fotografií celého invertoru a jednotlivých konstrukčních celků a detailů!

# Svařovací invertor

## Úvod

Svařovací invertor je zařízení, které slouží jako zdroj elektrické energie pro obloukové svařování. Svařování je proces, kterým se nerozebíratelně spojují kovové materiály. Děje se tak za vysokých teplot, při kterých se svařované materiály taví. Po vychladnutí dochází k jejich spojení.

## Historie

Historie svařování sahá až do doby okolo 1000 let před naším letopočtem, svědčí o tom nálezy železných nástrojů v oblasti kolem Středozevního moře. Některé zdroje tento způsob spojování kovů připisují Řeku Glaukovi, 688 – 600 let před naším letopočtem. Dále se takzvané kovářské svařování rozvíjelo až do cca 19. století, kdy se začalo ke svařování využívat acetylenu. Elektrické svařování bylo objeveno až o několik desítek let později ve Francii, šlo o svařování uhlíkovou elektrodou. To bylo na přelomu 19. a 20. století zdokonaleno na svařování kovovou obalenou elektrodou. V meziválečném období se již začalo využívat plynové ochranné atmosféry.

## Způsoby svařování

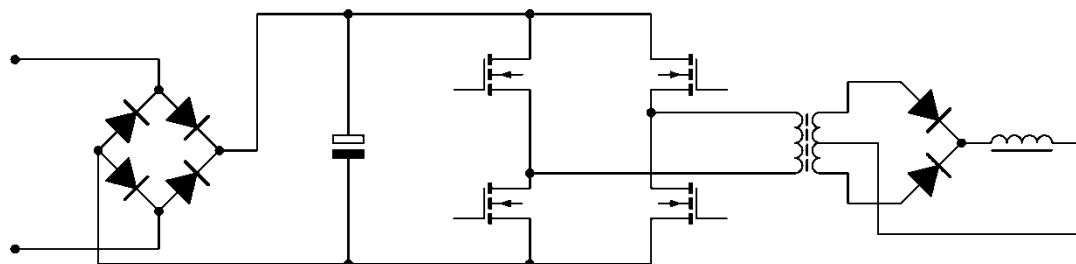
Svářečky rozdělujeme podle způsobu jakým je svařování prováděno na MMA (manual metal arc) – ruční svařování elektrodou, MIG / MAG (metal inert /activ gas) – svařování v inertním nebo aktivním plynu a TIG (tungsten inert gas) – svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu. Další nezmiňuji, protože jsou vzdálenější tématu.

## Zdroje energie

Každý způsob svařování vyžaduje specifický zdroj energie, s ohledem na elektrické vlastnosti takového zdroje. Síťové napětí je pro svůj charakter nevhodné, proto je nutné jej transformovat na napětí nižší. Vhodným typem transformátoru, případně dalších použitých obvodů, můžeme potřebné parametry měnit. Nejjednodušší je síťový transformátor, složitější pak invertor.

## Co je invertor

Svařovací invertor je výkonový měnič, který zpracovává síťové napětí, a převádí jej na napětí požadované. Zpravidla funguje tak, že vstupní napětí projde usměrněním a vyfiltrováním, následně je opět rozstřídáno – ovšem na vyšším kmitočtu (cca 20 – 100 kHz), a nakonec znovu usměrněno a vyfiltrováno (obr. 1).



Obr. 1

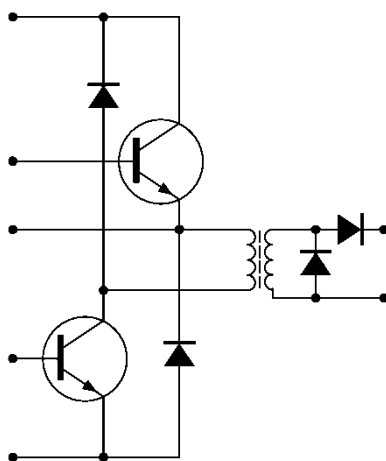
Zřejmá výhoda je, že velikost, potažmo hmotnost transformátoru, je nepřímo úměrná použitému kmitočtu. To dovoluje stavět zařízení velmi lehká a malá, v porovnání se srovnatelně výkonnými zařízeními na síťovém kmitočtu.

### Proč stavět invertor

Možná bych měl vysvětlit, jaké pohnutky mě vedly ke stavbě invertoru. Již ve škole jsem se o podobná zařízení zajímal, postupem času jsem postavil rotační svářečku s dynamem, pak několik transformátorových s tyristorovou regulací, následovalo „céóčko“ a protože se již staly dostupné dostatečně dimenzované součástky, umožňující relativně jednoduchou stavbu, došlo i na invertor. V neposlední řadě k tomu přispěl i fakt, že téma stavby svařovacích zdrojů, tak oblíbené v sedmdesátých a osmdesátých letech, je nyní celkem opomíjeno. Zařízení jsem se rozhodl stavět spíše ze zvědavosti, než z nějaké potřeby. Jako amatérovi je mi vlastně dostačující jakákoliv svářečka postavená dříve. Předpokládám, že ten kdo by chtěl podobné zařízení stavět si uvědomuje, že je to náročné časově i finančně, a proto pokud chce svařovat brzy či ušetřit, je lépe si zařízení koupit. Další možností je stavba za účelem nějakých specifických parametrů či vlastností, které na trhu chybí. Takovou přidanou hodnotou může být možnost fungování jako zdroje pro MIG/MAG.

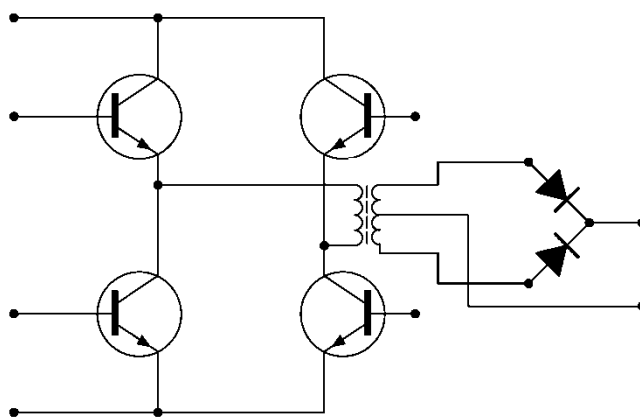
### Používané topologie invertoru

Jak jsem již zmínil, základem invertoru je přeměna napětí na střídavé o vysokém kmitočtu. To se obvykle provádí propustným či můstkovým měničem. Propustný měnič má své místo převážně v jednodušších a levnějších zařízeních, jeho největší výhodou je nižší počet výkonových polovodičů (obr. 2). Nevýhodou pak je složitější návrh transformátoru a horší odezva měniče na změny zatížení. V některých svářečkách se použila i dvojice propustných měničů zapojených paralelně.



Obr. 2

Můstkový měnič se používá pro své lepší dynamické vlastnosti zpravidla v zařízeních pro vyšší výkon (obr. 3). Výhodou jsou již zmíněné dynamické vlastnosti a stavba transformátoru, nevýhodou pak vyšší počet výkonových polovodičů a složitější řídicí obvody.



Obr. 3

## Součástky

Největším úskalím podobných zařízení jsou součástky. Ať již kvůli ceně, taktéž i pro dostupnost (z pohledu amatéra). Proto se zřejmě zatím nikde moc neseťkáváme s podobnými stavbami (na rozdíl od různých zesilovačů...). Když jsem se rozhodl jaký typ měniče použiji, stojím před otázkou, jaké použít výkonové polovodiče. U vstupního můstku je situace poměrně snadná, výběr tranzistorů je již složitější. Bipolární se pro své vlastnosti příliš nehodí, dále se nabízejí MOSFET a IGBT. První jmenované jsou vhodné zejména pro obvody nejvyšších kmitočtů, ale limitující je pro ně použité napětí. Naproti tomu IGBT jsou pro vyšší napětí vhodnější, ale se vzrůstajícím kmitočtem prudce klesá jejich dovolené proudové zatížení. Dá se říci, že právě při použití ve svařovacích invertorech se vlastnosti obou typů tranzistorů překrývají, je proto jen na nás, čemu dáme přednost.

## Umístění součástek

Správné umístění součástek je nedílnou součástí každé konstrukce. Obvody se nesmějí vzájemně rušit či ovlivňovat, důležité je i správné rozvržení s ohledem na chlazení součástek. Obvyklé je použití aktivního chlazení, které zajišťuje rovnoměrnou teplotu zejména výstupních diod, tranzistorů, transformátoru a tlumivky. Od toho se mimo jiné do značné míry vyvíjí výsledný zatěžovatel. Podstatné je rovněž rozložení z pohledu symetrie (můstku), malých parazitních indukčností a bezpečnostních vzdáleností mezi živými a neživými částmi.

## Parametry

Parametry svařovacích zdrojů jsou definovány několika veličinami:

- Napětí naprázdno – je to napětí, které je na výstupních svorkách při běhu naprázdno. Toto napětí musí být z bezpečnostních důvodů omezeno.
- Zatěžovatel – je poměrná doba zatížení v pracovním cyklu. Hodnota se vztahuje k určené hodnotě proudu.
- Trvalý svařovací proud. Vyjadřuje hodnotu proudu, kterou je zdroj schopen trvale dodávat. Zatěžovatel je tedy v tomto případě  $DZ = 100\%$ .
- Jmenovitý proud - vztahuje se k zatěžovateli  $DZ = 60\%$  a udává se u zdrojů pro ruční svařování.
- Statická charakteristika – vyjadřuje závislost mezi proudem a napětím. Jinými slovy, udává nám změnu proudu při změně délky oblouku. Moderní řízené zdroje umožňují téměř libovolné charakteristiky, i je možné je měnit.

## Popis konstrukce svařovacího invertoru



Obr. 4

### Parametry konstrukce:

Rozsah proudu	55A – 135A
Rozsah napětí	13V – 36V
Napětí naprázdno	80V
Proud při zkratu	25A
Zatěžovatel	neměřen

První pokusy proběhly s invertorem, který jsem postavil podle polského časopisu, ale s tím jsem neměl dobrou zkušenost, byť jsem nakonec zapojení oživil a prakticky vyzkoušel. K čemu však byla stavba zcela jistě dobrá, bylo získání zkušeností pro stavbu invertoru který níže popíši. Bylo možné vyzkoušet řízení, spínání tranzistorů a další obvody. Hotové zařízení je na obr. 4. Celé zapojení jsem rozdělil na několik částí, tak jak jsem jej postupně navrhoval:

- silová část
- řízení měniče vstup
- řízení měniče výstup
- modul ochrany proti přilepení a napětí
- pomocné obvody MIG

## Popis silové části

Silovou část (obr. 5) lze rozdělit na čtyři části: vstupní filtr, rozběhový obvod, můstek IGBT a výstupní stejnosměrnou část. Sítové napětí jde přes vypínač a pojistku na LC filtr, který má za úkol odfiltrout rušivé napětí, které měnič produkuje a mohlo by se šířit po napájení.

Doplňen je o varistor, jenž by měl ochránit měnič před přepětím ze sítě (například při provozu z nevhodné elektrocentrály). Velké filtrační kapacity C7 a C8 si vyžádaly použití

rozběhového obvodu. Po zapnutí se elektrolytické kondenzátory nabíjí přes odpor R1, který je po chvíli přemostěn kontakty relé. Obvod je zapojen tak, že i po krátkém vypnutí a

opětovném zapnutí napájení vždy nechá kondenzátory nabít. To zajišťuje tranzistor T1, který vždy po sepnutí tyristoru T5 vybijí časovací kondenzátor C20. Můstek měniče je tvořen

tranzistory IGBT T1 až T4. Desku řídicích obvodů je pro ladění vhodné umístit na konektor, proto je u tranzistorů umístěn odpor v řídicí elektrodě, aby případný špatný kontakt

nezpůsobil škodu. Protože je použit poměrně vysoký kmitočet, je nutné nezapomínat na parazitní indukčnosti, které se mohou již projevovat. Proto jsou vedle tranzistorů umístěny

kondenzátory C9 a C11. Člen C5 a R5 filtruje krátké špičky, které při spínání vznikají.

Důležitou součástí je kondenzátor C10. Sestává z šesti kondenzátorů zapojených paralelně.

Počet i velikost kapacity je raději předimenzovaná, protože použité kondenzátory nejsou přímo určené pro toto použití. Jeho důležitost spočívá v nedefinovatelných stavech, které

mohou během regulace nastat a mohly by způsobovat přesycení jádra transformátoru. Takto dojde jen k nabití kondenzátoru a transformátorem prochází pouze střídavý proud. Z můstku

prochází proud přes měřicí transformátor Tr2, který má na výstupu pevný zatěžovací odpor. Transformátor slouží k měření procházejícího proudu můstkem a na základě informace z něj

provádí řídicí elektronika regulaci výstupního proudu.

Součástí silových obvodů je i výstupní usměrňovač a filtr. Diody D1 a D2 usměrňují proud z výkonového transformátoru. Pouzdro D1 a D2 obsahuje dvojici diod, které jsou zapojeny

paralelně. Paralelně k diodám je menší RC člen pro zachycení krátkých špiček. Následuje tlumivka L3, na které velmi závisí svařovací vlastnosti. Použil jsem železoprachové jádro,

indukčnost tlumivky je 33uH. Za zmínku stojí, že někteří výrobci používají tlumivku

vzduchovou, jiní na železném jádře. Pro správné měření výstupního napětí je nutný

kondenzátor C19 na výstupu a dělič R15 a R16. Na desce je počítáno s místem pro umístění měření výstupního proudu bočnickem nebo čidlem Allegro. V konstrukci jsem měření

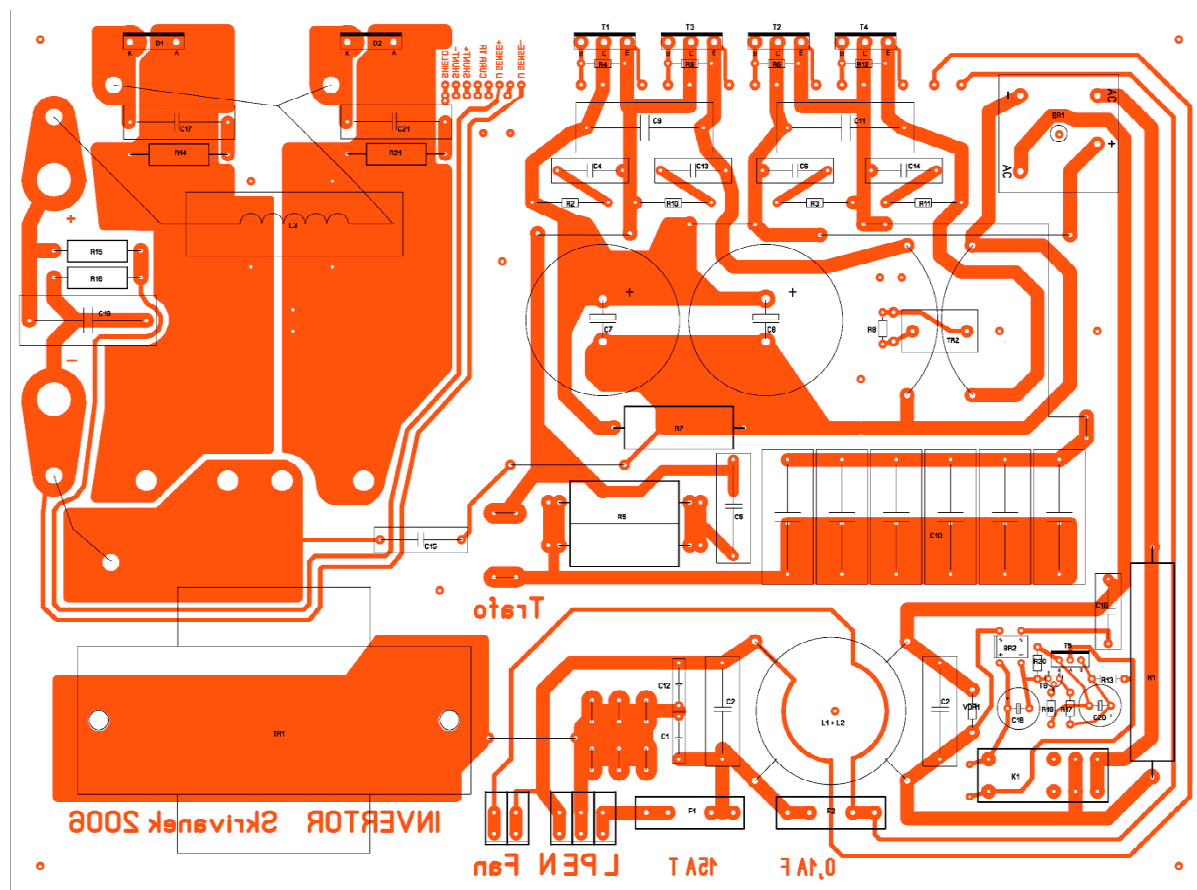
výstupního proudu nakonec vynechal, neboť se ukázalo, že už měření měřicím

transformátorem zajišťuje dostatečnou stabilitu výstupního proudu. Nicméně je s touto

možností počítáno i na řídicí desce. Plošný spoj a jeho osazení jsou na obrázcích 6 a 7.







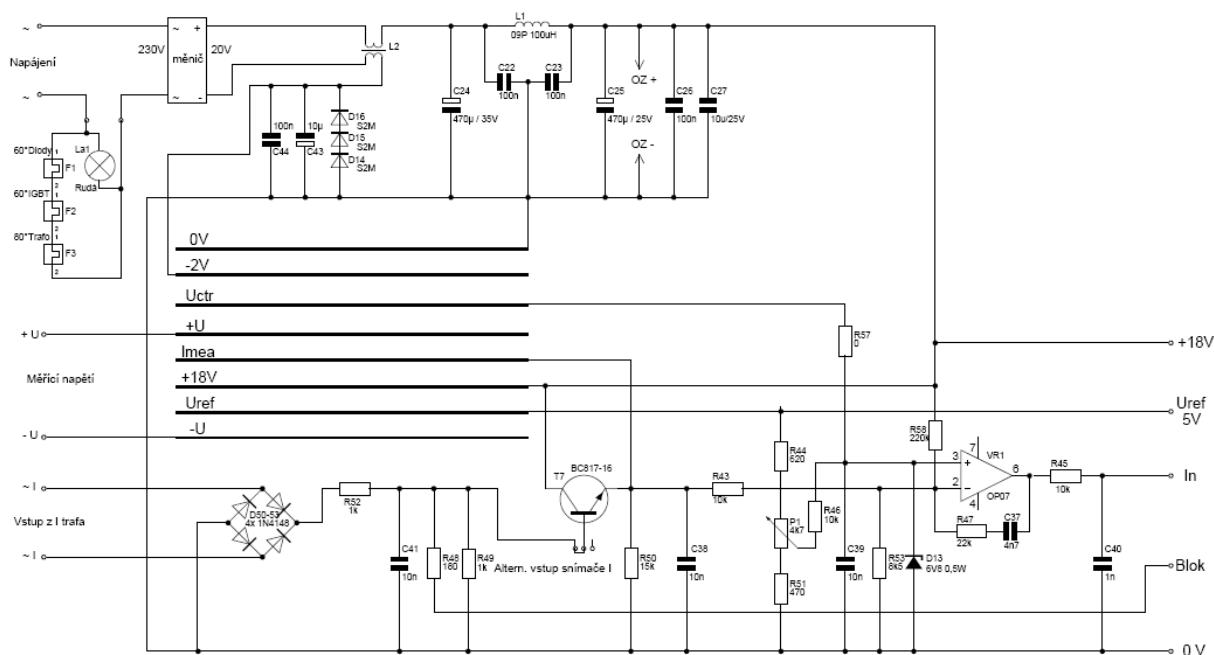
Obr. 7

## Popis slaboproudé (řídící) části

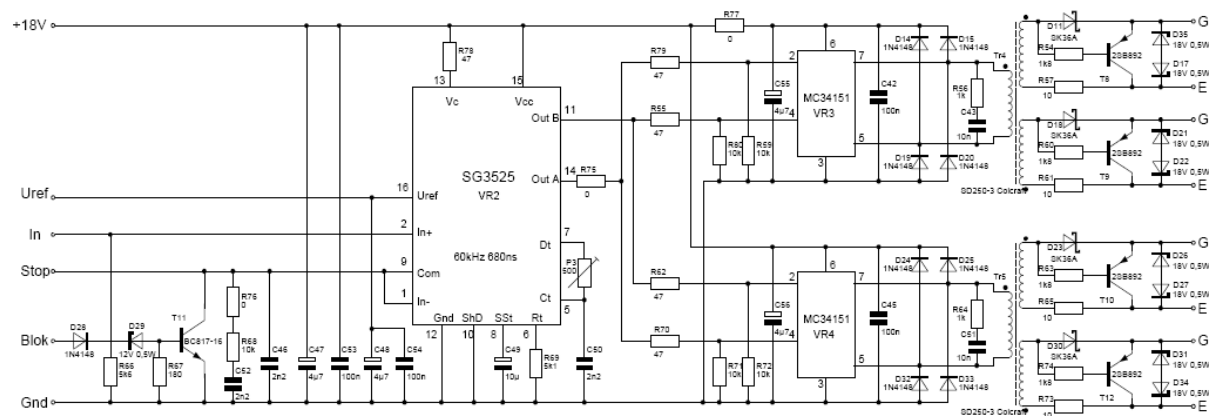
Slaboproudá, neboli řídicí část, slouží k vlastnímu řízení celého měniče (obr. 8 a 9). Opět bych jej rozdělil do několika bloků. Nejdříve bych zmínil napájecí obvody. Napájení zajišťuje malý modul spínaného měniče. Pochází z běžného 24V adaptéru, který má upraveno výstupní napětí na 20V. V jeho vstupu jsou zařazeny tepelné pojistky (F1 – F3), které snímají teplotu chladiče tranzistorů (60°C), diod (60°C) a transformátoru (80°C). Paralelně k nim je zařazena kontrolka signalizující přehřátí. Za měničem následují filtrační prvky L2, L1, C22 – C25. Diody D14 – D16 slouží k vytvoření pomocného záporného napětí -2V pro napájení přídatných řídicích obvodů. Nyní k vlastnímu řízení. Proudový transformátor slouží jako zdroj napětí pro řízení. Na vstupu je signál nejprve usměrněn, poté rezistory R52 a R 49 dělen dvěma. Zde se přes R48 odbočuje signál pro rychlé zablokování měniče v případě náhlého nadproudu. Tranzistor T11 pak zablokuje měnič. Za děličem ještě následuje propojka, která umožňuje volit zdroj podle kterého bude řízen svařovací proud. Volitelně je tedy možné použít zesílený signál z bočníku či například čidla Allegro. Já jsem nakonec zvolil kompletní řízení z proudového transformátoru. Za propojkou jde signál přes T7 do invertujícího vstupu komparátoru VR1. Neinvertující vstup slouží k zadání žádané velikosti proudu. To se provádí potenciometrem napájeným z referenčního zdroje napětí. Rezistory R44 a R51 lze upravit rozsah zadání proudu. Dolní hranice je mimo jiné omezena velikostí záporného napájení VR1, pokud by tedy byla požadována velmi nízká proudová hodnota, bude třeba přepojit napájení na -2V. Horní hranice je omezena (mimo polovodičů, ty jsou dimenzovány dostatečně) i velikostí signálu z proudového transformátoru. To nesmí dosáhnout velikosti napájení. Toho lze dosáhnout snížením velikosti rezistoru R49 a tím změnit dělicí poměr. Zde je třeba upozornit na velikost napájecího proudu. 135A bylo zvoleno proto, aby napájení nepřesáhlo



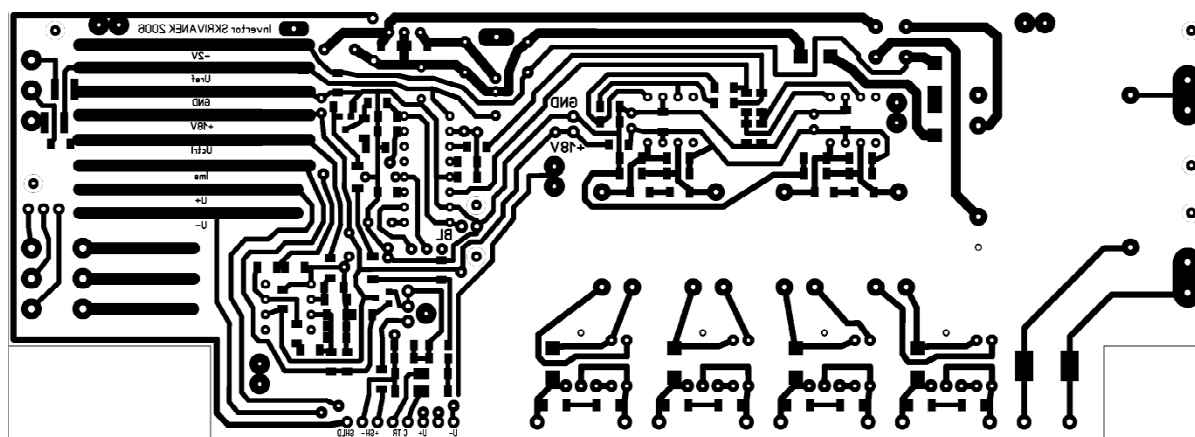
16A, jako hodnotu běžného zásuvkového jističe. Za potenciometrem P1 je zapojen rezistor, který omezuje velikost proudu z potenciometru. Následuje odbočka ke „sběrnici“, která je vytvořena na DPS. Ta slouží k připojení pomocných modulů rozšiřujících možnosti které můžeme požadovat. Za komparátorem následuje srdce celého řízení, kterým je VR2 (SG3525). Kmitočet je nastaven  $R_t$  a  $C_t$  na 60kHz, dead time je zvolen na 680ns. Výstupní signál je veden do VR3 a VR4 (MC34151), je to rychlý driver pro MOSFET tranzistory. Vstupy jsou zapojené tak, aby vytvořily potřebnou protifázi výkonových tranzistorů. Na výstupech VR3 a VR4 jsou umístěny ochranné diody a RC člen. Transformátory Tr4 a Tr5 oddělují potenciály mezi výkonovými tranzistory a řídicí deskou. Tranzistory T8 – T12 s okolními součástkami zajišťují ochranu řídících elektrod IGBT a rovněž zajišťují rychlé vybití kapacity řídících elektrod pro správné zavření tranzistorů. Plošný spoj a jeho osazení jsou na obrázcích 10, 11 a 12. Tandemový potenciometr pro nastavení napětí není momentálně zcela využitý, jeho volná polovina je k dispozici pro budoucí využití.



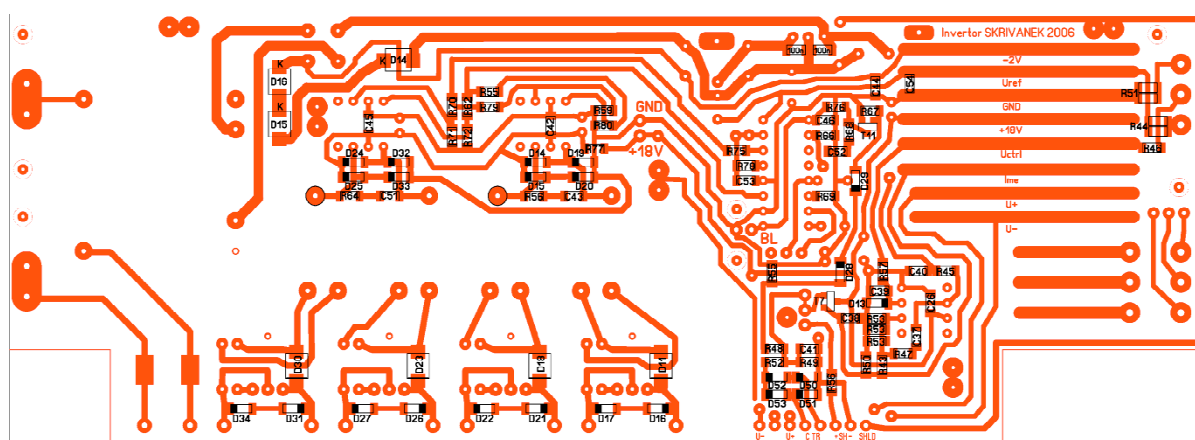
Obr. 8



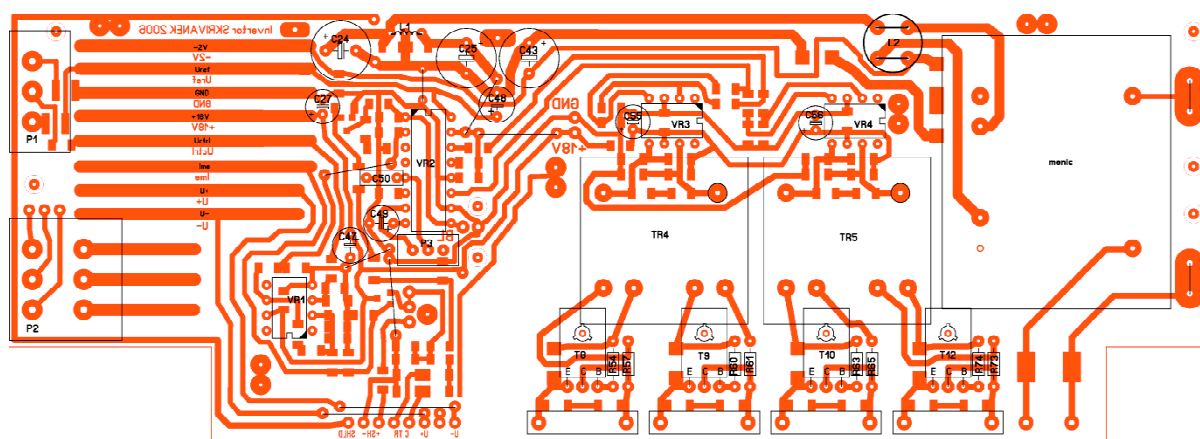
Obr. 9



Obr. 10 Plošný spoj - skutečná velikost 200 x 72 mm



Obr. 11

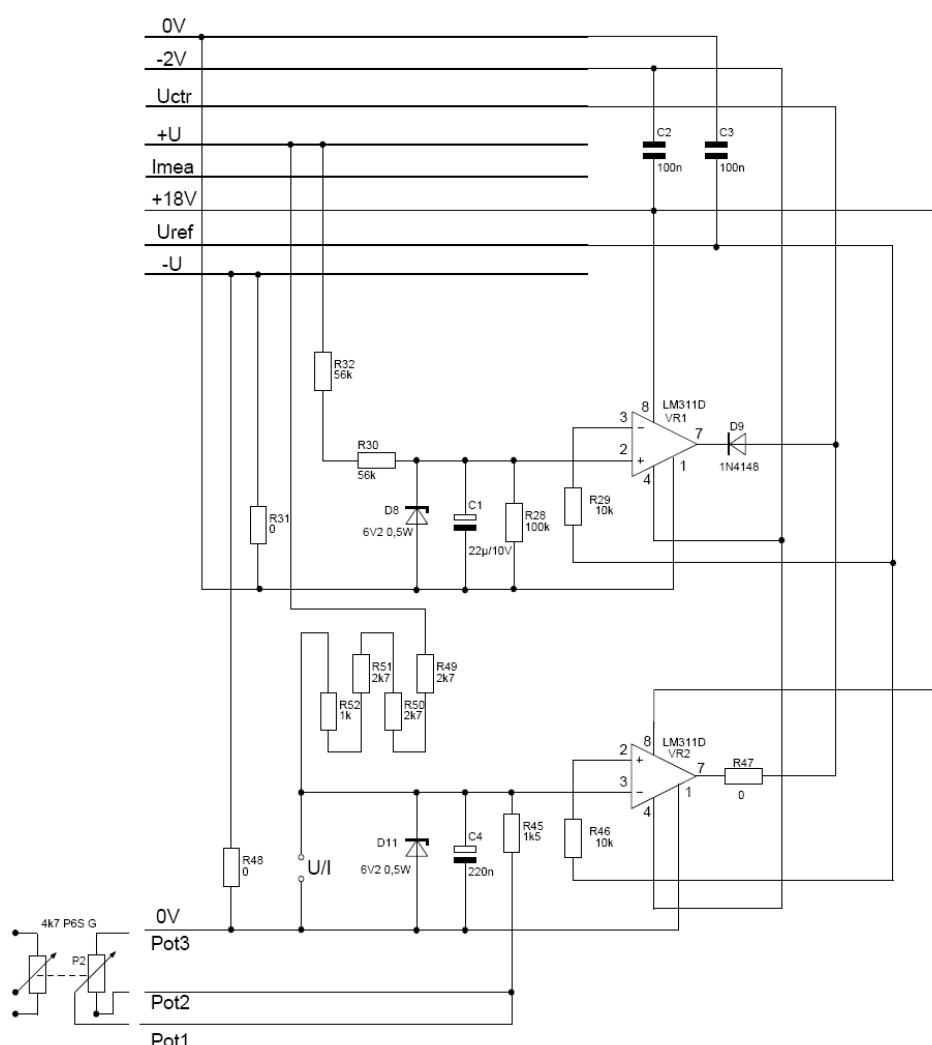


Obr. 12

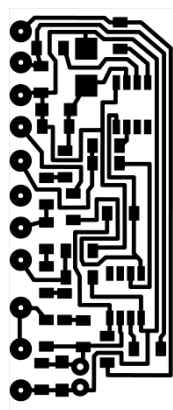
## Popis přídatných obvodů

Jak jsem zmínil výše, je možné do řídicí desky zapojit pomocné rozšiřující moduly. Po praktických zkouškách a porovnání svařovacích vlastností s továrně vyrobeným invertorem jsem se rozhodl doplnit řízení o ochranu proti nadměrnému zatížení měniče při zkratu, a spíše pro laboratorní potřeby o řízení velikosti výstupního napětí, sloužící jako zdroj pro svařování

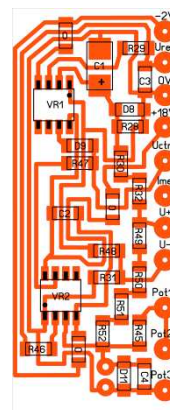
**MIG/MAG** (obr. 13). Hotstart a arcforce jsem neshledal jako nutné, nicméně jejich případné doplnění je jednoduché. S jedním či dvěma dalšími moduly je na řídicí desce počítáno. Ochrana proti nadměrnému zatížení při zkratu využívá ke své funkci měření velikosti napětí na výstupu. Při svařování a krátkém oblouku se výstupní napětí pohybuje kolem 20 – 25V. Při zkratu jsem tedy zvolil jako výchozí úroveň napětí kolem 10V. Je – li napětí nižší, je obvodem vyhodnoceno jako zkrat. Při zapalování oblouku dojde samozřejmě ke zkratu rovněž, proto obvod reaguje až po 0,5 – 1s. Velikost napětí, při kterém má obvod reagovat se nastavuje rezistory R28, R30 a R32. Reakční čas je dán velikostí kapacity C1. Při detekci zkratu, výstup komparátoru zavírá napětí na výstupu ze zadávacího potenciometru. Na výstupu komparátoru je ještě zařazena dioda D9, jejímž úbytkem se nastavuje velikost výstupního proudu. Zvolil jsem proud cca 25A, tomu odpovídá úbytek napětí diody 1N4148. Obdobně pracuje druhá část modulu regulující velikost výstupního napětí. Potenciometrem a rezistory na invertujícím vstupu komparátoru lze nastavit požadovaný rozsah regulace. Komparátor na výstupu napětí zcela blokuje. Plošný spoj a jeho osazení jsou na obrázcích 14 a 15.



Obr. 13

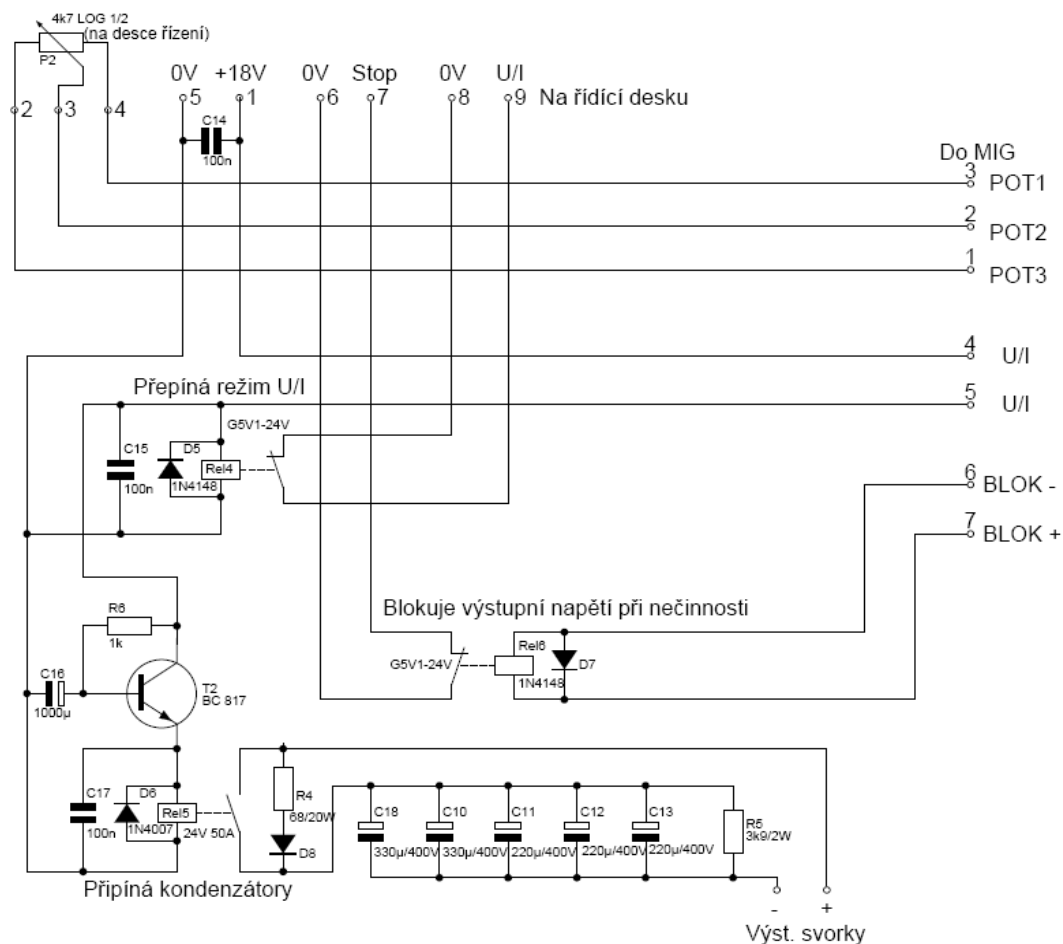


Obr. 14 Plošný spoj - velikost 20 x 50mm

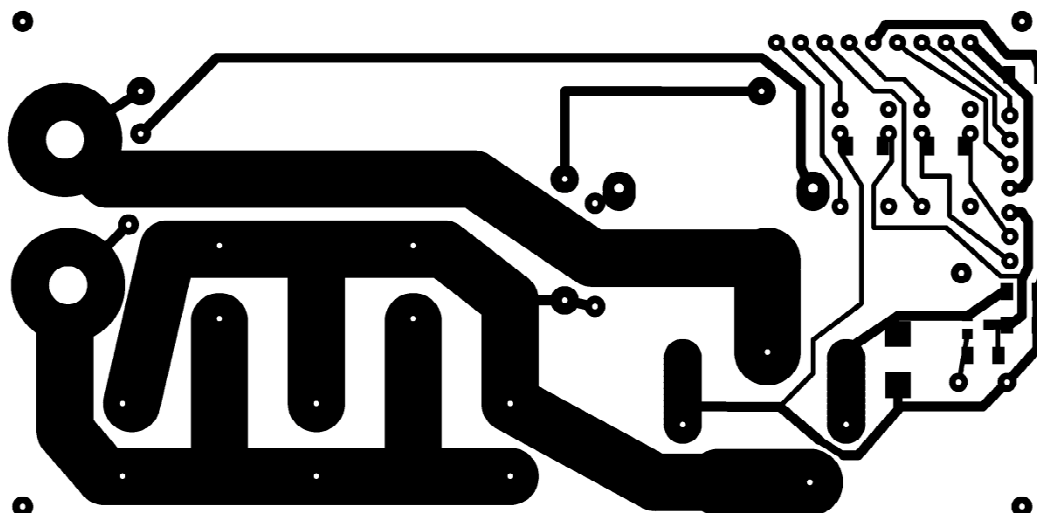


Obr. 15

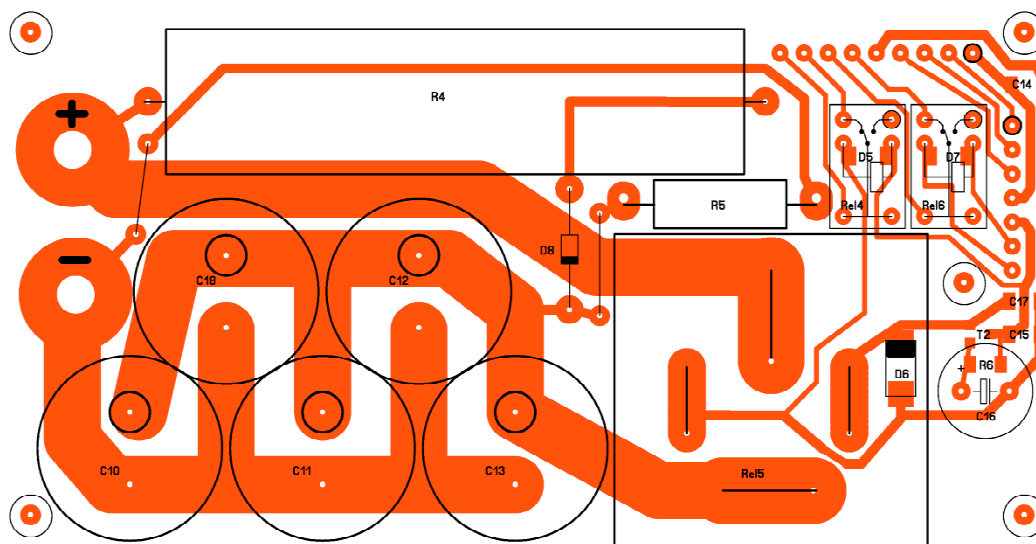
Protože jsem doplnil obvod o regulaci napětí, byl to jen krůček možnosti použít invertor jako zdroj pro svařování MIG/MAG. Bylo však nutné jej doplnit o pomocnou desku (obr. 16). Kromě relé Rel6, které slouží jen k oddělení obvodů, je na desce relé Rel4, které přepíná charakteristiku invertoru z proudové na napěťovou (proud je nutné ručně nastavit na maximum). Stěžejní je však Rel5, které zajišťuje připojení velké filtrační kapacity na výstupní svorky. To je důležité pro správnou regulaci napětí. Kondenzátory jsou použity z vyřazených zdrojů pro PC. Speciální kondenzátor by byl drahý a obtížně dostupný. T2 zajišťuje zpožděné sepnutí relé, z důvodu přednabití filtračních kondenzátorů. Aby nebylo nijak ovlivněno svařování v režimu MMA, je do nabíjecího obvodu zařazena dioda D8. Plošný spoj a jeho osazení jsou na obrázcích 17 a 18.



Obr. 16



Obr. 17 Plošný spoj - skutečná velikost 112 x 58 mm



Obr. 18

## Nastavení a oživení konstrukce

Nastavení a oživení zařízení je nedílnou součástí každé konstrukce. Jedná-li se o stavbu zařízení většího rozsahu, za což se může pokládat i tato konstrukce, je třeba postupovat velmi obezřetně a pečlivě. Na prvním místě je samozřejmě bezpečnost, neboť silová část je vodivě spojena se sítí a na některých součástkách se vyskytuje napětí přes 320V. Za druhé jde také o vlastní součástky, které se mohou snadno nějakým neuváženým krokem poškodit. Celý invertor jsem se snažil navrhnout tak, aby nebylo nutné nic nastavovat, přesto chci na několik míst upozornit, třeba i proto, kdyby chtěl někdo zapojení modifikovat dle svých požadavků (výstupní rozsah proudu, napětí a další parametry).

## Nastavení silové části

Tento blok je co do nastavování nejjednodušší a s výjimkou R8 nemají nastavované součástky přímý vliv na svařovací vlastnosti. Rozběhový obvod by měl být nastavený tak, aby po zapnutí síťového vypínače došlo k bezpečnému nabití filtračních kondenzátorů C7 a C8. Přesný čas není kritický, vyhoví doba kolem dvou sekund, která je dána kapacitou kondenzátoru C20, odporem rezistoru R13 a rovněž velikostí spouštěcího proudu tyristoru T5. Doporučuji měnit čas v první řadě kondenzátorem C20, jmenované rezistory by mohly ovlivňovat vybíjecí obvod kondenzátoru C20. Pokud by vybíjecí obvod nepracoval dostatečně citlivě, lze jej nastavit velikostí rezistoru R20, který působí v obvodu jako bočník a spouští vybíjecí tranzistor T6, nebo rezistorem R17, do kterého se kondenzátor C20 vybíjí. Rezistor R17 zároveň slouží ke zpomalení vybíjení C20 a tím ke spolehlivějšímu sepnutí tyristoru T6, proto nestačí k vybíjení rezistor R20, přestože je v okamžiku vybíjení v sérii s R17. Pokud by byla velikost R17 příliš velká, mohlo by se při opakovaném vypnutí a zapnutí stát, že rozběhový obvod sepne dříve a filtrační kondenzátory budou nabíjeny velkým proudem. Rezistor R8 je třeba nastavovat pouze v případě, že se nepoužije uvedený proudový měřicí transformátor, ale nahradí se jiným, který nebude mít shodný převodový poměr. V tom případě je možné volit ze dvou možností. Buď se upraví nastavení řídicích obvodů, nebo se změnou odporu rezistoru R8 nastaví stejné výstupní napětí jako je u uvedeného transformátoru. Doporučuji druhou možnost, protože s menšími napětími může být zařízení citlivější na ovlivnění regulace různými rušeními, naproti tomu vyšší napětí je omezeno velikostí napájecího napětí, jehož velikost nesmí být na bázi tranzistoru T7 dosažena, jinak hrozí zavlčení měřicího napětí do napájení a tím dojde k nesprávné funkci regulace.

## Slaboproudá část

Řídicí deska má na starosti kontrolu celého zařízení, proto se právě zde nastavuje většina důležitých parametrů. Volíme kmitočet měniče, regulační rozsahy a další parametry. Začnu nastavením kmitočtu, ten se nastavuje kombinací rezistoru R69 a kapacitou kondenzátoru C50. Jeho zvolená velikost je kompromisem mezi požadavky na transformátor a možnostmi, které nám dovolí polovodiče. U transformátoru požadujeme velký přenesený výkon a z důvodu velikosti procházejících proudů i dostatečně dimenzované průřezy vodičů. Zde se však naráží na velikost prostoru určeného pro vinutí. Proto je třeba zvolit kmitočet vyšší, aby vyšel celkově menší počet závitů, neboť ten se vzrůstajícím kmitočtem klesá. Naproti tomu se u polovodičů při vyšších kmitočtech více projevují ztráty při spínání a u IGBT klesá i dovolené proudové zatížení. Z těchto důvodů byl zvolen kmitočet 60 kHz. Řídicí obvod VR2 umožňuje nastavit také tzv. dead time, což je doba mezi jednotlivými pulzy, která slouží pro bezpečné uzavření polovodičů (zejména výkonových). Velikost se volí s ohledem na druh měniče, velikost použitého kmitočtu a vlastnosti použitých součástek. Já jsem zvolil délku 680 ns. Některé zdroje uvádějí možnost zkracování doby až do okamžiku zjištění ohřevu součástek, s ohledem na cenu IGBT raději doporučuji volit bezpečnější velikost. Dalšími nastavovacími prvky jsou obvody nastavující a ovlivňující rozsah výstupního proudu. Z měřicího proudového transformátoru se usměrněný signál vede do napětíového děliče R52, R49. Poměr tohoto děliče je třeba zvolit s ohledem na převodový poměr měřicího transformátoru a velikost napájecího napětí, jak jsem zmiňoval v popisu velikosti odporu rezistoru R8 na silové desce. Volí se tak, že výstupní napětí děliče nesmí při zareagování rychlé proudové pojistky (tvořené R48, D28, D29, R67 a T11) dosáhnout velikosti napájecího napětí, protože by se přes přechod báze – kolektor tranzistoru T7 zavléklo měřicí napětí do napájení. Samozřejmě je vhodné nezapomenout na nějakou rezervu. V níže uvedené tab. 1 jsou uvedeny v konstrukci použité hodnoty. Hodnota rychlé proudové pojistky se nastavuje

diodami D28 a D29. Velikost napětí při kterém začne procházet proud do tranzistoru T11 určuje velikost proudu na který začne reagovat zablokováním řídicího obvodu měniče. Komparátor pracuje s referenčním napětím 5V, takže procházející signál je dále dělen děličem R43, R53, aby rozsah snímaného signálu byl referenčnímu napětí odpovídající. Provozní rozsah proudu měniče je dán děličem R44, P2 a R51. Při požadavku na změnu proudového rozsahu je třeba vést v patrnosti ještě provozní možnosti komparátoru VR1, konkrétně minimální zpracovatelné napětí. Protože komparátor není napájen záporným napětím, je toto napětí nenulové. Bude-li tedy požadováno napětí ještě nižší, bylo by třeba najít komparátor schopný nižší napětí zpracovat nebo upravit napájení například přepojením záporného napájecího vývodu z 0V na napájecí větev -2V.

Ochrana proti nadměrnému zatížení měniče při přilepení elektrody (**Antistick**) má dva parametry podle nichž obvod reaguje. Jedním z nich je velikost vstupního napětí, podle ní se rozpozná že jde o zkrat, neboť napětí na oblouku se pohybuje řádově kolem 20 – 25V. Děličem R32+R30, R28 je dána napěťová hladina při které obvod reaguje. Zvoleno je cca 10V. Aby bylo možné bezpečně chytit oblouk a přitom nebyla tato ochrana aktivována, je v obvodu zařazen kondenzátor C1. Ten zajišťuje zpoždění cca 0,5 – 1 sekundu, pak teprve obvod přejde do stavu omezení výstupního proudu. Jeho velikost zde rovněž můžeme volit. Na výstupu komparátoru VR1 je zařazena dioda D9, která zajistí požadovaný úbytek napětí. Tento úbytek způsobí skokovou změnu zadání proudu, díky oddělovacímu rezistoru R46 má v zadání požadovaného výstupního proudu přednost. Hodnota omezeného proudu je dána velikostí úbytku napětí na diodě D9, její změnou za typ s jiným napěťovým úbytkem můžeme přímo proud volit. Řízení velikosti napětí je obvodově velmi podobné. Napěťový dělič R49, R50, R51, R52, R45 a P2 zajišťují rozsah výstupního napětí v rozsahu přibližně 12V – 35V. Zde se však překlopením komparátoru výstupní řídicí napětí zcela blokuje. Desku pomocných obvodů MIG není nutné nijak nastavovat, zmíním snad jen časovač tvořený R6, C15 a T2. Kapacitou kondenzátoru můžeme ovlivňovat čas, po kterém dojde k připnutí kondenzátorů napřímo ke zdroji. Tento čas není nijak kritický, avšak pokud by byl příliš krátký, nadměrný nabíjecí proud baterie kondenzátorů by mohl způsobit poškození kontaktů relé.

### Statická měření

I <sub>min</sub>	50A	8.6V
I <sub>max</sub>	135A	22.2V
I <sub>špič. poj.</sub>		31.3V
I <sub>přilep.</sub>	25A	4.3V
U <sub>min</sub>		13.4V
U <sub>max</sub>		36.6V
U <sub>přilepení</sub>		11.1V

Tab.1

Oživení konstrukce je vhodné rozdělit na oživení jednotlivých bloků. Před přivedením napájecího napětí je samozřejmě provedení vizuální prohlídky desek a očištění zbytků pájky po pájení. Pak můžeme přistoupit k oživování. Jako první můžeme začít se silovou částí. Pokud si nejsme jisti přivedením 230V, můžeme začít napětím nižším. Přivedeme - li například 12V na svorky L a N, musíme jej naměřit na napájecích svorkách pro řídicí desku, filtračních kondenzátorech C7 a C8, a vývodech na ventilátor. Dále můžeme přistoupit



k připojení na síťové napětí. Po zapnutí by se měly nabíjet kondenzátory a po chvilce by mělo přiskočit relé K1. Jen doplním, že samostatně vyzkoušet obvod rozběhu lze vyjmutím či pozdějším osazením můstku Br1. Máme-li napětí cca 320V na C7 a C8, či C9 a C11, lze považovat desku za oživenou.

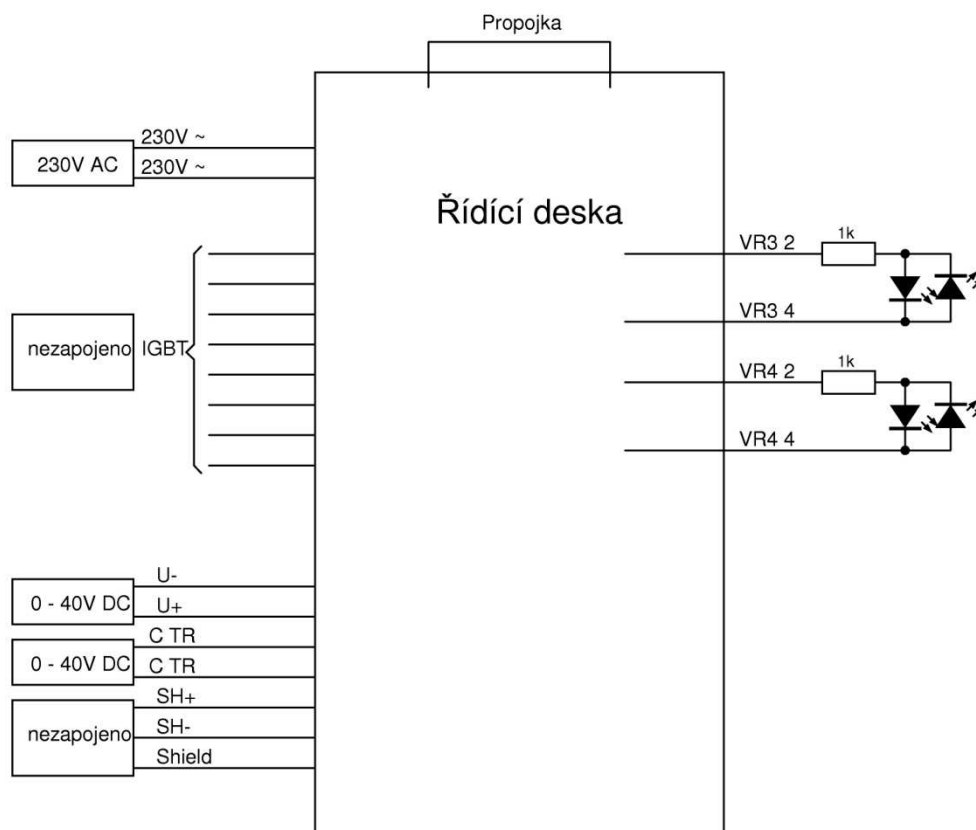
Řídící desku můžeme pro oživení zapojit podle schématu na obrázku 19. LED ve schématu nahrazující pro zkoušku driverů VR3 a VR4 slouží k vizuální kontrole aktuálního stavu řízení. Pokud diody svítí, měnič běží, zhasnou-li, je zablokovaný. Připojíme-li tedy napájení a na napětový vstup připojíme cca 20V, měly by diody svítit. Postupným přidáváním napětí do proudového vstupu ověříme při jakých napětích diody zhasínají v poloze zadání proudu minimálního a maximálního. Poté zablokujeme vstup VR1 zkratováním rezistoru R53 a zhasnutí LED nám signalizuje, při jakém napětí dojde k zablokování měniče vybavením rychlé proudové pojistky. Vložením driverů VR3 a VR4, a připojením LED na výstupní svorky desky zjistíme, máme-li v pořádku obvody až k výstupům na IGBT.

Dále můžeme provést kontrolu obvodu ochrany při přilepení elektrody. Osadíme propojku U/I. Na proudový vstup přivedeme napětí (např. 10V), do napětového vstupu přivedeme cca 15V, které pomalu snižujeme (to pomalu je důležité – jde o to, abychom se vyhnuli ovlivnění kondenzátorem C1). Kolem 10V zhasne kontrolní LED, tím máme ověřeno správné nastavení. Pak snižujeme napětí na proudovém vstupu, a při cca 4.3V by mělo dojít k rozsvícení LED, čímž jsme ověřili hodnotu proudu (cca 25A), která bude udržována, dokud nedojde ke zvýšení vstupního napětí (odtržení přilepené elektrody).

Řízení regulace výstupního napětí zkontrolujeme nastavením napětí napětového vstupu na cca 20V. Potenciometrem ovládajícím zadání velikosti napětí nyní navolíme krajní polohu, měníme vstupní napětí napětového vstupu a hledáme hodnotu při které dochází k překlopení LED. Stejně postupujeme při zadání druhé krajní polohy. Před započítím měření nezapomeneme odstranit propojku U/I.

## **Přídavné obvody**

Na desce pomocných obvodů MIG stačí zkontrolovat funkci jednotlivých relé a přivedením napájecího napětí a propojením kontaktů U/I ověřit funkci zpožděného připojení relé. V tabulce 1 jsou uvedeny naměřené hodnoty na hotovém zařízení.



Obr. 19

Po sestavení jednotlivých bloků je možné přistoupit k oživení celku. Místo pojistky se mi osvědčilo pro první zkoušky její nahrazení výkonným malým rezistorem, například rychlovarnou konvicí. Aby se vyloučila chyba obvodů za transformátorem (včetně), je možné místo něj zapojit na zkoušku žárovku. Po připojení napájení by se měla žárovka rozsvítit a po sepnutí rozběhového relé trochu zvýšit svůj jas. Na žárovce můžeme měřením ověřit kmitočet, či ještě lépe tvar pulzů osciloskopem, zejména strmost náběžné a doběžné hrany. Pak je možné připojit transformátor a zkusit zařízení spustit. Je-li vše v pořádku, vloží se správné pojistky a zařízení je možné zkusit na výstupu zatížit. Po celou dobu měření je nutné kontrolovat stav výkonových polovodičů, aby nedošlo k jejich přehřátí.



Obr. 20

## Konstrukční prvky

## Chlazení

Protože jde o spínaný měnič, není chlazení polovodičů velký problém. Přesto je třeba mu věnovat pozornost. Podle měření se prvky zahřívají asi v následujícím pořadí. Nejvíce

výstupní diody, pak tranzistory a nejméně vstupní můstek. Nejobtížněji se chladí výkonový transformátor, zde lze s výhodou použít planární provedení, které je možné mechanicky přímo spojit s chladičem. Obvykle se u svařovacích inverterů používá aktivní chlazení, kde jsou prvky které potřebují chladit vystaveny proudu vzduchu tak, že je postupně obtéká. Systém chlazení má ještě technické rezervy v uspořádání, lze jej dále vylepšit vhodnou úpravou skříně. Zejména jde o chlazení výstupní tlumivky a výkonových diod. Protože jde ale o zařízení určené především do domácí dílny, není to na závadu. Zde je vhodné upozornit na ventilátory typu maglev, v podobných konstrukcích je vhodné je s výhodou použít. Při stejných rozměrech s konvenčním provedením nabízejí větší množství chladícího vzduchu a menší hlučnost, což je také nezanedbatelný faktor.

## Konstrukce TR, TL a DPS

Ještě musím zmínit některé konstrukční díly. Transformátor je zhotoven na jádře E70 s plastovou kostičkou (obr. 21). Vinutí je provedeno lankem vlastní výroby. Lanko bylo zvoleno ze dvou důvodů. Za prvé je to kvůli ztrátám, jak známo skin efekt způsobuje rozdílnou proudovou hustotu uvnitř vodiče. Způsobuje, že se proud více soustřeďuje do obvodu vodiče, než do jeho středu. Použitím lanka sestávajícího z mnoha tenkých vodičů dojde k určitému vykompenzování těchto ztrát větším celkovým obvodem vodiče. Za druhé se takto zhotovený vodič mnohem snadněji ohýbá a lépe se vine na kostičku. Použil jsem smaltovaný vodič z většího solenoidu. Má průměr 0,3mm a pro primární vinutí je použito 64 vodičů (18 závitů), pro sekundární 90 vodičů (2x 4 závity). Trochu problematické je odizolování takového množství vodičů, osvědčilo se mi zastřížení svazku a následné ponoření do pícky s roztaveným cínem. Teplota pícky byla vyšší, než pro běžné pájení kabelových ok. Provedení silových vodičů transformátoru je zřejmé z obrázku 20. Svazky vodičů je třeba ovinout izolací, vhodná je teflonová instalátorská páska v několika vrstvách a na vrch bužírku. Na konce vinutí jsou připevněny faston konektory (primár) a kabelová oka (sekundár). Oba sekundární vodiče je vhodné vinout současně, vodič vedle vodiče, aby byly sekundáry co nejvíce symetrické. Konce vinutí jsou ke kostičce připevněny PVC páskami. Sesazená jádra jsou po obvodu ovinuta transformátorovým papírem a plášť jádra dělá rámeček z hliníkového plechu, který slouží k upevnění do DPS.

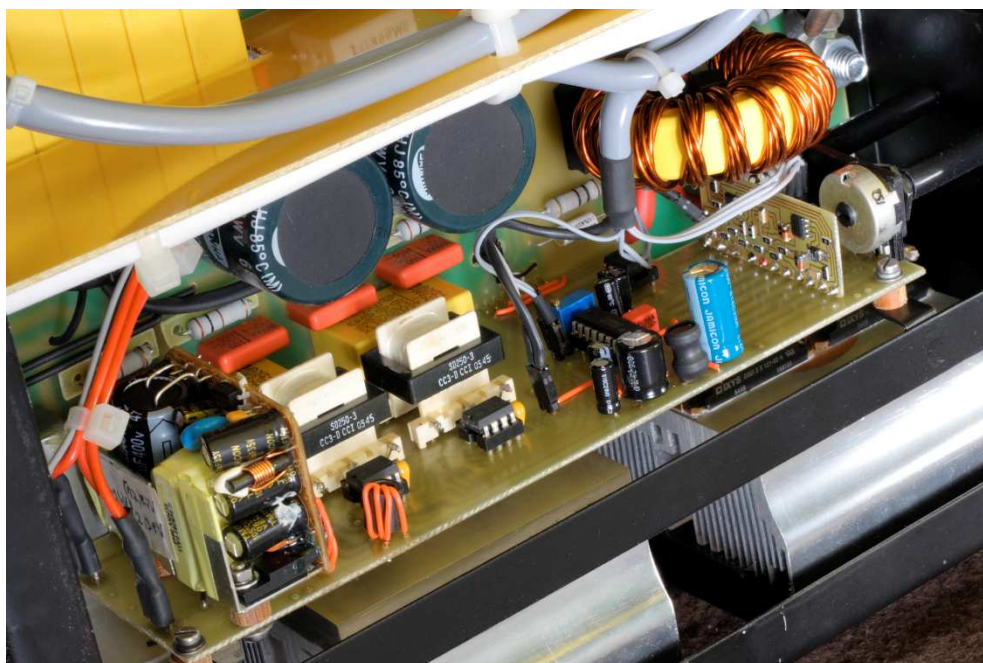
Výstupní tlumivku jsem navinul pěti vodiči o průměru 1,6mm, na indukčnost 33uH. Jeden vývod tlumivky se rozdvojuje a je připojen na DPS ke katodám diod. Celá tlumivka je k DPS připevněna PVC páskami a jádro je podloženo páskem gumy. Filtrační tlumivka na vstupu je vinuta dvakrát jedním vodičem o průměru 1,6mm (2x 13z.).

Deska plošných spojů silové části má pro zvýšení spolehlivosti měď o síle 90um. Materiál FR4 o síle 2.5mm. Spoje mezi transformátorem a diodami je vhodné posílit např. Cu pásovinou, aby se příliš nenamáhal spoj nadměrným proudem. Ostatní desky jsou již z běžného cuprexitu. V zapojení jsou použity tepelné pojistky. Ty mají chránit polovodiče a transformátor před přehřátím. 60°C mají pojistky na IGBT a na diodách, 80°C má pojistka na transformátoru. Tu je ideální během vinutí zaplést mezi závity.



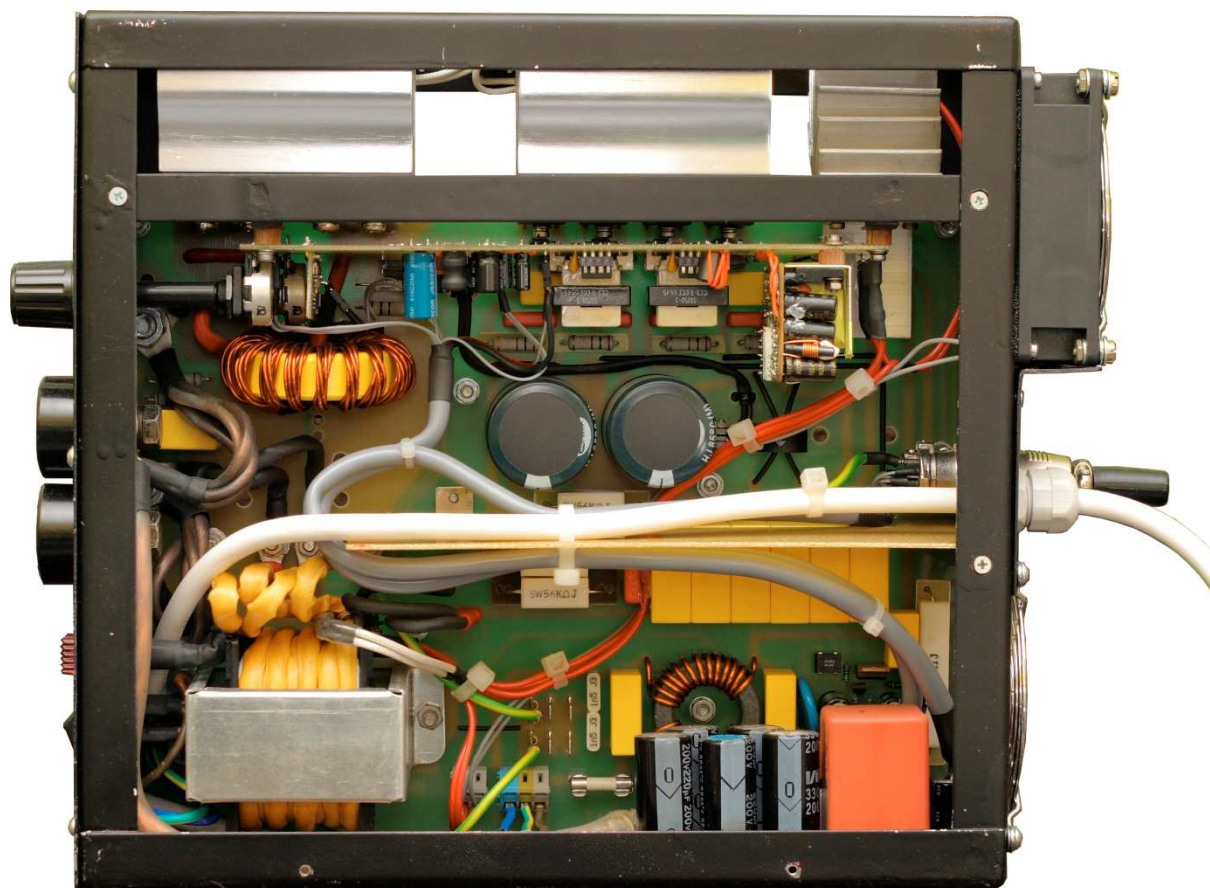
Obr.21

Náhled řídicí desky je na obrázku 22, dokončeného zařízení na obrázku 23.



Obr. 22





Obr. 23

## Dostupnost materiálu

Asi by bylo vhodné uvést několik tipů na použitý materiál. Jedná se většinou o výkonové součástky, které v běžných maloobchodech není možné sehnat. Transformátor jsem zakoupil jako náhradní díl ke svařečce ve firmě Omicron s.r.o. Použil jsem z něj jádro a kostřičku (původní vinutí odstraněno). Tamtéž jsem zakoupil elektrolytické filtrační kondenzátory a výstupní bajonetové svorky (ty se dají koupit v prodejnách se svařovací technikou). K sehnání by jádro mělo být i u zástupců firmy Epcos. Toroidní jádra byla zakoupena v prodejně GES electronics. Diody a IGBT jsem objednal z katalogu Farnell přes pardubickou firmu Rothsware. Chladiče polovodičů jsou běžné chladiče používané ve výpočetní technice na chlazení procesorů. V konstrukci použité byly zakoupeny v prodejně 100Mega. Relé 50A bylo použito demontované z nějakého nákladního vozidla, vyhoví prakticky každé, které má dostatečně velké kontakty. Kondenzátory do desky MIG jsou použity z vyřazených zdrojů PC. Pro zmenšení vnitřního odporu a z důvodů lepšího chlazení jich bylo použito větší množství, místo jednoho velkého.

## Závěr

Konstrukce prokázala možnost postavit svařovací invertor i v amatérských podmínkách, a to bez nutnosti snížení nároků na jeho vlastnosti, v neposlední řadě za akceptovatelné náklady.

**Rozpiska součástek****Silová část:**

R1	1 x 100/10W
R15,R8	2 x 100/2W
R7	1 x 56k
R5	4 x 56k/5W
R14,R21	2 x 10/2W
R16,R4,R6,R9,R12	5 x 10k
R2,R3,R10,R11	4 x 1k/2W
R20	1 x 220
R19	1 x 3k3
R17	1 x 330
R13	1 x 3M
R16	1 x 10k/2W
C2,C3	2 x 470n/250V~, fóliový, odrušovací
C7,C8	2 x 680μ/400V,RAD
C9,C11	2 x 680n/275V~, fóliový, odrušovací
C10	6 x 1uF/275V~, fóliový, odrušovací
C5	1 x 1n/1600V,FKP
C19	1 x 1u/275V~, fóliový, odrušovací
C21,C17	2 x 10n/400V,AX
C4,C14,C6,C13	4 x 100p/1600V, FKP
C18	1 x 4,7μ/400V, RAD
C20	1 x 470u/10V, RAD
C16	1 x 220n/275V~, fóliový, odrušovací
C12,C1	2 x 1n5/275V~, fóliový, odrušovací
C15	1 x 2n2/250V~, bezpečnostní
T1,T3,T2,T4	4 x HGTG20N60A4D
T5	1 x TIC106
T6	1 x KC639
L1,L2	1 x odrušovací tlumivka 2x 0.17mH, 2x 13 závitů, 1.6mm, feritový toroid 35mm, TF140-43
L3	1 x tlumivka 33μH, vinuto 5x 1.6mm, železoprachový toroid 51mm, T200-26
Br1	1 x KBPC 3506W
Br2	1 x DB104
Tr1	1 x jádro E70 3C90
	1 x Primár 18 závitů (64x průměr 0.3mm)
	2 x Sekundár 4 závitů (90x průměr 0.3mm)
Tr2	1 x CS1100L Coilcraft + 2x Cu vodič 1.5mm
D1,D2	2 x DSEI 2X 121-02
F1	1 x F 15A/1500A, 5x 20mm
F2	1 x T 1A, 5x 20mm
S2	2 x WSM9200, 2 póly 15A
VDR1	1 x varistor 275V~
M1	1 x Ventilátor Maglev 92x 92mm
K1	1 x relé Schrack RT314024,24V 16A
La1	1 x kontrolka zelená NSL224
Svorkovnice	5 x WAGO 236

Pojistkový držák	4 x PZ1001
Svorka FASTON	6 x CC341

**Řídící část:**

C40	1 x 1n, SMD 1206
C37	1 x 4n7, SMD 1206
C39,C38,C41,C43,C51	5 x 10n, SMD 1206
C24	1 x 470μ/35V, RAD
C25	1 x 470μ/25V, RAD
C22,C23,C26,C44,C42, C45,C53,C54	8 x 100n, SMD 1206
C27	1 x 10u/25V, RAD
C43,C49	2 x 10μ/35V, RAD
C48,C47	2 x 4μ7/35V, RAD
C55,C56	2 x 4μ7/25V, TAN
C50	1 x 2n2, fóliový
C52,C46	2 x 2n2, SMD 1206
D13	1 x 6V8 0,5W, SMD
D14,D15,D16	3 x S2M
D35,D17,D21,D22,D26, D27,D31,D34	8 x 18V/0,5W, SMD
D11,D18,D23,D30	4 x SK36A
D29	1 x 12V/0,5W, SMD
D28,D15,D14,D19,D20, D24,D25,D50,D51,D52, D53,D32,D33	13 x 1N4148, SMD
F1,F2	1 x Rozpínací tepelná pojistka 60°C (Diody, IGBT)
F3	1 x Rozpínací tepelná pojistka 80°C (Trafo)
L2	1 x Tlumivka 2x 2 závity, ferit průměr 8x 10 mm
L1	1 x 09P 100uH
La1	1 x kontrolka zelená NSL224
P1	1 x 4k7 P6M LIN
P2	1 x 4k7 P6S LIN
P3	1 x 500 trimr
R45,R43,R46,R59,R80, R72,R71,R68	8 x 10k, SMD 1206
R47	1 x 22k, SMD 1206
R50	1 x 15k, SMD 1206
R51	1 x 470, SMD 1206
R44	1 x 620, SMD 1206
R49,R52,R56,R64	4 x 1k, SMD 1206
R48,R67	2 x 180, SMD 1206
R53	1 x 8k5, SMD 1206
R57,R75,R76,R77	4 x 0, SMD 1206
R58	1 x 220k, SMD 1206
R57,R61,R65,R73	4 x 10
R54,R60,R63,R74	4 x 1k8
R79,R55,R62,R70,R78	5 x 47, SMD 1206
R69	1 x 5k1, SMD 1206



R66	1 x 5k6, SMD 1206
T7,T11	2 x BC817-16
T8,T9,T10,T12	4 x 2SB892
Tr4,Tr5	2 x SD250-3 Coilcraft
VR1	1 x OP07
VR2	1 x SG3525
VR3, VR4	2 x MC34151
Svorka FASTON	2 x CC341
Kontakt úhlové lišty	18 x
Měnič	1 x Měnič 230V/ 20V (rozebraný síťový adaptér 24V/ 1A, napětí sníženo na 20V)

**Deska ochrany proti přilepení (antistick):**

C1	1 x 22μ/10V, TAN, SMD
C2,C3	2 x 100n, SMD 1206
C4	1 x 220n, SMD 1206
D8,D11	2 x 6V2 0,5W, SMD 1206
D9	1 x 1N4148, SMD 1206
R28	1 x 100k, SMD 1206
R29,R46	2 x 10k, SMD 1206
R30,R32	2 x 56k, SMD 1206
R31,R47,R48	3 x 0, SMD 1206
R45	1 x 1k5, SMD 1206
R49,R50,R51	3 x 2k7, SMD 1206
R52	1 x 1k, SMD 1206
0	3 x 0, SMD 1206
VR1,VR2	2 x LM311D
Kontakt úhlové lišty	11 x

**Obvody MIG/MAG:**

C10,C18	2 x 330μ/400V
C11,C12,C13	3 x 220μ/400V
C14,C15,C17	3 x 100n, SMD 1206
C16	1 x 1000μ/25V
D5,D7	2 x 1N4148, SMD
D6	1 x 1N4007, SMD
D8	1 x 1N5408
Rel4,Rel6	2 x G5V1-24V
Rel5	1 x 24V 50A
R4	1 x 68/20W
R5	1 x 3k9/2W
R6	1 x 1k, SMD 1206
T2	1 x BC 817
Kontakt přímé lišty	16 x

Poznámka: označení součástek se vztahuje ke konkrétnímu schématu a spoji.

## Literatura:

<http://www.quido.cz/Objevy/svarovani.htm>

<http://www.svarbazar.cz/>

Konstrukční elektronika 5/2001

Svařování, E.Bernasová a kol.

Elektronika Praktyczna 11/99

Datasheet SG3525

Datasheet MC34151



Osazená deska silové části invertoru



Návarová housenka při 90A