

Sít'ový spínaný napájecí zdroj

Ing. Josef Jansa, Jaroslav Klátíl OK2JI

Tento příspěvek se zabývá ověřením funkce obvodu řady LinkSwitch[®] ve spojení s transformátorem na jádře KOOL M μ . Dosud publikované jednoduché spínané napájecí zdroje, vhodné i pro amatérskou konstrukci, pracují většinou jako měniče DC/DC s relativně nízkým vstupním stejnosměrným napětím (nejvýše desítky voltů). Mají-li tedy pracovat jako síťové zdroje, neobejdou se bez klasického síťového transformátoru, který je zároveň bezpečnostním prvkem zdroje. Samozřejmě není problém nalézt i celou řadu zapojení zpracovávajících přímo usměrněné síťové napětí. Ty jsou však vesměs poměrně složité a zejména navijecí předpis transformátoru na skládaných feritových jádrech případného zájemce od vlastní realizace spolehlivě odradí.

Tuto situaci mohou změnit integrované obvody řady LinkSwitch[®] firmy Power Integrations, které obsahují prakticky veškeré aktivní prvky jednoduchého izolačního akumulárního (blokujícího) měniče s výkonem několika W, napájeného přímo usměrněným síťovým napětím. Relativně jednoduchý transformátor na skládaném mezerovém feritovém jádru lze navíc dále zjednodušit použitím moderních slitinových toroidů.

Popis zapojení

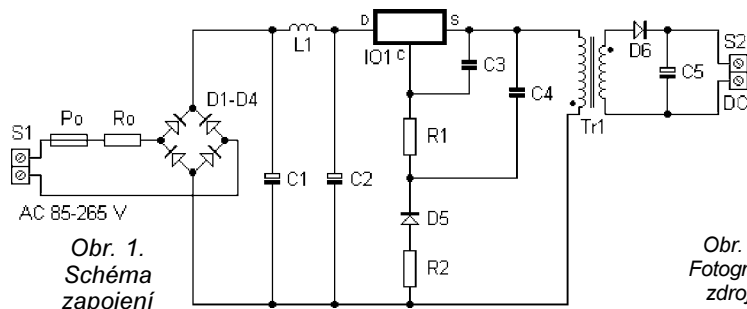
Pro ověření funkce byl vybrán obvod typu LNK501P, s nímž lze realizovat velmi malé, levné a provozně úsporné spínané napájecí zdroje s charakteristikou CV/CC (konstantní napětí/konstantní proud). Jsou podle výrobce vhodné zejména jako nabíječky akumulátorů a síťové napáječe mobilních telefonů, MP3 přehrávačů, digitálních fotoaparátů, PDA, přijímačů GPS apod. V malém pouzdře DIP8 jsou integrovány veškeré řídicí, regulační a ochranné obvody a rovněž vn spínací MOSFET. Rozměry pouzdra samozřejmě limitují dosažitelný výkon spínaného zdroje - asi 3 W, jsou však pro danou oblast použití plně dostačující.

Nemá smysl uvádět podrobné detaily a technické parametry obvodu, neboť je lze včetně aplikačních doporučení nalézt na [1].

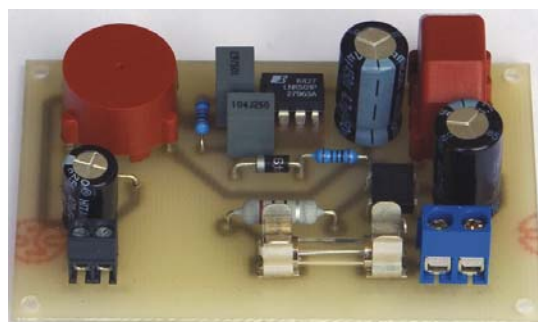
Tedy jen stručný přehled:

- rozsah vstupních st napětí 85 až 265 V;
- výstupní výkon až 3 W,
- spotřeba naprázdno pod 300 mW;
- účinnost 70 až 75 %;
- pevný pracovní kmitočet 42 kHz;
- výstupní charakteristika CV/CC;
- integrovaná tepelná ochrana;
- transformátor má jen dvě vinutí.

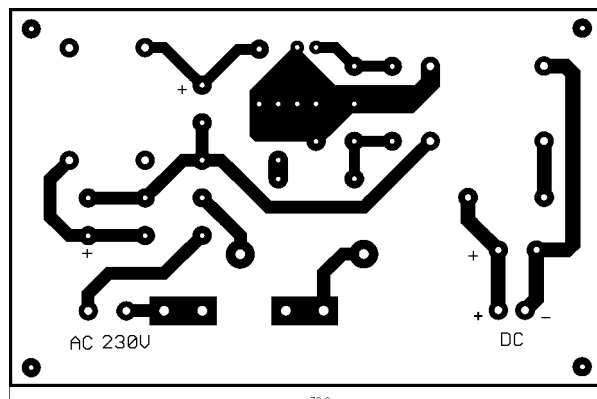
Vlastnosti obvodu byly ověřeny v zapojení podle obr. 1, které je prakticky totožné s doporučením výrobce. Představuje zdroj 5,5 V/500 mA s charakteristikou CV/CC. Je vhodný např. jako síťový zdroj či nabíječka zařízení napájeného čtyřmi NiCd/NiMH akumulátory. Hodnoty a typ součástek (viz rozpiska) není bez důkladného prostudování podkladů výrobce radno měnit. Deska s plošnými spoji je na obr. 2 a 3 a fotografie vzorku na obr. 4.



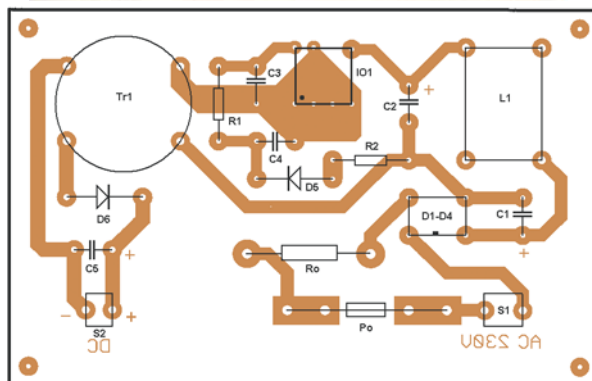
Obr. 1. Schéma zapojení



Obr. 4. Fotografie zdroje



Obr. 2. Deska s plošnými spoji zdroje



Obr. 3. Rozmístění součástek zdroje

Transformátor

Klíčovou součástí měniče je transformátor, který musí splňovat řadu parametrů:

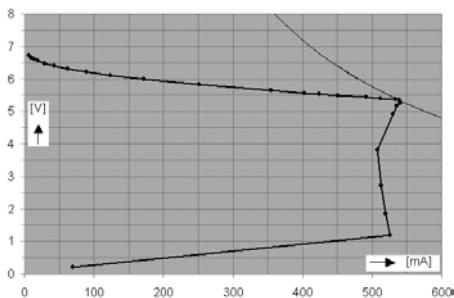
- malá rozptylová indukčnost (výrobce doporučuje pod 50 μ H);
- úzká tolerance primární indukčnosti (platí zejména pro sériovou výrobu);
- schopnost přenést na pracovní frekvenci potřebný výkon s minimálními ztrátami v jádře i ve vinutí;
- co nejmenší rozměry;
- dostatečná izolace primár/sekundár (st napětí nejméně 2500 V).

Výrobce doporučuje pro realizaci transformátoru feritové jádro EE13 s A_L konstantou 190 nH/z², čemuž odpovídá u jader z běžných výkonových feritů vzduchová mezera 0,08 mm. Při toleranci indukčnosti ± 10 % a dostatečně úzké toleranci hodnot ostatních součástek je přítom v sériové produkci zaručena poloha bodu maximálního výkonu, tj. bodu přechodu charakteristiky CV do oblasti CC, s vyhovující přesností ± 20 %.

Konstrukce transformátoru s mezerovým skládaným jádrem s sebou však nese jisté úskalí. Jde zejména o to, že vzduchové mezery (zejména hlavní na středním sloupku, ale i zbytkové na styčných plochách) způsobují „vufukování“ magnetického toku mimo jádro. Kromě prostorem se šířícího rušení tak může příliš jednoduše realizovaný transformátor ovlivňovat součástky ve svém okolí a tím i správnou činnost zdroje. Tomuto problému se obvykle čelí pomocným stínicími vinutím a obalením sestaveného transformátoru uzemněnou měděnou páskou.

Při sériové automatizované výrobě není výroba takového transformátoru jistě problém, pro kusovou výrobu však poněkud ano. Protože je navíc dostupnost skládaných mezerových jader z materiálu typu H21 (N27) či lépe H24 (N67) a kostiček k nim u nás mírně řečeno problematická, byl místo doporučeného jádra EE13 použit toroid z materiálu KOOL M μ [2] s podobnými magnetickými rozměry.

U toroidu sice do značné míry odpadají problémy se vzduchovou mezerou a rušením, zabezpečit izolační bezpečnost transformátoru je však poněkud složitější. Na malém jádře totiž není pro strojní bandáž dostatek místa a ruční navijení izolační pás-



Obr. 5. Výstupní charakteristika zdroje

ky je přece jen nepraktické. Proto byl na sekundární vinutí použit vodič typu TEX se zaručenými izolačními vlastnostmi, které umožní vinout toroidní transformátor bez dodatečné izolační vrstvy mezi vinutími. Spolu s plným zalitím jádra tak lze bez problému dosáhnout požadovanou bezpečnost.

Realizovaný transformátor (viz rozpiska) splnil požadavky na něj kladené dokonale:

- rozptylová indukčnost 36 μH ;
- tolerance primární indukčnosti v řádu jednotek procent;
- i při trvalé práci v oblasti maximálního výkonu jen nepatrné oteplení;
- zastavěná plocha srovnatelná s transformátorem na jádře EE13;
- izolační (st napětí) odolnost 4000 V.

Naměřené hodnoty

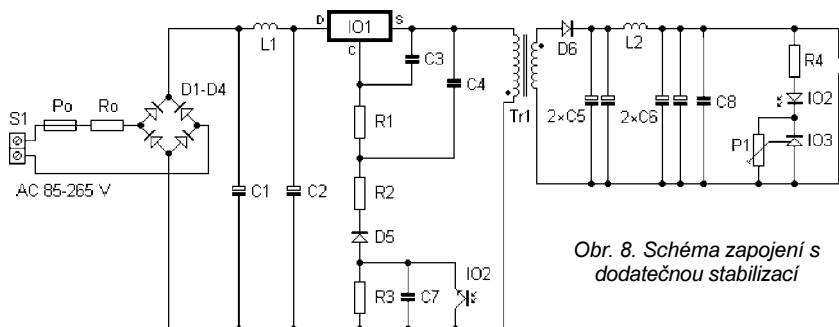
Výstupní charakteristika zdroje na obr. 5 prozrazuje, že bylo dosaženo maximálního výkonu 2,88 W (do grafu je vynesena hyperbola tohoto výkonu), tedy praktické shody s 2,75 W udávanými výrobcem.

Ze sklonu oblasti CV lze odhadnout výstupní odpor zdroje na asi 2 Ω , přičemž z typické charakteristiky uvedené výrobcem lze usoudit na hodnotu vyšší než 3 Ω . Zda jde o vliv rozptylu parametrů obvodů LNK501P či o příznivý vliv použitého transformátoru však zjišťováno nebylo.

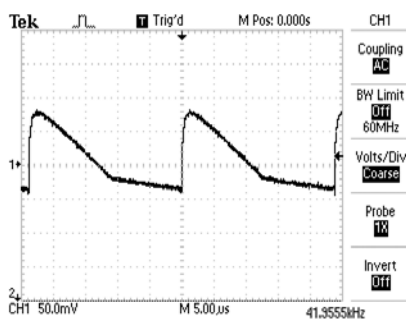
Obr. 6 ukazuje oscilogram výstupního napětí v blízkosti maximálního výkonu. Je z něj dobře patrné pro akumulaci měnič typické pilové zvlnění s amplitudou zhruba 120 mV. Pro funkci nabíječky akumulátorů je tento průběh zcela vyhovující, pro napájení citlivých zařízení by bylo vhodné zařadit výstupní LC filtr.

Pozn.: Při tomto měření je nutné dbát na co nejkratší uzemnění hrotu osciloskopu. V opačném případě se do vzniklé smyčky na indukují rušivé impulsy, vznikající při spínání MOSFET - příklad téhož měření s běžným zemnicím kablíkem délky asi 5 cm (viz obr. 7).

V jednom bodě výstupní charakteristiky, a to zhruba uprostřed oblasti CV, byl závěrem zběžně ověřen výrobcem udávaný rozsah vstupních napětí. Při napájení měniče z 85 V přitom nebyla ve srovnání s napájením z 220 V zaznamenána prakticky žádná změna výstupního napětí. Zapojení s LNK501P je tedy bez jakékoliv změny - samozřejmě vyjma provedení síťové zástrčky - univerzálně použitelné kdekoli na světě.



Obr. 8. Schéma zapojení s dodatečnou stabilizací



Obr. 6. Oscilogram výstupního napětí v blízkosti maximálního výkonu

Zapojení s dodatečnou stabilizací výstupního napětí

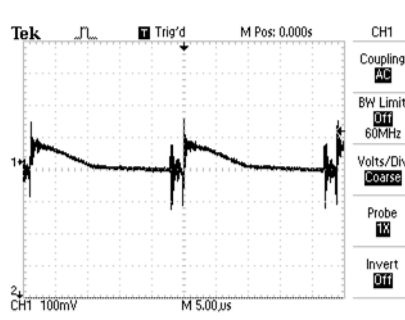
Výrobce ve svých doporučeních zmiňuje možnost doplnit měnič velmi jednoduchou dodatečnou stabilizací výstupního napětí, jejímž úkolem je „vylepšit“ průběh výstupní charakteristiky v oblasti CV a rovněž zajistit zúžení tolerance výstupního napětí při sériové výrobě. Tato možnost byla prověřena v zapojení podle obr. 8, které představuje stabilizovaný zdroj 13,8 V/230 mA doplněný LC filtrem výstupního napětí. (Stabilizaci zajišťuje optočlen IO2, „opřeny“ o trimrem P1 nastavitelnou referenci IO3.)

Oproti zapojení z obr. 1 byl použit transformátor s mírně zvětšenou primární indukčností, což se projevilo zvýšením maximálního výkonu na asi 3,3 W. (Upozornění pro další zvětšování primární indukčnosti a tím i výkonu: výrobce nedoporučuje překročit asi 3,5 W.)

Při ožiování měniče je vhodné dodatečnou stabilizaci dočasně vyřadit, tedy např. neosadit IO2 - stabilizační zpětná vazba se neuplatní a zdroj se bude chovat jako varianta z obr. 1. Po ověření správné funkce měniče lze IO2 osadit a trimrem P1 nastavit požadované výstupní napětí.

Obr. 9 zachycuje jak charakteristiku zdroje bez dodatečné stabilizace, tak i se stabilizací nastavenou na koncové napětí 13,8 V a na střední napětí 12 V. Je zřejmé, že tato stabilizace snižuje sklon CV oblasti charakteristiky asi na polovinu. Větším přínosem je však možnost regulace výstupního napětí v překvapivě širokých mezích, přičemž nejvyšší dosažitelný výstupní proud „klouže“ po hyperbole maximálního výkonu. Na oblast CC však nemá dodatečná stabilizace podle očekávání téměř žádný vliv - po zmenšení zatěžovacího odporu pod příslušný max. výkon všechny tři charakteristiky prakticky splývají.

Tento měnič je použitelný jako síťový zdroj či nabíječka s nastavitelným výstupním napětím pro zařízení napájená z malých hermetických 12 V olověných akumulátorů či osmi až deseti akumulátorů NiCd/NiMH. Lze ji použít též jako „zimní kondicioner“ autobaterií (trvale připojená nabíječka s malým proudem a definovaným koncovým napětím). Díky kvalitnímu výstupnímu filtru je zvlnění jeho výstupního napětí velmi malé - viz obr. 10. Na obr. 11 je fotografie hotového výrobku, na



Obr. 7. Příklad měření s běžným zemnicím kablíkem délky asi 5 cm

obr. 12 a 13 pak deska s plošnými spoji a rozmístění součástek.

Rušení

Zajímavým testem, který popisovaný měnič s LNK501P na závěr podstoupil, byla praktická zkouška rušení radiových přijímačů, tedy citlivého místa každého spínaného zdroje. V dobře vybaveném „ham-shacku“ OK2JI přitom bylo zjištěno:

- Je vhodné zvětšit hodnoty filtračních kondenzátorů C1 a C2, neboť do výstupu proniká zejména při větším proudovém odběru zbytkové zvlnění 100 Hz, viditelné i na osciloskopu.

- Měnič je zdrojem vř rušení šířícího se zejména síťovým přívodem. S kmitočtem sice hladina rušení klesá, v těsné blízkosti přijímací antény jej však lze zachytit ještě v pásmu 144 MHz. Toto rušení lze citelně potlačit již pouhým připojením svítkového kondenzátoru přímo ke vstupním svorkám S1.

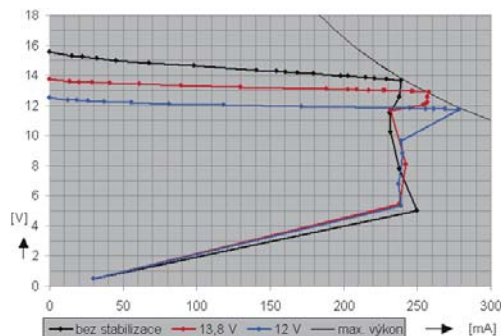
- Samotná deska měniče vyzařuje podstatně méně, přičemž „ohnisky“ jsou podle očekávání transformátor a obvod LNK501P.

Ve světle těchto poznatků lze doporučit měnič doporučit zejména jako nabíječku akumulátorů a síťový zdroj pro přímé napájení drobných spotřebičů či jiných elektronických obvodů, u nichž není na závadu zvýšená hladina vysokofrekvenčního rušení. Pro napájení zařízení na rušení citlivých by bylo nutné doplnit měnič kvalitním vstupním filtrem s proudově kompenzovanou tlumivkou a kondenzátory C_x, popř. i C_v [4], který však konstrukci prodraží a zvětší její rozměry.

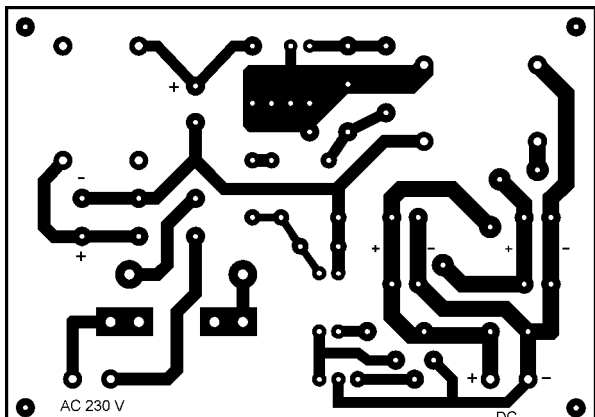
Dostupnost součástek

Pro individuální výrobu transformátoru lze u firmy PMEČ Šumperk [3] objednat primární vinutím (238 z. 0,15 mm) ovinuté jádro KOOL M μ , plastové pouzdro 1/H a asi 2 m vodiče TEX0200.

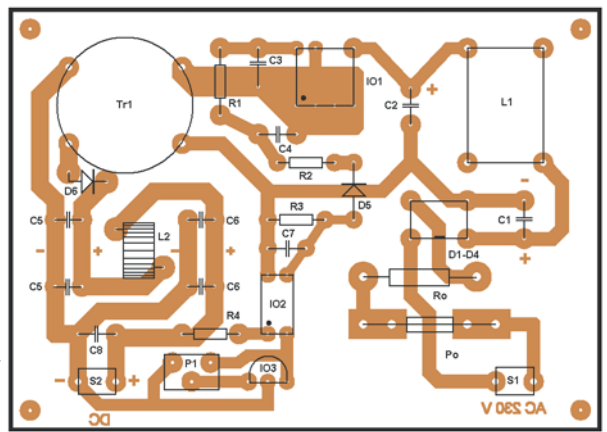
Počet závitů sekundáru, navinutých tímto vodičem, se při dodržení hodnot ostatních součástek volí podle požadované velikosti výstupního napětí v oblasti maximálního vý-



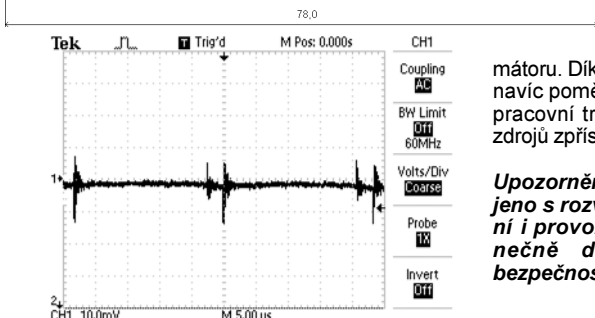
Obr. 9. Charakteristika zdroje bez dodatečné stabilizace i se stabilizací



Obr. 11. Deska s plošnými spoji zdroje



Obr. 12. Rozmístění součástek zdroje



Obr. 10. Zvlnění výstupního napětí

mátoru. Díky moderním toroidním jádrům lze navíc poměrně jednoduše realizovat i jejich pracovní transformátor, což stavbu těchto zdrojů zpřístupňuje široké amatérské obci.

Upozornění: zařízení je galvanicky spojeno s rozvodnou sítí a při jeho ožívání i provozu je proto nutné bezpodmínečně dodržet veškeré příslušné bezpečnostní předpisy a opatření.

Literatura

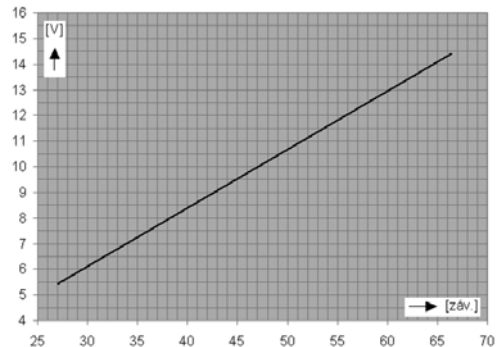
- [1] www.powerint.com/datasheets.htm
- [2] Jansa, J., Jansa J. jun.: Tlumivky s práškovými jádry pro spínané zdroje. PE 1/2004.
- [3] info@pmeec.cz
- [4] Jansa, J.: Potlačení rušení v pásmu 10 kHz až 30 MHz. PE 9-10/1999.

Seznam součástek

Obr. 1

- Ro 10 Ω/1 W, TR 276
- R1 20 kΩ/0,25 W ± 1 %
- R2 100 Ω/0,25 W
- C1 4,7 μF/450 V, elyt. GME
- C2 4,7 μF/450 V, elyt. GME
- C3 1 μF/min 10 V, GME
- C4 100 nF/100 V, plast. GME
- C5 470 μF/25 V s malým ESR
- IO1 LNK501 (DIP8)
- D1 až D4 B380C1000DIL 1 A/600 V
- D5 1N4937 (rychlá dioda 600 V)
- D6 SB160 (Schottky 1 A/min 60 V)
- L1 0,68 až 2,2 mH/min 80 mA
- Tr1 jádro R13 KOOL Mμ 125 zákaznický transformátor PMECC; prim. 229 z. 0,15 mm; sek. 26 z. TEX0300

- Po T 200 mA v držáku do DPS
- S1 svorkovnice 300 V GME ARK500/2B
- S2 svorkovnice GME ARK550/2



Obr. 14.

Obr. 8

- Ro 10 Ω/1 W, TR 276
- R1 10 kΩ/0,25 W ± 1 %
- R2 100 Ω/0,25 W
- R3 10 kΩ/0,25 W ± 1 %
- R4 1,2 kΩ/0,25 W
- P1 20 kΩ, cemetový
- C1 4,7 μF/450 V, elyt. GME
- C2 4,7 μF/450 V, elyt. GME
- C3 1 μF/min 10 V, GME
- C4 100 nF/100 V, plast. GME
- C5 2x 100 μF/50 V elyt. GME
- C6 2x 100 μF/50 V elyt. GME
- C7 100 nF/100 V plast. GME
- C8 10 nF/50 V, keram., GME
- D1 až D4 B380C1000DIL 1 A/600 V
- D5 1N4937 (rychlá dioda 600 V)
- D6 SB160 (Schottky 1 A/min 60 V)
- IO1 LNK501, DIP8
- IO2 TLP627, DIP4
- IO3 TL431, TO-92
- L1 0,68 až 2,2 mH/min 80 mA
- L2 10 μH, PMECC 221/B 10u
- Tr1 jádro R13 KOOL Mμ 125 zákaznický transformátor PMECC; prim. 238 z. 0,15 mm; sek. 62 z. TEX0200
- Po T 200 mA v držáku do DPS
- S1 svorkovnice 300 V, GME ARK550/2
- S2 svorkovnice GME ARK550/2

konu podle grafu na obr. 14. K zalití sestaveného transformátoru je ideální dvousložkový polyuretanový resin, použitelná je i jakákoliv jiná neagresivní, dobře zatékající izolační zalévací hmota určená pro elektroniku. Postup individuální výroby dokumentuje obr. 15. Cena jedné sady popsaných součástí je 50,- Kč.

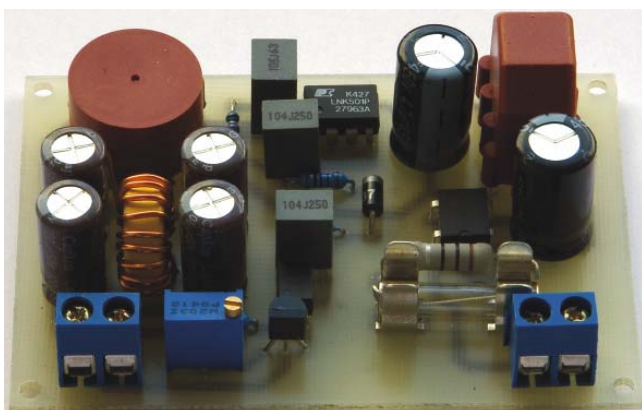
Filtreační tlumivka L2 je realizována 17 závitů drátu 0,8 mm na malém železopráchovém jádře průměru 13 mm. Lze ji objednat u PMECC za kusovou cenu 35,- Kč, použitelná je však jakákoliv jiná tlumivka podobné hodnoty a rozměrů s malým odporem vinutí.

Kromě obvodu LNK501P jsou všechny ostatní použité součástky běžně dostupné u specializovaných prodejců (GME, GES apod.). Do doby, než se i tento obvod objeví v jejich nabídce, jej lze také objednat u PMECC (cena 30,- Kč).

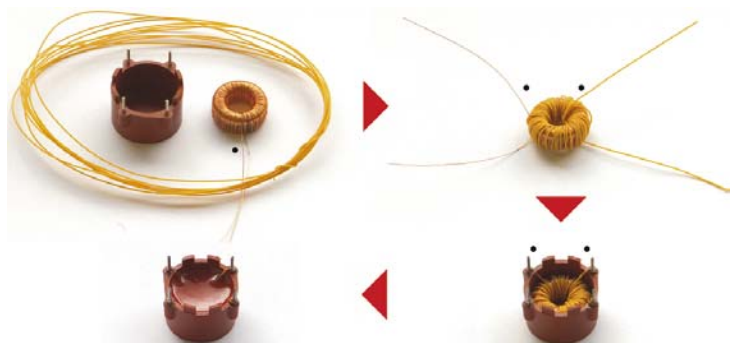
Všechny uvedené ceny jsou bez DPH a poštovního a s větším počtem objednaných kusů samozřejmě klesají.

Závěr

S obvody řady LinkSwitch se konstruktérům otevírá možnost realizovat velmi malé, úsporné, jednoduché a levné síťové zdroje výkonu do 3 W bez „plechového“ transfor-



Obr. 13. Fotografie osazené desky podle obr. 8



Obr. 15. Postup individuální výroby