



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

Nabíječ akumulátorů s mikrokontrolérem

Microprocessor controlled charger

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

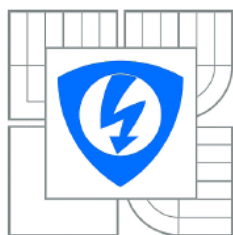
Bc. Roman Losenický

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Roman Losenický
Ročník: 2

ID: 83527
Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Nabíječ akumulátorů s mikrokontrolérem.

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte a rozeberte problematiku a metody nabíjení akumulátorových článků různých běžně užívaných technologií. Proveďte rozbor metod nabíjení jednotlivých typů článků. Sestavte blokové schéma procesorem řízeného nabíječe.

Proveďte detailní návrh zapojení a vytvořte podklady pro výrobu desek plošných spojů. Desky plošných spojů osadte a proveďte základní měření funkčnosti nabíječe.

Sestavte a odladte firmware řídicího mikrokontroléru nabíječky. Proveďte měření parametrů systému a stanovte jeho základní parametry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] CENEK, M. a kol. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003.
- [2] ARENDÁŠ, M., RUČKA, M. Nabíječky a nabíjení. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 20.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Úvodní část diplomové práce je zaměřena na seznámení a podrobný rozbor metodiky a problematiky nabíjení akumulátorových článků běžně užívaných technologií.

Detailnější popis je věnován specifickým typům nabíjecích akumulátorů, pro která bude nabíječka konstruována. Jedná se o baterie NiMH a NiCd a také baterie Li-ion.

V následující části práce pak již probíhá konkrétní návrh konstruované nabíječky. Je vymezeno blokové a následně detailní schéma celé nabíječky. Z podrobného rozboru zapojení a použitých součástek pak vznikly dostatečné podklady pro realizaci plošného spoje a následné osazení součástkami.

Velmi důležitou částí projektu je pak samotný firmware mikrokontroléru, jež je podrobněji rozebrán v závěru práce.

Testovacím nabíjením je pak ověřena funkčnost a stanoveny základní parametry zkonstruované nabíječky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Univerzální nabíječka, Nimh, Nicd, Li-ion, USB, ATmega16,

ABSTRACT

My master thesis is focused on introducing, analysing and describing the microprocessor controlled charger. The thesis is firstly describing and analysing the topic of accumulator cell charging for common technologies.

Then there is detailed description of specific accumulator cell types (NiMH, NiCd and Li-ion) which is the microprocessor controlled charger intend for.

The next part of this thesis is showing the proposal of the charger.

There is the block diagram, charger detailed schematics based on this block diagram. There is also list of the possible useful componets neccessary for charger assembling. All this is used for the final proposal of the chager itself.

The main scope of this thesis is than the charger's microcontroler firmware deccribed at the end of this thesis.

Finally confirmation of the charger proper proposal and assembly is the battery charging with the given basic parameters.

KEYWORDS

Charger, NiMH, NiCd, Li-ion, USB, ATmega16

LOSENICKY R. *Nabíječ akumulátorů s mikrokontrolérem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 51 s.

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou Diplomovou práci na téma Nabíječ akumulátorů s mikrokontrolérem jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

podpis autora

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	III
SEZNAM TABULEK.....	IV
ÚVOD	1
1 VŠEOBECNÉ ZÁSADY PŘI NABÍJENÍ AKUMULÁTORŮ	2
1.1 NABÍJENÍ PODLE CHARAKTERISTIKY U	2
1.2 NABÍJEČE S CHARAKTERISTIKOU U	3
1.3 NABÍJENÍ PODLE CHARAKTERISTIKY I.....	4
1.4 VÝHODY NABÍJEČŮ S CHARAKTERISTIKOU I.....	5
1.5 NABÍJENÍ PODLE CHARAKTERISTIKY W	6
1.6 DOBÍJENÍ ČLÁNKŮ NESYMETRICKÝM STŘÍDAVÝM PROUDEM	7
2 VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY NABÍJECÍCH AKUMULÁTORŮ.....	8
2.1 LI-ION AKUMULÁTORY	8
2.1.1 Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení.....	8
2.1.2 Nabíjení Li-ion	11
2.2 BATERIE NiCd A NiMH.....	13
2.3 DŮLEŽITÉ POJMY Z OBLASTI TEORIE AKUMULÁTORŮ	15
2.4 VHODNÁ DOPORUČENÍ.....	16
3 NÁVRH NABÍJEČE AKUMULÁTORŮ S MIKROKONTROLÉREM	18
3.1 OVLÁDACÍ A ŘÍDÍCÍ ČÁST.....	19
3.1.1 Mikrokontrolér ATmega16	19
3.2 NAPÁJECÍ ČÁST	21
3.2.1 Snímání teploty.....	23
3.2.2 Chlazení výkonových tranzistorů.....	24
3.3 VÝKONOVÁ ČÁST.....	24
3.3.1 Nabíjecí obvod.....	24
3.3.2 Princip řízení.....	25
3.3.3 Vybíjecí obvod.....	26
3.4 OBVODY PRO MĚŘENÍ SLEDOVANÝCH VELIČIN	26
3.4.1 Převodník ADS7841	28
3.4.2 Měření napětí	29
3.4.3 Měření proudu.....	30
3.5 KOMUNIKACE S PC	31
3.6 UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ.....	31
3.7 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ	32
3.7.1 Volba součástek.....	33
3.8 FINANČNÍ BILANCE	33
4 FIRMWARE MIKROKONTROLÉRU	34
4.1 NEZÁVISLÝ ČASOVAČ	35
4.2 OVLÁDÁNÍ	35
4.2.1 Zpracování vstupů z tlačítek.....	35
4.2.2 Ovládací menu nabíječky	36
4.3 PWM SIGNÁL	37
4.4 KOMUNIKACE A/D PŘEVODNÍKU	38
4.5 KOMUNIKACE S PC.....	39
4.5.1 Komunikační protokol	39
4.6 NABÍJECÍ A VYBÍJECÍ ALGORITMY	42
4.6.1 Nabíjení NiMH, NiCd.....	43
4.6.2 Nabíjení Li-ion	44

4.6.3	<i>Vybíjení</i>	44
5	OVĚŘENÍ FUNKCE NABÍJEČE	45
5.1	NABÍJECÍ A VYBÍJECÍ CHARAKTERISTIKY	45
6	ZÁVĚR	49
	LITERATURA	50
	SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK	51
	SEZNAM PŘÍLOH	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	a) Charakteristika nabíječe s konstantním výstupním napětím (U); b) závislost nabíjecího proudu a napětí téhož nabíječe na čase (pro olovený akumulátor); (převzato z [2]).....	3
Obr. 1.2	a) Charakteristika nabíječe s konstantním proudem; b) Závislost nabíjecího proudu a napětí s charakteristikou I_a , tj. nabíjení konstantním proudem s automatickým vypínáním; (převzato z [2]).	5
Obr. 1.3	a) Charakteristika nabíječe s klesajícím nabíjecím proudem (W); b) závislost nabíjecího napětí a proudu na čase, $u = f(t)$, $i = f(t)$, kde I_0 je počáteční proud, I_2 je konečný nabíjecí proud; (převzato z [2]).....	6
Obr. 1.4	a) Schéma doplnění nabíječe pro nabíjení nesymetrickým střídavým proudem se zpětným vybíjením; b) průběhy proudu (IM je nabíjecí proud, IV vybíjecí zpětný proud; ideální poměr je $IV/IN = 1/10$); (převzato z [2]).....	7
Obr. 2.1	Typická vybíjecí křivka akumulátoru Li-ion (převzato z [3]).....	8
Obr. 2.2	Ochranný obvod s SAA1502 (Philips); (převzato z [3]).....	9
Obr. 2.3	Vnitřní konstrukce Li-ion článku; (převzato z [3]).....	10
Obr. 2.4	Průběh napětí a proudu při nabíjení akumulátoru Li-ion; (převzato z [3])	11
Obr. 2.5	Nabíječka s MAX1679; (převzato z [3])	12
Obr. 2.6	Energetická bilance akumulátoru;.....	13
Obr. 2.7	a) Vybíjecí křivka článku NiCd, (převzato z [5])	13
Obr. 2.8	a) Vybíjecí křivka článku NiMH, (převzato z [5]).....	14
Obr. 3.1	Blokové schéma nabíječky řízené mikrokontrolérem	18
Obr. 3.2	Zapojení mikrokontroléru Atmega16	20
Obr. 3.3	Schéma napájecí části nabíječky.....	22
Obr. 3.4	Charakteristika závislosti odporu čidla KTY81-220 na změně teploty při odebíraném proudu 1 mA.	23
Obr. 3.5	Obvodové schéma nabíjecí části.....	25
Obr. 3.6	Obvodové schéma vybíjecí části.....	26
Obr. 3.7	Zapojení a popis jednotlivých pinů pouzdra operačního zesilovače MCP609.....	27
Obr. 3.8	Konfigurace pouzdra A/D převodníku ADS7841 od firmy Burr-Brown.....	28
Obr. 3.9	Obvodové schéma měření napětí	29
Obr. 3.10	Obvodové schéma měření nabíjecího proudu	30
Obr. 3.11	Zapojení USB rozhraní	31
Obr. 3.12	Rozměry krabičky U-KP17, (převzato z [11])	32
Obr. 4.1	Schéma firmware mikrokontroléru	34
Obr. 4.2	Ovládací menu nabíječky.....	37
Obr. 4.3	Řídící a datové signály A/D převodníku, (převzato z [15])	38
Obr. 4.4	Diagram algoritmu nabíjení NiMH a NiCd článků.....	43
Obr. 4.5	Diagram algoritmu nabíjení Li-ion článků.....	44
Obr. 5.1	Nabíjecí charakteristika – 2x NiMH 1250 mAh	46
Obr. 5.2	Vybíjecí charakteristika – 2x NiMH 1250 mAh.....	46
Obr. 5.3	Nabíjecí charakteristika – Li-ion 1020 mAh.....	47
Obr. 5.3	Vybíjecí charakteristika – Li-ion 1020 mAh	48

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1	a) Typy Li-ion akumulátorů, b) Orientační porovnání vlastností běžných typů akumulátorů	9
Tab. 3.1	Parametry odporového čidla KTY81-220.....	23
Tab. 4.1	Konfigurační registr časovače – TCCR2	35
Tab. 4.2	Konfigurační registr časovače – TCCR1A	37
Tab. 4.3	Konfigurační registr časovače – TCCR1B.....	38
Tab. 4.4	Komunikační rámec A/D převodníku, (převzato z [15])	39
Tab. 4.5	Tabulka definovaných příkazů terminálu	40

ÚVOD

Cílem diplomové práce je provedení komplexního návrhu a realizace univerzální nabíječky řízené mikrokontrolérem. Hlavním přínosem a výhodou oproti univerzálním nabíječkám běžně nabízených na našem trhu, je možnost upravovat či případně doplňovat firmware nabíječky a rozšiřovat tak její funkci. Dále byla snaha vytvořit zařízení, které by se neomezovalo pouze na jeden druh a typ baterií. Z nasbíraných poznatků o nabíjecích procesech a dle zadaných požadavků je sestaveno základní blokové schéma a následně i celkové detailní zapojení nabíječky. Jednotlivé bloky jsou detailněji rozebrány a popsány nejdůležitějšími parametry. Měřicí část obvodu je numericky analyzována kvůli následnému správnému a bezproblémovému fungování. Funkční diagram dále nastiňuje požadovanou funkci nabíječe. Jsou popsány některé z důležitých částí firmwaru nabíječky a průběhy nabíjecích procesů. V závěru je pak otestována funkčnost výrobku měřením několika článků. Navrhovaná nabíječka bude sloužit jako inteligentní, univerzální nabíječ, vybíječ a jako zařízení schopné diagnostikovat některé z vlastností a parametrů nabíjených článků.

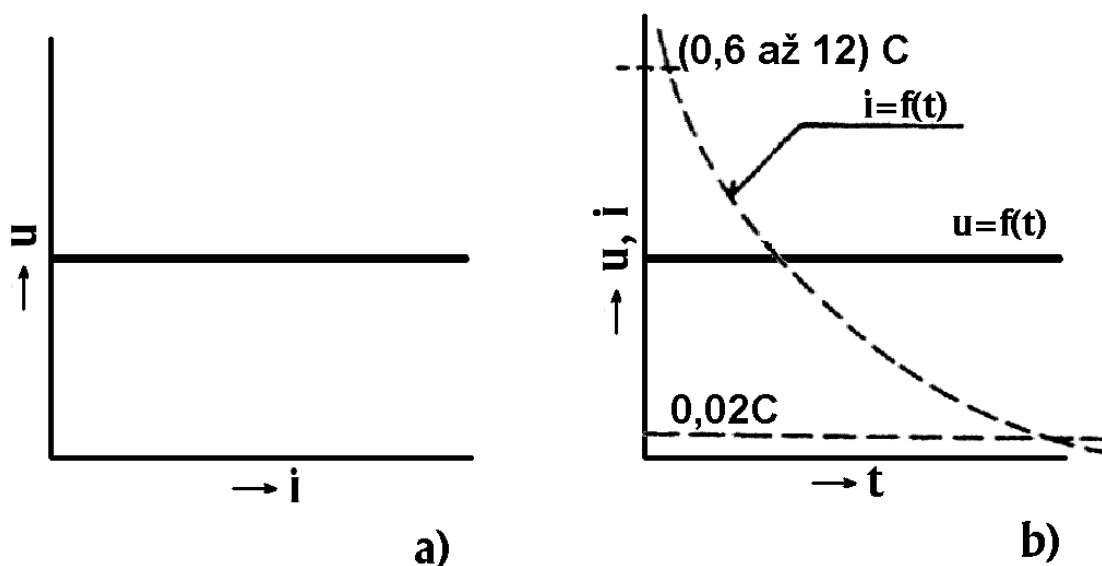
1 VŠEOBECNÉ ZÁSADY PŘI NABÍJENÍ AKUMULÁTORŮ

Charakteristikou nabíječe rozumíme závislost mezi výstupním napětím a nabíjecím proudem. Tomuto vztahu také říkáme voltampérová charakteristika nabíječe. V předpisech pro nabíjení akumulátorů a v odborných publikacích, zabývajících se elektrochemií se obvykle používá ustálených zkratk, označujících typ nabíjecí charakteristiky nabíječe.

Nabíječ, mající charakteristiku zdroje konstantního napětí (napětí je konstantní v celém rozsahu nabíjecích proudů – nabíječ s malým vnitřním odporem) se označuje U. Nabíječ, který pracuje jako zdroj konstantního proudu (bez ohledu na stav nabití akumulátoru dodává stálý nabíjecí proud – nabíječ s velkým vnitřním odporem) se označuje I. Nabíječ se zmenšujícím se nabíjecím proudem (v průběhu nabíjení se proud v závislosti na napětí akumulátoru zmenšuje – odporové omezení proudu) se označuje W. Samočinné vypínání (časové, popřípadě odvozené od napětí na akumulátoru se označuje přídatným indexem $_a$ a samočinné přepínání nabíječe v průběhu nabíjení na jinou charakteristiku se označuje přídatným indexem $_o$. Pořadí zkratk udává časový průběh nabíjení. Označení I_o W_a znamená, že nabíječ zpočátku pracuje s konstantním proudem, potom se automaticky přepne na klesající charakteristiku a na konci nabíjení se automaticky vypne.

1.1 Nabíjení podle charakteristiky U

Po připojení vybitého akumulátoru k nabíječi začíná nabíjení velkým počátečním proudem. Ten způsobuje rychlé ohřátí elektrolytu. Na Obr.1.1 a) je charakteristika nabíječe s konstantním napětím. Na Obr.1.1 b) je závislost nabíjecího proudu $i = f(t)$ a napětí $u = f(t)$ na čase. Velikost konstantního napětí má být nastavena na plynovací napětí nabíjeného akumulátoru s poměrně velkou přesností – alespoň 1%. Tento způsob nabíjení umožňuje nabíjet větší množství baterií o stejném svorkovém napětí zapojených paralelně. U tohoto typu nabíječe je nutno dát pozor, aby nedošlo ke zkratu na svorkách, nebo k připojení vadného akumulátoru a nabíječ jistit proti velkému proudu, který by takto vznikl. Proud by mohl ohrozit součásti nabíječe, zejména transformátor.



Obr. 1.1 a) Charakteristika nabíječe s konstantním výstupním napětím (U); b) závislost nabíjecího proudu a napětí téhož nabíječe na čase (pro olověný akumulátor); (převzato z [2])

1.2 Nabíječe s charakteristikou U

Nabíječe s charakteristikou U se používají:

a) Při nabíjení olověných dopravních a startovacích akumulátorů:

- volíme konstantní nabíjecí napětí $U = 2,4 \text{ V}$ na článek, podle druhu akumulátoru. Akumulátory s tenčími elektrodami vyžadují o něco nižší nabíjecí napětí,
- počáteční nabíjecí proud by neměl přesáhnout $0,6 \text{ až } 1,2 \text{ } Q\check{c}$ (A), podle druhu akumulátoru (tohoto se dosáhne vhodným napětím),

$Q\check{c}$ je kapacita akumulátoru v Ah, udaná výrobcem. Nabíjecí proud se úměrně od této kapacity odvozuje, neboť kapacita $Q\check{c}$ charakterizuje akumulátor z hlediska fyzikálních vlastností

- konečný nabíjecí proud je menší než $0,002 \text{ } Q\check{c}$ (A),
- doba potřebná k plnému nabití je 10 až 15 hodin je závislá na počátečním proudu a druhu akumulátoru
- umožňuje rychlé dílčí nabíjení bez nebezpečí poškození akumulátoru do 80% kapacity akumulátoru za 1 až 1,5 hodiny
- vzhledem k malému konečnému dobíjecímu proudu je možné dlouhodobé přebíjení až asi do 48 hodin
- je nutné zejména u starých silně sulfatizovaných akumulátorů hlídat teplotu elektrolytu, aby nepřesáhla 40°C

b) Při nabíjení niklo-kadmiových akumulátorů:

- volíme konstantní nabíjecí napětí $U = 1,65$ až $1,72$ V na článek podle druhu baterie
- počáteční nabíjecí proud nesmí přesáhnout $0,4$ až $0,6$ Q_c (A)
- konečný nabíjecí proud je $0,07$ Q_c (A)
- doba plného nabití je 10 až 12 hodin

c) Při nabíjení stříbro-zinkových akumulátorů:

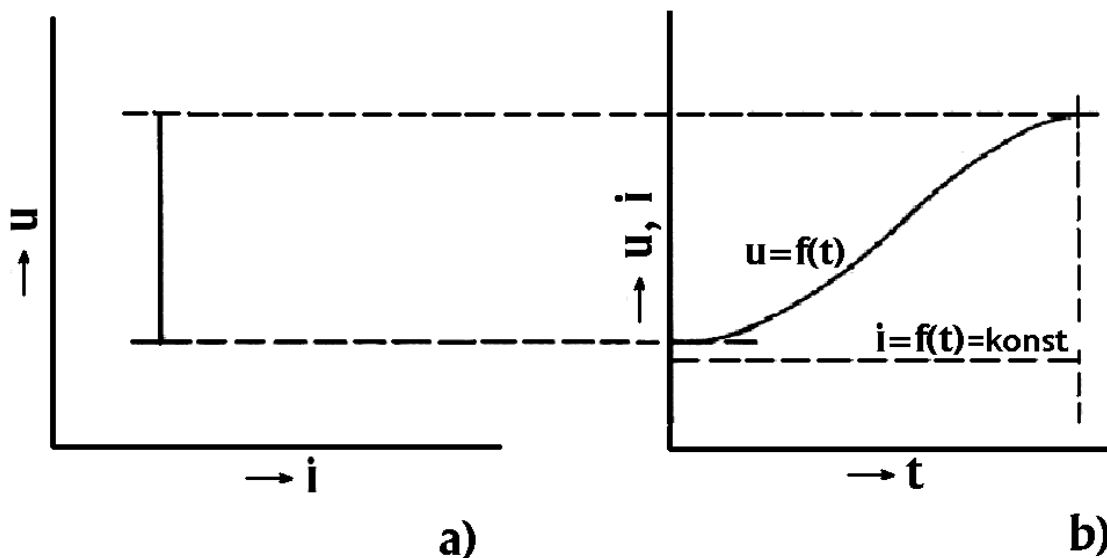
- nabíjení konstantním napětím je vhodné proto, že zaručuje hlavní požadavek těchto akumulátorů: napětí na článku nepřekročí $2,1$ V

1.3 Nabíjení podle charakteristiky I

Charakteristika nabíječe s konstantním nabíjecím proudem je na Obr. 1.2 a)

Nabíječe s charakteristikou I se používají:

- při nabíjení malých olověných akumulátorů, nabíjení akumulátoru při definovaných (např. kapacitních) zkouškách, uvádění startovacích olověných akumulátorů do činnosti, nabíjení akumulátorů z centrálního rozvodu stejnosměrného proudu např. v nabíjárnách. Při nabíjení konstantním proudem $I = 0,1$ Q_c (A) je doba nabíjení olověného akumulátoru asi 11 až 13h
- při nabíjení niklo-kadmiovým akumulátorem je nabíjecí proud omezen teplotou elektrolytu, v praxi volíme asi $I = 0,3$ Q_c . Doba nabíjení niklo-kadmiového akumulátoru (vybitého z 80%) je asi 4 hodiny
- jsou vhodné pro nabíjení a uvádění do činnosti stříbro-zinkových akumulátorů. Podmínkou je ruční, nebo automatická kontrola na konci nabíjení



Obr. 1.2 a) Charakteristika nabíječe s konstantním proudem; b) Závislost nabíjecího proudu a napětí s charakteristikou Ia. tj. nabíjení konstantním proudem s automatickým vypínáním; (převzato z [2])

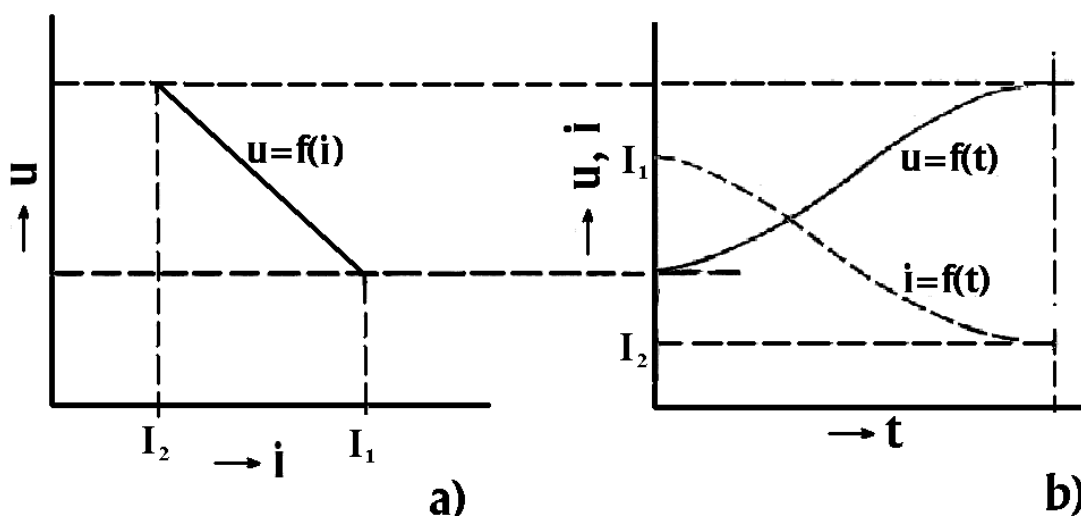
1.4 Výhody nabíječů s charakteristikou I

- zkratuvzdornost
- snadné zjištění množství energie dodané akumulátoru (násobek nabíjecího proudu a doby nabíjení)
- při nabíjení článků, nebo akumulátorů zapojených v sérii není třeba nastavovat nabíjecí proud a to ani v případě, odpojíme-li nebo připojíme další akumulátor
- k samočinnému vypínání nabíječe lze použít běžného časového spínače, přičemž na začátku nabíjení určíme a nastavíme energii, kterou je nutno do akumulátoru dodat
- není třeba používat ampérmetr, ani jiný indikátor nabíjecího proudu, je-li nabíječ určen pouze pro jeden nabíjecí proud, nebo lze regulační potenciometr, nebo přepínač označit přímo hodnotami nabíjecího proudu
- doporučené nabíjecí hodnoty akumulátorů jsou obvykle určeny výrobcem pro konstantní nabíjecí proud

Nevýhodou je poměrně značná doba nabíjení proti nabíječům s charakteristikou U u olověných akumulátorů. Tuto nevýhodu lze v případě požadavku rychlého nabíjení odstranit přepínáním nabíjecího proudu (např. dvoustupňové nabíjení).

1.5 Nabíjení podle charakteristiky W

Typická charakteristika W je na Obr.1.3 a). Vyznačuje se tím, že se zvětšujícím se svorkovým napětím na akumulátoru během nabíjení se úměrně zmenšuje nabíjecí proud. Této charakteristiky se dosahuje u většiny nabíječů tím, že se do sekundárního, nebo primárního obvodu transformátoru zařazuje omezující impedance. Někdy se využívá vnitřních impedancí samotného transformátoru. Odtud patrně pochází označení W (odpor = něm. Der Widerstand).



Obr. 1.3 a) Charakteristika nabíječe s klesajícím nabíjecím proudem (W); b) závislost nabíjecího napětí a proudu na čase, $u = f(t)$, $i = f(t)$, kde I_0 je počáteční proud, I_2 je konečný nabíjecí proud; (převzato z [2])

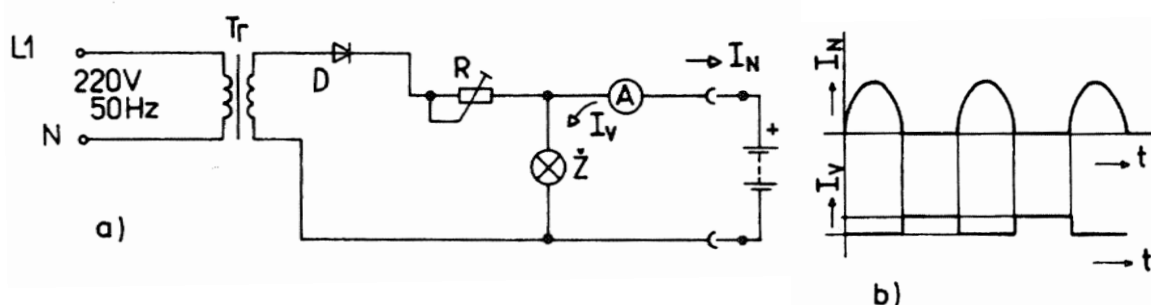
Nabíječe s charakteristikou W jsou vhodné pro rychlé nabíjení. Pro různé druhy akumulátorů je však pro optimální nabíjení vhodný různý sklon charakteristiky W, takže lze takové nabíječe těžko konstruovat jako univerzální bez možnosti přepínání odboček transformátoru a impedancí.

Používání nabíječe s charakteristikou W vyžaduje větší dohled během nabíjecího cyklu. Je zpravidla nutné, aby byl nabíječ vybaven kontrolním ampérmetrem. Obtížně se stanoví energie, dodaná při nabíjení do akumulátoru a zpravidla nelze dobře určit dobu nutnou pro nabití, tak jako tomu bylo u nabíječů s charakteristikou I. Další nevýhodou je podobně jako u akumulátoru s charakteristikou U značné proudové zatížení nabíječe při připojení poškozeného akumulátoru nebo při zkratu. Při konstrukci nabíječe je nutno s touto situací počítat a nabíječ jistit, neboť by mohlo dojít ke zničení transformátoru a dalších částí nabíječe. Kontrola teploty je vhodná u jakéhokoliv nabíjení. Nabíječe se doplňují časovými spínači, jimiž lze po uplynutí nastaveného času ukončit nabíjení, nebo přepnout jinou charakteristiku, tzv. dvojstupňové nebo vícestupňové nabíjení.

1.6 Dobíjení článků nesymetrickým střídavým proudem

Pokud nabíjíme akumulátor proudem, který má takový charakter, že po každém časovém intervalu v němž se akumulátor nabíjí následuje časový interval, při němž se akumulátor částečně vybíjí (proud protéká opačným směrem než při nabíjení), získáme určité přednosti proti trvalému nabíjení stejnosměrným, nebo pulzujícím proudem. Jako nejvhodnější poměr vybíjecího proudu k nabíjecímu se doporučuje 1:5 až 1:10.

Princip této metody vychází z patentu Ernesta Beera (US Patent 2752550 z roku 1954). Vybíjecí proud má depolarizační účinky na elektrodách a tím se zvětšuje účinnost nabíjení. Tato metoda byla využívána u některých galvanizačních technologií pro zlepšení kvality galvanických vrstev a pro nabíjení lze využít u většiny typů článků. V literatuře se uvádí, že olověný akumulátor vykazovat po několika nabíjecích cyklech s využitím této metody kapacitu 80% jmenovité hodnoty proti kapacitě 40% (měřeno hustoměrem) před zahájením prvního nabíjecího cyklu. Šesti voltová autobaterie byla nabíjena tímto způsobem: při prvním nabíjení se použil nabíjecí proud 3 A, potom se baterie vybila a nabíjela se proudem 5 A. Následovalo opětovné vybití a nabíjení proudem 8 A. Při všech nabíjeních byla trvale paralelně k baterii připojena žárovka 6 V/ 5 W (žárovka způsobuje zpětné vybíjení – protiproud, stejnou funkci splní i rezistor). Baterie potom ještě rok sloužila svému účelu ve voze, ve kterém nebyla dříve schopna nastartovat motor. Princip zapojení takového nabíječe je na Obr.1.4.



Obr. 1.4 a) Schéma doplnění nabíječe pro nabíjení nesymetrickým střídavým proudem se zpětným vybíjením; b) průběhy proudu (I_N je nabíjecí proud, I_V vybíjecí zpětný proud; ideální poměr je $I_V/I_N = 1/10$); (převzato z [2])

Tímto způsobem je možné někdy „oživit“ baterii, která nemá vyčerpány nebo zhodnoceny aktivní hmoty na deskách.

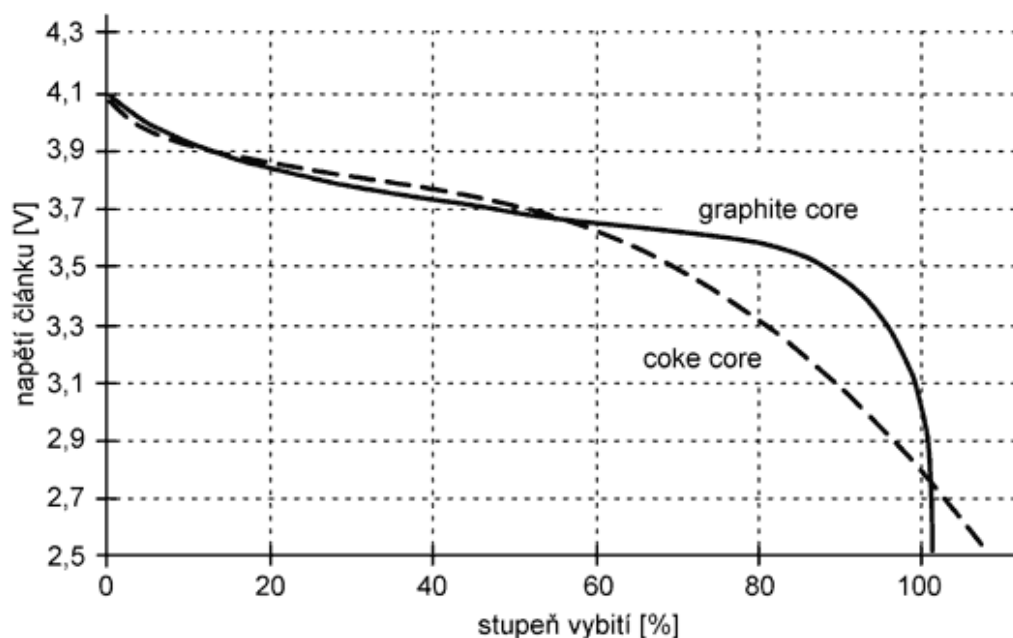
K nabíjení tímto způsobem lze použít většinu z dále popisovaných nabíječů, které nabíjejí akumulátor nefiltrovaným, nejlépe jednocestně usměrněným proudem. K výstupním svorkám nabíječe se paralelně se k nabíjené baterii připojí rezistor nebo žárovka, tak aby měřicí přístroj měřil v tlení hodnotu nabíjecího i vybíjecího proudu, tekoucího baterií. Protože jde o střídavé veličiny, je nejvhodnější pro nastavení poměru nabíjecího a vybíjecího proudu použít osciloskop. Zejména a u nabíječů, využívajících tyristory jsou poměry na akumulátoru v časovém průběhu nabíjení odlišné. Baterii musíme po nabití odpojit, neboť by se vybíjecím prvkem po vypnutí nabíječe brzy vybila. To platí např. pro nabíječe s automatickým vypínáním.

2 VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY NABÍJECÍCH AKUMULÁTORŮ

2.1 Li-ion akumulátory

2.1.1 Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení

Akumulátory Li-ion jsou velmi kvalitním zdrojem energie - malé, lehké a výkonné. Mají malé samovybíjení a jednoduše se nabíjejí. Je však třeba s nimi zacházet šetrněji než s akumulátory NiCd nebo NiMH. Hodí se pro přístroje s malým a středním odběrem.



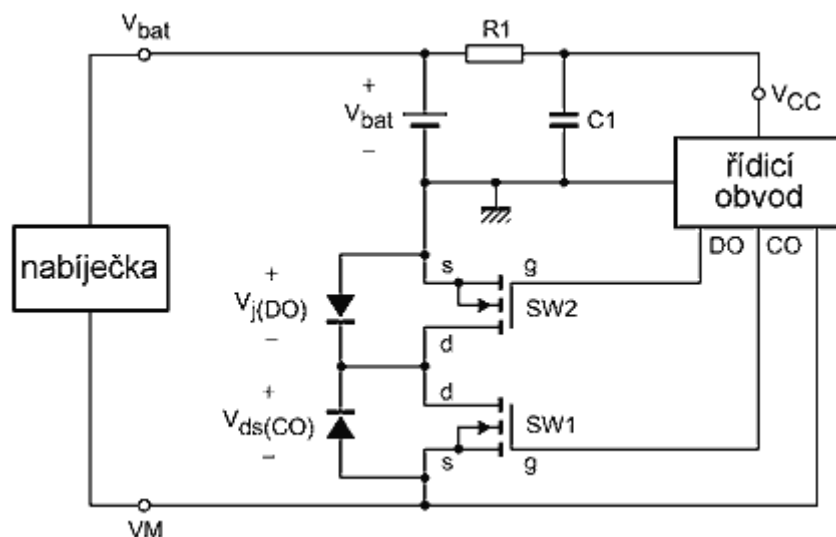
Obr. 2.1 Typická vybíjecí křivka akumulátoru Li-ion (převzato z [3])

V praxi se dnes můžeme setkat se dvěma typy Li-ion akumulátorů, které se liší provedením záporné elektrody (u akumulátorů je to anoda). V obou případech je to uhlík, v prvním jako „coke“, v druhém ve formě grafitu. Akumulátory s „coke“ anodou používají mikrokrytalickou formu uhlíku, která se dříve označovala také jako amorfni uhlík. Je shodná s grafitem, ale na rozdíl od něj má jen nepatrné a neorientované krystaly. Tyto akumulátory se liší tvarem vybíjecí křivky (viz Obr. 2.1), nabíjecím napětím a napětím, při kterém je třeba ukončit vybíjení. Základní údaje jsou uvedeny v Tab. 2.1 a). Pro úplnost je třeba uvést, že se vyrábějí i akumulátory s grafitovou anodou, které mají díky upravené technologii výroby nabíjecí napětí 4,2 V a vybíjecí 2,5 V. Ve vývoji jsou lithium-polymerové akumulátory, umožňující dosáhnout ještě větší energetické hustoty v článku. Tyto články však zatím rychle degradují a umožňují jen malý počet nabíjecích cyklů. Orientační porovnání akumulátorů Li-ion s akumulátory NiCd, NiMH, SLA a RAM je v Tab. 2.1 b)

Tab. 2.1 a) Typy Li-ion akumulátorů, b) Orientační porovnání vlastností běžných typů akumulátorů

a)			b)					
typ	Max. nabíjecí napětí [V]	Konečné vybíjecí napětí [V]	Typ akumulátoru	NiCd	NiMH	SLA	RAM	Li-ion
coke	4,2	2,5	Jmenovité napětí [V]	1,2	1,2	2	1,5	3,6
graphite	4,1	3	Hustota energie [Wh/l]	140	180	85	380	200
			Hustota energie [Wh/kg]	39	57	30	-	90
			Samovybíjení [%/den]	1	1,5	0,1	0,01	0,5
			Počet nabíjecích cyklů	1000	500	>1000	20	400
			Rychlonabíjení	15min	30min	1h	-	1h

S Li-ion akumulátory se setkáme buď ve formě jednotlivých článků, nebo tzv. „akupaků“ pro mobilní přístroje. Jednotlivé články používají nejčastěji modeláři ve špičkových modelech. Akupaky pak nalezneme v mobilních telefonech, přenosných počítačích a videokamerách. Akupaky bývají vybaveny ochranným obvodem, který zamezuje zničení, případně i explozi článku při nesprávné manipulaci nebo závadě napájeného přístroje či nabíječky. Ochranný obvod zpravidla hlídá minimální a maximální napětí článku, případně i maximální vybíjecí a nabíjecí proud. Pokud je překročen maximální proud nebo povolený rozsah napětí, obvod článek odpojí. Jedno z možných zapojení ochranných obvodů je na Obr. 2.2. Z uvedeného zapojení je zřejmé, že vývody akupaku nejsou připojeny k článku přímo. Ochranný obvod odebírá z článku trvale proud řádu jednotek až desítek mikroampér. Akupaky dále bývají osazeny termistorem, který informuje nabíječku o teplotě článku.



Obr. 2.2 Ochranný obvod s SAA1502 (Philips); (převzato z [3])

Konstrukce článků

Typický Li-iontový článek má válcový tvar. Jeho konstrukce je velmi podobná jako u systémů Ni-Cd, Ni-MH či Ni-Zn.

Elektrody

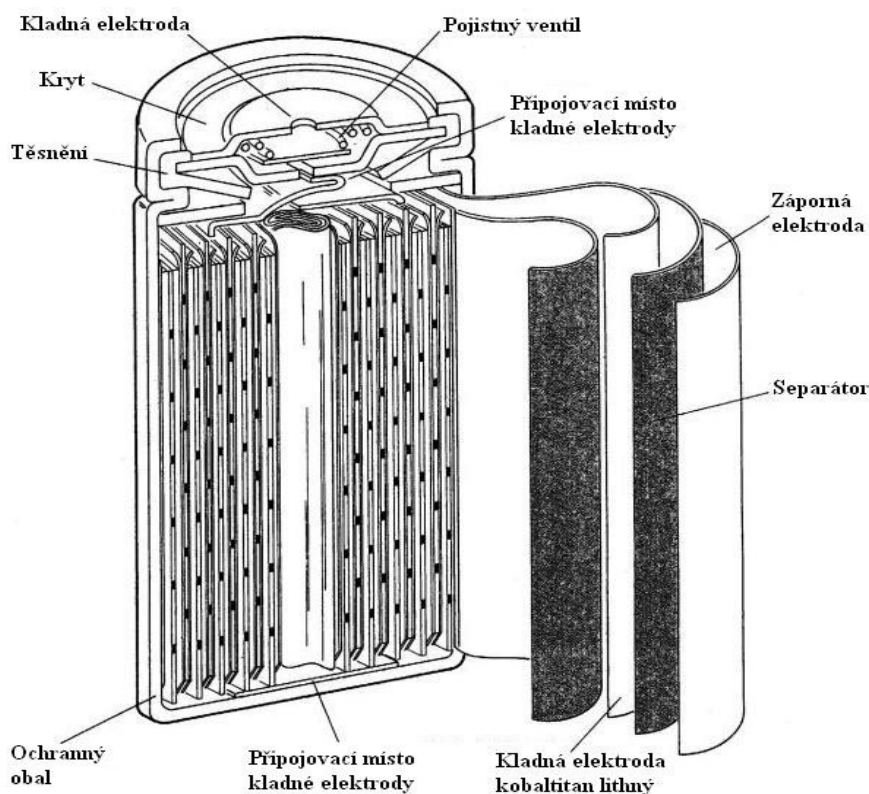
Elektrody obou polarit jsou velmi tenké (kolem 200 μm). Kolektory záporných elektrod bývají z měděné fólie (tloušťka 18 μm), zatímco u kladných elektrod to bývají fólie hliníkové (tloušťka 25 μm). Na nich jsou naneseny aktivní elektrodové materiály.

Separace

Různí výrobci používají různé separační materiály, většinou jsou to však velmi tenké porézní fólie z polyethylenu či polypropylenu.

Elektrolyt

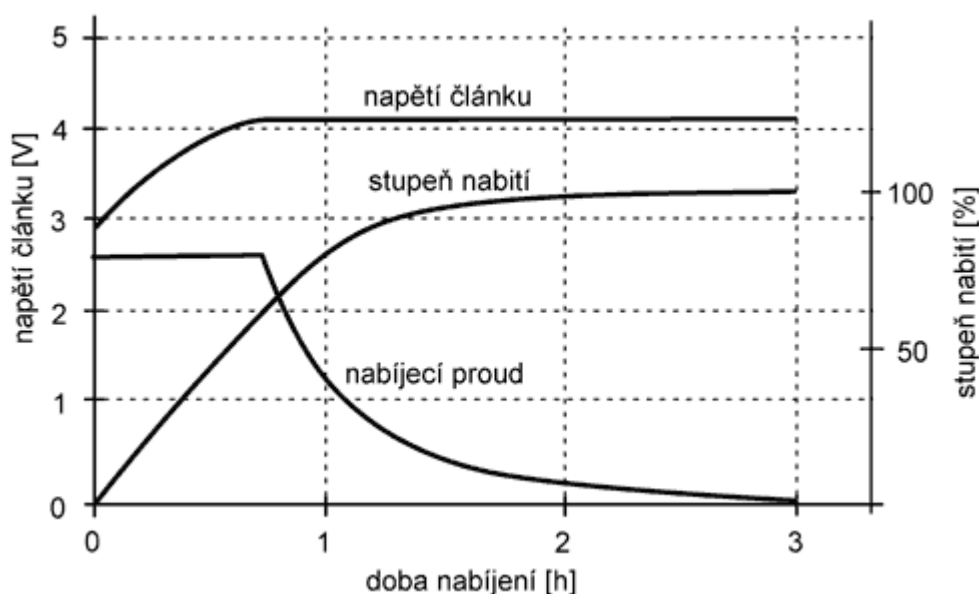
Elektrolyt se skládá z vodivé soli a rozpouštědla. Opět podle výrobců se složení elektrolytu liší. Poměr mezi vodivou solí a rozpouštědlem se volí takový, aby elektrolyt byl maximálně vodivý. Jako rozpouštědlo se používají různé směsi etylen-, propylen, dimetyl-, diety- či metyletylkarbonát. Vodivou solí bývá např. LiPF_6 .



Obr. 2.3 Vnitřní konstrukce Li-ion článku; (převzato z [3])

2.1.2 Nabíjení Li-ion

Akumulátory Li-ion se nabíjejí standardně ze zdroje napětí s omezením nabíjecího proudu. Podobným způsobem se nabíjejí také bezúdržbové olověné akumulátory SLA a alkalické akumulátory RAM. Při nabíjení Li-ion je třeba velmi přesně dodržet konečné nabíjecí napětí mnohem přesněji, než je tomu u akumulátorů SLA a RAM. Uvádí se, že již malé překročení nabíjecího napětí podstatně zkrátí dobu života článku, při napětí menším se článek nenabije na plnou kapacitu. Konečné nabíjecí napětí je podle typu článku 4,1 V nebo 4,2 V, a je třeba je dodržet s přesností $\pm 1\%$. Naopak nabíjecí proud není třeba přesně dodržet, bude-li menší, bude nabíjení jen trvat déle. Maximální nabíjecí proud uvádějí výrobci od 0,1 do 2 C. Jednotkou C se myslí jmenovitá kapacita článku. Bude-li mít článek kapacitu např. 900 mAh a povolený nabíjecí proud 0,5 C, můžeme jej nabíjet proudem až 450 mA.

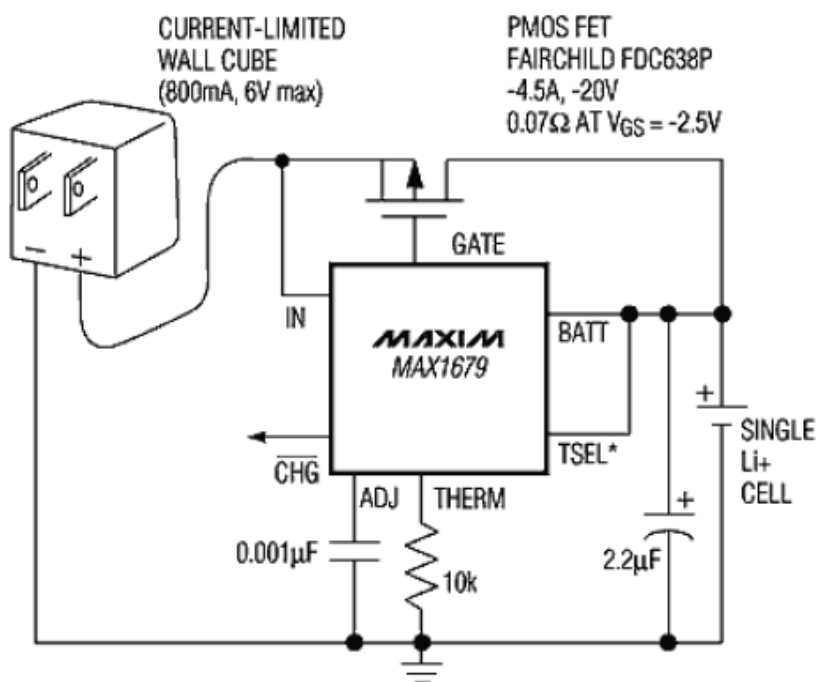


Obr. 2.4 Průběh napětí a proudu při nabíjení akumulátoru Li-ion; (převzato z [3])

Typický průběh nabíjení článku Li-ion je na Obr. 2.4 platí pro nabíjení proudem 1 C. Z obrázku je patrné, že článek se nabíjí velmi rychle. V první fázi se článek nabíjí proudem tak dlouho, dokud napětí na článku nedosáhne konečného nabíjecího napětí. Nabíjecí proud ani nemusí být konstantní, stačí když nepřekročí maximální nabíjecí proud. V okamžiku, kdy napětí článku dosáhne konečného nabíjecího napětí, je článek nabit přibližně na 70 %, pokud byl předtím téměř vybit. Byl-li článek vybit jen částečně, je v tomto okamžiku jeho náboj větší. Rovněž při nabíjení menším proudem bude v okamžiku dosažení konečného napětí náboj článku větší, nabíjení však trvá pochopitelně déle. V druhé fázi se článek nabíjí konstantním napětím a nabíjecí proud se postupně zmenšuje. Článek považujeme za nabitý, pokud nabíjecí proud poklesne na zlomek původního nabíjecího proudu, většinou asi 0,05 C. Nabíjecí proud se postupně zmenší až k nule. To je výhoda, neboť nehrozí přebití článku. Doba nabíjení nemusíme

hlídat a články může být v nabíječce libovolně dlouho. Nabíječka může rovněž bez jakéhokoli nastavování nabíjet články s různou kapacitou, stačí zajistit, aby ani u článku s nejmenší kapacitou nebyl překročen maximální nabíjecí proud. Články s větší kapacitou se budou nabíjet déle. Pro úplnost je třeba se zmínit o nabíjení nových a hluboce vybitých článků. Tyto články se nabíjejí velmi pomalu proudem řádu jednotek miliampér tak dlouho, dokud jejich napětí nedosáhne 2,7 až 3 V. Takové formování článku trvá velmi dlouho, řádově hodiny. Články nelze rovnou nabíjet velkým proudem, mohly by se vážně poškodit. V praxi asi nebudete muset články formovat. Elektronické obvody přístrojů napájených akumulátory Li-ion zpravidla zařízení vypnou dříve, než je článek zcela vybit. Poslední pojistkou je ochranný obvod v akupaku.

K nabíjení akumulátorů Li-ion byla vyvinuta řada speciálních integrovaných obvodů. Na Obr. 2.5 je nabíječka s obvodem MAX1679. I tento obvod potřebuje zdroj s omezením proudu. Regulační tranzistor však pracuje v impulsním režimu a není třeba jej chladit. Obvod testuje každé 2 ms napětí článku a pokud je větší než konečné napětí, uzavře tranzistor. Počet „prázdných“ cyklů se postupně zvětšuje a je tak simulováno zmenšování nabíjecího proudu. Při dostatečně velkém poměru „prázdných“ a „plných“ cyklů obvod nabíjení ukončí. IO zajišťuje také formování hluboce vybitého článku proudem 5 mA a znovu začne nabíjet článek, pokud jeho napětí poklesne pod 3,89 V.



Obr. 2.5 Nabíječka s MAX1679; (převzato z [3])

2.2 Baterie NiCd a NiMH

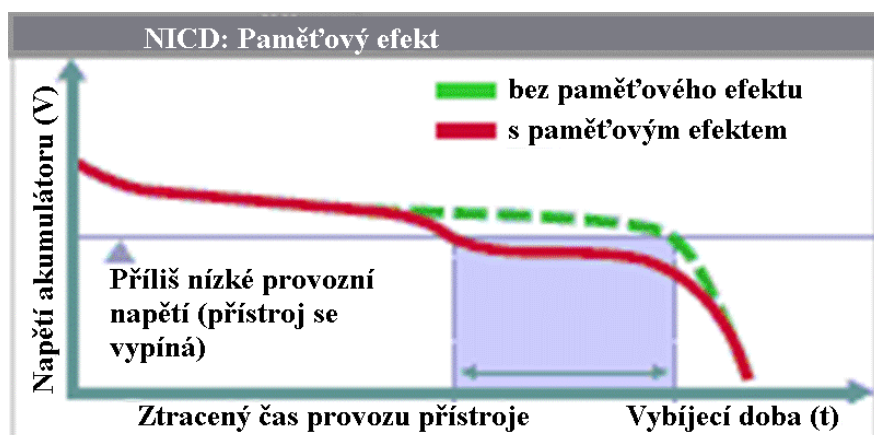
Niklové akumulátory jsou levné, dokáží ale uskladnit jen málo energie. Při dodržení speciální nabíjecí techniky zůstanou dlouho v dobrém stavu.



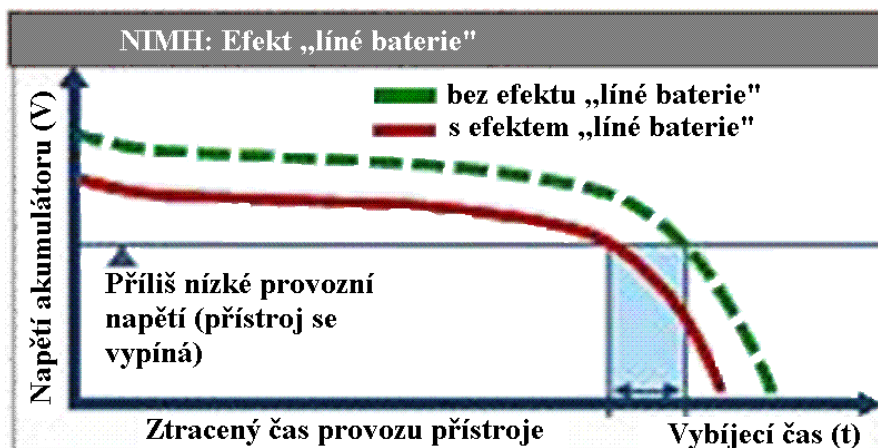
Obr. 2.6 Energetická bilance akumulátoru;

Špatná technika nabíjení může znamenat velké nepříjemnosti. Správná péče je velmi důležitá z hlediska udržení kapacity akumulátoru. Příliš časté dobíjení a zanedbaná údržba mohou snížit jeho kapacitu o 40 až 50 %. Energetickou bilanci akumulátoru si můžeme představit rozdělenou na tři oblasti – viz. Obr. 2.6. energii z "prázdné zóny" již spotřebič vyčerpá - tu lze znovu dobít.

"Užitečná zóna" obsahuje energii, kterou spotřebič ještě může odebrat. Žádnou použitelnou energii už však nenajde v "oblasti usazenin", která se s přibývajícím stářím, při špatné údržbě a při přetěžování článku zvětšuje. Důsledkem pak je, že i po plném nabití akumulátor rychle ztrácí energii.



Obr. 2.7 a) Vybijecí křivka článku NiCd, (převzato z [5])



Obr. 2.8 a) Vybíjecí křivka článku NiMH, (převzato z [5])

Vybíjecí křivka článku NiCd: Obr. 2.7. Zdravý článek (zeleně) drží napětí, dokud není zcela vybit. Při nesprávné technice nabíjení (červeně) poklesne napětí dříve a přístroj se vypne předčasně.

Vybíjecí křivka článku NiMH: Obr. 2.8. Při nesprávné údržbě dává článek nižší napětí (červeně). Oproti stavu s dobře udržovaným článkem (zeleně) se tím zkracuje doba provozu přístroje.

U článků typu NiCd a NiMH je oblast usazenin tvořena (na rozdíl od připojeného schematicky pojatého vyobrazení) krystalickými nánosy na elektrodách, což se v provozu projevuje jako tzv. paměťový efekt (Memory-effect) u NiCd (el. článek si pamatuje stav, v němž začalo dobíjení, a považuje jej za počáteční) nebo efekt "líné baterie" (Lazy Battery Effect) v případě NiMH (viz připojené grafy). S dobrou nabíječkou je však možné niklové akumulátory usazenin zbavit, a to vícenásobným opakováním nabíjecích a vybíjecích cyklů - potom usazeniny zpravidla zmizí a článek je téměř jako nový.

Vnitřní odpor článku:

Čím nižší, tím delší provoz. Akumulátor dodává plný výkon, jen je-li jeho vnitřní odpor co nejnižší. Pouze tehdy udrží napětí i v případě, že spotřebič odebírá hodně proudu. Taková situace například nastane, když se mobilní telefon přihlašuje do sítě v nepříznivých rádiových podmínkách, nebo když notebook velmi často pracuje s diskem.

Velký vnitřní odpor škrtí průtok proudu článkem: potřebuje-li přístroj krátkodobě hodně proudu, napětí akumulátoru v důsledku velkého odporu poklesne i když je nabit na maximální hodnotu.

Na to však zareaguje obvod přístroje hlídající vybití akumulátoru a způsobí jeho předčasné odpojení, ačkoliv je v něm stále ještě nevyužitá energie.

Dobré NiCd akumulátory vykazují malý vnitřní odpor, jen asi 10 až 15 mW. Takzvané slinuté články, zvláštní forma NiCd akumulátoru s impedancí jen 4 až 10 mW, se vyskytují ve spotřebičích s velmi vysokým odběrem proudu, jako jsou akumulátorové vrtačky a profesionální fotografické blesky. Ani po více než 1500 nabíjecích cyklech se vnitřní odpor dobře udržovaného niklokadmiového akumulátoru prakticky nezvýší.

Horší je to s články typu NiMH: jejich vnitřní odpor bývá na počátku mezi 20 a 30 mW, po nějakých 300 až 400 nabíjecích cyklech se však zpravidla zvyšuje zhruba o 50 % - pak už se akumulátor rychle unavuje a patří do sběru.

2.3 Důležité pojmy z oblasti teorie akumulátorů

Pro schopnost pochopit lépe akumulátorové články je dobré znát několik základních pojmů: kapacita, vnitřní odpor a paměťový efekt, resp. efekt líné baterie, poměrný nabíjecí proud, atd..

Kapacita akumulátoru

Kapacita se nejčastěji udává v miliampérhodinách (mAh). Například údaj 1000 mAh znamená, že akumulátor může dodávat proud 1000 mA po dobu jedné hodiny nebo třeba 200 mA po dobu pěti hodin apod. Potom je akumulátor vybit a při zatížení neudrží napětí. Tužkové články NiMH dnes dosahují kapacity kolem 2200 mAh, bloky lithiových baterií v notebooku mohou dosáhnout i na více než 6000 mAh.

Samovybíjení

Jaká část kapacity ubude za jeden den, zjišťujeme tímto postupem: Plně nabitý niklový akumulátor na den uskladníme při 21 °C a pak změříme jeho aktuální náboj. Poměr hodnoty naměřené bezprostředně po nabití a po 24hodinovém uskladnění představuje koeficient samovybíjení (udáváme jej v procentech).

Poměrný nabíjecí/vybíjecí proud

Tento pojem zavádíme proto, aby bylo možné vyjádřit velikost nabíjecího či vybíjecího proudu (což jsou jisté charakteristické údaje pro jednotlivé typy akumulátorů) nezávisle na konkrétní kapacitě článku. Udává se (v mA či A) jako násobek čísla C , které zastupuje jmenovitou (číselnou) hodnotu kapacity (udané v mAh či Ah). Je-li například článek o kapacitě 1000 mAh nabíjen (vybíjen) poměrným proudem $3 C$, znamená to, že v absolutním vyjádření jde o proud $3 \times 1000 \text{ mA}$, tedy 3 A.

Impedance neboli vnitřní odpor

Čím menší je vnitřní odpor, tím později poklesne napětí při velkých proudech a akumulátor se méně zahřívá. U typu NiMh se vnitřní odpor zvětšuje tím více, čím častěji je nabíjen. V tomto směru jsou na tom nejlépe články NiCd, jejichž vnitřní odpor se téměř nemění.

Čím nižší je vnitřní odpor článku, tím lépe jím protéká proud. Pokud se vnitřní odpor akumulátoru (u lithiových typů v důsledku stárnutí, u niklových kvůli nesprávnému nabíjení) zvýší, jím napájený přístroj se vypne třeba už po několika minutách provozu. Se svými zhruba 100 miliohmů ($m\Omega$) vykazují nejnižší vnitřní odpor články NiCd, následovány typy Li-Ion (150 $m\Omega$) a Li-Pol (200 $m\Omega$). Nejhorší jsou na tom články NiMH, jejichž vnitřní odpor přes 200 $m\Omega$ může v důsledku špatné údržby vzrůst až na více než 350 $m\Omega$.

Paměťový efekt a efekt "líné baterie"

Niklové akumulátory špatně snášejí, pokud se používají v mírném zatížení - typy NiCd pak postihne tzv. paměťový efekt, u NiMH hrozí efekt "líné baterie".

Oba tyto nepříznivé jevy vznikají v důsledku častého nabíjení příliš nízkým proudem (např. 0,1 C) nebo pokud zapomenete plný akumulátor čas od času zcela vybit. Pak se na elektrodách tvoří drobné krystalky, což může zkrátit dobu provozu až o 90 %, neboť tím naroste vnitřní odpor a při zatížení pak spadne napětí. Oba efekty jsou podobné - až na jeden rozdíl. Efekt líné baterie nenastává tak náhle jako efekt paměťový.

Z hmotnosti a naměřené kapacity určujeme specifickou kapacitu. Jednotkou je Wh/kg (watthodina na kilogram). Čím vyšší je tato hodnota, tím lépe. Navzdory malé váze dodává akumulátor více energie.

Akumulátory NiCd a NiMH jsou nejlevnější, nejrobustnější a mají také nejdelší životnost - vydrží 700 až 1000 nabíjecích cyklů.

2.4 Vhodná doporučení

Správná údržba

Niklové akumulátory vydrží déle, pokud je jednu až dvě hodiny podrobíme rychlonabíjení velkým proudem pomocí počítačově řízené nabíječky. Pro správnou údržbu je ovšem zapotřebí nabíječka, která akumulátor umí nejen nabíjet, ale i vybíjet (oživení) - tak odvrátíme nebezpečí paměťového efektu i efektu "líné baterie". Jestliže niklový akumulátor nechceme delší dobu (několik měsíců) používat, měli bychom jej vybit a uložit do chladničky při 0 až cca 8 °C. Ale pozor, ne do mrazničky - teploty hlouběji pod nulou mají na akumulátor spíše negativní účinky.

Odstranění paměťového efektu a efektu „líné baterie“

S počítačově řízenou rychlonabíječkou můžeme starší a méně účinné NiCd a NiMH akumulátory skoro stoprocentně regenerovat. Tyto přístroje dokáží kromě nabíjení také vybíjet. Při tomto postupu se akumulátor nejprve vybije na cca 0,9 až 1 V v jednom článku a hned poté je nabit na plnou kapacitu (1 C). Celý proces některé inteligentní nabíječky opakují dvakrát až třikrát, což umocňuje konečný výsledek. Takovémuto ošetření, při němž u baterií NiCd a NiMH mizí paměťový efekt či efekt "líné" baterie, se v odborném žargonu říká "cyklování" nebo také "trénování" akumulátoru.

Oživení „unaveného“ akumulátoru i bez vybíjecí funkce

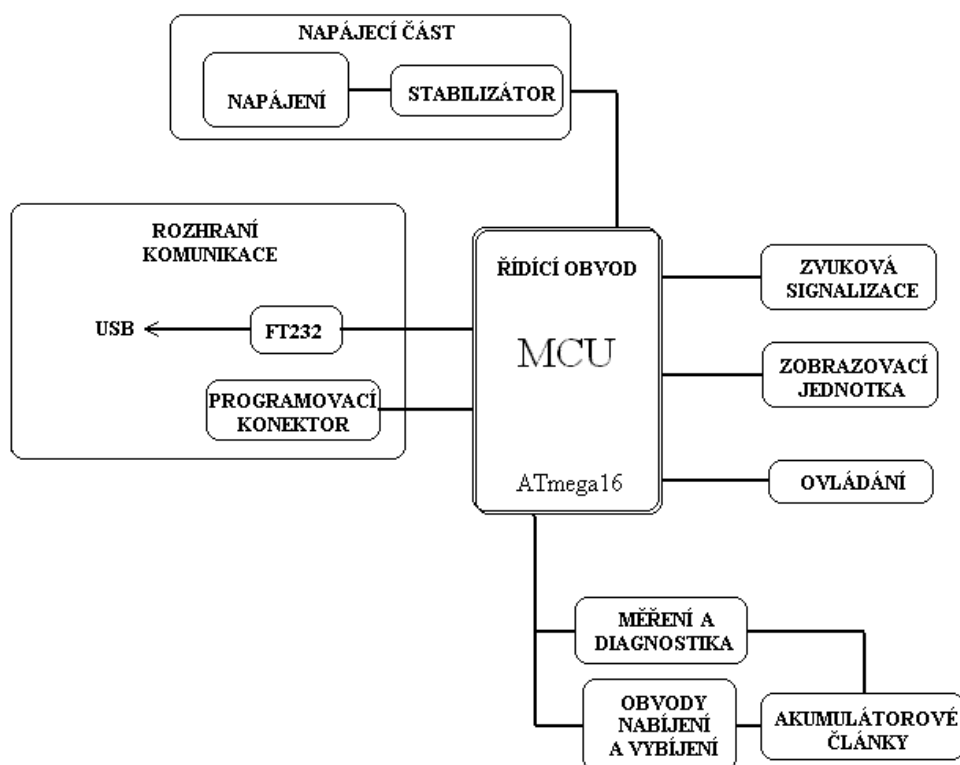
Unavený akumulátor však můžeme bez problémů oživit i pomocí rychlonabíječky, která nemá vybíjecí funkci. Necháme jej v jakémkoli přístroji pracovat tak dlouho, než se zcela vybije, a pak jej rychlonabíječkou úplně nabijeme. Když tento postup u niklových akumulátorů dvakrát až třikrát zopakujeme, paměťový efekt nebo efekt "líné" baterie u nich zmizí. Spolehlivě to však funguje jen tehdy, když se nabíjí velkým poměrným proudem (nejméně 0,5 až 1 C).

NiMH články nikdy nenabíjet NiCd nabíječkou

Nikdy nepřipojujme akumulátor NiMH k nabíječce určené jen pro typ NiCd, neboť by mohlo dojít k jeho přebití a přehřátí. To má následující důvod. Oba typy sice mají podobnou nabíjecí křivku (viz Obr. 2.7 a 2.8), ale napěťový "hrbol" je u metalhydridových článků méně výrazný než u kadmiových. Proto musí vypínací automatika NiMH nabíječek reagovat mnohem citlivěji, než jak to postačuje pro typ NiCd. Aby se tomuto úskalí vyhnuly, bývají rychlonabíječky mnoha výrobců vybaveny přepínačem pro NiCd a NiMH.

3 NÁVRH NABÍJEČE AKUMULÁTORŮ S MIKROKONTROLÉREM

Nejdůležitější částí práce je samotný návrh, konstrukce a ověření funkčnosti inteligentního nabíječe. Požadavky jsou kladeny na sestavení univerzálního nabíječe a vybíječe pro nejčastěji používané baterie Li-ion, NiMH, NiCd, SLA. Přístroj by měl být schopen nabíjet jeden, maximálně však dva akumulátorové články, a také diagnostikovat a měřit nejdůležitější parametry akumulátorů. Veškeré parametry nabíjení se nastavují a hlídají přes mikrokontrolér ATmega16 firmy AVR, který upravuje nabíjecí charakteristiku dle okamžitého stavu baterií. Vyhodnocuje naměřená data a přes ovládací tlačítka komunikuje s uživatelem. Důležité parametry budou zobrazeny přes LCD display. Komunikace s PC pak bude probíhat přes USB rozhraní za pomoci jednočipového převodníku FT232RL. Počítačem bude možné programovat mikrokontrolér, případně získávat aktuální stavy baterie a pomocí příslušných programů graficky zobrazovat skutečné nabíjecí a vybíjecí charakteristiky. Zařízení bude doplněno o diagnostiku a měření důležitých parametrů akumulátorových článků jako například: teplota článku, kapacita, vnitřní odpor a podobně. Blokové schéma navrhovaného zapojení je na Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Blokové schéma nabíječky řízené mikrokontrolérem

Jednou z nejdůležitějších částí navrhované nabíječky bude samozřejmě mikrokontrolér. Vhodným pro danou aplikaci se jeví mikrokontrolér s označením ATmega16 od firmy Atmel. Obsahuje všechny potřebné periferie i paměťové možnosti pro danou aplikaci. Pro prvotní naprogramování mikrokontroléru, či v případě „zamrznutí“ programu je nutné použít programovací konektor. Pro komunikaci bude možné použít sériovou komunikaci přes USB konektor. Z hlediska konstrukce je kladen důraz na vhodné rozmístění součástek, jak z důvodu celkové velikosti zařízení, tak z pohledu pohodlného ovládání a užívání nabíječky. V omezené míře je použito SMD součástek a oboustranné desky.

Požadavky na nabíječ:

- nabíjení standardně používaných nabíjecích akumulátorů (NiMH, NiCd, Li-ion, SLA)
- vybíjení akumulátorů nastavitelným proudem za účelem zjištění jeho stavu
- zjišťování stavu baterií – měření kapacity baterií
- detekce ukončení nabíjení, detekce poruchy – překročení maximálního a minimálního proudu a napětí, překročení teploty
- záznam okamžitých hodnot napětí a proudu do externí paměti k následnému možnému zpracování v PC
- měření nabíjecích a vybíjecích charakteristik
- samostatné ovládání a nastavení všech potřebných parametrů přes ovládání nabíječe
- možnost aktualizovat a doplňovat program nabíječe
- dosažení kompaktních rozměrů pro snadnější manipulaci

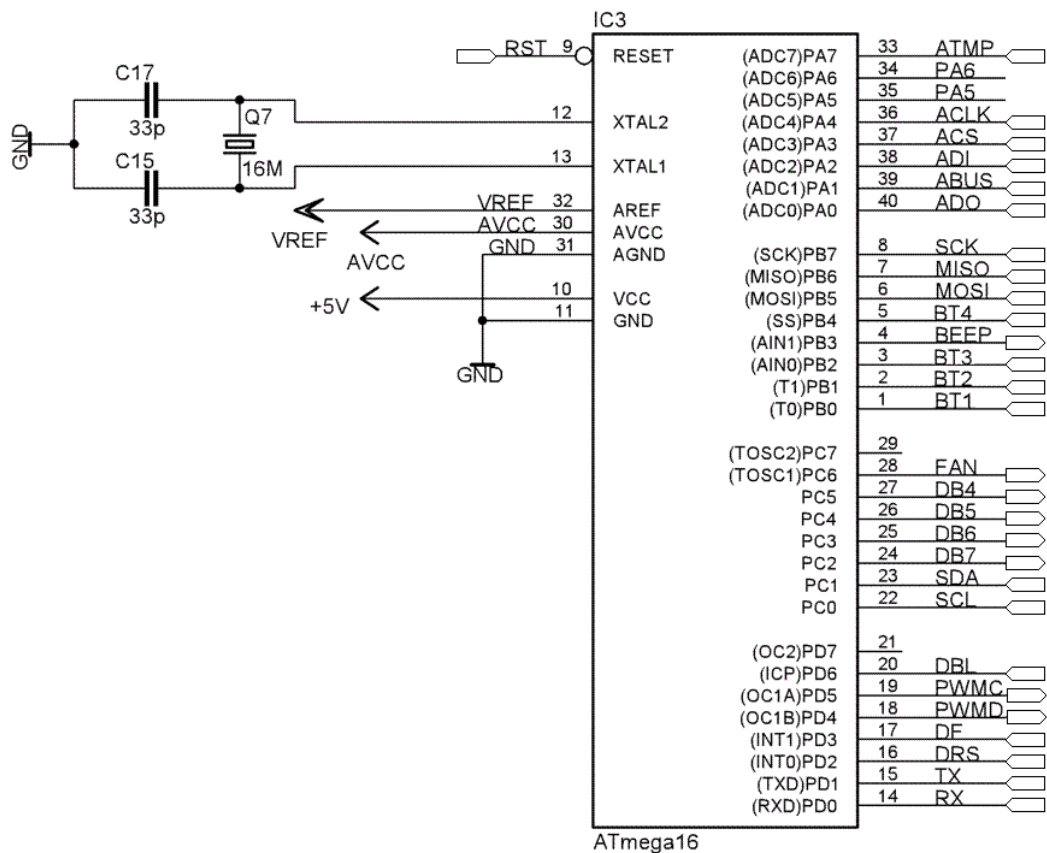
3.1 Ovládací a řídicí část

3.1.1 Mikrokontrolér ATmega16

Nejdůležitější součástí celého nabíječe je mikrokontrolér, který obsluhuje a kontroluje celý proces nabíjení a vybíjení akumulátorů. Pro aplikaci nabíječky je parametrově dostačující mikrokontrolér od firmy Atmel s označením ATmega16. Zpracovává a vyhodnocuje diagnostikovaná data z nabíjení. Komunikuje, posílá a přijímá data z externího PC.

Rozhraní pro programování – SPI je vyvedeno na JISP konektor. Pro nutné náročnější výpočtové operace využívám maximální kmitočet oscilátoru 16 MHz. Je použit krystal X3-16MHz pro oscilátor, který je dostatečně stabilní a vhodný pro měření času v desítkách hodin. V našem případě je dobrá stabilita oscilátoru potřebná k měření kapacity baterie.

Konfiguraci pinů mikrokontroléru Atmega16 můžeme vidět na Obr. 3.2.



Obr. 3.2 Zapojení mikrokontroléru Atmega16

Základní údaje:

- velmi výkonný, nízká spotřeba AVR 8-bitového mikrokontroléru
- pokročilá technologie RISC
- 131 vykonávaných instrukcí – většina jednotaktně vykonávaných
- 32 x 8 Hlavních operačních registrů
- propustnost do 16 000 000 instr./s při 16 MHz
- dvoutaktní multiplikátor na jednom čipu
- energeticky nezávislý program a paměťová data
 - 16 kB flash paměti
 - výdrž: 10 000 cyklů zápis/výmaz
 - 512 B EEPROM
 - výdrž: 100 000 cyklů zápis/výmaz
 - 1 kB interní SRAM
 - programovatelný zámek pro softwarovou bezpečnost

Vstupy, výstupy a pouzdra:

- 32 programovatelných vstupů/výstupů
- 40 pinový PDIP, 44-pinů TQFP, 44-pinů MLF

Pracovní napětí:

- 4,5 – 5,5 V (ATmega16)

Rozsah pracovní frekvence:

- 0 – 16 MHz (ATmega16)

3.2 Napájecí část

Nabíječka je napájena napětím 12 V z externího zdroje přes napájecí konektor 2,1mm. Pro případy testování a programování nabíječky byl použit regulovatelný zdroj s maximálním výstupním napětím 12 V a proudem 4 A. Napětím 12 V je napájena výkonová část, proto není potřeba mít dané napětí stabilizované. Ovšem pro ostatní důležité obvody jako mikroprocesor, A/D převodník či operační zesilovač je nutno dodat stabilizované napětí 5 V. K tomuto účelu je do obvodu zařazen lineární integrovaný stabilizátor L7805 umístěný v pouzdře TO-220, který, na rozdíl od spínaného stabilizátoru, nepotřebuje ke své funkci prakticky žádné externí součástky. Nižší účinnost asi 42% není v tomto případě na závadu. Maximální ztrátový výkon si můžeme určit dle následujícího výpočtu:

Vstupní napětí je $V_{in} = 12$ V, výstupní napětí $V_{out} = 5$ V, výstupní proud – 100 mA.

Výpočet ztrátového výkonu:

$$P_{ZTR} = \frac{U_{IN} - U_{OUT}}{I_{OUT}} = \frac{12 - 5}{0,1} = \underline{\underline{0,7 \text{ W}}} \quad (3.1)$$

Nyní je potřeba vypočítat jaký výkon je pouzdro bez chladiče schopné odvést do okolí. Využijeme přitom informací udávaných výrobcem v katalogu. Ztrátový výkon vypočteme následujícím způsobem:

$$P_{ZTR_7805} = \frac{(T_J - T_A)}{R_{THJ}} = \frac{(125 - 25)}{50} = \underline{\underline{2 \text{ W}}} \quad (3.2)$$

T_J – povolená teplota přechodu čipu (°C)

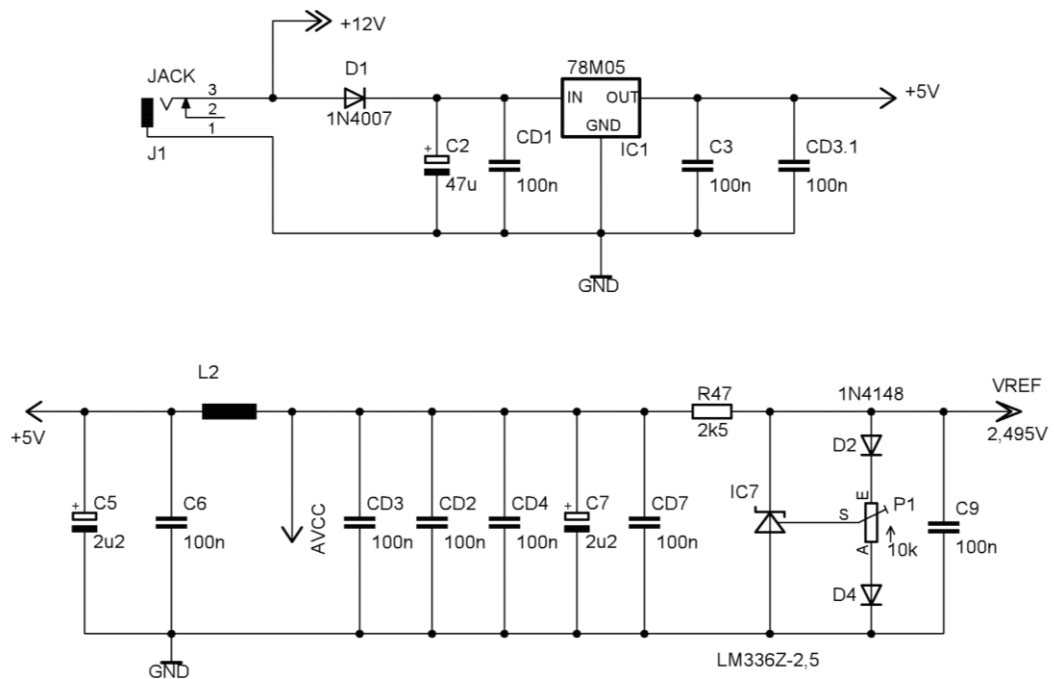
T_A – teplota okolí - uvažováno 25 °C

R_{THJ} - tepelný odpor mezi čipem a okolím bez použití chladiče [Thermal Resistance Junction – Ambient] (°/W).

Z výše uvedeného vyplývá, že použitý stabilizátor umístěný v pouzdře TO-220 je schopen dle zadaných teplot do okolí odvést ztrátový výkon 2 W a tudíž použití chladiče není nezbytné. Přesto je kvůli snížení teplotního namáhání obvodu použit jednoduchý chladič s označením DO1A.

Vlastnosti obvodu L7805

- vstupní napětí max. 35 V
- výstupní napětí 5 V
- umístěno v pouzdře DIP8
- max. výstupní proud 1 A



Obr. 3.3 Schéma napájecí části nabíječky

Důležitou částí je obvod napět'ové reference. V našem případě byl zvolen na hodnotu 2,495 V. Jako zdroj přesného referenčního napětí je použit integrovaný obvod IC7 s označením LM336-2.5. Detailní zapojení se nachází na obrázku 3.3. Diody D2 a D4 minimalizují vliv teploty na výstupní napětí. Potenciometrem P1 potom nastavujeme požadované výstupní napětí. Toto napětí je přivedeno na vstup mikroprocesoru a A/D převodníku. Zároveň napájí jednoduchý odporový dělič tvořen rezistorem R17 a odporovým čidlem s pozitivní teplotní závislostí KTY81-220.

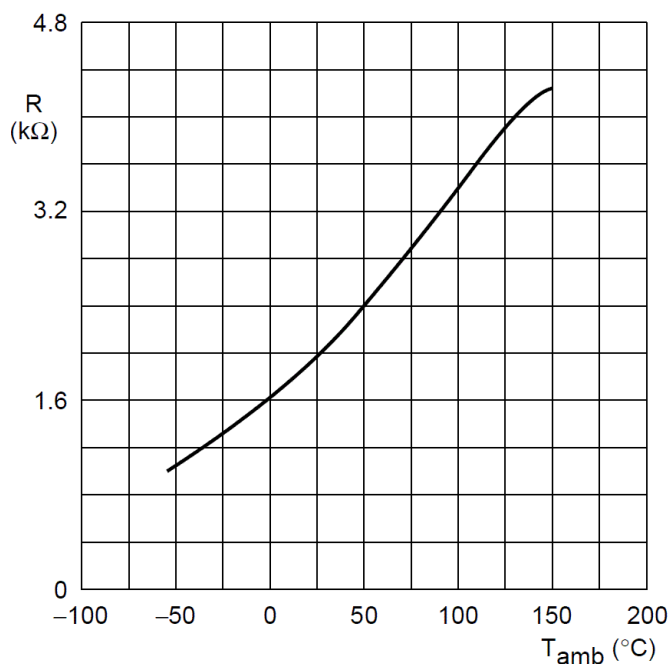
3.2.1 Snímání teploty

Teplota uvnitř přístroje je snímána relativně za pomoci odporového polovodičového čidla KTY81-220, jehož základní odpor činí $2000\ \Omega$ při $25\ ^\circ\text{C}$. Při zvyšující se teplotě roste jeho odpor přibližně o 1 % na $10\ ^\circ\text{C}$. Společně s rezistorem R17 tvoří čidlo odporový dělič, který převádí měřenou teplotu na napětí, které již můžeme snímat mikrokontrolérem a převádět za pomoci interního 10bitového A/D převodníku.

Pokud teplota překročí námi nastavenou mezní teplotu, dojde k přerušení nabíjecího procesu. Parametry čidla jsou uvedeny v Tab. 3.1. Obr. 3.4. pak ukazuje charakteristiku závislosti odporu čidla na změně teploty

Tab. 3.1 Parametry odporového čidla KTY81-220

	min.	max	Jednotky
Teplotní rozsah	-55	150	$^\circ\text{C}$
odpor čidla	980	4280	Ω



Obr. 3.4 Charakteristika závislosti odporu čidla KTY81-220 na změně teploty při odebíraném proudu 1 mA.

3.2.2 Chlazení výkonových tranzistorů

Chladič výkonových tranzistorů byl vybrán především s ohledem na akceptovatelné rozměry. Zvolený chladič prodáváný v GME [8] pod označením V4330N má rozměry 11,5x29x25. Jeho tepelný odpor je $R_S=15$ K/W. Maximální ztrátový výkon pak můžeme vypočítat dle následujícího vztahu:

$$P_{dis_IRF9540} = \frac{(T_J - T_A)}{R_{JC} + R_{CS} + R_{SA}} = \frac{(150 - 25)}{1 + 0,5 + 15} = \underline{\underline{7,58 \text{ W}}} \quad (3.3)$$

$$P_{dis_TIP120} = \frac{(T_J - T_A)}{R_{JC} + R_{CS} + R_{SA}} = \frac{(150 - 25)}{1,92 + 0,5 + 15} = \underline{\underline{7,18 \text{ W}}} \quad (3.4)$$

T_J – povolená teplota přechodu čipu (°C)

T_A – teplota okolí - uvažováno 25 °C

R_{JC} - tepelný odpor mezi přechodem a pouzdrem

R_{CS} - tepelný odpor mezi pouzdrem a chladičem

R_{SA} - tepelný odpor mezi chladičem a okolím

Hodnoty tepelných odporů jsou převzaty z katalogových údajů [12], [13]. Výsledná hodnota ztrátového výkonu 7,58 W respektive 7,18 W by měla být pro běžný provoz nabíječe naprosto dostačující. V případě překročení této hodnoty je aplikací nastaveno snížení nastaveného proudu.

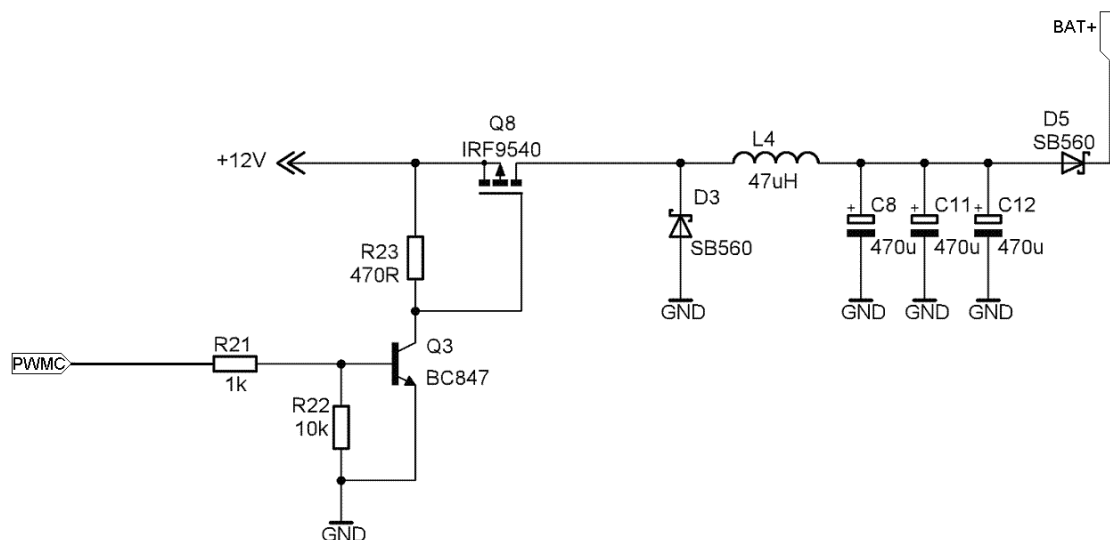
3.3 Výkonová část

Jedná se o části obvodu sloužící k nabíjení či vybíjení akumulátoru.

3.3.1 Nabíjecí obvod

Obvod zajišťující nabíjení představuje řízený zdroj elektrické energie.

Obvod je realizovaný jako spínaný zdroj. Je dosaženo jednoduššího digitálního řízení a také dobré účinnosti (60 – 70 %). Důležitým požadavkem na vlastnosti obvodu je přesné udržování napětí a proudu a rychlá kompenzace změn ve výstupní zátěži. Obvodové schéma je na Obr. 3.5.



Obr. 3.5 Obvodové schéma nabíjecí části

Pomocí signálu obdélníkového průběhu je spínán výkonový tranzistor Q8. Předřadný tranzistor Q3 slouží jako budič výkonového tranzistoru Q8. Tranzistor Q3 upravuje napěťové úrovně obdélníkového signálu typické pro CMOS technologii (0-5 V) na napěťovou úroveň a proudové zatížení potřebné pro spínání tranzistoru Q8. Signál za tranzistorem Q8 pak dále prochází dolnoproputným LC filtrem (L4, C8, C11, C12), za nímž pak vzniká stejnosměrný signál s napětím úměrným střídě obdélníkového signálu. Dioda D5 slouží jako ochrana proti zkratování přepólovaného akumulátoru. Diodou D3 pak protéká proud dodávaný cívkou v době, kdy je výkonový tranzistor Q8 uzavřen. V tomto případě se jedná o obvyklý způsob nabíjení baterií – konstantním proudem.

3.3.2 Princip řízení

Zdroj je řízen obdélníkovým signálem, který generuje mikrokontrolér.

Mikrokontrolér generuje signál obdélníkového průběhu (PPMC) o konstantní frekvenci 31,25 kHz, jehož střída se mění na základě naměřených hodnot proudu a napětí. Čím vyšší je střída signálu, tím delší je část periody, kdy je výkonový tranzistor Q8 otevřen a o to větší napětí je pak na výstupu.

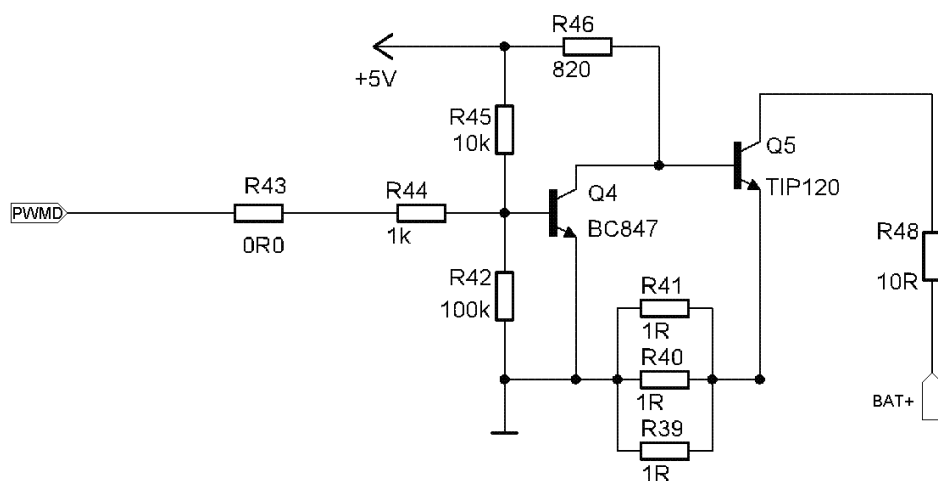
Kmitočet 31,25 kHz byl zvolen jako vhodný kompromis. Jednak bylo nutné vzít v potaz dobrou účinnost měniče a rozměry součástek LC filtru. V tomto případě čím vyšší frekvence tím lépe. Na druhou stranu vyšší kmitočet snižuje možný počet stavů střídý signálu. Při kmitočtu 31,25 kHz je možné rozlišit 512 stavů střídý. Z důvodu častého měření proudu a napětí dochází k neustálé úpravě střídý signálu takovým způsobem, aby se na výstupu nacházelo požadované napětí a proud

3.3.3 Vybíjecí obvod

Obvod, jenž zjišťuje vybíjení, představuje ve skutečnosti řízenou zátěž, která odčerpává energii z akumulátoru. Detailní schéma je zobrazeno na Obr. 3.6.

Stejně jako u nabíjecího obvodu je zde regulace odebíraného proudu z akumulátoru zajištěna pulzně-šířkovou modulací signálu, který spíná výkonový tranzistor Q5. V tomto případě má zatěžovací proud impulsní charakter. Nevýhoda tohoto řešení spočívá v částečném omezení vyšším kmitočtem – 31,25 kHz. Při volbě zatížení konstantním proudem bychom museli použít složitějšího zapojení s A/D převodníkem jako zdrojem proudu pro výkonový tranzistor.

Tranzistor Q4 je zde, podobně jako tranzistor Q3 v obvodu nabíjení použit pro vybuzení výkonového tranzistoru.



Obr. 3.6 Obvodové schéma vybíjecí části

3.4 Obvody pro měření sledovaných veličin

Pro správné nastavení nabíjecího proudu a napětí i pro možnost získání nabíjecích a vybíjecích charakteristik a celkově kvůli bezproblémové funkci celého procesu nabíjení je nutné zavést určitou zpětnou vazbu mikrokontroléru a informovat ho o aktuálních hodnotách proudu a napětí na akumulátoru.

Pro potřeby měření jsem zvolil maximální rozsahy napětí a proudu na hodnoty:

- napětí cca 20 V
- proud cca 3 A

Nabíjecí a vybíjecí proudy jsou měřeny zvlášť. Všechny měřené veličiny jsou nejdříve převedeny na elektrické napětí a to je pak změřeno pomocí A/D převodníku.

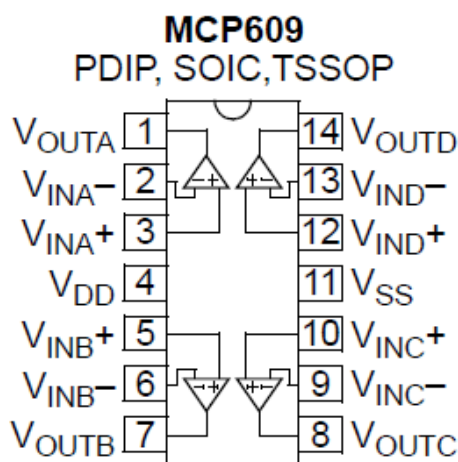
Měření je realizováno za pomoci operačního zesilovače MCP609 a převedeno do digitální podoby přes A/D převodník ADS7841. Popis jednotlivých pinů operačního zesilovače MCP609 je na Obr. 3.7.

Při výběru operačního zesilovače byly kritické především následující parametry:

- potřeba minimálně 3 operačních zesilovačů v jednom pouzdře
- co nejmenší vstupní napěťový offset
- co nejmenší teplotní drift
- napájení +5 V
- dostupnost součástky na trhu
- rozumná cena

Těmto požadavkům vyhovuje 4-násobný operační zesilovač s označením MCP609 od firmy Microchip. Tento obvod disponuje následujícími parametry:

- vstupní offset max. 250 μV
- teplotní drift $\pm 1,8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- napájení 2,5 V až 6 V



Obr. 3.7 Zapojení a popis jednotlivých pinů pouzdra operačního zesilovače MCP609

Následující velmi důležitou součástí pro přesné a rychlé měření je A/D převodník. Výběr vhodného převodníku byl poměrně problematický a zdoluhavý. Jedním s požadavků je rychlost měření, která by v našem případě měly být jednotky až desítky hodnot za sekundu. Z daného hlediska se jako vhodné jeví převodníky na principu SAR, tedy převodníky s postupnou aproximací, které standardně měří až 200 000 vzorků/s v příslušném rozlišení. Jejich nevýhodou ovšem může být možné kolísání měřených hodnot až o desítky jednotek což samozřejmě způsobuje nepřesnosti v měření. K alespoň částečnému potlačení této nevýhody bude potřeba průměrovat větší množství hodnot.

Mnohem přesnější z tohoto hlediska bývají převodníky s technologií Sigma-Delta. Ty ovšem vykazují nižší rychlost měření. V našem případě, kdy je potřeba přepínat mezi třemi kanály by se počet odečítaných vzorků u většiny Sigma-Delta převodníků snížil na jednotky vzorků/s. Což je nedostatečný počet.

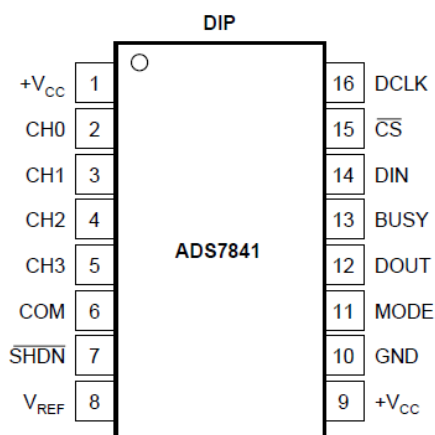
Dalším důležitým parametrem je rozlišení převodníku. Externí převodník je použit právě z důvodu nedostatečného rozlišení interního převodníku mikrokontroléru (10bitů). Souvisejícím parametrem je pak nutnost minimálně čtyř vstupních kanálů. Z nabízeného sortimentu A/D převodníků dostupných na českém trhu se vhodným v poměru cena/výkon jeví převodníky od firmy Burr-Brown s označením ADS7841 – 12bitový a ADS8341 – 16bitový. Verze 16bitového převodníku je na našem trhu nedostupná. Bylo by tedy nutné objednat převodník ze zahraničí. Proto jsem k osazení zvolil 12bitový převodník. Z výpočtů pro měření proudu a napětí níže je vidět, že rozlišení především pro napětí se blíží mezi použitelnosti pro naši aplikaci. V případě, že by se použitý kvantizační krok jevil jako příliš veliký, je možné využít softwarového rozšíření efektivního rozlišení metodou převzorkování a průměrování hodnot. Je také pravděpodobné, že v případě 16bitové rozlišitelnosti by z důvodu možného zašumění signálu nebylo možné využít plné rozlišení.

3.4.1 Převodník ADS7841

Konfigurace pouzdra převodníku ADS7841 je zobrazena na Obr. 3.8.

Zvolený 12bitový převodník ADS7841 má následující parametry:

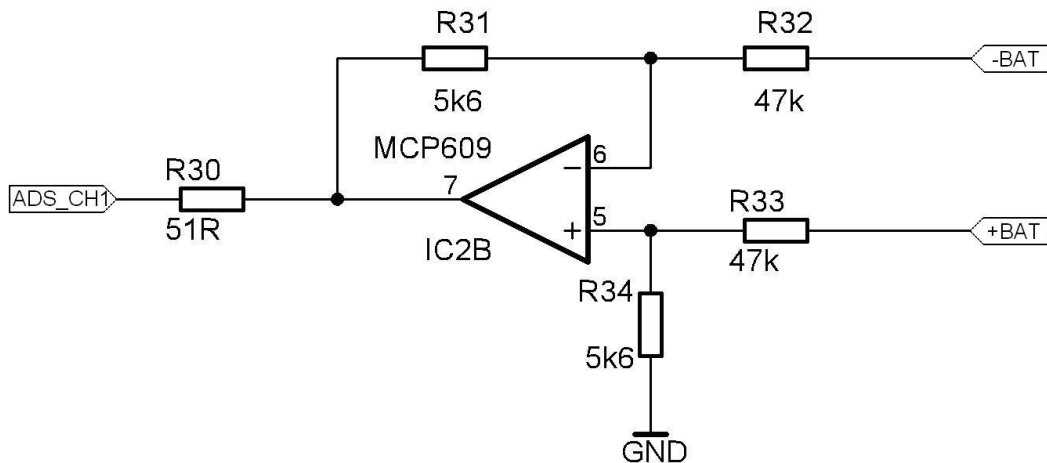
- rozlišení 12bitů
- napájení 2,7 V – 5 V
- 4x jednoduchý nebo 2x diferenciální vstup
- převodní rychlost 200 kHz
- rozsah referenčního napětí 100 mV - V_{CC}



Obr. 3.8 Konfigurace pouzdra A/D převodníku ADS7841 od firmy Burr-Brown

3.4.2 Měření napětí

Pro měření napětí je použit operační zesilovač ve funkci diferenčního zesilovače, jak je vidět na Obr. 3.9. Zesilovač je v tomto případě citlivý na rozdílové napětí, které vzniká mezi oběma vstupy operačního zesilovače.



Obr. 3.9 Obvodové schéma měření napětí

Zisk zesilovače je v tomto případě dán rezistory R31, R32:

$$p = \frac{R31}{R32} = \frac{5600}{47000} = \underline{\underline{0,119}} \quad (3.5)$$

Potom maximální teoretická měřitelná hodnota napětí bude dána referenčním napětím $U_{ref} = 2,495 \text{ V}$ a ziskem (v našem případě zeslabením) zesilovače:

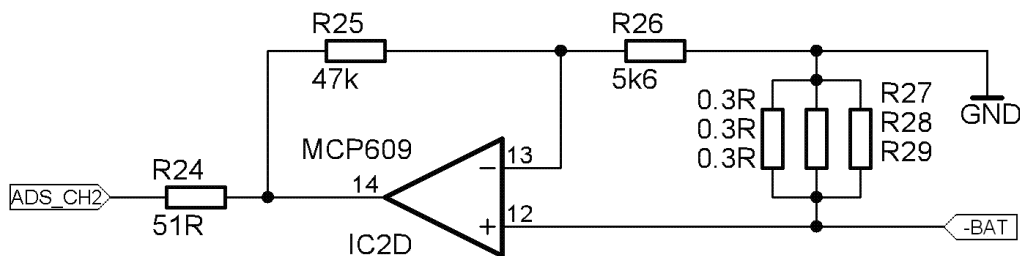
$$U_{max} = \frac{U_{ref}}{p} = \frac{2,495}{0,119} = \underline{\underline{20,97 \text{ V}}} \quad (3.4)$$

Teoretické rozlišení základního rozsahu převodníku potom bude:

$$U_{LSB} = \frac{U_{max}}{2^{12}} = \frac{20,97}{2^{12}} = \underline{\underline{5,11 \text{ mV}}} \quad (3.5)$$

3.4.3 Měření proudu

K měření proudu opět využívám funkční zapojení s operačním zesilovačem. Zapojení je tvořeno jedním bočníkem a diferenčním zesilovačem. Celkový odpor bočníku je tvořen paralelní kombinací rezistorů R27, R28 a R29. Napětí bočníku je snímáno a zesilováno diferenčním zesilovačem. Obvodové schéma viz. Obr. 3.10.



Obr. 3.10 Obvodové schéma měření nabíjecího proudu

Číselná hodnota odporu je:

$$R_{boč} = \frac{1}{\frac{1}{R27} + \frac{1}{R28} + \frac{1}{R29}} = \frac{1}{\frac{1}{0,3} + \frac{1}{0,3} + \frac{1}{0,3}} = \frac{1}{10} = \underline{\underline{0,1\Omega}} \quad (3.6)$$

To znamená, že při procházejícím proudu 1 A bude napětí na bočníku pouze 0,1 V. Není dobré příliš zvyšovat odpor bočníku, neboť by to znamenalo vyšší výkonovou ztrátu, zvýšení teploty, změnu odporu a tím chybu měření. Pro dosažení maximálního odečitatelného proudu jsem vypočítal tyto parametry:

Zisk zesilovače:

$$p = \frac{R25}{R26} = \frac{47000}{5600} = \underline{\underline{8,39}} \quad (3.7)$$

Maximální teoretická měřitelná hodnota proudu:

$$I_{\max} = \frac{U_{ref}}{p} * \frac{1}{R_{boč}} = \frac{2,495}{8,39} * \frac{1}{0,1} = \underline{\underline{2,97\text{ A}}} \quad (3.8)$$

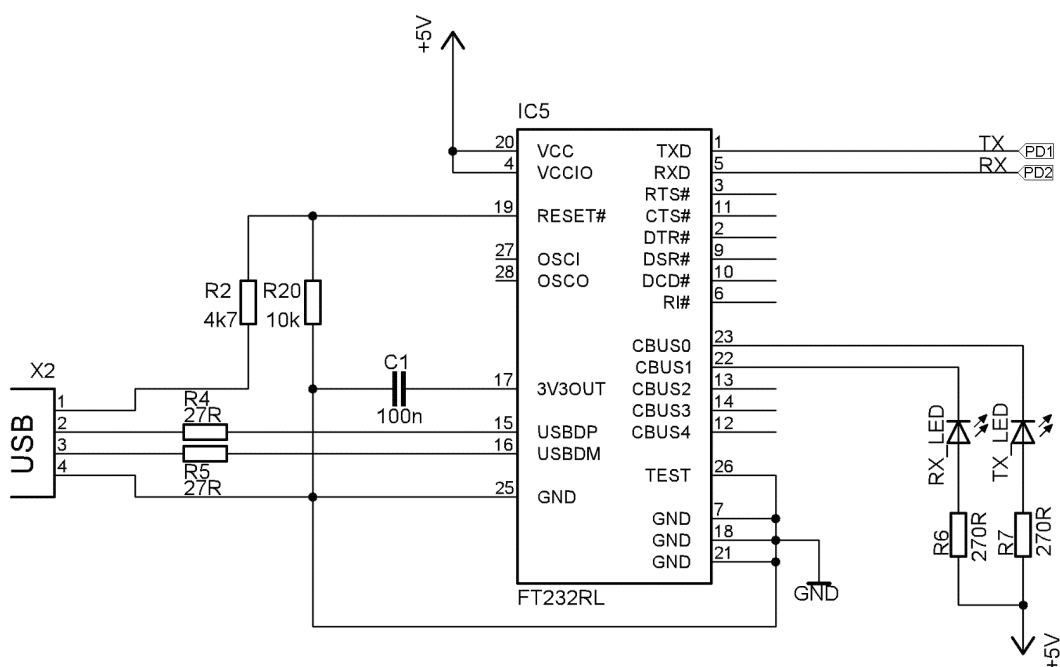
Teoretické rozlišení základního rozsahu převodníku potom bude:

$$I_{LSB} = \frac{I_{\max}}{2^{12}} = \frac{2,97}{2^{12}} = \underline{\underline{0,725\text{ mA}}} \quad (3.9)$$

Vypočtenou hodnotu nelze ještě považovat za finální užitečné rozlišení. Dle potřeby pro funkci nabíjení bude nutné provádět zaokrouhlování a průměrování, takže se použitelná hodnota rozlišení ještě mírně sníží.

3.5 Komunikace s PC

Pro možnost ukládání charakteristik a komunikace s PC bude zařízení vybaveno USB datovým rozhraním. Komunikace přes USB je realizována pomocí převodníku s označením FT232RL. Jedná se o variantu zapojení s vlastním napájením (+5 V), kdy proud není odebírán z USB sběrnice. Na piny 22 a 23 převodníku jsou připojeny diody TX_LED a RX_LED indikující probíhající komunikaci s mikroprocesorem. Detailní zapojení USB rozhraní je na Obr. 3.11.



Obr. 3.11 Zapojení USB rozhraní

3.6 Uživatelské rozhraní

K nastavení požadovaného typu nabíjení a celkovou komunikaci s nabíječem je použit LCD displej s označením MC2004B.

Jedná se o čtyřřádkový displej po 20 znacích. Displej má vlastní podsvícení spínané mikrokontrolérem, tudíž nemusí svítit po celou dobu.

K vlastnímu ovládání je použita čtveřice tlačítek, která jsou osazena na vlastní desce a přes distanční sloupky je tato deska přidělena k hlavnímu plošnému spoji. Tlačítka jsou připojena přes konektory přímo k mikropočítači. Ošetření zákmitů je

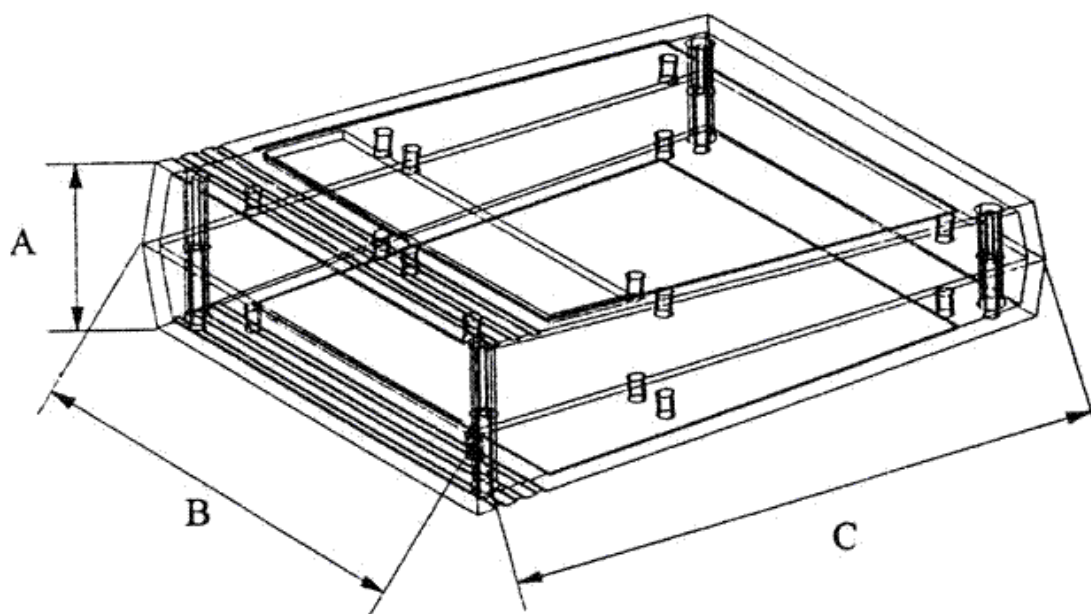
provedeno hardwarově, tudíž odpadá nutnost provedení softwarového ošetření. Pull-up rezistory pak zabráňují vzniku neočekávaných stavů.

Funkce tlačítek je dána dle aktuálního kontextového menu zobrazeného na LCD displeji.

3.7 Konstrukční provedení

Návrh zapojovacích schémat a následně desek plošných spojů byl kompletně proveden v prostředí Eagle - 4.11. Deska hlavního plošného spoje je oboustranná o rozměrech: 112x136mm. Druhá deska o rozměrech: 71x24mm, slouží pouze k osazení čtyř ovládacích tlačítek. Pomocí 6-pinové lišty je možno tuto desku jednoduše připojit k hlavnímu plošnému spoji. Velikost desek byla koncipována s ohledem na volbu použité krabičky, ve které je nabíječka umístěna. Vzhled a osazení desek plošných spojů najdeme v příloze A.5.

Plastová univerzální krabička s označením U-KP17 se skládá ze dvou dílů, které jsou sešroubovány čtyřmi vruty. Velikost a tvar krabičky je naznačen na Obr. 3.12. Před umístěním desky nabíječky, bylo nutné vyfrézovat v krabičce potřebné otvory pro konektory a dále pak pro LCD display a čtveřici ovládacích tlačítek. Fotky finálního výrobku jsou součástí přílohy A.7.



Rozměr A (výška): 38 mm
Rozměr B (šířka): 119 mm
Rozměr C (hloubka): 143 mm

Obr. 3.12 Rozměry krabičky U-KP17, (převzato z [11])

Chladiče výkonových tranzistorů a stabilizátoru 7805L jsou umístěny vně krabičky, kvůli lepšímu odvodu tepla. K propojení s PC slouží USB konektor USB1X90B, k programátoru pak konektor MLW06A. Oba jsou umístěny po delších stranách plošného spoje. Hlavní napájení se připojuje souosým konektorem určeným pro malá napětí s označením K375A.

3.7.1 Volba součástek

Volba součástek byla ovlivněna především požadovanými rozměry desky a také možností snadné výměny integrovaných obvodů v případě jejich zničení. Jedná se totiž o vývojový výrobek, kdy během oživování nabíječky a ladění jejího firmwaru může docházet k neočekávaným napěťovým úrovním na pinu integrovaných obvodů a můžeme tak způsobit jejich nefunkčnost.

Většina integrovaných obvodů je proto volena v klasickém provedení a umístěna do patič. Pouze USB převodník FT232RL v SMD provedení je pájen přímo na desku. Pro úsporu zbylého místa na desce byla většina ostatních součástek, především rezistorů a kondenzátorů, volena v SMD provedení velikosti 1206. Výjimku tvoří rezistory s očekávanou vyšší výkonovou ztrátou. Do této skupiny patří snímací odpory proudu s maximální výkonovou ztrátou 2 W a především vybíjecí rezistor R48/5W. Cívka nabíjecího obvodu je navinuta na toroidním jádře a její proudová zatížitelnost může být maximálně 3 A. Hlavními spínacími prvky jsou výkonové tranzistory s označením IRF9540 a TIP120. Oba jsou provedeny v pouzdře TO-220. Ve stejném pouzdře je osazen i stabilizátor napětí 78M05. Podrobný rozpis použitých součástek je uveden v příloze A.6.

3.8 Finanční bilance

Protože se bude jednat o univerzální nabíječku, která by měla být schopna nabíjet baterie různých typů a také by mělo být možné aktualizovat případně rozšiřovat nabíjecí software o nabíjení dalších typů článků blíží se předpoklad celkové ceny spíše k vyšší hranici. Cenová hladina univerzálních nabíječek se na našem trhu pohybuje přibližně od 500Kč do 2500Kč. Rozdíl je dán jednak schopností nabíječek nabíjet nejrůznější akumulátory, zabezpečením nabíjecího procesu a akumulátorů jako takových a ovládacím rozhraním.

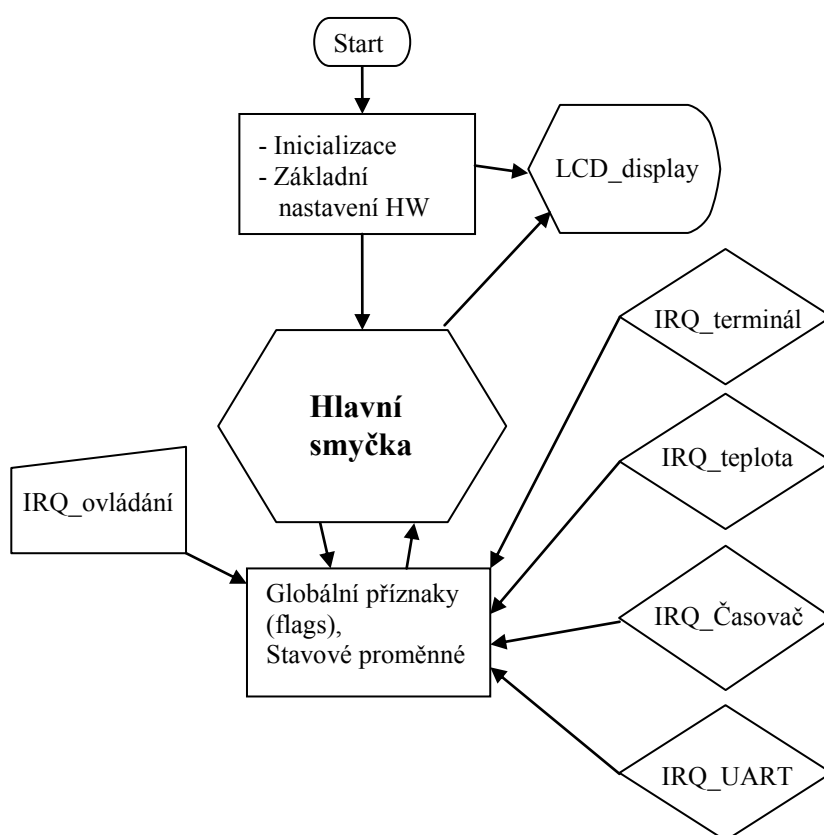
Při cenovém rozboru mnou navrhované nabíječky je nejdražší položkou LCD display – 314Kč. Další nezbytnou součástí je mikrokontrolér (120Kč) a převodník, který určuje kvalitu zpracování naměřených signálů (200Kč). Pro 16bitovou verzi by se cena samozřejmě navýšila. Kvůli přesnějšímu měření bylo také nutné zvolit kvalitnější operační zesilovač – MCP609 (60Kč). V neposlední řadě se pak na ceně projevila použitá varianta datového USB rozhraní, pro které bylo nutné zapojit převodník FT232RL - 140Kč.

Celkovou cenu přibližně 1250Kč za kompletní nabíječku považuji vzhledem k její funkčnosti za vyhovující. Ceny většiny komponentů jsou brány z internetového maloobchodu firmy GM Electronic [8], ke dni 10.3. 2010.

4 FIRMWARE MIKROKONTROLÉRU

Firmware mikrokontroléru byl napsán v prostředí AVR Studia 4 v jazyce C. Jazyk C byl zvolen především z důvodu existujícího svobodného kompilátoru GCC. Navržená nabíječka nyní umožňuje vybíjení a nabíjení dvou základních druhů baterií NiMH a Li-ion. Firmware je samozřejmě možné dále rozšiřovat o nejružnější podpůrné a kontrolní funkce.

Po zapnutí nabíječky se začne vykonávat firmware dle diagramu Obr. 4.1.



Obr. 4.1 Schéma firmware mikrokontroléru

Program začíná inicializací potřebného hardwaru a periférií tj.: LCD displeje - *lcd_ini()*, A/D převodníku - *adc_setup()*, nezávislého časovače - *sched_ini()*, PWM - *pwm_ini()*, externí EEPROM paměti ze které jsou načtena konfigurační data - *eep_init()*, *sysconfig_load()*. Po inicializačním procesu jsou povolena přerušení a program vstupuje do nekonečné smyčky **while(1)**. Ta cyklicky volá čtyři základní funkce. Hlavní smyčka pak vykonává časově nekritické či dlouho trvající operace. Synchronizace operací je zajištěna pomocí bitových a stavových proměnných. Ty jsou nastavovány při obsluze přerušení.

4.1 Nezávislý časovač

Hlavní úlohou časovače je skrze přerušení obsluhovat časově kritické operace. Časovač je nastaven tak, že každé 4 ms je vyvoláno přerušení. Obsluha přerušení provádí následující úkony:

- čtení stavu tlačítek – každé 4 ms
- čtení hodnot z A/D převodníku – 32 ms
- volání smyčky, která upraví hodnoty PWM – 64 ms
- průběžné měření kapacity článku průměrováním 15 párů hodnot – 960 ms
- výpočet času nabíjení – 1000 ms

Pro časovač je využit 8 bitový čítač/časovač – Timer_counter_2. Konfiguraci časovače zobrazuje Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Konfigurační registr časovače – TCCR2

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20
Hodnota	0	0	0	0	1	1	1	0

TCCR2 = 0b00001110

Perioda přerušení se určí následujícím výpočtem převzatým z [16]:

$$f_{oc} = \frac{f_{CLK}}{prescaler * (1 + OCR2)} = \frac{16 * 10^6}{256 * (1 + 249)} = 250 Hz \Rightarrow T = \frac{1}{f_{oc}} = 4 ms \quad (4.1)$$

4.2 Ovládání

4.2.1 Zpracování vstupů z tlačítek

Tlačítka jsou připojena k portu PORTB a jejich čtení probíhá v obsluze přerušení časovače. Ten určuje čtení stavu tlačítek každé 4 ms.

Programový kód řeší duplicitně ošetření zákmitů tlačítek, které může vznikat na mechanických spínačích, dále pak periodicky generuje událost v případě trvale stisknutého tlačítka. V případě nastavování parametrů jsou pak hodnoty zvyšovány či snižovány s větším krokem než při jednotlivém stisku. Program pak samozřejmě na základě stisku tlačítka upravuje aktuálně zobrazené uživatelské rozhraní.

Prvotním stiskem tlačítka je nastaven bit *event_flag* v proměnné *bt.state*. Pokud je následně během období cca 60 ms stav tlačítka čten jako rozepnutý, provede se návrat do výchozího stavu.

V případě, že je vygenerována událost, tedy nastaven bit *event_flag*, je následně pomocí hlavní smyčky proveden kód: *ui_handler(bt.id)*. Proměnná *ui.handler* odkazuje na funkci, která dle aktuálně zobrazeného uživatelského rozhraní zpracuje požadovanou událost. Funkce *bt.id* identifikuje, které ze čtyř tlačítek bylo stisknuto.

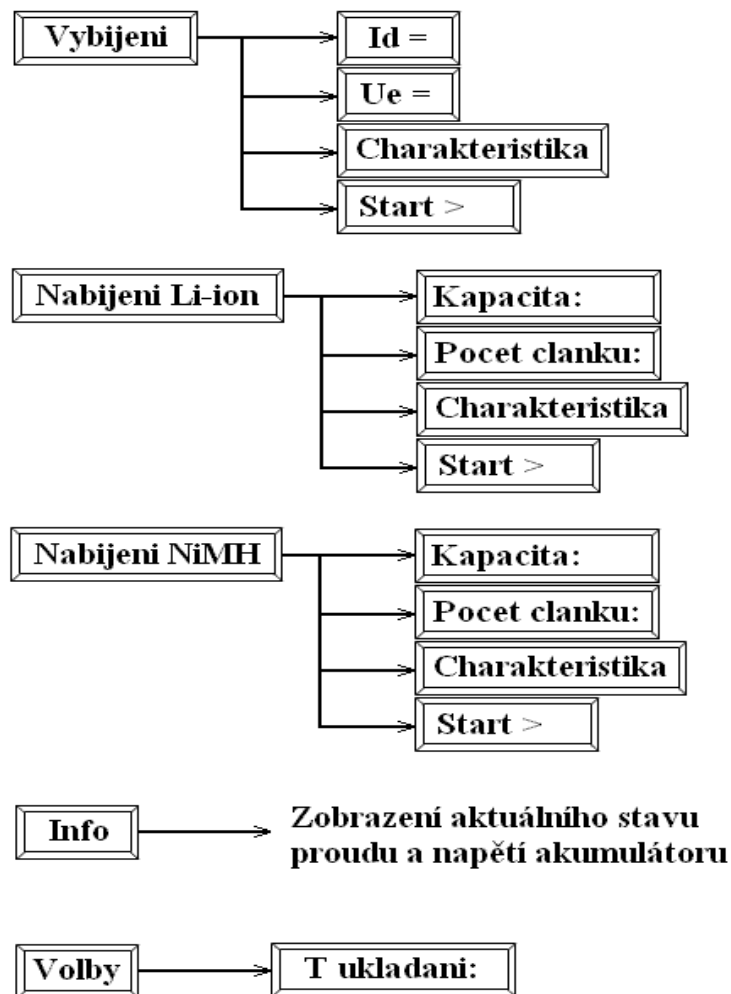
Po provedení je pak bit *event_flag* nastaven na nízkou úroveň. Každá událost je tak obsloužena v hlavní smyčce právě jednou.

4.2.2 Ovládací menu nabíječky

Menu nabíječky je přehledně zobrazeno na Obr. 4.2. Za pomoci čtyř tlačítek je možné se v menu pohybovat a nastavovat požadované hodnoty. Aktuální funkce tlačítka je vždy naznačena tlačítkem na posledním řádku displeje.

V sekci *Volby/T ukladani*: je možno nastavit periodu záznamu ukládání hodnot napětí a proudu. Kapacita vnitřní paměti nám umožňuje uložení až 7500 párů hodnot. Perioda je proto zvolena v těchto krocích:

- 7,68 s – 16 hodin záznamu
- 15,36 s – 32 hodin záznamu
- 30,72 s – 64 hodin záznamu



Obr. 4.2 Ovládací menu nabíječky

4.3 PWM signál

Generování PWM signálu je zajištěno pomocí 16bitového čítače/časovače – Timer_counter 1. Čítač disponuje dvěma výstupy, které mají možnost generovat PWM signálu. Konfigurace 16bitového čítače/časovače je naznačena v Tab. 4.2. a 4.3.

Tab. 4.2 Konfigurační registr časovače – TCCR1A

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10
Hodnota	1	0	1	0	0	0	1	0

TCCR1A = 0b10100010

Tab. 4.3 Konfigurační registr časovače – TCCR1B

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10
Hodnota	0	0	-	0	1	0	0	1

TCCR1B = 0b00-01001

Bity CS12-CS10 registru TCCR1B nastavují velikost děličky. V našem případě je hodnota nastavena na 1, tedy bez dělicího poměru. Pro dosažení co možná nejvyššího možného kmitočtu je nastaven tzv. mód: Fast PWM, 9-bit. Určeno bity WGM13-WGM10 = 0110.

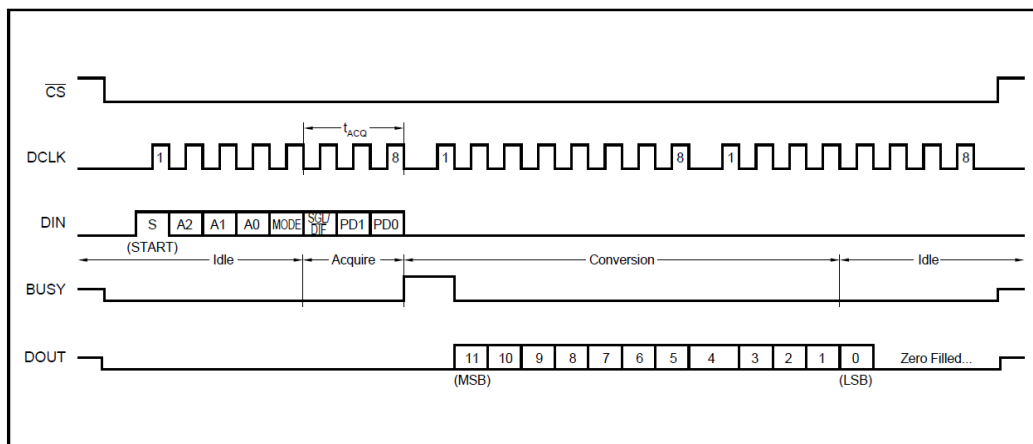
Kmitočet generovaného signálu dle vzorce z [16]:

$$f_{oc} = \frac{f_{CLK}}{prescaler * (1 + TOP)} = \frac{16 * 10^6}{1 * (1 + 511)} = \underline{\underline{31,250 \text{ kHz}}} \quad (4.2)$$

Hodnoty získané PWM modulací se pohybují v rozsahu 0 až 511 (tedy 9 bitů). Jsou zapisovány do 16bitových registrů OCR1AH:OCR1AL a OCR1BH: OCR1BL9.

4.4 Komunikace A/D převodníku

Zvolený čtyř-kanálový, 12-bitový A/D převodník ADS7841 od firmy Texas Instruments komunikuje s kontrolérem prostřednictvím SPI rozhraní. Úkolem převodníku je měřit vybíjecí a nabíjecí proud a napětí. Převodník využívá ke komunikaci celkem pět vstupů. Hodinový signál DCLK a CS signál, který povoluje komunikaci s převodníkem. Na vstup DIN jsou přiváděna informační data pro převodník a DOUT odesílá data mikrokontroléru. Pomocný signál BUSY je v našem případě nastaven trvale na nízkou úroveň. Průběhy řídicích a datových signálů jsou na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Řídící a datové signály A/D převodníku, (převzato z [15])

Komunikační rámec pak můžeme vidět v Tab. 4.4. První bit S tzv. Start bit určuje počátek komunikace s převodníkem. Následují tři bity A2-A0, které nesou adresu vstupu, ze kterého jsou následně požadovány informace. Bit MODE určuje počet bitů pro převod. Úroveň LOW značí 12-bitů, úroveň HIGH pak 8-bitový převod. SGL/DIF nastavuje vstupy jako jednoduché či diferenciální. V našem případě je nastavována úroveň HIGH pro jednoduché vstupy. Poslední dva bity umožňují vypínání napětí během převodů.

Tab. 4.4 Komunikační rámec A/D převodníku, (převzato z [15])

Bit 7 (MSB)	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0 (LSB)
S	A2	A1	A0	MODE	SGL/DIF	PD1	PD0

4.5 Komunikace s PC

Komunikace nabíječe s PC je řešena přes rozhraní RS232 respektive USB sériové rozhraní formou terminálu. Uživatel tak formou definovaných příkazů může komunikovat s nabíječkou. Nastavovat velikost konstant pro přepočítání napětí, vyčítat aktuální uložená data a nastavovat regulátor výstupních veličin.

Přijímané znaky jsou ukládány do vyrovnávací paměti. Stavová proměnná terminálu je nastavena po příjmu řídicího znaku 'cr'. Řetězec znaků uložený ve vyrovnávací paměti je následně v hlavní smyčce porovnán s tabulkou příkazů. V případě nalezení odpovídajícího příkazu je volána příslušná funkce. Funkce pak běží v kontextu hlavní smyčky a může tedy provádět i časově náročné operace. Například zápis do paměti EEPROM. Po dokončení či přerušení běhu příkazu je terminál připraven zpracovat další příkaz. Seznam definovaných příkazů, který je obsažen v souboru *cmds.h*, je popsán v Tab. 4.5.

4.5.1 Komunikační protokol

Jak již bylo zmíněno v předcházejícím textu, komunikace s PC je založena na principu příkaz – odpověď. Komunikace včetně ukládání charakteristik probíhá jako ASCII text.

Nabíječka jako reakci na příkaz vysílá příslušnou odpověď. Ta může být tvořena i několika řádky a je zakončena novým řádkem a znakem ':'. Pokud nabíječka přijme neexistující příkaz, jako odpověď vyšle následující znak '*'.

Hodnoty, které zadáváme pomocí příkazů, jsou přenášeny ve formě hexadecimálního vyjádření ASCII znaky. 1 B je tvořen dvojicí znaků 1-f. 2 B pak obsahují čtyři znaky.

Tab. 4.5 Tabulka definovaných příkazů terminálu

PŘÍKAZ	POPIS	ODPOVĚĎ
Nastavení kalibračních konstant		
conu	Přečtení aktuální hodnoty konstanty napětí	<i>hhhh</i>
conu hhhh	Zápis nové hodnoty konstanty napětí	<i>hhhh</i>
coni	Přečtení aktuální hodnoty konstanty nabíjecího proudu	<i>hhhh</i>
coni hhhh	Zápis nové hodnoty konstanty nabíjecího proudu	<i>hhhh</i>
cond	Přečtení aktuální hodnoty konstanty vybíjecího proudu	<i>hhhh</i>
cond hhhh	Zápis nové hodnoty konstanty vybíjecího proudu	<i>hhhh</i>
con s	Uložení konfigurace do EEPROM	<
con d	Výpis aktuální konfigurace	
con l	Načtení konfigurace z EEPROM	
<u>Legenda:</u>	<i>hhhh</i> - hodnota kalibrační konstanty; velikost 2B hexa	
Operace s uloženými daty		
vs l	Výpis uložených souborů	<i>ad₁ ad₂ ad₃ ... ad_n ad_f</i>
vs dad	Přečtení dat ze souboru	<i>hh₁hh₂hh₃...hh₆₄ hh₆₅hh₆₆hh₆₇...hh_n</i>
vs xad	Smazání souboru	<
<u>Legenda:</u>	<i>ad</i> - sériové číslo souboru; velikost 1B hexa	
	<i>hh</i> - přečtená hodnota z paměti; velikost 1B hexa	
Výpis provozních dat		
dat	Kontinuální výpis údajů	proud; napětí; střída; režim; prům. proud; prům napětí
Přístup do EEPROM paměti		
memr adad	Čtení 1 byte z paměti	<i>hh</i>
memw adadhh	Zápis 1 byte do paměti	<i>hh</i>
		<
<u>Legenda:</u>	<i>adad</i> - adresa pro čtení či zápis; velikost 2B hexa	
	<i>hh</i> - hodnota k zápisu či přečtená hodnota; velikost 1B hexa	

Ruční nastavení regulátoru		
reg uuuuu	Nabíjení konstantním napětím	<i>uuuuu</i>
reg iiii	Nabíjení konstantním proudem	<i>uuuuu</i>
reg diii	Vybíjení konstantním proudem	<i>iii</i>
		<i>iii</i>
Legenda:	<i>uuuuu</i> - napětí v jednotkách mV; velikost 2B hexa	
	<i>iii</i> - proud v desetinách mA; velikost 2B hexa	

Nastavení kalibračních konstant

Kalibrační konstanty využíváme při převodu hodnot z A/D převodníku na skutečné hodnoty proudu a napětí.

Nastavené hodnoty jsou v danou chvíli ukládány pouze do RAM paměti. Pro jejich zachování i po vypnutí napájení je nutné volat příkaz 'con', který uloží hodnoty do EEPROM paměti. Odtud jsou pak konstanty načítány během inicializace.

Operace s uloženými daty

Každý uložený soubor je identifikován sériovým číslem, který je potřeba znát při čtení obsahu souboru. Při volbě ukládání charakteristiky v menu přístroje se zobrazí číslo právě vytvořeného souboru, podle kterého se lze při přenosu dat z přístroje orientovat.

Sériové číslo souboru je shodné s vyšším bytem adresy začátku souboru v EEPROM.

Při výpisu uložených souborů se na první řádek vypíše seznam sériových čísel souborů oddělených mezerami. Na druhý řádek se pak vypíše sériové číslo nového souboru – tedy adresa začátku volného prostoru na konci paměti.

Při čtení z paměti jsou data vypisována po bytech v pořadí, v jakém jsou uložena v paměti. Každých 64 B je odděleno novým řádkem.

Protože je zápis nového souboru započat vždy za posledním uloženým souborem, má smysl mazat pouze poslední uložený soubor.

Výpis provozních dat

Příkaz 'dat' umožňuje kontinuální výpis údajů. Výpis je ukončen po příjmu libovolného znaku. Údaje jsou vypisovány v desítkovém formátu. Výpis může vypadat například takto:

Příkaz: dat

Odpověď: -00347 01586 256 i04000 00350 001590

Vysvětlení:

- -347 mA hodnota proudu při (-)vybíjení, (+)nabíjení.
- 1,586 V – velikost napětí
- 256 – střída PWM signálu (rozsah 0 až 512), 256=střída 0,5
- i(u) – režim konstantního proudu (napětí); 400 mA
- 350 mA zaokrouhlená hodnota proudu
- 1,59 V zaokrouhlená hodnota napětí

Přístup do EEPROM paměti

Těmito příkazy můžeme číst/ukládat data přímo z/do paměti.

Ruční nastavení regulátoru

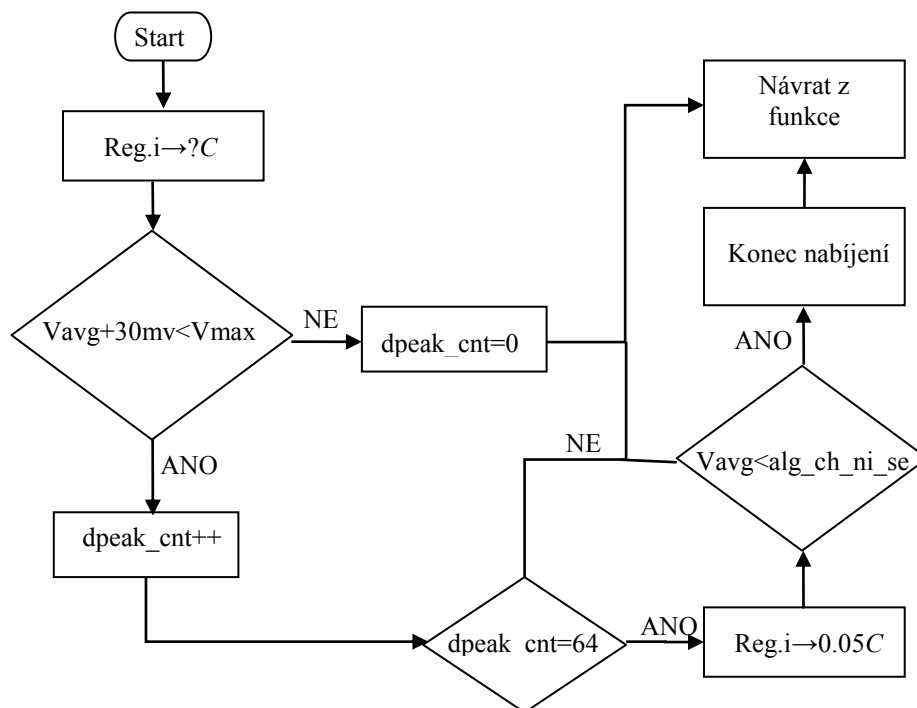
Při testování a ladění nabíjecích algoritmů je možné tímto příkazem nastavit regulátor výstupních veličin do jednoho z režimů.

4.6 Nabíjecí a vybíjecí algoritmy

Nabíjecí a vybíjecí proces je řízen funkcí *alg_operation()*, jenž je volána ze souboru *alg.c*. Algoritmus porovnává hodnotu proměnné *operation_state*, pomocí které určí má-li zahájit vybíjení či nabíjení příslušného typu baterie.

4.6.1 Nabíjení NiMH, NiCd

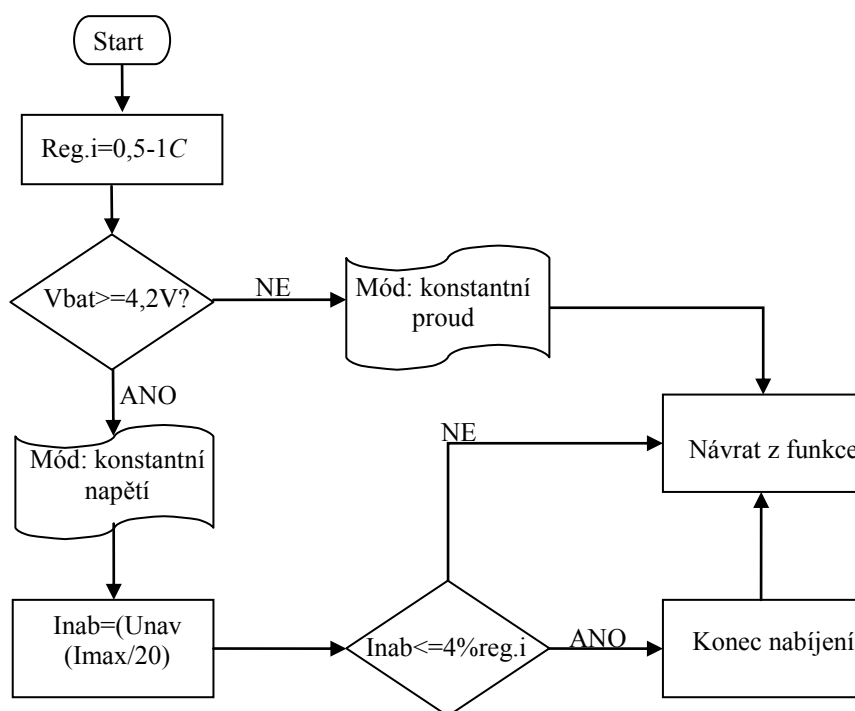
Nabíjení těchto typů baterií probíhá metodou konstantního proudu. Algoritmus pracuje takovým způsobem, že se jednak snaží udržovat stanovený konstantní proud, ale hlavně sleduje velikost napětí a čeká na okamžik, ve kterém začne jeho velikost klesat. Tento okamžik značí, že akumulátor je nabit. Úplné nabití je detekováno poklesem napětí o 30 mV na článek za jednu minutu. Poté nastává fáze tzv. udržovacího nabíjení. Nabíjecí proud se v daném režimu nastaví na hodnotu 0,1 C pro NiCd a 0,05 C pro NiMH. Fáze tzv. udržovacího nabíjení se využívá především u varianty rychlého nabíjení, kdy hodnota nabíjecího proudu odpovídá přibližně 1 C. Diagram algoritmu pro baterie NiMH je na Obr. 4.5.



Obr. 4.4 Diagram algoritmu nabíjení NiMH a NiCd článků

4.6.2 Nabíjení Li-ion

Během procesu nabíjení kombinujeme na rozdíl od niklových baterií metodu konstantního proudu i napětí. Nejprve je vyhodnocována velikost měřeného napětí. Konstantní proud se pohybuje na $0,5\text{ C} - 1\text{ C}$. Tato fáze trvá přibližně 1 hodinu. Pokud napětí dosáhne mezní hodnoty $4,2\text{ V}$ na článek, přechází nabíjení do fáze konstantního napětí. Plného nabití je dosaženo při poklesu proudu na 3% úvodního nabíjecího proudu.



Obr. 4.5 Diagram algoritmu nabíjení Li-ion článků

4.6.3 Vybíjení

Na rozdíl od nabíjení nevyžaduje vybíjecí proces složitý algoritmus pro správnou detekci ukončení. Jediným kritériem zůstává pouze hodnota mezní úrovně napětí. U baterií Li-ion je to $2,5\text{ V}$, u NiCd a NiMH baterií pak 1 V . Hodnoty jsou voleny s ohledem na to, aby nedocházelo k hlubokému vybití článků, které jim neprospívá.

5 OVĚŘENÍ FUNKCE NABÍJEČE

Po dokončení nabíječky byla její funkčnost ověřena měřením několika článků. Použity byly tyto akumulátory:

- 2 články NiMH, udávaná kapacita 1250 mAh - nové
- 1 článek Li-ion, udávaná kapacita 1020 mAh - starší

Každý z článků jsem nejprve vybil na minimální napětí a poté plně nabil a opět vybil. Během nabíjení a druhého vybití byly zaznamenávány hodnoty proudu a napětí pomocí kterých bylo možné získat níže uváděné charakteristiky. Měření bylo provedeno především za účelem potvrzení schopnosti nabíječky správně nabíjet, detekovat konce nabíjení a provádět změny v průběhu nabíjecích algoritmů v daných okamžicích.

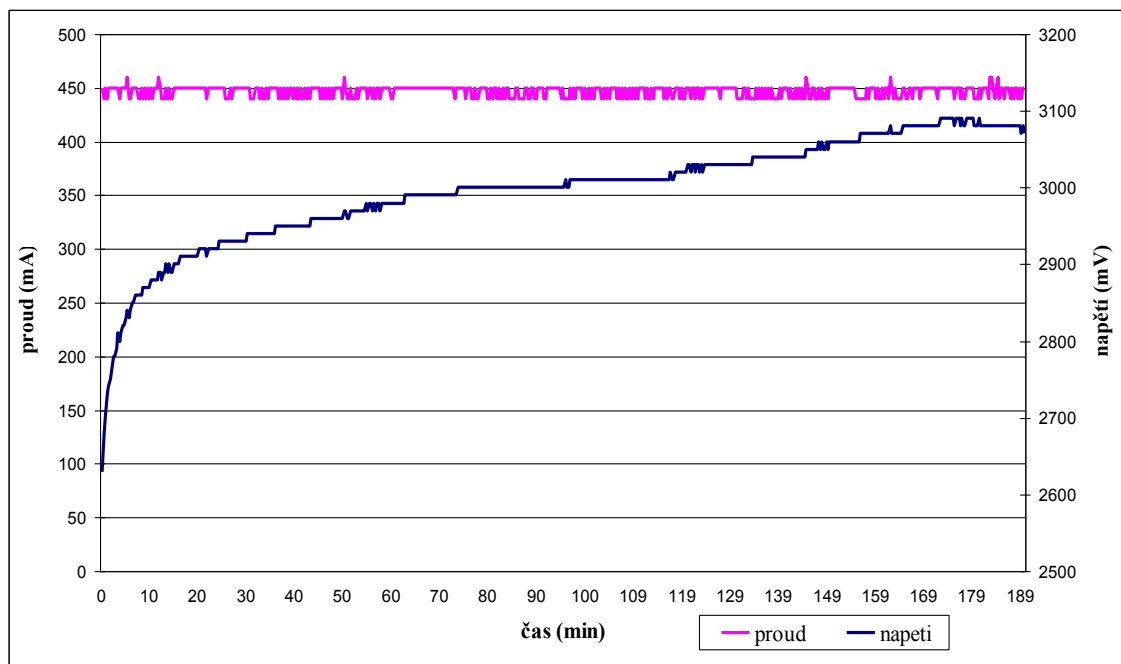
5.1 Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky

Obr. 5.1. ukazuje průběh nabíjení dvojice NiMH baterií s kapacitou 1300 mAh. Nabíjecí proud měl velikost 450 mA což odpovídalo 0,36C. Doba nabíjení trvala 3 hodiny a 13 minut. Nabíječem dodaná kapacita byla změřena na hodnotu 1420 mAh. V tomto případě se kapacita dodaná jeví vyšší, než teoretická možná. Tato zdánlivá nepřesnost je způsobena především ztrátami během procesu nabíjení. Kolísání nastaveného proudu o ± 10 mA je pravděpodobně způsobeno menším dynamickým odporem akumulátoru, který neumožňuje zcela přesné udržení požadované hodnoty. Přesná hodnota ± 10 mA je pak dána rozlišením ukládané charakteristiky proudu. Relativní chyba má tedy velikost přibližně 2,2 %.

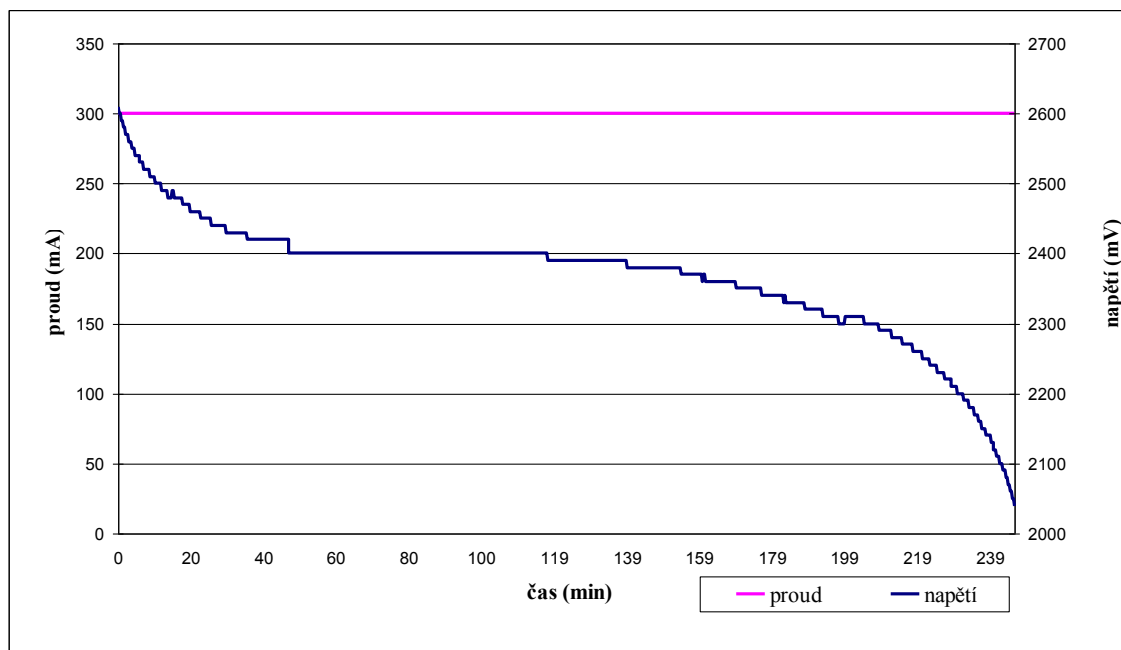
Na Obr. 5.2. je zachycena vybíjecí charakteristika. Při vybíjení byl udržován konstantní proud a ukončení činnosti nastalo při poklesu napětí na 2 V. Odčerpaná kapacita byla 1220 mAh. Skutečnou kapacitu v procentech tedy můžeme určit dle následujícího vztahu:

$$CAP_{NiMH_{SKUT}} = \frac{1220}{1300} * 100 = \underline{\underline{93,8\%}} \quad (5.1)$$

Zdánlivá schodovitost průběhu napětí je způsobena konečným rozlišením ukládané charakteristiky které pro napětí činí 10 mV.



Obr. 5.1 Nabíjecí charakteristika – 2x NiMH 1250 mAh



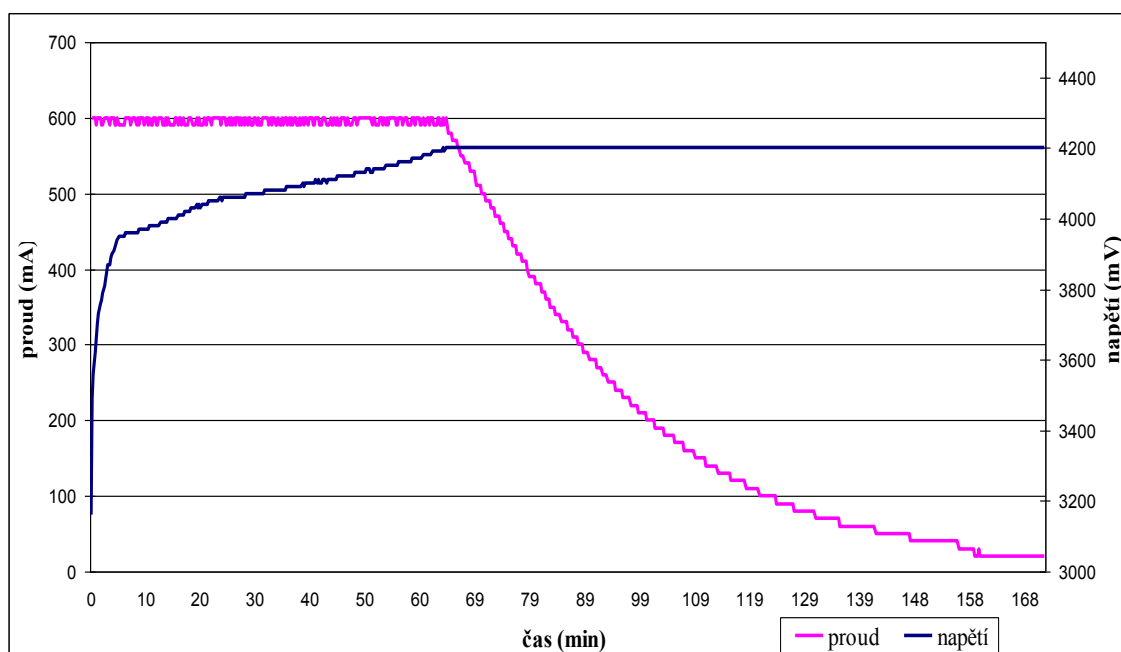
Obr. 5.2 Vybíjecí charakteristika – 2x NiMH 1250 mAh

Průběh nabíjení a vybíjení článku Li-ion můžeme vidět na Obr. 5.3. respektive Obr. 5.4. Nabíjecí proud byl 600 mA což odpovídá kapacitě přibližně 0,6C. První pokles proudu nastává při dosažení hodnoty napětí 4,2 V přibližně v jedné hodině nabíjecího procesu. Tento pokles signalizuje přechod nabíjení z módu konstantního proudu do módu konstantního napětí.

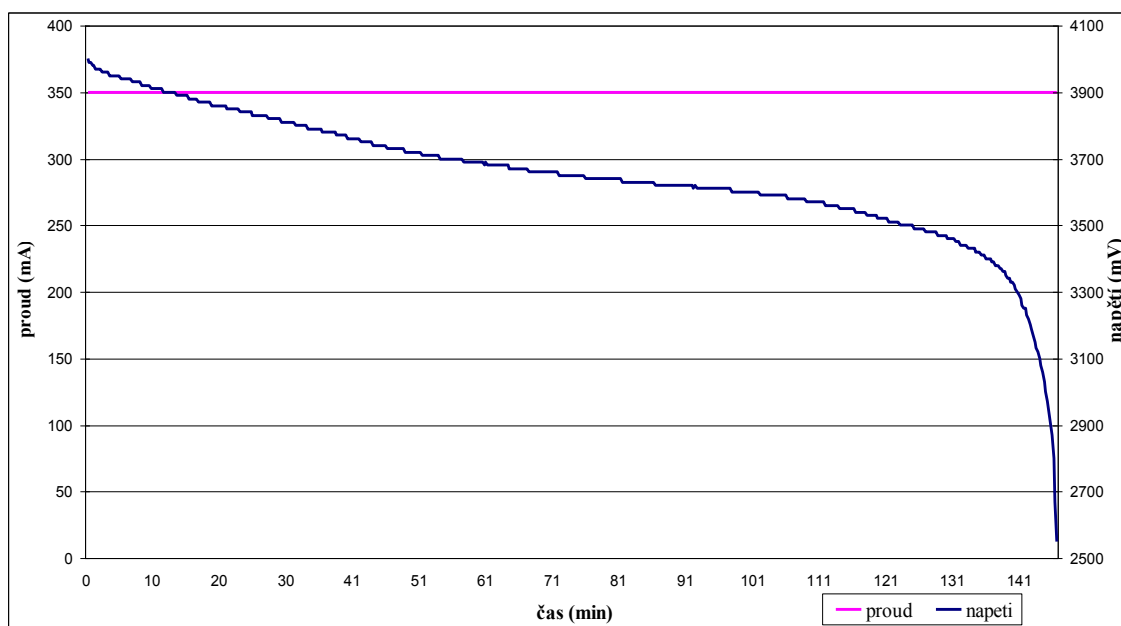
Nabíjecí charakteristika odpovídá předpokládanému průběhu. Proces nabíjení byl ukončen při poklesu proudu pod 4 % počáteční hodnoty.

Při vybíjení byl dodržen konstantní proud a ukončení činnosti nastalo při dosažení hodnoty 2,5 V. Skutečnou kapacitu článku pak vypočítáme následovně:

$$CAP_{Li-ion_{SKUT}} = \frac{870}{1020} * 100 = \underline{\underline{85,3\%}} \quad (5.2)$$



Obr. 5.3 Nabíjecí charakteristika – Li-ion 1020 mAh



Obr. 5.4 Vybíjecí charakteristika – Li-ion 1020 mAh

6 ZÁVĚR

Náplní této diplomové práce bylo vhodně navrhnout a následně zkonstruovat nabíječku řízenou mikroprocesorem.

V úvodní části diplomové práce jsem se snažil především o přiblížení a zpracování informací o způsobech a principech nabíjení nabíjecích akumulátorů. Detailněji je rozebrán způsob nabíjení často používaných akumulátorů NiMH, NiCd a Li-ion.

Kapitola zabývající se návrhem hardwaru podrobně rozebírá nejen nabíjecí, ale i řídicí obvody, které jsou pro správnou funkci nabíjení neméně důležité. Byl proveden detailní návrh zapojení nabíječe a na základě požadovaných parametrů stanoveny vhodné součástky.

Závěrečné kapitoly pak přibližují návrh firmwaru nabíječky a vysvětlují konkrétní provedení nabíjecích algoritmů a komunikaci s PC přes sériové rozhraní.

Výsledkem práce je pak realizace plně funkční mikroprocesorově řízené nabíječky akumulátorů, která je schopna realizovat všechny požadavky uvedené v úvodu návrhu. Funkčnost elektronického návrhu a vytvořených algoritmů je zdokumentována v poslední kapitole. Zobrazuje nabíjecí a vybíjecí charakteristiky několika typů článků. Srovnání naměřených charakteristik s charakteristikami v teoretické části potvrzuje správnou funkci nabíječe.

Praktickým přínosem navrženého přístroje je především možnost přesně dodržet doporučené nabíjecí postupy. Při nabíjení je plně využita kapacita akumulátoru a nedochází k jejich přebíjení. To vše příznivě ovlivňuje životnost akumulátorů. V případě požadavku na nabíjení nových či méně obvyklých typů akumulátorů je možné doplnit požadované algoritmy do řídicího programu. Není nutné provádět žádné změny v zapojení. Užitečnou funkcí je možnost ukládat nabíjecí a vybíjecí charakteristiky a měření kapacity akumulátoru. Charakteristiky, které jsou ukládány do externí paměti, lze pak uložit v podobě datového souboru do PC ve formě tabulky hexadecimálních hodnot. Následně můžeme data zpracovat například v tabulkovém kalkulátoru. Nabíječ je určen především pro modeláře, kteří chtějí mít větší kontrolu při nabíjení svých mnohdy velmi drahých akumulátorů.

Případný další vývoj nabíječe by měl směřovat především k doplnění některých dalších funkcí. Například doplnění detekce nepřípojeného akumulátoru, detekce zkratu či poškozeného akumulátoru. Užitečným nástrojem by dále byl vhodný software pro PC, který by umožňoval pohodlnější práci s naměřenými charakteristikami.

LITERATURA

- [1] CENEK, M. a kol. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003.
- [2] ARENDÁŠ, M., RUCKA, M. Nabíječky a nabíjení Praha: BEN - technická literatura, 2002.
- [3] HAMMERBAUER, J. Teorie Li-ion, Nimh, Nicd baterií, Plzeň: Fakulta Elektrotechnická ZČU v Plzni – Intranet. Dostupné na www: < http://vyuka.fel.zcu.cz/kae/enz/Texty_folie/Texty/ >.
- [4] ŠETKA, V. Nabíječ akumulátorů, 3 verze. Plzeň: Středoškolská odborná činnost VOŠ a SPŠE Plzeň, 2007/2008. Dostupné na www: < <http://soc.nidm.cz/archiv/getWork/hash/40P10VT050689A> >.
- [5] centra s.r.o, Jak na baterie NICD a NIMH. Dostupné na www: < <http://www.cettra.cz/vysilacky-radiostanice/MOTOROLA/Baterie-NiCd,-NiMH-.../Jak-na-baterie/20> >
- [6] TÁBOR R., Inteligentní, univerzální rychlonabíječ a vybíječ AVR 128, Praktická elektronika – A radio; ročník XII/2007. číslo 5
- [7] AVR450: Battery Charger for SLA, NiCd, NiMH and Li-Ion Batteries. Dostupné z www:< http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc1659.pdf >
- [8] Internetový E-Shop, GMElectronic. Dostupné z www: < <http://www.gme.cz/cz/index.php?page=electronic> >
- [9] HUSNÍK O., Mikroprocesorem řízená nabíječka baterií. Brno: Diplomová práce VUT Brno, 2009/2010. Dostupné na www: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26912
- [10] MAŠLÁN S., Terminál pro sériový port. Dostupné na www: http://www.elektronika.kvalitne.cz/SW/SM_terminal/SM_terminal.html
- [11] GM ELECTRONIC, s.r.o. Součástky pro elektroniku 2010. Praha 2010
- [12] Katalogový list tranzistoru NPN – TIP120 firmy STMicroelectronics, dostupné na www.datasheetcatalog.com
- [13] Katalogový list MOSFET tranzistoru – IRF9540 firmy Vishay Siliconix, dostupné na www.datasheetcatalog.com
- [14] Katalogový list řadiče LCD displeje – S6A0069 firmy Samsung Electronics, dostupné na www.catalog.gaw.ru/project/download.php?id=2767
- [15] Katalogový list A/D převodníku – ADS7841 firmy Texas Instruments, dostupné na <http://focus.ti.com/lit/ds/sbas084b/sbas084b.pdf>
- [16] Katalogový list mokrokontroléru – ATmega16 firmy Atmel Corporation, dostupné na http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

LCD – Liquid Crystal Display

Zobrazovač na bázi kapalných krystalů.

RS232 – Recommended Standard 232

Standardní rozhraní pro sériový přenos dat.

SMD – Surface Mount Device

Elektronické součástky pro povrchovou montáž.

USB – Universal Serial Bus

Sériové rozhraní pro připojení periferních zařízení k osobnímu počítači.

NiMH – Nickel Metal Hybride battery

Baterie s Hydroxidem Niklu a kovové slitiny schopné vázat vodík.

NiCd – Nickel-Cadmium battery

Baterie tvořená hydroxidem Niklu a Kadmia

Li-ion – Lithium-ion batteries

Baterie obsahující uhlík

PWM – Pulse width modulation

Pulzně-šířková modulace

SAR– Successive Approximation Register

Postupná aproximace

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

Elektricky mazatelná paměť typu ROM-RAM

ASCII – American Standard Code for Information Interchange

Americký standardní kód pro výměnu informací

RAM – Rechargeable Alkaline Manganese

Alkalický zinko-manganový akumulátor

SLA – Sealed Lead - Acid

Olověný bezúdržbový akumulátor

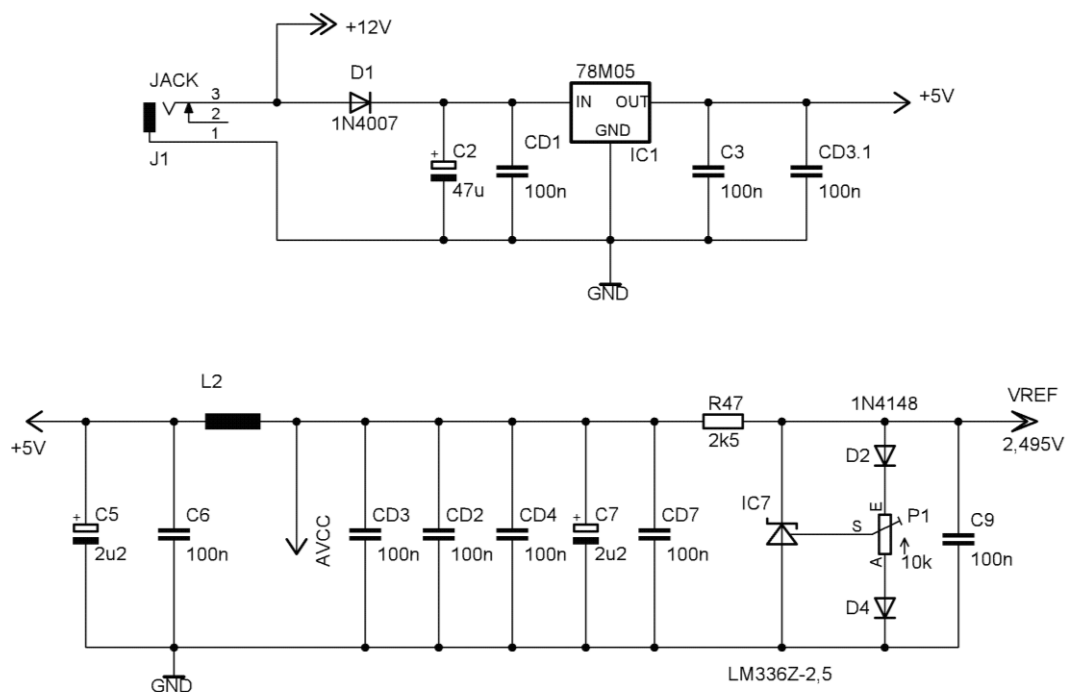
GCC – GNU Compiler Collection

Sada překladačů programovacího jazyka C

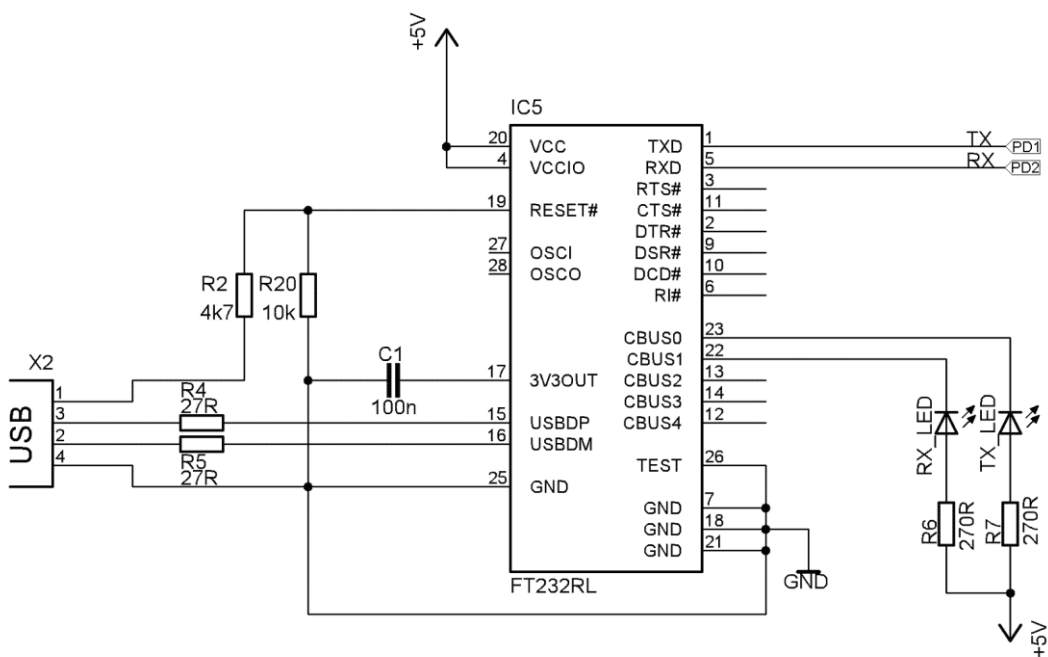
SEZNAM PŘÍLOH

- A.1 Schéma zapojení napájení
- A.2 Schéma zapojení komunikačního rozhraní USB
- A.3 Schéma zapojení mikroprocesoru a periférií
- A.4 Schéma zapojení nabíjecí části obvodu
- A.5 Návrh a osazení desek plošných spojů
- A.6 Seznam součástek
- A.7 Fotografie realizované nabíječky

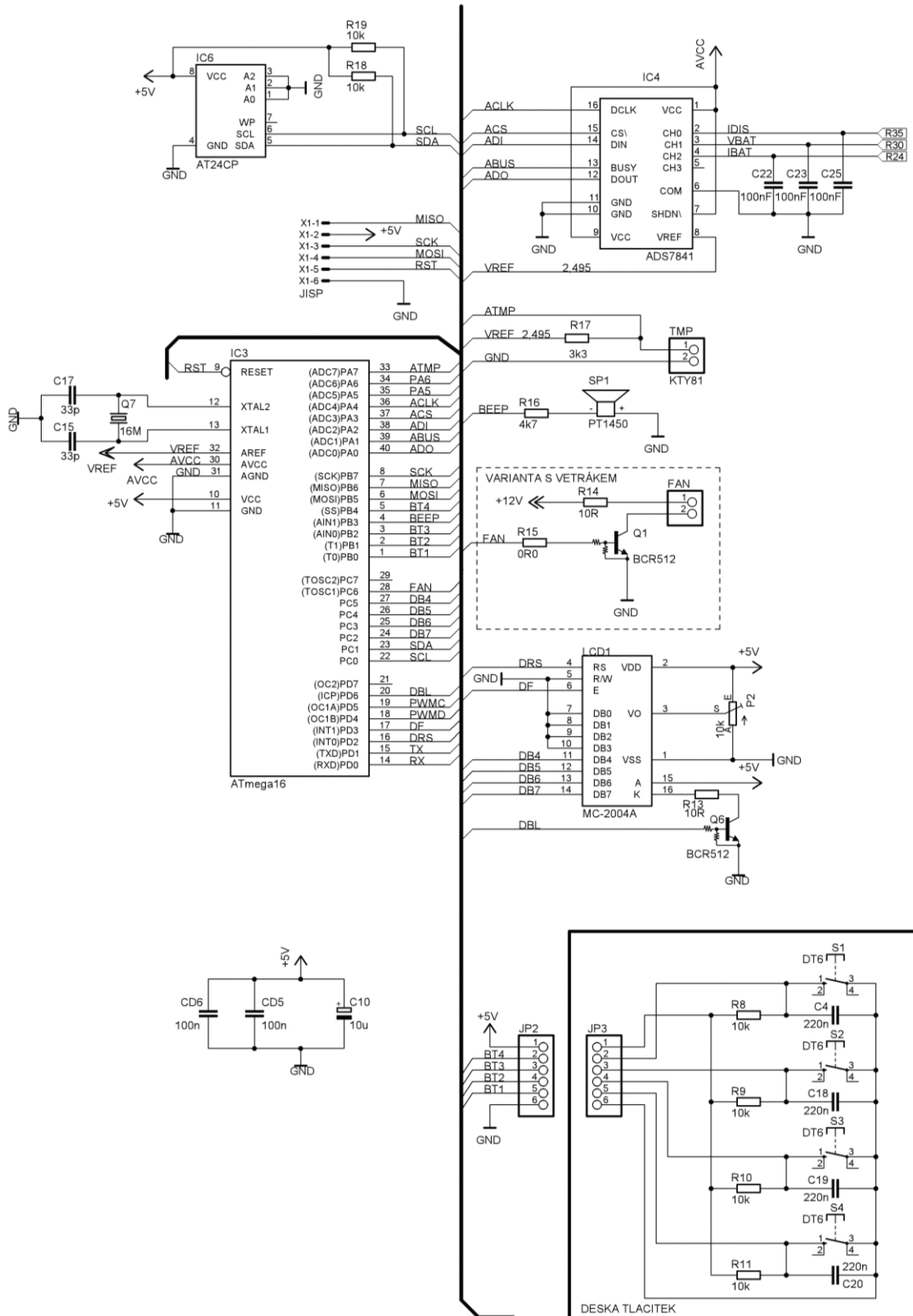
A.1 Schéma zapojení napájení



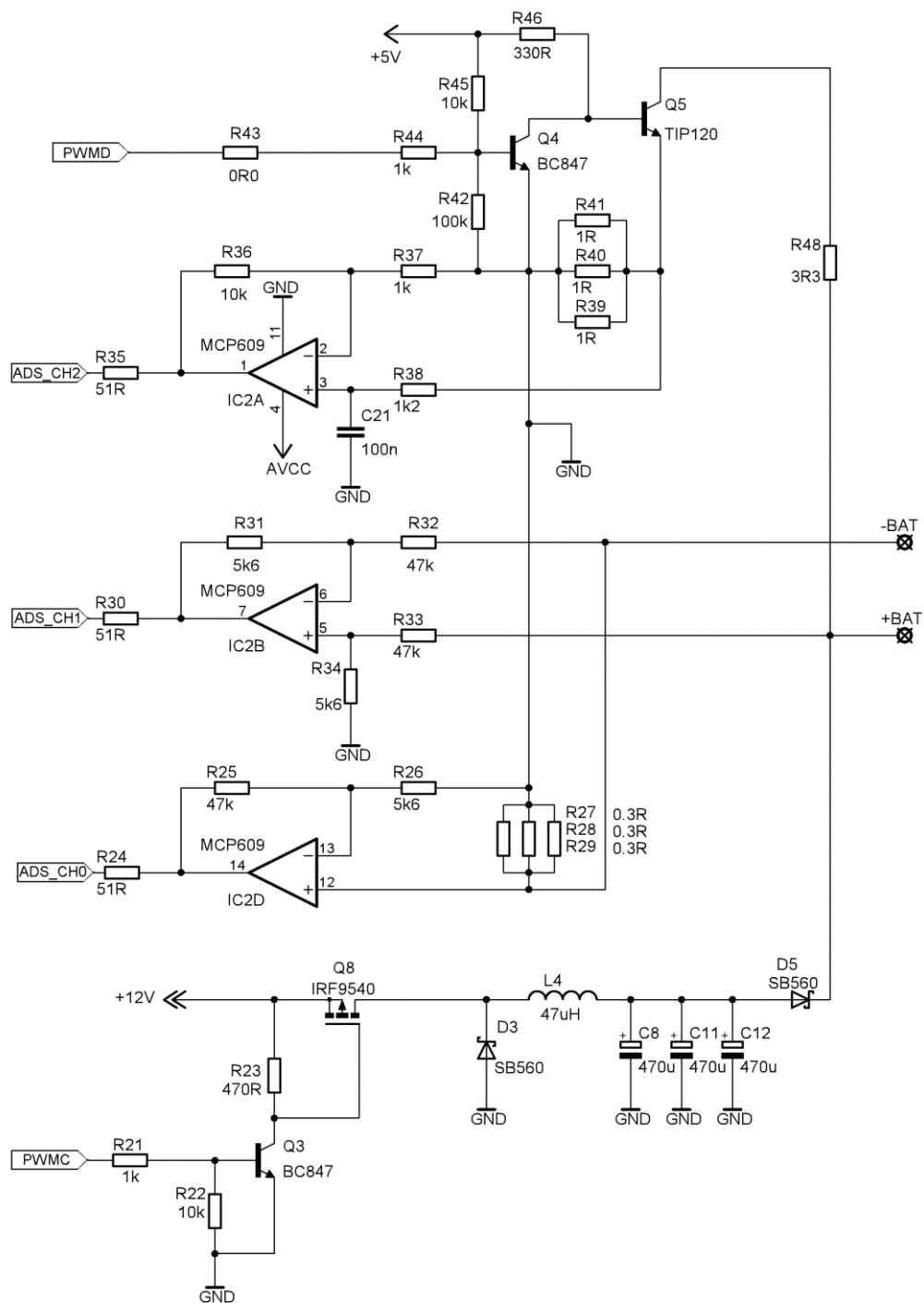
A.2 Schéma zapojení komunikačního rozhraní USB



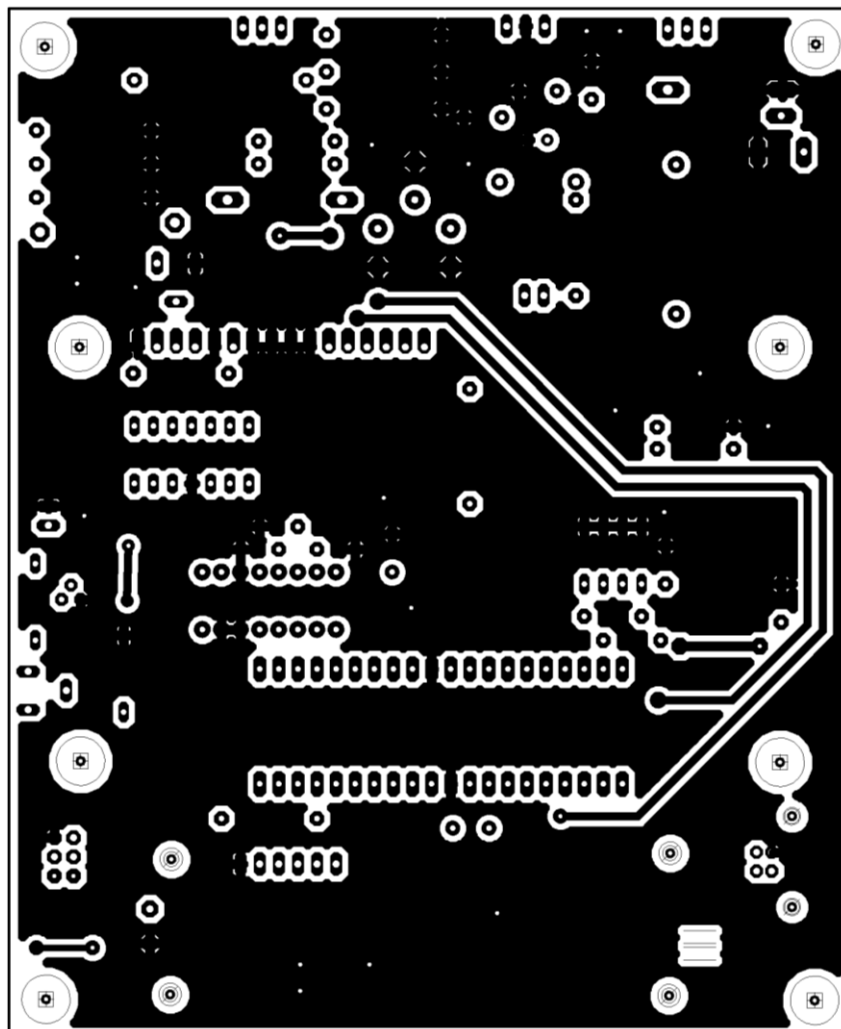
A.3 Schéma zapojení mikroprocesoru a periférií



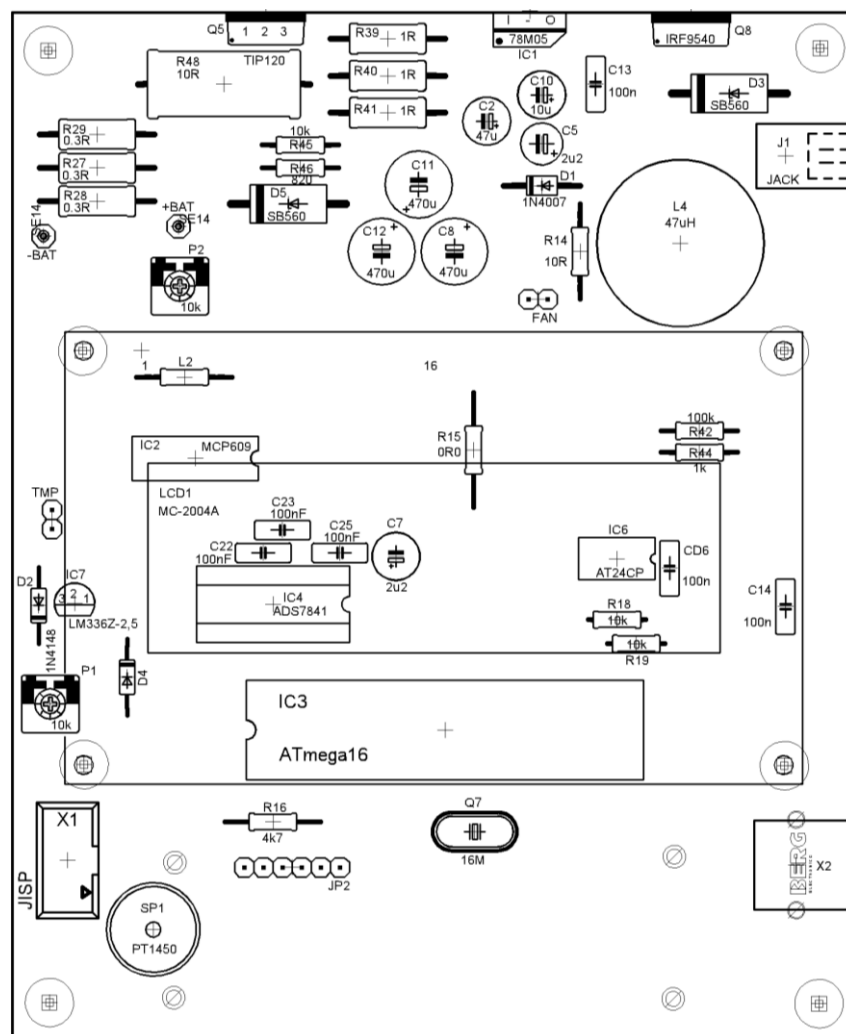
A.4 Schéma zapojení nabíjecí části obvodu



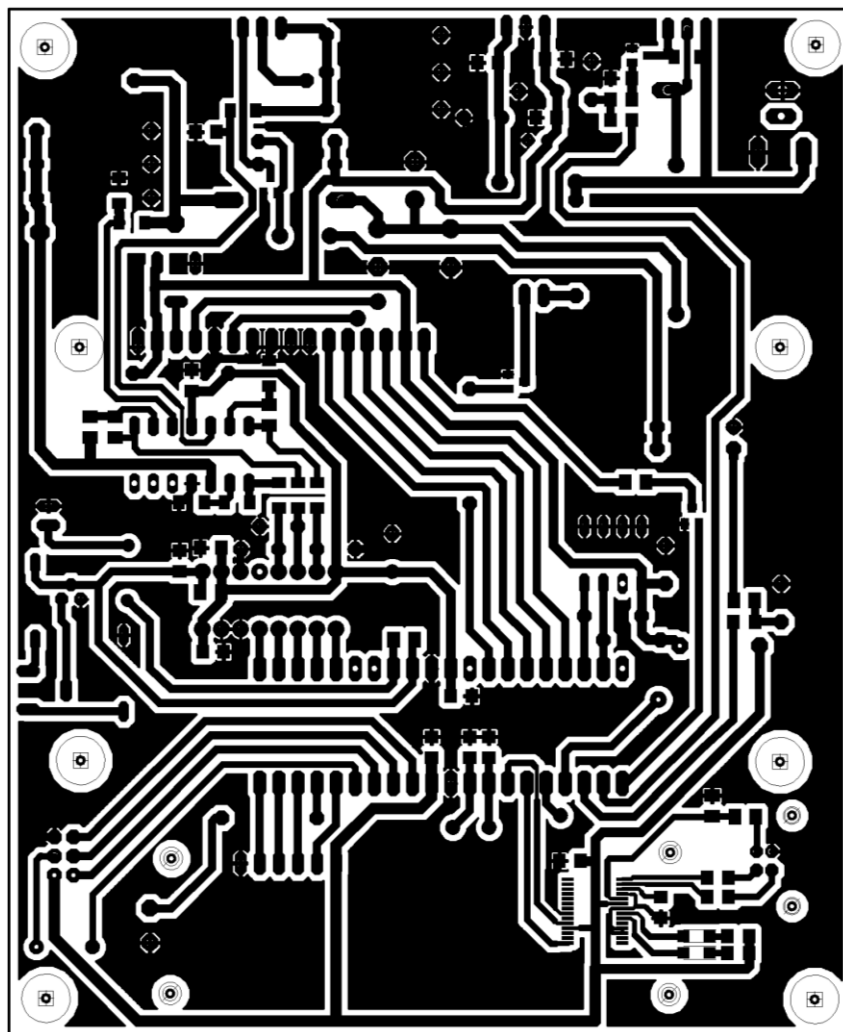
A.5 Návrh a osazení desek plošných spojů



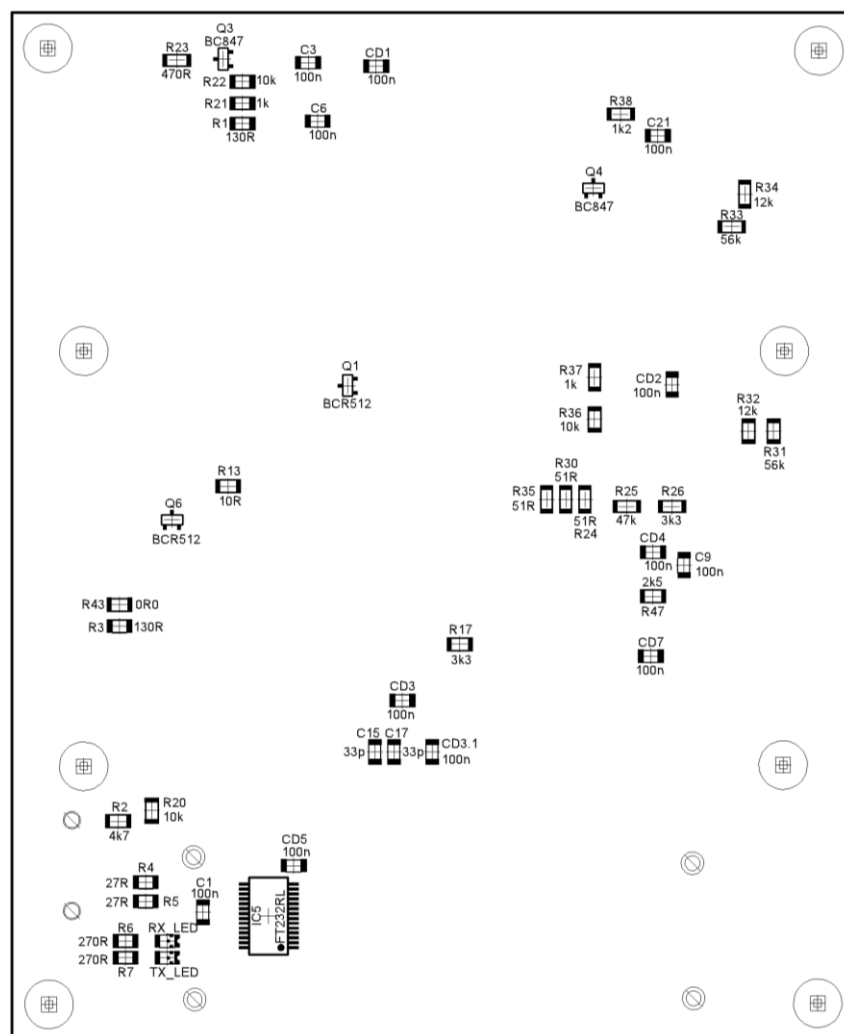
Vrchní strana desky 1 (TOP) – spoje, rozměr:112x136mm, měřítko 1:1



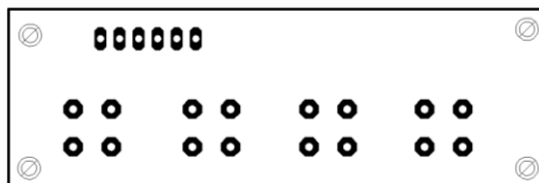
Vrchní strana desky 1 (TOP) – osazovací plán, měřítko 1:1



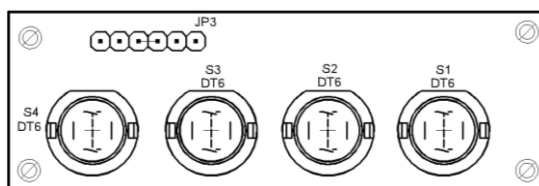
Spodní strana desky 1 (BOTTOM) – spoje, rozměr:112x136, měřítko 1:1



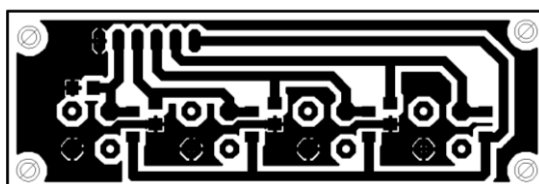
Spodní strana desky 1 (BOTTOM) – osazovací plán, měřítko 1:1



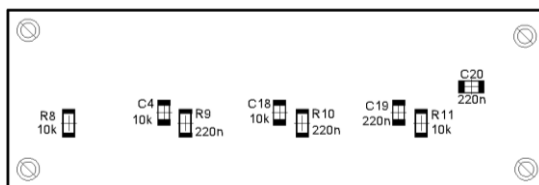
Vrchní strana desky 2 (TOP) – spoje, měřítko 1:1



Vrchní strana desky 1 (TOP) – osazovací plán, měřítko 1:1



Spodní strana desky 1 (BOTTOM) – spoje, měřítko 1:1



Spodní strana desky 1 (BOTTOM) – osazovací plán, měřítko 1:1

A.6 Seznam součástek

Součástka	Hodnota	Popis
Kondenzátory		
C2	47uF/16V	elektrolyt
C5	2,2uF/16V	elektrolyt
C8, C11, C12	470uF/25V	elektrolyt
C10	10uF/16V	elektrolyt
CD6, C13, C14, C22, C23, C25,	100nF	keramický
C1, C3, C6, C9, C21, CD1, CD2, CD3, CD3.1, CD4, CD5, CD7	100nF	SMD 1206
C4, C18, C19, C20	220nF	SMD 1206
C15, C17	33pF	SMD 1206
Rezistory		
R13, R14	10 Ω	metalizovaný
R15	0 Ω	metalizovaný
R16	4,7k Ω	metalizovaný
R27, R28, R29	0,3 Ω /2W	metalizovaný
R18, R19, R45	10k Ω	metalizovaný
R39, R40, R41	1 Ω /2W	metalizovaný
R42	100k Ω	metalizovaný
R44	1k Ω	metalizovaný
R46	820 Ω	metalizovaný
R48	3,3 Ω /5W	drátový
R1, R3	130 Ω	SMD 1206
R2	4,7k Ω	SMD 1206
R4, R5	27 Ω	SMD 1206
R6, R7	270 Ω	SMD 1206
R8, R9, R10, R11, R20, R22, R36	10k Ω	SMD 1206
R17, R26	3,3k Ω	SMD 1206
R21, R37	1k Ω	SMD 1206
R23	470 Ω	SMD 1206
R24, R30, R35	56k Ω	SMD 1206
R25, R32, R33	47k Ω	SMD 1206

R31, R34	5,6k Ω	SMD 1206
R38	1,2k Ω	SMD 1206
R43	0 Ω	SMD 1206
R47	2,4k Ω	SMD 1206
Trimry		
P1, P2	10k Ω	ležatý
Diody		
D1	1N4007	pouzdro D0-41
D2, D4	1N4148	pouzdro DO35
D3, D5	SB560	Schottkyho dioda
Tlumivky		
L2	10uH	TLEC24 - 370mA
L4	47uH/3A	DPU047A3-toroid
LX_LED	LED	SMD 1206 - zelená
TX_LED	LED	SMD 1206 - červená
Tranzistory		
Q1, Q6	BCR512	pouzdro SOT23
Q3, Q4	BC847	pouzdro SOT23
Q5	TIP120	pouzdro TO220
Q8	IRF9540	pouzdro TO220
Integrované obvody		
IC1	78M05/1A	pouzdro TO220
IC2	MCP609	pouzdro DIP14
IC3	ATmega16	pouzdro PDIP40
IC4	ADS7841	pouzdro DIP16
IC5	FT232RL	
IC6	24C02	
IC7	LM336Z-2,5	pouzdro TO-92
Ostatní		
Q7	QM 16.000MHz	krystal
JACK	K375A	vidlice-2,1mm
JISP	MLW06A	2x3piny
X2	USB1X90B PCB	
LCD1	MC2004B	display
S1, S2, S3, S4	P-DT6SW	tlačítko-černé
TMP	KTY81-220	teplotní čidlo - SOD70

A.7 Fotografie realizované nabíječky

