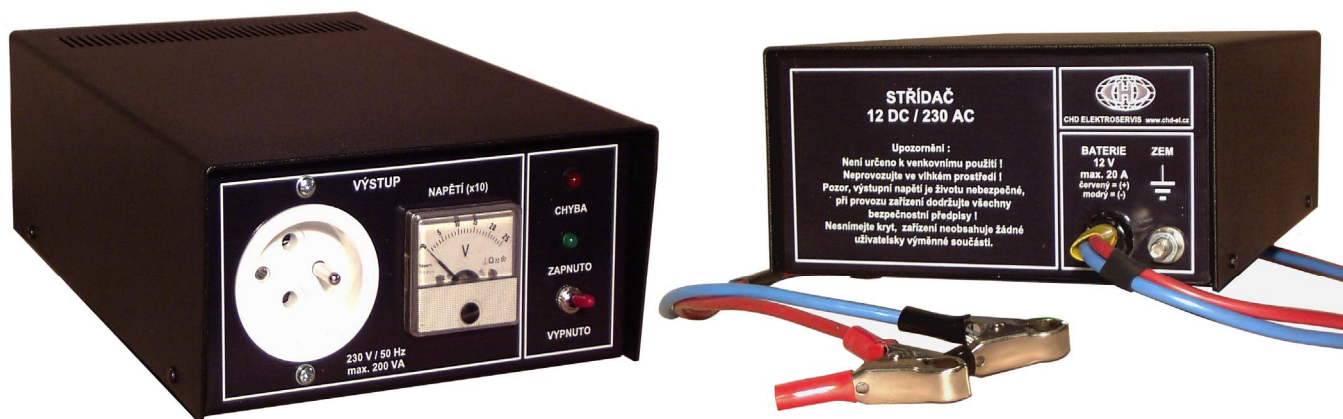
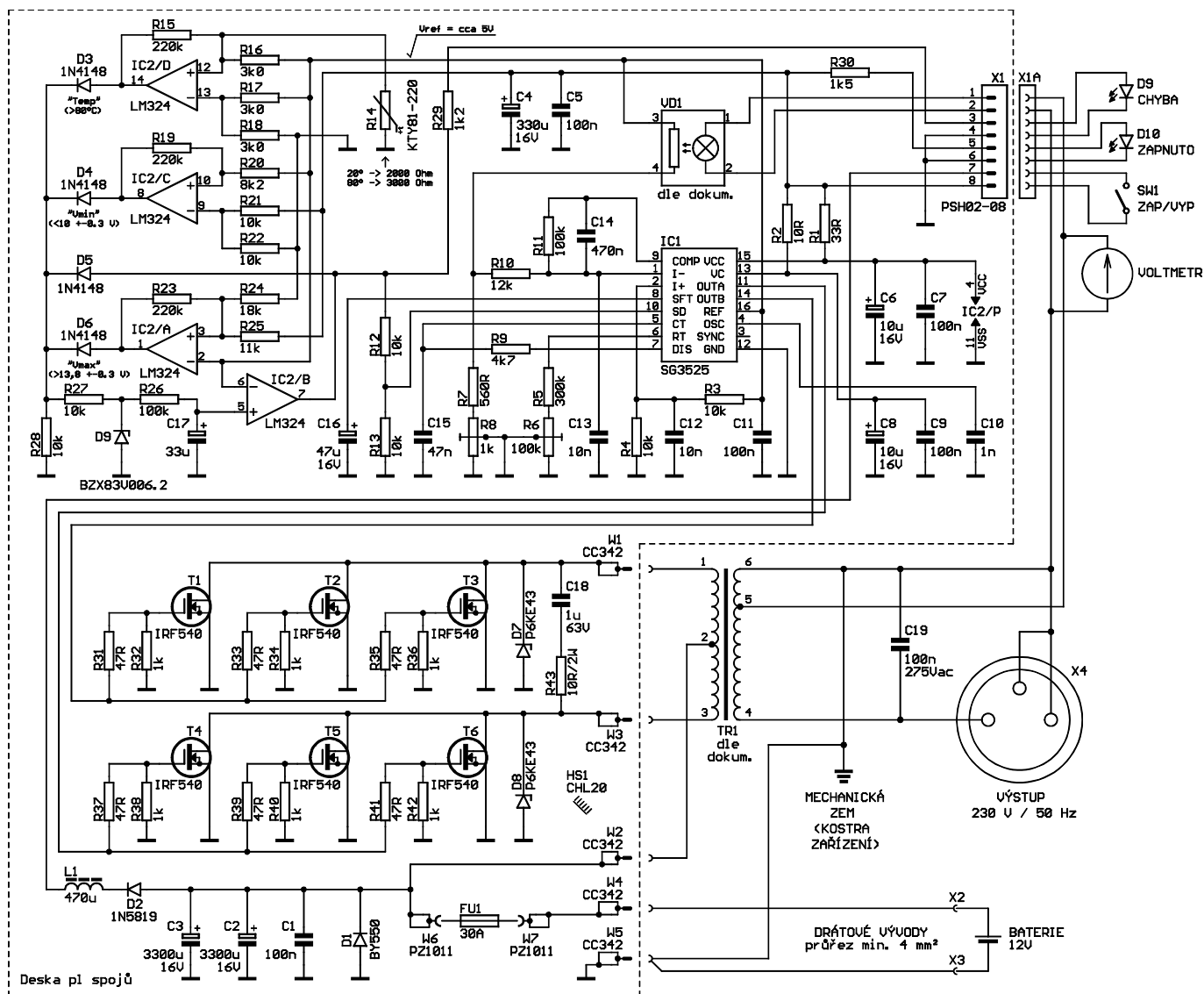




Popisovaný střídač vyrábí střídavé napětí 230 V / 50 Hz ze stejnosměrného napětí 12 V. V obytných přívěsech či chatách umožňuje napájet z dvanáctivoltové baterie běžné síťové spotřebiče s celkovým příkonem až do 300 VA.

POPIS ZAPOJENÍ A FUNKCE

Obr. 1 - Schéma zapojení



Obvodově lze střídač rozdělit na několik funkčních bloků: Výkonová část, šifkový modulátor a pomocné komparátory. Ve výkonové části je použito běžné zapojení dvojčinného měniče. Spínací tranzistory jsou mnohonásobně předimenzovány a to ze dvou důvodů - paralelním spojením se snižuje odpor v sepnutém stavu a tím i spínací ztráty a dále je nutno mít značnou rezervu pro nárazové proudy např. při rozběhu připojeného motoru či rozsvícení žárovky. V zapojení není použito žádné omezení maximálního zatěžovacího proudu - opravdu kvalitní limitace není úplně jednoduchá věc a rovněž není všemocná... Použitá tavná automobilová pojistka 30A pouze jistí proti požáru při destrukci spínacích tranzistorů. RC člen R43/C18 paralelně k primárnímu vinutí omezuje překmitý a spolu s paralelními transily napěťové namáhání MOS spínačů T1 až T6. Použitý driver SG3525 je v katalogovém zapojení, je pouze donucen pracovat na velmi nízkých kmitočtech. Proti běžnému zapojení pouze přibyl kondenzátor C10 který tlumí překmitý vnitřního klopného obvodu flip-flop. Za zmínku stojí pouze způsob regulace výstupního napětí. Není možné použít běžný způsob regulace pomocí usměrnění výstupního napětí a jeho komparace s referencí. Takto by došlo pouze k vytvoření usměrněného napětí o vrcholové velikosti dané napájecím napětím zvýšeném o transformační poměr. Čili vrcholovou hodnotu nelze regulovat. Velikost „napětí“ je řízena pouze šifkou budících impulsů a to tak, že odpovídá fyzikální definici efektivní hodnoty harmonického průběhu (integrování). Dojde-li k snížení vrcholové hodnoty výstupního napětí - ať už zvýšením zatížení nebo poklesem napětí baterie - dojde k prodloužení doby sepnutí výkonových spínačů. Po dlouhém laborování s všemožnými tvarovači, optočleny a usměrňovači jsem zvolil velmi primitivní metodu, jenž dává výborné výsledky: optická vazba pomocí žárovky a fotoodporu. Reakční doby nejsou úplně dokonalé, projevuje se zde doba dohasínání žárovky, odezva na pokles „napětí“ je trochu delší, odezva na nárůst je podstatně příznivější. Použitá žárovka má mít dobu života asi 6000 hodin při jmenovitém napětí (12V). Vzhledem k tomu, že svítí na napětí asi 6V, bude její životnost podstatně delší. Výroba optočlenu a součástky jsou popsány dále. Použijete-li jiné než popsané díly, bude patrně nutné změnit opory R7, R8 v regulační smyčce.

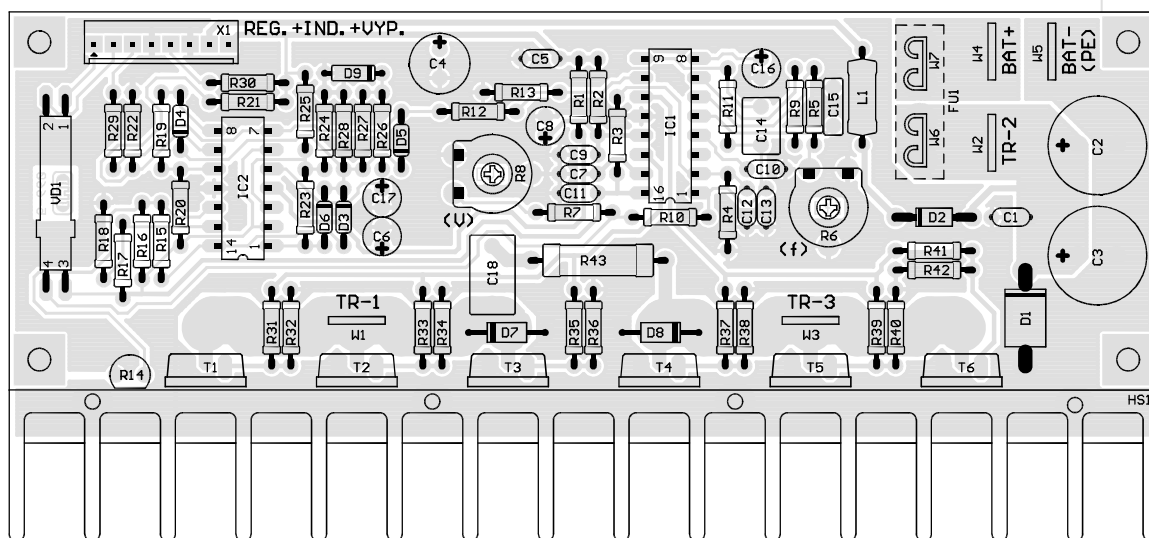
Dále je střídač vybaven třemi komparátory, jenž zajišťují jeho bezpečný provoz. Podpěťový komparátor (IC2/C) překlápá při poklesu napětí baterie pod cca 10V, tím zabrání jejímu úplnému vybití a zničení a zároveň zabrání „podpětí“ na výstupu. Přepětový komparátor (IC2/A) zabráňuje činnosti měniče při příliš vysokém napětí baterie např. při provozu ve vozidle se špatně seřízeným dobíjením. Sice by ještě nedošlo k poškození součástí střídače, ale vrcholová hodnota výstupního napětí by již přesáhla 340V, což je maximum, jenž může být v síti 230V ($230V + 5\% = 241,5V \times 1,41 = 340,5V$). Napájené spotřebiče se spínanými zdroji (TV, počítače, notebooky...) využívají právě usměrněné vrcholové hodnoty síťového napětí a mají filtrační kondenzátory na max. 350V. Vybavovací napětí komparátoru je 13,8V. Oba komparátory mají hysterezi asi 0,3V. Třetí komparátor (IC2/D) vyhodnocuje teplotu chladiče spínacích tranzistorů. Vybavovací teplota je cca 80°C (odpor čidla 3 kΩ). Jako čidlo je použit polovodičový prvek KTY81-220 (2 kΩ / 25°C), jeho montáž na chladič je popsána dále. Výstupy komparátorů jsou logicky sečteny a svedeny do čtvrtého komparátoru (IC2/B) s časovým zpožděním asi 5 sec. Toto zpoždění zabráňuje vypnutí měniče při krátkém poklesu vstupního napětí způsobeném např. prudkým zatížením. Tento komparátor má zavedenu zpětnou vazbu díky níž dojde k nevratnému přepnutí. Bez této vazby by vypnutí na podpětí při zatížení způsobilo následný vzrůst napětí baterie a opětovné spuštění měniče čili k rozhoupání. Nový start je tak možný až po vypnutí a novém zapnutí.

VÝROBA

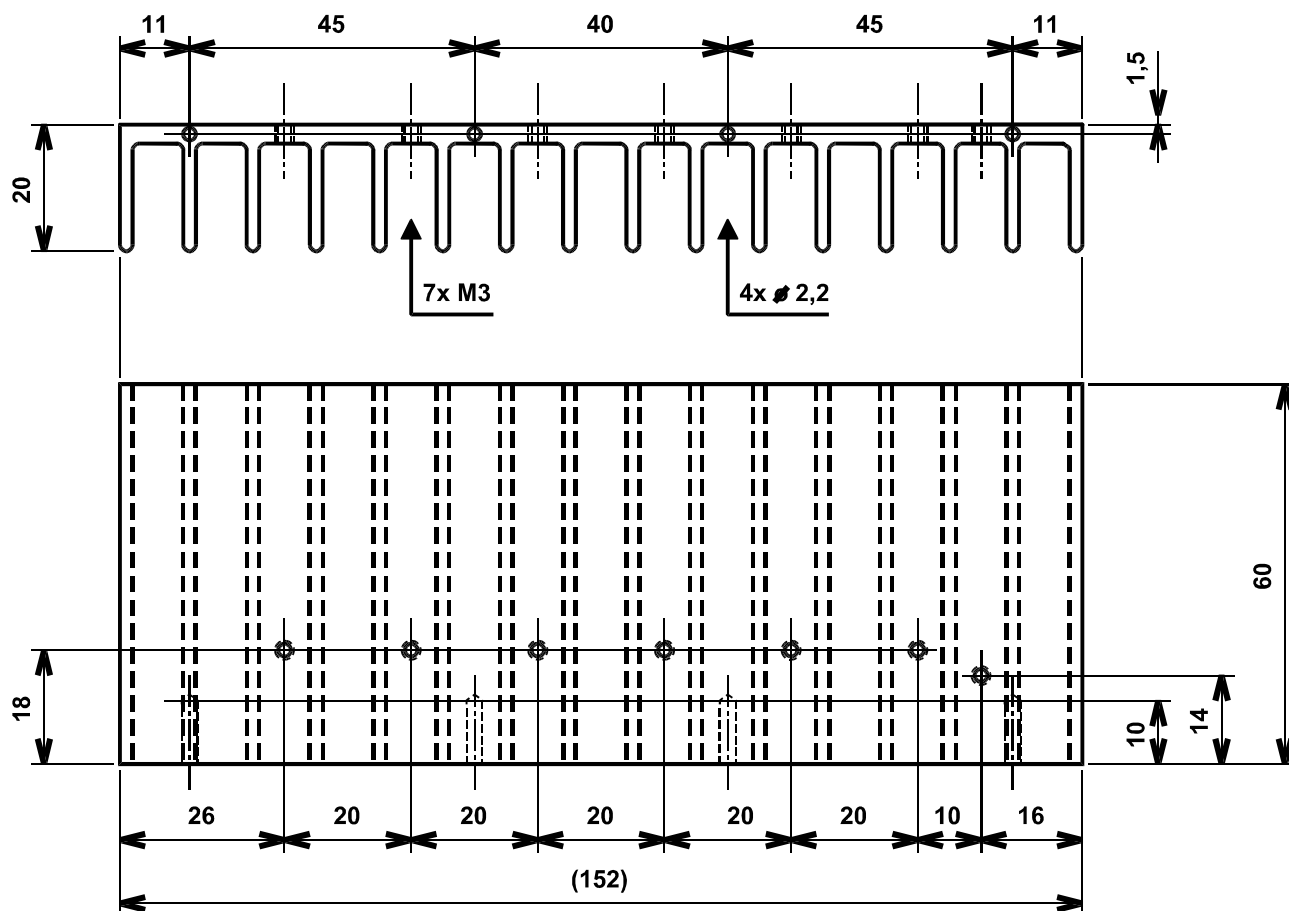
Většina součástek střídače je umístěna na jedné jednostranné desce plošných spojů podle obr. 2. Při osazování by se neměly vyskytnout žádné problémy. K desce je pomocí samořezných šroubů připevněn i chladič HS1. Vrtací výkres chladiče je na obr. 3. V rohových otvorech spojové desky jsou přišroubovány čtyři distanční sloupky délky 15 mm – za tyto sloupky se pak celý blok elektroniky připevňuje na dno pouzdra střídače – viz obr. 4. Tranzistory T1 až T6 musí být na chladiči montovány izolovaně podle obr. 5. Teplotní čidlo R14 je vhodné přitisknout k chladiči třmínkem vyrobeným např. z pájecího oka – viz obr. 6. Styčné plochy chladiče, izolačních podložek, tranzistorů a teplotního čidla jsou před montáží potřeny silikonovou vazelinou.

Lineární optočlen VD1 je třeba vyrobit z fotoodporu a žárovky. Nejjednodušší je vložit je proti sobě do teplem smršťovatelné bužírky o průměru cca 6 mm a zahřát ji – viz obr. 7. Vhodné typy žárovky a fotoodporu jsou uvedeny v seznamu součástek.

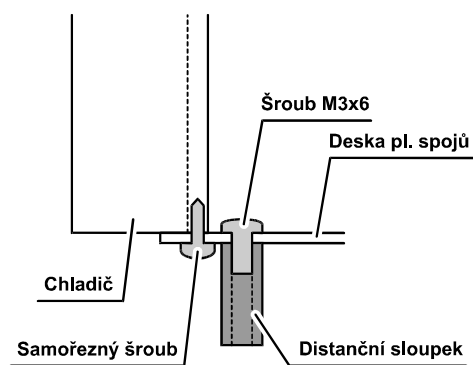
Obr. 2 - Osazení desky plošných spojů



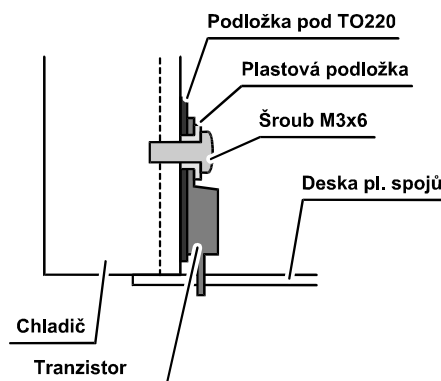
Obr. 3 – Vrtání chladiče



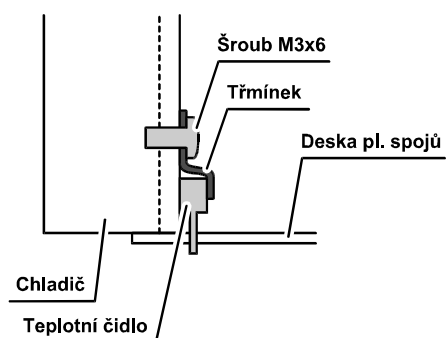
Obr. 4 - Montáž chladiče a distančních sloupků



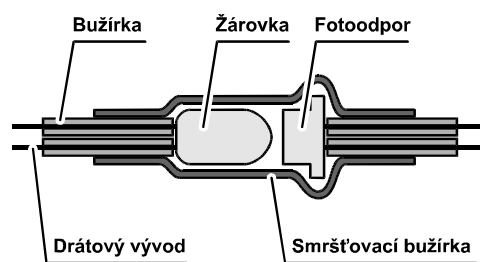
Obr. 5 - Montáž tranzistorů



Obr. 6 - Připevnění teplotního čidla



Obr. 7 - Výroba optočlenu



Mimo spojovou desku jsou umístěny vypínač SW1 a indikační LED D9 a D10. Tyto součástky se po namontování na panel (LED např. pomocí objímek) připojí ke konektoru X1a.

V prototypu byl namontován voltmetr výstupního napětí. Jeho použití není nutné, protože výstupní napětí střídače je v podstatě stabilizováno a voltmetr tedy stejně ukazuje stále stejnou hodnotu.

Důležitou součástí střídače je transformátor TR1. V prototypu byl transformátor vyroben s jádrem EE o výkonu 200VA, výhodnější je ale použít toroidní transformátor. Návrh a výpočet transformátoru se v podstatě řídí obecnými vztahy a pravidly. Při výpočtu ovšem postupujeme (oproti běžným zvyklostem) pozpátku:

Nejprve zvolíme vhodné jádro pro požadovaný přenášený výkon (maximálně však 300 VA).

Napětí (minimální, provozní) na vstupu po odečtení všech úbytků je 9,8V tj. budoucí vrcholová hodnota čili $6,95V_{EF}$

Transformační poměr: Při max. napětí baterie 13,5V musí být max. vrcholová hodnota na výstupu 330V ($235 V_{EF}$), tj. transformační poměr je 24,5.

Počet závitů na 1V lze zjistit obecným výpočtem nebo z tabulek (např. Sláva Nečásek: Radiotechnika do kapsy, nebo učebnice elektrotechniky pro průmyslovky...). Použijeme max. sycení 0,8T, u nových kvalitních plechů a toroidů až 1T. Je nutné snížené sycení z důvodu přenosu obdélníkového průběhu. Odměnou bude menší odběr naprázdno díky snížení magnetizačních ztrát. Potřebné počty závitů jsou pak dány vzorcem

$$N = U \cdot 10^4 / 4,44 \cdot f \cdot B \cdot S \quad \text{kde } N = \text{počet závitů vinutí}$$

$$U = \text{napětí na vinutí [V]}$$

$$f = \text{kmitočet [Hz]} = 50$$

$$B = \text{sycení [T]} = 0,8 \text{ až } 1$$

$$S = \text{čistý průřez železa jádra transformátoru [cm}^2\text{]}$$

Regulační odbočka je na sekundárním napětí 6V (tj. napětí mezi vývody č. 5 a č. 6 transformátoru TR1).

Proudovou hustotu vinutí je třeba volit max. $3 \text{ A} / \text{mm}^2$. Potřebný průřez vodičů pak je:

Sekundár: $I = 300 \text{ VA} / 230 \text{ V} = 1,3 \text{ A} \rightarrow d = 0,75 \text{ mm}$

Primár pro účinnost 85%: $P = 300 \text{ VA} \cdot 1,15 = 345 \text{ VA}$, $I = 345 / 7 = 49,3 \text{ A}$. Oba primáry běží paralelně, takže proud jedním vinutím je $49,3 \text{ A} / 2 = 24,6 \text{ A} \rightarrow d = 2,2 \text{ mm}$. Primární vinutí jsou navijena bifilárně.

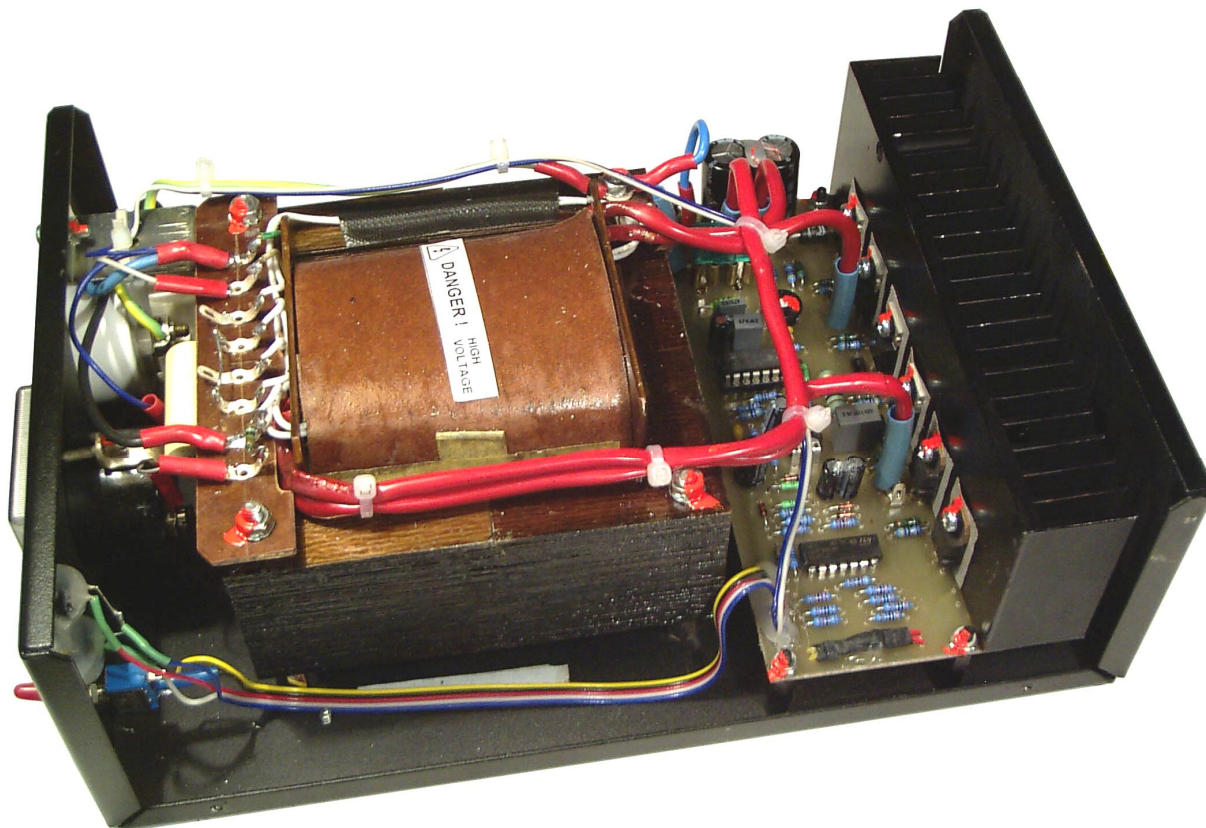
Z vypočtených hodnot je patrné, že bude nutné použít jádro s dostatečným prostorem pro vinutí, v případě EI plechů tedy raději podčtvercový průřez jádra.

Pokud si někde chcete nechat transformátor zakázkově vyrobit, je třeba zadat tyto údaje :

- výkon 300 VA
- primární vinutí 245V, odbočka na 6V
- sekundární vinutí 2x 10V naprázdno, vinuto bifilárně

Mechanická konstrukce střídače je přizpůsobena pro vestavbu do standardní plechové krabice typu KK-09-16251. Rozmístění jednotlivých součástí v krabici je dobře vidět na obr. 8.

Obr. 8 – Umístění dílů střídače v krabici



OŽIVENÍ A NASTAVENÍ

Po osazení je třeba desku plošných spojů pečlivě zkontrolovat, zda někde nevznikly můstky mezi spoji nebo naopak nejsou některé spoje přerušeny. Ožívování a nastavování je nejlépe provádět při napájení z nějakého regulovatelného laboratorního zdroje, stačí do 15V a 1A. Dále je potřebný osciloskop (nejlépe dvoukanálový), střídavý voltmetr a vhodný je i čítač. Při ožívování výkonové části je třeba postupovat velmi opatrně, pracuje se zde se životu nebezpečným napětím !

Odpojíme jeden odpor R12 (od pinu 7 IC2) a střed transformátoru (faston W2). Na přívodní fastony (W4, W5) připojíme regulovatelný zdroj a zapneme vypínač SW1. Osciloskopem zkontrolujeme signály na výstupech OUT-A a OUT-B IC1 (piny 11 a 14) proti zemi. Měly by být vidět obdélníkové budicí impulsy. Máme-li k dispozici dvoukanálový přístroj, můžeme zkontrolovat současně průběhy obou budicích větví včetně jejich fázového posunu (180°) a mrtvé doby („dead time“, DT) – viz obr 9. Po vypnutí (vypínačem SW1) a opětovném zapnutí by mělo být zřetelné, že se impulsy na výstupech IC1 postupně rozšiřují od minima do maxima (po dobu cca 1,5 až 2 sec). Dočasně odpojený konec odporu R12 zkusíme připojit na napájecí napětí (např. pin 4 IC2) - musí dojít k okamžitému zastavení měniče, po odpojení odporu R12 od napájecího napětí impulsy opět postupně najedou od minima do maxima.

Nyní pomocí osciloskopu (nebo výhodněji čítače) nastavíme kmitočet impulsů na výstupech OUT-A resp. OUT-B IC1 co nejpřesněji na 50 Hz – to se provede nastavením odporového trimru R6.

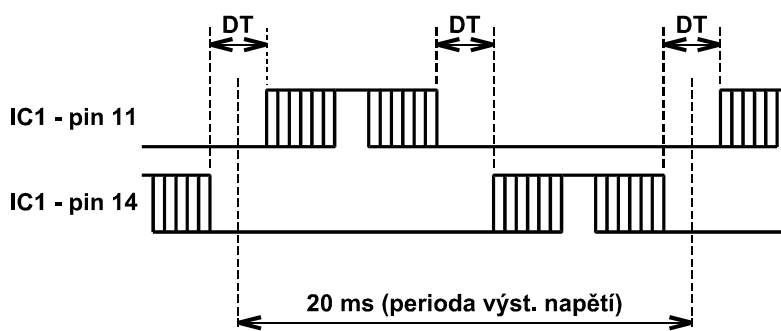
Dále můžeme vyzkoušet činnost komparátorů IC2. Podpěťový (IC2/C) i přepěťový (IC2/A) komparátor vyzkoušíme tak, že postupně měníme napájecí napětí okolo jejich komparační hodnoty (cca 10V resp. cca 13,8V) a osciloskopem nebo multimetrem sledujeme stav na jejich výstupu. Stav výstupů komparátorů lze kontrolovat také pomocí přípravku vyrobeného z 2mA LED a sériového odporu 4k7, katoda LED je připojena na zem, anoda pak přes sériový odpor k výstupu testovaného komparátoru. Pro test komparátoru teploty (IC2/D) je třeba nahradit čidlo R14 proměnným odporem 5 kΩ - při změnách odporu se musí komparátor překlápět. Hodnota proměnného odporu v okamžiku překlápění komparátoru by měla být 3 kΩ, což odpovídá odporu teplotního čidla při teplotě 80°C.

Pak zkontrolujeme zpoždovací obvod komparátorů (IC2/B). Po překlopení kteréhokoli z komparátorů vyčkáme asi 5 sec a poté musí se rozsvítit LED D9 („Chyba“) a musí již zůstat trvale svítit i po zpětném překlopení komparátoru (tj. i po odeznění poruchového stavu).

Nyní vrátíme vývod odporu R12 na své místo (k pinu 7 IC2) a připojíme i střed transformátoru (faston W2). Pokud je použitý napájecí zdroj schopen poskytnout proud alespoň 2 až 3A, pokračujeme v ožívování s ním, jinak musíme použít pro napájení střídače např. autobaterii. Osciloskop připojíme na odbočku na transformátoru (jeho vývody č. 5 a 6) a výstup střídače zatížíme žárovkou na 230V s příkonem cca 15 až 25W. Po zapnutí střídače (vypínačem SW1) musí být na osciloskopu vidět výstupní složený obdélníkový průběh. Při otáčení odporovým trimrem R8 se musí měnit šířka impulsů a jas žárovky, frekvence výstupního signálu však zůstává konstantní. Požadovanou velikost „napětí“ 230V (tj. šířku výstupních obdélníků) nastavíme trimrem R8 pomocí střídavého voltmetru připojeného paralelně k zatěžovací žárovce. Použitý voltmetr musí mít magnetoelektrický nebo termoelektrický měřicí systém. Kupodivu vyhovuje i obyčejný starý Avomet či DU-10 a podobné ručkové přístroje (umí s tím ale dnes ještě někdo měřit ?). Digitální přístroje jsou v tomto případě absolutně nepoužitelné, ukazují různé velké nesmysly podle způsobu A/D převodu. V nouzi lze velmi zhruba nastavit „výstupní napětí“ například porovnáním jasu dvou totožných žárovek (jedna připojená ke střídači, druhá k síťovému napětí) a papíru s mastnou skvrnou mezi žárovkami - viz optika pro střední školy.

Tímto lze považovat střídač za oživený a seřízený. Můžeme ještě vyzkoušet provoz na baterii s maximální povolenou zátěží.

Obr. 9 – Průběh signálů



SEZNAM SOUČÁSTEK

Součástky bloku elektroniky				
Označení	Množství	Název	Hodnota / typ	Pozn.
R2	1 ks	odpor 0,5W	10R	
R1	1 ks	odpor 0,5W	33R	
R31, R33, R35, R37, R39, R41	6 ks	odpor 0,5W	47R	
R7	1 ks	odpor 0,5W	560R	
R32, R34, R36, R38, R40, R42	6 ks	odpor 0,5W	1k	
R29	1 ks	odpor 0,5W	1k2	
R30	1 ks	odpor 0,5W	1k5	
R16, R17, R18	3 ks	odpor 0,5W	3k0	
R9	1 ks	odpor 0,5W	4k7	
R20	1 ks	odpor 0,5W	8k2	
R3, R4, R12, R13, R21, R22, R27, R28	8 ks	odpor 0,5W	10k	
R25	1 ks	odpor 0,5W	11k	
R10	1 ks	odpor 0,5W	12k	
R24	1 ks	odpor 0,5W	18k	
R11, R26	1 ks	odpor 0,5W	100k	
R15, R19, R23	1 ks	odpor 0,5W	220k	
R5	1 ks	odpor 0,5W	300k	
R43	1 ks	odpor 2W	10R	
R8	1 ks	odporový trimr PT10V	1k	
R6	1 ks	odporový trimr PT10V	100k	
R14	1 ks	teplotní čidlo	KTY81-220	
C10	1 ks	keramický kondenzátor	1n	
C12, C13	2 ks	keramický kondenzátor	10n	
C1, C5, C7, C9, C11	5 ks	keramický kondenzátor	100n	
C6, C8	2 ks	elektrolyt. kondenzátor	10μ / 16V	
C17	1 ks	elektrolyt. kondenzátor	33μ / 16V	
C16	1 ks	elektrolyt. kondenzátor	47μ / 16V	
C4	1 ks	elektrolyt. kondenzátor	330μ / 16V	
C2, C3	2 ks	elektrolyt. kondenzátor	3300μ / 16V	
C15	1 ks	svítkový kondenzátor CF1	47n / 40V	
C14	1 ks	svítkový kondenzátor CF1	470n / 40V	
C18	1 ks	svítkový kondenzátor CF3	1000n / 63V	
L1	1 ks	tlumivka axiální	470 μ	
(součást VD1)	1 ks	žárovka 12V/50mA	ZG1	
(součást VD1)	1 ks	fotoodpor 2kΩ ~ 20kΩ	LDR04	dodavatel PS electronic
(součást VD1)	cca 30 mm	smršťovací bužírka	prům. 6 mm	
D1	1 ks	dioda	BY550	
D3, D4, D5, D6	4 ks	dioda	1N4148	
D2	1 ks	dioda schotky	1N5819	
D7	1 ks	dioda zenerova	BZX83V006.2	
D8, D9	2 ks	transil	P6KE43	
T1, T2, T3, T4, T5, T6	6 ks	tranzistor N-MOSFET	IRLZ34N (IRFZ44)	I _D 30A, V _{DS} 55V
(pro montáž T1 až T6)	6 ks	izolační podložka pod TO200		
(pro montáž T1 až T6)	6 ks	plastová podložka – hříbek pro TO220		
IC1	1 ks	spínaný regulátor	SG3525	
IC2	1 ks	4x oper. zesilovač	LM324	
X1	1 ks	konektor se zámkem	PSH02-08	
W1, W2, W3, W4, W5	5 ks	vidlice faston 6,3 mm do DPS	CC342	dodavatel Enika
W6, W7 (držák FU1)	2 ks	zásuvka faston 6,3 mm do DPS	PZ1011	dodavatel Enika
FU1	1 ks	auto-pojistka	30 A	
HS1	1 ks	chladič	CHL20 dl. 60 mm	dodavatel EZK
-	1 ks	deska plošných spojů	dle dokumentace	
-	4 ks	dist. sloupek Ms 15 mm	DI5M3x15	
(pro montáž HS1)	4 ks	samořezný šroub	prům. 2,6 x 6	
(pro montáž R14, T1 až T6 a distančních sloupků)	11 ks	šroub	M3 x 6	

Součástky mimo spojovou desku				
Označení	Množství	Název	Hodnota / typ	Pozn.
TR1	1 ks	transformátor	dle dokumentace	
C18	1 ks	svítkový kondenzátor CFAC	100n / 275 VAC	
SW1	1 ks	páčkový vypínač	např. KNX-1	
D9	1 ks	LED 5 mm červená	libovolná, 10mA	
D10	1 ks	LED 5 mm zelená	libovolná, 10mA	
(pro montáž D9, D10)	2 ks	objímka na LED prům. 5 mm	např. LD500	
X1a	1 ks	zásuvka se zámkem	PFH02-08P	
X2, X3	2 ks	klešťová svorka	K266B	
X4	1 ks	síťová zásuvka panelová	dle požadavku	
-	1 ks	kabelová průchodka	dle přívod. vodičů	
-	1 ks	pouzdro – kovová krabice	KK-09-16251	dodavatel PS electronic
-	dle potřeby	kabelové zásuvky faston 6,3 mm		
-	dle potřeby	propojovací vodiče		
-	dle potřeby	spojovací mat.		

TECHNICKÉ ÚDAJE

Vstupní napětí : stejnosměrné 10V ~ 13,8V (baterie 12V)
 Vstupní proud : - naprázdno cca 0,3 A
 - při zátěži 300 VA cca 29 A
 Jištění vstupu : tavná pojistka 30A
 Výstupní výkon : dle transformátoru, max. 300VA
 Výstupní napětí : střídavé 230V / 50Hz
 Účinnost : min. 85%
 Typ regulace : PWM
 Chybové stavy : - podpětí na vstupu (zabraňuje úplnému vybití baterie)
 - podpětí na vstupu (zabraňuje nekontrolovanému nárůstu napětí na výstupu)
 - přehřátí střídače