

Pulsní nabíječka olověných akumulátorů 6 a 12 V

Ing. Zdeněk Budinský



Popis zapojení

Amatérská výroba nabíječek olověných akumulátorů je mezi zájemci o elektroniku velmi oblíbená, proto jsem se rozhodl vytvořit návod na sestavení poměrně jednoduché nabíječky s plynulou regulací proudu od 0 do 5 A. Aby byly dobře využity náklady na drahý transformátor, jsou užité vlastnosti nabíječky vylepšeny několika doplňkovými obvody, které např. zabráňují poškození nabíječky při přepólování akumulátoru nebo při zkratování svorek, příp. umožňují nepřímě měřit nabíjecí proud, udržovat akumulátor stále v nabitém stavu bez nebezpečí přebíjení nebo samočinně přepínat mezi akumulátorem 6 a 12 V. Pro zájemce o stavbu této nabíječky jsou připraveny kompletní stavebnice nebo sady součástek.

Doba si žádá nasazovat mikroprocesory ve stále větší míře a někteří autoři je používají i tam, kde bychom je nečekali. I pro tuto aplikaci by se našel vhodný mikroprocesor s převodníkem A/D, který by umožňoval postavit nabíječku běžně nedosažitelných parametrů. Ale co chudáci běžní radioamatéři, kteří nemají speciální znalosti z oboru mikroprocesorové techniky (které potřebují v okamžiku, kdy zařízení s mikroprocesorem nepracuje na první zapojení) a navíc si ani většinou nemohou mikroprocesor naprogramovat. Pro ty je zde tato nabíječka, sestavená z běžných součástek.

Základní technické údaje

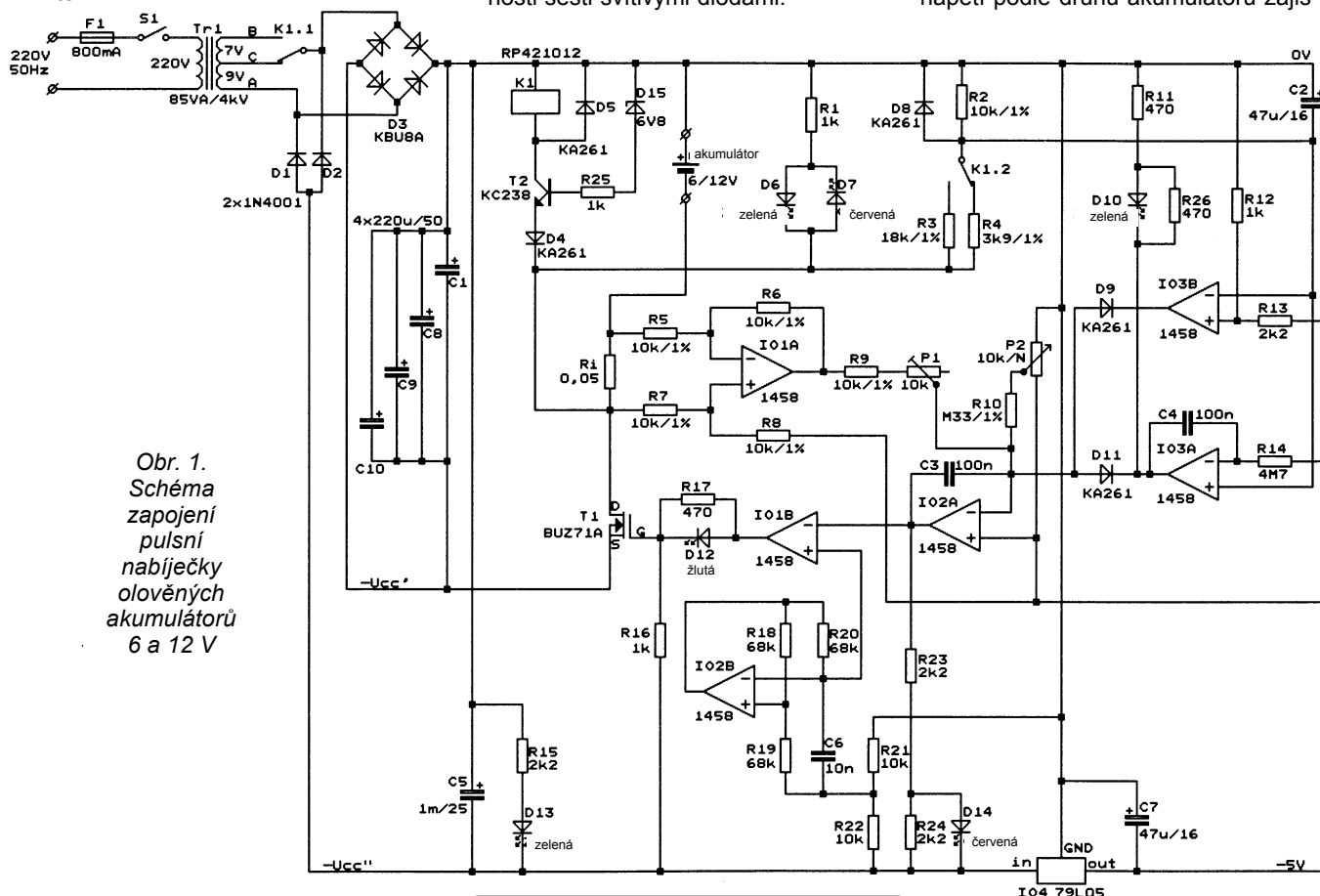
Nabíjecí napětí: 220 V.
Maximální příkon: 85 VA.
Výstupní proud: 0 až 5 A.
Nabíjené akumulátory: 6 a 12 V.
Konečné nabíjecí napětí: 7 a 14 V.
Kmitočet pulsů nabíjecího proudu: 600 Hz.
Rozměry: 110x110x180 mm.
Hmotnost: 3 kg.
Doplňkové funkce: ochrana proti přepólování, ochrana proti zkratu, automatické přepínání 6 V/12 V, bezpečné udržování akumulátoru v nabitém stavu, indikace činnosti šesti svítivými diodami.

Schéma zapojení je na obr. 1. Na primární vinutí transformátoru Tr1 je přivedeno přes tavnou pojistku F1 a spínač S1 síťové napájecí napětí. Aby mohla být nabíječka napájena dvoupramennou šňůrou, musí být transformátor v bezpečnostním provedení na zkušební napětí 4 kV. V opačném případě musí být na síťový přívod použita trojpramenná šňůra a její zemnicí vodič musí být spojen s kostrou transformátoru a jedním pólem sekundárního vinutí.

Sekundární vinutí transformátoru má napětí 16 V naprázdno (mezi vývody A a B) pro nabíjení akumulátorů 12 V s odbočkou 9 V naprázdno pro akumulátory 6 V (mezi vývody A a C).

Výstupní napětí transformátoru je usměrněno diodovým můstkem D3 a vyhlazeno kondenzátory C1, C8, C9 a C10. Původně byl v zapojení použit pouze jeden kondenzátor čtyřnásobné kapacity, ale v praxi se ukázalo, že vzhledem k velkému proudovému a tím i tepelnému zatížení, je nutné použít kondenzátory čtyři a raději na větší napětí. Ze stejného důvodu není vhodné používat tranzistor T1 s odporem v sepnutém stavu menším než 0,1 Ω.

Připojení potřebného napájecího napětí podle druhu akumulátoru zajiš-



Obr. 1.
Schéma
zapojení
pulsní
nabíječky
olověných
akumulátorů
6 a 12 V

tuje přepínací kontakt relé K1. Cívka relé je spínána tranzistorem T2. Ten se otevře, přesáhne-li napětí akumulátoru 8 V, což je součet Zenerova napětí diody D15, úbytku na přechodu p-n tranzistoru T2 a úbytku na diodě D4. Dioda D4 zabráňuje poškození tranzistoru T2 a sepnutí relé K1, je-li připojen akumulátor v opačné polaritě. Relé tedy sepne pouze v případě, je-li akumulátor připojen ve správné polaritě a je-li jeho napětí větší než přibližně 8 V. Potom je napájecí napětí nabíječky 16 V. Ve všech ostatních případech je nabíječka napájena napětím 9 V.

Dioda D5 omezuje přepětí, vznikající na cívce relé při odpojování akumulátoru. K indikaci správně připojeného akumulátoru je určena zelená svítivá dioda D6, při opačně připojeném akumulátoru svítí červená dioda D7. Rezistor R1 omezuje proud, protékající těmito diodami. Protože jsou diody napájeny přímo z akumulátoru, svítí i při vypnuté nabíječce.

Řídící elektronické obvody nabíječky jsou napájeny z dalšího můstkového usměrňovače, jehož záporná polovina je tvořena diodami D1 a D2 a kladná je společná s můstkovým usměrňovačem D3. Toto oddělení je nutné proto, aby z napětí připojeného akumulátoru nebyly napájeny řídící elektronické obvody nabíječky. Kondenzátor C5 vyhlazuje napětí a rezistor R15 omezuje proud protékající svítivou diodou D13, které indikuje zapnutý stav.

Pro snadnější popis činnosti jednotlivých obvodů byl potenciál 0 V „položen“ do nejkladnějšího bodu celého zapojení, do kterého je i připojen kladný pól akumulátoru. Nejzápornější bod byl označen $-U_{cc}$ a na jeho konkrétní velikosti příliš nezáleží (pro akumulátor 12 V je to asi -21 V a pro akumulátor 6 V přibližně -11 V). Poslední důležitý vztahový bod, který je na výstupu stabilizátoru záporného napětí IO4, je označen -5 V. Tento bod je pomyslným středem napájení pro operační zesilovače. Kondenzátor C7 vyhlazuje výstupní napětí stabilizátoru.

Činnost nabíječky řídí šest operačních zesilovačů. IO1A je zapojen jako rozdílový zesilovač s jednotkovým zesílením a jeho úkolem je převést úbytek napětí, vzniklý průtokem nabíjecího proudu bočnickem R_i , z nedefinovaného potenciálu na potenciál -5 V. Protože úbytek napětí na bočniku je malý (dosahuje maximálně 250 mV) je nutné, aby chyba rozdílového zesilovače byla co nejmenší.

Obvod IO2A je zapojen jako integrační zesilovač, jehož neinvertující vstup (+) je připojen na -5 V. Na invertujícím vstupu je mimo jiné připojeno napětí z výstupu rozdílového zesilovače IO1A (přes rezistor R9 a odporový trimr P1) a napětí z běžce potenciometru P2 (přes rezistor R10), kterým se nastavuje nabíjecí proud. V ustáleném stavu platí rovnice:

$$R_i I_{\max} / (R9 + 0,5R_{P1}) = 5 \text{ V} / R10 \quad [V, A, \Omega]$$

Z této rovnice lze vypočítat odpor rezistoru R10 pro jinou maximální velikost požadovaného nabíjecího proudu ($I_{\max}$) nebo jiný odpor bočnicku R_i .

Kondenzátor C3 ve zpětné vazbě určuje rychlost reakce na odchylku skutečného nabíjecího proudu od požadovaného. Výstupní napětí integračního zesilovače se v ustáleném stavu nemění a může být v závislosti na vnějších podmínkách (podle napětí akumulátoru, nabíjecího proudu apod.) libovolné v rozmezí přibližně -0,25 až -0,75 U_{cc} . V nerovnovážném stavu, je-li např. požadovaný proud větší než skutečný, napětí na výstupu integračního zesilovače se zmenšuje tak dlouho (tím se zmenšuje i střída nabíjecího proudu), dokud požadovaný a skutečný nabíjecí proud nejsou totožné.

Je-li požadovaný proud menší než skutečný, platí pravý opak předchozí věty. Na výstupu IO2A je přes rezistor R23 připojena svítivá dioda D14, indikující shodnost požadovaného a skutečného nabíjecího proudu. Dokud akumulátorem protéká požadovaný proud, pohybuje se výstupní napětí IO2A v rozmezí 0 až -0,75 U_{cc} a dioda D14 svítí. Není-li nabíječka schopna z jakéhokoliv důvodu udržet požadovaný nabíjecí proud, dostane se výstup integračního zesilovače do stavu záporné saturace a dioda D14 zhasne, což indikuje, že tranzistor T1 je naplněn otevřen, a přesto je skutečný nabíjecí proud menší než požadovaný. Zmenšujeme-li pomalu požadovaný proud až do okamžiku, kdy se dioda D14 opět rozsvítí, můžeme na stupnici přečíst skutečný nabíjecí proud, a tedy jej vlastně nepřímo změříme i bez ampérmetru. Rezistor R24 zajišťuje spolehlivé zhasnutí diody D14, je-li výstup IO2A ve stavu záporné saturace.

Další operační zesilovač IO2B je zapojen jako multivibrátor. Na jeho výstupu je obdélníkové napětí o kmitočtu asi 600 Hz, daném odporem rezistoru R20 a kapacitou kondenzátoru C6 a také rezistory R18, R19, R21 a R22. Odpory těchto rezistorů zároveň určují rozkmit napětí na kondenzátoru C6 od -0,25 do -0,75 U_{cc} . Tím je vlastně určeno i rozmezí výstupního napětí IO2A pro střidu nabíjecího proudu od 0 do 1. Zvětšuje-li se výstupní napětí IO2A (vzhledem k $-U_{cc}$), zmenšuje se střída nabíjecího proudu a naopak.

Komparátor IO1B porovnává napětí trojúhelníkového průběhu s vyhlazeným napětím z výstupu integračního zesilovače IO2A. Je-li napětí na neinvertujícím vstupu (+) kladnější než na invertujícím (-), je výstup komparátoru ve stavu kladné saturace, tranzistor T1 je otevřen. V tom okamžiku akumulátorem protéká nabíjecí proud, jehož amplituda je dána především

rozdílem mezi napájecím napětím a napětím akumulátoru s vloženou impedancí (odpor tranzistoru v sepnutém stavu, vnitřní odpor akumulátoru, reaktanční impedance transformátoru apod.).

Nabíjecí proud je složen z proudových impulsů, jejichž kmitočet je totožný s kmitočtem multivibrátoru IO2B. Diodou D12, indukující nabíjení, protéká proud v rytmu spínání tranzistoru T1 a intenzita jejího svitu je úměrná velikosti nabíjecího proudu. Rezistor R17 omezuje proud protékající diodou D12 a rezistor R17 zajišťuje úplné zhasnutí této diody, je-li výstup IO1B trvale ve stavu kladné saturace (tj. nabíjecí proud je nulový).

Základní zapojení, popsané v předchozích odstavcích, bylo doplněno dalším obvodem, který zajišťuje zkratuvzdornost nabíječky a její odolnost proti přepólování. Obvod je tvořen komparátorem IO3B, který porovnává napětí na pevném děliči R12, R13 (asi -1,56 V) s napětím akumulátoru, upraveným děličem R2, R3 nebo R2, R4 podle toho, je-li sepnuto relé K1 či nikoli. Výpočtem lze zjistit, že v prvním případě musí mít akumulátor napětí alespoň 4,4 V, v druhém případě alespoň 2,2 V, jinak je výstup operačního zesilovače IO3B ve stavu záporné saturace a nabíjení je přes diodu D9 zablokováno. Kondenzátor C2 zajišťuje krátkodobé zablokování nabíjení při stabilizaci obvodů těsně po přivedení napájecího napětí. Dioda D8 ochraňuje kondenzátor C2 a vstupy operačních zesilovačů před poškozením při přepólování akumulátoru.

Zbývá popsat poslední obvod, který má na starosti přechod z režimu nabíjení konstantním proudem na režim nabíjení konstantním napětím. Napětí, při kterém se mění režim nabíjení, bylo zvoleno 14 V pro akumulátor 12 V (dáno rezistory R2, R3) a 7 V pro akumulátor 6 V (dáno rezistory R2, R4). Rezistory R3 a R4 se automaticky volí v závislosti na napětí připojeného akumulátoru pomocí kontaktů relé K1.2.

Integrační zesilovač s velkou časovou konstantou, danou odporem rezistoru R14 a kapacitou kondenzátoru C4, porovnává napětí -5 V s napětím na děliči R2, R3 nebo R2, R4. Dokud je napětí nabíjeného akumulátoru menší než 14 V (případně 7 V), je výstup IO3A ve stavu kladné saturace a neovlivňuje regulátor proudu. V okamžiku, v němž je dosaženo konečného napětí, změní se výstupní napětí na přibližně -5,7 V a zelená indikační dioda D10 se rozsvítí (rezistory R11 a R26 omezují její napájecí proud). Přes diodu D11 začne být ovlivňován regulátor nabíjecího proudu tak, aby napětí akumulátoru bylo trvale 14 V, případně 7 V. V průběhu času se nabíjecí proud zmenšuje, až jsou pouze kryty ztráty způsobené samovybíjením. Akumulátor je udržován trvale v nabi-

tém stavu, aniž by hrozilo jeho poškození.

Popis konstrukce a oživení

Nabíječka je poměrně jednoduchá, k její stavbě stačí základní znalosti z elektroniky. Troufám si říci, že při pečlivé práci zvládne její sestavení i úplný začátečník. Nejříve se zaměříme na požadavky na použité součástky. Při návrhu byl kladen důraz na to, aby všechny součástky byly běžně dostupné. Před zapájením do desky s plošnými spoji je vhodné je všechny zkontrolovat, zda není nějaká vadná. Ušetříme si práci s jejím případným dodatečným vyhledáváním. Výběr součástek není ve většině případů nutný, nabíječka pracuje i tak. Případný neúspěch je většinou způsoben málo pečlivou prací.

Kdo však chce dosáhnout co nejpresnější regulaci nabíjecího proudu, může vybrat měřením rezistory v rozdílovém zesilovači tak, aby poměr $R5/R6$ byl co nejvíce shodný s poměrem $R7/R8$. Co nejpresnější by měly být i rezistory $R2$, $R3$ a $R4$, které určují maximální napětí akumulátorů na konci nabíjení. Rezistory $R9$ a $R10$ nemusí být přesné, avšak musí být stabilní. Přijatelných výsledků lze také dosáhnout s běžnými kovovými rezistory (např. od firmy DRALORIC) s udávanou tole-

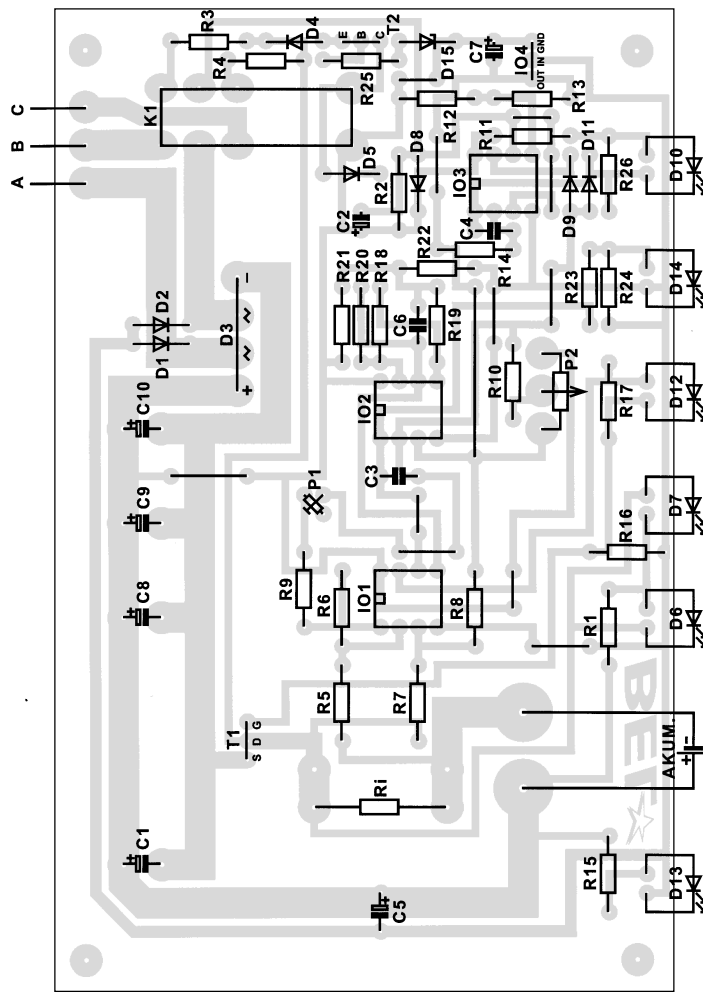
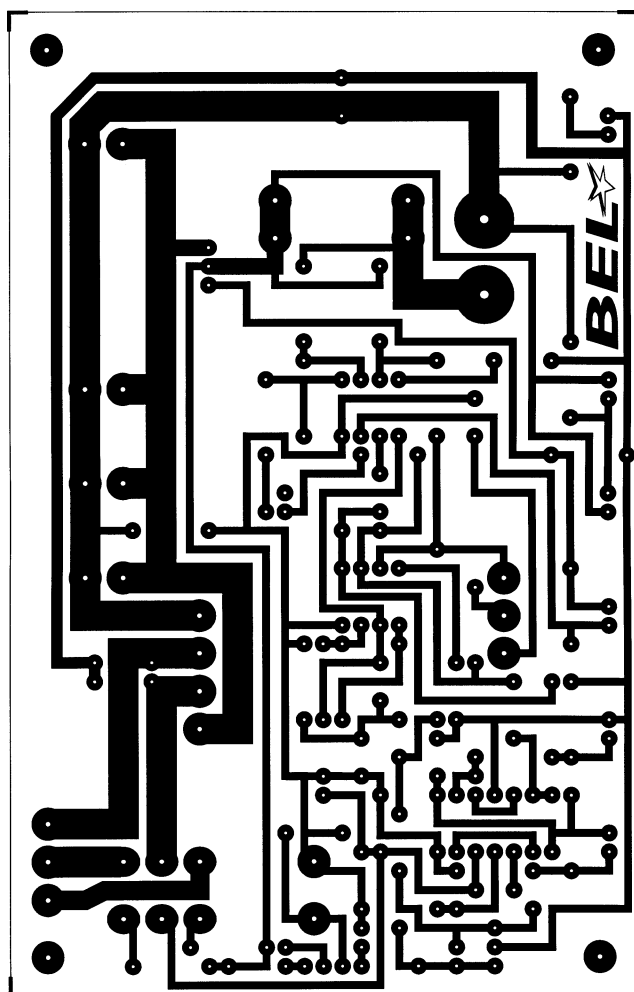
rancí 1 %. Na typu ostatních rezistorů nezáleží.

Také je vhodné zkontrolovat, zda vstupní rozdílové napětí operačních zesilovačů IO1A a IO2A je dostatečně malé (< 1 mV). Předem lze toto vstupní rozdílové napětí změřit v běžném invertujícím zapojení, když oba vstupy připojíme přes rezistory $1\text{ k}\Omega$ na střed napájecího napětí. Pro zpřesnění měření nastavíme zpětnovazebním rezistorem $10\text{ k}\Omega$, zapojeným mezi invertujícím vstupem a výstupem, napěťové zesílení 10. Voltmetrem, zapojeným mezi střed napájecího napětí a výstup operačního zesilovače, změříme napětí, které je 10krát větší než hledané vstupní rozdílové napětí. U již zapájeného operačního zesilovače, jehož výstup není ve stavu saturace, lze vstupní rozdílové napětí změřit přímo mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem.

Nyní můžeme přistoupit k rozmístění součástek a zapájení jejich vývodů do desky s plošnými spoji. Deska s plošnými spoji a rozmístění součástek jsou na obr. 2. Všechny svítivé diody jsou umístěny na přední straně desky tak, že osy jejich pouzder jsou rovnoběžné s povrchem desky a spodní části pouzder se dotýkají hrany desky. Vývody potenciometru P2 jsou prodlouženy měděnými vodiči tak, aby po zapájení byla osa jeho hřídele ve

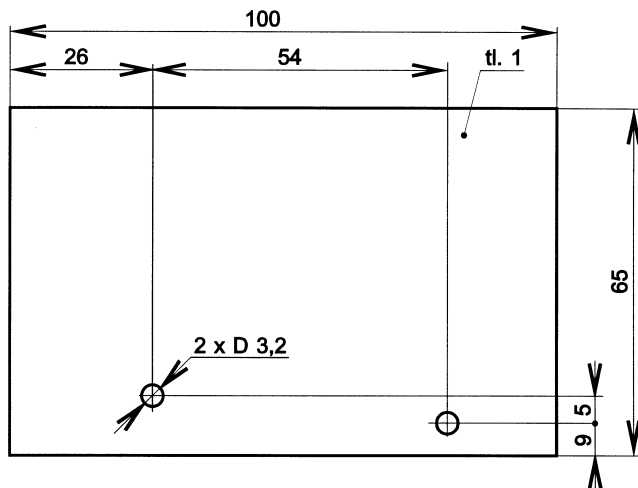
výšce 20 mm nad povrchem desky. Na můstkový usměrňovač D3 a tranzistor T1 jsou z obou stran připevněny shodné hliníkové chladiče tl. 1 mm o rozměrech 100×65 mm, jejichž výkres je na obr. 3. Mezeru mezi chladiči určuje tloušťka usměrňovače D3, a proto je nutné doplnit křídélko tranzistoru T1 na potřebnou tloušťku vhodným rozpěrným pouzdem. Vzhledem k relativně malému ztrátovému výkonu postačí i dvě běžné matice M4. Pro bočníky jsou na desce vyhrazeny dvě pozice, aby jej bylo možné zhotovit i z několika tenkých vodičů, než které jsou předepsány.

Nyní ověříme správnou činnost všech obvodů nabíječky. Připojíme napájecí napětí. Operační zesilovač IO3B musí zajistit zablokování regulátoru a relé nesmí přepínat. Kmitočet multivibrátoru IO2B by měl být asi 600 Hz. Dále na výstup nabíječky připojíme akumulátor 12 V. Relé K1 musí přepnout. Do série s akumulátorem zapojíme ampérmetr (musí být číslicový, běžný ručkový nelze vzhledem k první harmonické 600 Hz nabíjecího proudu použít) a hřidel potenciometru P2 vytočíme do pravé krajní polohy. Odporovým trimrem nastavíme požadovaný maximální nabíjecí proud. Nastavení proudu je samozřejmě stejné pro oba druhy akumulátorů. Při nabíjení musí svítit žlutá dioda



Obr. 2. Deska s plošnými spoji (130×82 mm)

Obr. 3.
Chladič Al
tl. 1 mm
o rozměrech
100 x 65 mm



D12. Odpojíme-li nyní akumulátor, rozsvítí se dioda D12 naplno a současně zhasne červená dioda D14, indikující shodnost požadovaného a skutečného nabíjecího proudu a rozsvítí se zelená dioda D10. Napětí na výstupu nabíječky by se mělo ustálit na 7 nebo 14 V. Připojíme-li opět akumulátor, diody budou svítit jako předtím. Po dosažení konečného napětí se rozsvítí zelená dioda D10, označující změnu režimu nabíjení. Voltmetrem kontrolujeme, zda změna nastala při požadovaném napětí.

Jakmile svítí zelená dioda D10, je skutečný nabíjecí proud menší než nastavený, i když svítí červená dioda D14. Skutečný nabíjecí proud nepřímo změříme tak, že velmi pomalu zmenšujeme požadovaný proud až do okamžiku, kdy dioda D10 opět zhasne. Na stupnici můžeme přečíst skutečný nabíjecí proud.

Tím je správná činnost všech obvodů ověřena a povrch desky s plošnými spoji lze po odstranění zbytků tavidla natřít ochranným lakem.

Skříňka na nabíječku je plastová, typ 080 z nabídky firmy ELFAX Havířov. Jedná se i skříňku složenou ze dvou výlisků tvaru U, spojených v rozích šrouby, a předního a zadního panelu. Deska s plošnými spoji je v zadní části ke skřínce připevněna dvěma šrouby M3 a v přední části jí v rozích procházejí sloupky, ve kterých jsou šrouby spojující oba díly skříňky.

Transformátor je připevněn čtyřmi šrouby M4 na zadním panelu. Aby se transformátor nemohl pohybovat, jsou mezi jeho jádro a oba díly skříňky vlepány proužky molitanu nebo pěnové pryže. Zadním panelem prochází i přívodní síťová šňůra, která je zajištěna

proti vytržení přichytkou na boku spodního dílu skříňky. Na předním panelu je umístěn síťový spínač a pojistkové pouzdro. Otvory v předním panelu procházejí indikační diody, hřídel potenciometru a přívodní kabely k akumulátoru, zakončené krokosvorkami. Z čistě mechanických důvodů je vhodné použít na příводы k akumulátoru ohebný vodič CYA 2,5.

Na přední a zadní panel jsou nalepeny štítky, jejichž předlohy jsou na obr. 4. Podle kopie těchto štítků lze také jednoduše a přesně zhotovit všechny potřebné otvory do obou panelů.

Seznam součástek

(není-li uvedeno jinak, lze použít libovolný typ)

Rezistory

R1, R12, R16, R25	1 kΩ
R2, R5, R6,	
R7, R8, R9	10 kΩ, 1 %
R3	18 kΩ, 1 %
R4	3,9 kΩ, 1 %
R10	330 kΩ, 1 %
R11, R17, R26	470 Ω
R13, R15, R24	2,2 kΩ
R14	4,7 MΩ
R18, R19, R20	68 kΩ
R21, R22	10 kΩ
P1	10 kΩ, TP 095
P2	10 kΩ, TP 160/N

Kondenzátory

C1, C8, C9, C10	220 μF/50 V, rad.
C5	1 mF/25 V, rad.
C2, C7	47 μF/16 V, rad.
C3, C4	100 nF
C6	10 nF

Polovodičové součástky

D1, D2	1N4001 apod.
--------	--------------

D4, D5, D8, D9, D11	KA261 apod.
D3	KBU8A
D6, D10, D13	LED Ø 5 mm, z
D7, D14	LED Ø 5 mm, č
D12	LED Ø 5 mm, ž
D15	BZX83/6V8
T1	BUZ71A
T2	KC238 apod.
IO1, IO2, IO3	LM1458 apod.
IO4	79L05

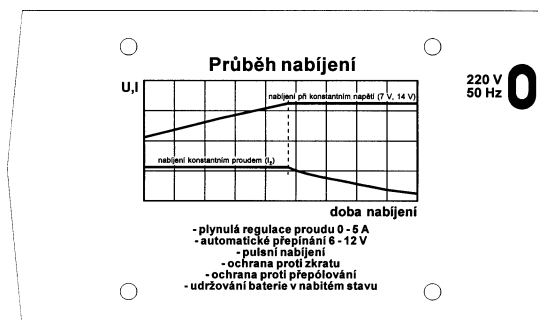
Ostatní součástky

K1 Schrack RP421012
R, 50 mΩ, manganin Ø 1 mm, 95 mm
třídílná svorkovnice do desky s plošnými spoji
deska s plošnými spoji
Tr1 bezpečnostní transformátor 85 VA, primární vinutí 220 V, 880 z, Ø 0,4 mm, sekundární vinutí 16 V naprázdno, 64 z, Ø 1,5 mm, s odbočkou 9 V naprázdno po 36 z, proud 6 A, jádro EI 32 x 32 mm, třída izolace F, zkušební napětí 4 kV, F1 tavná pojistka F 0,8 A
pojistkové pouzdro na panel PTF30
síťový spínač kolébkový na panel skříňka typ O80 (ELFAX Havířov)
dvoupramenná flexošňůra 2x 0,5 mm²
knoflík na hřídel Ø 4 mm
krokosvorky na autobaterii (2 ks)
přívodní kabely CYA 2,5 č, m
hliníkové chladiče (2 ks)
štítky na přední a zadní panel

Zájemci o stavbu nabíječky si mohou u firmy BEL, Čínská 7, 160 00 Praha 6, tel. (02) 342 92 51, objednat kompletní stavebnici (viz seznam součástek a dílů) za 1200 Kč, nebo jen desku a součástky na této desce za 530 Kč. Komerční využití bez svolení autora není dovoleno.

Závěr

Zapojení není třeba brát jako konečné, určitě se najdou mnozí, kteří tu něco přidají, tu uberou. Kdo nepotřebuje nabíjet akumulátory 6 V, může vynechat relé a všechny součástky, které s tím souvisejí. Zapojení lze bez větších problémů upravit i na jiný (větší nebo menší) maximální proud, změní se pouze transformátor, usměrňovač, relé, bočník a chladiče. Je možná i úprava pro nabíjení akumulátorů 24 V, sekundární napětí transformátoru by mělo být přibližně 30 V naprázdno. Bylo by však již nutné omezit napájecí napětí integrovaných obvodů (-U_{cc}) na 36 V.



Obr. 4.
Přední a
zadní štítek
(1 : 2)

