

V TOMTO SEŠITĚ

Z pážete se stal pager neboli operátor 121

OBVODY PRO NAPÁJECÍ ZDROJE

Obvody pro nabíjení baterií (pokračování z KE č. 2/98) 123
Přehled dosud popsanych obvodů 124
Další vhodné obvody a zapojení pro nabíjení baterií 137
Referenční obvody 146
Zajímavá a praktická zapojení s referenčními obvody 156

Doplňky a rady autora k nabíječce AKU s automatikou v KE č. 5/1997 158

KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A RADIO

Vydavatel: AMARO spol. s r. o.

Redakce: Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel.: (02) 57 31 73 11, tel./fax: (02) 57 31 73 10.

Šéfredaktor ing. Josef Kellner, sekretářka redakce Eva Kelárková, tel. 543 825, l. 268.

Ročně vychází 6 čísel. Cena výtisku 25 Kč. Pololetní předplatné 75 Kč, celoroční předplatné 150 Kč.

Rozšiřuje PNS a. s., Transpress s. s. r. o., Mediaprint a Kapa, soukromí distributoři, informace o předplatném podá a objednávky přijímá Amaro s. s. r. o., Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel./fax (02) 57 31 73 13, PNS, pošta, doručovatel.

Objednávky a předplatné v Slovenskej republike vybavuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., P. O. BOX 169, 830 00 Bratislava, tel./fax (07) 5254559 - předplatné, (07) 5254628 - administrativní. Předplatné na rok 165,- SK. Podávání novinových zásilek povolila jak Česká pošta s. p., OZ Praha (čj. nov 6028/96 ze dne 1. 2. 1996).

Inzerce přijímá redakce ARadio, Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel.: (02) 57 31 73 11, tel./fax: 57 31 73 10.

Inzerce v SR vyřizuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Teslova 12, 821 02 Bratislava, tel./fax (07) 5254628.

Za původnost a správnost příspěvků odpovídá autor. Nevýžádané rukopisy nevracíme.

E-mail: a-radio@login.cz

Internet: http://www.spinnet.cz/aradio

ISSN 1211-3557

© AMARO spol. s r. o.

Z pážete se stal pager neboli operátor

Ačkoliv novodobý, z angličtiny k nám přijatý, termín „paging“ označuje ryze radiotechnickou záležitost, k názornému pochopení jeho podstaty výstižně poslouží jeho etymologický výklad. Slova pager, paging totiž nejsou odvozena od page - stránka, jak se na první pohled zdá. Angličtina zná výraz page také v dalším významu, a sice „páže“, tedy „hoch, sluha“. Americká angličtina používá pak sloveso to page ještě ve významu „svolávat“. Jak spolu souvisí hoch, sluha a svolávat? Pro vysvětlení se vraťme kousek do historie, do doby, kdy elektroakustika a videotechnika neskýtaly takové možnosti, jako je tomu dnes. Před sto lety se používal jako běžný a decentní komunikační prostředek v prostorách s větším množstvím lidí (nádraží, hotelové recepcie) chlapec - páže, který procházel mezi přítomnými a na tyči nesl ceduli s nápisem tak, aby si ho mohl každý přečíst, např.: „Mr. Purfield nechť se dostaví do kanceláře“.

Základní informace o pagingu

Odtud tedy název a uznejme, že v anglosaském světě mají při tvorbě názvů nových fenoménů větší fantazii, než máme my. V současné době slovo **paging** souhrnně označuje rádiové systémy jednosměrné komunikace, umožňující předávání numerických nebo textových zpráv na přenosný přijímač, zvaný **pager** nebo také **operátor**, který lze vzhledem k jeho miniaturním rozměrům a malé hmotnosti nosit neustále pohodlně a nenápadně při sobě (pager nabízí kromě akustické signalizace příjmu zprávy také signalizaci vibrační). Na doručení zprávy není nutné reagovat okamžitě, neboť každá doručená informace je uchovávána v paměti přijímače, takže je možno ji kdykoliv později vyvolat. Pager tak lze použít nejen k zastížení žádané osoby, ale také k předání důležitých informací, aniž by adresát musel odpovídat.

Nástup pagingu jako jednoduché, rychlé a levné komunikace pro veřejné použití se datuje od počátku 70. let. Paging se rozšířil hlavně v USA, v anglofonních zemích a v jihovýchodní Asii a jeho obliba rostla s rozvojem nabídky hardware a jeho aplikací, takže jeho rozšíření bylo na počátku 90. let v těchto zemích větší, než celulárních telefonů. Dnes mají USA nejrozsáhlejší a nejdynamičtější se rozvíjející pagingový trh na světě. (V roce 1993 získaly pagingové společnosti v USA 4,5 miliónů nových účastníků a dosáhly celkového počtu téměř 20 miliónů účastníků. Do roku 1999 se očekává zdvojnásobení tohoto počtu.) U nás je paging bohužel zatím zastíněn explozí mobilních telefonů GSM, které jsou často používány i tam, kde by byl výhodnější a hlavně levnější pager.

Nejrozšířenější formou pagingu je nyní paging numerický, který umožňuje poslat uživateli pageru jednoduchou numerickou informaci, kterou je ve většině případů telefonní číslo, na kterém se nacházíme a na něž se má adresát ozvat.

Textový pager umožňuje přijímat zprávy složené z písmen, číslic a dal-

ších znaků. Délka zpráv je omezena provozovaným pagingovým standardem, typem přístroje a typem služby, kterou si zákazník zvolil. Většina pagingových společností nabízí výběr z několika druhů služeb, které se liší komfortem a výší poplatku.

Když shrneme dosud uvedené, výhody pagingu jsou následující: přijímač, který má uživatel při sobě, je velmi malých rozměrů a hmotnosti (přibližně 5 x 7 x 2 cm, asi 70 g); přijímač vyžaduje jen malé provozní náklady (jeden napájecí alkalický článek 1,5 V umožní až 4500 hodin provozu); pager je velmi diskretní - vaše okolí vůbec nemusí zaregistrovat, že jste nějakou zprávu přijali, a reagovat můžete hned nebo kdykoliv později; pager je spolehlivý, neboť každý vzkaz je vyslán opakovaně několikrát a je uložen v paměti přijímače a v poštovní schránce, dokud jej nevymažete; paging umožňuje zasílání skupinových zpráv - zaslání jednoho vzkazu na více pagerů, které mají společné skupinové číslo; obsluha pageru je velmi jednoduchá, všimněte si ovládacích tlačítek na fotografiích na vedlejší straně.

Organizace veřejné pagingové služby

Jednosměrný radiopaging (1-way paging) je organizován podle nároků na velikost sítě a poskytované služby a v této souvislosti je klasifikován do tří skupin:

1) lokální paging (určen pro jedno město nebo jeho část);

2) regionální paging (pokrývá geograficky nebo administrativně vymezené územní celky);

3) celoplošný paging (pokrývá důležité části velkého území - státu, ho-voříme o procentu „pokrytí populace“ a „pokrytího území“). Přístup do pagingové sítě je umožněn několika různými způsoby počínaje telefonickým vzkazem přes spojovatelku, přes Internet, dále telefonem s tónovou volbou, přes pevné pronajaté přístupové linky až po automatické předávání vzkazů počítačem s modemem.

Pagingová ústředna přijímá vzkazy ve všech zmíněných přístupových formách, ty třídí, řadí a potom generuje a dopravuje v rámci příslušného protokolu či formátu na vysílací místo (do tzv. pozemní pagingové základnové stanice). Tento datový přenos zajišťuje distribuční přenosová síť, dnes většinou využívající satelitního spojení přes geostacionární družici, sloužící jako aktivní retranslátor.

Vzkazy ve formě pagingových dat jsou nakonec vysílány do uživatelských přijímačů prostřednictvím sítě pozemních pagingových základnových stanic, která je nejvariabilnější částí pagingové struktury. Její skladba se podřizuje konkrétním požadavkům nejen určitého pagingového systému, ale i morfologii území, vlivu dalších telekomunikačních služeb atd.

Pagingové systémy a protokoly

S rozvojem pagingové služby jako komerčního systému pro mobilní jednosměrnou komunikaci bylo nutno definovat a unifikovat soustavu technických pravidel, která by umožnila provozovatelům pagingu a výrobcům pagingového zařízení efektivně zvládnout přenos pagingových dat po obsažené i technické stránce.

Soubory řídicích protokolů pro kódování a přenos dat jsou nezbytným základem celého přenosového systému a jsou označovány jako formát či standard. Z hlediska kompatibility je nutné, aby standardy existovaly pro všechna přenosová rozhraní (modem - ústředna, ústředna - vysílač, vysílač - pager aj. podle situace).

Protokoly typu INTER např. definují komunikační pravidla pro spojení mezi pagingovými ústřednami. V současné době je nejrozšířenějším protokol TNNP, navržený týmem expertů z firem, vyrábějících pagingové ústředny. Charakteristickými prvky protokolu je úplná duplexní komunikace „point to point“, možnost satelitního přenosu a podpora nabídky specifických služeb pro zákazníky.

Protokoly typu PAGER určují pravidla přenosu mezi pozemními vysílacími pagingovými stanicemi a jednotlivými pagery - operátory, týkají se tedy uživatelů a jejich miniaturních přijímačů. V průkopnických dobách pagingu se k přenosu dat do koncového přijímače používal analogový dvoutónový formát, který umožňoval obsloužit řádově stovky uživatelů. Jeho zdokonalením vznikl tzv. 5/6 tónový analogový formát, využívající 11 různých tónů, umožňující obsloužit až jeden milión pagerů v síti a v některých zemích používaný dodnes.

Ve světě nejpoužívanějším pagingovým formátem je formát typu POCSAG (Post Office Code Standardization Advisory Group), vyvinutý koncem 70. let pro paging na územích s velkou hustotou obyvatel, obsluhující až dva milióny uživatelů nejdůležitějších pagingových služeb při přenosových rychlostech do 2400 bitů/s.

Pagingové služby v ČR

V České republice existují v současné době dva provozovatelé pagingových služeb. Společnost Multiton cz se na zahájení provozu zatím připravuje, společnost Radiokontakt OPERATOR a. s. u nás působí již od roku 1992 a jistě si vzpomenete na televizní reklamy „Operátor vás najde všude“, nad nimiž nezasevčený divák nechápalvě kroutil hlavou.

Společnost Radiokontakt OPERATOR provozuje na našem území paging ve dvou formátech:

1) RDS (Radio Data System), vyvinutý pro přenos v sítích VKV FM rozhlasu. Formát RDS nebyl koncipován účelově pro potřeby pagingu, ten je pouze jeho součástí. Data v systému RDS jsou modulována jako subnosný kmitočet a kromě pagingových zpráv se jimi přenášejí různé doprovodné informace rozhlasových programů a stanic. Pokud paging formátu RDS spolupracuje s rozhlasovou sítí VKV FM, šířící celostátní rozhlasový program, lze dosáhnout pochopitelně téměř absolutního celoplošného pokrytí signálem, což je pro ostatní pagingové systémy jen obtížně řešitelné. V ČR pokrývá tato služba 96 % území, což představuje téměř 100 % populace.

Data v systému RDS jsou přenášena do přijímače - pageru rychlostí 1187,5 bit/s v pásmu VKV 87,5 až 108 MHz, přičemž přijímač skenuje celé pásmo. U tohoto způsobu přenosu neexistují žádné synchronizační problémy a jeho kapacita je do sta tisíc účastníků.

Systém RDS nabízí uživatelům následující služby:

Numerický paging, určený pro předávání číslicových zpráv (18 číslic) prostřednictvím spojovatelky, Internetu (E-mail, web) nebo telefonu s tónovou volbou.

Alfanumerický (textový) paging schopný předávat zprávy o 80 znacích se stejnými vstupy jako u numerické služby s tím rozdílem, že přístup přes Internet zajišťuje doplňková služba Interkontakt.

Zvláštním typem služby je **PC-way**, umožňující přenos numerických i textových zpráv, avšak výhradně prostřednictvím počítače s přístupem přes Internet nebo modem, vybavený speciálním protokolem TAP.

V rámci všech uvedených služeb funguje pro uživatele poštovní schránka, uchovávající 10 posledních vzkazů, výhodná pro uživatele, kteří se často vyskytují v místech, nepokrytých signálem (v zahraničí, v podzemí apod.). Z té je možno vzkazy vybírat telefonem nebo přes Internet.

2) ERMES (European/Enhanced Radio Message Standard) je od r. 1989 vyvíjen pod patronací Evropského telekomunikačního standardizačního institutu ETSI ve spolupráci s různými výzkumnými pracovišti a výrobními firmami. Umožňuje širokou

kompatibilitu mezi různými pagingovými standardy, mezi různými „národními“ pagingovými systémy a předpokládá se jeho celoevropské rozšíření a z něho vyplývající zlevnění provozu. Uživatelské přijímače standardu ERMES pracují (skenují) v kmitočtovém pásmu 169,4 až 169,8 MHz v 16 kmitočtových kanálech s odstupem 25 kHz. Základnové stanice ERMES vysílají výkonem max. 200 W modulací 4PAM/FM (4 Level Pulse Amplitude Modulated/FM) přenosovou rychlostí 6250 bit/s. Kapacita systému ERMES představuje více než 4 milióny adres na jednoho národního provozovatele.

Systém ERMES umožňuje následující základní služby, přičemž uživatelské vstupy do systému jsou u většiny služeb stejné, jako u RDS:

TUTY a TUTY Plus je nejjednodušší a nejlevnější službou ERMES, určenou pro přenos krátkých (20 znaků) zpráv numerických. V zahraničí je běžně využívána pro spojení mezi rodiči a dětmi, mezi kamarády apod.

Numeric je služba určená spíše pro profesionální využití s přístupem i přes Internet a modem pro přenos číselné (kódové) informace do 20 znaků.

Standard - jednoduchá textová služba, vhodná především pro soukromé použití s přenosem zpráv do 400 znaků.

Pro je textová služba, určená pro profesionální využití a vhodná hlavně pro podnikatele. Přes spojovatelku umožňuje přenos zpráv o 200 alfanumerických znacích, prostřednictvím počítače a modemu do 1000 znaků.

Pro Plus je označována jako služba pro náročné profesionály a zahrnuje všechny výše zmíněné možnosti radiokontaktní služby.

Kromě základních nabízí firma Radiokontakt OPERATOR a. s. ještě služby doplňkové: poštovní schránku pro 10 posledních vzkazů, každý den ranní novinky (kursy měn, počasí atd.), zprostředkování mluvených vzkazů přes ústřednu a Interkontakt pro využití počítačové sítě Internet.

Podrobné informace o pagingových službách v ČR a jejich cenách získají zájemci na adrese:

Radiokontakt OPERATOR a. s.,
Skokanská 1, 169 00 Praha 6, tel. (02)
341 004 nebo (02) 2051 7826; <http://www.operator.cz>

Použitá literatura

- [1] Firemní literatura Radiokontakt OPERATOR.
- [2] Systémy jednosměrné komunikace - operátorů. Rádio plus č. 6/98.
- [3] Pagingové služby v naší republice. Rádio plus č. 7/98.
- [4] Evropský pagingový systém ERMES. Amatérské rádio č. 6/1998.

dva, pfm

OBVODY PRO NAPÁJECÍ ZDROJE

Karel Bartoň

(Pokračování z KE č. 5/97 a 2/98)

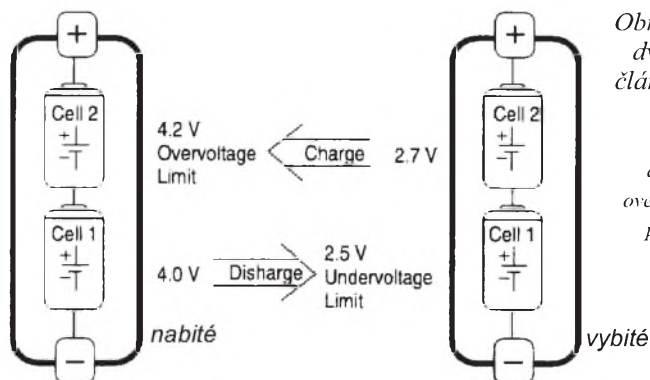
Aby byly současně splněny všechny náročné požadavky, nutné k zajištění správného průběhu nabíjení i vybíjení lithium-iontových článků (uvedené v KE 2/98 na str. 74, 75), byly firmou Motorola vyvinuty právě integrované obvody MC33347 a MC33348.

Velice potřebná je u integrovaného obvodu MC33347 například funkce pro vyrovnávání napětí na jednotlivých článcích. Při sériově zapojených článcích má na úspěšný cyklus nabíjení a vybíjení vždy významný vliv rozdíl napětí na jednotlivých článcích. Větší napěťový rozdíl mezi články degraduje kapacitu baterie.

Obr. 42 názorně ilustruje vliv působení dvou nevyvážených článků na celkový stav a tedy i využitelnost baterie. Jestliže jsou oba články nevyvážené, nemůže být nikdy využita plná kapacita baterie. To je způsobeno stavem, kdy při nabíjecím cyklu musí být nabíjení ukončeno, když článek 2 (který má o 200 mV větší napětí než článek 1) dosáhne limitu maximálního napětí, zatímco článek 1 není ještě zcela nabit, a při vybíjení musí být celá baterie odpojena, když se napětí na článku 1 (který má o 200 mV menší napětí než článek 2) zmenší pod hranici nejmenšího povoleného napětí, zatímco článek 2 vybit není a mohl by ještě nadále nějaký čas sloužit.

Aplikace metody, která zajistí, že napětí obou článků bude vždy stejné, umožní nabíjet i vybíjet oba články po stejnou dobu až po maximální hranici jejich využitelnosti. Tím bude dosaženo plné kapacity baterie.

To je vidět z konkrétního schématu zapojení dvou článků a ochranných obvodů v pouzdru baterie na obr. 41 (obrázek je na str. 75 v Konstrukční



Obr. 42. Vliv působení dvou nevyvážených článků na celkový stav baterie

(charge - nabíjení, discharge - vybíjení, over(under)voltage limit - pře(pod)pěťová mez, cell - článek)

elektronice č. 2/98, tj. v minulém pokračování), na němž je nakresleno i vnitřní blokové zapojení obvodu MC33347. Obvod MC33347 obsahuje i zesilovač pro vyrovnání napětí článků (Cell Voltage Balancing Amplifier), který řídí čtyři interní tranzistory MOSFET. Tento zesilovač vzoruje napětí na článcích a detekuje-li napěťový rozdíl přesahující 1 %, tranzistor MOSFET, který je připojen paralelně ke článku s větším napětím, je výstupem zesilovače sepnut. Velikost proudu je dána v rozmezí 40 až 80 mA vnitřním rezistorem s odporem 80 Ω . Pokud je potřeba větší vyrovnávací proud, lze na výstupy *Balance 1* a *Balance 2* (vývody 1 a 2) připojit externí paralelní rezistory s menším odporem a zvětšit tak proud až na 500 mA. Použití externích rezistorů dovoluje zmenšit tepelný ztrátový výkon na čipu. Funkce vyrovnávání napětí článků je aktivní během nabíjení i vybíjení baterie a je vypnuta v klidovém stavu, kdy je proudový odběr celého obvodu zmenšen na typickou velikost 15 nA.

Na obr. 40 je zapojení jednočlánekové „inteligentní“ baterie s ochranným obvodem MC33348 (One Cell Smart Battery Pack) a vnitřním bloko-

vým zapojením tohoto obvodu (obrázek je v minulém pokračování, tj. v Konstrukční elektronice č. 2/98 na str. 74). Díky zapojení s nábojovou pumpou, kterým jsou zmenšeny ztráty na externích tranzistorech MOSFET, sloužících zde jako spínače při nabíjení, resp. vybíjení, je možno na těchto pozicích v zapojení na obr. 40 a obr. 41 použít běžné spínací tranzistory MOSFET s logickou úrovní (logic level MOSFET). Tabulka přináší přehled některých vhodných typů s malým odporem v sepnutém stavu ($R_{DS(ON)}$), vyráběných firmou Motorola v provedení pro povrchovou montáž. Odpor $R_{DS(ON)}$ je uveden v závislosti na velikosti napětí mezi řídicí elektrodou (gate, G) a emitorem (source, S).

Před popisem dalších obvodů pro konstrukci nabíječek je pro lepší přehled a orientaci na další straně tabulka s aktualizovaným přehledem integrovaných obvodů od světových výrobců, vyvinutých a určených speciálně pro konstrukci nabíječek baterií. Je oproti tabulce uveřejněné v KE 2/98 na str. 61 doplněna o několik dalších typů integrovaných obvodů a ve třetím sloupci tabulky je pro snazší orientaci ob-
sažen i údaj, v kterém z těchto dvou čísel letošního ročníku Konstrukční elektroniky a na které straně byl konkrétní integrovaný obvod podrobně popsán.

Odpor $R_{DS(ON)}$ [Ω] v závislosti na velikosti napětí mezi řídicí elektrodou (gate) a emitorem (source)

Typ	2,5 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7,5 V	9 V
MMFT3055VL	-	-	-	0,120	0,115	0,108	0,100
MMDF3N03HD	-	0,525	0,080	0,065	0,063	0,062	0,060
MMDF4N01HD	0,047	0,042	0,037	0,035	0,034	0,033	0,033
MMSF5N02HD	-	0,065	0,023	0,021	0,020	0,018	0,018
MMDF6N02HD	0,043	0,035	0,029	0,028	0,026	0,025	0,023

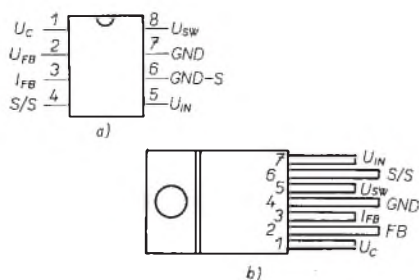
<i>Typ</i>	<i>Charakteristika</i>	<i>Popis (KE/str.)</i>	<i>Výrobce</i>
LM3420	monolitický integrovaný kontrolér, určený k řízení procesu nabíjení jednoho, dvou, nebo tří lithium–iontových článků	2 / s. 70	National Semicon.
LT1239	obvod s lineárním regulátorem, určený pro nabíjení a přepínání lithium–iontové zálohovací baterie (Backup Battery Management Circuit)	4 / s. 133	Linear Technology
LT1510	obvod pro rychlé nabíjení konstantním proudem / konstantním napětím. Proud do zátěže max. 1,5 A. Proudová zpětná vazba, spínaný regulátor PWM s kmitočtem 200 kHz	2 / s. 64	Linear Technology
LT1511	obvod pro rychlé nabíjení konstantním proudem / konstantním napětím s omezením a rozdělením proudu odebíraného ze zdroje. Proud do zátěže max. 3 A. Proudová zpětná vazba, spínaný regulátor PWM s kmitočtem 200 kHz	2 / s. 66	Linear Technology
LT1512	SEPIC obvod pro rychlé nabíjení konstantním proudem / konstantním napětím. Proud do zátěže max. 0,75 A. Spínaný regulátor s kmitočtem 500 kHz	4 / s. 125	Linear Technology
LT1513	obvod SEPIC pro rychlé nabíjení konstantním proudem / konstantním napětím. Proud do zátěže max. 2 A. Spínaný regulátor s kmitočtem 500 kHz	4 / s. 125	Linear Technology
LTC1325	mikroprocesorem ovládaný systém pro řízení nabíjení baterií (Microprocessor – Controlled Battery Management System)	4 / s. 134	Linear Technology
MAX1647 MAX1648	obvody pro rychlé nabíječky, schopné nabíjet články libovolného chemického složení (Chemistry - Independent Battery Chargers)	4 / s. 129	MAXIM
MAX2003 MAX2003A	inteligentní obvod pro řízení rychlého nabíjení článků NiCd a NiMH	2 / s. 67	MAXIM
MAX712 MAX713	obvody určené pro řízení rychlého nabíjení 1 až 16 kusů článků NiCd a NiMH v lineárním nebo spínaném režimu s automatickým přepínáním na kapkové dobíjení	4 / s. 126	MAXIM
MAX745	moderní obvod pro nabíjení 1 až 4 lithium-iontových článků proudem 4 A, pracující ve spínaném režimu s pracovním kmitočtem 300 kHz s účinností 90 %	4 / s. 128	MAXIM
MAX846A	levný obvod, určený pro konstrukci nabíječky, umožňující nabíjet jak články Li–Ion, tak i NiMH a NiCd, tedy články několika rozdílných chemických složení (multichemistry battery – charger system)	2 / s. 69	MAXIM
MC33340	univerzální kontrolér rychlého nabíjení článků NiCd a NiMH	2 / s. 62	Motorola
MC33344 MC33345	obvody pro řízení bezpečného nabíjení i vybíjení lithiových baterií, složených z 1 až 4 článků	2 / s. 73	Motorola
MC33346	obvod pro řízení bezpečného nabíjení a vybíjení lithiové baterie, složené ze 3 nebo 4 článků, s možností připojení k řídicímu mikrokontroléru	2 / s. 73	Motorola
MC33347 MC33348	obvody, určené pro ochranu lithiové baterie, navržené pro prodloužení užitečné doby využití napájecích článků	2 / s. 74 4 / s. 123	Motorola
TSM101	obvod pro precizní řízení napětí a proudu, snadno aplikovatelný ve spojení s lineárními i spínanými regulátory	4 / s. 135	SGS Thomson
UCC3905	inteligentní kontrolér pro řízení rychlého a bezpečného nabíjení baterií NiCd a NiMH	4 / s. 130	Unitrode
UCC3906	obvod pro řízení nabíjení olověných baterií s kontrolou výstupního napětí i proudu	4 / s. 132	Unitrode
UCC3909	spínaný obvod pro přesné řízení nabíjení olověných baterií s velkou účinností	4 / s. 132	Unitrode

LT1512 / LT1513

LT1512 / LT1513 tvoří jedinečnou řadu obvodů pro nabíjení konstantním proudem / konstantním napětím. Díky použité topologii SEPIC (Single – Ended Primary Inductance Converter) jsou totiž nabíječky postavené s těmito obvody schopny nabíjet baterii při vstupním napětí větším, stejném a co je hlavní – i menším, než je napětí nabíjené baterie. Tato výhoda může pomoci ke zjednodušení návrhu systému a podstatně zvětší flexibilitu možností nabíjet baterie z libovolného napájecího zdroje (jako jsou různé síťové adaptéry, automobilové baterie 12 V nebo zdroj 5 V) a to pomocí jediného, stejného obvodu. Mohou nabíjet libovolný počet článků až do celkového napětí 20 V.

Oba obvody jsou spínané regulátory s proudovou zpětnou vazbou, pracující s poměrně vysokým spínacím kmitočtem 500 kHz, což je výhodné vzhledem k (z toho vyplývajícímu) použití cívky s malou indukčností (33 μ H) a tudíž i s velmi malými rozměry.

Obvody jsou funkčně identické, LT1512 je schopen dodat výstupní proud 1,5 A, obvod LT1513 je schopen dodat proud až 3 A. Vzhledem k tomu je LT1512 dodáván v běžných osmivývodových pouzdrech DIP a SO a obvod LT1513 je vyráběn ve výkonových pouzdrech DD a TO-220 se sedmi vývody. Zapojení vývodů pouzder je na obr. 43a, b.



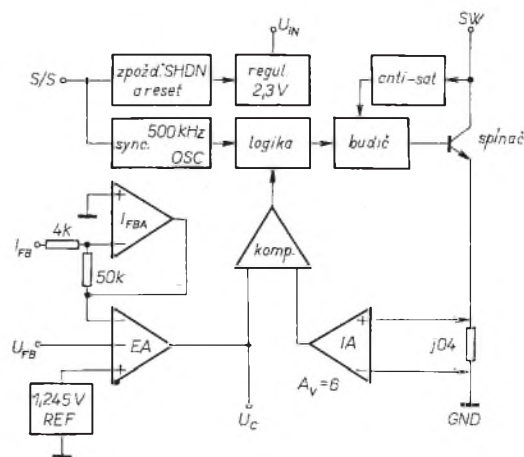
Obr. 43a. Zapojení vývodů obvodu LT1512 pro pouzdro DIP a SO

Obr. 43b. Zapojení vývodů obvodu LT1513 v pouzdru TO-220 (pro pouzdro DD je stejné)

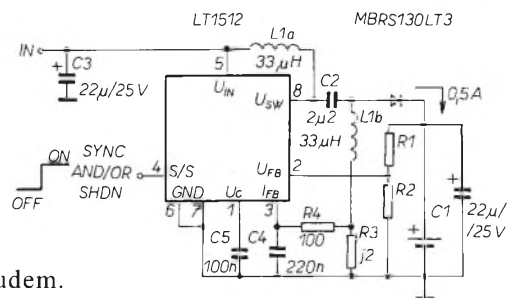
Přesnost v režimu s konstantním výstupním napětím, daná přesností vnitřního referenčního zdroje 1 %, je velice výhodná při nabíjení lithiumpiontových baterií. Velikost nabíjecího proudu však může být snadno nastavena pro použití obvodů v nabíječkách baterií NiCd nebo NiMH.

Blokové schéma vnitřního zapojení obvodů LT1512 / LT1513 je na obr. 44. U spínače s proudovou zpětnou vazbou je střída spínání řízena přímo velikostí proudu spínače a niko-

Obr. 44. Blokové schéma vnitřního zapojení obvodů LT1512 / LT1513



Obr. 45. Nabíječka SEPIC s výstupním proudem 0,5 A



li výstupním napětím či proudem. S odkazem na blokové schéma (obr. 44) - s každým začátkem cyklu oscilátoru je spínač sepnut. Spínač se vypne tehdy, dosáhne-li proud spínačem určené velikosti. Velikost výstupního napětí a proudu je omezena použitím dvojitého zesilovače odchylky (EA – Error Amplifier), který řídí velikost proudu spínačem. Tato technika má výhodu v jednodušší kmitočtové kompenzaci zpětnovazební smyčky.

Zesilovač odchylky má dva invertující vstupy, což umožňuje snímat výstupní napětí i proud. Neinvertující vstup je připojen na referenční napětí 1,245 V. První invertující vstup snímá velikost výstupního napětí, druhý invertující vstup je buzen proudovým zesilovačem I_{FBA} , který monitoruje velikost výstupního proudu externím snímacím rezistorem. Zesílení proudového zesilovače je pevně nastaveno na -12, takže výstupní napětí pro proudové omezení je 100 mV. Výstupní napětí zesilovače odchylky je vyvedeno na výstup U_C a použito ke kmitočtové kompenzaci. Při běžné činnosti regulátoru je na tomto vývodu napětí v rozmezí od 1 V (malý výstupní proud) do 1,9 V (velký výstupní proud). Připojením vývodu U_C na zem přejde obvod do klidového stavu.

Napájení všech obvodů zajišťuje vnitřní stabilizátor s malým napětovým úbytkem a s výstupním napětím 2,3 V. To dovoluje obvodu pracovat při napájecím napětí v rozsahu již od 2,7 do 25 V. Oscilátor s kmitočtem 500 kHz spíná výkonový spínač přes logiku a budič. Speciální adaptivní antisaturační obvod detekuje počátek saturace výkonového spínače a řídí

proud budiče tak, aby saturace byla omezena. Tím jsou zajištěny menší ztráty na výkonovém spínači a dosaženo velmi krátkého času, potřebného pro rozpojení spínače.

Na obr. 45 je typické zapojení obvodu LT1512 v obvodu nabíječky s výstupním proudem 0,5 A. Zapojení je možné beze změny použít i pro obvod LT1513, kdy je výstupní proud až 1,5 A. V tom případě je nutné pouze zvětšit kapacitu kondenzátoru C2 na dvojnásobek (4,7 μ F), zmenšit odpor rezistoru R3 na 0,08 Ω a zmenšit indukčnost obou cívek na 10 μ H.

Dokud je napětí baterie pod úrovní nastavenou rezistory R1 a R2, nabíječka pracuje v režimu s konstantním výstupním proudem. Doporučený odpor pro R2 je 12,4 k Ω . Odpor R1 vy počítáme z rovnice:

$$R1 = \frac{U_{OUT} - 1,245}{\frac{1,245}{R2} + (3 \cdot 10^{-7})}$$

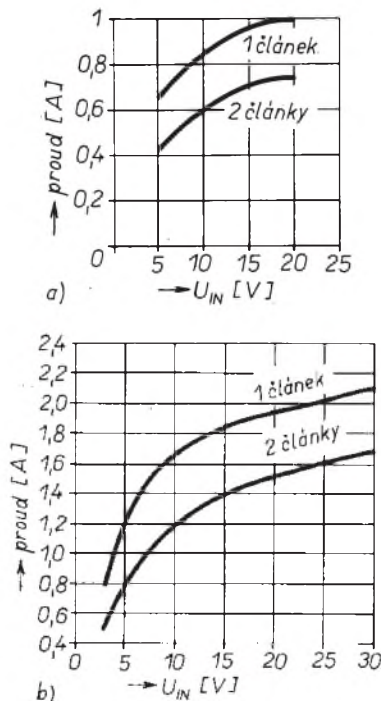
kde U_{OUT} je napětí baterie při nabití.

Nabíjecí proud baterie, který protéká přes rezistor R3, vyvolává napětí na vstupu I_{FB} pro snímání velikosti tohoto proudu. Velikost nabíjecího proudu I_{CHG} je určena vztahem

$$I_{CHG} = 100 \text{ mV} / R3.$$

Filtr složený z R4 a C4 slouží k vyhlazení signálu na vstupu I_{FB} . Cívky L1a a L1b jsou provedeny jako dvě stejná vinutí na společném jádře.

Na obr. 46a je graf závislosti maximálního možného nabíjecího proudu na velikosti vstupního napětí při nabíjení jednoho nebo dvou lithiových

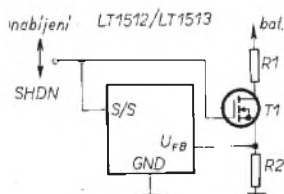


Obr. 46a. Graf závislosti max. proudu na velikosti vstupního napětí pro LT1512

Obr. 46b. Graf závislosti max. proudu na velikosti vstupního napětí pro LT1513

článků pro obvod LT1512, totéž pro obvod LT1513 je na obr. 46b.

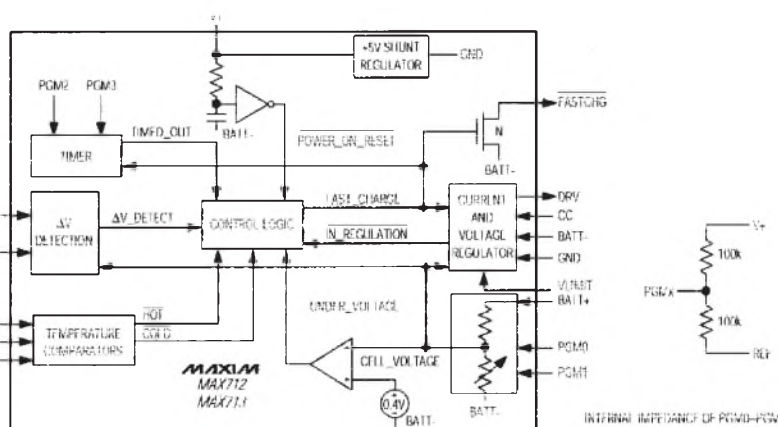
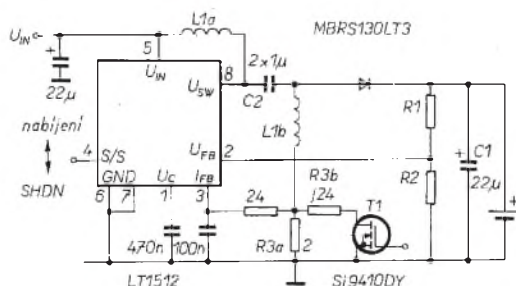
Obvody LT1512 / LT1513 je možno vypnout a uvést do klidového stavu připojením vstupu S/S na nízkou úroveň. Nabíjecí proud je sice přerušen, ale děličem R1, R2 je odebírán proud, který zbytečně vybijí baterii. Tomu je možno zabránit použitím tranzistoru FET k rozpojení tohoto děliče v zapojení podle obr. 47.



Obr. 47. Rozpojení děliče R1 / R2 při vypnutí nabíjení

Na obr. 48 je schéma zapojení nabíječky s programovatelným výstupním proudem ve dvou úrovních, zde konkrétně 400 mA a 50 mA. Menší výstupní proud je nastaven volbou od-

Obr. 48. Zapojení nabíječky s programovatelným výstupním proudem ve dvou úrovních (400 mA a 50 mA)



Obr. 49. Vnitřní blokové zapojení obvodů MAX712 / MAX713

poru rezistoru R3a, větší výstupní proud výsledným odporem paralelního spojení R3a a R3b. Rezistor R3b se paralelně připojí, otevře-li se tranzistor T1, ovládaný logickým signálem.

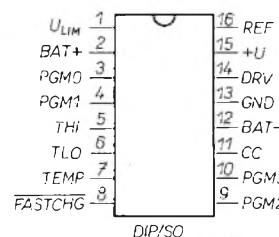
MAX712 / MAX713

Obvody MAX712 a MAX713 od amerického výrobce Maxim jsou určeny pro řízení rychlého nabíjení baterií NiCd a NiMH, skládajících se z jednoho až šestnácti kusů článků, proudem C/4 až 4C. Minimální velikost vstupního napájecího napětí je přitom 6 V nebo pouze o 1,5 V větší, než je celkové maximální napětí na nabíjených článcích, přičemž obvody obsahují pro své napájení vestavěný vlastní stabilizátor napětí +5 V, kterého může být využito např. i pro napájení externí logiky.

Klidová spotřeba obvodu je menší než 5 μ A. K určení ukončení nabíjecího cyklu obsahují obvody MAX712 / MAX713 převodník A/D, monitorující průběh zvětšování napětí na nabíjeném článku, teplotní okénkový komparátor a časovač. Vnitřní blokové zapojení obvodů MAX712 / MAX713 je na obr. 49.

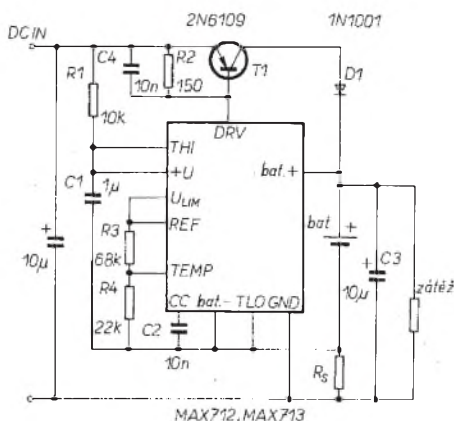
Obvod MAX712 ukončuje režim rychlého nabíjení při detekci nulového napětíového přírůstku a je tedy vhodný zejména pro nabíjení článků NiMH, zatímco obvod MAX713 tak učiní při detekci záporného přírůstku napětí na nabíjeném článku, což je metoda používaná při nabíjení článků NiCd. Oba obvody jsou jinak identické a dodáva-

jí se v šestnáctivývodových pouzdrech DIP i SO, jejichž zapojení vývodů je na obr. 50.



Obr. 50. Zapojení vývodů obvodů MAX712 / MAX713

Jak je vidět ze základního zapojení nabíječky na obr. 51, je kromě obvodu MAX712 nebo MAX713 potřeba pouze minimální množství externích součástek, což výrazně zjednodušuje a hlavně zlevňuje celou konstrukci. Nabíječka pracuje v lineárním režimu a snímáním úbytku napětí na rezistoru R_S je možno udržovat konstantní velikost nabíjecího proudu do baterie, i když je současně odebírán proud zátěží.



Obr. 51. Základní zapojení rychlé nabíječky s MAX712 / MAX713

Obvody MAX712 / MAX713 jsou vždy v jednom ze dvou možných stavů: rychlé nabíjení nebo kapkové dobíjení. Do režimu kapkového dobíjení přejde obvod po ukončení rychlého nabíjení automaticky.

Počet nabíjených článků od 1 do 16 je dán připojením programovacích vstupů PGM1 a PGM0 podle následující tabulky:

Počet článků	PGM1	PGM0
1	U+	U+
2	nezapojen	U+
3	REF	U+
4	BAT-	U+
5	U+	nezapojen
6	Nezapojen	nezapojen
7	REF	nezapojen
8	BAT-	nezapojen
9	U+	REF
10	nezapojen	REF
11	REF	REF
12	BAT-	REF
13	U+	BAT-
14	nezapojen	BAT-
15	REF	BAT-
16	BAT-	BAT-

Maximální doba trvání cyklu rychlého nabíjení je závislá na připojení programovacích vstupů PGM3 a PGM2. Kombinací propojení podle tabulky v levé dolní části stránky je možno v osmi stupních nastavit časy od 22 do 264 minut.

Velikost proudu do baterie při rychlém nabíjení může být nastavena v závislosti na odporu snímacího rezistoru R_s . Mezi vstupem BAT- a svorkou GND, kam je tento rezistor připojen, musí být napětí 250 mV. Pokud je na rezistoru R_s toto napětí menší, budicí proud na výstupu DRV se zvětší, při zvětšení napětí na snímacím rezistoru se budicí proud zmenší. Tak je udržována konstantní velikost nabíjecího proudu.

Proud do baterie při rychlém nabíjení v závislosti na odporu snímacího rezistoru R_s je tedy dán následující rovnicí:

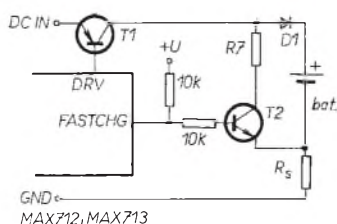
$$\text{proud rychlého nabíjení } (I_{\text{FAST}}) = 0,25 \text{ V} / R_s$$

Proud rychlého nabíjení I_{FAST} je vhodné volit v krocích C/2, C, 2C nebo 4C, čímž je automaticky zajištěna velikost proudu C/16 při kapkovém dobíjení. Jiné velikosti nabíjecího proudu mohou být v případě potřeby samozřejmě použity, ale proud při kapkovém dobíjení neodpovídá velikosti C/16.

Následující tabulka ukazuje velikost proudu při rychlém nabíjení a proudu při kapkovém dobíjení v závislosti na připojení programovacího vstupu PGM3:

PGM3	Proud rychlého nabíjení	Proud při kapkovém dobíjení
U+	4C	$I_{\text{FAST}} / 64$
nezapojen	2C	$I_{\text{FAST}} / 32$
REF	C	$I_{\text{FAST}} / 16$
BAT-	C / 2	$I_{\text{FAST}} / 8$

Pokud je potřeba proud při kapkovém dobíjení (například pro baterie typu NiMH) zmenšit, je možno použít zapojení s přídavným tranzistorem T2 podle obr. 52. Část proudu při kapkovém dobíjení v tomto případě teče



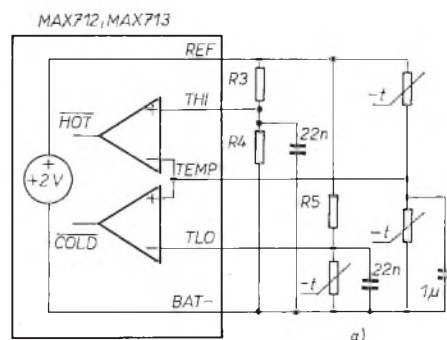
Obr. 52. Zapojení pro zmenšení proudu při kapkovém dobíjení

přes sepnutý tranzistor T2. Odpor rezistoru R_7 určíme z následující rovnice:

$$R_7 = (U_{\text{bat}} + 0,4 \text{ V}) / (I_{\text{TRICKLE}} - I_{\text{bat}}),$$

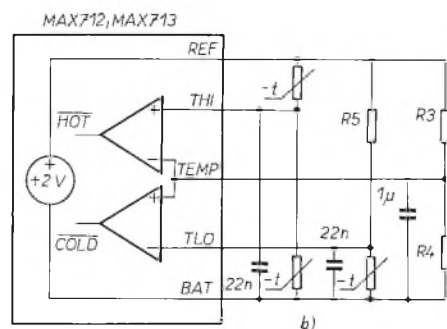
kde U_{bat} je napětí nabité baterie, I_{TRICKLE} proud při kapkovém dobíjení, nastavený obvodem MAX712/MAX 713, I_{bat} požadovaný proud při kapkovém dobíjení daného typu baterie.

Na obr. 53a je způsob připojení termistorů k obvodu MAX712 / MAX 713 pro detekci teploty nabíjené baterie a následné odpojení (přerušeni rychlého nabíjení) při teplotě mimo nastavený rozsah.



Obr. 53a. Připojení termistorů k obvodu MAX712 / MAX713 pro detekci teploty nabíjené baterie

Někteří výrobci dodávají baterie s termistorem pro snímání vnitřní teploty, spojeným jednou svorkou se záporným pólem baterie. V tomto případě je nutno použít alternativní zapojení podle obr. 53b. Termistory, zapojené v pravé části obrázku lze v obou předchozích zapojeních pro zjednodušení nahradit standardními rezistory a měřit tak jen absolutní teplotu baterie levým dolním termistorem -t.

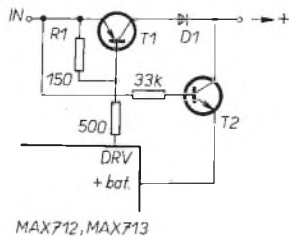


Obr. 53b. Alternativní zapojení pro baterie s termistorem připojeným k zápornému pólu baterie

(horní termistor -t měří teplotu okolí stejně jako pravý dolní termistor, levý dolní termistor je v kontaktu s povrchem baterie)

Aby při nabíjení více než jedenácti článků a současném odpojení vstupního napájecího napětí nebylo překročeno maximální povolené napětí na vstupu BAT+, které je za těchto podmínek max. 20 V, je při nabíjení většího počtu článků do zapojení po-

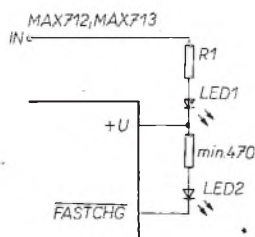
Čas [min]	Interval vzorkování [s]	Odpojení výstupem detektoru přírůstků napětí	PGM3	PGM2
22	21	vyřazeno	U+	nezapojen
22	21	zapojeno	U+	REF
33	21	vyřazeno	U+	U+
33	21	zapojeno	U+	BAT-
45	42	vyřazeno	nezapojen	nezapojen
45	42	zapojeno	nezapojen	REF
66	42	vyřazeno	nezapojen	U+
66	42	zapojeno	nezapojen	BAT-
90	84	vyřazeno	REF	nezapojen
90	84	zapojeno	REF	REF
132	84	vyřazeno	REF	U+
132	84	zapojeno	REF	BAT-
180	168	vyřazeno	BAT-	nezapojen
180	168	zapojeno	BAT-	REF
264	168	vyřazeno	BAT-	U+
264	168	zapojeno	BAT-	BAT-



Obr. 54. Úprava zapojení při nabíjení většího počtu článků

třeba přidat externí obvod s tranzistorem T2 podle obr. 54.

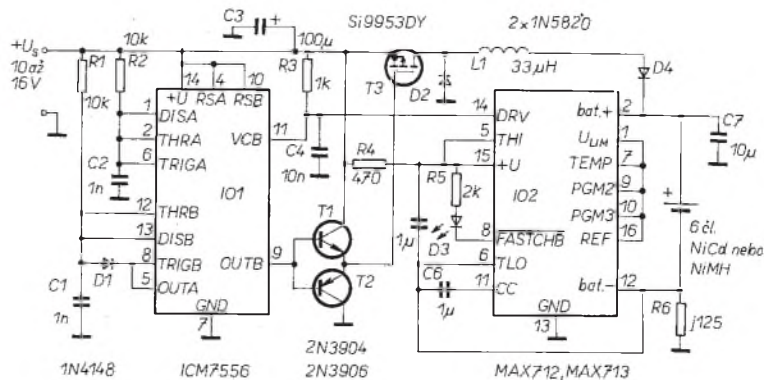
K indikaci stavu nabíjecího cyklu je možno použít dvě indikační svítivé diody LED s barevným odlišením, zapojené podle obr. 55. Dioda LED1 svým svitem indikuje zapnutou nabíječku a dioda LED2 probíhající cyklus rychlého nabíjení.



Obr. 55. Indikace stavu nabíjecího cyklu se dvěma svítivými diodami LED

Na obr. 56 je zapojení velmi jednoduché nabíječky dvou tužkových článků, pracující ve spínaném režimu. Pracovní kmitočet je kolem 50 kHz a nabíjecí proud, daný rezistorem R3, je 1 A. Zapojením ve spínaném režimu se podstatně zmenší tepelná ztráta na výkonovém regulačním prvku, zmenší se nároky na chlazení a v důsledku toho je možno i zmenšit celkovou potřebnou zastavěnou plochu.

Zapojení dokonalejší (ale i složitější) nabíječky, pracující rovněž ve spínaném režimu, je na obr. 57. Spínací kmitočet je 70 kHz a je určen časovou konstantou členu RC, R2 a C2, ří-

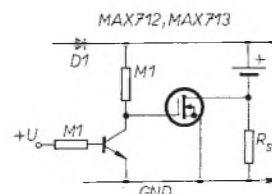


Obr. 57. Nabíječka s MAX712 / MAX713, pracující ve spínaném režimu ($R_6 = R_S$)

dícího multivibrátor, který je tvořen jednou polovinou dvojitého časovače ICM7556 (dvojitá verze známého časovače typu „555“ v provedení CMOS).

Klopný obvod, který je tvořen druhou polovinou časovače, je spouštěn výstupem multivibrátoru a jeho výstupní impulsy jsou šířkově modulovány výstupem DRV obvodu MAX712 / MAX713 v závislosti na velikosti výstupního nabíjecího proudu. Svitem svítivé diody D3 je indikován proces rychlého nabíjení, který je ukončen v závislosti na použitém obvodu MAX712 nebo MAX713 a poté je automaticky zapojeno trvalé kapkové dobíjení proudem 125 mA.

Během napájení zařízení z baterie způsobuje úbytek na snímacím rezistoru R_S , který je zapojen do série se záporným pólem baterie, malou ztrátu, která zmenšuje účinnost bateriového napájení. K odstranění tohoto nedostatku a dalšímu zlepšení účinnosti je možno použít úpravu zapojení podle obr. 58, kdy je při odpojení vstupního napájecího napětí a tedy při napájení zařízení pouze z baterie snímací rezistor R_S přemostěn sepnutým tranzistorem MOSFET. Tato úprava je podstatná zejména tehdy, je-li odpor snímacího rezistoru R_S větší než vlastní vnitřní odpor baterie.



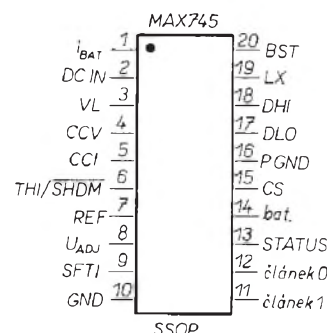
Obr. 58. Přemostění snímacího rezistoru R_S tranzistorem MOSFET pro zlepšení účinnosti při napájení zařízení z baterie

MAX745

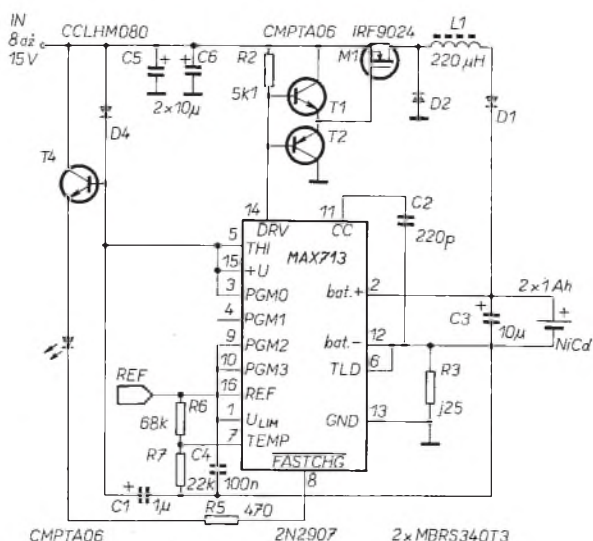
Obvod MAX745 americké firmy Maxim zajišťuje všechny funkce nezbytné pro správné nabíjení lithium-iontových baterií, skládajících se z jednoho až čtyř kusů článků.

MAX745 plní všechny funkce samostatně a nepotřebuje tedy ke své činnosti žádný mikrokontrolér. Díky práci ve spínaném režimu s vysokým pracovním kmitočtem 300 kHz je schopen dodat proud až 4 A bez vzniku nadměrného oteplení. Dosažená účinnost je přitom až 90 %. Výstupní napětí je dodržováno s přesností $\pm 0,75$ %. Jako výkonový spínač lze použít levný spínací tranzistor MOSFET s kanálem n. Vysoký pracovní kmitočet rovněž zajišťuje menší intenzitu vzniklých rušivých napětí a malé rozměry použité cívky.

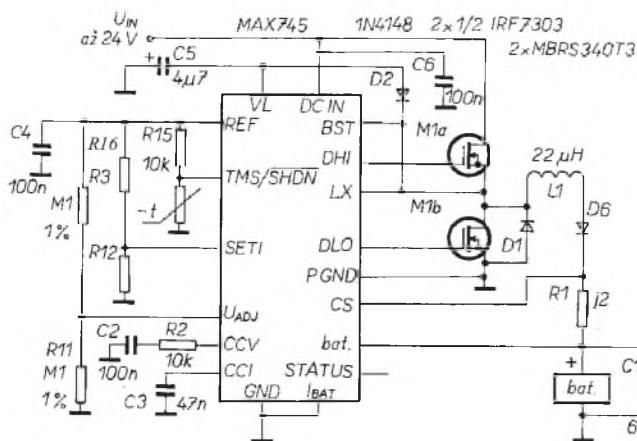
MAX745 je vyráběn ve dvacetivývodovém pouzdře SSOP, určeném pro povrchovou montáž. Zapojení jeho vývodů je na obr. 59.



Obr. 59. Zapojení vývodů obvodu MAX745



Obr. 56. Zapojení jednoduché nabíječky pracující ve spínaném režimu



Obr. 60. Zapojení rychlé nabíječky lithium-iontových baterií s MAX745

Obvod obsahuje dva chybové zesilovače, jeden pro regulaci proudu a druhý pro regulaci napětí, regulátor pro stabilizaci vlastního napájecího napětí, zdroj referenčního napětí a logiku, ovládací kontrolér s pulsně-šířkovou modulací (PWM), pracující s proudovou zpětnou vazbou.

U obvodu MAX745 je možno velikost nabíjecího proudu a výstupního napětí nastavit vzájemně nezávisle pomocí napěťových děličů, připojených ke vstupům U_{ADJ} a SETI a připojením vstupů *článek 0* a *článek 1*.

Nabíjecí proud je určen velikostí napětí na vstupu SETI a odporem rezistoru, snímajícího výstupní proud do baterie. V zapojení rychlé nabíječky lithium-iontových baterií s obvodem MAX745 na obr. 60 je tento rezistor označen R1.

Chybový zesilovač pro regulaci proudu snímá velikost napětí na tomto rezistoru, zapojeném mezi vstupy CS a „bat“ integrovaného obvodu MAX745. Toto napětí je dále zesíleno 6x, zatímco napětí na vstupu SETI je vyděleno 4 a obě tato napětí jsou v zesilovači pro regulaci proudu vzájemně porovnávána. Proto je maximální velikost nabíjecího proudu, dosažitelná při přímém připojení vstupu SETI na výstup referenčního napětí REF (velikost referenčního napětí na tomto výstupu je 4,2 V) dána následující rovnicí:

$$I_{FS} = 185 \text{ mV}/R1.$$

Abychom při potřebě nastavit menší nabíjecí proud nemuseli měnit odpor snímajícího rezistoru R1, je možno menší velikost nabíjecího proudu I_{CHG} nastavit změnou napětí na vstupu SETI pomocí jednoduchého napěťového děliče (R16 / R12 na obr. 60) v souladu s následující rovnicí:

$$I_{CHG} = I_{FS}(U_{SETI} / U_{REF}).$$

Velikost nabíjecího proudu baterie je možno externě monitorovat připojením měřícího rezistoru R_{IBAT} mezi svorky I_{BAT} a GND. Svorka I_{BAT} je

výstupem napěťově řízeného zdroje proudu, s výstupním proudem určeným velikostí úbytku napětí U_{SENSE} v milivoltech na snímacím rezistoru R1. Velikost proudu I_{BAT} na výstupu I_{BAT} je dána tímto vztahem:

$$I_{BAT} = 0,9 \mu\text{A}/U_{SENSE}.$$

Napětí U_{SENSE} přitom vypočteme:

$$U_{SENSE} = U_{CS} - U_{BATT} = I_{CHG} \cdot R1$$

Napětí U_{IBAT} na měřicím rezistoru R_{IBAT} je tedy dáno:

$$U_{IBAT} = (0,9 \mu\text{A}/I_{CHG}) \cdot (R_{IBAT}/R1)$$

Odpor rezistoru R_{IBAT} musí být zvolen tak, aby napětí U_{IBAT} nepřesáhlo při maximálním nabíjecím proudu velikost 2 V. Pokud je výstup I_{BAT} nevyužit, má být spojen se svorkou GND.

Počet nabíjených článků je dán propojením programovacích vstupů *článek 0* (CELL0) a *článek 1* (CELL1) podle následující tabulky:

Programovací vstup		Počet nabíjených článků
CELL 0	CELL 1	
GND	GND	1
VL	GND	2
GND	VL	3
VL	VL	4

Velikost napětí na jeden článek nabíjené baterie je možno přesně nastavit pomocí napěťového děliče (R3 / R11 na obr. 60), připojeného na výstup referenčního napětí REF, jehož střed je připojen ke vstupu U_{ADJ} , který je k tomu určen. Změna napětí na vstupu U_{ADJ} v rozsahu od 0 V až do velikosti U_{REF} má za následek změnu výstupního napětí v rozmezí $\pm 5\%$ od jmenovitého napětí 4,2 V. Výstupní napětí může být tudíž v rozsahu od 4 do 4,4 V na článek, což vyhovuje pro nabíjení všech vyráběných typů lithium-iontových baterií. Malý rozsah změny výstupního napětí (větší není potřeba) při změně napětí na vstupu U_{ADJ} v poměrně velkém rozsahu má

navíc tu výhodu, že pro přesné nastavení stačí použít běžné rezistory s tolerancí 1 %, přičemž typická chyba přesnosti nastavení výstupního napětí nepřesáhne 0,1 %.

Pokud je napětí na vstupu U_{ADJ} rovno jedné polovině velikosti napětí referenčního, je napětí na výstupu přesně 4,2 V. Mezní napětí U_{BAT} na baterii je dáno následující rovnicí:

$$U_{BAT} = \left(\frac{U_{ADJ} - \frac{1}{2} U_{REF}}{9,523} \right)^{\text{(počet článků)}}$$

Pro výpočet U_{ADJ} platí:

$$U_{ADJ} = \frac{9,523 U_{BAT}}{\text{(počet článků)}} - 9,023 U_{REF}$$

Máme-li vypočteno U_{ADJ} a zvolíme-li odpor rezistoru R11 (doporučeno typicky 100 kΩ), můžeme vypočítat potřebný odpor pro R3:

$$R3 = \left[1 - \frac{U_{ADJ}}{U_{REF}} \right] R11$$

kde $U_{REF} = 4,2$ V a počet článků může být v závislosti na připojení programovacích vstupů *článek 0* a *článek 1* v rozmezí od jednoho do čtyř - viz předchozí tabulka.

Na výstupu VL integrovaného obvodu MAX745 je vyvedeno stabilizované napětí 5,4 V z vnitřního lineárního regulátoru. Tento regulátor je schopen dodat výstupní proud až 25 mA. Jelikož proudový odběr napájených interních obvodů je pouze 4 mA, může být zbylých 21 mA využito pro napájení dalších externích obvodů.

Vstupní napájecí napětí by mělo být přibližně o alespoň 2 V větší než je maximální napětí nabíjené baterie. Maximální velikost vstupního napájecího napětí pro obvod MAX745 je 24 V.

MAX1647 / MAX1648

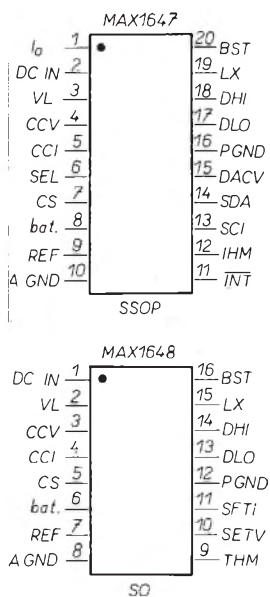
Obvody MAX1647 a MAX1648 jsou integrované obvody, určené pro rychlé nabíječky, schopné nabíjet baterie NiCd, NiMH, Li-Ion, olovené i další typy baterií, tedy články libovolného chemického složení (Chemistry - Independent Battery Chargers).

U obvodu MAX1647 jsou při nabíjení všechny funkce řízeny pomocí mikroprocesoru přes dvoudrátové sériové rozhraní typu Intel System Management Bus Interface (SMBus™ je obchodní značka firmy Intel Corp.) Pomocí tohoto dvoudrátového sériového rozhraní se nastavuje velikost

nabíjecího proudu, výstupní napětí a přenáší se údaj o teplotním stavu. Obvod MAX1647 svými funkcemi splňuje všechny podmínky, dané specifikací firem Duracell a Intel pro inteligentní nabíječky tzv. druhé úrovně.

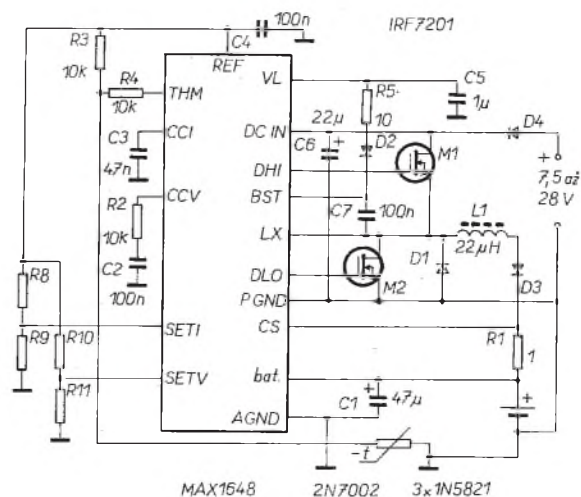
Obvod MAX1648 naproti tomu pracuje samostatně, bez možnosti externího řízení mikroprocesorem a nabíjecí proud i výstupní napětí se nastavuje dvěma napěťovými děliči, připojenými ke kontrolním vstupům.

Obvody MAX1647 a MAX1648 jsou firmou Maxim vyráběny pouze v pouzdech pro povrchovou montáž. Zapojení jejich vývodů je na obr. 61.



Obr. 61. Zapojení vývodů obvodů MAX1647 a MAX1648

Obr. 63. Zapojení jednoduché univerzální nabíječky s obvodem MAX1648



UCC3905

Obvod UCC3905 od firmy Unitrode je inteligentní kontrolér, optimalizovaný pro řízení rychlého a bezpečného nabíjení baterií NiCd a NiMH. Použitý algoritmus s názvem „Servocharge™“ zajišťuje co nejrychlejší nabití na skutečnou stoprocentní kapacitu nepřetržitým dodáváním maximální nabíjecí energie při současném zajištění bezpečného provozu baterie.

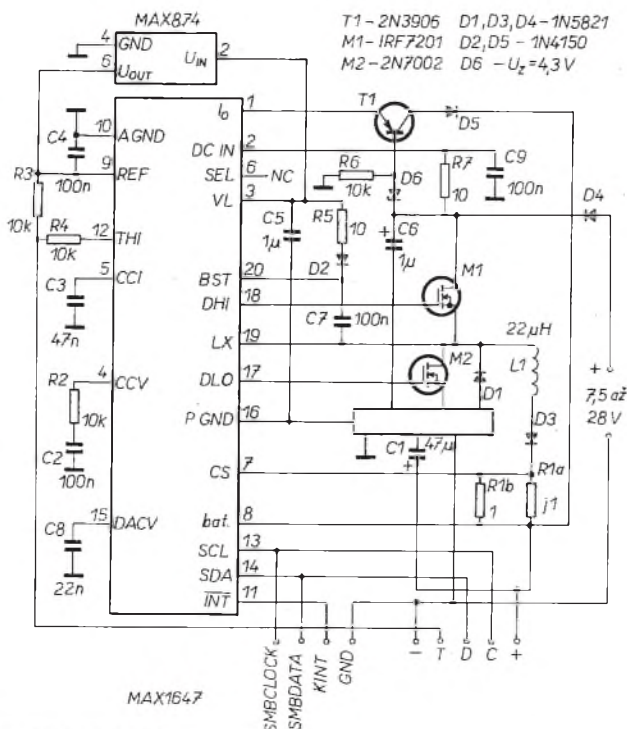
Obvod UCC3905 dodává v počáteční periodě velký nabíjecí proud, následovaný jeho zmenšením (což je dáno vlastním algoritmem), které dokončí kompletní nabíjecí proces v minimálním možném čase za současné kontroly teploty baterie pomocí termistoru, umístěného buď uvnitř, nebo v co nejtěsnější blízkosti nabíjené baterie. Tento víceetapový proces bezpečného nabíjení je zajištěn nepřetržitým sledováním a vyhodnocováním čtyř jednotlivých parametrů: teploty baterie, napětí baterie, velikosti změny napětí baterie a času v závislosti na celkové velikosti akumulovaného náboje. Všechna měření probíhají během opakujícího se jednosekundového přerušování nabíjecího proudu. Tak je možno přesně měřit napětí s vyloučením nežádoucích vlivů odporu přírodních vodičů, přechodového odporu kontaktů nebo vnitřní impedance baterie.

Systém s obvodem UCC3905 je schopen nabíjet baterie složené ze dvou až dvanácti článků a je schopen spolupracovat jak s lineárními, tak i se spínanými napájecími zdroji.

Na obr. 64 je zapojení nabíječky s obvodem UCC3905 se spínaným regulátorem PWM v primárním okruhu, který je zde zapojen jako izolovaný proudový zdroj.

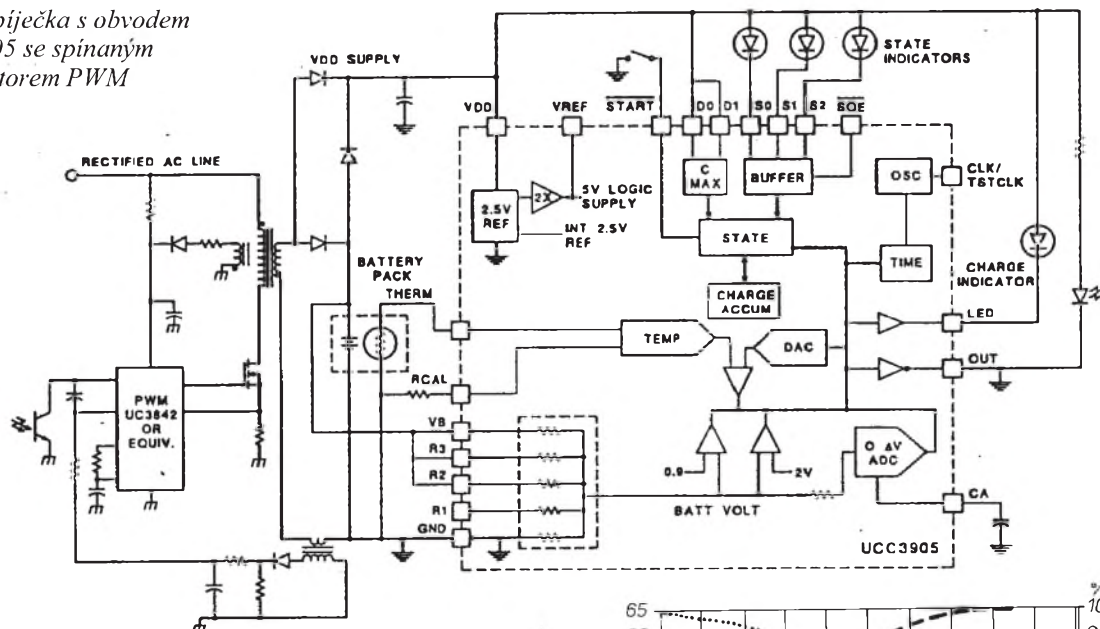
Charakteristikou patrnou u všech baterií, která je však znepokojující obzvláště u typů NiMH a NiCd, je v průběhu nabíjení pokles schopnosti při-

Praktické zapojení mikroprocesorově řízené nabíječky s obvodem MAX1647 je na obr. 62, jednodušší zapojení univerzální nabíječky s obvodem MAX1648 je na obr. 63. Velikost výstupního napětí nabíječky u zapojení s obvodem MAX1648 na obr. 63 je dána děličem R10 / R11, jehož střed je připojen na nastavovací vstup SETV (nastavení napětí). Výstupní napětí nabíječky odpovídá čtyřnásobku velikosti napětí na tomto vstupu. Nabíjecí proud je nastaven děličem R8 / R9, připojeným ke vstupu SETI (nastavení proudu) a odporem snímacího rezistoru R1. Jeho výslednou velikost dostaneme vydělením napětí na vstupu SETI číslem 5,5 a poté vydělením odporem snímacího rezistoru R1.



Obr. 62. Zapojení mikroprocesorově řízené nabíječky s obvodem MAX1647

Obr. 64. Nabíječka s obvodem UCC 3905 se spínaným regulátorem PWM



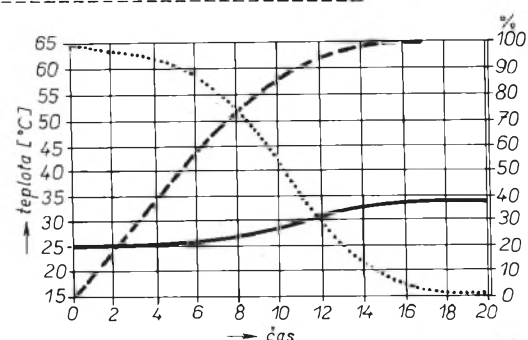
jmout náboj. To je důvod, proč je nutno dodat velikost náboje odpovídající typicky 160 % kapacity dané baterie. To by samo o sobě nebylo tak na závadu, kdyby neexistoval fakt, že předavných 60 % dodaného výkonu se promění v teplo. Jelikož baterie mají špatnou schopnost vzniklé teplo vyzářit do okolí, může se při nevhodných provozních podmínkách nebo při dlouhém působení zvýšit teplota baterie tak, že se baterie může poškodit.

Vzájemný poměr mezi kapacitou baterie, schopností pojmout náboj a teplotou v závislosti na době nabíjení je na obr. 65. Tento graf platí při pomalém nabíjení proudem velikosti C/10 (desetiny kapacity).

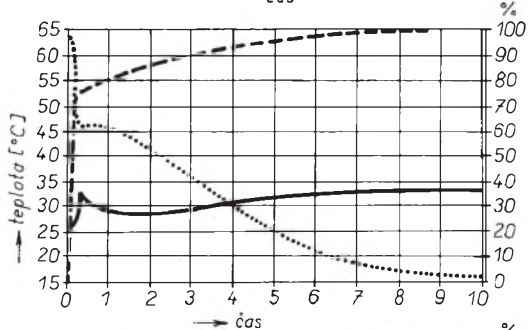
Současné rychlé nabíječky však používají počáteční nabíjecí proud o velikosti mezi C až 4C. Vzájemný poměr mezi kapacitou baterie, schopností pojmout náboj a teplotou v závislosti na době nabíjení je v tomto případě odlišný a je znázorněn na obr. 66. Teoreticky by v případě rychlého nabíjení proudem 4C měla být baterie nabita na plnou kapacitu během 15 minut. Je však nutno vzít v úvahu, že se při tomto rychlém nabíjení poměrně velkým proudem podstatně zmenší schopnost baterie pojmout náboj, a to o 40 %, dodávaná energie se v důsledku toho mění v tepelnou a nabíjecí proud je omezen na velikost C/10. Baterie je ve skutečnosti nabita pouze na 80 % a k dosažení skutečně plné kapacity je potřeba dalších 6 až 8 hodin nabíjení.

Použitím nabíjecího systému s algoritmem „Servocharge™“ je doba, potřebná pro dosažení skutečně plné kapacity, podstatně zkrácena a to na pouhé 3 až 4 hodiny, jak je to patrné z obr. 67, kde je graf vzájemného poměru mezi kapacitou baterie, schopností pojmout náboj a teplotou

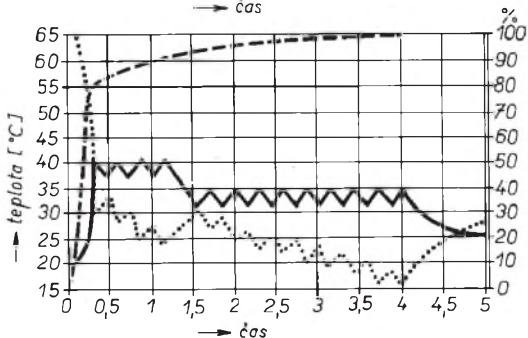
Obr. 65. Vzájemný poměr mezi kapacitou baterie, schopností pojmout náboj (tečkovaně) a teplotou (plná čára) v závislosti na době nabíjení při nabíjení proudem C / 10



Obr. 66. Vzájemný poměr mezi kapacitou baterie, schopností pojmout náboj a teplotou v závislosti na době nabíjení při nabíjení proudem 4 C



Obr. 67. Vzájemný poměr mezi kapacitou baterie, schopností pojmout náboj (tečkovaná) a teplotou (plná čára) v závislosti na době nabíjení při nabíjení systémem s použitým algoritmem „Servocharge™“



Počet článků	R1	R2	R3
1	nezapojen	U _{DD}	U _{DD}
2	nezapojen	U _{DD}	U _{DD}
3	nezapojen	nezapojen	U _{DD}
4	nezapojen	GND	U _{DD}
5	nezapojen	nezapojen	nezapojen
6	GND	GND	U _B
7	nezapojen	GND	nezapojen
8	nezapojen	GND	nezapojen
9	nezapojen	nezapojen	GND
10	GND	nezapojen	nezapojen
11	GND	GND	nezapojen
12	GND	GND	GND

v závislosti na době nabíjení při nabíjení systémem s použitým algoritmem „Servocharge™“.

Vhodným propojením programovacích vstupů R1 až R3 podle tabulky na předchozí straně je možno u obvodu UCC3905 nastavit počet nabíjených článků.

Maximální velikost počátečního proudu rychlého nabíjení C_{MAX} je u obvodu UCC3905 nastavena v rozmezí 1 C až 6 C propojením nastavovacích vstupů D0 a D1 podle následující tabulky:

C_{MAX}	D0	D1
1 C	0	0
2 C	1	0
4 C	0	1
6 C	1	1

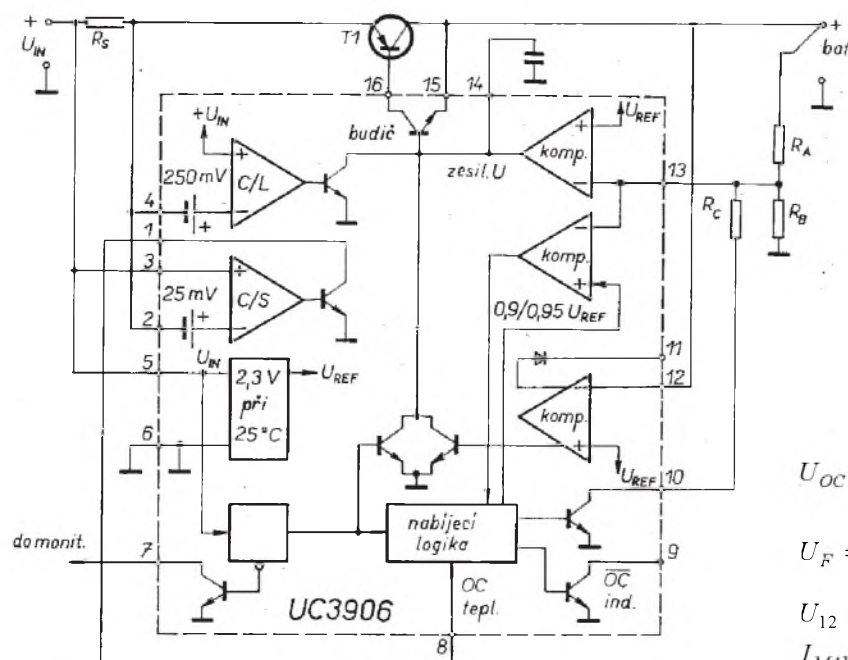
Střída nabíjecího proudu (zapnuto/vypnuto) v sekundách je pro různé velikosti C_{MAX} a pro 4 fáze nabíjení patrna z následující tabulky:

C_{MAX}	Střední nabíjecí proud			
	C_{MAX}	C	C/10	C/40
C	9/1	1/1	1/9	1/39
2C	9/1	1/1	1/1	1/79
4C	9/1	1/3	1/39	1/159
6C	9/1	1/5	1/59	1/239

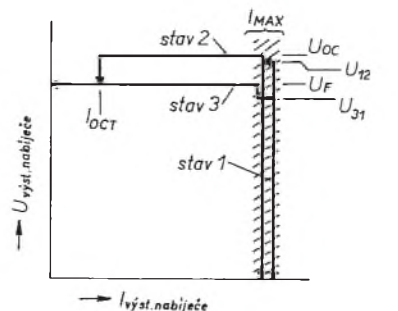
UCC3906

Další obvod od firmy Unitrode, UCC3906, je určen pro řízení nabíjení olověných baterií s kontrolou výstupního napětí i proudu.

Zapojení s tímto obvodem, jak je patrné z obr. 69, vyžaduje jen opravdu minimální počet dalších součástek. Jedná se o zapojení dvouhladinové plovoucí nabíječky, která pracuje při



Obr. 69. Dvouhladinová „plovoucí“ nabíječka



Obr. 70. Tři cykly nabíjení nabíječky z obr. 69

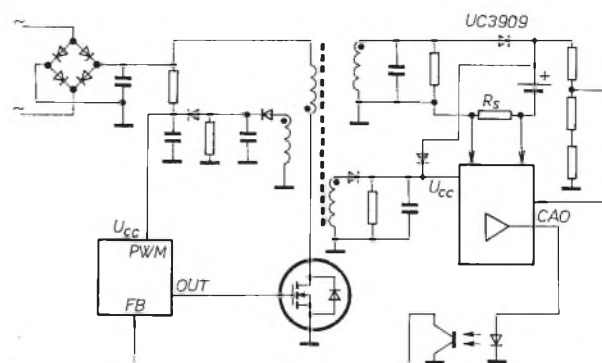
nabíjení baterie celkem ve třech provozních režimech (obr. 70). Nabíjecí cyklus začíná stavem, kdy nabíječka dodává do baterie konstantní nabíjecí proud I_{MAX} . Obvod UCC3906 monitoruje napětí baterie a jakmile toto dosáhne prahové hodnoty U_{12} , přejde nabíječka do stavu dobíjení, kdy se napětí baterie zvyšuje na velikost U_{OC} , až dokud se nabíjecí proud nezmenší pod specifikovanou velikost I_{OCT} .

Při tomto zmenšeném proudu by měla být baterie nabita na plnou kapacitu, tedy téměř 100 %. V tomto bodě nabíječka přejde do režimu napětového regulátoru s přesně definovanou velikostí výstupního napětí U_F . Výstupní napětí nabíječky určuje v tomto režimu plovoucí úroveň napětí baterie.

Při lineární regulaci, jak známo, vznikají poměrně velké ztráty na výkonovém regulačním prvku, které jsou vyzařovány jako nežá-

doucí teplo. Účinnost je poměrně malá a provoz méně ekonomický, což má i ekologické důsledky.

Zapojení nabíječky olověných baterií ve spínaném režimu je na obr. 71 (na str. 133 nahore). Je zde využito součinnosti s rychlým kontrolérem typu UC3823 s pulsně – šířkovou modulací (PWM). Spínací frekvence je nastavena na 100 kHz, jako kompromisní řešení mezi rozumnou velikostí součástek výstupního filtru a mezi spínacími ztrátami. Obvod byl testován pro nabíjení baterií 6, 12 i 24 V při pouhé změně odporů děliče, snímajícího napětí baterie. Při vstupním napětí 40 V a nabíjení akumulátoru 24 V byla naměřena vynikající účinnost 85 %. Tu je možno ještě nadále zlepšit použitím kvalitnějších součástek, např. výstupní blokovací diodu nahradit typem Schottky či použít cívku s menším sériovým odporem. Zejména při použití kvalitního tranzistoru s malým odporem R_{DS} v sepnutém stavu na místě spínacího tranzistoru FET je možno spínací ztráty zmenšit až o



Obr. 72. Nabíječka Off Line s obvodem UCC3909 a regulátorem PWM v primárním okruhu

5 W. Těmito úpravami je snadné dosáhnout účinnosti nabíječky přesahující 90 %.

UCC3909

Obvod UCC3909 je nejnovějším typem z řady obvodů, určených pro nabíjení olověných baterií, vyvinutých firmou Unitrode. Zde se již jedná o spínaný obvod s pulsně – šířkovou modulací (PWM) pro přesné řízení nabíjení olověných baterií s velkou účinností, s proudovou zpětnou vazbou.

$$U_{OC} = U_{REF} \left(1 + \frac{R_A}{R_B} + \frac{R_A}{R_C} \right)$$

$$U_F = U_{REF} \left(1 + \frac{R_A}{R_B} \right)$$

$$U_{12} = 0,95 U_{OC} \quad U_{13} = 0,9 U_F$$

$$I_{MAX} = 0,25 \text{ V} / R_S$$

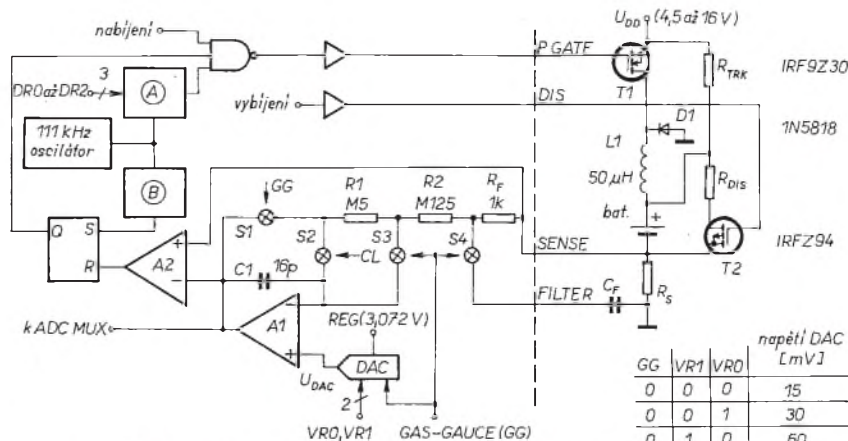
$$I_{OCT} = 0,025 \text{ V} / R_S$$

od 3,75 V do 20 V. Druhý regulátor, # 2, stabilizuje výstupní napětí ze zálohovací baterie na 4,85 V pro paměťové obvody a také zajišťuje izolaci zálohovací baterie od hlavního zdroje 5 V během běžné činnosti, kdy je paměť napájena ze zdroje 5 V. Oba regulátory jsou vybaveny nezávislými vstupy pro elektronické odpojení (SHDN1, SHDN2). LT1239 je firmou Linear Technology vyráběn v šestnáctivodovém pouzdře SO pro povrchovou montáž.

Zapojení na obr. 73, jehož základem je integrovaný obvod LT1239, automaticky připojí lithiovou zálohovací baterii, když se napájecí napětí systému 5 V zmenší pod 4,85 V. Výstupní napětí ze zálohovací baterie je stabilizováno regulátorem # 2 na velikost 4,85 V. Výstupní proud může být až 50 mA. Vestavěný detektor nedostatečného napětí baterie zabráňuje odpojením regulátoru # 2 úplnému vybití a tím i případnému poškození zálohovací baterie. Když je hlavní napájecí baterie připojena, je výstupem regulátoru # 1 obvodu LT1239 lithiová zálohovací baterie dobíjena. Regulátor # 1 může být zapojen pro nabíjení s konstantním napětím (pro lithium-iontové články, obr. 73) nebo pro nabíjení konstantním proudem při použití článků NiCd. Nabíjecí proud může být až 50 mA.

LTC1325

Obvod LTC1325 od firmy Linear Technology je mikroprocesorem ovládaný systém pro řízení nabíjení baterií. Tento integrovaný obvod v sobě sdružuje všechny potřebné funkční celky, které jsou jádrem flexibilního, cenově efektivního řešení kompaktního systému pro rychlé nabíjení baterií. S jeho použitím je možno zkonstruovat univerzální, jednoduchou a přitom propracovanou nabíječku. Obvod LTC1325 je vyráběn v osmnáctivodovém pouzdru DIP pro klasickou



Obr. 75. Obvody pro nabíjení, vybíjení a měření kapacity baterie

dovém pouzdru DIP pro klasickou montáž (LTC1325CN) a v širokém pouzdru SO pro povrchovou montáž (LTC1325CSW).

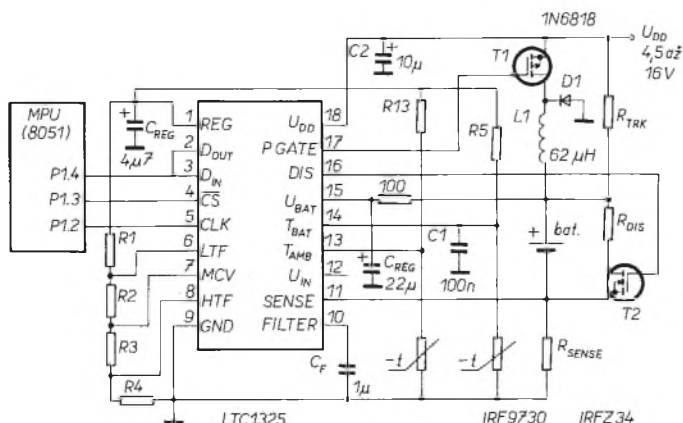
Hlavní možnosti a přednosti obvodu LTC1325 jsou:

- Obvod obsahuje všechny funkční bloky, potřebné ke konstrukci univerzální nabíječky, včetně 10bitového převodníku A / D, obvodů detekce poruchových stavů, spínacího regulátoru, budiče výkonového tranzistoru MOSFET, časovače, třívoltového stabilizátoru napětí pro napájení externích teplotních senzorů a programovatelného děliče pro snímání napětí baterie.
- Funkční bloky jsou pod správou externího mikroprocesoru k zajištění maximální flexibility a adaptability při nabíjení baterií odlišných chemických složení. Je možno nabíjet články niklo-kadmiové, niklo-metal-hydridové, lithium-iontové i olověné.
- Komunikace s mikroprocesorem přes tří, nebo 4drátovou sériovou sběrnici.
- Měření napětí baterie, teploty baterie a teploty okolí pomocí vnitřního, 10bitového převodníku A / D.
- Proudová regulace – programovatelný spínací proudový regulátor s pulsně-šifrkovou modulací (PWM) s kmi-

točtem 111 kHz a vestavěným budičem pro výkonový tranzistor FET typu p. Výstup budiče může být použit pro řízení externího proudového regulátoru či proudově řízeného transformátoru.

- Obsahuje samostatné obvody pro detekci poruchových stavů, chrání baterii proti tepelnému či napěťovému přetížení.
- Jako doplněk k nabíjení obvod zajišťuje přídavnou funkci pro úplné vybití baterie před zahájením vlastního procesu nabíjení. Zahrnuje též možnost přesně měřit kapacitu.
- K řízení nabíjecího proudu baterie je použit spínací regulátor s velkou účinností a malými ztrátami.
- Napájecí napětí je v rozsahu od 4,5 do 16 V, takže obvod LTC1325 může nabíjet až 10 článků. Tento počet lze jednoduchou úpravou zapojení ještě zvětšit.
- V režimu elektronického odpojení (Shutdown Mode) je klidový proudový odběr 50 μA a digitální vstupy přejdou do stavu s velkou impedancí.

Na obr. 74 je schéma zapojení rychlé nabíječky s obvodem LTC1325. Jak již bylo uvedeno, na rozdíl od mnoha jiných obvodů, určených pro konstrukci nabíječek s lineární regulací, používá obvod LTC1325 spínací regulátor, pracující v režimu zmenšujícím vstupní napětí (Step – down, Buck regulator). Touto cestou je zlepšena účinnost a minimalizován vyzařovaný tepelný výkon, což je obzvláště výhodné při nabíjení baterií s velkou kapacitou. V obvodu regulace nabíjecího proudu jsou potřebné pouze tyto externí součástky: tlumivka, spínací výkonový tranzistor MOSFET s kanálem p, snímací rezistor a dioda – viz obr. 75, kde je podrobně, včetně vnitřního zapojení obvodu LTC1325, rozkresleno schéma části pro nabíjení, vybíjení a měření kapacity baterie. Všechny obvody potřebné pro řízení regulační smyčky jsou obsaženy na čipu a nejsou tedy potřeba žádné další externí integrované obvody.



Obr. 74. Rychlá nabíječka s obvodem LTC1325

Obvod LTC1325 pracuje při vstupním napětí v rozsahu od 4,5 V do 16 V, takže může být napájen přímo ze vstupního napájecího zdroje. Široký rozsah pracovních napětí umožňuje nabíjet až deset článků bez potřeby dalšího zdroje pro zmenšení napětí pro napájení obvodu LTC1325. Když je nabíjení ukončeno a napájecí zdroj je odpojen, obvod již svým odběrem nezatěžuje žádný další napájecí zdroj v systému, protože je pomocí řídicího mikroprocesoru uveden do klidového stavu s odběrem proudu pouze 50 μ A. Regulační smyčka spínacího regulátoru udržuje střední velikost úbytku napětí na snímacím rezistoru R_{SENSE} vzhledem k naprogramovanému napětí U_{DAC} na výstupu převodníku D / A. Změnou střidy modulačních impulsů na výstupu PGATE, řídicích výkonový spínací tranzistor, je určena střední velikost nabíjecího proudu, která je dána následující rovnicí:

$$I_{CHARGE} = U_{DAC} \cdot (\text{střída} / R_{SENSE})$$

Mikroprocesorem může být napětí U_{DAC} nastaveno na jednu ze čtyř velikostí (150 mV, 50 mV, 30 mV nebo 15 mV) a střída může být nastavena na jednu z pěti velikostí (1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1/1), což v kombinaci dává celkem 20 možných velikostí nabíjecího proudu I_{CHARGE} při použití jediného snímacího rezistoru daného odporu. Jednotlivé kombinace jsou patrné z následující tabulky:

U_{DAC}		Střída				
		1	1/2	1/4	1/8	1/16
1	(VR1 = 1, VR0 = 1)	1	1/2	1/4	1/8	1/16
1/3	(VR1 = 1, VR0 = 0)	1/3	1/6	1/12	1/24	1/48
1/5	(VR1 = 0, VR0 = 1)	1/5	1/10	1/20	1/40	1/80
1/10	(VR1 = 0, VR0 = 0)	1/10	1/20	1/40	1/80	1/160

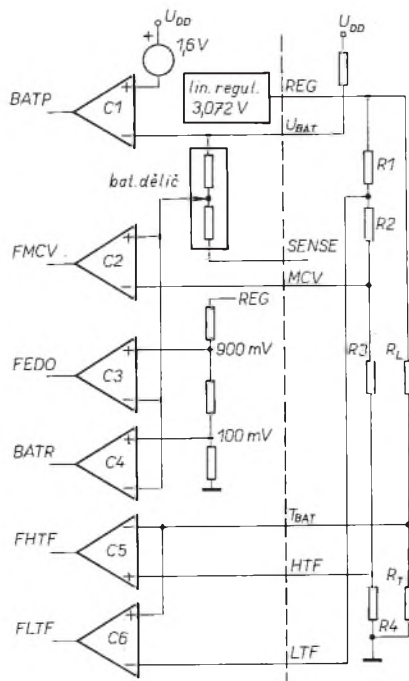
Nabíjecí proud může být přerušen při dosažení maximální teploty baterie (T_{BAT}) a max. napětí článku (U_{CELL}), uplynutí nastaveného času (t), překročení nastavené maximální teploty okolí (T_{AMB}) nebo při kombinaci těchto parametrů.

Obvod LTC1325 obsahuje na čipu též 10bitový převodník A / D s pěti-kanálovým vstupním multiplexorem. Tři vstupy jsou využity pro měření teploty baterie, napětí článku a náboje, další dva mohou být použity k dalším účelům (jako měření teploty okolí) nebo k připojení dalšího externího senzoru.

Obvod LTC1325 může být uveden do nečinného stavu, kdy není dodáván nabíjecí proud. To umožňuje měřit bez přítomnosti rušivého napětí, vznikajícího při činnosti spínacího regulátoru při nabíjení.

Obvod LTC1325 monitoruje teplotu baterie, napětí článku a uplynulý čas nabíjení za účelem detekce chybových stavů. Obvody pro detekci chybových stavů jsou podrobně rozkresleny na obr. 76. Tyto obvody mají za úkol při vzniku poruchy zabránit pokračování nebo inicializaci nabíjení.

Obvody pro detekci chybových stavů jsou podrobně rozkresleny na obr. 76. Tyto obvody mají za úkol při vzniku poruchy zabránit pokračování nebo inicializaci nabíjení.



Obr. 76. Obvody pro detekci chybových stavů

Ochranný obvod se skládá z komparátorů, které monitorují teplotu baterie (T_{BAT}) a napětí (U_{BAT}) na nabíjeném článku a detekují tak chybový stav při nízké teplotě baterie (LTF – Low Temperature Faults), vysoké teploty baterie (HTF – High Temperature Faults), malém napětí článku (BATR) a zvětšeném napětí na článku (MCV). Úroveň pro LTF, HTF a MCV je nastavena externím odporovým děličem R1 až R4 na uživatelem přesně definovanou velikost.

Pro výpočet odporu rezistorů R1 až R4 platí:

$$R4 = U_{HTF} \times (RE / U_{REG})$$

$$R3 = U_{MCV} \times (RE - R4)$$

$$R2 = U_{LTF} \times (RE) - (R3 + R4)$$

$$R1 = RE - (R2 + R3 + R4)$$

kde $RE = R1 + R2 + R3 + R4$.

Celkový odpor RE děliče je vhodné volit s ohledem na minimální zatížení výstupu REG. Minimální doporučený odpor je 30 k Ω .

Obvod LTC1325 obsahuje také 32bitový čítač, který omezí maximální dobu nabíjení v osmi stupních (5, 10, 20, 40, 80, 160, 320 minut a volba bez časového omezení).

Při nevhodných pracovních nebo skladovacích podmínkách může u baterií NiCd a NiMH dojít ke ztrátě původní kapacity. Často je takové baterie za účelem obnovení plné kapacity nezbytné opakovaně hluboce vybit a znovu nabít v několika po sobě jdoucích cyklech. Obvod LTC1325 může být uveden do režimu vybití, kdy je článek automaticky vybit na napětí $U_{CELL} = 0,9$ V. Toto napětí je definováno jako konečné vybíjecí napětí (EDV – End of Discharge Voltage). V režimu vybití je aktivní i ochrana (LTF, HTF) proti tepelnému poškození.

Obvodem LTC1325 může být při stavu log. 1 na vstupu GG (Gas – Gauge na obr. 75) monitorován stav nabití baterie. V tomto režimu je rezistorem R_S snímán nabíjecí proud baterie a takto vzniklý úbytek napětí je filtrován rezistorem $R_F = 1$ k Ω a kondenzátorem C_F , které tvoří filtr typu dolní propust.

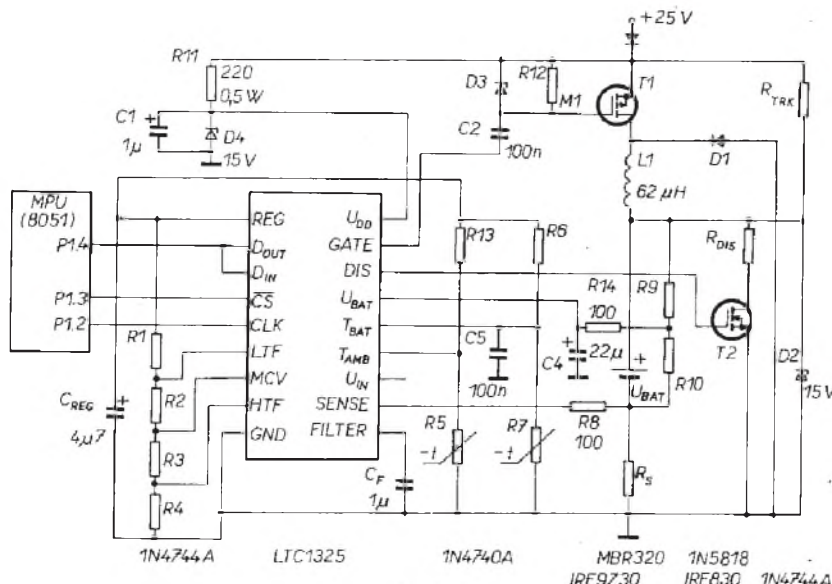
Operační zesilovač A1 je konfigurován jako invertující zesilovač se zesílením čtyři. Na výstupu zesilovače se tedy objeví střední hodnota snímaného napětí a ta je při volbě kanálu pro měření stavu nabití baterie převedena převodníkem A / D. Sumarizací jednotlivých měření během času může řídicí mikroprocesor stanovit, nakolik je baterie nabitá a kolik kapacity ještě zbývá.

V aplikacích, v nichž je napájecí napětí větší než maximální povolené pracovní napětí obvodu LTC1325, nebo v případě, kdy je potřeba nabíjet baterie s napětím přesahujícím 16 V, je nutno použít několik jednoduchých úprav zapojení, které jsou zakresleny ve schématu nabíječky s rozšířeným rozsahem pracovního napětí na obr. 77 (na další straně nahoře).

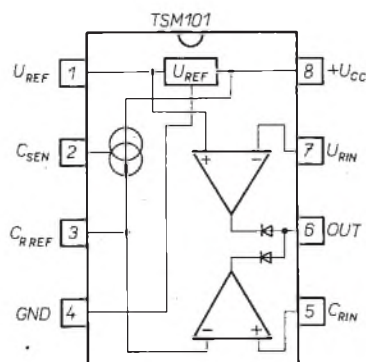
TSM101

Integrovaný obvod TSM101 od výrobce SGS Thomson je určen pro precizní řízení napětí a proudu, je snadno aplikovatelný ve spojení s lineárními i spínacími regulátory nejen v obvodech určených pro nabíjení baterií, ale může být využit i v napájecích zdrojích všeobecně.

Jak je vidět z vnitřního blokového zapojení na obr. 78, kde je i zapojení



Obr. 77. Nabíječka s rozšířeným rozsahem pracovních napětí



Obr. 78. Vnitřní blokové zapojení a zapojení vývodů obvodu TSM101

vývodů pro osmivývodová pouzdra DIP a SO, ve kterých je tento obvod dodáván, TSM101 v sobě sdružuje dva operační zesilovače, jejichž výstupy jsou propojeny pomocí dvou diod k získání součinné funkce - OR (ORed operational amplifiers), dále obsahuje vysoce stabilní sériový zdroj referenčního napětí 1,24 V typu band gap a zdroj konstantního proudu 1,4 mA s možností externího řízení.

Na obr. 79 je příklad zapojení lineární nabíječky baterií, řízená obvodem TSM101. Nabíječka je určena pro nabíjení baterie NiCd, složené ze šesti článků.

Nabíjecí proud je omezen a to na 200 mA - při nezapojeném vstupu pro řízení nabíjení, nebo 60 mA při vstupu pro řízení nabíjení spojeném se zemí,

což umožňuje nabíjet dva rozdílné typy baterií. Napětí pro ukončení nabíjení je stanoveno na 1,45 V na článek, což je doporučené napětí při pokojové teplotě 25 °C. Dioda D5 zabráňuje vybíjení baterie, když nabíječka není napájena. Tato dioda někdy bývá integrována přímo v pouzdru baterie. Vliv diody na vlastnosti nabíječky je zanedbatelný, neboť s ní bylo počítáno již při návrhu zapojení.

Napětí na emitoru tranzistoru T1 je:

$$U_{sT1} = (1,45 \times 6) + 0,7 = 9,4 \text{ V}$$

a s ohledem na R6 a R7:

$$U_{sT1} = ((R6 + R7) / R6) \cdot U_{REF}$$

Potenciometr P1 pro přesné nastavení, který je součástí děliče R6, R7, není v této rovnici vzat v úvahu.

Rezistor R5 je snímací rezistor pro měření nabíjecího proudu. Proudová regulace je aktivní, když úbytek napětí na rezistoru R5 odpovídá napětí na vývodu 5 (neinvertující vstup operačního zesilovače) obvodu TSM101 (za předpokladu, že vnitřní proudový zdroj je vyřazen). Pro střední velikosti proudu (< 1 A) nepřesáhne úbytek napětí na rezistoru R5 velikost 200 mV a rezistor tedy může být běžného typu

na zatížení 0,5 W. Odpor rezistorů R2, R3, jimiž je nastavena velikost napětí na vývodu 5 obvodu TSM101, je dán následující rovnicí:

$$R2 = R3 \times \frac{(U_{REF} - U_5)}{U_5}$$

Za předpokladu, že je vývod 2 ponechán nezapojen, jmenovitý výstupní proud je 200 mA. Jestliže je tento vývod spojen se zemí, vnitřní proudový zdroj je vyřazen a měření proudu je posunuto napětím odpovídajícím:

$$U_{R4} = I_O \times R4$$

při $I_O = 1,15 \text{ mA}$.

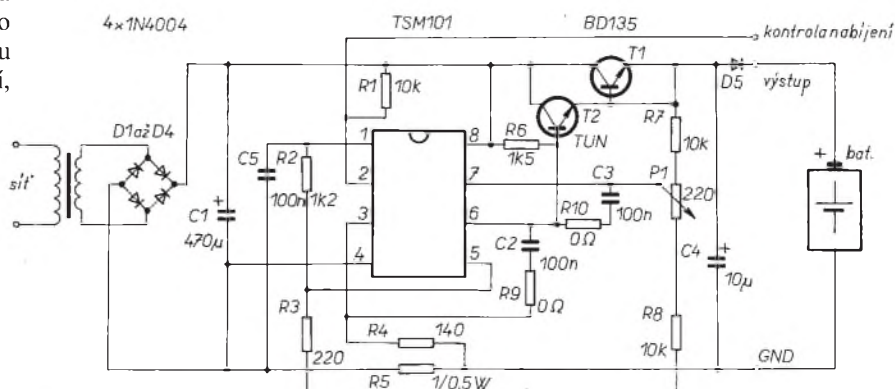
Toho může být využito ke zmenšení nabíjecího proudu, nebo případně k úplnému zastavení nabíjení, jestliže je napětí na R4 větší než napětí na R5. V konkrétním zapojení na obr. 79 odpovídá proudový offset 200 - 60 mA = 140 mA, což je dáno napětím 140 mV na rezistoru R4.

Jako výkonový regulační člen je použita dvojice tranzistorů v Darlingtonově zapojení. Tranzistor T2 je běžný typ pro všeobecné použití, na místě T1 vyhoví výkonový tranzistor pro střední výkony, opatřený chladičem, například klasický typ BD135.

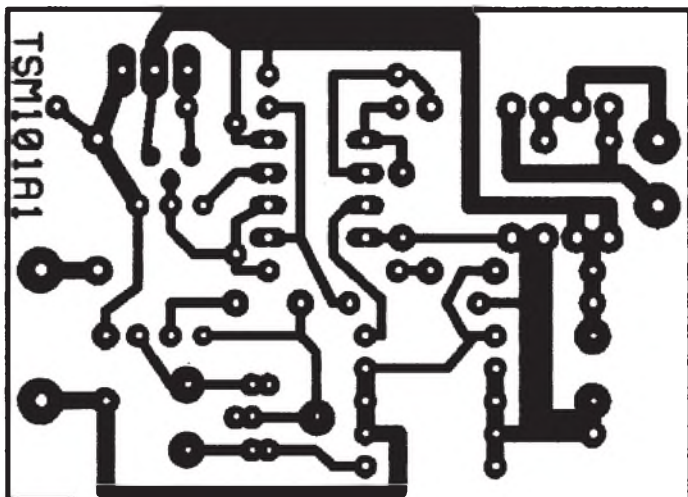
Na obr. 80 je výkres desky s plošnými spoji pro zapojení nabíječky z obr. 79, na obr. 81 je zakresleno rozložení součástek na desce s plošnými spoji.

Zapojení obvodu TSM101 v součinnosti se spínaným regulátorem PWM je na obr. 82. Výstupní napětí, snímané děličem připojeným k výstupním svorkám, je porovnáváno s vnitřním referenčním napětím obvodu TSM101 a v závislosti na odchylce těchto napětí je řízen proud diodou obsaženou v optoelektrickém článku, galvanicky oddělujícím sekundární okruh zdroje od primárního, a tím se mění i její svit. Úměrně svitu diody LED se otevírá nebo přivírá tranzistor v optočlunku, řídící šířku impulsů ve spínaném regulátoru.

V aplikacích, vyžadujících malé napětí pro nabíjenou baterii, nebo pokud nabíječka pracuje v módu s prou-

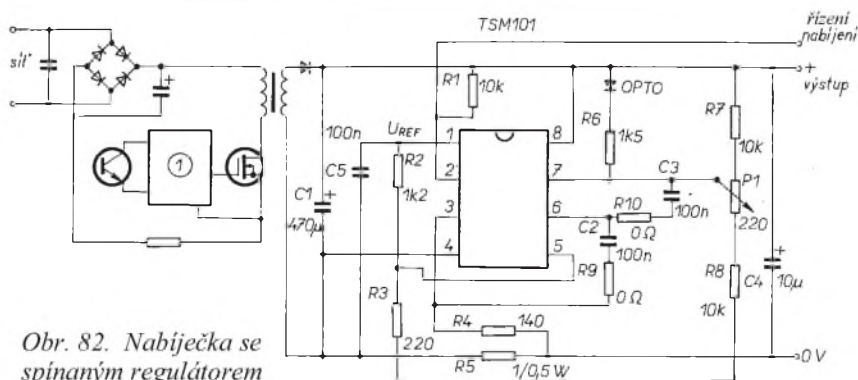
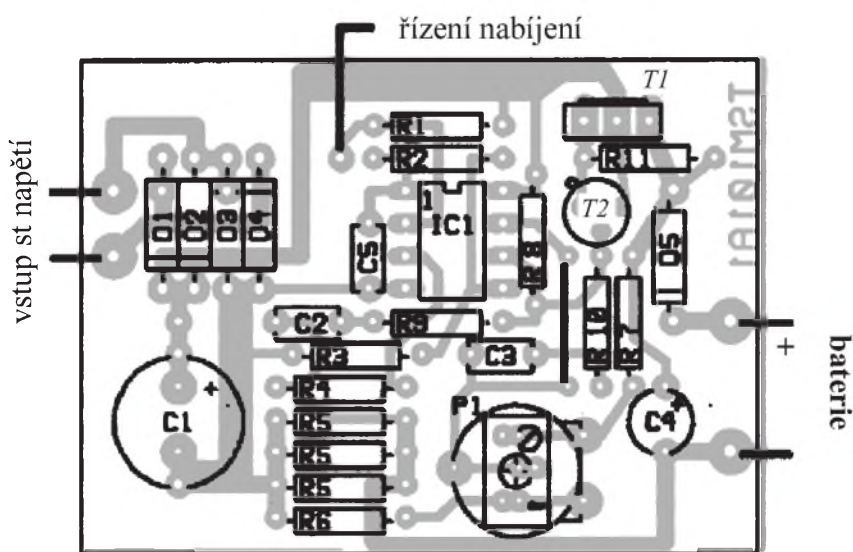


Obr. 79. Lineární nabíječka baterií, řízená obvodem TSM101



Obr. 80. Deska s plošnými spoji pro nabíječku z obr. 79

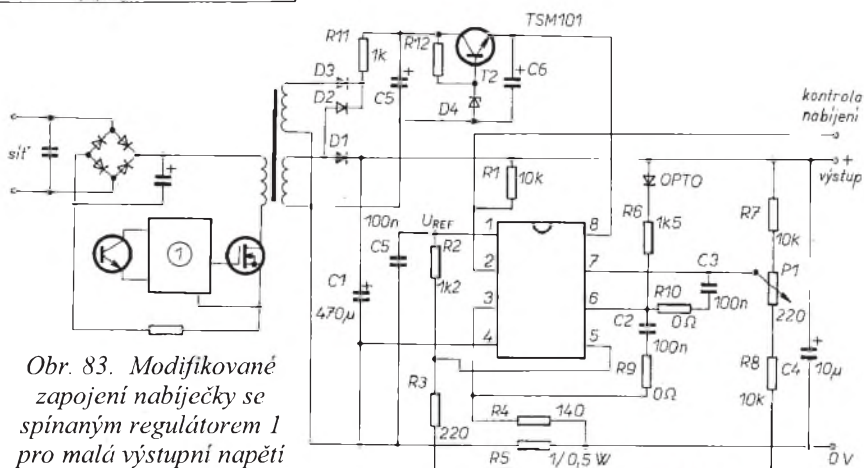
Obr. 81. Výkres rozložení součástek na desce s plošnými spoji



Obr. 82. Nabíječka se spínaným regulátorem (1 - PWM)

dovým omezením, může být výstupní napětí příliš malé pro napájení obvodu TSM101, čímž by mohla být ohrožena jeho správná činnost. Tento problém může též nastat při zkratovaném výstupu.

Řešením výše uvedeného problému je zapojení na obr. 83, kde je pro získání napájecího napětí pro obvod TSM101 na sekundární stranu transformátoru navinuto přídavné vinutí. Díky přímé vazbě je napětí na tomto vinutí přímo úměrně usměrněnému síťovému napětí, i když se plovoucí na-



Obr. 83. Modifikované zapojení nabíječky se spínaným regulátorem 1 pro malá výstupní napětí

pětí na druhém vinutí blíží nule. Jelikož je toto druhé vinutí tvrdým zdrojem napětí, je nezbytné z důvodu proudového omezení přidat za usměrňovač rezistor R11. Ke stabilizaci napájecího napětí pro obvod TSM101 je použit jednoduchý regulátor s tranzistorem T2 a Zenerovou diodou D4. Stabilizace je nezbytná při použití spínaného regulátoru pracujícího v širokém rozsahu vstupních napětí, například od 90 do 240 V. Ve standardních spínaných regulátorech se vstupním napětím v rozsahu od 200 do 240 V může být tato stabilizace vynechána.

DALŠÍ VHODNÉ OBVODY A ZAPOJENÍ PRO NABÍJENÍ BATERIÍ

Kromě v předchozí části uvede-
ných zapojení s jednoúčelovými ob-
vody, speciálně vyvinutými ke kon-
strukci nabíječek baterií, existuje
nepřeberné množství zapojení, využí-
vajících vlastností běžných univerzálních integrovaných obvodů – ope-
račních zesilovačů, lineárních či
spínaných regulátorů, komparátorů.
Dále je uvedeno několik dalších zají-
mavých zapojení:

- Jednoduchá nabíječka pro lithium – iontovou baterii s obvodem LP2951.
- Levná nabíječka s účinností 90 %, s výstupním proudem 1 A, se spínaným regulátorem MAX1651.
- Nabíječka s účinností 96 % při vý-
stupním proudu 2,5 A s obvodem
MAX797 – Step/Down kontrolér se
synchronním usměrňovačem.
- Nabíječka s výstupním proudem
50 mA a s regulátorem 5 V.
- Dvě zapojení pro nabíjení baterií
s obvodem ADM663.
- Off – Line nabíječka se spínaným
regulátorem L4990 a automatickým
přepínáním vstupního napětí. Kon-
stantní proud / konstantní napětí / kon-
stantní výkon
- Dvě zapojení pro nabíjení baterií
NiCd s teplotním odpojením.

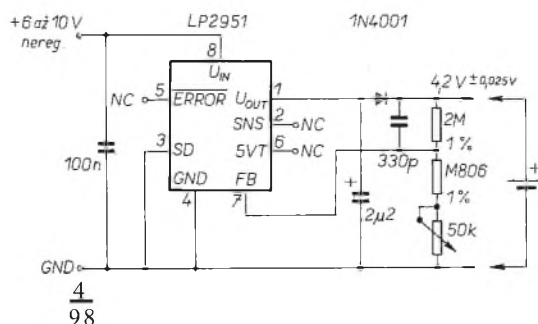
- Přesná nabíječka lithium–iontových baterií se spínaným regulátorem LTC1147.
- Jednoduchá nabíječka baterií NiCd proudem 300 mA v provedení SMD se spínaným regulátorem LTC1174.
- Nabíječka baterií NiCd s velkou účinností ($> 90\%$) s výstupním proudem 1,3 A a kapkovým dobíjením s obvodem LTC1148.
- Jednoduchá spínaná nabíječka baterií NiCd, pracující se vstupním napětím již od 3,3 V a s kmitočtem 1 MHz.
- Nabíječka olověných baterií se spínaným regulátorem LT1171.
- Nabíječka článků NiCd konstantním proudem se spínaným regulátorem LT1171.
- Nabíječka článků NiCd s velkou účinností a proudem 2 A se spínaným regulátorem LT1171.
- Programovatelná nabíječka článků NiCd s velkou účinností se spínaným regulátorem LT1171.
- Nabíječka čtyř článků NiCd s vestavěným regulátorem 5 V / 2 A.
- Rychlá nabíječka se spínanými proudovými zdroji MAX1640 / MAX1641.

Jednoduchá nabíječka pro lithium–iontovou baterii

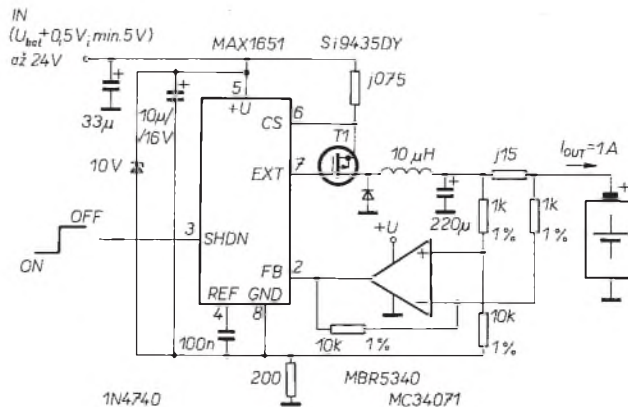
Na obr. 84 je schéma zapojení velice jednoduché a levné nabíječky lithium–iontové baterie s obvodem typu LP2951, který byl velice podrobně popsán v části, pojednávající o lineárních regulátorech s malým úbytkem napětí ve 2. čísle Konstrukční elektroniky '98 na str. 47.

Lithium–iontová baterie je nabíjena metodou s konstantním napětím. Výstupní napětí je možno jemně nastavit na přesnou velikost pomocí odporového trimru s odporem 50 k Ω . Díky velmi malému vstupnímu proudu zpětnovazebního vstupu FB obvodu LP2951 pro nastavení výstupního napětí je možno použít v napěťovém děliči rezistory s velkým odporem. Výhodou je, že tento dělič téměř nezatěžuje baterii vybíjecím proudem při odpojení vstupního napětí, nebo při využití vstupu SD (Shutdown) pro elektronické přepnutí obvodu LP2951 do klidového stavu.

Obr. 84. Jednoduchá nabíječka pro lithium–iontovou baterii s obvodem LP2951



Obr. 85. Nabíječka s účinností 90 % s výstupním proudem 1 A se spínaným regulátorem



Levná nabíječka s účinností 90 %, s výstupním proudem 1 A

Na obr. 85 je zapojení nabíječky s účinností 90 % s výstupním proudem 1 A se spínaným regulátorem MAX1651 od firmy Maxim. Integrovaný obvod MAX1651 pracuje v režimu zmenšujícím vstupní napětí (Step – down, Buck), má však velmi malý úbytek napětí, typicky 300 mV, a proto stačí, když bude vstupní napětí větší o 0,5 V, než je konečné napětí nabíjené baterie. Jako výkonový spínací prvek je použit tranzistor MOSFET. Díky vysokému kmitočtu spínání – až 300 kHz – je použita cívka s poměrně malou indukčností, zde 10 μ H.

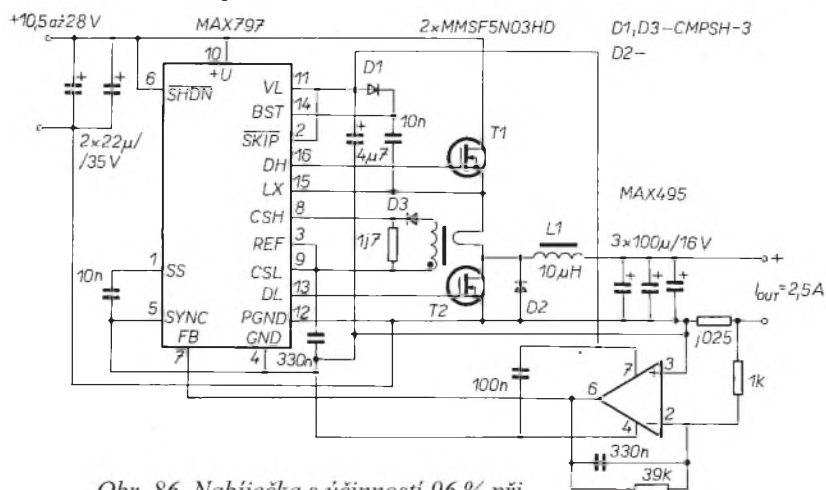
Velikost nabíjecího proudu je snímána rezistorem s odporem 0,15 Ω a díky operačnímu zesilovači MC34071, jehož výstup je připojen ke zpětnovazebnímu řídicímu vstupu FB obvodu

MAX1651, je udržována na konstantní úrovni 1 A. Obvod má vstup (SHDN) pro možnost přerušit nabíjecí cyklus signálem s vysokou úrovní.

Odběr proudu z baterie je v tomto klidovém stavu maximálně 5 μ A.

Nabíječka s účinností 96 % při výstupním proudu 2,5 A

Zapojení nabíječky s konstantním proudem 2,5 A s velkou účinností, dosahující až 96 %, je na obr. 86. Velké účinnosti je dosaženo využitím obvodu MAX797 od firmy Maxim, což je řídicí obvod pro spínaný regulátor s pulsně šířkovou modulací (PWM) a se synchronním usměrňovačem. Účinnost je zvětšena též použitím proudového transformátoru pro snímání celkové velikosti proudu do zátěže (sekundární vinutí mezi vývody 8 a 9 IO), namísto obvyklého snímacího rezistoru, na kterém jinak zejména při



Obr. 86. Nabíječka s účinností 96 % při výstupním proudu 2,5 A se spínaným regulátorem a synchronním usměrňovačem

větších proudcích vznikají poměrně velké ztráty. Poměr počtu závitů proudového transformátoru je 1 : 70 a usměrňené napětí ze sekundárního vinutí je přivedeno na vstupní svorky CSH a CSL obvodu MAX797 pro proudové omezení. Velikost napětí pro nasazení proudového omezení je 100 mV mezi vstupem CSH a CSL. Celkový výstup-

ní proud může být až 10 A a obvod tedy může při nabíjení baterie současně napájet i další jiná zařízení.

Nabíjecí proud do baterie je snímán rezistorem 0,025 Ω a takto vzniklý úbytek napětí je zesílen operačním zesilovačem MAX495, jehož výstupem je ovládán zpětnovazební vstup FB obvodu MAX797 a tak je udržována velikost nabíjecího proudu konstantní.

Výkonový spínač zde tvoří tranzistor T1, tranzistor T2 funguje jako synchronní usměrňovač. Oba tranzistory jsou typu MOSFET s kanálem n. Spínací kmitočet 150 kHz je určen propojením vstupu SYNC se společnou svorkou GND.

Nabíječka s výstupním proudem 50 mA a s regulátorem 5 V

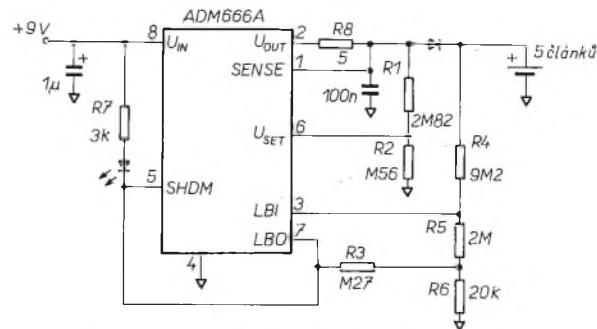
Na obr. 87 je schéma zapojení nabíječky s výstupním proudem 50 mA pro nabíjení baterie 6 V, s regulátorem 5 V, používající obvod LT1020 od firmy Linear Technology, který byl podrobně popsán v části pojednávající o lineárních regulátorech s malým úbytkem napětí hned na začátku tohoto seriálu.

Komparátor, který je v obvodu LT1020 obsažen, je zde využit k regulaci nabíjecího proudu do baterie. Velikost nabíjecího proudu je snímána rezistorem 3,9 Ω, připojeným k neinvertujícímu vstupu komparátoru. Druhý, invertující vstup komparátoru, je připojen přes napěťový dělič na vnitřní zdroj referenčního napětí 2,5 V. Napětí na obou vstupech komparátoru jsou porovnávána a v důsledku toho je výstupem komparátoru řízen regulační tranzistor, aby byla zachována konstantní velikost nabíjecího proudu.

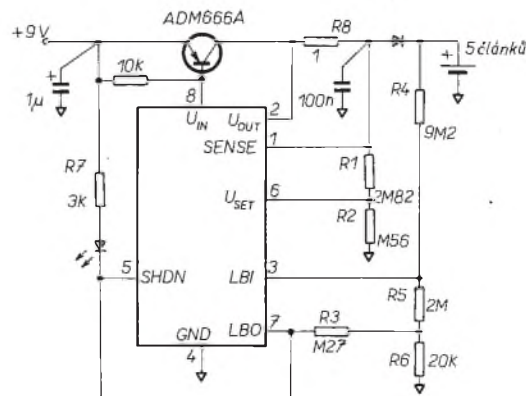
Zapojení pro nabíjení baterií s obvodem ADM666

Obvod ADM66 od firmy Analog Devices byl podrobně popsán v části pojednávající o lineárních regulátorech s malým úbytkem napětí v KE 5 / '97 na str. 191 až 194. Jako jeho další

Obr. 88. Jednoduchá nabíječka baterií



Obr. 89. Nabíječka baterií s větším nabíjecím proudem



možná aplikace je uvedeno na obr. 88 zapojení jednoduché, levné a přesto flexibilní nabíječky galvanických článků.

Velikost maximálního výstupního napětí je nastavitelná volbou odporu rezistorů R1, R2 s použitím následující rovnice:

$$R1 = R2 \times \left(\frac{U_{OUT}}{1,3 \text{ V}} - 1 \right)$$

Například pro výstupní napětí $U_{OUT} = 7,8 \text{ V}$ je odpor pro rezistor $R1 = 2,82 \text{ M}\Omega$ a pro $R2 = 560 \text{ k}\Omega$. Maximální nabíjecí proud je určen odporem rezistoru R8, kterým je nastaveno proudové omezení - v tomto případě 100 mA.

Napětí pro ukončení nabíjení, U_T (charge termination voltage) a napětí pro počátek - zahájení nabíjení, U_{CH} (charge resume voltage) je nastaveno odporem rezistorů R3, R4 a R5. Nabíjecí cyklus je ukončen, když napětí nabíjeného článku dosáhne nastavené velikosti napětí U_T .

Napětí pro ukončení nabíjení (U_T), které je v tomto zapojení pro 5 článků rovno 7,2 V, je určeno následující rovnicí:

$$R4 = (R5 + R6) \times \left(\frac{U_T}{1,3} - 1 \right)$$

kde $R4 = 9,2 \text{ M}\Omega$, $R5 = 2 \text{ M}\Omega$ a $R6 = 20 \text{ k}\Omega$.

Obvod ADM666A neustále monitoruje velikost napětí baterie a zahájí proces nabíjení, jakmile toto napětí poklesne pod úroveň danou napětím U_{CH} . Ta je nastavena odporem rezistoru R3.

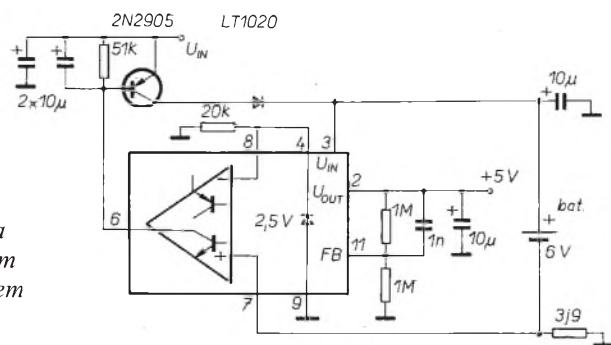
S odpory rezistorů podle zapojení na obr. 88 je nabíjení zahájeno, zmenší-li se napětí baterie pod $U_{CH} = 5 \text{ V}$ a je ukončeno při nepatrném přesazení napětí $U_T = 7,2 \text{ V}$. Odpory rezistorů R4 a R5 byly zvoleny s ohledem na minimální spotřebu proudu z baterie při sledování úrovně jejího napětí.

Činnost nabíječky je indikována svítivou diodou LED. Rozsvícená LED indikuje, že probíhá proces nabíjení. Pokud LED bliká, je nabíjení přerušeno a baterie je odpojena. K minimalizaci chyb ve výpočtu a pro co největší účinnost obvodu by měl být proud svítivou diodou LED omezen na velikost kolem 2 mA. Z tohoto důvodu lze s výhodou použít tzv. LED s malým příkonem (Low Current LED Lamp), která má i při takto malém proudu dostatečnou svítivost.

V zapojení na obr. 88 je maximální výstupní proud omezen na 100 mA. Nicméně lze větších nabíjecích proudů dosáhnout jednoduchou úpravou zapojení podle obr. 89.

Úprava spočívá v přidání jednoho výkonového bipolárního tranzistoru vodivosti p-n-p, dimenzovaného pro příslušný požadovaný výstupní proud. Dosažitelný výstupní proud je v tomto

Obr. 87. Nabíječka s výstupním proudem 50 mA a s regulátorem 5 V



případě závislý na povolené výkonové kolektorové ztrátě tranzistoru, jeho proudovém zesilovacím činiteli β a odporu snímacího rezistoru R8 pro proudové omezení.

Nabíječka Off-Line se spínaným regulátorem L4990 a automatickým přepí- náním vstupního napětí

Na obr. 90a je schéma nabíječky, navržené pro práci ve třech rozdílných funkčních režimech:

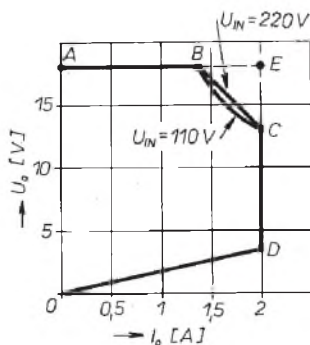
- a) s konstantním napětím,
- b) s konstantním proudem,
- c) s konstantním výkonem.

Tyto požadavky jsou typické u nabíječek baterií pro přenosné počítače (notebooky).

Nabíječka pracuje se spínaným regulátorem typu L4990 od firmy SGS - Thomson, který je zapojen v primárním okruhu (Off - Line). Nabíječka automaticky přepíná vstupní napětí, takže síťové napětí může být v rozsahu od 85 V do 264 V.

Výsledná výstupní napěťová a proudová charakteristika nabíječky je na obr. 90b. V části mezi body A a B pracuje nabíječka v režimu s konstantním napětím. Tato situace nastává, když je baterie téměř kompletně nabitá. Výstupní napětí U_o je nastaveno na konečnou velikost napětí baterie.

Mezi body B a C pracuje nabíječka v režimu s konstantním výkonem, omezujíc výstupní napětí, zatímco se zvětšuje výstupní proud.



Obr. 90b. Výstupní napěťová a proudová charakteristika nabíječky

Přínosem uvedeného režimu s konstantním výkonem je, že maximální výstupní výkon je menší s ohledem na výkon řízený obvody v primárním okruhu a v důsledku toho je zmenšen i celkový ztrátový výkon. To je velice užitečné zdokonalení uvažíme-li, že celý systém je umístěn v plastovém pouzdru s velmi omezenou způsobilostí rozptýlit vzniklé teplo do okolí.

Mezi body C a D nabíječka pracuje v režimu s konstantním proudem až do té doby, dokud se výstupní napětí nezmenší na 0 V.

Elektrické parametry popisované nabíječky jsou:

Možná vstupní napětí: 85 až 264 V.
Stabilizované výstupní napětí: 18 V.
Maximální výstupní výkon: 25 W.
Spínací pracovní kmitočet: 100 kHz.
Účinnost při plném zatížení: > 80 %.

Realizace tří rozdílných funkčních režimů vyžaduje příslušné řídicí obvo-

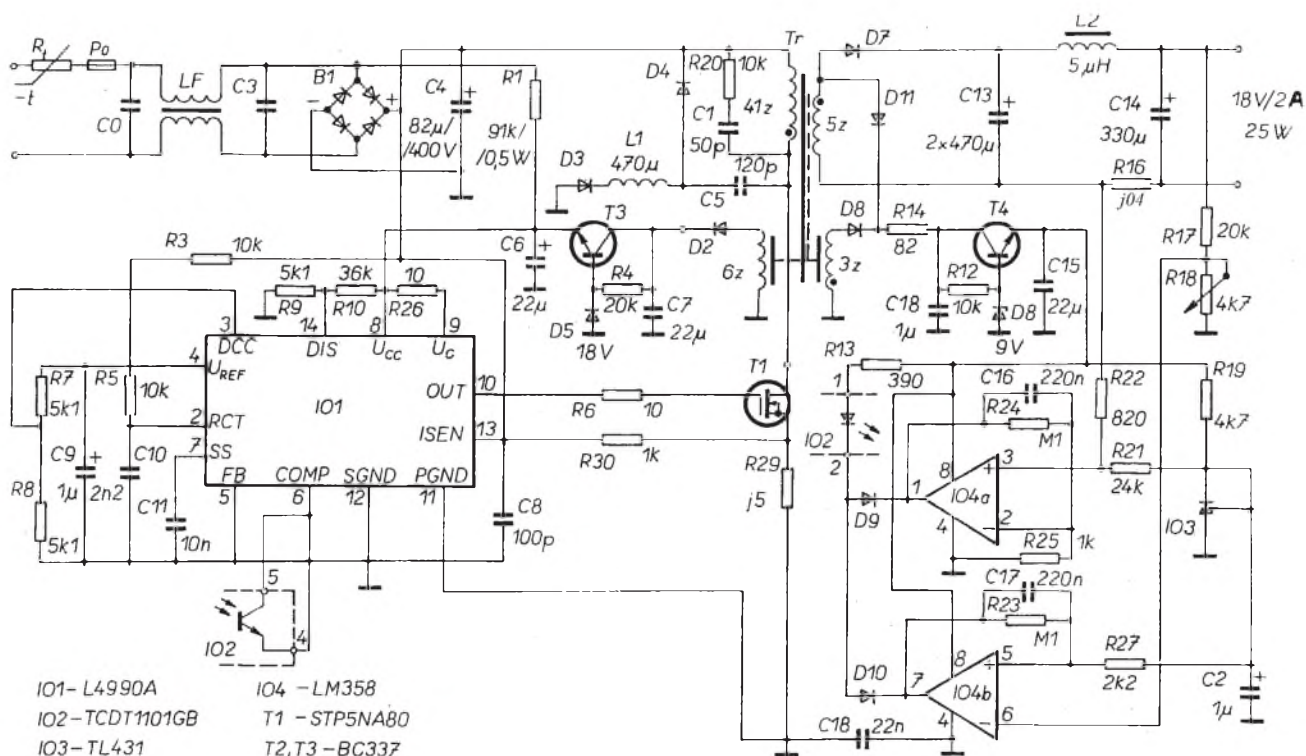
dy. Smyčka napěťové a proudové zpětné vazby je umístěna v sekundárním okruhu oddělovacího transformátoru a chybový signál je k řídicímu kontroléru na primární straně přiveden prostřednictvím optoelektrického článku. Tak je splněn požadavek na galvanické oddělení primárního a sekundárního okruhu.

Pro získání referenčního napětí je použit referenční obvod TL431 s výstupním napětím 2,5 V. Jeden operační zesilovač obsažený v integrovaném obvodu LM358 je použit v napěťové zpětnovazební smyčce, druhý operační zesilovač v proudové zpětnovazební smyčce. Výstupy obou operačních zesilovačů jsou ve funkci OR a jsou spojeny do společného bodu, z kterého je řízen optoelektrický článek.

Proudový signál je získáván ze snímacího rezistoru R16 s odporem 40 mΩ, zatímco potenciometrem R18 je možno nastavit velikost výstupního napětí.

Charakteristiky s konstantním výkonem lze snadno dosáhnout v přerušovaném režimu vzhledem k tomu, že konstantní primární špičkový proud znamená konstantní výstupní výkon. Velikost je nastavena zavedením vhodného ofsetového napětí mezi vstup U_{REF} (vývod 4) a vstup pro snímání velikosti primárního proudu I_{SEN} (vývod 13) pomocí rezistoru R3, jehož odpor se volí v závislosti na požadovaném výstupním výkonu.

Z následující tabulky je vidět velice dobrá energetická účinnost celého systému a naměřená velikost výstupní-



Obr. 90a. Nabíječka Off-Line se spínaným regulátorem L4990 a automatickým přepínáním vstupního napětí

ho napětí při různých provozních podmínkách:

Vstupní napětí [V]	Výstupní proud 1 A		Výstupní proud 2 A, výstupní výkon 36 W		Výstupní proud 1,8 A, výstupní výkon 25 W	
	Výstupní napětí [V]	Účinnost	Výstupní napětí [V]	Účinnost	Výstupní napětí [V]	Účinnost
85	17,97	83,9%	17,96	82,2 %	13,82	82,6 %
110	17,94	85,1%	17,96	83,7 %	13,86	83,7 %
220	17,89	84,4%	17,91	83,5 %	14,31	83,8 %
264	17,89	82 %	17,99	83 %	14,41	82,7 %

Dvě zapojení pro nabíjení baterií NiCd s teplotním řízením

Jednou z cest, jak při rychlém nabíjení baterií předejít jejich poškození, je měřit během nabíjení jejich teplotu a úměrně této teplotě řídit nabíjecí proces. Tato metoda je založena na poznatku, že vybitá baterie při převodu nabíjecího proudu na elektrochemickou energii vyvíjí v tomto stádiu relativně malé množství tepla. Když baterie dosáhne plného nabití, jednotlivé články jsou satureovány a nemohou absorbovat další energii. Tato nadbytečná energie je produkována jako teplo a vede k prudkému zvýšení teploty baterie.

Na obr. 91a a 91b jsou dva obvody nabíječek článků NiCd, určené pro

rychlé nabíjení s teplotním řízením nabíjecího proudu. Je zde měřena teplota povrchu baterie ve vztahu k teplotě okolní. Měření absolutní teploty je nežádoucí, jelikož by vedlo k chybným výsledkům. Pomocí dvou antisériově spojených termoelektrických článků je snímána zvlášť teplota baterie a zvlášť teplota okolní. Tím je dosaženo, že se teplota okolí odčítá od teploty baterie.

Precizní operační zesilovač typu LT1006 slouží k zesílení signálu z termoelektrického článku, které je řádu desítek mV. Velikost proudu, tekoucího ze zdroje přes baterii ke společné svorce, je snímána bočníkovým rezistorem s odporem 125 mΩ. Tento velmi malý odpor minimalizuje ztráty. Při nabíjecím proudu 2,5 A je úbytek napětí na bočníkovém rezistoru pouze 625 mV. Rezistor je připojen k inver-

tujícímu vstupu operačního zesilovače. K neinvertujícímu vstupu je připojen termoelektrický článek. Při nabíjení se baterie zahřívá a tím vzniká na termoelektrickém článku napětí, odpovídající 40 mV / °C. Operační zesilovač v důsledku toho postupně omezuje nabíjecí proud do baterie tak, aby byla zachována rovnováha na jeho vstupech.

Operační zesilovač A2, zapojený mezi A1 a výkonový tranzistor FET, pracuje jako modulátor s proměnnou střídou, takže výkonový tranzistor FET pracuje ve spínaném režimu a dodává širkově modulované proudové impulsy do nabíjené baterie. Tím jsou dále minimalizovány tepelné ztráty, vznikající na regulačním členu. Člen R7 / C4 filtruje impulsní průběh a převádí jej na stejnosměrnou složku.

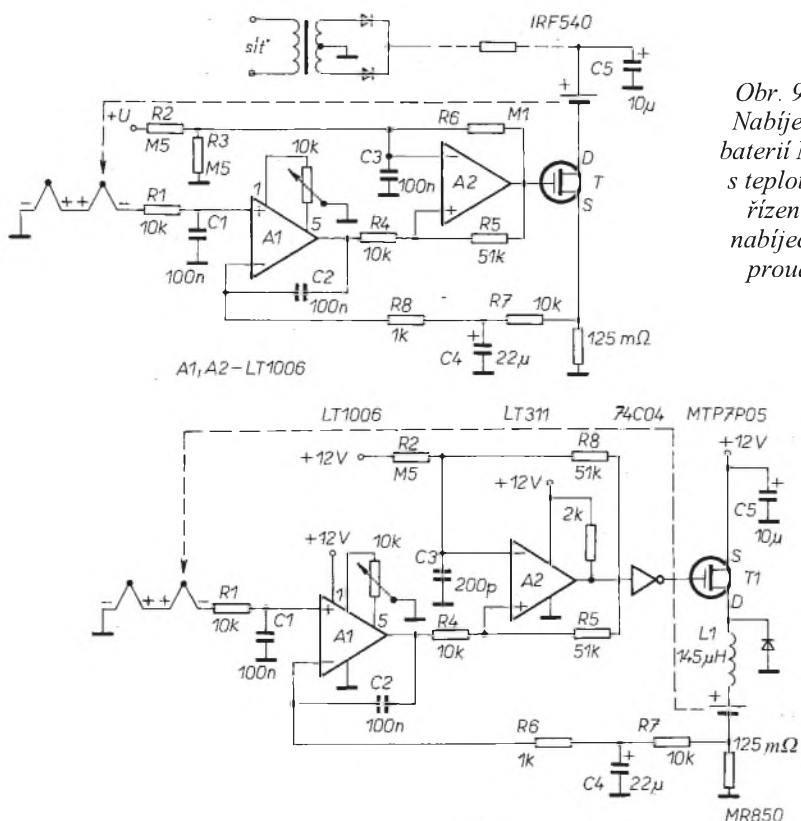
V zapojení na obr. 91a je maximální proud tranzistorem a tedy i nabíjecí proud omezen výstupní impedancí zdroje, respektive transformátoru, která musí být v tomto případě specifikována. Při použití zdroje s malou výstupní impedancí může být použito modifikované zapojení na obr. 91b. U tohoto zapojení je výstup navržen jako jednoduchý spínaný regulátor ve snižovacím (Step – Down) režimu. Invertor obvodu 74C04 zajišťuje obrácení fáze řídicího signálu a buzení výstupního výkonového tranzistoru MOSFET, který je v tomto zapojení vodivosti s kanálem p.

Přesná nabíječka lithium-iontových baterií se spínaným regulátorem LTC1147

Jedním z poměrně obtížně splnitelných požadavků na nabíječky lithium-iontových baterií je zachování přesnosti 1 % plovoucího výstupního napětí při současně přesnosti proudového omezení 5 %. Oba tyto úkoly beze zbytku splňuje zapojení přesné, precizní nabíječky na obr. 92.

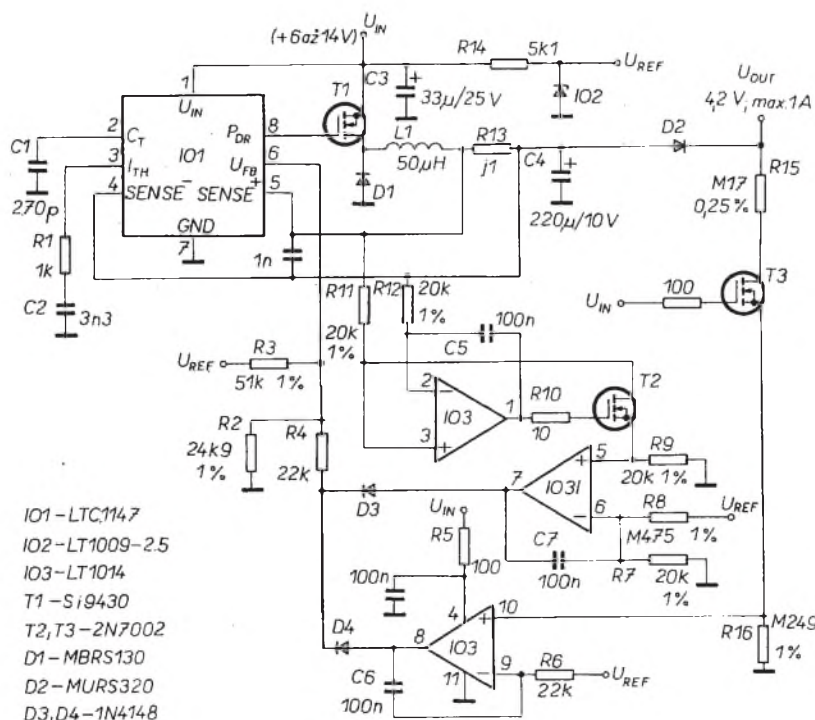
Nabíječka je postavena na obvodu LTC1147, což je vysoce účinný, spínaný, snižující (Step – Down) regulátor od firmy Linear Technology. Architektura tohoto obvodu s proudovou zpětnou vazbou zajišťuje jednoduchost zapojení.

Na začátku nabíjecího cyklu sepne tranzistor MOSFET s kanálem p, T1, a proud cívkou L1 se začne zvětšovat. Velikost proudu cívky snímá přes rezistor R13 vnitřní proudový komparátor, integrovaný v obvodu LTC1147. Pokud úbytek napětí vyvolaný tímto proudem dosáhne nastavené velikosti, tranzistor T1 je výstupem P_{DR} obvodu LTC1147 uzavřen na dobu, pevně



Obr. 91a. Nabíječka baterií NiCd s teplotním řízením nabíjecího proudu

Obr. 91b. Modifikované zapojení nabíječky NiCd baterií z obr. 91a



Obr. 92. Precizní nabíječka lithium-iontových baterií

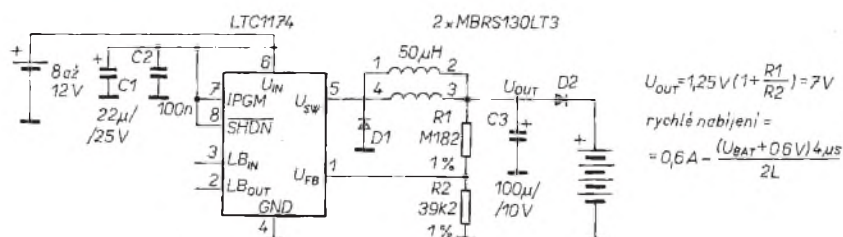
určenou kapacitou kondenzátoru C1. Po uplynutí této doby se celý cyklus opakuje.

K přesnému určení proudového omezení slouží část operačního zesilovače IO3 a tranzistor T2, které snímají velikost nabíjecího proudu nezávisle na obvodu LTC1147. Část operačního zesilovače IO3 je jedním ze čtyř precizních operačních zesilovačů s malým offsetem, obsažených v obvodu LT1014 od firmy Linear Technology. Tato část IO3 zesiluje napětí na rezistoru R11 tak, aby se vyrovnalo napěťovému úbytku na proudovém snímacím rezistoru R13. Toto napětí určuje proud tranzistorem T2, který teče nezávisle na zdroji. Výsledkem je, že se na rezistoru R9 objeví stejné napětí, které je teď vztahováno ke společné zemní svorce. Zatímco C5 slouží k odfiltrování vysokofrekvenčních složek, operační zesilovač posouvá střední hodnotu výstupního proudu. Tranzistor T2 typu MOSFET s kanálem n zajišťuje správnou činnost obvodu i při zkratu tím, že umožňuje snímat proud na potenciálu blízkém zemi. Operační zesilovač IO31 monitoruje napětí na rezistoru R9 a svým výstupem, připojeným k řídicímu zpětnovazebnímu vstupu U_{FB} obvodu LTC1147, udržuje toto napětí na konstantní úrovni vzhledem k napětí referenčnímu. Diody D3, zapojená v sérii s výstupem operačního zesilovače IO31 umožňuje obvodu pracovat jako proudový omezovač. Obvod proudové zpětné vazby není aktivní, dokud není dosaženo proudového limitu.

Část operačního zesilovače IO3, nakreslená ve schématu zcela dole, vybavuje napěťovou zpětnou vazbu porovnáváním výstupního napětí s napětím referenčním. Poměrem zpětnovazebních rezistorů $[R16 / (R15 + R16)]$ je nastaveno výstupní napětí přesně na 4,2 V. S výstupem obvodu je v sérii zapojena dioda D4. Tím je zajištěno, že obvody proudové a napěťové zpětné vazby nebudou pracovat současně.

Referenční napětí je dodáváno obvodem LT1009 se zaručovanou tolerancí 0,2 %. Společně s tolerancí 0,25 % zpětnovazebních rezistorů je tak zaručena přesnost výstupního napětí lepší než 1 % v celém rozsahu pracovních teplot.

Pokud by bylo odpojeno vstupní napájecí napětí, tranzistor T3 se automaticky uzavře a baterie tak není vybíjena proudem tekoucím do zpětnovazebních rezistorů. Diody D2 v tomto případě zabráňuje toku reverzního proudu z baterie do obvodů nabíječky.



Obr. 93. Jednoduchá nabíječka baterií NiCd proudem 300 mA se spínaným regulátorem LTC1174

Jednoduchá nabíječka baterií NiCd proudem 300 mA v provedení SMD se spínaným regulátorem LTC1174

Pro miniaturní přenosné přístroje stačí nabíječka s malým výstupním proudem, přičemž největším požadavkem na obvodové řešení je maximální jednoduchost a minimální rozměry. Zapojení takovéto nabíječky, splňující oba požadavky, určené pro NiCd baterie, složené ze čtyř článků, je na obr. 93. Všechny jednotlivé použité komponenty jsou snadno dosažitelné v provedení pro povrchovou montáž SMT.

Jako řídicí obvod je v zapojení použit spínaný regulátor LTC1174 od firmy Linear Technology. Tento integrovaný obvod obsahuje na svém čipu všechny části, nutné pro činnost spínacího regulátoru – řídicí kontrolér, napěťovou referenci, chybový zesilovač, ochranné obvody a výkonový spínač. Interní výkonový spínač je tvořen tranzistorem MOSFET s kanálem p. Když je tento spínač sepnut, výstup U_{sw} je připojen ke vstupnímu napětí U_{in} . Špičkový proud spínače může být až 600 mA, přičemž architektura obvodu LTC1174 dovoluje pracovat se střídou 100 %, kdy je výkonový spínač trvale sepnut.

Na začátku nabíjecího cyklu je zpětnovazební vstup U_{FB} připojen přes dělič R1, R2 na napětí menší než 1,25 V, což způsobí, že obvod LTC dodává maximální výstupní proud, omezený pouze interním snímacím rezistorem o odporu 100 mΩ. Výstupní proud přibližně 300 mA je tedy dán rovnicí uvedenou ve schématu zapojení.

Výstupní napětí nabíječky se po nabití baterie, ani při jejím odpojení nezvětší na více než 7 V – při dosažení velikosti 1,25 V na zpětnovazebním vstupu U_{FB} je výstupní napětí stabilizováno. Diody D2 zabráňuje vybíjení baterie přes dělič R1, R2, pokud je nabíječka vypnuta nebo je v klidovém stavu (aktivace vstupem SHDN) s odběrem ze zdroje menším než 10 μA.

Nabíječka baterií NiCd s velkou účinností ($\geq 90\%$) s výstupním proudem 1,3 A a kapkovým dobíjením s obvodem LTC1148

Velká účinnost nabíječky je důležitá zejména při použití v přenosných počítačích typu laptop, notebook a palmtop, u nichž je z důvodu minimálních rozměrů a použité technologie povrchové montáže nutno co nejvíce minimalizovat tepelné ztráty.

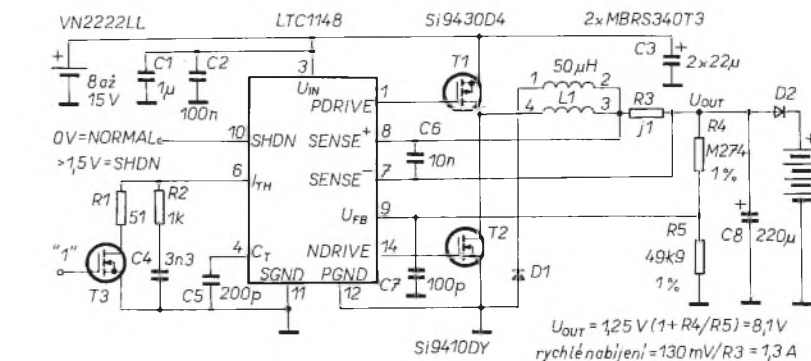
Na obr. 94 je zapojení nabíječky, navržené pro rychlé nabíjení čtyř článků NiCd proudem 1,3 A s kapkovým dobíjením proudem 100 mA při účinnosti přesahující 90 %. Toto zapojení může být přitom snadno modifikováno pro nabíjení až osmi článků NiCd.

V zapojení je použit synchronní spínaný regulátor typu LTC1148 od firmy Linear Technology, který zde pracuje v režimu zmenšujícím vstupní napětí (step – down). Tento řídicí obvod budí dva externí, komplementární výkonové tranzistory MOSFET. Když je výstupem PDRIVE obvodu LTC1148 připojena řídicí elektroda tranzistoru MOSFET s kanálem p na nízkou úroveň, tento tranzistor sepne a připojí jednu stranu cívky L1 ke vstupnímu napětí. Během této periody teče proud ze vstupu přes tranzistor T1 a cívku L1 do nabíjené baterie. Když se stav na výstupu PDRIVE změní na vysokou úroveň, tranzistor T1 se uzavře a napětí na jeho vývodu D (Drain - kolektor) se zmenšuje, dokud je dioda D1 polarizována v propustném směru.

Dioda vede pouze po velmi krátkou dobu, dokud obvod LTC1148 nevyhodnotí, že tranzistor T1 je plně uzavřen – to pro nutnost vyloučit možnost současného sepnutí obou výkonových tranzistorů T1 a T2. Poté přejde výstup NDRIVE na vysokou úroveň, tranzistor MOSFET s kanálem n (T2) sepne a zkrátí diodu D1. Nyní proud cívku teče tranzistorem T2 s kanálem n namísto diodou, čímž je podstatně zvětšena účinnost. Tento typ architektury spínání je znám jako synchronní usměrňovač.

Během procesu rychlého nabíjení je zpětnovazební vstup U_{FB} připojen přes dělič R4, R5 na napětí menší než 1,25 V, což způsobuje, že obvod LTC1148 dodává maximální proud nastavený rezistorem R3 = 100 mΩ na přibližně 1,3 A. Po odpojení baterie dosáhne napětí na zpětnovazebním vstupu U_{FB} velikosti 1,25 V a výstupní napětí je omezeno na 8,1 V.

Dioda D2 zabraňuje vybíjení baterie přes dělič R4, R5, pokud je nabí-



Obr. 94. Nabíječka baterií NiCd s velkou účinností ($> 90\%$) s výstupním proudem 1,3 A a kapkovým dobíjením s obvodem LTC1148

ječka vypnuta nebo je v klidovém stavu (aktivace vstupem SHUTDOWN) s odběrem ze zdroje menším než 20 µA.

Dvouúrovňové nabíjení je řízeno tranzistorem T3, kterým je přepínáno mezi rychlým nabíjením a kapkovým dobíjením. Velikost proudu kapkového dobíjení je nastavena rezistorem R1.

Jednoduchá spínaná nabíječka baterií NiCd, pracující se vstupním napětím již od 3,3 V a s kmitočtem 1 MHz

Spínané regulátory, pracující na vysokých kmitočtech, přinášejí velkou výhodu v úspoře místa na desce s plošnými spoji, neboť je vzhledem k vysokému pracovnímu kmitočtu potřeba cívka s velmi malými rozměry, která je jinak nejrozměrnější součástí v zapojení. Příkladem je zapojení nabíječky s obvodem LT1377, který je schopen pracovat na kmitočtu 1 MHz s cívku o indukčnosti menší než 10 µH.

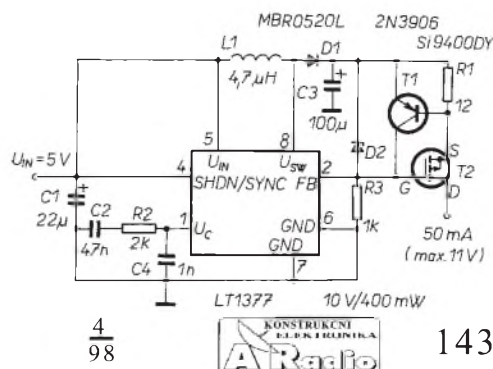
Na obr. 95 je schéma nabíječky, která byla navržena pro uživatele, kteří potřebují nabíjet čtyř až šestičlávkovou baterii NiCd ze zdroje 5 V pro napájení logiky, přičemž toto zapojení pracuje uspokojivě i při napájecím napětí 3,3 V.

Jelikož je samozřejmě potřeba na výstupu získat napětí větší než je velikost vstupního napájecího napětí, je to zajištěno použitím spínaného regulátoru typu LT1377 od firmy Linear Technology, který pracuje v režimu

zvětšujícím vstupní napětí (Boost regulator, Step – up regulator). Výstupní proud nabíječky je omezen na přibližně 50 mA rezistorem R1 zapojeným mezi bází a emitorem tranzistoru T1, který řídí zpětnovazební vstup FB obvodu LT1377, což zároveň funguje i jako ochrana proti zkratu na výstupu. Uvedená velikost proudu je vhodná pro pomalé nabíjení nebo kapkové dobíjení baterií NiCd typu AA. Změnou odporu rezistoru R1 může být výstupní proud v rozsahu od 1 mA (nebo i menší) až do 100 mA. Dioda D2 zajišťuje, aby napětí na kondenzátoru C3 nepřesáhlo velikost 11,25 V, pokud bude baterie odpojena.

Tranzistor T2 byl přidán k zachování plné regulace proudu v případě, že je výstupní napětí menší než napětí na vstupu. Při předpokládaném běžném provozu, kdy se vstupní napětí zvětšuje na velikost větší než jakou má napájecí napětí (5 V), je tranzistor T2 plně otevřen – napětí na řídicí elektrodě je 1,25 V a na vývodu S (source, emitter) větší než 5 V. Když se výstupní napětí zmenší pod přibližně 4 V, zvětší se úbytek napětí na rezistoru R1 a v důsledku toho i na kolektoru tranzistoru T1 a zpětnovazebním vstupu FB obvodu LT1377. Tím regulátor zastaví spínání, ale protože se napětí na kolektoru T1 nadále zvětšuje a napětí U_{GS} tranzistoru T2 se tedy zmenšuje, tranzistor T2 se postupně zavírá, přičemž výstupní proud je stále 50 mA. Tak obvod pracuje až do nulového napětí na výstupu – při zkratu, kdy je výkonová ztráta na tranzistoru T2 kolem 200 mW a může být tedy použit běžný typ pro SMT.

Obr. 95. Jednoduchá nabíječka baterií NiCd se spínaným regulátorem LT1377, pracujícím na kmitočtu 1 MHz



Nabíječka olověných baterií se spínaným regulátorem LT1171

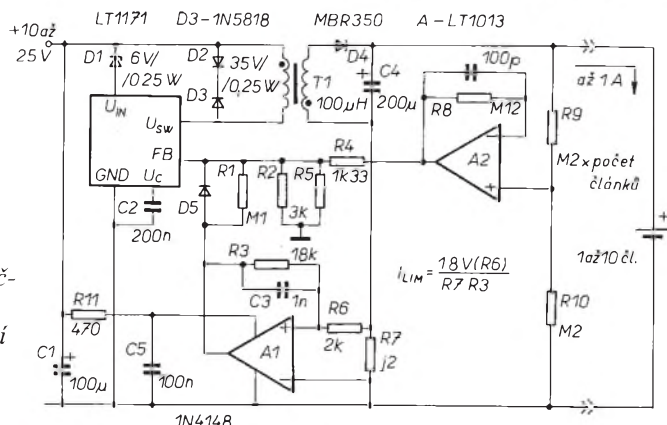
Nabíječka na obr. 96 je určena pro nabíjení olověných baterií. S precizní nelineární teplotní kompenzací, nabíjením s konstantním napětím s proudovým omezením, širokým rozsahem vstupního napětí i napětí baterie, spolu s velkou účinností představuje toto zapojení téměř ideální nabíjecí systém.

Základem je spínaný regulátor typu LT1171 od firmy Linear Technology, který pracuje s frekvencí spínání 100 kHz a může do zátěže dodat výkon až 15 W. Zapojení je navrženo s topologií „flyback” a umožňuje tak činnost regulátoru při vstupním napájecím napětí, které může být větší, nebo i naopak menší, než je napětí nabíjené baterie.

Dvojitý operační zesilovač LT1013 je využit pro řízení napěťové a proudové zpětné vazby. Operační zesilovač A1 je aktivován jako proudový omezovač, když nabíjecí proud baterie, protékající snímacím rezistorem R7, překročí velikost nastavenou R3, R6 a R7. Toto proudové omezení je implementováno z toho důvodu, aby nabíjecí proud při nabíjení velmi vybitých baterií nepřesáhl bezpečnou hranici. Ztráty na rezistoru R7 jsou udržovány na poměrně nízké úrovni, neboť úbytek napětí na něm nepřekročí několik stovek milivoltů.

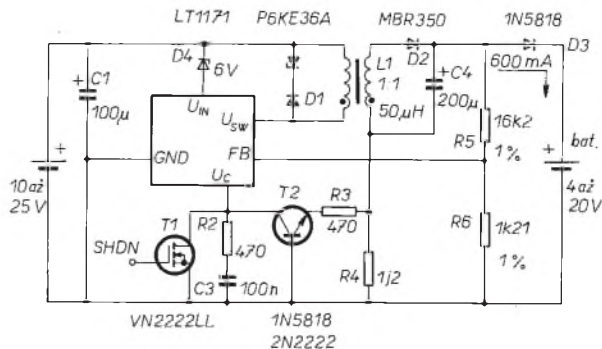
Olověné baterie mají nelineární záporný teplotní součinitel, který by měl být, z důvodu zajištění dlouhé doby života baterie a jejího nabití na plnou kapacitu, přesně kompenzován. R5 je termistor s kladným teplotním součinitelem (tempistor), jehož $+0,7\%$ / $^{\circ}\text{C}$ lineární teplotní součinitel je paralelním připojením rezistoru R2 konvertován na součástek s požadovanou nelineární charakteristikou.

Kombinací rezistorů R2, R3 a R4 je zvětšeno zpětnovazební napětí 1,244 V obvodu LT1171 na úroveň 2,35 V, odpovídající napětí na jednom článku při 25°C .



Obr. 96. Nabíječka olověných baterií s teplotní kompenzací

Obr. 97. Nabíječka článků NiCd konstantním proudem



Operační zesilovač A2 je využit jako impedanční převodník, což umožňuje na místě R9 a R10 použít rezistory s relativně velkým odporem a tento dělič může být tedy trvale připojen k baterii bez nebezpečí jejího podstatného vybíjení.

Nabíječka článků NiCd konstantním proudem se spínaným regulátorem LT1171

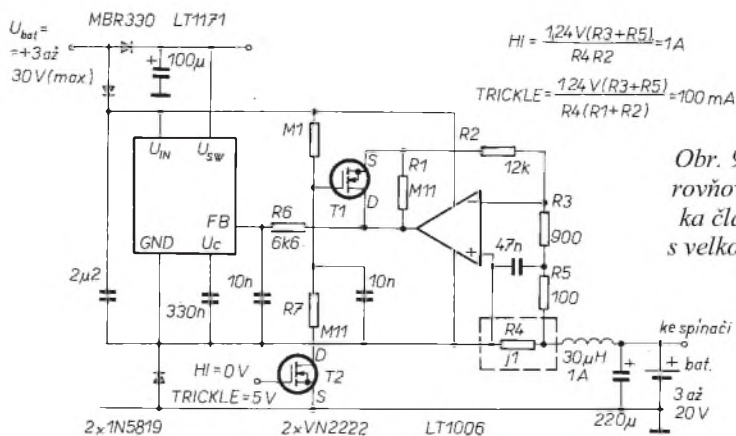
V zapojení nabíječky baterií NiCd konstantním proudem na obr. 97 je stejně jako v předchozím zapojení použit spínaný regulátor LT1171 od firmy Linear Technology.

Z důvodu zajištění činnosti nabíječky při vstupním napětí nejen větším, ale i menším než je napětí baterie, je zde rovněž použita topologie „flyback”. Tak může být například baterie 16 V nabíjena z automobilové baterie 12 V.

Nabíjecí proud je snímán rezistorem R4 = $1,2\ \Omega$ a nastaven na přibližně 600 mA. Rezistory R5 a R6 určují maximální výstupní napětí, pokud není baterie připojena. Diody D3 zabraňuje vybíjení baterie přes dělič R5, R6 při vypnuté nabíječce, zatímco tranzistor T1 umožňuje elektronické přepnutí nabíječky do klidového stavu (Shutdown).

Nabíječka článků NiCd s velkou účinností a proudem až 2 A se spínaným regulátorem LT1171

Nabíječka článků NiCd na obr. 98 je pomocí logického signálu, přivedeného na řídicí elektrodu tranzistoru MOSFET, přepínána mezi režimem rychlého nabíjení proudem až 2 A a kapkovým nabíjením pro udržování baterie. Při maximálním výstupním proudu je účinnost 90 %, přičemž

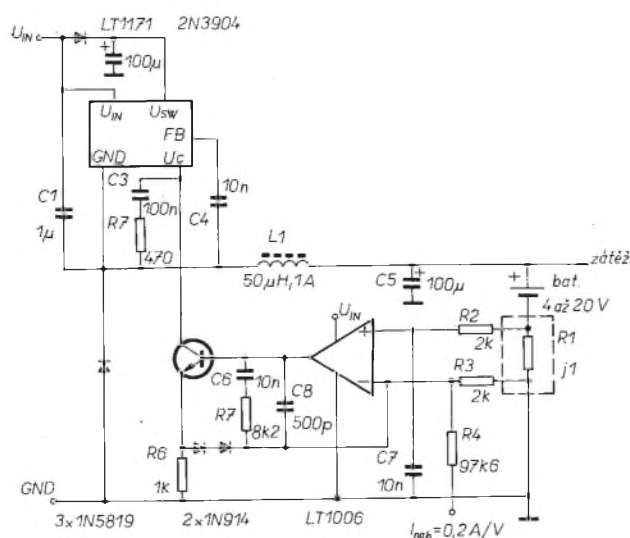


Obr. 98. Dvouúrovňová nabíječka článků NiCd s velkou účinností

díky této poměrně velké účinnosti nejsou potřeba žádné chladiče.

Operační zesilovač LT1006 snímá velikost proudu do baterie, procházejícího přes snímací rezistor R4 = $0,1\ \Omega$ a buď zpětnovazební vstup FB spínaného regulátoru LT1171 od firmy Linear Technology, který byl použit i v předchozích dvou zapojeních. V tomto zapojení, na rozdíl od předešlých, musí být pro správnou činnost nabíječky vstupní napětí vždy větší, než je požadovaná velikost napětí výstupního. Celý řídicí obvod je, jak je vidět, plo-

Obr. 99. Programovatelná nabíječka článků NiCd s velkou účinností



voucí. Přemostěním rezistoru R1 tranzistorem T1 se mění zesílení operačního zesilovače LT1006. Při hodnotách součástek podle obr. 98 se tím přepíná výstupní proud mezi 0,1 A a 1 A.

Programovatelná nabíječka článků NiCd s velkou účinností se spínaným regulátorem LT1171

Nabíječka, programovatelná napětím na výstupu převodníku D/A, je na obr. 99. Nabíjecí proud je v tomto zapojení přímo úměrný velikosti vstupního řídicího napětí. Úbytek napětí, vyvolaný průchodem nabíjecího proudu baterie snímacím rezistorem R1, je porovnáván s programovacím napětím a tak je získán zpětnovazební signál, přiváděný na vstup U_C obvodu LT1171. Tím je ovládaný výstupní nabíjecí proud z obvodu LT1171 a jeho velikost tak může být nastavena na libovolnou vhodnou velikost. Převodní poměr mezi programovacím napětím a výstupním nabíjecím proudem je 0,2 A/V. Při větších proudech je účinnost tohoto zapojení 90 %.

Nabíječka čtyř článků NiCd s vestavěným regulátorem 5 V/2 A

V zapojení nabíječky čtyř článků NiCd s vestavěným regulátorem 5 V/2 A na obr. 100 je využito obvodu LTC1155 od firmy Linear Technology. Tento obvod byl vyvinut jako budič dvou výkonových tranzistorů MOSFET s kanálem n a je schopen dodat do jejich řídicích elektrod G budič napětí 12 V při napájení ze zdroje 5 V, to vše bez potřeby jakýchkoli dalších externích součástek.

Tato schopnost, ve spojení s velice malou spotřebou a ochrannými funk-

cemi, jej předurčuje pro nasazení v aplikacích ve spínaných obvodech typu „high side“, u nichž bylo dříve nutno použít poněkud dražší tranzistor MOSFET s kanálem p.

Uvedené zapojení slouží k nabíjení baterie NiCd, složené ze čtyř článků, a obsahuje i regulátor, který napětí z této baterie upraví na stabilizovanou velikost 5 V s možností odebrat výstupní proud až do velikosti 2 A. Obvod je vhodný například pro napájení přenosných počítačů typu notebook. Levné tranzistory MOSFET s kanálem n mají velmi malý odpor R_{DS} v sepnutém stavu, což přináší výhodu velmi malého úbytku napětí mezi baterií a napájenými obvody logiky (5 V).

Jednou polovinou integrovaného obvodu LTC1155 je řízeno nabíjení baterie. Napětí ze vstupního napáječe (síťového adaptéru) s proudovým omezením je připojeno přes tranzistor T2 přímo na nabíjenou baterii. Nabíjení je indikováno svitem diody LED, která je připojena přes tranzistor T1,

pokud je sepnut T2. Úbytek napětí na tranzistoru T2 je pouze 0,17 V při proudu 2 A, takže může být pro úsporu místa použit i tranzistor SMD.

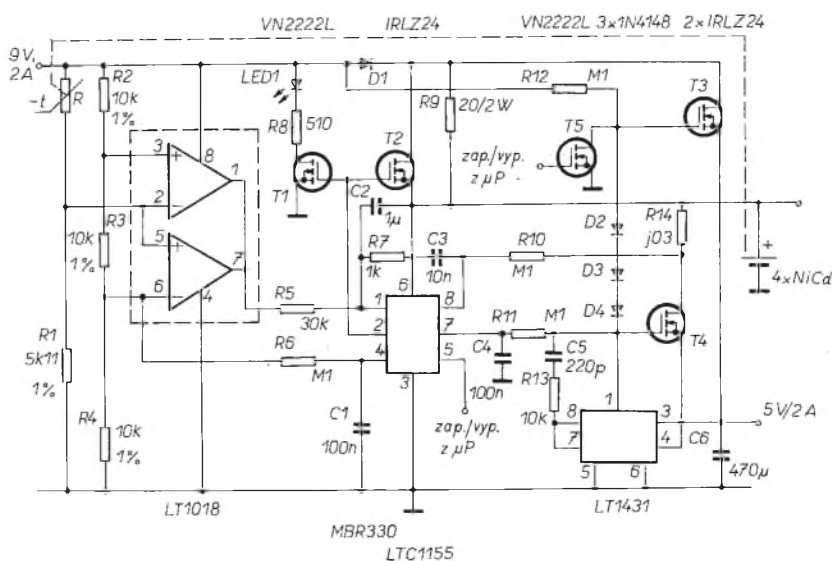
Termistor R_1 měří teplotu baterie a aktivuje přerušení nabíjení, když teplota baterie dosáhne 40 °C. Okénkový komparátor s obvodem LT1018 zamezuje rychlému nabíjení též v případě, když je baterie velmi studená, tedy při teplotě pod 10 °C. V těchto mezích stavech je baterie nabíjena proudem, zmenšeným na 150 mA, tekoucím přes rezistor R9.

Z druhé poloviny obvodu LTC1155 (vývod 7) je získáváno budič napětí pro spínací tranzistor MOSFET, T4, který je použit v regulátoru s extrémně malým úbytkem napětí. Obvod LT1431 řídí činnost tranzistoru T4 a reguluje výstupní napětí, pokud je napětí baterie větší než 5 V. Když se toto napětí zmenší pod hranici 5 V, tranzistor T4 funguje jako spínač s malým odporem mezi baterií a výstupem regulátoru.

Další tranzistor MOSFET, T3, zapojený mezi vstupním napáječem (výstupem síťového adaptéru a výstupem regulátoru), přemostňuje hlavní regulátor napájený z baterie v době, kdy je vstupní napáječ připojen. To znamená, že proud je v této době odebrán z napáječe a nikoli z baterie.

Výstupem obvodu LT1431 je řízen stejně jako tranzistor T4 i tranzistor T3 a výstupní napětí je v obou případech stabilizováno na 5 V. Posuvem napětí o 2 V na řídicích elektrodách tranzistorů T3 a T4 diodami D2 až D4 je zajištěno, že tranzistor T3 je při přítomnosti vstupního napětí z napáječe přednostně otevřen.

Rezistorem R14 = 30 mΩ je snížena velikost výstupního proudu. Při



Obr. 100. Nabíječka čtyř článků NiCd s vestavěným regulátorem 5 V/2 A

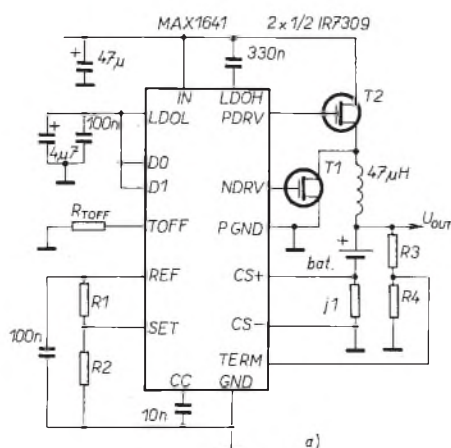
úbytku napětí větším než 100 mV (proud přes 3 A) se regulátor vypne. Rezistor R10 a kondenzátor C3 způsobují krátkou časovou prodlevu, aby nebyl regulátor vypnut při proudových špičkách. Mikroprocesorem je možno přes vstup na vývodu 5 obvodu LTC1155 regulátor poté opět restartovat.

Zmenší-li se výstupní stabilizované napětí na výstupu regulátoru pod velikost 4,6 V, je regulátor mikroprocesorem odpojen do doby, dokud se toto napětí při nabití baterie nezvětší. Klidový proud regulátoru je menší než 10 μ A.

Rychlá nabíječka se spínanými proudovými zdroji MAX1640 / MAX1641

Obvody MAX1640 a MAX1641 od firmy Maxim jsou integrované obvody, vyvinuté pro aplikaci jako zdroj proudu pracující ve spínaném režimu s kmitočtem 500 kHz s pulsně-šířkovou modulací (PWM) se synchronním usměrňovačem. Díky této technice je možné dosáhnout účinnosti až 95 %. Přitom je u nich nastavitelná i maximální velikost výstupního napětí. Vzhledem ke svým možnostem mohou být tyto obvody využity i ke konstrukci rychlé nabíječky baterií NiCd i NiMH a to i případně ve spojení s levným mikrokontrolérem.

Jak je vidět ze zapojení nabíječky na obr. 101a, obvod MAX1641 má rezistor pro snímání velikosti proudu do zátěže připojen mezi záporný pól baterie a společnou svorku zapojení - zem (GND), tzv. „low-side current sense”. V zapojení na obr. 101b s obvodem MAX1640 je snímací rezistor pro snímání velikosti proudu do zátěže zapojen ke kladnému pólu baterie - tzv. „high-side current sensing”. To umožňuje přímé připojení zátěže ke společné (zemní) svorce zapojení.



Obr. 101a. Nabíječka s obvodem MAX1641

REFERENČNÍ OBVODY

Integrované obvody pro referenční zdroje určují svými vlastnostmi přesnost zařízení, v němž jsou použity. Bývají vždy důležitou součástí digitálních voltmetrů, převodníků A/D a D/A, precizních laboratorních napájecích zdrojů, kalibrátorů a napěťových normálů i dalších elektronických zařízení, vyžadujících ke své přesné činnosti přesný a stabilní zdroj referenčního napětí.

V této části je uveden základní přehled dostupných monolitických obvodů, vyráběných pro tento účel, přičemž za základ byl vzat kompletní výrobní sortiment firmy Linear Technology, která patří k firmám s nejširší nabídkou referenčních zdrojů vůbec, a přehled byl pro úplnost doplněn i dalšími obvody od jiných výrobců. Obvody jsou pro rychlou, snadnou orientaci a přehlednost seřazeny v tabulce podle velikosti jejich referenčního napětí.

Podrobněji budou popsány jen některé typy, včetně jejich aplikací pro širší využití. Celek je doplněn několika zajímavými zapojeními pro praktické použití s různými typy referenčních obvodů.

Výstupní proud nabíječky pro rychlé nabíjení je dán napětím U_{SET} na nastavovacím vstupu SET a odporem snímacího rezistoru R_{SENSE} :

$$\text{výst. proud} = \frac{U_{SET}}{13,3R_{SENSE}}$$

Napětí na vstupu SET je určeno děličem R1, R2 podle následující rovnice:

$$R1 = R2 \times \left(\frac{U_{REF}}{U_{SET}} - 1 \right)$$

kde $U_{REF} = 2$ V a U_{SET} je proporcionální požadované velikosti výstupního proudu. Rezistor R2 má mít odpor v rozmezí od 10 k Ω do 300 k Ω .

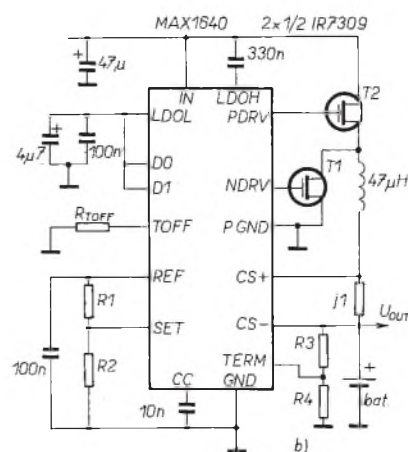
Pokud jsou oba ovládací vstupy D0 a D1 na úrovni log. 1, je do baterie dodáván proud, odpovídající rychlému nabíjení. Přepojením vstupu D0 na nízkou úroveň je zvolen režim kapkového dobíjení, při němž je baterie nabíjena impulsně nastaveným proudem po dobu 12,5 % periody, nastavené rezistorem R_{TOFF} :

$$\text{perioda} = 3,2 \times 10^{-7} \times R_{TOFF} \quad (\text{v sekundách}).$$

Tímto způsobem je také nabíjena baterie s příliš nízkou teplotou před zapnutím rychlého nabíjení.

Připojením obou ovládacích vstupů D0 a D1 na nízkou úroveň se uzavře spínací tranzistor FET s kanálem p a proud do baterie je zcela přerušen. Druhý tranzistor FET, s kanálem n, slouží jako synchronní usměrňovač.

Proud do baterie se rovněž přerušuje při překročení maximálního napětí na výstupu, jehož velikost lze nastavit



Obr. 101b. Nabíječka s obvodem MAX1640

v rozmezí od 2 V až do 24 V externím napěťovým děličem, připojeným mezi výstup a zem se středem připojeným ke vstupu pro odpojení, TERM. Tento vstup je vstupem komparátoru, který je aktivován při zvětšení napětí na vstupu TERM nad velikost napětí referenčního. Tím se uzavře spínací tranzistor FET s kanálem p a proud do baterie je přerušen. Zvolíme-li odpor rezistoru R4 v rozmezí od 10 k Ω do 500 k Ω , vypočítáme R3:

$$R3 = R4 \times \left(\frac{U_{OUT}}{U_{TERM}} \right) - 1$$

kde $U_{TERM} = 2$ V a U_{OUT} je požadovaná maximální velikost výstupního napětí.

Vstupní napájecí napětí obvodů MAX1640 / MAX1641 je minimálně 5,5 V a maximálně 26 V.

Referen- ční napětí (V)	Tolerance max. v % nebo odchylka v mV	Označení obvodu	Tepl. drift v ppm / °C nebo změna v mV	Prove- dení pro tepl. rozsah	Pracovní proud	Výrobce
1,2	± 2 %	MAX6120	100 ppm (max)	I	≥ 70 µA	MAX
	± 0,1-2 %	LM4041	100-150 ppm (max)	I	60 µA-15 mA	NSC
	± 2 %	ICL8069	10-100 ppm (max)	C,I,M	≥ 50 µA	MAX
1,22	± 1-5 %	LM113	50-100 ppm (typ)	M	500 µA-20 mA	NSC
1,225	± 10 mV	AD1580A	100 ppm (max)	I	50 µA-10 mA	AD
	± 1 mV	AD1580B	50 ppm (max)	I	50 µA-10 mA	AD
	± 15 mV	AD589M	10 ppm (max)	C,I,M	50 µA-5 mA	AD
1,235						
	± 15 mV	AD589J	100 ppm (max)	C,I,M	50 µA-5 mA	AD
	± 1 %	LT1034B-1,2	20 ppm (max)	C,I,M	20 µA-20 mA	LT
	± 0,32 %	LT1004-1,2	20 ppm (typ)	C,I,M	10 µA-20 mA	LT
	± 2 %	LM385-1,2	20 ppm (typ)	C,I,M	15 µA-20 mA	LT
	± 1 %	LM385B-1,2	20 ppm (typ)	C,M	15 µA-20 mA	LT
	± 15 mV	AD589L	25 ppm (max)	C,I,M	50 µA-5 mA	AD
	± 1 %	LT1034-1,2	40 ppm (max)	C,I,M	20 µA-20 mA	LT
	± 15 mV	AD589K	50 ppm (max)	C,I,M	50 µA-5 mA	AD
2,048	± 2-10 mV	REF191	5-25 ppm (max)	I	45 µA-30 mA	AD
2,5	± 0,4 %	LT580M	10 ppm (max)	C	1,5 mA	LT
	± 0,1-2 %	LM4040-2,5	100-150 ppm (max)	I	60 µA-15 mA	NSC
	± 5-30 mV	REF43	10-25 ppm (max)	I	450 µA-20 mA	AD
	± 10-75 mV	AD580J	10-85 ppm (max)	I	2 mA-10mA	AD
	± 0,2 %	LT1019-2,5	20 ppm (max)	C,I,M	1,2 mA	LT
	± 1 %	LT1034B-2,5	20 ppm (max)	C,I,M	20 µA-20 mA	LT
	± 0,8 %	LT1004-2,5	20 ppm (typ)	C,I,M	20 µA-20 mA	LT
	± 3 %	LM385-2,5	20 ppm (typ)	C,I,M	20 µA-20 mA	LT
	± 1,5 %	LM385B-2,5	20 ppm (typ)	C,M	20 µA-20 mA	LT
	± 50-100 mV	AD680J	20-25 ppm (max)	C,I	250 µA-10 mA	AD
	± 0,4 %	LT1009S8	25 ppm (max)	C,I,M	400 µA-20 mA	LT
	± 0,4 %	LT580L/U	25 ppm (max)	C,M	1,5 mA	LT
	± 5-25 mV	AD1403A	25 ppm (max)	I	1,5 mA-10 mA	AD
	± 25 mV	MC1403	25-40 ppm (max)	C	1,2 -10 mA	MOT
	± 1 %	LT1034-2,5	40 ppm (max)	C,I,M	20 µA-20 mA	LT
	± 1 %	LT580K/K	40 ppm (max)	C,M	1,5 mA	LT
	± 25 mV	AD1403	40 ppm (max)	I	1,5 mA-10 mA	AD
	± 0,05 %	LT1019A-2,5	5 ppm (max)	C,M	1,0 mA	LT
	± 15 mV	REF03G	50 ppm (max)	I	1,4 mA-21mA	AD
	± 2-10 mV	REF192	5-25 ppm (max)	I	45 µA-30 mA	AD
	± 0,2 %	LT1009	6 mV (max)	C,I,M	400 µA-10 mA	LT
	± 4 %	LM336-2,5	6 mV (max)	C,M	400 µA-10 mA	LT
	± 2 %	LM336B-2,5	6 mV (max)	C,M	400 µA-10 mA	LT

Referenční napětí (V)	Tolerance max. v % nebo odchylka v mV	Označení obvodu	Tepl. drift v ppm / °C nebo změna v mV	Provedení pro tepl. rozsah	Pracovní proud	Výrobce
	± 3 %	LT580J	85 ppm (max)	C	1,5 mA	LT
2,5 / 3	± 1-5 mV	AD780	3-20 ppm (max)	I,M	1 mA-10 mA	AD
3	± 10 mV	REF193	25 ppm (max)	I	45 µA-30 mA	AD
3,3	± 10 mV	REF196	25 ppm (max)	I	45 µA-30 mA	AD
4,096	± 0,02 %	MAX676	1-2 ppm (max)	C,I,M	≥ 10 mA	MAX
	± 0,2 %	MAX874	40 ppm (max)	C,I	≥ 10 µA	MAX
4,1	± 0,1-1 %	LM4040-4,1	100-150 ppm (max)	I	68 µA-15 mA	NSC
4,5	± 0,2 %	LT1019-4,5	20 ppm (max)	C,I,M	1,2 mA	LT
	± 0,05 %	LT1019A-4,5	5 ppm (max)	C,M	1,2 mA	LT
	± 2-10 mV	REF198	5-25 ppm (max)	I	45 µA-30 mA	AD
	± 2-10 mV	REF194	5-25 ppm (max)	I	45 µA-30 mA	AD
5,0	± 0,1 %	LT1236B-5	10 ppm (max)	C,I	1,2 mA	LT
	± 0,1-1 %	LM4040-5,0	100-150 ppm (max)	I	74 µA-15 mA	NSC
	± 0,1 %	LT1236C-5	15 ppm (max)	C,I	1,2 mA	LT
	± 0,02 %	LT1027A	2 ppm (max)	C	2 mA	LT
	± 0,05 %	LT1027B	2 ppm (max)	C	2 mA	LT
	± 0,2 %	LT1019-5	20 ppm (max)	C,I,M	1,2 mA	LT
	± 0,05 %	LT1021C-5	20 ppm (max)	C,I,M	1,2 mA	LT
	± 1 %	LT1021D-5	20 ppm (max)	C,I,M	1,2 mA	LT
	± 0,2 %	LT1029A	20 ppm (max)	C,M	700 µA-10 mA	LT
	± 2-25 mV	AD586	2-20 ppm (max)	C,M	3 mA-10 mA	AD
	± 0,5 %	REF02H	25 ppm (max)	C	1,4 mA	LT
	± 2 %	REF02D	250 ppm (max)	C	2,0 mA	LT
	± 0,05 %	LT1027C	3 ppm (max)	C	2 mA	LT
	± 1 %	LT1029	34 ppm (max)	C,M	700 µA-10 mA	LT
	± 50 mV	MC1404P5	40 ppm (max)	C	1,25 -10 mA	MOT
	± 0,05 %	LT1019A-5	5 ppm (max)	C,M	1,2 mA	LT
	± 1 %	LT1021B-5	5 ppm (max)	C,I,M	1,2 mA	LT
	± 0,05 %	LT1027D	5 ppm (max)	C	2 mA	LT
	± 0,05 %	LT1236A-5	5 ppm (max)	C,I	1,2 mA	LT
	± 2-10 mV	REF195	5-25 ppm (max)	I	45 µA-30 mA	AD
	± 1 %	REF02C	65 ppm (max)	C	1,6 mA	LT
	± 0,1 %	LT1027E	7,5 ppm (max)	C	2 mA	LT
	± 0,3 %	REF02E/A	8,5 ppm (max)	C,M	1,4 mA	LT
	± 10 mV	REF05M	8,5 ppm (max)	M	1,4-10 mA	BB
	± 5-100 mV	REF02	8,5-250 ppm (max)	C,I,M	1,4 mA-20 mA	AD
6,25	± 60 mV	MC1404P6	40 ppm (max)	C	1,25 -10 mA	MOT
6,9	± 4 %	L TZ1000	0,1 ppm (max)	M	4 mA	LT

Referenční napětí (V)	Tolerance max. v % nebo odchylka v mV	Označení obvodu	Tepl. drift v ppm / °C nebo změna v mV	Provedení pro tepl. rozsah	Pracovní proud	Výrobce
	± 3 %	LM329A	10 ppm (max)	C,M	600 µA-15 mA	LT
	± 5 %	LM329D	100 ppm (max)	C	600 µA-15 mA	LT
	± 5 %	LM329B	20 ppm (max)	C,M	600 µA-15 mA	LT
	± 5 %	LM329C	50 ppm (max)	C,M	600 µA-15 mA	LT
6,95	± 5 %	LM399A	1 ppm (max)	C,M	500 µA-10 mA	LT
	± 5 %	LM399	2 ppm (max)	C,M	500 µA-10 mA	LT
7	± 0,7 %	LT1021D-7	20 ppm (max)	C,M	1,0 mA	LT
	± 0,7 %	LT1021B-7	5 ppm (max)	C,M	1,0 mA	LT
7,5	± 0,05-0,3 %	MX584	5-30 ppm (max)	C,M	≥ 1 mA	MAX
8,2	± 0,1-1 %	LM4040-8,2	100-150 ppm (max)	I	91 µA-15 mA	NSC
10,0	± 0,1 %	LT1236B-10	10 ppm (max)	C,I	1,2 mA	LT
	± 0,1-1 %	LM4040-10,0	100-150 ppm (max)	I	100 µA-15 mA	NSC
	± 0,1 %	LT1031C	15 ppm (max)	C,M	1,7 mA	LT
	± 0,1 %	LT1236C-10	15 ppm (max)	C,I	1,2 mA	LT
	± 0,1 %	LT581K/T	15 ppm (max)	C,M	1,0 mA	LT
	± 0,2 %	LT1019-10	20 ppm (max)	C,I,M	1,2 mA	LT
	± 0,05 %	LT1021C-10	20 ppm (max)	C,I,M	1,7 mA	LT
	± 0,5 %	LT1021D-10	20 ppm (max)	C,I,M	1,7 mA	LT
	± 0,2 %	LT1031D	25 ppm (max)	C,M	1,7 mA	LT
	± 0,5 %	REF01H	25 ppm (max)	C	1,4 mA	LT
	± 0,3 %	LT581J/S	30 ppm (max)	C,M	1,0 mA	LT
	± 100 mV	MC1404P10	40 ppm (max)	C	1,25 -10 mA	MOT
	± 0,05 %	LT1019A-10	5 ppm (max)	C,M	1,2 mA	LT
	± 0,5 %	LT1021B-10	5 ppm (max)	C,I,M	1,7 mA	LT
	± 0,05 %	LT1031B	5 ppm (max)	C,M	1,7 mA	LT
	± 0,05 %	LT1236A-10	5 ppm (max)	C,I	1,2 mA	LT
	± 0,05 %	LT581L/U	5 ppm (max)	C,M	1,0 mA	LT
	± 5-10 mV	AD587	5-20 ppm (max)	C,M	4 mA-10 mA	AD
	± 5-30 mV	AD581	5-30 ppm (max)	I	1 mA-10 mA	AD
	± 1 %	REF01C	65 ppm (max)	C,M	1,6 mA	LT
	± 0,3 %	REF01E/A	8,5 ppm (max)	C,M	1,4 mA	LT

V prvním sloupci tabulky je uvedeno jmenovité referenční napětí, poté odchylka od tohoto napětí v mili-voltech nebo tolerance v procentech, následuje typové označení obvodu a změna referenčního napětí v mV při změně teploty o 1 °C nebo teplotní drift referenčního napětí v ppm / °C (ppm = part per million = jedna mili-óntina = 10^{-6} = 0,0001 %).

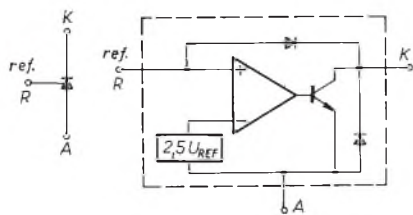
Provedení pro teplotní rozsah: C = Commercial (0 až +70 °C), I = Industrial (-40 až +85 °C), M = Military (-55 až +125 °C).

Výrobce: AD = Analog Devices, BB = Burr – Brown, LT = Linear Technology, NSC = National Semiconductor, MAX = Maxim, MOT = Motorola.

Integrovaný obvod TL431 je precizní referenční obvod s nastavitelným výstupním napětím. Pracuje jako bočníkový regulátor a vzhledem ke svým vynikajícím vlastnostem a velmi příznivé ceně patří k nejpoužívanějším a nejoblíbenějším referenčním obvodům vůbec. Je vyráběn snad všemi největšími světovými výrobci polovodičových součástek – firmami Motorola a Texas Instruments, pod označením LM431 firmou NS (National Semiconductor) a v poněkud modifikované verzi pod označením LT1431 i firmou Linear Technology (obvod LT1431 zde bude rovněž popsán).

TL431 je třísvorkový monolitický obvod, který pracuje jako Zenerova dioda s velmi malým teplotním koeficientem s nastavitelným pracovním napětím pomocí dvou externích rezistorů v rozsahu od úrovně referenčního napětí 2,495 V do 36 V.

Vnitřní blokové zapojení obvodu TL 431 je na obr. 1.



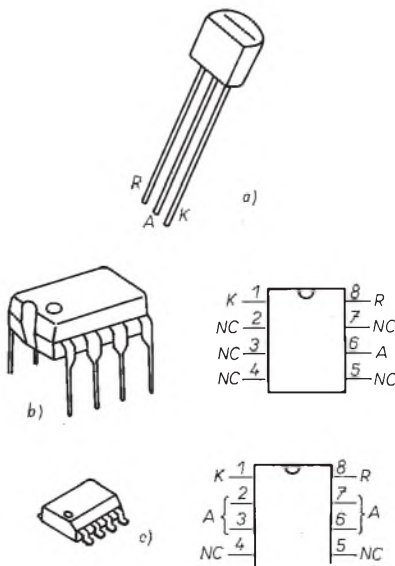
Obr. 1. Vnitřní blokové zapojení obvodu TL431

Tento obvod vyniká též širokým rozsahem pracovního proudu, který může být v rozmezí od 1 mA do 100 mA při typické dynamické výstupní impedanci 0,22 Ω. Svými vlastnostmi je výbornou náhradou referenčních Zenerových diod v mnoha aplikacích, jako jsou například digitální voltmetry, napájecí zdroje a různá zapojení s operačními zesilovači. Referenční napětí 2,5 V lze též získat ze zdroje 5 V pro napájení logických obvodů. Jelikož TL431 pracuje jako bočníkový regulátor, může být použit jako zdroj referenčního napětí nejen kladné, ale i záporné polarity.

Tolerance referenčního napětí je u obvodu TL431 typicky ±0,4 % při 25 °C a teplotní součinitel je v celém rozsahu pracovních teplot pouze 50 ppm / °C, protože je obvod teplotně kompenzován.

Nezanedbatelnou výhodou může být v některých aplikacích též většinou zanedbatelná šumová složka výstupního napětí.

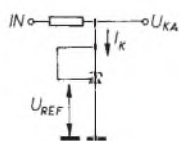
Obvod TL431 je dodáván v plastovém třísvorkovém pouzdru TO-92 a v osmivývodových pouzdrech DIP pro klasickou montáž a SO pro povr-



Obr. 2. Zapojení vývodů TL431 pro pouzdro TO-92, DIP a SO

chovou montáž technologií SMT. Zapojení vývodů pro všechna tato pouzdra je na obr. 2.

Na obr. 3 je základní zapojení bočníkového regulátoru s obvodem TL 431, kde se při referenčním vstupu spojeném s katodou výstupní stabilizované napětí rovná velikosti napětí referenčního.

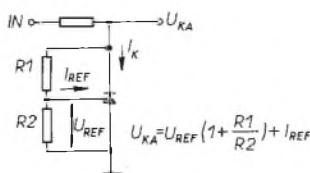


Obr. 3. Základní zapojení s TL431, při němž je výstupní napětí rovné velikosti napětí referenčního

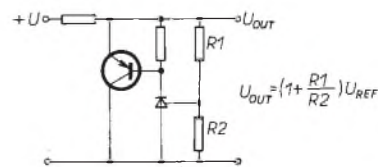
Na obr. 4 je základní zapojení bočníkového regulátoru s obvodem TL431, u něhož lze výstupní stabilizované napětí nastavit na libovolnou velikost až do 36 V; velikost výstupního napětí je určena dvěma rezistory R1, R2 podle následující rovnice:

$$U_{KA} = U_{REF} \times \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) + I_{REF} \times R1$$

přičemž je za předpokladu, že má rezistor R1 malý odpor, možno zanedbat vliv klidového proudu I_{REF} do referenčního vstupu.



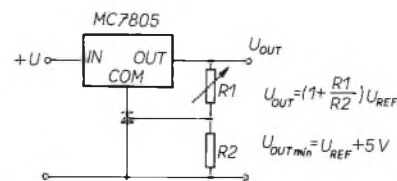
Obr. 4. Základní zapojení s TL431, kde je výstupní stabilizované napětí možno nastavit na libovolnou velikost až do 36 V



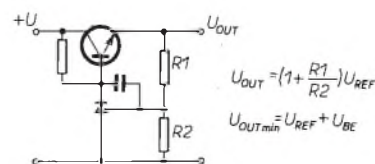
Obr. 5. Bočníkový regulátor pro větší proud

Pro zvětšení proudu bočníkovým regulátorem je možno použít zapojení na obr. 5, v němž je výstupem obvodu TL431 řízený výkonový prvek v podobě bipolárního tranzistoru vodivosti p-n-p.

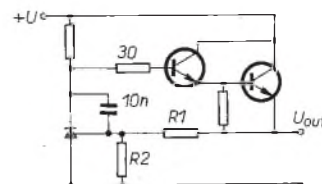
Na obr. 6 až 19 jsou další aplikace TL 431 v několika zajímavých zapojeních, ukazující všestranné použití tohoto obvodu.



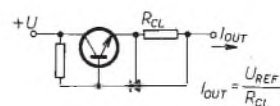
Obr. 6. Zapojení pro řízení výstupního napětí běžného třísvorkového stabilizátoru s pevně nastaveným výstupním napětím



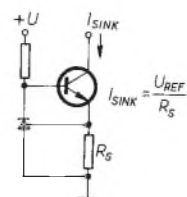
Obr. 7. Zapojení sériového regulátoru s výkonovým bipolárním tranzistorem n-p-n



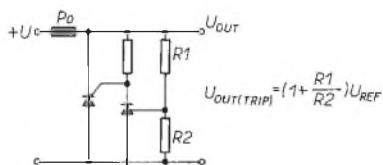
Obr. 8. Totéž zapojení jako na obr. 7, ale pro větší výstupní proud se dvěma tranzistory n-p-n v Darlingtonově zapojení



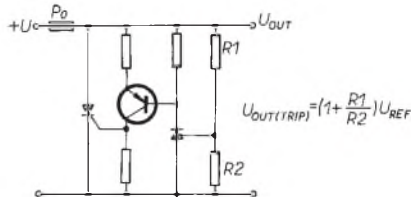
Obr. 9. Zdroj konstantního proudu nebo proudový omezovač



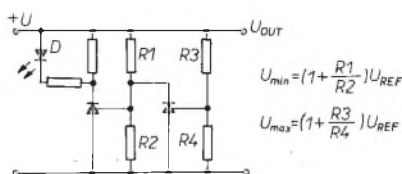
Obr. 10. Obvod s konstantním proudem a spotřebou



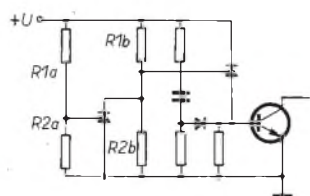
Obr. 11. Aktivace triaku při přepětí – přepětová ochrana



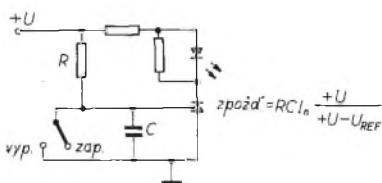
Obr. 12. Aktivace tyristoru při přepětí – přepětová ochrana



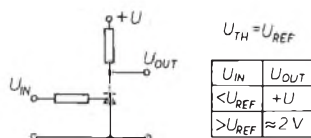
Obr. 13. Monitorování napětí s optickou indikací svítivou diodou. LED svítí tehdy, je-li napětí v rozmezí mezi dolní a horní nastavenou hranicí



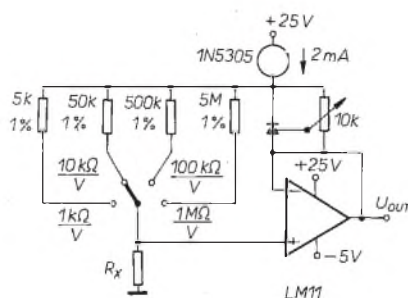
Obr. 14. Zapojení s podobnou funkcí jako na obr. 13, kdy je tímto ochranným obvodem na výstupu (kolektor tranzistoru sepnut) signalizován stav napětí mimo dolní či horní nastavenou hranici



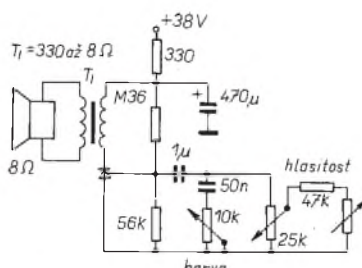
Obr. 15. Časovač s nastavitelným zpožděním – po připojení napájecího napětí a uplynutí doby, dané volbou členu RC, připojeného na referenční vstup obvodu TL431, se rozsvítí indikační dioda LED. Obvod je možno resetovat nebo vyřadit z činnosti spínačem, připojeným paralelně ke kondenzátoru



Obr. 16. Komparátor s jednoduchým napájením a teplotní kompenzací

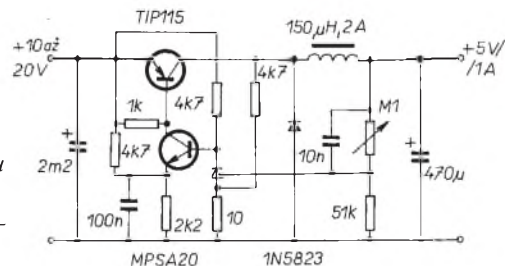


Obr. 17. Použití obvodu TL431 v obvodu lineárního ohmmetru



Obr. 18. Jednoduchý nízkofrekvenční zesilovač s obvodem TL431. Referenční vstup TL431 je modulován nf signálem

Obr. 19. Zapojení jednoduchého spínaného regulátoru s řízením obvodem TL431. Účinnost je 82 % při výstupním proudu 1 A



LT1021

Precizní referenční obvod LT1021 od firmy Linear Technology je určen pro použití v náročnějších aplikacích. LT1021 vyniká velmi malým jak teplotním driftem, tak šumem výstupního napětí, extrémně dobrou dlouhodobou stabilitou a téměř absolutním vyloučením vlivu změn vstupního napětí. Výstup LT1021 může fungovat buď jako zdroj konstantního proudu, nebo jako obvod s konstantní proudovou spotřebou, v obou případech do velikosti proudu až 10 mA.

Integrovaný obvod LT1021 je vyráběn ve třech verzích s referenčním napětím 5 V, 7 V a 10 V. Je dodáván v osmivývodovém kovovém pouzdru typu H a v levnějších provedeních v pouzdrech DIP a SO, jejichž zapojení je na obr. 20.

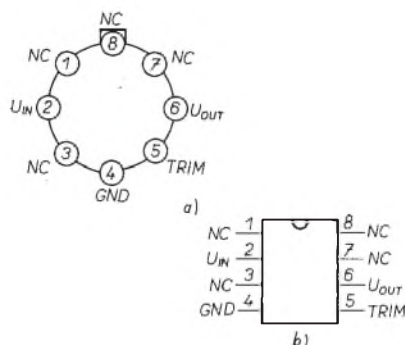
Vynikajících kvalitativních parametrů obvodu LT1021 bylo dosaženo použitím unikátního obvodového řešení - byla využita technologie s podvrchovou Zenerovou diodou (buried Zener diode structure), kdy jsou vyloučeny problémy s šumem a stabi-

litou, spojené s použitím referenčních zdrojů, které pracují s využitím šířky zakázaného pásma v polovodičivém materiálu. Podvrchová Zenerova dioda je umístěna pod povrchem polovodičového čipu, na kterém jsou současně integrovány obvody pro teplotní kompenzaci a operační zesilovač. Touto těsnou vazbou je též eliminována potřeba termostatu s jinak poměrně velkou proudovou spotřebou.

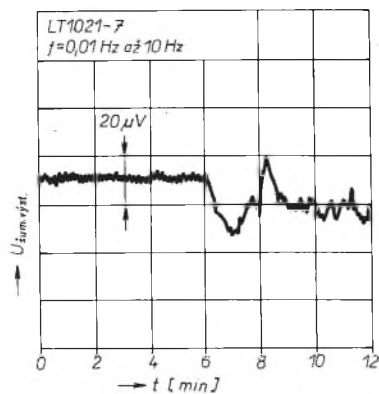
Obvod LT1021 má velmi malý teplotní drift, maximálně 2 ppm / °C, může pracovat jako sériový i bočnickový regulátor a vzhledem ke standardnímu zapojení vývodů je vhodný i jako náhrada jiných, starších typů referenčních obvodů v zapojení precizních regulátorů, digitálních voltmetrů, převodníků A/D a D/A, kalibrátorů a přenosných referenčních standardů. Přínosem je i menší šumové napětí, jehož mezivrcholová velikost je menší než 1 ppm v pásmu 0,1 Hz až 10 Hz. Potlačení vlivu změn napájecího napětí je přitom větší než 100 dB a minimální rozdílové napětí mezi vstupem a výstupem je 1 V.

Při požadavku na malý šum výstupního napětí musí být věnována péče řádnému odstínění integrovaného obvodu od okolního prostředí, aby bylo zabráněno vlivu turbulence vzduchu. Veliký rozdíl je patrný z obr. 21, kde je v první polovině průběh výstupního šumového napětí při zakrytí integrovaného obvodu a v druhé polovině průběh za stejných podmínek při sejmutém krytu.

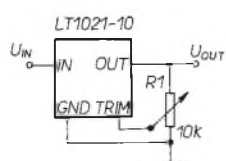
Na obr. 22 až 36 je několik praktických zapojení s obvody řady LT1021.



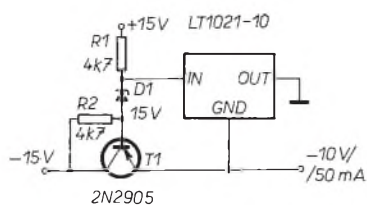
Obr. 20. Zapojení vývodů obvodu LT1021 pro osmivývodové pouzdro H a pro pouzdra DIP a SO



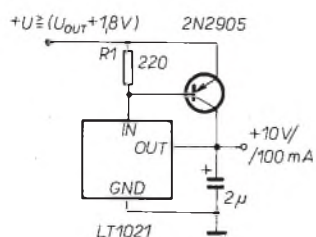
Obr. 21. Průběh výstupního šumového napětí, vyvolaný turbulencí vzduchu



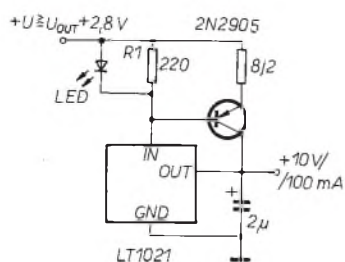
Obr. 22. Zapojení LT1021-10 s možností nastavit výstupní napětí v rozmezí $\pm 0,7\%$



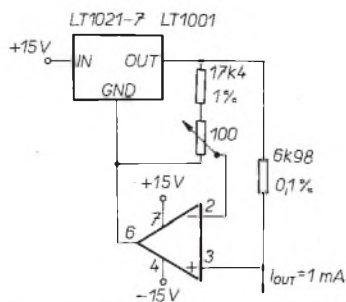
Obr. 23. Zdroj záporného referenčního napětí - 10 V se sériovým regulátorem



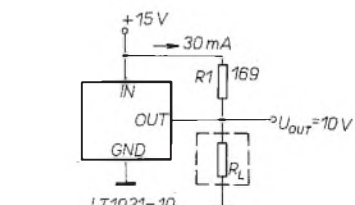
Obr. 24. Zapojení pro výstupní proud až 100 mA, bez proudového omezení



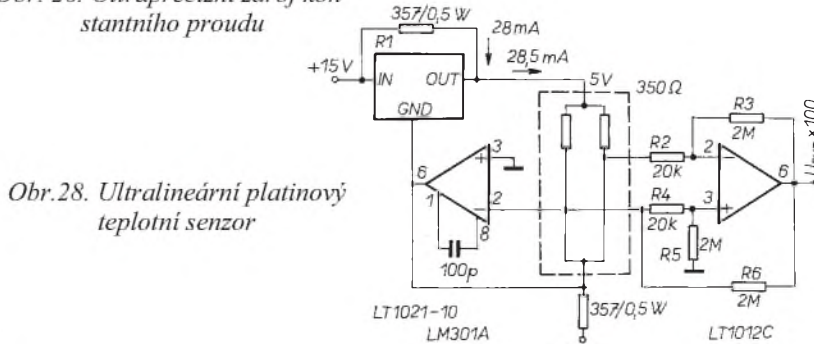
Obr. 25. Zapojení pro výstupní proud až 100 mA s proudovým omezením a optickou indikací diodou LED



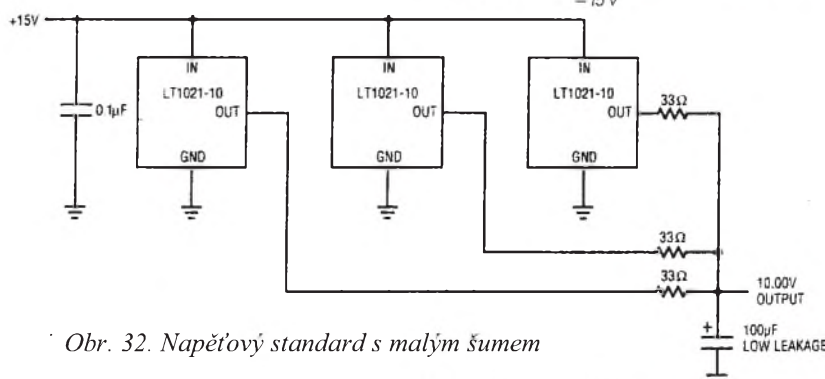
Obr. 26. Ultraprecizní zdroj konstantního proudu



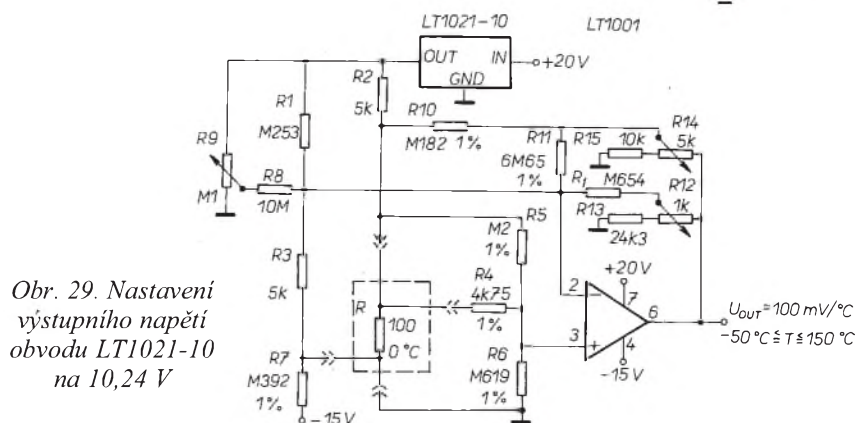
Obr. 27. Zapojení pro větší zatěžovací proud



Obr. 28. Ultralinearní platinový teplotní senzor

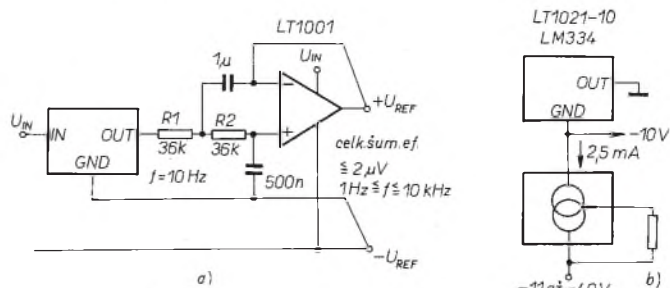


Obr. 32. Napěťový standard s malým šumem

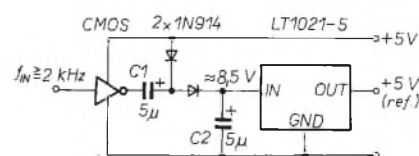


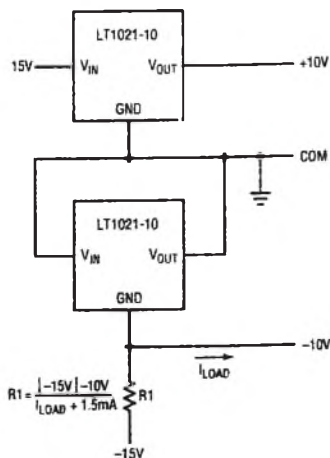
Obr. 29. Nastavení výstupního napětí obvodu LT1021-10 na 10,24 V

Obr. 30. Referenční zdroj s filtrací výstupního napětí dolní propustí 2. řádu

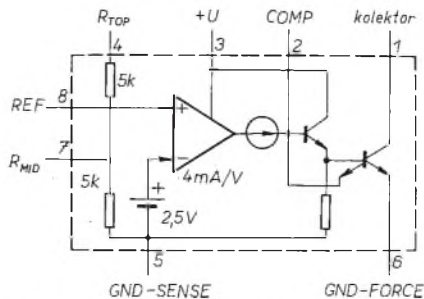


Obr. 31. Napájení zdroje referenčního napětí 5 V ze zdroje 5 V



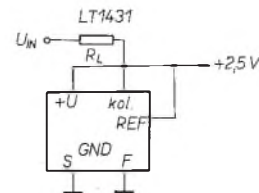


Obr. 33. Referenční zdroj se symetrickým výstupním napětím ± 10 V

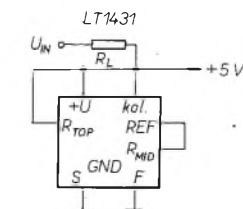


Obr. 36. Blokové zapojení a zapojení vývodů obvodu LT1431

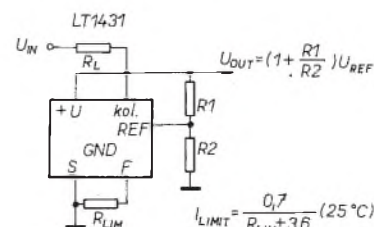
Obvod LT1431 má integrován přímo na čipu odporový dělič, umožňující tak LT1431 zapojit jako regulátor 5 V bez potřeby jakýchkoli externích součástek. Základní zapojení obvodu



Obr. 37. Základní zapojení obvodu LT1431 pro výstupní referenční napětí 2,5 V



Obr. 38. Základní zapojení obvodu LT1431 pro výstupní referenční napětí 5 V



Obr. 39. Zapojení obvodu LT1431 s možností nastavit velikost proudového omezení a regulovat výstupní napětí

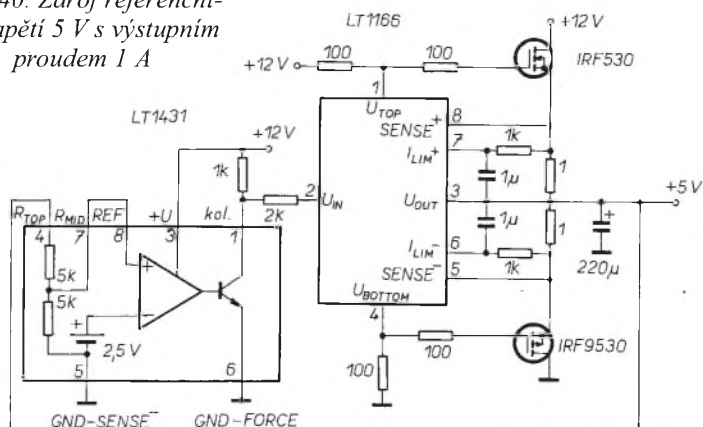
LT1431 pro výstupní referenční napětí 2,5 V je na obr. 37, zapojení pro výstupní referenční napětí 5 V je na obr. 38. S použitím dvou externích rezistorů je výstupní napětí nastavitelné na libovolnou velikost v rozsahu od 2,5 až do 36 V. Pomocí jednoho dalšího externího rezistoru je v případě potřeby možné zmenšit velikost vnitřně nastaveného proudového omezení pod 100 mA. Zapojení obvodu LT1431 s možností nastavit velikost proudového omezení a s regulovatelným výstupním napětím je na obr. 39.

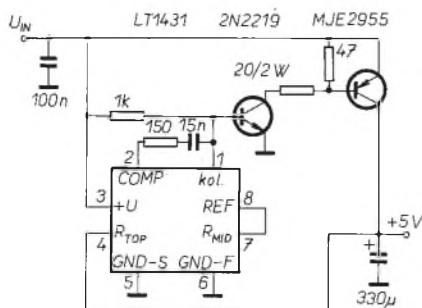
Další zajímavá a praktická aplikační zapojení LT1431 v různých obvodech zdrojů jsou na obr. 40 až 43.

LT1431

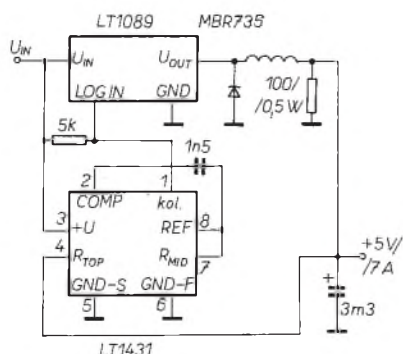
Integrovaný obvod LT1431 amerického výrobce Linear Technology je precizní bočníkový napěťový regulátor, schopný dodat proud do zátěže až 100 mA, s počáteční tolerancí referenčního napětí 0,4 % a teplotní stabilitou 0,3 %. Jak je vidět z blokového zapojení a zapojení vývodů na obr. 36, je LT1431 obdobou výše popsaného obvodu TL431, díky vyvedení dalších vstupů je ho však možno využít v mnoha dalších aplikacích. Zjednodušená třísvorková verze pod označením LT1431CZ nebo IZ je s obvodem TL431 plně kompatibilní.

Obr. 40. Zdroj referenčního napětí 5 V s výstupním proudem 1 A

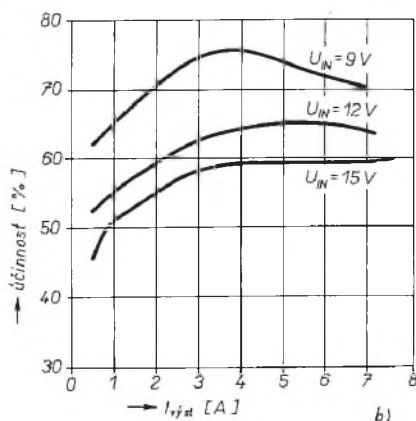




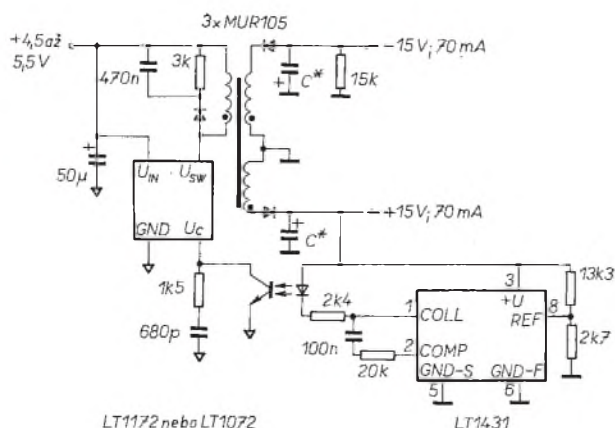
Obr. 41. Regulator s velmi malým úbytkem napětí a velkým výstupním proudem s výkonovým tranzistorem p-n-p



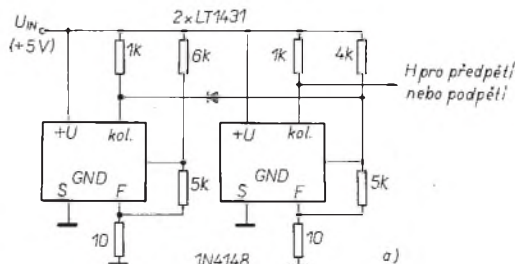
Obr. 42a. Spínaný regulátor s výstupním napětím 5 V a proudem 7 A



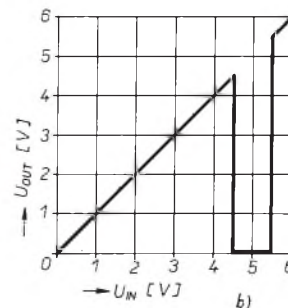
Obr. 42b. Účinnost regulátoru z obr. 42a pro různé velikosti vstupního napětí



Obr. 43. Konvertor +5 V / ±15 V s galvanickým oddělením



Obr. 44a. Monitor napětí 5 V s okénkovým komparátorem ±500 mV a hysterezi 50 mV



Obr. 44b. Přenosová funkce zapojení z obr. 44a

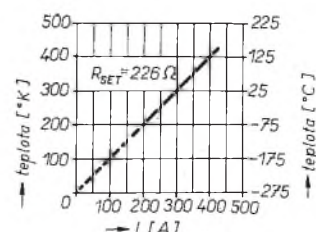
Zdroj konstantního proudu LM134 (234, 334)

Integrovaný obvod LM134 je třísvorkový zdroj konstantního proudu, přičemž velikost konstantního proudu může být nastavena jedním externím rezistorem v rozmezí od 1 do 10 mA. Obvod přitom ve skutečnosti pracuje jako dvousvorkový proudový zdroj, nevyžadující ke své činnosti již žádný přídavný napájecí zdroj či vstupní řídicí signál.

Jelikož je u obvodu LM134 pracovní proud přímo úměrný absolutní teplotě, může být tento obvod využit – a je také v mnoha aplikacích často využíván – k přímému měření teploty jako teplotní senzor. Teplotní závislost pracovního proudu je +0,336 % / °C při pokojové teplotě. Tak například při pracovním proudu 298 mA bude teplotní součinitel proudu +1 mA / 1 °C. Teplotní závislost je přitom extrémně přesná a vyrovnaná. Převodní charakteristika závislosti pracovního proudu na teplotě je v grafu na obr. 45.

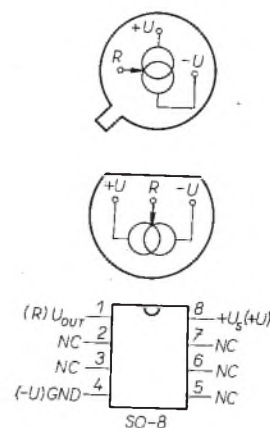
Pokud je požadován konstantní výstupní proud s nulovým teplotním součinitelem, je toho možno snadno dosáhnout kompenzací - přidáním jedné diody a jednoho rezistoru.

Obvod LM134 od firmy Linear Technology je pod označením LM34



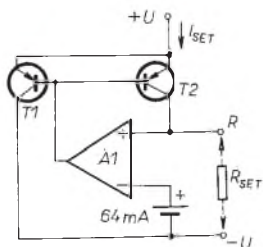
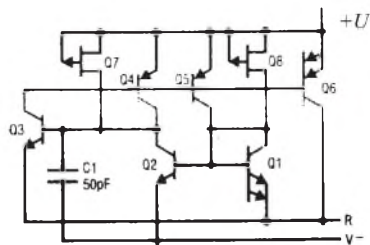
Obr. 45. Převodní charakteristika závislosti pracovního proudu na teplotě pro obvod LM134

rovněž vyráběn firmou National Semiconductor. Zapojení vývodů pro kovové pouzdro TO-46, plastové pouzdro TO-92 a pouzdro SO-8 je na obr. 46. LM134 je určen pro rozsah pracovních teplot od -55 °C do +125 °C, LM234 od -25 °C do +100 °C a LM334 může pracovat při teplotě od 0 °C do +70 °C.



Obr. 46. Zapojení vývodů obvodu LM134 (LM34) pro kovové pouzdro TO-46, plastové pouzdro TO-92 a pouzdro SO-8

Vnitřní zapojení obvodu LM134 a blokové zapojení jsou na obr. 47. Na invertující vstup operačního zesilovače je připojeno referenční napětí 64 mV. Výstupem operačního zesilovače je buzen tranzistor T2, který udržuje na neinvertujícím vstupu operačního zesilovače napětí 64 mV, aby byla zachována rovnováha, nezávisle na odporu rezistoru R_{SET} . Tranzistor T1 je s tranzistorem T2 spárován v poměru 17 : 1, takže proud tekoucí do vstupu -U tvoří vždy 1 / 18 celkového

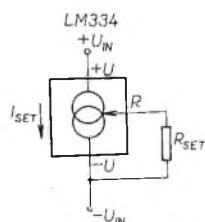


Obr. 47. Vnitřní a blokové zapojení
zapojení obvodu LM134

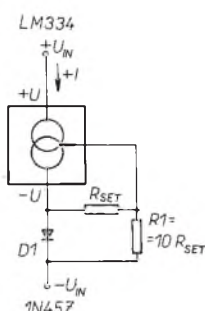
proudu tekoucího vstupem $+U$. Tento celkový proud I_{SET} je tedy dán následující rovnicí:

$$I_{SET} = \frac{64 \text{ mV}}{R_{SET}} \times \frac{18}{17} = \frac{67.7 \text{ mV}}{R_{SET}}$$

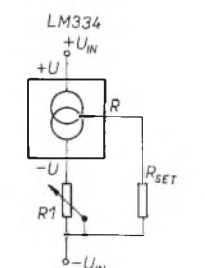
Na obr. 48 je základní zapojení, na obr. 49 až 64 je několik zajímavých zapojení a užitečných aplikací obvodu LM134.



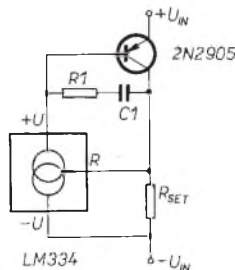
Obr. 48. Základní zapojení obvodu
LM134 jako proudový zdroj



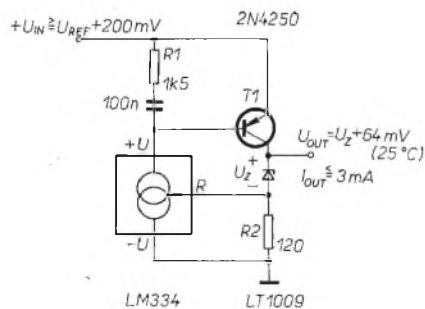
Obr. 49. Proudový zdroj s nulovým
teplotním součinitelem



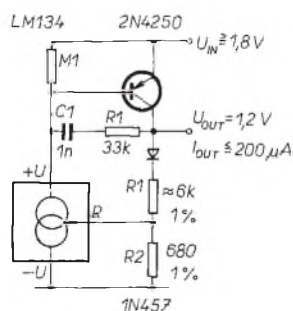
Obr. 50. Zapojení pro jemné
nastavení proudu



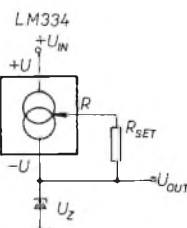
Obr. 51. Zapojení pro větší výstupní
proud



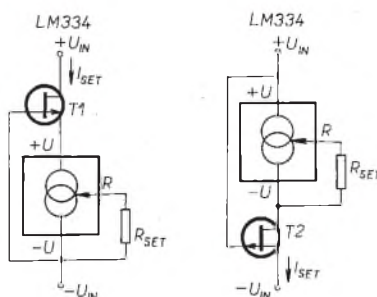
Obr. 52. Budič referenčního obvodu
LT1009 při malém vstupním napětí



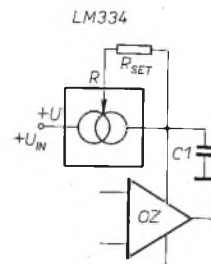
Obr. 53. Regulator s výstupním
napětím 1,2 V a vstupním napětím
1,8 V



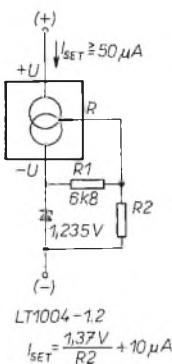
Obr. 54. Napájení Zenerovy diody
konstantním proudem



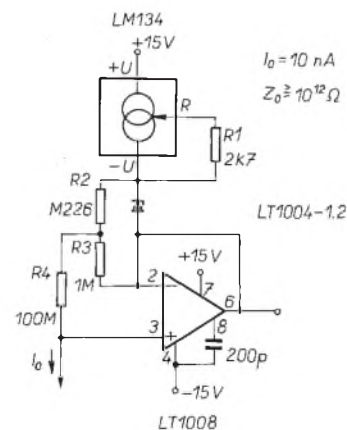
Obr. 55. Kaskádové zapojení s tran-
zistory FET pro získání velké výstup-
ní impedance a zmenšení parazitní
kapacity



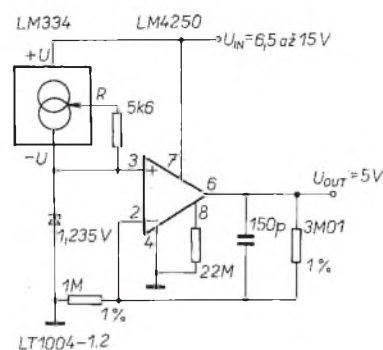
Obr. 56. LM134 jako proudový
omezovač



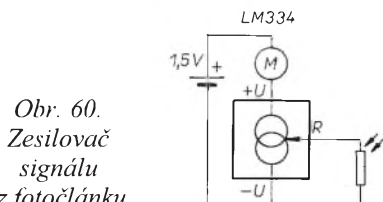
Obr. 57. Velmi precizní proudový
zdroj s malým teplotním součinitelem



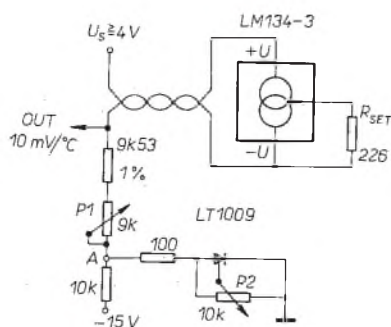
Obr. 58. Přesný zdroj proudu 10 nA



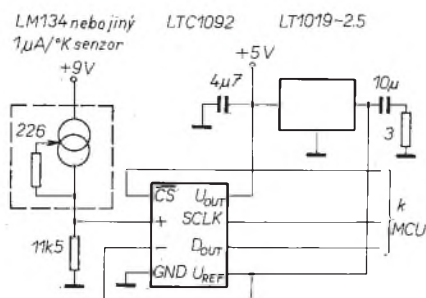
Obr. 59. Mikropřikonový zdroj
referenčního napětí 5 V



Obr. 60.
Zesilovač
signálu
z fotočlásku

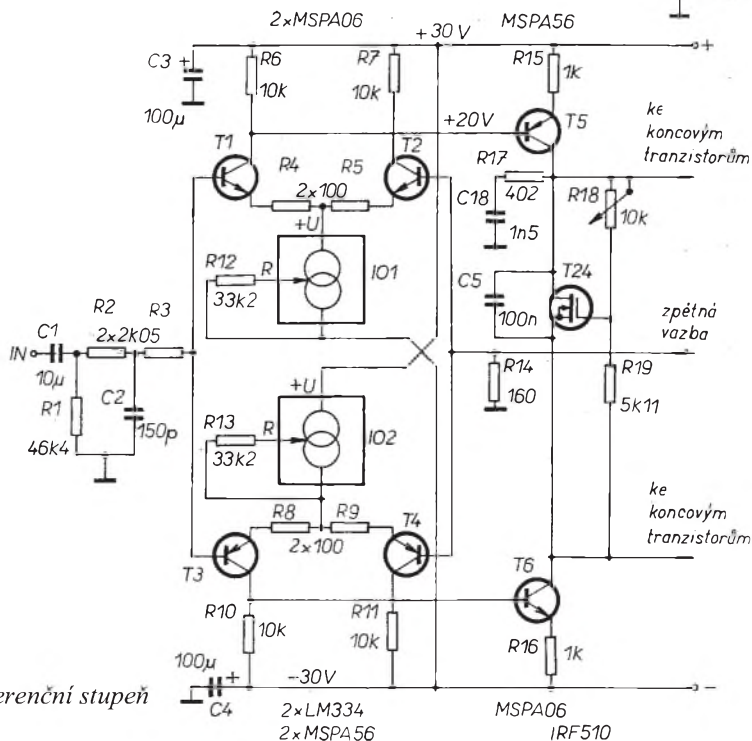
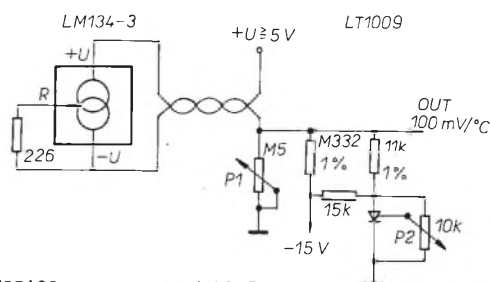


Obr. 61. Teplotní senzor s lineárním výstupem 10 mV / °C



Obr. 63. Teplotní senzor s 10bitovým převodníkem A/D, LTC1092, a digitálním výstupem

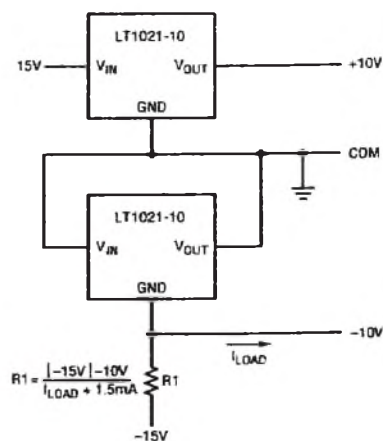
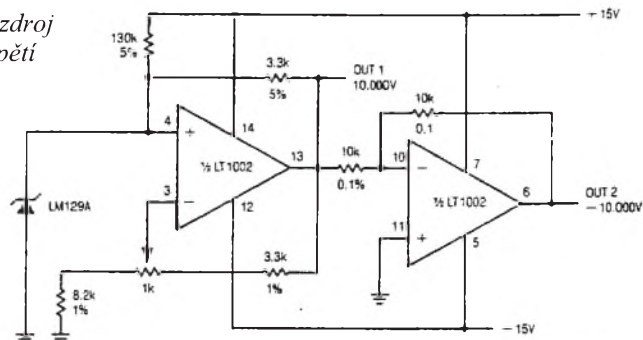
Obr. 62. Teplotní senzor s lineárním výstupem 10 mV / °C a dvoubodovým nastavením



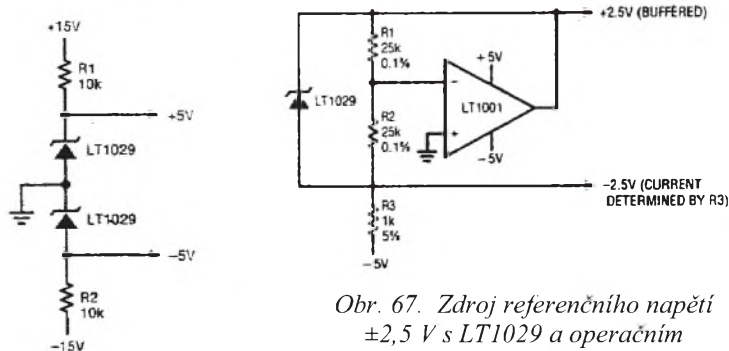
Obr. 64. Zdroj konstantního proudu pro diferenční stupeň s bipolárními tranzistory

ZAJÍMAVÁ A PRAKTICKÁ ZAPOJENÍ S REFERENČNÍMI OBVODY

Obr. 65. Precizní zdroj referenčního napětí ±10 V

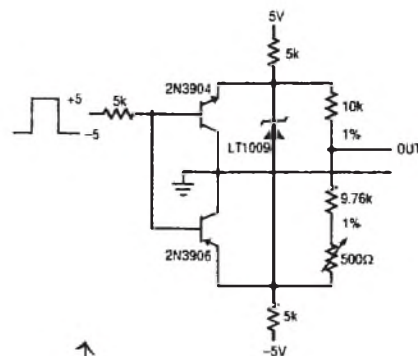


Obr. 68. Zdroj referenčního napětí ±10 V se dvěma referenčními obvody LT1021-10

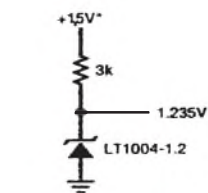


Obr. 67. Zdroj referenčního napětí ±2,5 V s LT1029 a operačním zesilovačem

Obr. 66. Zdroj referenčního napětí ±5 V se dvěma referenčními obvody LT1029

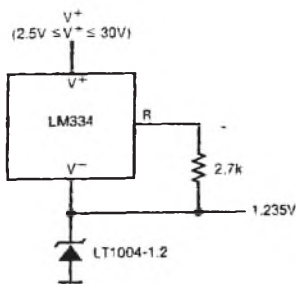


Obr. 69. Zdroj referenčního napětí ±1,25 V s přepínáním logickým signálem

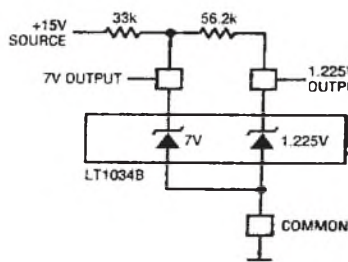


* OUTPUT REGULATES
DOWN TO 1.285V
FOR $I_{OUT} = 0$

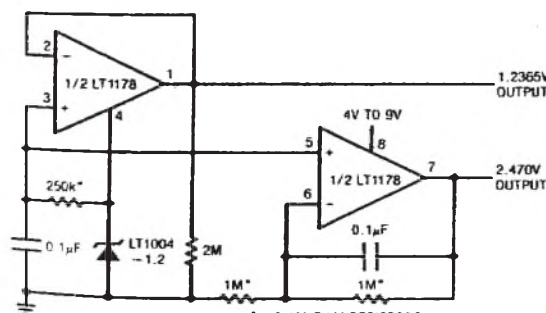
Obr. 70. Zdroj referenčního napětí 1,235 V, napájený z jedné baterie 1,5 V



Obr. 71. Mikropříkonový zdroj referenčního napětí 1,235 V s širokým rozsahem vstupního napětí, napájený ze zdroje konstantního proudu s obvodem LM334

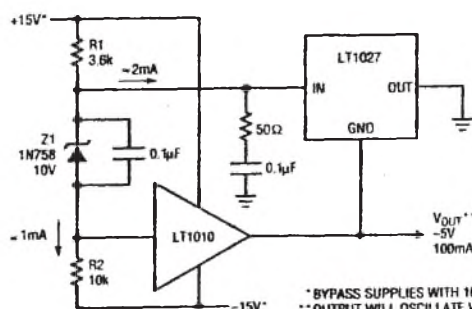


Obr. 72. Zdroj referenčních napětí 1,225 V a 7 V s dvojitým referenčním obvodem LT1034 B. Referenční zdroj + 7 V slouží pro druhý zdroj jako předregulátor



TOTAL BATTERY CURRENT = 28μA
OUTPUT ACCURACY = ±0.4% MAX
TEMPERATURE COEFFICIENT = 20ppm/°C
LOAD REGULATION = 25ppm/mA, $I_L \leq 5mA$, $V \geq 5V$
LINE REGULATION = 10ppm/V

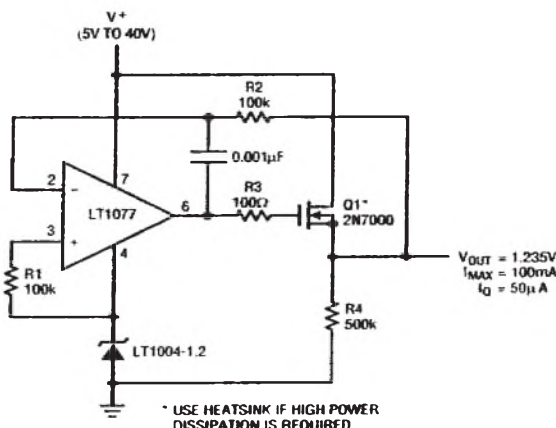
Obr. 73. Mikropříkonový zdroj referenčních napětí 1,2365 V a 2,470 V



* BYPASS SUPPLIES WITH 10μF AND 0.1μF CAPACITORS
** OUTPUT WILL OSCILLATE WITH LOW ESR CAPACITORS

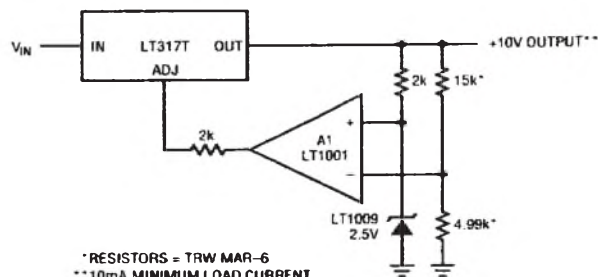
Obr. 74. Zdroj referenčního napětí -5 V / 100 mA s ochranou proti přetížení

Obr. 75. Mikropříkonový zdroj referenčního napětí 1,235 V s výstupním proudem až 100 mA

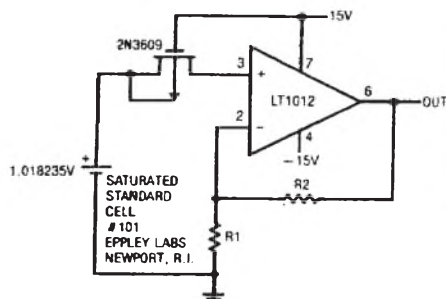


* USE HEATSINK IF HIGH POWER DISSIPATION IS REQUIRED

Obr. 76. Kvalitní referenční zdroj +10 V s velkým výstupním proudem 1,5 A

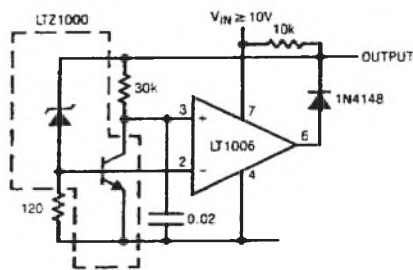


* RESISTORS - TRW MAR-6
** 10mA MINIMUM LOAD CURRENT

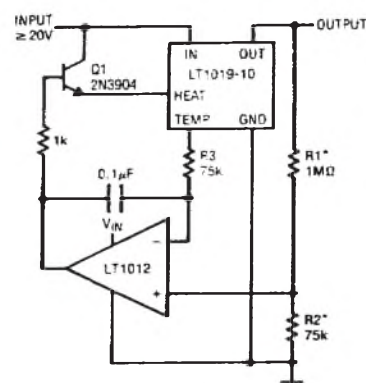


THE TYPICAL 30μA BIAS CURRENT OF THE LT1012 WILL DEGRADE THE STANDARD CELL BY ONLY 1ppm/YEAR. NOISE IS A FRACTION OF A ppm. UNPROTECTED GATE MOSFET ISOLATES STANDARD CELL ON POWER DOWN.

Obr. 77. Posílení napětového standardu, výstupní napětí je dáno poměrem $R2/R1$

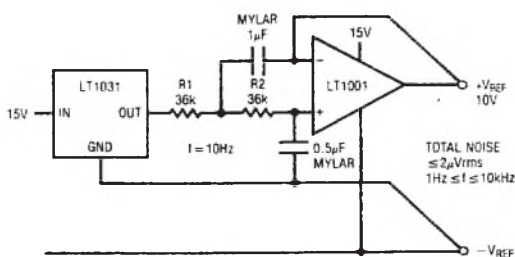


Obr. 78. Zdroj referenčního napětí 7 V s malým driftem a malým šumem



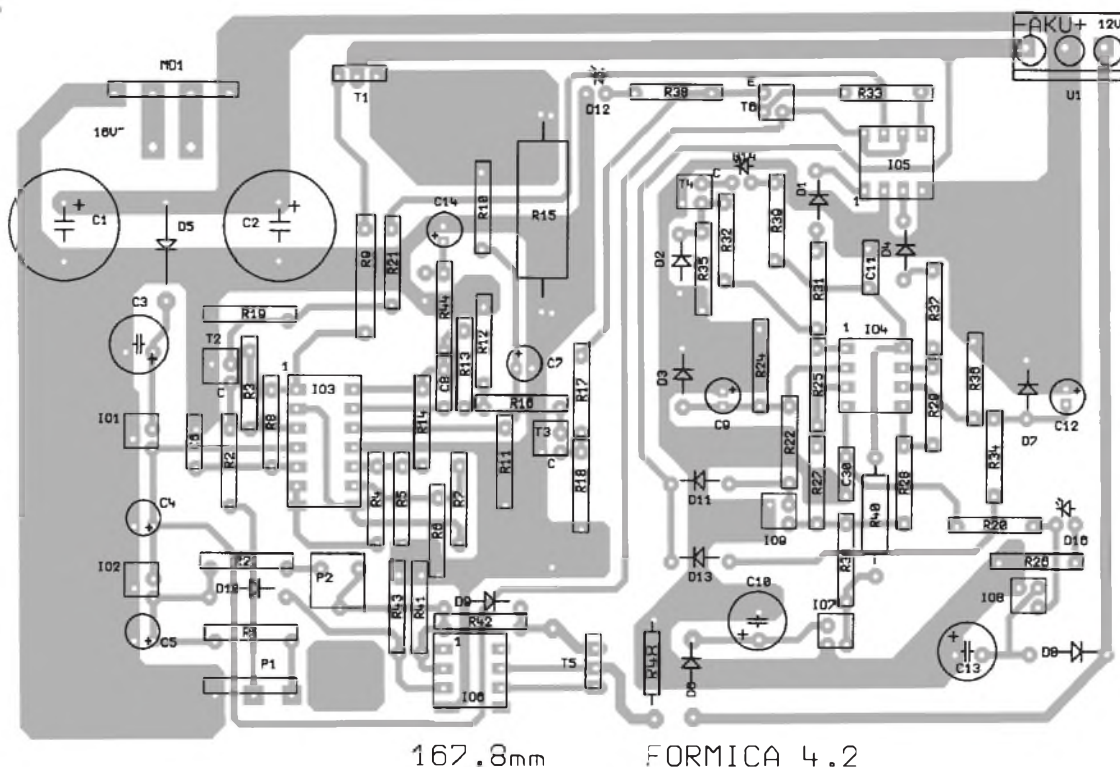
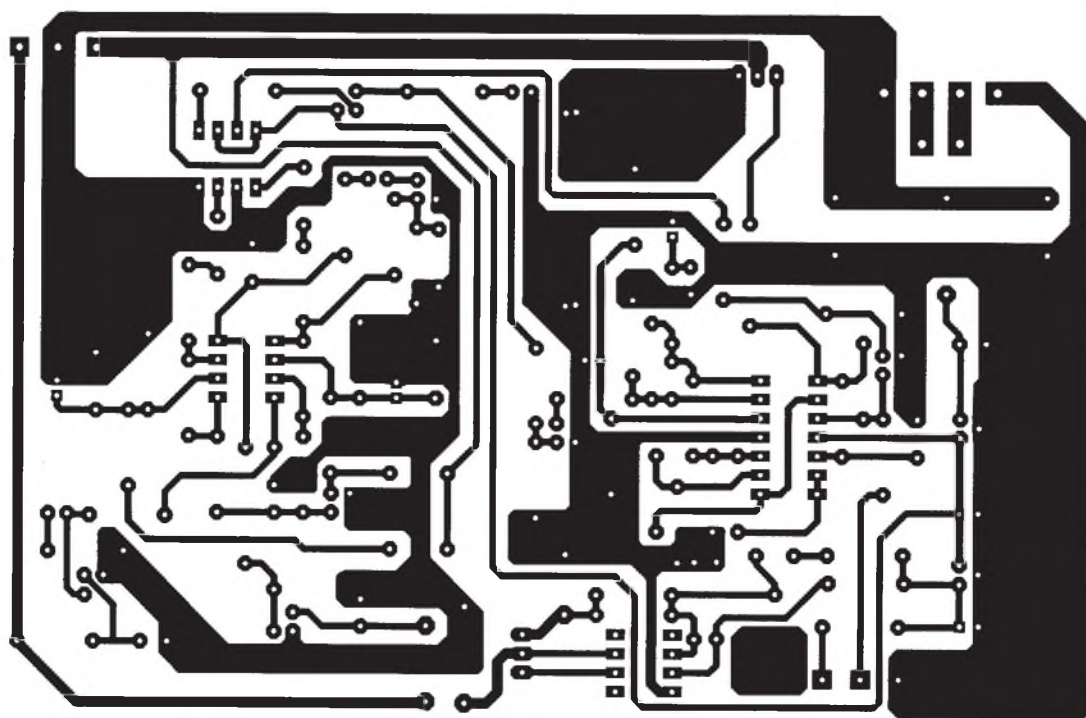
* SELECT FOR DESIRED TEMPERATURE. VALUES GIVEN SET CHIP TEMPERATURE $T_C \approx 70^\circ C$ WITH $V_{OUT} = 10V$

Obr. 79. Teplotně stabilizovaný zdroj referenčního napětí 10 V



TOTAL NOISE $\leq 2\mu V_{rms}$
1Hz $\leq f \leq 10kHz$

Obr. 80. Zdroj referenčního napětí 10 V s malým šumem



Nová deska s plošnými spoji pro nabíječ

koncepovány a předělány tak, že lze při použití jiného diodového můstku nabíjet s maximálním nabíjecím proudem 10 A! Je třeba pocínovat silové plošné spoje, použít IO2 typu LM78L06 a odpor rezistorů R16 a R12 zvětšit na 33 kΩ. Při tak velkém nabíjecím proudu má již ventilátorek své opodstatnění. Doporučuji ho také použít i při nabíjení menším proudem, tj. 6 A, máme-li menší nabíjecí transformátor a chladič, který není schopen dostatečně účinně vyzářit do okolí teplo při nabíjení. Pořízení ventilátoru a regulace je cenově výhodnější než

nákup většího transformátoru a větší přístrojové skříňky. Do stavebnice nabíječe byly také pro zvýšení komfortu montáže přidány svorky typu ARK.

2. **Otázka nabíjení AKU 6 V.** Jak jsem již několikrát uvedl, lze problém řešit bez větších obtíží. Je nutno jen navíc použít dvojité přepínač, který bude přepínat rezistory R22 a R34 s rezistory R22A a R34A. Jejich odpor je pro akumulátor 6 V: R22A 6 kΩ a R34A 3,9 kΩ/1 %. Ostatní součástky se v zapojení nemění. V pů-

vodní konstrukci nebylo s touto variantou uvažováno.

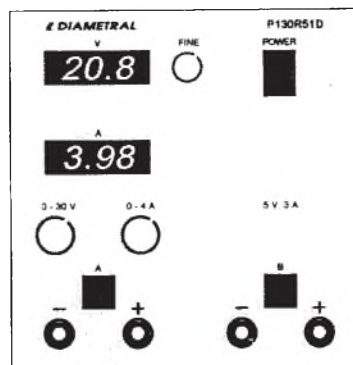
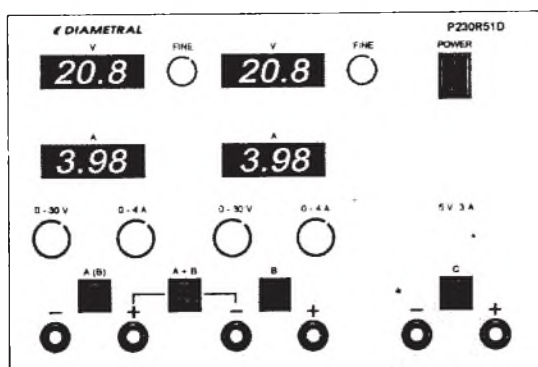
3. **Měření nabíjecího proudu.** Jak ocejchovat měřidlo uvedl ing. Belza v článku v KE 5/97. Na desce je pamatováno s případným článkem RC. Kondenzátor C14 má kapacitu 47až 100 μF a rezistor R44* má odpor podle použitého měřidla. Dále lze použít k měření nabíjecího proudu i knoflík, který má kotouček z organického skla s ryskou - na skřínce pak stačí již jen zhotovit stupnici. Lze použít i měření s C520D a nebo IO LM3914. Vše záleží na peněženke konstruktéra.

Nezapomněli jste na konkurs PE AR na nejlepší radioamatérské konstrukce ?

(Podmínky byly uveřejněny v Praktické elektronice č. 3/98 na str. 3. Uzávěrka konkursu je 17. září 1998)

Součástí výher v Konkursu jsou i věcné ceny, k nimž patří i dále popsany laboratorní zdroj.

STOLNÍ LABORATORNÍ ZDROJE **P230R51D a P130R51D**



POPIS ZAŘÍZENÍ:

Laboratorní zdroje P230R51D a P130R51D jsou určeny do každé profesionální i amatérské laboratoře. Jsou vybaveny plynulou regulací napětí v rozsahu 0 - 30V s možností nastavení omezení proudu od 0.1 - 4. Model P230R51D je vybaven tímto zdrojem 2x. Oba modely disponují navíc pevným zdrojem napětí 5V/3A. Regulovatelná část zdroje je vybavena měřicími přístroji jak pro napětí, tak i pro proud. Indikace omezení proudu je provedena blikající desetinnou tečkou na příslušném proudovém měřicím přístroji a přerušovaným zvukovým signálem. Tento zvukový signál lze dle potřeby vypnout.

Výstupy jednotlivých zdrojů jsou ovládány samostatným tlačítkem s kontrolkou pro jejich jednoduchou obsluhu. Díky tomu není nutno vypínat celý laboratorní zdroj při práci.

Model P230R51D je navíc vybaven tlačítkem pro spojení regulovatelných zdrojů do jednoho symetrického zdroje.

Proti tepelnému přetížení jsou oba modely vybaveny teplotním čidlem a ventilátorem, který v případě potřeby chladiče výkonových prvků ochladí na přijatelnou hodnotu.

Transformátory jsou dostatečně dimenzovány pro trvalou dodávku maximálního výkonu do zátěže.

POPIS FUNKCE:

Po zapnutí síťového vypínače se na všech displejích zobrazí 888 a roztočí se ventilátor. Na jednotlivé výstupy zdroje není přivedeno žádné napětí.

Po dvou vteřinách od zapnutí síťového vypínače je zdroj připraven k použití a aktivuje se ovládání jednotlivých výstupů zdroje. V případě, že některé z ovládacích tlačítek výstupů je ve stavu "ON", tak je přivedeno na patřičný výstup napětí. Touto funkcí je laboratorní zdroj vybaven pro ochranu připojeného zařízení proti případným napěťovým špičkám vznikajících při startu. Na napěťových displejích se zobrazí nastavená hodnota výstupního napětí a na proudových displejích i odebíraný proud. Ventilátor se přestane točit a je vydán krátký akustický signál.

Tlačítkem "A + B" (jen model P230R51D) lze spojit oba regulovatelné zdroje do jednoho symetrického. Tím se automaticky zablokuje tlačítko pro ovládání výstupu zdroje "B" bez ohledu na jeho pozici a jeho funkci přebírá tlačítko výstupu zdroje "A". Tak má obsluha zaručenou, že výstupy obou zdrojů jsou propojeny a odepínány od napětí ve stejném čase. Přítomnost napětí na jednotlivých výstupech je indikováno patřičnými kontrolkami.

Napětí regulovatelných zdrojů lze plynule nastavit v rozmezí 0 - 30V pomocí dvou potenciometrů - HRUBĚ a JEMNĚ. Požadované proudové omezení se nastavuje jedním potenciometrem. Začne-li zdroj proudově omezovat, je tato skutečnost signalizována blikající desetinnou tečkou na proudovém displeji daného zdroje a zároveň přerušovaným zvukovým znamením. Zvukové znamení lze dle potřeby vypnout.

Je-li zdroj tepelně přetížen, sepne se automaticky ventilátor chladičů.

TECHNICKÉ ÚDAJE:

	P230R51D	P130R51D
Napájecí napětí:	230V/50Hz	230V/50Hz
Regulované napětí 0 - 30V	2x	1x
Omezení proudu:	0.1 - 4A	0.1 - 4A
Zvlnění:	< 0.1%	< 0.1%
Třída přesnosti měřicích přístrojů:	2	2
Pevné napětí 5V/3A:	1x	1x
Celkový příkon max.:	320W	160W
Rozměry (š, v, h):	172 x 244 x 282	172 x 164 x 282

Na laboratorní zdroje je poskytována záruka v délce trvání 12 měsíců od data zakoupení, pozáruční servis je zajištěn.

Zdroj vyrábí a dodává DIAMETRAL, spol. s r. o., Bryksova 1061, 198 21 Praha 9, tel./fax (02) 81 86 3 157