

Modulové nabíječky akumulátorů s obvody U2402B, U2405B a U2407B

Téma nabíjení NiCd a NiMH akumulátorů je natolik aktuální, že nejrůznější časopisy přímo přetékají testy sériově vyráběných zahraničních a tuzemských nabíječek, současně se také objevují více či méně zdařilé stavební návody a kdekdo se pouští do stavby té své - zaručeně nejlepší nabíječky. Důležitost bezchybného nabíjecího procesu již není třeba znovu zdůrazňovat. Následující popis univerzálního modulárního systému pro nabíjení NiCd/NiMH akumulátorů představuje řešení na bázi integrovaných obvodů U2402, U2405 nebo U2407.

Tento popis je výsledkem pečlivého testování, nastavování, měření a ověřování několika variant nabíjecích systémů, zkušeností získaných z provozu těchto nabíječek a v neposlední řadě řady připomínek, požadavků a námětů od čtenářů nebo našich zákazníků.

Základní požadavky na nabíječku :

- možnost použití jakéhokoliv z těchto obvodů na univerzální desce plošných spojů
- možnost nabíjet 1 až 10 článků (zapojených v sérii, nikoliv "paralelní nabíjení")
- možnost volit "libovolný" nabíjecí proud
- napájení ze stejnosměrného zdroje cca 12V (autobaterie)
- možnost připojit externí vybíječku
- modulová konstrukce, modul DC-DC konvertoru "step-up", DC-DC konvertoru "step-down", modul vlastní nabíječky, panel s přepínači, modul lineárního zdroje proudu
- variabilita propojení jednotlivých modulů podle požadavků
- jednoduchost zapojení
- snadná reprodukovatelnost, dostupnost všech součástek
- nízká cena
- rozumná účinnost

Poznámky k jednotlivým bodům :

- ad a) velmi početnou skupinou zájemců o stavbu nabíječky jsou modeláři. Pokud již měli realizovanou nabíječku se síťovým napájením a potřebují nabíjet i z autobaterie, mohou použít obvod, který si již dříve zakoupili. Dále někteří dávají přednost obvodu U2407, který má rozšířenou indikaci průběhu nabíjení, jiní se spokojí jen s indikací jednodušší.
- ad b) nejlepší je (podle mého názoru) nabíjet články po jednom. Lze samozřejmě použít pro každý článek jeden nabíjecí obvod (pozor jen typ U2402), ale cena za takovouto nabíječku není úměrná vynaložené námaze. Navíc modeláři používají tzv. "akupaky", které lze nabíjet jen jako celek.
- ad c) toto souvisí s principem činnosti nabíjecích obvodů řady U240xB. Obecně lze říci, že tyto obvody jsou navrženy pro nabíjení proudem rovným jmenovité kapacitě (ale lze nabíjet i jinými proudy, viz. dále v článku). Pokud budeme nabíjet různé akumulátory, t.j. s rozdílnou kapacitou, přepínání nabíjecího proudu se nevyhne.
- ad d) opět požadavek vzešlý z požadavků modelářů
- ad e) je dobrý akumulátor před nabíjením plně vybit, což lze zajistit přímo spotřebičem. Nemusí to ale být někdy přijatelné, proto by měla existovat možnost jednoduše připojit externí vybíječku tak, aby byla zajištěna spolupráce s nabíječem.
- ad f) modulová konstrukce umožňuje snadnou stavbu a oživení. Každý si postaví pouze ty moduly, které bude pro řešení svých požadavků potřebovat. Nebylo uvažováno použití fázového řízení tyristoru u obvodů U2402,05.
- ad g) požadavky na vlastnosti nabíječky mohou být velmi rozdílné. Navržená koncepce umožňuje každému zvolit optimální řešení ušité na míru jeho požadavkům.
- ad h) použití moderních integrovaných obvodů značně zjednodušuje stavbu
- ad i) viz. bod h), všechny součástky musí být dostupné v obchodní síti
- ad j) cena ve srovnání s užžitnou hodnotou a "nabíječkami", které lze často koupit hotové
- ad k) pokud uvažujeme nabíjení z autobaterie, musíme uvážit také kapacitu autobaterie !

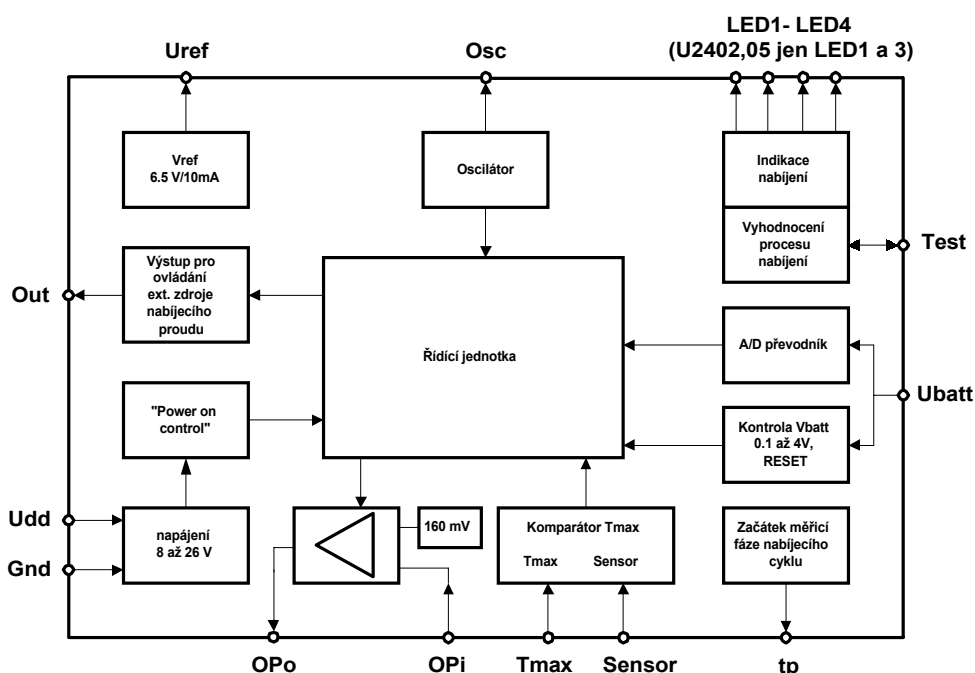
Sami čtenáři a pozdější uživatelé těchto nabíječek nejlépe posoudí, jak se podařilo výše uvedené požadavky splnit.

Funkce integrovaných obvodů U2402B, U2405B a U2407B

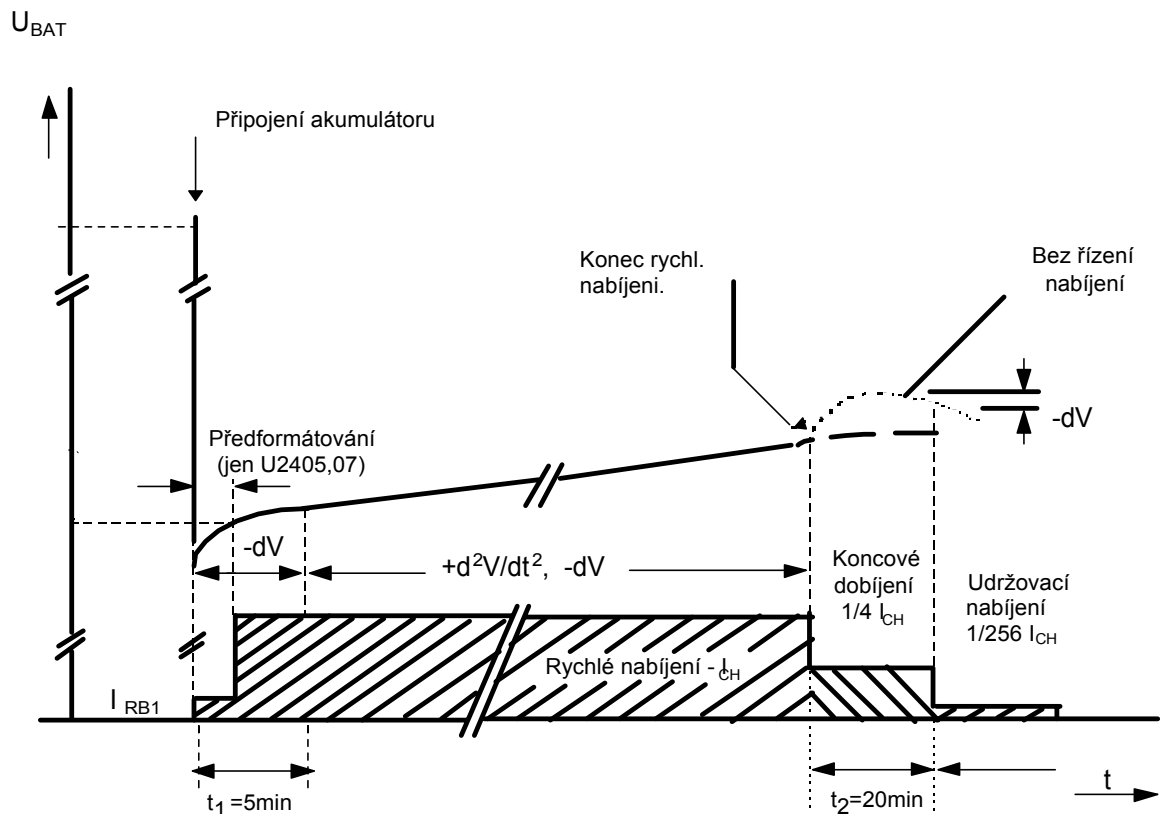
Všechny tři obvody jsou z hlediska nabíjecího procesu zcela shodné, liší se jen některými funkcemi - viz tabulka 1. Činnost obvodů je založena na sledování průběhu nabíjecí křivky - viz. obr.2, kde jsou také zachyceny jednotlivé fáze nabíjení, t.j. předformátování (pouze U2405,07), rychlé nabíjení, koncové dobíjení a udržovací nabíjení. Obvody obsahují několik hlavních bloků, které zajišťují správnou činnost nabíječky. Pokusím se popsat jednotlivé vývody ve spojitosti s těmito bloky. Na obr.1 je blokové schéma společné všem typům. U2402 obsahuje navíc bloky (a vývody) určené pro fázové řízení výkonového prvku (tyristoru).

Charakteristika a parametry	U2402B	U2405B	U2407B
Napájecí napětí obvodu	8 až 26 V	8 až 26 V	8 až 26 V
Pouzdra	PDIP18 SOIC20	PDIP18 SOIC20	PDIP16 SOIC16
Kontrola podle $-dU$	ANO	ANO	ANO
Kontrola podle $+d^2U/dt^2$	ANO	ANO	ANO
Výkonový prvek na čipu	NE	NE	NE
Fázové řízení externího spínacího prvku	ANO	ANO	NE
Úvodní předformátování pro úplně vybité články	NE	ANO	ANO
Základní rychlé nabíjení	zrychlené pulzní nabíjení	zrychlené pulzní nabíjení	zrychlené pulzní nabíjení
Koncové dobíjení	ANO pulzní	ANO pulzní	ANO pulzní
Udržovací nabíjení	ANO pulzní	ANO pulzní	ANO pulzní
Časové omezení nabíjení	NE	NE	NE
Kontrola teploty čipu	NE	NE	NE
Kontrola teploty akumulátoru	ANO	ANO	ANO
Možnost nabíjení jen 1 článku	ANO	NE	NE
Vybíjení	možné externí	možné externí	možné externí
Indikace	2 x LED	2 x LED	4 x LED

Tab.1 Porovnání obvodů U2402B, U2405B a U2407B



Obr.1 Blokové schéma



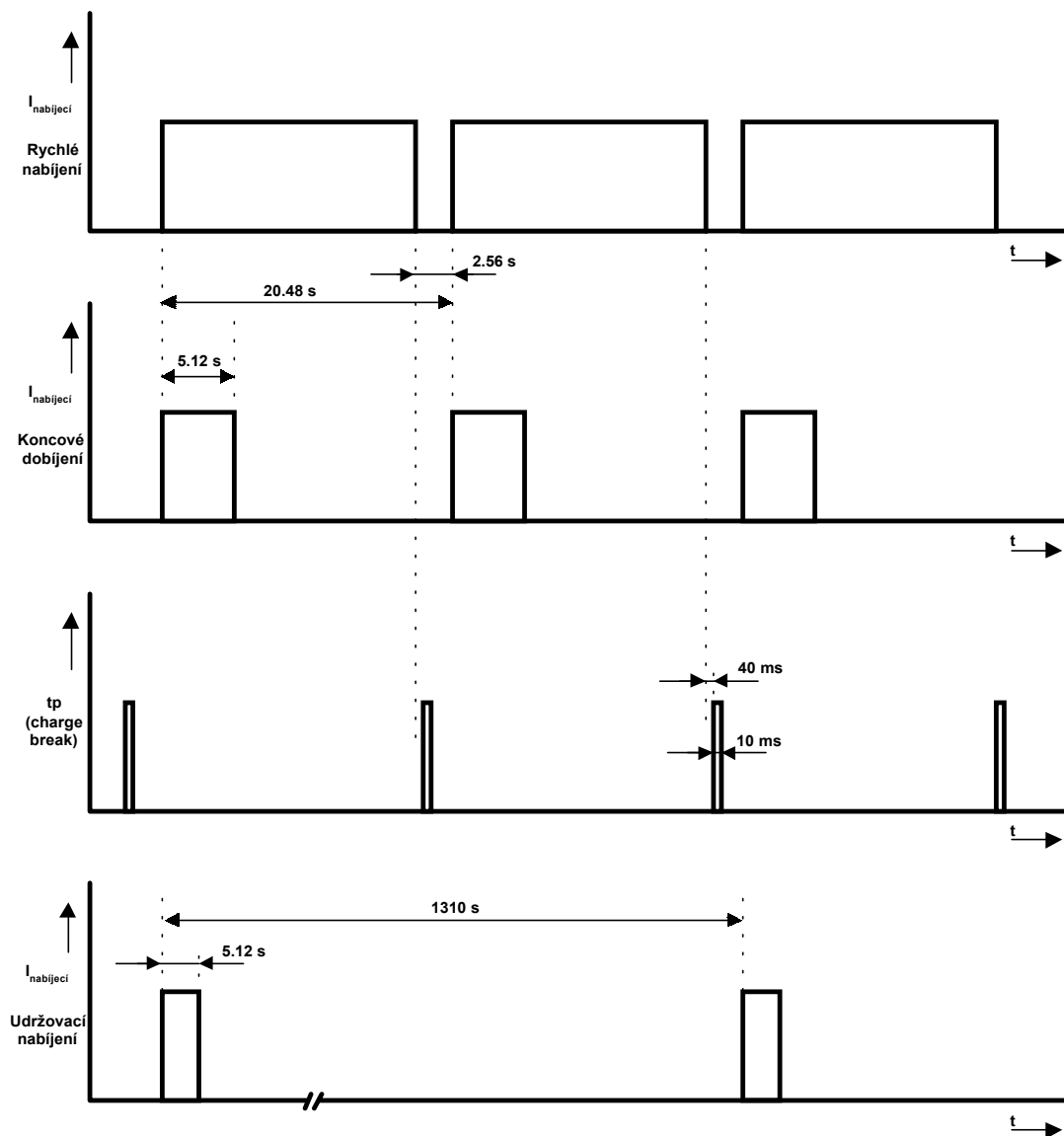
Obr.2 Nabíjecí křivka a fáze nabíjení

Vývod Ubatt

Tento vývod má dvě funkce. Jednak je určen k měření napětí na nabíjeném akumulátoru, jednak umožňuje “reset” obvodu. K tomuto vývodu je uvnitř připojen 10-ti bitový analogově-digitální převodník (dále jen AD převodník). Tento AD převodník průběžně snímá napětí na nabíjeném akumulátoru. Výsledky měření předává řídicímu bloku, který je zpracovává a řídí činnost dalších bloků. Na AD převodník jsou kladeny relativně vysoké nároky. Rozlišovací schopnost je 6,5mV, což je nutné pro správné rozpoznání změn napětí na nabíjeném akumulátoru. Maximální napětí, které je AD převodník schopen zpracovat je 4V. Dále je na vývod **Ubatt** v obvodu připojena detekce akumulátoru, t.j. obvod nespustí nabíjení pokud napětí na tomto vývodu nebude větší než 0,1V. Jestliže naopak napětí na vývodu **Ubatt** překročí 5V (nebo poklesne pod 0,1V) je generován “reset” obvodu a obvod se uvede do klidového stavu. Tento stav je indikován blikáním LED1. Obvod setrvá v tomto stavu, dokud se na **Ubatt** neobjeví napětí v rozmezí 0,1 - 4V. Z tohoto je patrné, jakým způsobem lze k obvodu připojit vybíječku, která musí zajistit následující funkce:

- po dobu vybíjení generovat napětí větší než 5V do vývodu **Ubatt**
- hlídat konečnou mez vybití akumulátoru, po dosažení této meze přerušit vybíjení a generaci napětí 5V
- vybíjet zvoleným proudem

Po zrušení generace napětí 5V nabíječka okamžitě zahájí nabíjecí cyklus. Obvody U2405 a U2407 mají ve svém algoritmu zahrnutou i fázi předformátování. Ta se aktivuje pouze tehdy, pokud po připojení nabíjeného akumulátoru je napětí na vývodu **Ubatt** menší než 1,6V. Předformátování spočívá v tom, že do akumulátoru teče jen malý stejnosměrný proud, v našem případě určený hodnotou rezistoru RB1 (viz schéma zapojení modulu C). V okamžiku, kdy napětí na vývodu **Ubatt** překročí hodnotu 1,6V, předformátování končí a začíná fáze rychlého nabíjení. Pokud napětí na vývodu **Ubatt** nedosáhne hodnoty 1,6V během



deseti minut, začne blikat LED1 a obvod setrvává v tomto stavu. (To je také důvod, proč s těmito obvody nelze nabíjet jen jeden článek.) Pokud by došlo po deseti minutách ke zvýšení napětí nad 1,6V obvod přejde do fáze rychlého nabíjení. Po rozpoznání konce nabíjení se spustí fáze koncového dobíjení. Ta je ukončena buď po 20 minutách nebo v okamžiku, kdy obvod rozpozná pokles napětí. Potom obvod již jen udržuje akumulátor v nabitém stavu malým konzervačním proudem (při základním nastavení $f_{\text{osc}} = 800\text{Hz}$ jeden dobíjecí puls jednou za 1310 sekund). Průběhy nabíjecích cyklů jsou znázorněny na obr 3.

Obr.3 Nabíjecí cykly ($f_{\text{osc}} = 800\text{ Hz}$)

Vývod Sensor

Tento vývod je uvnitř obvodu připojen na komparátor (blok "Komparátor Tmax" na obr.1). Výstup komparátoru řídí činnost nabíječky. Obecně platí, že pro normální činnost nabíječky musí být napětí na tomto vývodu větší než napětí na vývodu **Tmax** a menší než 4V. Pokud se napětí na vývodu **Sensor** dostane mimo povolenou mez, nabíjení okamžitě končí. Obvod přejde do udržovacího režimu nabíjení, ve kterém zůstává i když se napětí na vývodu **Sensor** vrátí do povolených mezí. Z tohoto stavu lze obvod dostat pouze generováním signálu "reset". Tento vývod se používá pro hlídání teploty nabíjeného akumulátoru, což lze vřele doporučit, neboť cena termistoru je malá, ale hlavně, pokud obvod z nejrůznějších příčin nepozná konec nabíjení, bude neustále nabíjet plným proudem, akumulátor se začne zahřívat a hrozí exploze nabíjeného akumulátoru se všemi důsledky. Nechceme zadávat přesné hodnoty součástek RT1, RT2, RT3, NTC. Jejich hodnoty totiž závisí na konkrétním typu termistoru a na teplotě, kterou budeme považovat za maximální přípustnou. Dovolíme si zde pouze uvést návod jak lze (například) při návrhu hodnot těchto rezistorů postupovat.

- zvolíme NTC termistor, který chceme použít
- změříme jeho odpor při minimální uvažované teplotě okolí R_{NTCmin}
- změříme jeho odpor při maximální uvažované teplotě nabíjených článků R_{NTCmax}
- vypočteme hodnotu rezistoru RT1 podle následujícího vztahu:

$$RT1 = 0,625R_{\text{NTCmin}}$$

- vypočteme hodnotu napětí na vývodu **Tmax** podle vztahu:

$$U_{\max} = 6,5 * R_{\text{NTCmax}} / (R_{\text{NTCmax}} + RT1)$$

- zvolíme RT2, např. 100k, vypočteme RT3

$$RT3 = RT2 * U_{\max} / (6.5 - U_{\max})$$

Vývod Tmax

Na vývodu se nastavuje odporovým děličem dolní mez napětí komparátoru, viz. vývod **Sensor**.

Vývod OPi

Vstup operačního zesilovače. Tento zesilovač je použit jako komparátor pro řízení zdroje proudu pro nabíjený akumulátor. Komparátor porovnává napětí na vývodu **OPi** s vnitřní referencí 160mV. Jinými slovy řečeno, zdroj proudu pro nabíjený akumulátor je řízen tak, aby úbytek napětí na rezistoru Rsh (určen ke snímání nabíjecího proudu) byl vždy právě 160mV. Změnou hodnoty rezistoru Rsh můžeme tedy volit nabíjecí proud podle následujícího vztahu:

$$I_{\text{inab}} = 0,16 / R_{\text{sh}} \quad [A, -, \text{ohm}]$$

Vývod OPo

Výstup operačního zesilovače, viz. vývod **OPi**. Tento vývod řídí zdroj proudu pro nabíjený akumulátor.

Vývod Vref

Na tomto vývodu je k dispozici stabilizované napětí cca 6,5V. Z vývodu lze odebírat proud až 10mA.

Vývody LED1, LED2, LED3, LED4

Tyto LED diody indikují jednak provozní a jednak chybové stavy. Přiznáváme, že podle firemních podkladů je popis funkce těchto diod dost nepřesný nebo nejasný a proto uvádíme výsledky našich měření zde uveřejněných aplikací v tabulce 2.

stav nabíjení akumulátoru	U2402		U2405		U2407			
	LED1	LED3	LED1	LED3	LED1	LED2	LED3	LED4
předformátování	-----	-----	nesvítí	bliká	nesvítí	nesvítí	bliká	nesvítí
rychlé nabíjení	nesvítí	bliká	nesvítí	bliká	nesvítí	nesvítí	bliká	nesvítí
koncové dobíjení	nesvítí	svítí	nesvítí	svítí	nesvítí	svítí	nesvítí	svítí
udržovací dobíjení	nesvítí	svítí	nesvítí	svítí	nesvítí	svítí	nesvítí	nesvítí
reset nebo zkrat	bliká	nesvítí	bliká	nesvítí	bliká	nesvítí	nesvítí	nesvítí
teplota mimo rozsah před vložením akumulátoru	nesvítí	svítí	nesvítí	nesvítí	nesvítí	nesvítí	nesvítí	nesvítí
teplota mimo rozsah v průběhu nabíjení	svítí	nesvítí	svítí	nesvítí	bliká	nesvítí	nesvítí	nesvítí
předformátování delší než 10 min., U _{batt} <1,6V	-----	-----	bliká	nesvítí	bliká	nesvítí	nesvítí	nesvítí

Tab.2 Indikace průběhu nabíjení

Vývod tp (Charge break)

Indikuje začátek fáze, kdy je nabíjení přerušeno kvůli měření napětí na nabíjeném akumulátoru. Vývod jde na úroveň blízkou napájecímu napětí asi 40ms po ukončení nabíjecího cyklu (~18s) a setrvává na ní asi 10ms. Vlastní měřicí sekvence napětí na vývodu **U_{batt}** nastává až po uplynutí doby 1,28s po skončení nabíjecího cyklu a trvá 1,28s (viz též obr. 3).

Vývod Test

Funkci neznáme. Pravděpodobně vstupně/výstupní vývod používaný při testování obvodu.

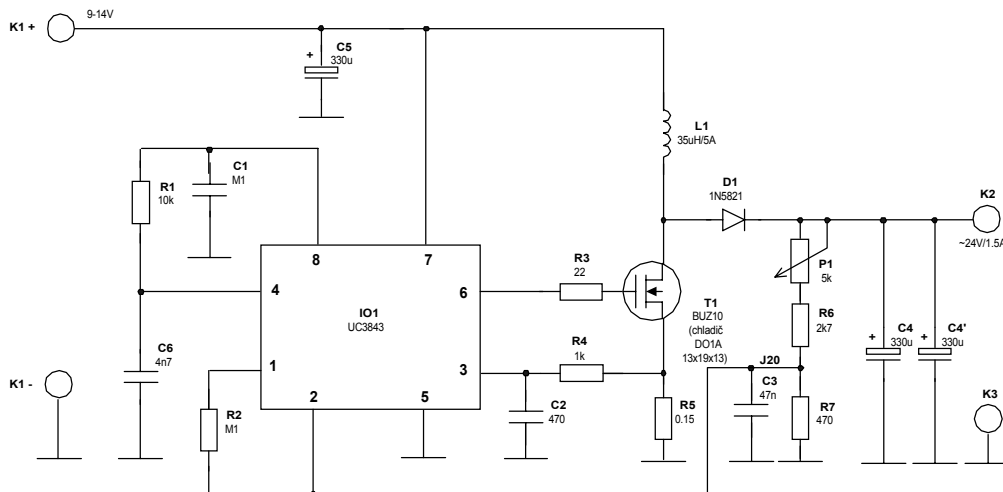
Vývod Out

Vývod je určen pro řízení externího zdroje nabíjecího proudu, pokud nebudeme používat interní komparátor 160mV. Vývod je aktivní, pokud neprobíhá fáze měření napětí na vývodu **Ubatt**.

Popis zapojení nabíječky

Modul A - konvertor DC-DC “step-up”

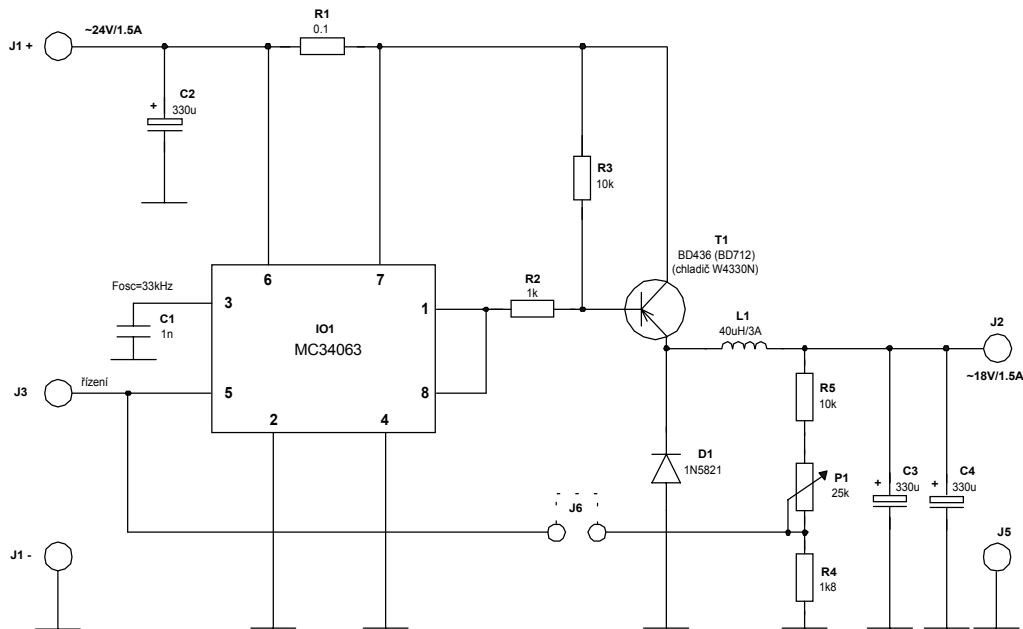
Tento modul se může použít v případech, kdy je třeba nabíjet více než asi 6 akumulátorů ze zdroje 12V (autobaterie). Modul umožňuje zvýšit vstupní napětí 12V na potřebnou hodnotu. Zapojení modulu je na obrázku 4. Předem upozorňujeme, že nejsme odborníci na spínané zdroje a uvedená zapojení není určitě úplně ideální. Jde o (podle mého názoru) jednu z nejjednodušších aplikací integrovaného obvodu UC3843. Nekladu si za cíl vysvětlovat podrobně funkci tohoto zapojení. Nám bude stačit jenom následující popis. Obvod UC3843 je zapojen jako modulátor PWM, který je řízen napětím z děliče vytvořeného rezistory R6, R7 a trimrem P1. Jako výkonový prvek je na místě T1 použit tranzistor typu MOS. Maximální možný proud tekoucí tranzistorem T1 je nastaven rezistorem R5. Jako tlumivka L1 je použit hotový výrobek. Filtrační kondenzátory na výstupu C4, C4' jsou použity v paralelní kombinaci pro snížení impedance výsledné kapacity. Modul nemá žádné zálužnosti, pracuje na první zapojení. Požadované výstupní napětí se nastaví trimrem P1. Vlastnosti konvertoru jsou mimo jiné určeny hlavně použitou tlumivkou, kmitočtem oscilátoru obvodu UC3843, tranzistorem T1 a diodou D1. V uvedeném zapojení se ukázalo, že napětí 24 V na výstupu spolu s proudem cca 1,5A je asi tak maximum, co lze s použitými součástkami od tohoto zapojení očekávat. Modul lze použít i pro jiné aplikace.



Obr.4 DC-DC konvertor “step-up”

Modul B - konvertor DC-DC “step-down”

Tento modul lze použít jako zdroj nabíjecího proudu. Zapojení modulu je na obrázku 5 a vychází z doporučeného zapojení obvodu MC34063A. Bylo by možné použít i zapojení s obvodem UC3843, dále uvedená varianta s MC34063A je však jednodušší. Princip činnosti je obdobný jako u konvertoru “step-up”. Obvod MC34063 obsahuje PWM modulátor řízený z výstupního děliče R4, R5 a P1 a úbytkem napětí na rezistoru R1, kterým je omezen maximální proud tranzistoru T1 (a i max. výstupní proud konvertoru). Dělič složený z rezistorů R4, R5, P1 určuje výstupní napětí. Pokud budou rezistory osazeny, funguje modul samostatně (použijeme je i pro ožívování), v případě použití modulu v nabíječce nebudou osazeny (nebo nebude osazena propojka J6) a konvertor bude řízen přímo z U2402,05,07. Na výstupu konvertoru je opět zapojen filtr tvořený paralelní kombinací kondenzátorů C3, C4. Jako tlumivka L1 je použit hotový výrobek. Zapojení opět nemá žádné zálužnosti a pracuje na první zapojení. Modul lze použít i pro jiné aplikace.



Obr.5 DC-DC konvertor “step-down”

Modul C - nabíječka U2402,05,07

Modul C je univerzální, lze použít obvod U2402B, U2405B nebo U2407B a podle vybraného obvodu se potom osadí propojky do plošného spoje (viz zapojení uvažovaných variant na obrázcích 6a, 6b, 6c a 6d). Osazení ostatních součástek se také řídí podle použitého obvodu a podle toho, jakým způsobem je realizován zdroj nabíjecího proudu. Obvody nabíječky jsou navrženy podle doporučeného zapojení výrobce obvodů. Deska plošných spojů je připravena pro připojení externí vybíječky, jako zdroj nabíjecího proudu lze použít buď DC-DC konvertor nebo lineární regulátor. Pozornost zasluhuje dělič napětí složený z rezistorů RB1, RB2, RB3. Popíšeme si podrobněji volbu těchto rezistorů. Tento dělič plní tyto funkce:

- musí zabezpečit napětí > 5V na vývodu **Ubatt**, pokud není vložen nabíjený akumulátor
- musí zabezpečit, aby v celém průběhu nabíjení napětí na **Ubatt** nepřekročilo 4 V
- rezistor RB1 určuje předformátovací proud (v případě použití obvodů U2405,07)

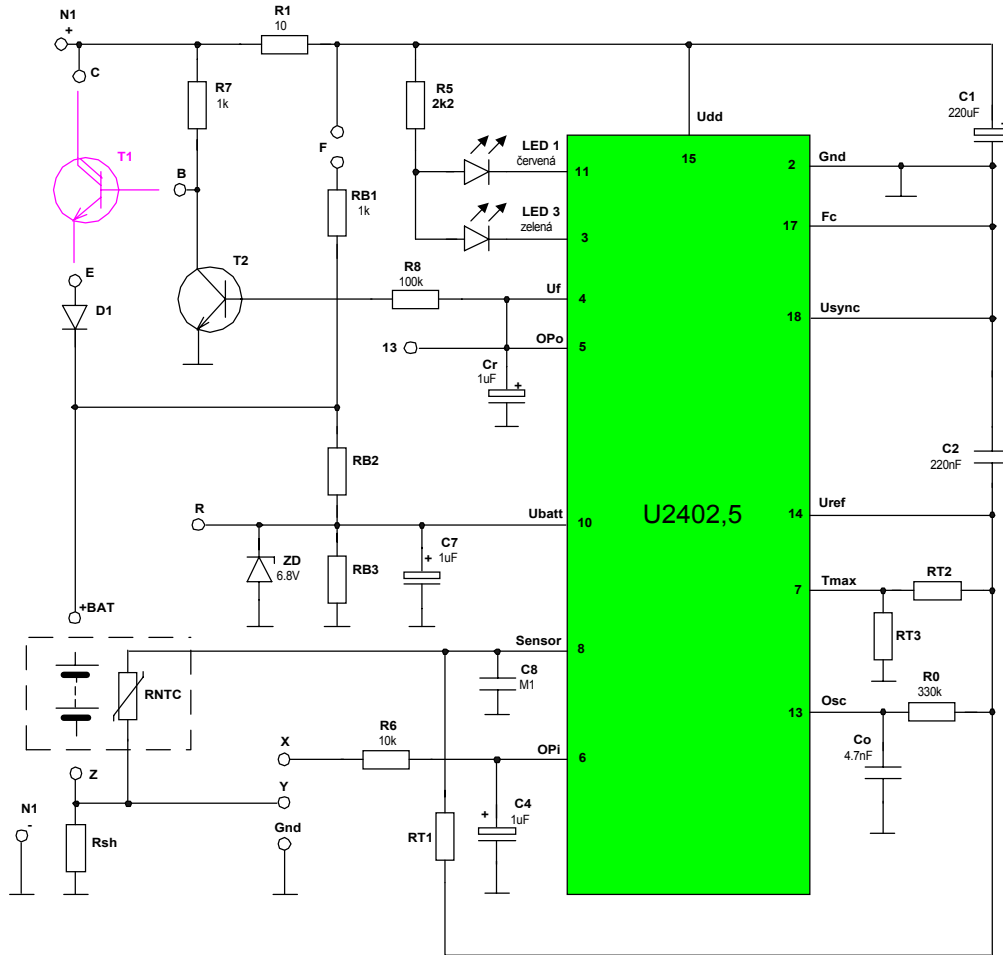
Při návrhu se musí dále uvažovat maximální napájecí napětí obvodu 26V, a proto bylo zvoleno bezpečných 24V. Pro volbu hodnoty rezistorů RB1=1k a RB2=10k vycházejí hodnoty rezistoru RB3 podle tabulky 3. Bližší popis významu jednotlivých položek je uveden v popisu stavby tohoto modulu. V tabulce není uveden řádek pro 1 nebo 2 nabíjené články, neboť v tomto případě rezistor RB3 nepotřebujeme a ze zapojení ho lze vypustit. (**Pozor, obvody U2405,07 neumějí nabíjet 1 články !**) Zenerovou diodou ZD je omezeno napětí na vývodu **Ubatt** na maximálně 7V. Z tabulky 3 je vidět, že 24V je opravdu minimální napájecí napětí pro správnou funkci napěťového děliče RB1, RB2, RB3 v tomto zapojení. Velikost nabíjecího proudu se volí volbou Rsh. Přepínat tento rezistor přímo může být nešikovné. Jednak by se muselo nakoupit více relativně drahých výkonových rezistorů a hlavně použít přepínač přes jehož kontakty musí téci celý nabíjecí proud. Jiné řešení je připojit k rezistoru Rsh dělič napětí a výstup tohoto děliče vést přes rezistor R6 do obvodu na vývod **OPI**. Rezistor Rsh je potom navržen pro nejmenší proud. Hodnoty součástek děliče pro přepínání velikosti nabíjecího proudu jakož i bližší popis položek tabulky 4 je uveden v popisu stavby tohoto modulu. Nevýhodou tohoto řešení je větší úbytek napětí na rezistoru Rsh a samozřejmě i větší výkonová ztráta.

Dalším důležitým nastavovacím prvkem je kmitočet oscilátoru. Ten se nastavuje pomocí RC členu na vývodu **Osc**. Platí, že pro nabíjení proudem rovným jmenovité kapacitě (1C) by měl být kmitočet oscilátoru nastaven na 800Hz. Pokud bychom chtěli nabíjet jiným proudem, musíme změnit kmitočet podle následujícího vztahu:

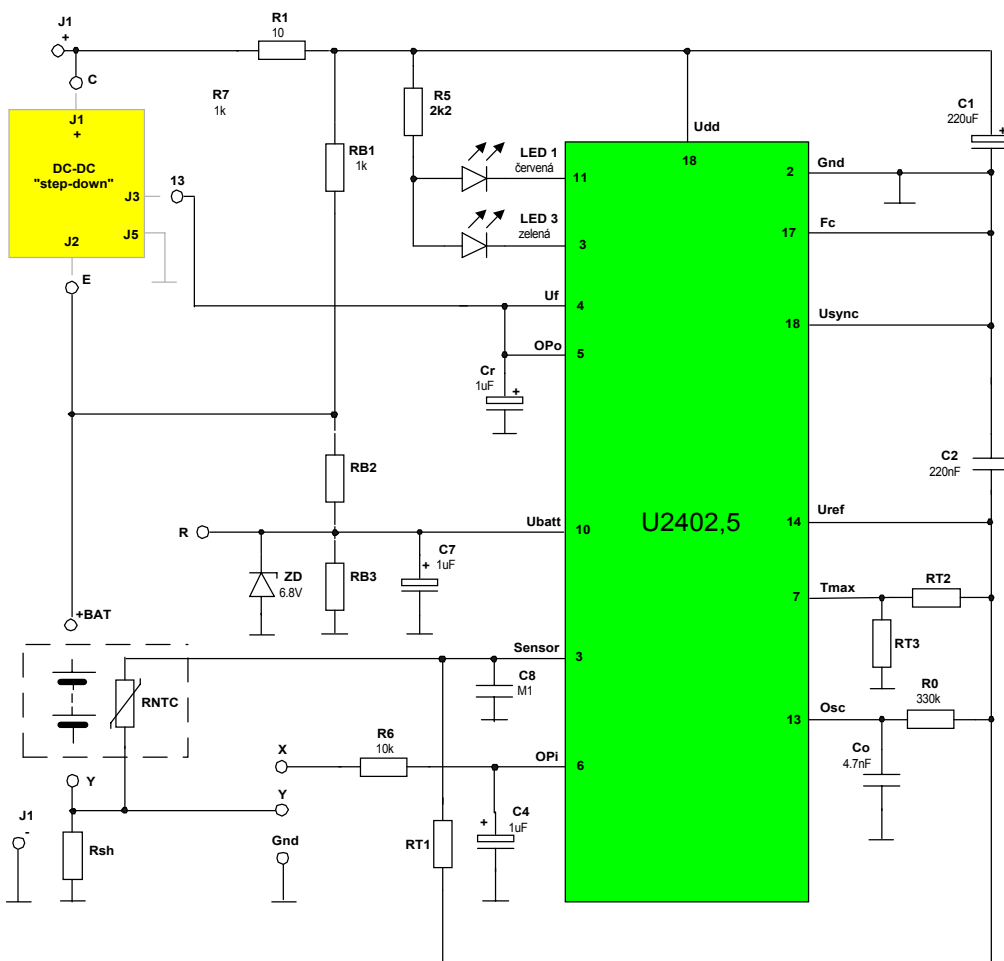
$$f_{osc} = (I_{nab} / jmenovitá_kapacita) \times 800 \quad [Hz, A, Ah]$$

Přitom je třeba si uvědomit, že kmitočet oscilátoru nelze měnit zcela libovolně. Jednak se mění i frekvence blikání diod LED a jednak (a hlavně) obvod určitě není schopen pracovat rychleji než, nám neznámý, mezní kmitočet. Vyzkoušeny byly frekvence 400 Hz až 1600 Hz.

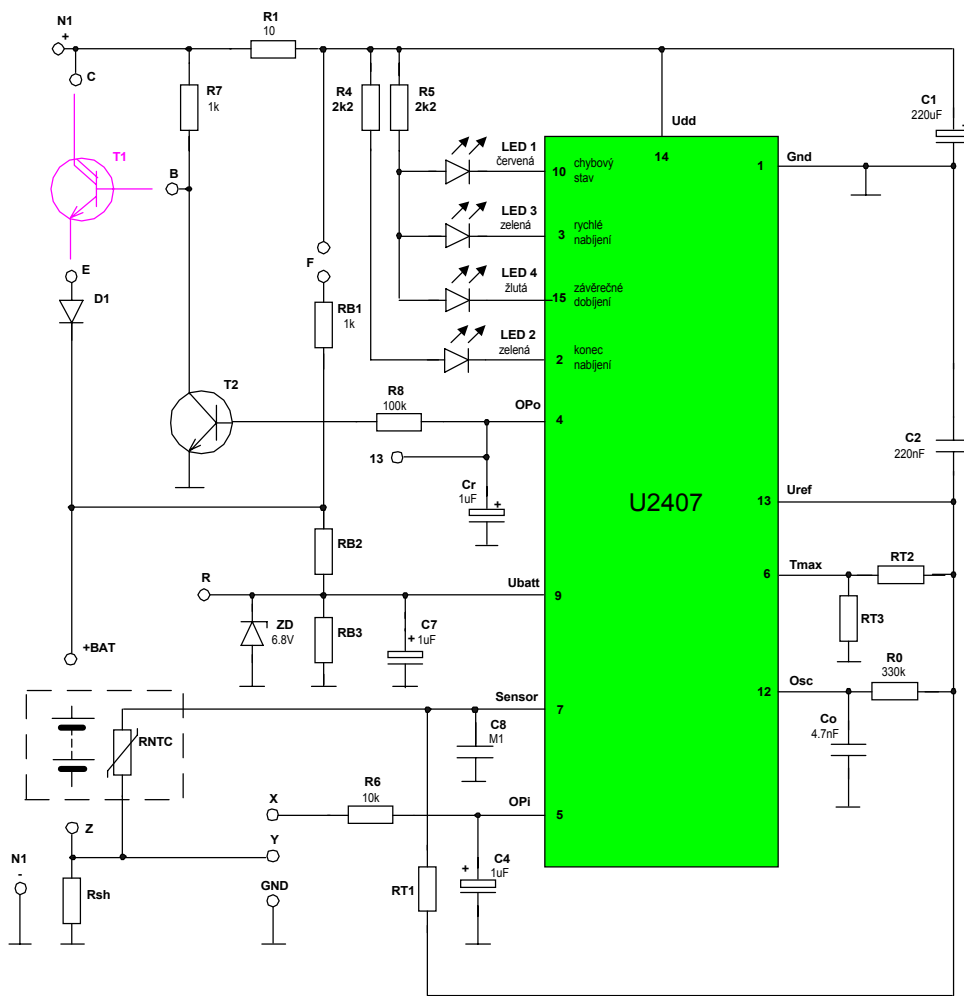
Volba rezistorů RT1, RT2, RT3 závisí na způsobu využití okénkového komparátoru popř. na konkrétní hodnotě použitého termistoru. Příklad návrhu je uveden v popisu vývodu **Sensor**. V zapojení je uvažováno použití termistoru NTC.



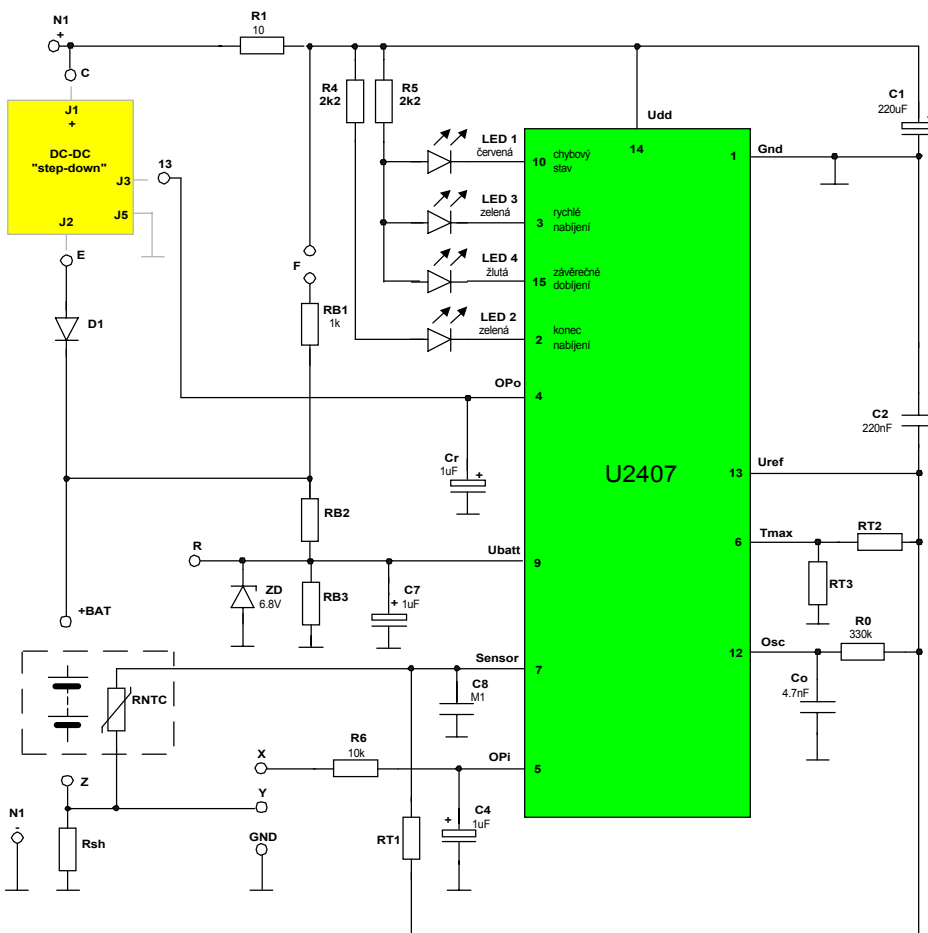
Obr.6a Modul s obvodem U2402B nebo U2405B, lineární regulace



Obr.6b Modul s obvodem U2402B nebo U2405B, DC-DC konvertor



Obr.6c Modul s obvodem U2407, lineární regulace



Obr.6d Modul s obvodem U2407, DC-DC konvertor

Modul D - lineární regulátor

Tento modul lze použít jako zdroj nabíjecího proudu. V tomto případě se celý modul redukuje pouze na tranzistor montovaný na desce-chladiči, jejíž rozměry jsou shodné s rozměry ostatních modulů.

Rozvaha o použití modulů

Základem popisované nabíječky je vždy modul C. Podle konkrétních požadavků potom vybereme další moduly a uvážíme jejich nastavení. Dále je třeba vzít na zřetel:

- kolik článků budeme nabíjet
- jakým proudem budeme nabíjet
- zdali budeme omezeni zdrojem 12 V (autobaterie)

Uvažujme nyní, že budeme chtít nabíjet 1 až 10 článků, pro jednoduchost úvah s kapacitou 1Ah. Zanedbáme vlastní odběr všech modulů. Pokud budeme chtít použít lineární regulátor a nepřepínat zdroj napětí, dojdeme zhruba k těmto výsledkům:

Lineární regulace

maximální napětí jednoho článku při nabíjení	~ 1,6V
maximální napětí nabíjeného akumulátoru	~ 10 x 1,6 = 16V
napětí na regulačním tranzistoru	~ 3V
potom	
výkon odebíraný ze zdroje	(16+3) x 1 = 19W
výkon dodávaný do jednoho článku	1,2 x 1 = 1,2W ⇒ účinnost 1,2/19 = 0,063, t.j. 6,3%
výkon dodávaný do 10-ti článků	1,2 x 10 = 12W ⇒ účinnost 1,2/19 = 0,63, t.j. 63%

Nespojitá regulace, měnič DC-DC

maximální napětí jednoho článku při nabíjení	~ 1,6V
maximální napětí nabíjeného akumulátoru	~ 10 x 1,6 = 16V
účinnost konvertoru "step-up"	~70%
účinnost konvertoru "step-down"	~70%
potom	
výkon odebíraný ze zdroje "step-down" a nabíjení 1 článku	1,2 x 1 x 1 = 1,2W
výkon odebíraný ze zdroje "step-up" a nabíjení 1 článku	1,2 / 0,7 = 1,714W
výkon odebíraný zdrojem "step-up" a nabíjení 1 článku	1,714 / 0,7 = 2,449W

⇒ účinnost 1,2 / 2,449 = 0,49, t.j. 49%

Pro jiný počet článků je výpočet stejný a za předpokladu, že se účinnost měničů s odebíraným výkonem nemění (to ve skutečnosti není pravda) je i výsledná účinnost shodná.

Z výše uvedeného vyplývá, že pokud bychom chtěli nabíjet jen určitý (tzn. stále stejný) počet článků, je použití lineárního regulátoru docela dobře možné. Výhodou je jednoduchost zapojení. Na druhé straně, při použití měniče (dobře navrženého a nastaveného s účinností větší než uvažovaných 70%) lze dosáhnout výsledků srovnatelných nebo lepších, výhodou je podstatně lepší účinnost při nabíjení menších počtů článků za jinak shodných podmínek. Stálo by asi za úvahu a vyzkoušení přepínat výstupní napětí DC-DC konvertoru "step-up" podle počtu nabíjených článků.

A nyní k možnostem propojení modulů. Nejlépe je uvést několik příkladů možných použití modulů při napájení z 12V autobaterie - viz obrázek 7.

- 1) nabíjení 1 až 5 článků.
 - modul nabíječky (U2402) + lineární regulátor
 - modul nabíječky (U2402) + DC-DC konvertor "step-down"
- 2) nabíjení 7 až 8 článků
 - modul nabíječky (U2402,05,07) + DC-DC konvertor "step-up" + lin. regulátor
- 3) nabíjení 2 až 5 článků
 - modul nabíječky (U2405,07) + lineární regulátor
 - modul nabíječky (U2405,07) + DC-DC konvertor "step-down"

- 4) nabíjení 1- 10 článků
 - modul nabíječky (U2405,07) + DC-DC konvertor “step-up” + DC-DC konvertor “step-down”
- 5) nabíjení 10 a více článků
 - modul nabíječky (U2402,05,07) + DC-DC konvertor “step-up” (nezkoušeno, pozor, konvertor “step-up” neumí generovat napětí menší než je jeho napájení !!)

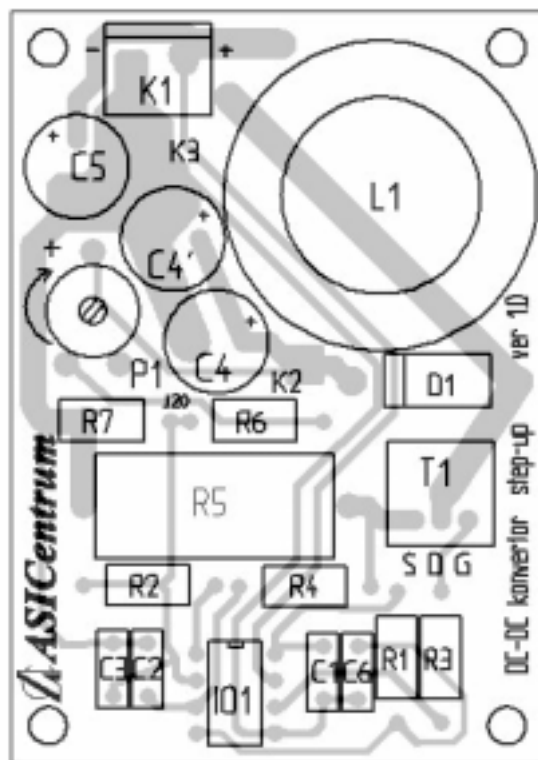
Stavební návod

Stavba nabíječky se doporučuje v následujícím pořadí :

- 1) **modul A** - DC-DC konvertor “step-up” (pokud se použije)
- 2) **modul B** - DC-DC konvertor “step-down” (pokud se použije)
- 3) **modul C** - nabíječka
- 4) **modul D** - lineární regulátor (pokud se použije)

Stavba a oživení modulu A - DC-DC konvertor “step-up”

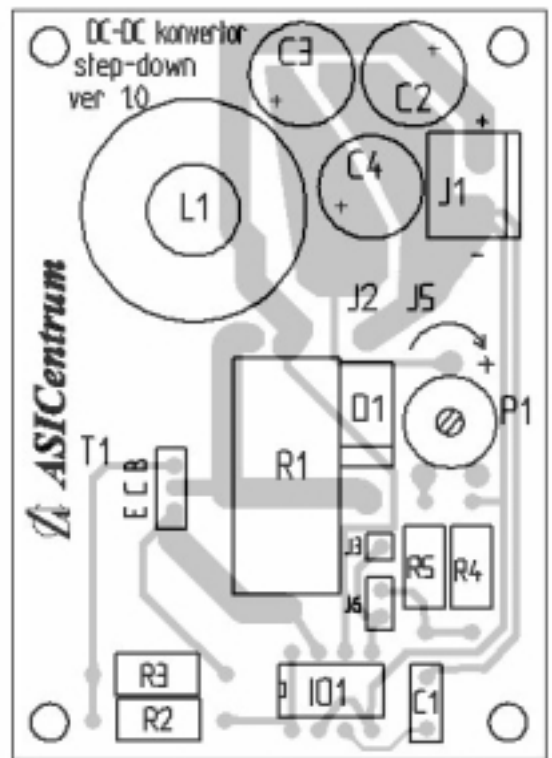
Schéma modulu je na obr. 4, deska plošných spojů na obr. 8. Na desku plošných spojů se postupně osadí všechny součástky. Na pozici IO1 je z hlediska ožívování vhodné použít objímku (její cena je zanedbatelná). Tranzistor je vhodné namontovat na malý chladič (např. DO1A 13x19x13 mm). Je možné, že pro menší nabíjecí proudy nebude ani nutný. Jinak vyhoví i kousek hliníkového plíšku ohnutý do tvaru U o výšce uvedených rozměrech. Dioda D1 a výkonový rezistor R5 se mohou nechat několik milimetrů nad deskou kvůli lepšímu proudění chladičím vzduchu. Pokud se použije deska plošných spojů s nepájivou maskou, bude se podstatně lépe pájet a výsledek práce bude i vzhlednější. Nepájivá maska také minimalizuje možnost vzniku nechtěných zkratů na desce. Trimmer P1 se natočí běžcem na doraz proti šipce vyznačené na desce (minimální odpor P1, minimální napětí na výstupu K2). Po vizuální kontrole pájených spojů se může připojit na výstup (body označené K2, K3) voltmetr a na vstup (body označené K1+ a K1-) připojíme zdroj napětí 12 V. Pokud má zdroj proudovou pojistku, je dobré ji použít (nastavit na cca 200mA). Na výstupu by nyní mělo být napětí, jehož velikost je nastavitelná pomocí P1. Poloze běžce P1 uprostřed odpovídá napětí na výstupu asi 24V. Nastavíme požadované napětí a ještě se může zkusit zatížit výstup vhodnou zátěží (pojistku na zdroji vyřadíme nebo nastavíme na cca 3A). Neměl by se překročit proud do zátěže cca 1,5A. Při tomto proudu se již tlumivka, rezistor i tranzistor zahřívají, tlumivka silně. Může se i změřit účinnost konvertoru. Měření ovšem není běžným prostředkem asi moc věrohodné (proud tekoucí do konvertoru má periodický nesinusový tvar). Krátce: jediný nastavovací prvek je P1, po nastavení požadovaného výstupního napětí je ožívování skončeno. Rozsah nastavení výstupního napětí je omezen rezistory R6, R7. Pokud je potřeba, lze jejich hodnoty patřičně upravit.



Obr.8 Rozmístění součástek na plošném spoji modulu A

Stavba a oživení modulu B - DC-DC konvertor “step-down”

Schéma modulu je na obr. 5, deska plošných spojů na obr. 9. Stavba a oživení je v podstatě shodná s modulem A. Na desku plošných spojů se postupně osadí všechny součástky. Tranzistor namontujeme na chladič (např. W4330N). Vyhoví i kus hliníkového plechu ohnutý do tvaru U o rozměrech asi 10 x 20 x 30 mm. Pozor zde je chlazení opravdu nutné! Diodu D1 a výkonový rezistor R1 je opět dobré nechat několik milimetrů nad deskou kvůli lepšímu proudění chladičím vzduchu. Trimmer P1 se natočí běžcem asi do poloviny své dráhy. Osadí se i rezistory R4, R5 a propojku J6, i když je potom nebudeme používat (modul ve spolupráci s modulem C nabíječka). Po vizuální kontrole pájených spojů se může připojit na výstup (body označené J2, J5) voltmetr a na vstup (body označené J1+ a J1-) zdroj napětí 24V (může se použít zdroj 12V a oživený modul konvertoru A “step-up”). Pokud má zdroj proudovou pojistku, nastaví se na cca 200mA. Na výstupu by nyní mělo být napětí, jehož velikost je nastavitelná pomocí P1. Nastaví se požadované napětí (pro nabíječku 1 až 10 článků cca 18V) a může se zkusit zatížit výstup vhodnou zátěží (pojistku zdroje se nastaví na cca 2A nebo vyřadí). Neměl by se překročit proud do zátěže cca 1,5A. Při tomto proudu se již tlumivka, odpor i tranzistor silně zahřívají. Po nastavení požadovaného výstupního napětí je ožívování skončeno. Rozsah nastavení výstupního napětí je omezen rezistory R4, R5. Pokud je třeba, lze jejich hodnoty patřičně upravit. Jestliže bude modul spolupracovat s modulem C nabíječka musíme po oživení vypájet rezistory R4, R5 nebo vyjmout propojku J6.



Obr.9 Rozmístění součástek na plošném spoji modulu B

Stavba a oživení modulu C - nabíječka s obvody U2402B, U2405B a U2407B

Možná zapojení modulu jsou na obrázcích 6a,b,c,d, deska plošných spojů na obr.10a,b. Na desku plošných spojů se nejprve zapájí všechny propojky podle použitého typu obvodu. Pokud použijeme obvod U2407 zapájí se i dvě drátové propojky pro buzení LED2 a LED4. Drátová propojka na pozici “F” se osadí, pokud bude mít modul C stejné napájení jako zdroj nabíjecího proudu. Na pozici IO1 je z hlediska ožívování opět vhodné použít objímku. Pokud se nepoužije sensor pro snímání teploty, zapájí se na místo senzoru rezistor s takovou hodnotou, aby na vstupu **Sensor** bylo napětí menší než 4V a větší než napětí nastavené na vstupu **Tmax**. Hodnoty RB3 je možno určit podle tabulky 3. Pokud se rozhodneme nabíjet jen určitý (tzn. stále stejný) počet článků (s jedním rezistorem lze při vhodném návrhu obsáhnout nabíjení např. 7 až 8 článků nebo 5 až 6 atd.) zapájí se pevný rezistor do desky, jinak se musí na pozici RB3 zapájet kablíky a vést je na přepínač počtu článků, viz obrázek u tabulky 3. Hodnoty v tabulce jsou vypočítány pro napájecí napětí 24V a hodnotu rezistoru RB1=1k, RB2=10k. Vysvětlení položek tabulky 3:

- **Napětí nabité baterie** - uvažováno 1,6V na článek
- **Napětí vybité baterie** - uvažováno 0,9V na článek
- **RB3** - hodnota rezistoru RB3 v kohmech
- **Dělicí poměr pro nabíjení** - dělicí poměr děliče vytvořeného rezistory RB2, RB3
- **Dělicí poměr pro RESET** - dělicí poměr děliče vytvořeného rezistory RB1+RB2, RB3
- **Ubatt nabíjení minimální** - napětí na vývodu **Ubatt** po připojení vybité baterie
- **Ubatt nabíjení maximální** - napětí na vývodu **Ubatt** při plně nabité baterii
- **Napětí pro RESET** - napětí na vývodu **Ubatt**, pokud není připojena baterie, není uvažován vliv ZD

Podle tabulky 4 se vybere rezistor Rsh, popř i hodnoty rezistorů RX1, RX2 pro dělič přepínače nabíjecího proudu. Vysvětlení položek tabulky 4:

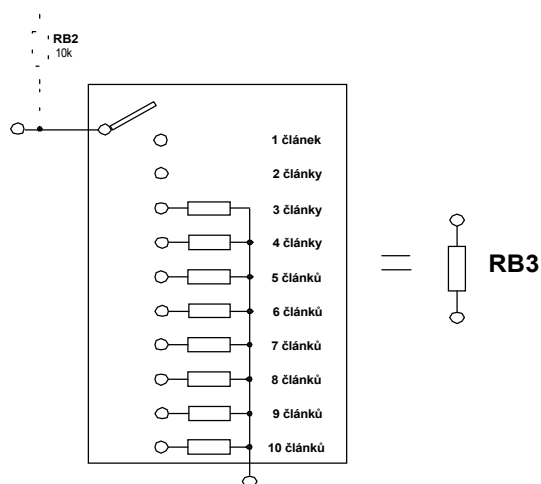
- **Rsh** - rezistor pro snímání nabíjecího proudu
- **I_{Rsh}** - nabíjecí proud
- **RX2 ...** - hodnota rezistoru RX2 pro zvolený nabíjecí proud
- **V_{Rsh...}** - napětí na Rsh pro zvolený nabíjecí proud
- **Dělicí poměr ...** - dělicí poměr děliče vytvořeného rezistory RX1, RX2

Rezistory pro přepínač počtu článků a přepínač nabíjecího proudu jsou umístěny přímo na těchto přepínačích. Pokud se spokojíme s jediným nabíjecím proudem (určeným odporem Rsh) propojí se body X - Y drátovou propojkou. Pokud se použije přepínač proudů zapájíme do bodů X, Y, Gnd kablíky, které povedou na přepínač nabíjecích proudů (v zapojení je uvažováno vřazení odporového děliče paralelně s Rsh, nikoliv tedy přímé přepínání rezistoru Rsh).

Následuje doporučený postup oživení tohoto modulu:

- 1) osadí se všechny součástky mimo IO1
- 2) připojí se napájecí napětí
- 3) postupným připojením vývodů 2, 3, 10, 15 na vývod 1 IO1 se vyzkouší funkce signalizačních LED diod
- 4) pokud je připojen přepínač proudů, nastaví se nejmenší nabíjecí proud
- 5) odpojí se napájecí napětí
- 6) vloží se IO1 do objímky
- 7) připojí se napájecí napětí a změříme napětí na vývodu **Sensor a T_{max}**, napětí na vývodu **Sensor** musí být menší než 4V a větší než napětí na **T_{max}**
- 8) pokud není připojena nabíjená baterie, musí blikat LED1 (červená) a na vývodu **U_{batt}** musí být pro každou polohu přepínače počtu článků (pokud je použit) napětí větší než 5V a menší než 7V.
- 9) připojí se nabíjený akumulátor přes ampérmetr, přepínač počtu článků (pokud je použit) musí být v odpovídající poloze. Musí začít blikat LED3, do akumulátoru by měl téci proud zvolený přepínačem nabíjecího proudu (pokud je použit) - rychlé nabíjení nebo proud daný napájecím napětím a rezistorem RB1 - předformátování (pokud se použil obvod U2405B nebo U2407B a napětí na **U_{batt}** bylo menší než 1,6V).

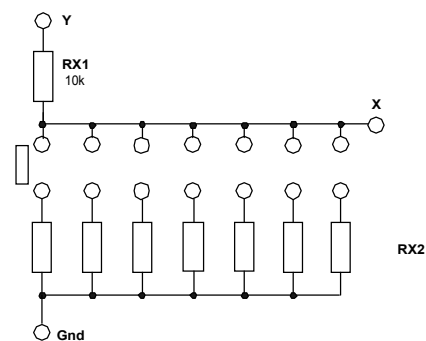
Počet článků	Napětí plně nabitě baterie (V)	Napětí vybité baterie (V)	RB3 (kΩ)	Dělicí poměr pro nabíjení	Dělicí poměr pro RESET	U _{batt} nabíjení min. (V)	U _{batt} nabíjení max. (V)	Napětí pro RESET (V)
3	4,80	2,70	27,00	1,37	1,41	1,97	3,50	17,05
4	6,40	3,60	12,00	1,83	1,92	1,96	3,49	12,52
5	8,00	4,50	8,20	2,22	2,34	2,03	3,60	10,25
6	9,60	5,40	5,60	2,79	2,96	1,94	3,45	8,10
7	11,20	6,30	4,70	3,13	3,34	2,01	3,58	7,18
8	12,80	7,20	3,90	3,56	3,82	2,02	3,59	6,28
9	14,40	8,10	3,30	4,03	4,33	2,01	3,57	5,54
10	16,00	9,00	3,05	4,28	4,61	2,10	3,74	5,21



Tab.3 Hodnoty RB3 pro různé počty článků a zapojení přepínače počtu článků

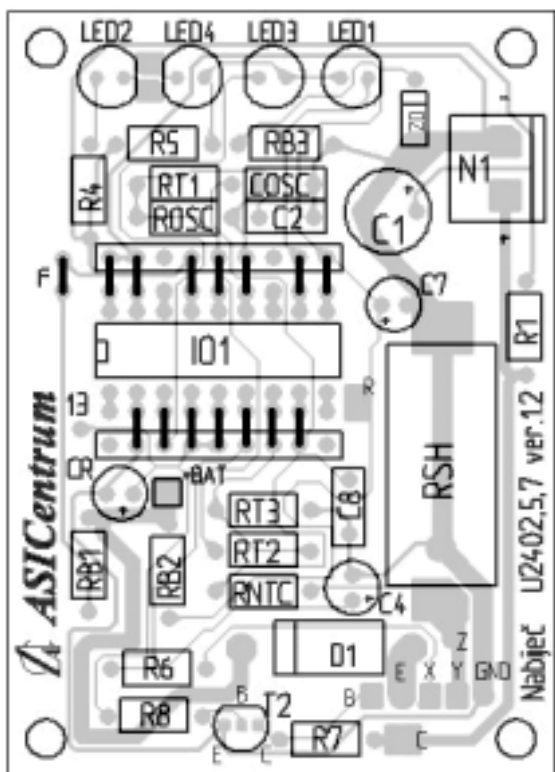
Parametr	Rsh (Ω)									
	0,15	0,22	0,33	0,47	0,56	0,68	0,82	1,00	1,20	1,50
I_{Rsh}	1,07	0,73	0,48	0,34	0,29	0,24	0,20	0,16	0,13	0,11
RX2 500 mA [kΩ]			320,00	21,33	13,33	8,89	6,40	4,71	3,64	2,71
V_{Rsh} 500 mA			0,17	0,24	0,28	0,34	0,41	0,50	0,60	0,75
Dělicí poměr 500 mA			1,03	1,47	1,75	2,13	2,56	3,13	3,75	4,69
RX2 600 mA [kΩ]			42,11	13,11	9,09	6,45	4,82	3,64	2,86	2,16
V_{Rsh} 600 mA			0,20	0,28	0,34	0,41	0,49	0,60	0,72	0,90
Dělicí poměr 600 mA			1,24	1,76	2,10	2,55	3,08	3,75	4,50	5,63
RX2 750 mA [kΩ]		320,00	18,29	8,31	6,15	4,57	3,52	2,71	2,16	1,66

Parametr	Rsh (Ω)									
	0,15	0,22	0,33	0,47	0,56	0,68	0,82	1,00	1,20	1,50
V_{Rsh} 750 mA		0,17	0,25	0,35	0,42	0,51	0,61	0,75	0,90	1,13
Dělicí poměr 750 mA		1,03	1,55	2,20	2,63	3,19	3,84	4,69	5,63	7,03
RX2 900 mA [k Ω]		42,11	11,68	6,08	4,65	3,54	2,77	2,16	1,74	1,34
V_{Rsh} 900 mA		0,20	0,30	0,42	0,50	0,61	0,74	0,90	1,08	1,35
Dělicí poměr 900 mA		1,24	1,86	2,64	3,15	3,83	4,61	5,63	6,75	8,44
RX2 1000 mA [k Ω]		26,67	9,41	5,16	4,00	3,08	2,42	1,90	1,54	1,19
V_{Rsh} 1000 mA		0,22	0,33	0,47	0,56	0,68	0,82	1,00	1,20	1,50
Dělicí poměr 1000 mA		1,38	2,06	2,94	3,50	4,25	5,13	6,25	7,50	9,38
RX2 1200 mA [k Ω]	80,00	15,38	6,78	3,96	3,13	2,44	1,94	1,54	1,25	0,98
V_{Rsh} 1200 mA	0,18	0,26	0,40	0,56	0,67	0,82	0,98	1,20	1,44	1,80
Dělicí poměr 1200 mA	1,13	1,65	2,48	3,53	4,20	5,10	6,15	7,50	9,00	11,25
RX2 1500 mA [k Ω]	24,62	9,41	4,78	2,94	2,35	1,86	1,50	1,19	0,98	0,77
V_{Rsh} 1500 mA	0,23	0,33	0,50	0,71	0,84	1,02	1,23	1,50	1,80	2,25
Dělicí poměr 1500 mA	1,41	2,06	3,09	4,41	5,25	6,38	7,69	9,38	11,25	14,06

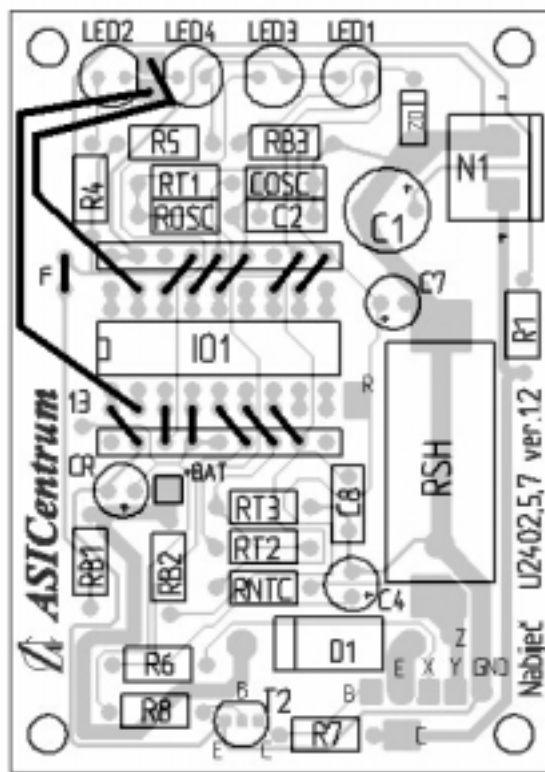


RX2

Tab.4 Hodnoty RX2 pro různé nabíjecí proudy a zapojení přepínače nabíjecího proudu



Obr.10a Rozmístění součástek na plošném spoji modulu C s obvodem U2402B nebo U2405B



Obr.10b Rozmístění součástek na plošném spoji modulu C s obvodem U2407B

Seznam použitých součástek

Modul A - DC-DC konvertor "step-up"

R1	10k
R2	100k
R3	22
R4	1k
R5	0.15 (4W)
R6	2k7 * (viz. text.)
R7	470 * (viz. text)
P1	5k
C1	100n
C2	470
C3	47n
C4, C4'	330u / 35 V
C5	330u / 35 V
C6	4n7
L1	35uH / 5A (SFT1030 35uH/5A, GM)
T1	BUZ11 (BUZ10)
IO1	UC3843
D1	1N5821
chladič	(DO1A 13 x 19 x 13, GM)
svorkovnice	ARK120/2
plošný spoj	modul "A"

Modul C - vlastní nabíječka

varianta s U2402B nebo U2405B

R1	10
R4	neosazen
R5	2k2
R6	10k
R7	1k (jen s modulem "D")
R8	100k (jen s modulem "D")
Ro	330k (fosc=800Hz)
RT1	viz. text
RT2	viz. text
RT3	viz. text
RB1	1k
RB2	10k
RB3	viz. text
RNTC	viz. text
Rsh	viz. text
C1	220uF / 25 V
C2	220nF
C4, Cr	1uF / 25 V
C7, C8	1F / 25 V
Co	4.7nF
LED1	např. červená
LED2	neosazeno
LED3	např. zelená
LED4	neosazeno
D1	libovolná Si pro $I_{max} \geq 2$ A
ZD	zenerova dioda 6.8V/ 1.3 W
T2	univ. NPN (jen s modulem "D")
svorkovnice	ARK120/2
plošný spoj	modul "C"

Modul D - lineární regulátor

T1	BD 649 (nebo podle uvažovaného proudu)
chladič	pro T1

Modul B - DC-DC konvertor "step-down"

R1	0.1 (4W)
R2	1k
R3	120
R4	1k8 * (viz. text)
R5	10k * (viz. text)
P1	25k
C1	1n
C2	330u / 35 V
C3, C4	330u / 35 V
L1	40uH / 3A (SFT1230/3A, GM)
T1	BD 646
IO1	MC34063A
D1	1N5821
chladič	(W4330N, GM)
svorkovnice	ARK 120/2
plošný spoj	modul "B"

varianta s U2407B

R1	10
R4	2k2
R5	2k2
R6	10k
R7	1k (jen s modulem "D")
R8	100k (jen s modulem "D")
Ro	330k (fosc=800Hz)
RT1	viz. text
RT2	viz. text
RT3	viz. text
RB1	1k
RB2	10k
RB3	viz. text
RNTC	viz. text
Rsh	viz. text
C1	220uF / 25 V
C2	220nF
C4, Cr	1uF / 25 V
C7, C8	1uF / 25 V
Co	4.7nF
LED1	např. červená
LED2	např. zelená
LED3	např. zelená (modrá)
LED4	např. žlutá
D1	libovolná Si pro $I_{max} \geq 2$ A
ZD	zenerova dioda 6.8V/ 1.3 W
T2	univ. NPN (jen s modulem "D")
svorkovnice	ARK120/2



Obr.11 Fotografie osazeného modulu konvertoru “step up”



Obr.12 Fotografie osazeného modulu konvertoru “step down”



Obr.13 Fotografie osazeného modulu nabíječky s U2407B

Co a kde lze sehnat

ASICentrum s.r.o. prodává všechny typy nabíjecích integrovaných obvodů z řady U240xB. Ceny se průběžně mění a jsou závislé na odebraném množství. Prodej se uskutečňuje v Praze na níže uvedené adrese nebo na dobírku. Tištěné spoje lze zakoupit též u firmy ASICentrum.

Ostatní součástky jsou běžně dostupné v obchodní síti a jejich prodej firma ASICentrum nezajišťuje.

Jakékoliv komerční a průmyslové použití všech v tomto článku uveřejněných zapojení a předloh desek s plošnými spoji včetně jejich hromadné výroby jsou možné jen se svolením firmy ASICentrum.

Předem děkuji za všechny typy ohlasů na tento článek, stejně jako za poznatky z používání nabíjecích obvodů. Ve většině případů tyto informace slouží novým ještě nezkušeným zákazníkům.

Ing. Jan Velich
 ASICentrum s.r.o., Novodvorská 994, 142 21 Praha 4
 Tel. (02) 4404 3838, 4404 3478, 4404 3365
 Fax : (02) 4722164
 E-mail : jan.velich@asicentrum.cz, info@asicentrum.cz
<http://www.asicentrum.cz>