

Nabíječ NiCd a NiMH článků řízený mikroprocesorem

NiCd and NiMH battery charger controlled by microprocessor

Bc. Michal Brázda

Diplomová práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav aplikované informatiky
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal BRÁZDA**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Inteligentní nabíječka**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se se strukturou a funkcí NiCd, NiMH a LiPol akumulátorů.
2. Navrhněte inteligentní nabíječku, která zajistí optimální nabíjení těchto akumulátorů.
3. Navrženou nabíječku zkonstruujte a ověřte její vlastnosti v praxi.
4. Pojednejte o možnosti upravit tuto nabíječku pro nabíjení akumulátorů typu LiPol.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. BASTIAN, P.: Praktická elektrotechnika. Europa – Sobotáles, Brno, 2004, 295 s. ISBN 80-86706-07-9.
2. HORST, J.: Informační a telekomunikační technika. Praha, BEN, 2004, 231 s. Terminologický slovník. ISBN 80-7300-127-6.
3. ZÁHLAVA, V., VOBECKÝ, T.: Elektronika – Součástky a obvody, principy a příklady. Praha, Grada, 2006, 220s. ISBN 80-247.-1241-5.
4. UHLÍŘ, I. A KOL. Elektrické obvody a elektronika. Praha : ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02466-0.
5. MAREK, J., STEHLÍK, L.: Hermetické akumulátory v praxi. IN-EL, spol.s r.o., 2004. ISBN 80-86230-34-4.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Pospíšilík

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

20. února 2009

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2009

Ve Zlíně dne 13. února 2009


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem a sestavením nabíječe akumulátorů s využitím mikroprocesoru od firmy Freescale Semiconductor. Jsou zde popsány obecné principy baterií a jejich nabíjení a také popisuje konkrétní hardwarové a softwarové řešení. Aplikace ke své činnosti využívá Low-End mikroprocesor řady QG8 a představuje jednu z možností využití tohoto procesoru v elektrotechnické praxi.

Klíčová slova:

Mikroprocesor QG8, Nabíječ, Baterie, akumulátor

ABSTRACT

My diploma thesis handles the problem of the concept and construction of the battery charger using the Freescale Semiconductor microprocessor. It describes the general principle of batteries and their charging. It also describes the particular hardware and software application. This application uses Low-End microprocessor of QG8 family and presents one of its possible usage on the electrotechnic field.

Keywords:

Microprocessor QG8, Charger, Battery, accumulator

Poděkování

Mé díky patří vedoucímu diplomové práce ing. Martinu Pospíšilíkovi za odborné vedení a konzultace obvodových částí. Ing. Jan Dolinay a Ing. Petr Dostálek svými konzultacemi z oblasti mikroprocesorů také přispěli k vytvoření této práce a proto i jim patří mé díky. V neposlední řadě musím poděkovat i kolegovi a dlouholetému spolužákovi Bc. Jaroslavu Pucharovi, který mě zasvětil do tajů výroby plošných spojů a umožnil mi použít vlastní vybavení pro jejich výrobu.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 NABÍJECÍ AKUMULÁTORY	12
1.1 DEFINICE OBECNÉHO AKUMULÁTORU.....	12
1.2 ROZDĚLENÍ.....	12
1.3 DEFINICE HERMETICKÉHO AKUMULÁTORU	13
1.4 ROZDĚLENÍ HERMETICKÝCH AKUMULÁTORŮ.....	13
1.5 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE	13
1.5.1 Kapacita akumulátoru (C)	13
1.5.2 Napětí akumulátoru (U)	14
1.5.3 Nabíjecí proud	14
1.5.4 Konečný nabíjecí proud.....	15
1.5.5 Vybíjecí proud.....	15
1.5.6 Konečné vybíjecí napětí	16
1.5.7 Paměťový efekt	16
2 NiCd AKUMULÁTORY	17
2.1 HISTORIE	17
2.2 PRINCIP	17
2.3 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY NiCd AKUMULÁTORŮ	19
2.3.1 Hlavní přednosti NiCd akumulátorů proti ostatním elektrochemickým systémům.....	19
2.3.2 Nevýhody NiCd akumulátorů proti ostatním hermetickým systémům	20
2.4 NABÍJENÍ NiCd AKUMULÁTORŮ	20
3 NiMH AKUMULÁTORY	21
3.1 HISTORIE	21
3.2 PRINCIP	21
3.3 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY NiMH AKUMULÁTORŮ	22
3.3.1 Hlavní přednosti hermetických NiMH akumulátorů.....	22
3.3.2 Nevýhody NiMH akumulátorů.....	22
3.4 NABÍJECÍ METODY VHODNÉ PRO NiMH PLYNOTĚSNÉ AKUMULÁTORY	23
4 LI-ION A LI-POL AKUMULÁTORY	24
4.1 HISTORIE	24
4.2 PRINCIP	25
4.3 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY LITHIOVÝCH AKUMULÁTORŮ	26
4.3.1 Hlavní přednosti hermetických lithiových akumulátorů	26
4.3.2 Nevýhody lithiových akumulátorů	26

4.4	NABÍJECÍ METODY VHODNÉ PRO LITHIOVÉ AKUMULÁTORY	27
5	NABÍJENÍ AKUMULÁTORŮ	28
5.1	PROUDOVÉ NABÍJENÍ	28
5.1.1	Normální nabíjení.....	28
5.1.2	Zrychlené nabíjení.....	28
5.1.3	Rychlé nabíjení.....	29
5.1.4	Velmi rychlé nabíjení	29
5.1.5	Trvalé dobíjení	29
5.1.6	Konzervační proud, konzervační dobíjení	29
5.2	NAPĚŤOVÉ NABÍJENÍ.....	29
5.3	NABÍJENÍ HERMETICKÝCH NiCd AKUMULÁTORŮ	30
5.3.1	Ukončení časové	30
5.3.2	Ukončení napět'ové	31
5.3.2.1	Metoda „V _{CO} “	31
5.3.2.2	Metoda „PKV“	31
5.3.2.3	Metoda „-ΔV“	32
5.3.2.4	Metoda „d ² V/dt ² “	33
5.3.3	Ukončení teplotní	33
5.3.3.1	Metoda „TCO“	33
5.3.3.2	Metoda „ΔT/Δt“	34
5.3.4	Ukončení proudové	34
5.4	NABÍJENÍ HERMETICKÝCH NiMH AKUMULÁTORŮ.....	34
5.5	NABÍJENÍ LITHIOVÝCH AKUMULÁTORŮ.....	35
6	MIKROPROCESOR A ROZHRANÍ BDM	37
6.1	MIKROPROCESOR FREESCALE MC9S08QG8	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST	41
7	REALIZACE NABÍJEČE	42
8	NÁVRH A VÝROBA OBVODŮ A DPS	43
8.1	EAGLE 4.16R2	43
8.2	NAPÁJECÍ MODUL	43
8.2.1	Schéma zapojení.....	44
8.2.2	Deska plošných spojů.....	44
8.3	NABÍJECÍ MODUL	45
8.3.1	Schéma zapojení – řídicí a napájecí část.....	45
8.3.2	Schéma zapojení – měřicí část	47
8.3.3	Schéma zapojení – nabíjecí část.....	47
8.3.4	Schéma zapojení – vybíjecí část.....	48
8.3.5	Deska plošných spojů.....	49
8.4	VÝROBA, OSÁZENÍ A OŽIVENÍ DPS	49
9	SOFTWARE PRO MIKROPROCESOR	52

9.1	FREESCALE CODE WARRIOR 5.9.0	52
9.2	POPIS PROGRAMU MIKROPROCESORU	52
9.2.1	Volba režimu	54
9.2.2	Sledování přítomnosti článků.....	54
9.2.3	Měřicí proces.....	55
ZÁVĚR		56
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....		57
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		58
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		59
SEZNAM OBRÁZKŮ		60
SEZNAM PŘÍLOH.....		61

ÚVOD

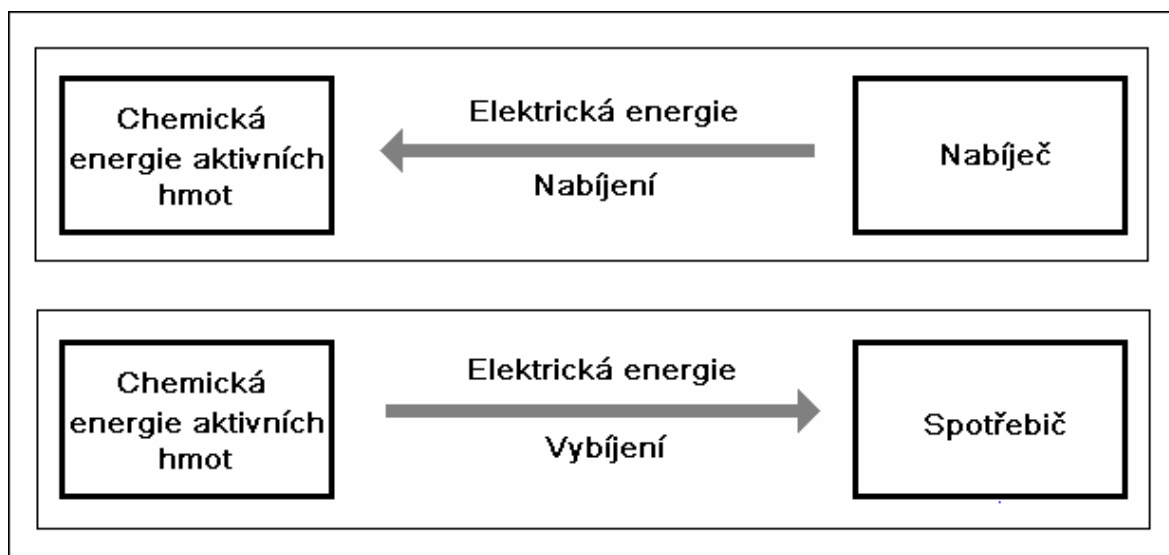
Takto práce se zabývá možností využití mikroprocesoru v jednoduché aplikaci nabíječe akumulátorů. V teoretické části popsány jednotlivé typy baterií běžně používané v praxi a také jsou zde uvedeny nejběžnější metody jejich nabíjení. V této části je také zhruba popsán použitý mikroprocesor. V praktické části je zahrnut návrh obvodových schémat nabíječe, jejich funkční popis a dále také vlastní konstrukce desek plošných spojů vycházející z návrhu obvodů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NABÍJECÍ AKUMULÁTORY

1.1 Definice obecného akumulátoru

Elektrické akumulátory jsou chemické zdroje elektrické energie, které jsou v průběhu nabíjení schopné přijímat elektrickou energii z vnějšího zdroje a uchovávat ji (akumulovat) ve svých elektrodách jako energii chemickou (změnou chemického složení elektrochemicky aktivních složek elektrod). Při vybíjení dodává akumulátor elektrickou energii do spotřebiče. Přitom se mění chemické složení aktivních složek elektrod – chemická energie v nich akumulovaná se mění na energii elektrickou (obr. 1). Hlavními funkčními částmi elektrických akumulátorů jsou kladná a záporná elektroda, elektrolytový systém tvořený elektrolytem a separátory a obal (nádoba) akumulátoru včetně proudových vývodů elektrod [1].



Obr 1. Schematické zobrazení funkce akumulátoru

1.2 Rozdělení

Elektrické akumulátory je možné dělit podle řady hledisek. Nejzákladnější je dělení podle typu elektrolytu na akumulátory s kyselým, a alkalickým a s bezvodým elektrolytem, podle provedení pak na otevřené a uzavřené plynotěsné akumulátory [1]. Pro účely této práce se nadále budeme zabývat pouze akumulátory uzavřenými plynotěsnými s alkalickým či jiným nekyselým elektrolytem.

1.3 Definice hermetického akumulátoru

Uzavřený plynotěsný akumulátorový článek (hermetický akumulátor), je akumulátorový článek, který zůstává uzavřený a neuvolňuje ani plyn ani kapalinu, je-li provozován v mezích nabíjecích a teplotních podmínek stanovených výrobcem. Článek může být vybaven bezpečnostním prvkem, který chrání před nebezpečným vnitřním tlakem. Článek nevyžaduje doplňování elektrolytu a je konstruován pro provoz po celou dobu životnosti ve svém uzavřeném plynotěsném stavu [1].

1.4 Rozdělení hermetických akumulátorů

Hermetické akumulátory se dělí do různých skupin např. podle tvaru, chemického systému a způsobu použití. V této práci jsem se zabýval akumulátory válcového typu pro všeobecné použití. Podstatné je pro nás tedy rozdělení podle používaného elektrochemického systému. Dělení je tedy následující:

- Niklkadmiové články (NiCd)
- Niklmetalhydridové (NiMH) někdy značené jako nikl-kovové hybridy
- Li akumulátory (Li-Ion, Li-Pol)

1.5 Základní pojmy a definice

1.5.1 Kapacita akumulátoru (C)

Kapacita akumulátoru je množství elektrického náboje, které může tento článek dodat při vyvíjení. Její velikost se udává v ampérhodinách (Ah) nebo miliampérhodinách (mAh). Je třeba rozlišovat mezi skutečnou a jmenovitou kapacitou.

Skutečná (aktuální) **kapacita** je hodnota kapacity měřená za daných konkrétních podmínek a může se měnit v závislosti na stáří akumulátoru, podmínkách nabíjení, velikosti vybíjecího proudu, konečném vybíjecím napětí, teplotě a závisí na mnoha dalších faktorech.

Jmenovitá kapacita (C_5) je hodnota udaná výrobcem a odpovídá kapacitě, kterou může samostatný čerstvý článek dodat při pětihodinovém vybíjení do daného konečného vybíjecího napětí (u NiCd a NiMH článků je to 1,0 V) při 20 °C po nabíjení, skladování a

vybíjení za podmínek stanovených normou platnou pro daný typ akumulátoru. V nově vydávaných normách je pojem „jmenovitá kapacita“ nahrazován pojmem „zaručená kapacita“ (C_n), kde n označuje počet hodin vybíjení, při nichž je kapacita měřena.

U hermetických akumulátorů se ve většině případů měří kapacita při pětihodinovém vybíjení, ale například u olověných akumulátorů je to většinou při dvacetihodinovém vybíjení [1].

1.5.2 Napětí akumulátoru (U)

Je potřeba rozlišovat napětí akumulátoru **jmenovité** a **skutečné**.

Jmenovité napětí akumulátoru je stanoveno normou a bývá uváděno na výrobku. Jeho velikost se přibližně rovná průměrnému napětí při vybíjení za standardních podmínek. Jmenovité napětí NiCd a NiMH akumulátorového článku je 1,2V, u Li-Ion akumulátorového článku je 3,6V.

Skutečné napětí je napětí naměřené na svorkách akumulátoru. Jeho velikost se mění v závislosti na teplotě, stavu nabití akumulátoru, na směru a velikosti protékajícího proudu a na celé řadě dalších faktorů. Pokud je měřeno napětí nezatíženého akumulátoru, jedná se o napětí naprázdno. Toto napětí musí být měřeno s velmi malou spotřebou (s velkým vnitřním odporem měřícího přístroje).

Závislost napětí akumulátoru na množství náboje dodaného v průběhu nabíjení je zobrazena tzv. **nabíjecími křivkami**, průběh napětí při vybíjení akumulátoru (závislost napětí na množství odebraného náboje) je zobrazen pomocí tzv. **vybíjecích křivek**. U některých typů akumulátorů je výrobcem stanoveno **maximální** (nejvyšší povolené) **nabíjecí napětí**, které nesmí být v žádném případě překročeno. Při vybíjení akumulátorů nesmí být akumulátor vybit na nižší hodnotu než je **minimální** (nejnižší povolené) **vybíjecí napětí**. Přestoupení obou výše uvedených mezních hodnot může mít za následek trvalé zničení akumulátoru [1].

1.5.3 Nabíjecí proud

Stejnoseměrný proud protékající akumulátorem při nabíjení je tzv. **nabíjecí proud**. Ten může být buď konstantní v průběhu celého nabíjecího procesu, nebo proměnný, a to buď periodicky (např. pulzní), nebo postupně (nepravidelně) se měnící. Pro správné určení

náboje dodaného akumulátoru při nabíjení a správné nastavení nabíjecího proudu je rozhodující jeho střední hodnota. Proto je třeba pro měření velikosti nabíjecího proudu používat měřicí přístroje udávající střední velikost měřené veličiny. Vhodné jsou například přístroje s magnetoelektrickým měřicím ústrojím. Velké opatrnosti je třeba dbát při aplikaci elektronických měřicích přístrojů, které mohou udávat efektivní nebo maximální hodnotu měřené veličiny a tím může docházet ke značným chybám, zvláště při měření pulsních proudů, nebo stejnosměrných proudů s transponovanou střídavou složkou.

Velikost nabíjecího proudu je možné udávat buď jako jeho absolutní hodnotu v mA, nebo A, ale běžně je možno se setkat s jeho vyjádřením jako násobku jmenovité kapacity. Například proud 2 A používaný k nabíjení článku s jmenovitou kapacitou 4 Ah je vyjádřen jako $C/2$ A nebo $0,5 C_5$ A. Podle poslední úpravy norem (ČSN EN 61434) byl zaveden pojem zkušební referenční proud (I_t), který se vyjadřuje jako:

$$I_t [A] = C_n [Ah / 1h],$$

kde:

C_n je zaručená kapacita v Ah

n je časová základna v hodinách, pro kterou je zaručená kapacita deklarována

Ve starší literatuře je možné se ještě setkat s vyjádřením proudu jako násobku I_{10} , kde I_{10} je proud určený pro tzv. desetihodinové vybíjení akumulátoru.[1]

1.5.4 Konečný nabíjecí proud

Termín konečný nabíjecí proud se používá u lithiových akumulátorů. Je to proud, při kterém je nabíjení článku nebo baterie, prováděné při konstantním napětí stanoveném výrobcem, ukončeno [1].

1.5.5 Vybíjecí proud

Stejnoseměrný proud dodávaný akumulátorem při vybíjení do vnější zátěže je tzv. **vybíjecí proud**. O jeho povaze, měření a vyjadřování platí totéž, co bylo řečeno o nabíjecím proudu.

Maximální vybíjecí proud je trvalý vybíjecí proud stanovený výrobcem, který v žádném případě nesmí být překročen (jinak může nastat poškození akumulátoru).

Špičkový vybíjecí proud je maximální vybíjecí proud povolený výrobcem po velmi krátkou dobu proudové špičky. Trvání proudové špičky je časově omezeno, např. 0,3 s do poklesu napětí na 0,65 V. [1]

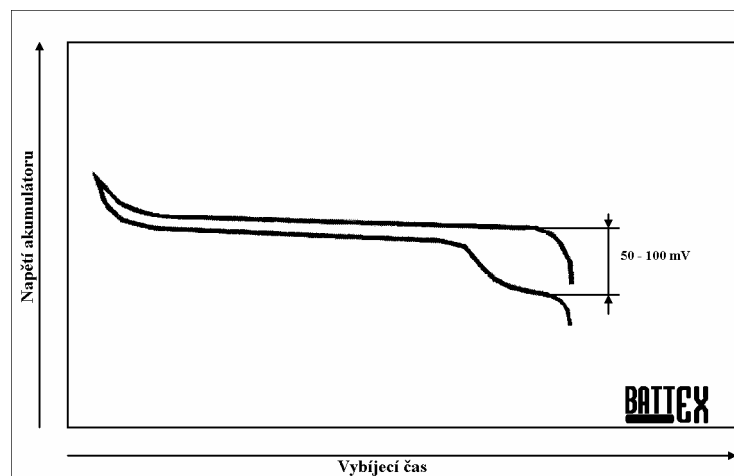
1.5.6 Konečné vybíjecí napětí

Konečné napětí je předepsané napětí při kterém se považuje vybíjení článku nebo baterie za ukončené.[1]

1.5.7 Paměťový efekt

Paměťový efekt byl poprvé pozorován a popsán v padesátých letech minulého století u NiCd akumulátorů pro kosmické aplikace. Jeho mechanismus byl vysvětlen v první polovině sedmdesátých let. Bohužel je to nejčastěji mylně interpretovaný a neseriózními distributory neoprávněně v konkurenčním boji využívaný pojem.

Tento jev vzniká při opakovaném vybíjení NiCd akumulátorů (min 50 až 100x) na malou, ale vždy stejnou hloubku vybití. Jeho podstatou jsou změny krystalické struktury záporné elektrody. Je to reverzibilní jev snadno odstranitelný plným vybitím akumulátoru. Projevem paměťového efektu je vznik druhého vybíjecího stupně, což je náhlý pokles napětí akumulátorového článku zhruba o 50 až 100 mV (Obr 2). U akumulátorů, kde kadmium není elektrochemicky aktivní složkou záporné elektrody, se paměťový efekt vyskytovat nemůže.[1]



Obr 2. Paměťový efekt u NiCd akumulátoru

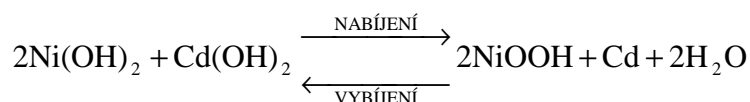
2 NICD AKUMULÁTORY

2.1 Historie

Prvním prakticky použitelným alkalickým akumulátorem se stal na počátku dvacátého století tzv. Edisonův železníkový akumulátor, jehož elektrolytem byl roztok hydroxidu sodného (NaOH). Záměnou sloučenin železa jako aktivní složky záporné elektrody kadmíem, vytvořil Švéd W. Jungner mnohem dokonalejší nikl-kadmiový akumulátor. Průmyslová výroba hermetických akumulátorů a akumulátorů se sintrovanými elektrodami se rozvinula po druhé světové válce především ve Francii a v Německu. Namísto roztoku NaOH je jako elektrolyt používán ve většině případů vhodnější roztok hydroxidu draselného (KOH). [1]

2.2 Princip

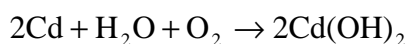
Elektrochemicky aktivní složku kladné elektrody je ve vybitém stavu hydroxid nikelnatý, záporné elektrody hydroxid kademnatý. Elektrochemické děje v průběhu nabíjení a vybíjení je možno velmi zjednodušeně popsat pomocí následující rovnice:



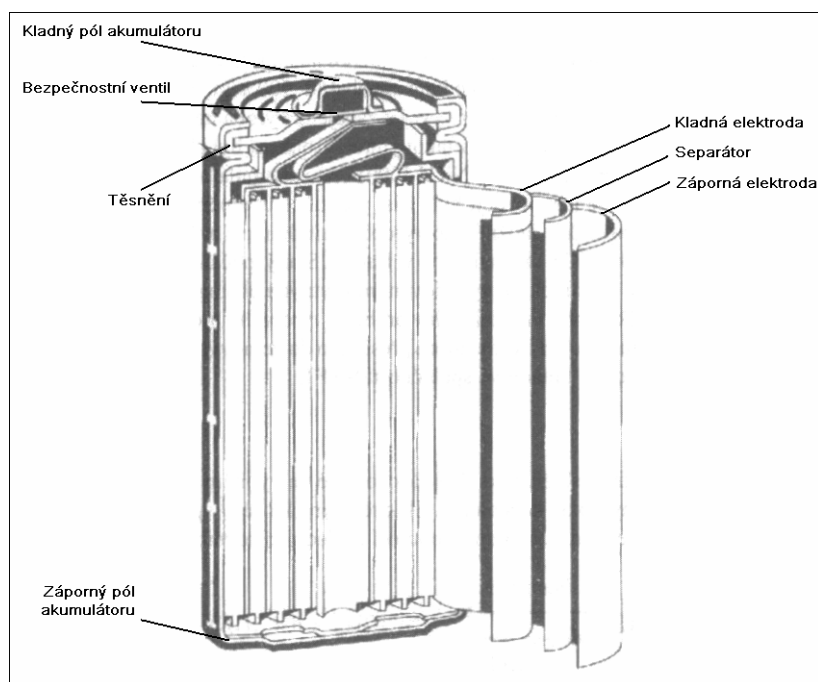
Vedle elektrochemicky aktivní složky obsahují elektrody další materiály, které vytvářejí vodivou složku, nosný skelet a proudový kolektor. Elektrolytem hermetických akumulátorů je ve většině případů hydroxid draselný (KOH) rozpuštěný ve vodě. Mezi elektrody jsou vloženy separátory, které oddělují kladný a záporný elektrodový systém a současně slouží jako nosič elektrolytu. Při nabíjení se aktivní složka kladné elektrody, hydroxid nikelnatý, mění na niklooxihydroxid (dvojmocný nikl přechází na trojmocný) a hydroxid kademnatý na kovové kadmium. Tyto děje však mohou probíhat pouze do plného nabití elektrod. Pokud nabíjení pokračuje i po plném nabití elektrod, dochází k přebíjení, při kterém se začne rozkládat elektrolyt; dochází k elektrolýze vody, jejímž důsledkem je vývoj kyslíku na kladné a vodíku na záporné elektrodě. U otevřených akumulátorů jsou takto vznikající plyny odváděny do okolní atmosféry.

V hermetických akumulátorech se využívá schopnosti záporné elektrody vázat kyslík uvolňující se na kladné elektrodě při přebíjení. Tento děj se nazývá **rekombinace**.

Kapacita elektrod musí být nastavena tak, aby při dosažení plného nabití kladné elektrody existovala v záporné elektrodě část aktivní hmoty v nenabitém stavu. To znamená, že záporná elektroda musí mít vůči kladné elektrodě větší kapacitu. Chemické děje probíhající při přebíjení hermetických NiCd akumulátorů je možné velmi zjednodušeně popsat celkovou rovnicí:



Výsledným dějem je to, že kyslík uvolněný při přebíjení na kladné elektrodě je vázán na elektrodě záporné. Přitom je kovové kadmium, vznikající jako produkt nabíjení záporné elektrody, oxidováno na $\text{Cd}(\text{OH})_2$, čímž je zabráněno jejímu plnému nabití s následujícím přebíjením a nežádoucím vývojem vodíku. Tento pochod se nazývá **rekombinace**. Z vnějšího pohledu se proces přebíjení hermetických akumulátorů jeví tak, že článku je dodávána elektrická energie, která se přeměňuje v teplo – článek se zahřívá.[1]



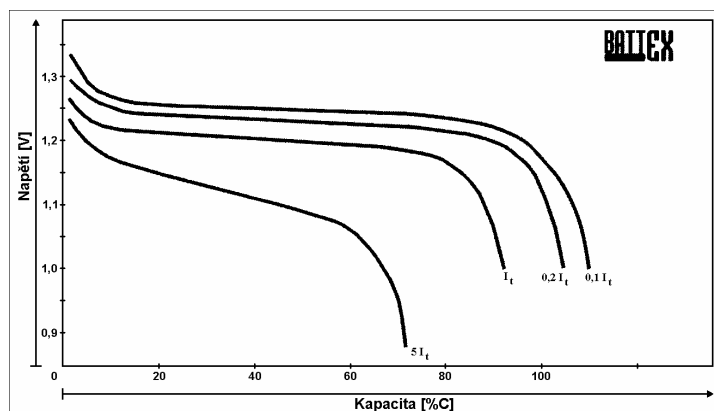
Obr. 3. Konstrukce hermetického NiCd akumulátoru válcového tvaru

2.3 Základní charakteristiky NiCd Akumulátorů

2.3.1 Hlavní přednosti NiCd akumulátorů proti ostatním elektrochemickým systémům

K hlavním výhodám patří:

- vysoká spolehlivost a životnost – vhodné i pro kosmickou, leteckou, vojenskou a zdravotnickou techniku
- možnost odběru velmi vysokých proudů – nejlepší zdroje pro napájení profesionálního akumulátorového nářadí a obdobné aplikace
- schopnost rychlého a velmi rychlého dobíjení
- velký rozsah pracovních teplot pro vybíjení (-40 až +70 °C)
- výborné mechanické vlastnosti – odolnost vůči rázům a vibracím
- univerzálnost – jsou vhodné pro širokou škálu aplikací
- relativně malá změna napětí v průběhu vybíjení, čímž je dán prakticky konstantní výkon spotřebičů napájených NiCd akumulátory. Z typických vybíjecích křivek hermetických NiCd akumulátorů při různě velikých vybíjecích proudech na obrázku 4 je zřejmé, že po mírném poklesu napětí na počátku vybíjení (zvláště menšími proudy) zůstává napětí téměř konstantní a to prakticky až do plného vyčerpání kapacity; poté strmě klesá[1].



Obr. 4. Vybíjecí křivky různými proudy NiCd akumulátoru pro všeobecné použití při 20 °C, po předchozím nabíjení proudem 0,1 I_t po dobu 16 hodin při 20 °C

2.3.2 Nevýhody NiCd akumulátorů proti ostatním hermetickým systémům

K hlavním nevýhodám patří:

- menší měrná energie vztažená na hmotnost nebo objem
- náhlý pokles napětí na konci vybíjení – podle napětí nelze určit zbytkovou kapacitu
- obsah kadmia, které je klasifikováno jako látka škodlivá životnímu prostředí

2.4 Nabíjení NiCd akumulátorů

Všechny typy hermetických NiCd akumulátorů se mohou nabíjet normálním proudem, konzervačním proudem a proudem pro trvalé dobíjení. Zrychlené, rychlé a velmi rychlé nabíjení se může použít pouze u typů a za podmínek stanovených výrobcem. Pro indikaci ukončení nabíjení (dosažení plného nabití) při rychlém a velmi rychlém nabíjení je možno použít všechny metody popsané v kapitole o nabíjení akumulátorů. [1]

3 NIMH AKUMULÁTORY

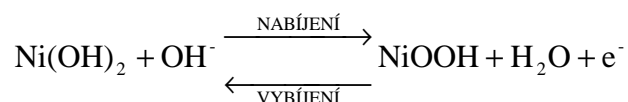
3.1 Historie

Intenzivní výzkum a vývoj NiMH akumulátorů byl zahájen v osmdesátých letech minulého století. Hlavním důvodem byly požadavky ekologů na náhradu škodlivého kadmia vhodnějším materiálem. Ke komerčnímu využití došlo v druhé polovině devadesátých let.

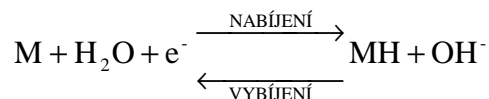
První výrobky trpěly řadou „dětských nemocí“, hlavně velmi vysokým samovybíjením, zhoršováním funkceschopnosti během skladování a vysokou cenou. Velmi rychle však nastalo zlepšování užitečných vlastností, které dále pokračuje a NiMH akumulátory se staly běžným výrobkem, především v mobilní technice. [1]

3.2 Princip

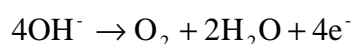
Kladná elektroda NiMH akumulátorů má stejnou konstrukci a stejné složení aktivní hmoty jako kladná elektroda NiCd akumulátorů. To znamená, že rovněž elektrochemické změny probíhající při nabíjení a vybíjení jsou shodné a jsou popsány následující rovnicí:



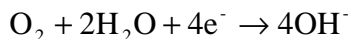
Záporná elektroda obsahuje jako elektrochemicky aktivní látku kovovou slitinu, která je schopná během nabíjení a vybíjení vázat a uvolňovat vodík podle následující rovnice:



V průběhu přebíjení se na kladné elektrodě uvolňuje kyslík dle rovnice:



Akumulátor musí být zhotoven tak, aby po dosažení plného nabití kladné elektrody zůstala část aktivní hmoty záporné elektrody nenabitá. Kyslík vznikající při přebíjení na kladné elektrodě prochází porézním separátorem na zápornou elektrodu, kde je redukován dle rovnice:



Plynný kyslík je takto vázán a současně je oxidována aktivní hmota záporné elektrody. Ta pak nemůže být plně nabita a nedochází tak na ní k vývinu vodíku v průběhu přebíjení. Tento děj se nazývá rekombinace a umožňuje hermetizaci NiMH akumulátorů.[1]

3.3 Základní charakteristiky NiMH akumulátorů

3.3.1 Hlavní přednosti hermetických NiMH akumulátorů

Ve srovnání s NiCd jsou hlavními přednostmi NiMH akumulátorů větší kapacita získaná z článku shodných rozměrů a menší zátěž pro životní prostředí. Proto našly uplatnění hlavně tam, kde byly dříve používány NiCd akumulátory s velkou měrnou energií.[1]

3.3.2 Nevýhody NiMH akumulátorů

K nevýhodám NiMH akumulátorů patří:

- menší rozsah klimatických a mechanických odolností,
- větší samovybíjení,
- větší vnitřní impedance - nejsou vhodné pro velmi rychlé nabíjení a extrémně velké vybíjecí proudy,
- vyšší cena ve srovnání s NiCd.

NiMH akumulátory byly uvedeny na trh v relativně nedávné době. Jejich užité parametry jsou průběžně zlepšovány a je předpoklad, že některé jejich negativní vlastnosti budou v brzké době zlepšeny nebo zcela odstraněny. Vývoj NiMH akumulátorů jde neustále dopředu, a to co platilo před rokem, již dnes nemusí být pravda. Samovybíjení akumulátorů se dnes již velice blíží hodnotám odpovídajícím NiCd akumulátorům. Podobně se již setkáváme s NiMH akumulátory, které jsou schopny dát vybíjecí proud odpovídající několikanásobku jmenovité kapacity akumulátoru. Rovněž ceny NiMH akumulátorů za poslední roky značně klesly. Oproti NiCd akumulátorům se u NiMH a Li-Ion akumulátorů každoročně objevuje několik novinek, nebo desítek novinek, zejména

rozměrových typů. Také se setkáváme s neustálým zvyšováním jejich kapacity a zlepšováním jejich vlastností [1].

3.4 Nabíjecí metody vhodné pro NiMH plynotěsné akumulátory

Pro nabíjení všech typů NiMH plynotěsných akumulátorů je možné využít normálního nabíjení, konzervačního dobíjení a trvalého dobíjení. Zrychlené nabíjení a rychlé nabíjení se může použít pouze u typů a za podmínek stanovených výrobcem. Pro indikaci ukončení nabíjení (dosažení plného nabití) při rychlém nabíjení je vhodné použít metodu „ $-\Delta V$ “ s indikací poklesu napětí o 5 mV na článek. [1]

4 LI-ION A LI-POL AKUMULÁTORY

4.1 Historie

Primární lithiové články, vynalezené v polovině šedesátých let minulého století, se již od začátku vyznačovaly vysokou měrnou energií a kapacitou, velice nízkým samovybíjením a četnými dalšími příznivými vlastnostmi. Jako třešničkou na dortu se pak po mnohých pokusech ukázalo, že jsou vyrobitelné i v dobíjitelné verzi.

V polovině sedmdesátých let začaly pokusy, kde kladnou elektrodou byly sulfidy kovů a zápornou elektrodou kovové lithium. Výsledky však nebyly uspokojivé, protože docházelo ke korozi a pasivaci elektrod. Dalším problémem bylo, že při nabíjení malým proudem ($\approx 0,05 I_t$) mělo lithium snahu tvořit jehličky, které pak perforovaly separátor a docházelo k vnitřním zkratům akumulátoru, nebo tvořilo vysoce reaktivní houbovitou hmotu o velkém povrchu, která spouštěla nepředvídatelné teplotní pochody.

Na začátku osmdesátých let začaly pokusy s články, kde zápornou elektrodou byly sloučeniny LiWO_2 , $\text{Li}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$ nebo Li_9MoSe_6 jako zdroj lithiových iontů Li^+ a kladnou elektrodou sloučeniny titanu, wolframu, niobu, vanadia nebo molybdenu. Výsledky však nebyly uspokojivé, protože články měly nízké napětí (1,8 V, 2,7 V), nízkou kapacitu a energeticky náročnou, komplikovanou nebo drahou výrobu.

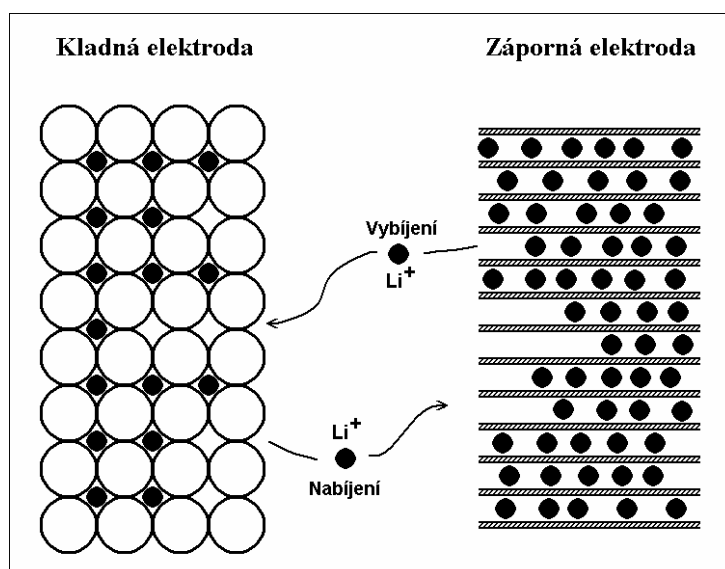
Velký pokrok přinesl až 4. Mezinárodní seminář o nabíjecích bateriích, konaný v Deer-field Beach na Floridě v březnu 1990. Tam zástupci firmy SONY představili novou technologii, která využívala jako aktivní materiál pro zápornou elektrodu směsi grafitu (uhlíku) obohaceného lithiem a polyolefinů. Možnost elektrochemického vložení iontů Li^+ do grafitu (interkalace) byl znám již od roku 1975, ale toto bylo první praktické využití.

Název „Li-Ion akumulátory“ pro tento zdroj spojený s vysokým napětím, možností nabíjení a vybíjení, s dlouhou životností, vysokou kapacitou a dobrou bezpečností, zavedl výkonný ředitel firmy SONY Energytec pan K. Tozawa. Název „Ion“ je použit díky iontům Li^+ , které putují při nabíjení z kladné elektrody na zápornou a při vybíjení je tomu naopak.

V normách se setkáváme s označením lithiový akumulátor, akumulátor Li nebo Li-Ion akumulátor. Do této kategorie samozřejmě patří i akumulátor Lithium-polymer, často označovaný jako Li-Pol.

V lednu roku 1991 se již objevuje první komerční aplikace s Li-Ion technologií - mobilní telefon SONY „Handyphone HP-211“, který přinesl okamžitý úspěch. O rok později, v září 1992, přichází na trh první videokamera od SONY s Li-Ionovým akumulátorem.

Japonští výrobci akumulátorů využili zkušeností firmy SONY, získali tím velký náskok ve výrobě Li-Ionových akumulátorů a přišli s vlastními verzemi válcových a prizmatických akumulátorů. Ve skutečnosti dominují světové produkci. V roce 1997 se vyrobilo 193 milionů Li-Ionových článků. Z toho bylo 98% vyrobeno na území Japonska v osmi továrnách. Produkce Li-Ionových akumulátorů v této zemi je větší než produkce NiCd a NiMH akumulátorů.[1]

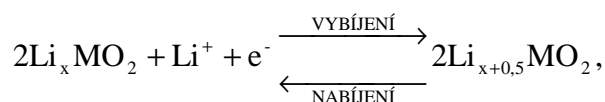


Obr 5. Pohyb iontů Li^+ při nabíjení a vybíjení

4.2 Princip

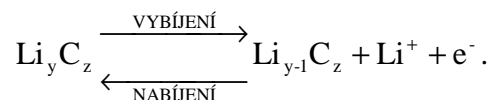
Materiály běžně používané jako aktivní hmoty kladné elektrody jsou dnes LiCoO_2 , $\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$, LiNiO_2 , LiV_2O_5 , popřípadě i další. Elektrochemické procesy probíhající při nabíjení a vybíjení lze zjednodušeně vyjádřit následujícími rovnicemi

Děje na kladné elektrodě:



kde M může být některý z kovů tvořících aktivní sloučeninu kladné elektrody.

Děje na záporné elektrodě:



Jako elektrolyt je v největší míře používán LiPF_6 rozpuštěný v nepolárním rozpouštědle.[1]

4.3 Základní charakteristiky Lithiových akumulátorů

4.3.1 Hlavní přednosti hermetických lithiových akumulátorů

K hlavním přednostem patří:

- vysoké napětí - typické jmenovité napětí 3,6 V oproti napětí 1,2 V u NiCd a NiMH akumulátorů,
- vysoká energie - NiCd 4/3AF - 2 400 mWh (2 000 mAh/1,2 V), NiMH 4/3AF - 5 400 mWh (4 500 mAh/1,2 V), Li-Ion 4/3AF - 7 200 mWh (2 000 mAh/3,6 V),
- nízká hmotnost - NiCd 4/3 AF - 45 g, NiMH 4/3 AF - 60 g, Li-Ion 4/3 AF - 40 g,
- dlouhá životnost - při správném zacházení lze dosahovat 500 až 1 500 cyklů a vývoj Li-Ionových akumulátorů neustále pokračuje,
- nízké samovybíjení - okolo 8 % za měsíc při +20 °C oproti 25 % u NiCd a NiMH akumulátorů,
- nemají tzv. paměťový efekt,
- dobrá bezpečnost a možnost dopravy bez jakéhokoliv omezení - oproti primárním lithiovým článkům neobsahují lithium v čistě kovovém stavu,
- nezávadné pro životní prostředí - neobsahují olovo, rtuť nebo kadmium,
- změna napětí v průběhu vybíjení je větší oproti NiCd nebo NiMH akumulátorům, čímž je dána možnost lepší indikace stavu zbytkové kapacity akumulátoru. [1]

4.3.2 Nevýhody lithiových akumulátorů

K nevýhodám patří:

- nabíjecí proud je ve většině případů omezen na 1,5 h - nabíjí se konstantním napětím, plně je akumulátor nabit za 2 až 3 hodiny oproti NiCd akumulátorům, které lze dobít i během 15 minut. Ale nabít Li-Ion akumulátor z 80 až 85 % lze i do jedné hodiny;
- maximální vybíjecí proud je do $2 I_t$ - u NiCd i $20 I_t$,
- v průběhu vybíjení dochází k poklesu napětí (viz obr. 21), což je výhodné pro sledování zbytkové kapacity akumulátoru, ale při použití v zařízeních, která potřebují stálý příkon, musí s klesajícím napětím vzrůstat vybíjecí proud,
- velký vnitřní odpor - až 10x větší než u NiCd nebo NiMH,
- pracovní teplota je do -20 (max. -30) $^{\circ}\text{C}$ - u NiCd je to až do -40 $^{\circ}\text{C}$,
- lithiové akumulátory jsou velice náchylné na přebíjení a podvybíjení, proto většina baterií musí obsahovat řídicí elektronické obvody. Při poklesu napětí při vybíjení pod povolenou mez dochází k trvalému zničení akumulátorové baterie;
- nabíječe lithiových akumulátorů nejsou zaměnitelné s nabíječi pro NiCd a NiMH akumulátory. Li-Ion baterie, opatřené elektronickým obvodem, je však možné nabíjet nabíječem pro NiCd nebo NiMH akumulátory. Tím je umožněna vzájemná zaměnitelnost těchto zdrojů např. v mobilních telefonech;
- vysoká prodejní cena - avšak ceny každým rokem klesají, od roku 1999 do roku 2002 klesly více než na polovinu. [1]

4.4 Nabíjecí metody vhodné pro lithiové akumulátory

Při nabíjení Li-Ionových akumulátorů se používá metoda CCCV {Constant Current followed by Constant Voltage}. Je to nabíjení konstantním proudem, dokud akumulátor nedosáhne předem stanoveného napětí a poté probíhá nabíjení konstantním napětím. Více v kapitole o nabíjení. [1]

5 NABÍJENÍ AKUMULÁTORŮ

Existuje několik nabíjecích metod, které mohou být řízeny, buď velikostí nabíjecího proudu (proudové nabíjení), nebo velikostí nabíjecího napětí (napět'ové nabíjení). Proudem řízené nabíjení se používá většinou u článků NiCd a NiMH, napět'ové pak u nabíjení akumulátorů Li-Ion a Li-Pol.

5.1 Proudové nabíjení

Pro jednotlivé typy nabíjení je výrobcem stanoven povolený rozsah nabíjecích teplot, který musí být bezpodmínečně dodržen. Čím je nabíjení rychlejší, tím je užší rozsah teplot povolený pro daný typ nabíjení. Normální nabíjení, konzervační a trvalé dobíjení je povoleno u všech typů hermetických NiCd a NiMH akumulátorů. Ostatní způsoby nabíjení je možné použít pouze za podmínek stanovených výrobcem, a to jenom u určených typů akumulátorů. I velikosti konzervačních a trvalých proudů jsou pro každý typ akumulátoru doporučeny výrobcem. [1]

Dále popíšeme jednotlivé způsoby proudového nabíjení z hlediska rychlosti.

5.1.1 Normální nabíjení

Za normální nabíjení je považováno nabíjení hermetických akumulátorů po dobu 12 až 16 hodin proudem $0,1 I_t$. Tento druh nabíjení je určen normou pro zkušební účely, např. pro stanovování jmenovité kapacity akumulátoru. Povoleno je teplotní rozsah při tomto nabíjení se většinou pohybuje od 0 do $+50\text{ }^\circ\text{C}$ pro provozní nabíjení, pro měření kapacity je však normou stanoven užší rozsah teplot, obvykle $20 \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$. Normální nabíjení je vhodné použít pro akumulátory po dlouhodobém skladování. [1]

5.1.2 Zrychlené nabíjení

Zrychlené nabíjení je nabíjení v trvání 4 až 8 hodin. Pro 4 až 5hodinové nabíjení se používá nabíjecí proud velikosti $0,3 I_t$. Pro 7 až 8hodinové nabíjení je vhodný proud kolem $0,2 I_t$. Povoleno je teplotní rozsah při tomto nabíjení je od $+5$ většinou do $+35\text{ }^\circ\text{C}$, u 7 až 8 hodinového nabíjení bývá povolena horní hranice až $+50\text{ }^\circ\text{C}$. [1]

5.1.3 Rychlé nabíjení

Rychlé nabíjení je nabíjení proudem od 0,5 až do 1 I_t v trvání 1 až 2 hodin. U tohoto způsobu je nabíjení povoleno už od teplot nad +10 až do +40 °C. U některých NiMH akumulátorů se můžeme setkat s dolní teplotní hranicí od 0 °C, ve speciálních případech i od -5 °C. Při rychlém nabíjení se nedoporučuje ukončení nabíjení hlídané časem, ale ukončení teplotní nebo napěťové. [1]

5.1.4 Velmi rychlé nabíjení

Velmi rychlé nabíjení je nabíjení v trvání 15 minut až jedné hodiny proudem 1 až 4 I_t . Toto nabíjení se používá u NiCd akumulátorů se sintrovanými elektrodami, speciálně určenými pro profesionální akumulátorové nářadí. U nabíječů pro tyto druhy akumulátorů se používají současně většinou tři až čtyři způsoby vyhodnocení ukončení nabíjení. [1]

5.1.5 Trvalé dobíjení

Trvalé dobíjení je časově neomezené nabíjení akumulátoru malým proudem, který negativně neovlivňuje vlastnosti akumulátorového článku. Trvalý nabíjecí proud bývá obvykle stanoven výrobcem pro konkrétní typ článku v rozsahu 0,05 až 0,06 I_t . U akumulátorů určených přímo pro trvalé dobíjení odpovídá proud hodnotám až 0,1 I_t což je vlastně hodnota normálního dobíjení. [1]

5.1.6 Konzervační proud, konzervační dobíjení

Konzervační proud je nabíjecí proud, kterým se dlouhodobě udržuje nabitý akumulátor v plně nabitém stavu. Účelem je eliminovat ztrátu náboje akumulátoru způsobenou samovybíjením a udržovat tak akumulátor v pohotovosti pro případné použití. Velikost konzervačního proudu bývá obvykle 0,025 až 0,05 I_t . [1]

5.2 Napěťové nabíjení

Napěťové nabíjení se používá pro nabíjení lithiových akumulátorů. Princip je podobný jako u nabíjení olověných nebo otevřených NiCd akumulátorů. Jedná se o nabíjení konstantním proudem, dokud akumulátor nedosáhne předem stanoveného napětí a poté pokračuje nabíjení konstantním napětím, čímž začne nabíjecí proud klesat. Často se setkáváme s označením „CCCV“ (Constant Current followed by Constant Voltage) nebo

nabíjení s charakteristikou „IU“. Nabíjení se ukončí, až nabíjecí proud klesne na předem stanovenou hodnotu. Teplotní rozsahy pro toto nabíjení se pohybují od 0 do +50 °C. Opět platí, že každý výrobce udává různé teplotní rozsahy. Dalším důležitým údajem, kterým se akumulátory odlišují, je maximální povolený nabíjecí proud. [1]

5.3 Nabíjení hermetických NiCd akumulátorů

Je několik parametrů, podle kterých se dá určit dosažení plného nabití a tím i ukončení nabíjení hermetických NiCd akumulátorů. Řadíme sem teplotu, napětí, čas nebo i proud. Při konstrukci nabíječů se často setkáváme se vzájemnou kombinací těchto metod ukončení nabíjení. Moderní a kvalitní nabíječe kombinují většinou 2 až 3 tyto metody z důvodů prodloužení životnosti článků, ale hlavně z důvodů bezpečnosti obsluhy. [1]

5.3.1 Ukončení časové

Tato nabíjecí metoda byla dříve používána nejčastěji. Dnes se samozřejmě rovněž používá hlavně u levnějších nabíječů, kde většinou podle tabulky v návodu k použití musíte dodržet nabíjecí čas nebo je nabíječ konstruován tak, že po určitém čase vypne nebo přepne na proud konzervační. Touto metodou jsou vždy nabíjeny akumulátory určené pro zkušební účely. Normy předepisují nabíjení $0,1 I_t$ po dobu 14 až 16 hodin. Nedoporučujeme tuto metodu používat pro nabíjení větším proudem než $0,2 I_t$.

Pokud hlídáme čas sami, pak je nabíjení většinou bez problémů. Pokud nabíjení svěříme technice, mohou nastat i nějaké problémy. Dojde-li k výpadku elektrické sítě, časový čítač většinou začne po obnovení dodávky elektrické energie znovu načítat od nuly. Důsledkem je, že akumulátorová baterie se začne přebíjet. Dalším problémem je, že tato metoda se často používala i v rychlých nabíječích, například v hodinových nabíječích pro videokamery (nabíjecí proud $1 I_t$). Pokud vlastníme takový nabíječ a vložíme do něj akumulátorovou baterii, která je vybita jen z 50 %, docílíme toho, že akubaterie je za 30 minut nabitá a dalších 30 minut se přebíjí, a to dosti velkým proudem. Díky přebíjení se velká část vložené energie přemění na teplo, baterie se přehřívá a kapacita takovéto baterie po nabití je 50 až 60 %. Takže jsme ji vůbec nenabíli, ale naopak jsme ji trochu snížili životnost. Tento úkaz se mylně přisuzuje paměťovému efektu. Není to však nic jiného než přebíjení a poškození baterie je pak způsobeno vysokou teplotou, velkým proudem při

přebíjení, popř. porušením hermetizace článku. Proto nabíjení touto metodou nedoporučujeme pro proudy větší než $0,2 I_t$.

O něco lepší nabíječe používají tuto metodu spojenou s předchozím vybitím akumulátorové baterie. Pokud tento nabíječ správně používáme, to znamená, že provedeme vybití baterie, nedochází sice k přebíjení, ale většinou takto provozovaná baterie nemá životnost delší než 500 cyklů. Je žádoucí, aby po ukončení vybíjení nastala dostatečná časová prodleva nutná ke snížení teploty (při vybíjení se akumulátory zahřívají). Takto jsou však konstruovány pouze některé profesionální přístroje. [1]

5.3.2 Ukončení napět'ové

5.3.2.1 Metoda „ V_{CO} “

Metod ukončení nabíjení podle napětí známe několik. První metodou je ukončení nabíjení při dosažení předem stanoveného napětí. Toto napětí bývá značené V_{CO} (CO je z anglického cut-off). Napětí V_{CO} je předem dané a stanovuje se většinou podle katalogových nabíjecích křivek pro daný akumulátor. Nevýhodou tohoto systému je, že napětí akumulátoru, resp. průběh napětí při nabíjení, se mění jak teplotou, tak nabíjecím proudem, tak podle druhu elektrod v akumulátoru a také jiný je průběh napětí při nabíjení u článku, který se dlouhodobě skladoval. Proto se tato metoda používá pouze jako dodatková metoda k ostatním metodám, aby se zabránilo vývinu vodíku na záporné elektrodě při nabíjení za nízkých teplot (pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). [1]

5.3.2.2 Metoda „ PKV “

Druhou metodou je ukončení nabíjení při dosažení vrcholu napětí. Tento vrchol se označuje PKV . Nabíjení je ukončeno v momentě nejvyššího napětí. Tato metoda by se měla využívat pro rychlé nabíjení, tedy při nabíjecím proudu 2 až $0,5 I_t$. Pro menší proudy je stanovení PKV velice obtížné, respektive PKV neexistuje. Pro větší proudy (při ultrarychlém nabíjení) je tato metoda zkreslována zahříváním akumulátoru a poklesem napětí v momentě oteplování akumulátoru. Ze stejného důvodu není také vhodná pro nabíjení akumulátorů za teplot vyšších než pokojových. [1]

5.3.2.3 Metoda „ $-\Delta V$ “

Třetí a asi mezi odbornou veřejností nejznámější, je metoda indikace poklesu napětí na konci nabíjení, nazývaná $-\Delta V$ (správně by to mělo být „ $-\Delta U$ “, protože napětí značíme U , ale ponecháme výraz z angličtiny). Nabíjení se ukončí, pokud pokles napětí na jeden článek je 10 mV. Tato hodnota platí pro NiCd akumulátory. Pro NiMH akumulátory je vhodné indikovat pokles napětí 5 mV na článek.

Metoda je to nejrozšířenější, ale má i své slabé stránky. V prvé řadě je to, že ji lze pro NiCd akumulátory aplikovat jen pro proudy o velikosti 2 až 0,5 I_t což odpovídá rychlému, popř. zrychlenému nabíjení. Při nabíjení proudem nižším než 0,5 I_t již nedochází k poklesu napětí na konci nabíjení. Pro proudy větší než 2 tedy pro ultra rychlé nabíjení, není též nejvhodnější. S tím souvisí druhá slabší stránka, a to že k poklesu napětí dochází, až když je akumulátor nabitý a začne se přebíjením zahřívat a zvýšením teploty vlastně dochází ke snížení napětí. Nabíjení je tedy ukončeno až po krátkém přebíjení, které samozřejmě poněkud snižuje životnost zdroje. Použití této metody nejčastěji najdeme v komerčních nabíječkách pro rychlé nabíjení, tedy v nabíječkách, které jsou běžně v prodeji a slouží k nabíjení komerčních akumulátorů a ve starších nabíječkách pro akumulátorové nářadí.

V současné době jsou tyto nabíječe konstruovány jak pro NiMH, tak i NiCd akumulátory, proto jsou nastaveny na pokles 5 mV na jeden článek. Ale v době, kdy se ve většině aplikací používaly jen NiCd akumulátory, se pokles napětí nastavoval na 10 mV na článek. Pokud v takovém nabíječi začneme nabíjet NiMH akumulátorové baterie, většinou nedojde k poklesu napětí o 10 mV na článek a tím nenastane ukončení nabíjení a baterie je přebíjena. Z tohoto důvodu doporučujeme následující: pokud neznáte metodu ukončování nabíjení vašeho nabíječe a vyměňujete akumulátorovou baterii v nějakém zařízení nebo si necháváte provádět repasi takového zdroje, která byla v provedení NiCd, tak opět požadujte novou baterii v provedení NiCd. Pokud byla v provedení NiMH, tak žádejte NiMH. Při konstrukci nabíječů založených na této bázi se zapomíná na to, že akumulátor může mít záporný pokles napětí hned na začátku nabíjení. Tento efekt vykazují hlavně akumulátory po delší době skladování – napětí rychle vzroste a pak se vrátí do normálních hodnot podle nabíjecích křivek. Proto se doporučuje při používání této metody ignorovat průběh napětí v prvních pěti až deseti minutách. Kvalitnější nabíječe jsou konstruovány již s ohledem na tento jev. [1]

5.3.2.4 Metoda „ d^2V/dt^2 “

Podobnou metodou jako je „ $-\Delta V$ “ je sledování druhé derivace napětí v čase (d^2V/dt^2). Nabíječ snímá napěťovou křivku a zastaví nabíjení v okamžiku zaznamenání napěťové derivační špičky. Plného nabití baterie lze dosáhnout pouze přepnutím na dovolený trvalý dobíjecí proud. Tato nabíjecí metoda zvyšuje životnost akumulátorových baterií, protože nedochází k jejich přebíjení. [1]

5.3.3 Ukončení teplotní

Základní teplotní metody ukončení nabíjení jsou dvě. Nejčastěji se s nimi setkáváme v mobilních telefonech, radiostanicích, noteboocích a akumulátorovém nářadí. Teplota se snímá většinou termistorem, který se umísťuje na plášť akumulátorového článku. Poloha termistoru je velice důležitá. Termistor, který není přímo na plášti akumulátoru, neudává přesné informace, popřípadě udává velice zpožděné informace o teplotě akumulátoru. Používají se termistory typu NTC, které při zvýšení teploty snižují svou hodnotu rezistance.

Někdy je teplotní čidlo přímo v integrovaném obvodu, který hlídá parametry nabíjení. I zde však platí, a na to se často zapomíná, že takový obvod s integrovaným termistorem musí být co nejbližší akumulátoru, aby hodnoty změny teploty (změny parametrů termistoru) nebyly zkreslovány. [1]

5.3.3.1 Metoda „TCO“

První metoda vypíná nabíjecí proud v okamžiku dosažení předem dané teploty: většinou to bývá kolem $+45\text{ }^\circ\text{C}$. Tato teplota nebo metoda se označuje TCO (Thermal cut off). Tento druh nabíjení se doporučuje u akumulátorů do 2 Ah proudem 0,5 až $1 I_t$ a u akumulátorů s větší kapacitou proudem cca $0,3 I_t$. Tato metoda není vhodná pro nabíjení akumulátorových baterií s teplotou nízkou nebo naopak vysokou (ať už způsobenou teplotou okolí, nebo zahříváním akumulátoru při vybíjení). Při nízkých teplotách dochází ke zbytečnému přebíjení a při teplotách vyšších se akumulátor nenabije na plnou kapacitu nebo se nezačne nabíjet vůbec. [1]

5.3.3.2 Metoda „ $\Delta T/\Delta t$ “

Druhou metodou je sledování změny teploty v čase ($\Delta T/\Delta t$). K ukončení nabíjení dochází v momentě, kdy změna teploty je 0,5 až 1 °C za minutu. Opět se doporučuje nabíjecí proud o velikosti alespoň 0,3 I_t a teploty do 30 °C. Tato metoda je velice oblíbená. Stává se nevhodnou při výpadku elektrické energie, nebo při nabíjení nabitého a ještě teplého akumulátoru. Pokud takový akumulátor začneme znovu nabíjet, nabíječ čeká na další nárůst teploty. Typickým příkladem může být starší typ hands free sady v automobilu k nabíjení GSM telefonů. Akumulátorová baterie se nabije a zahřeje, my vyjmeme telefon na krátkou chvíli (odběhnouti do prodejny) a poté vložíme telefon zpět do nabíječky. Baterie se nabíjí tak dlouho, dokud opět nevzroste teplota.

Kombinací obou předcházejících metod se stává nabíječ docela inteligentní. Základem takového nabíječe bude princip $\Delta T/\Delta t$ a k tomu ještě zamezení nabíjení baterie, která má nízkou nebo naopak zvýšenou teplotu. Nabíječ bude čekat s nabíjením až do okamžiku, kdy se teplota akumulátorové baterie bude pohybovat například v hodnotách +5 až +35 °C. [1]

5.3.4 Ukončení proudové

Tento princip není moc častý. Vyskytoval se hlavně u ultrarychlého nabíjení zdrojů pro akumulátorové nářadí. Baterie se nabíjí konstantním proudem až do doby, kdy dosáhne předem určeného napětí. Poté přechází na nabíjení konstantním napětím. Nabíjení se ukončí při nárůstu velikosti nabíjecího proudu při konstantním napětí. Problémem může být nabíjení za zvýšené teploty nebo nabíjení zahřátých akumulátorů. V tomto případě může nastat situace, kdy předem zvolené napětí akumulátor nikdy nedosáhne. Podobná se může zdát metoda CCCV pro nabíjení lithiových akumulátorů, ale tam nikdy nedochází k nárůstu proudu. [1]

5.4 Nabíjení hermetických NiMH akumulátorů

Nabíjení NiMH akumulátorů je poněkud odlišné od nabíjení NiCd akumulátorů. Hlavním rozdílem je průběh teploty při nabíjení. U NiCd akumulátorů zůstává teplota v průběhu nabíjení většinou konstantní, nebo nepatrně roste a prudce stoupá až při přebíjení. U NiMH akumulátorů teplota článků od začátku nabíjení neustále stoupá a při přebíjení je tento vzrůst prudší. Dále platí, že čím větší je nabíjecí proud, tím je rychlejší nárůst teploty.

Nárůst teploty od začátku nabíjení je druhým důvodem, proč by se neměly zaměřovat při výměnách nebo repasích baterií typu NiMH za NiCd.

Dalším specifikem je pokles napětí akumulátoru na konci nabíjení. I když je pokles menší než u NiCd akumulátorů, a to 5 mV, objevuje se tento pokles i při normálním nabíjení, tzn. proudem o velikosti desetiny kapacity ($0,1 I_t$) ale pouze při teplotách do $+25\text{ }^\circ\text{C}$. Při vyšších teplotách není pokles vždy indikovatelný, takže při tomto nabíjení lze použít i metodu „ $-\Delta V$ “. Toto je další důvod proč nezaměřovat NiCd akumulátory za NiMH. U NiCd akumulátorů je tento pokles jen u rychlého nebo zrychleného nabíjení.

Další metody používané pro NiMH akumulátory jsou obě metody s teplotním ukončením: metoda $\Delta T/\Delta t$ a metoda TCO a dále samozřejmě metoda hlídání času. Nevhodnou metodou je PKV a V_{CO} . U metody $\Delta T/\Delta t$ se doporučuje nabíjecí proud alespoň $0,2 I_t$, aby nárůst teploty byl zřetelný. [1]

5.5 Nabíjení lithiových akumulátorů

Při nabíjení lithiových akumulátorů se používá napěťové nabíjení, resp. metoda, která se v zahraniční literatuře označuje jako CCCV {Constant Current followed by Constant Voltage). Je to nabíjení konstantním proudem, dokud akumulátor nedosáhne předem stanoveného napětí a poté nabíjení konstantním napětím. Nabíjení se ukončí, pokud nabíjecí proud klesne na předem stanovenou hodnotu. Ve většině případů se doporučuje hodnota proudu odpovídající 1,5 až 2 % jmenovité kapacity, samozřejmě vyjádřená v jednotkách proudu.

V některých nabíječích se setkáváme i s časovým ukončením. Nabíjí se například proudem odpovídajícím $1/2 I_t$, dokud se nedosáhne předem stanoveného napětí a potom ještě třeba 2 hodiny, samozřejmě s omezením konstantního napětí. V katalogích pak najdeme výrazy pro takovéto nabíjení $C/3 + 2$ hodiny nebo $C/2 + 1$ hodinu apod. Správně by mělo být samozřejmě podle nové normy označení $0,33 I_t + 2$ hodiny, resp. $0,5 I_t + 1$ hodina. Toto použití je vhodné v jednoúčelových zařízeních, kde se nepředpokládá nabíjení akumulátorů různých kapacit.

Tato metoda by například nebyla vhodná pro nabíjení akumulátorů k videokamerám, kde se můžeme setkat kromě akumulátorů v základní velikosti i s paralelně

řazenými akumulátory s dvoj nebo i trojnásobnou kapacitou, vhodnými do stejné videokamery a tedy i do stejného nabíječe.

Jak již bylo řečeno v kapitole o Li-Ionových akumulátorech, při stanovení konečného nabíjecího napětí je nutno dbát na katalogové údaje výrobce. To proto, že doposud se vyrábějí akumulátory ve čtyřech druzích kladných elektrod a podle toho se konečné nabíjecí napětí pohybuje od 4,0 do 4,3 V. Nejběžnějším typem, který se vyskytuje v aplikacích na trhu, je akumulátor s kladnou kobaltovou elektrodou, která má konečné nabíjecí napětí 4,2 V.

Při nabíjení Li-Ionových článků, pokud je správně nastaveno konečné nabíjecí napětí, nedochází k přebíjení akumulátorů tak, jako tomu je u NiCd a NiMH akumulátorů.

[1]

6 MIKROPROCESOR A ROZHRANÍ BDM

6.1 Mikroprocesor Freescale MC9S08QG8

Mikroprocesor MC9S08QG8 je nejnovějším člen rodiny osmibitových vysoce integrovaných mikroprocesorů s výkonným jádrem HCS08 a s nízkou spotřebou elektrické energie. Tento mikroprocesor je ideálním řešením pro nízkoenergetické aplikace, kde prodlužují životnost baterií při zachování vysokého výkonu mikroprocesoru i při napájení pouze 1,8 V.

MC9S08QG8 má několik nových doplňků a rozšířené periferie oproti předchozím produktům nabízené ve stejných pouzdrech a cenové relaci. Celkový popis funkcí je popsán v data sheetu k tomuto mikroprocesoru, který je volně ke stažení na www.freescale.com.

Mikroprocesor má v sobě zabudovány podpůrné prostředky, které redukuje nutnost použití externích komponent jako jsou například vnější generátor hodin, pull-up rezistory na pinech portu, detekci poklesu napájecího napětí a součástky pro externí restart mikropočítače. Tyto prostředky spolu s nízkou energetickou náročností dělají z MC9S08QG8 ideální volbu pro aplikace napájené bateriemi, nebo pro přenosné aplikace.

CPU

- 20MHz HCS08 CPU
- 4 nebo 8 KB FLASH spolu s 256 nebo 512 byty RAM
- Zpětná kompatibilita s M68HC05 a M68HC08
- Generátor vnitřních hodin, nastavitelný s přesností 0,2%, eliminuje potřebu externího oscilátoru
- Background debug modul s breakpointy, BDM rozhraní na jednom pinu
- On-chip in-circuit emulator (ICE), eliminuje potřebu drahých externích emulátorů/debugerů
- Podpora až 32 zdrojů přerušení

Paralelní I/O

- 12 vstupně-výstupních portů plus jeden pouze vstupní a jeden pouze výstupní (16 pinové pouzdro)
- Softwarově nastavitelné pull-up rezistory
- Softwarově nastavitelné priority přerušení
- Softwarově nastavitelná frekvence kroků
- Softwarově nastavitelná proudová zatížitelnost I/O výstupů

Moduly periférií

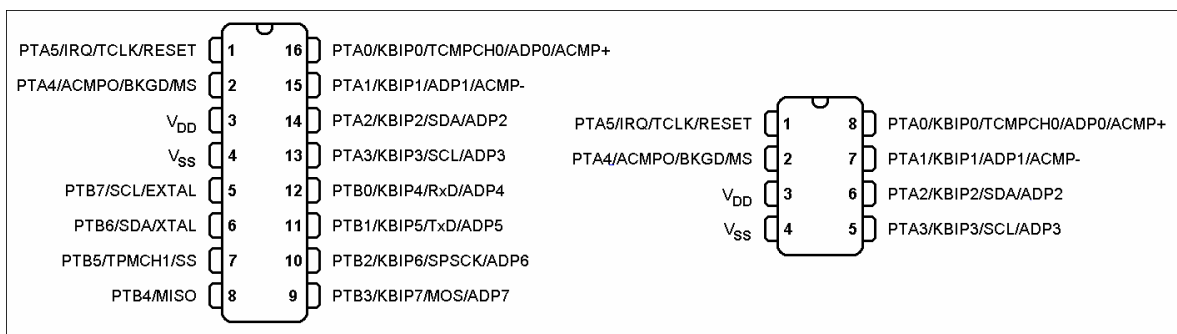
- až osmikanálový desetibitový A/D převodník s funkcí automatického porovnávání, nejrychlejší v rodině osmi-bitových mikroprocesorů
- Modul porovnávání analogových vstupů (ACMP) s interním nastavením reference.
- Modul přerušení od klávesnice
- Modul Timer/PWM
- Osmibitový modul dělení kmitočtu časovače
- Rozhraní pro sériovou komunikaci (SCI)
- SPI modul (Serial peripheral interface)
- IIC modul (Inter-integrated circuit bus)
- SCI, SPI, IIC komunikační moduly jsou všechny mapovány na oddělených pinech portů mikroprocesoru

Šetření energií

- Nízké napájecí napětí 1.8 - 3.6 VDC
- Nízký proud - 3.5 mA při 3.0VDC typický proud při běhu na 8 MHz, 475 mA ve stop módu 1
- Softwarově volitelný mód pro úsporu energie , 1 wait mód a 3 stop módy

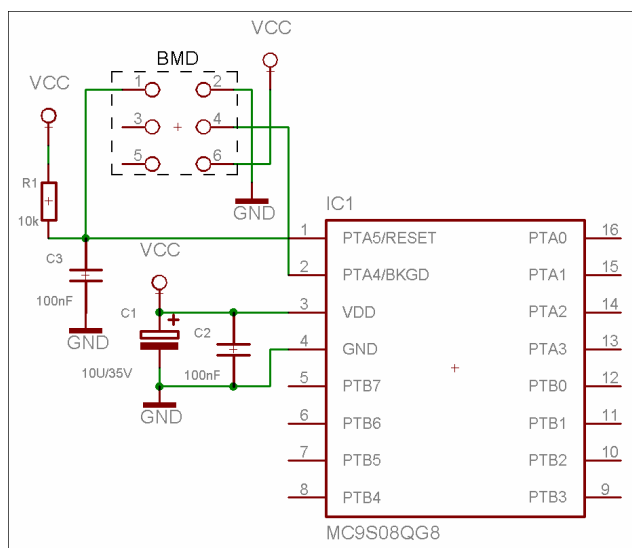
Ochrana systému

- Modul detekce nízkého napětí (LVD)
- Hlídní zacyklení programu (COP) watchdog timer
- Hlídní špatné adresace paměti s restartem
- Indikace špatné instrukce s restartem
- Ochrana FLASH paměti před náhodným smazáním
- Ochrana před neautorizovaným přístupem do RAM nebo FLASH paměti[2]



Obr 6. Popis pouzdra mikroprocesorů MC9S08QG8 (vlevo) a MC9S08QG4 (vpravo)

Pro správnou funkci rozhraní BDM stačí pouze několik málo komponent. Minimální schéma zapojení pro použití rozhraní BDM je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr 7. Minimální zapojení mikroprocesoru pro rozhraní BDM

S samotnému programování mikroprocesoru přes rozhraní BDM jsem použil USB SPYDER do firmy SofTec Microsystems.



Obr 8. USB kit SPYDER od firmy SofTec Microsystems

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 REALIZACE NABÍJEČE

Po nastudování problematiky nabíjení jednotlivých typů akumulátorů jsem se, po konzultaci s vedoucím práce, rozhodl realizovat nabíječ článků pouze pro akumulátory NiCd a NiMH. Tyto dva elektrochemické typy baterií jsou si natolik podobné, že k nabíjení obou typů baterií není potřeba realizovat dvě odlišná schémata zapojení. Pro nabíjení těchto akumulátorů jsem zvolil metodu „ $-\Delta V$ “, která se jeví jako nejspolehlivější metoda pro nabíjení akumulátorů v běžných podmínkách.

V případě akumulátorů na bázi Lithia už není situace tak jednoduchá jako u předchozích dvou typů. Rozdíly ukončovacího napětí mezi jednotlivými typy Li článků jsou velké a pokud dojde k přebíjení těchto článků, může to vést k jejich trvalému poškození či úplnému zničení. V případě realizace nabíječe Li-Ion a Li-Pol baterií bych doporučoval nevytvářet vlastní obvodové schéma, ale spíše využít některý ze speciálních integrovaných obvodů určených přímo k nabíjení právě těchto článků.

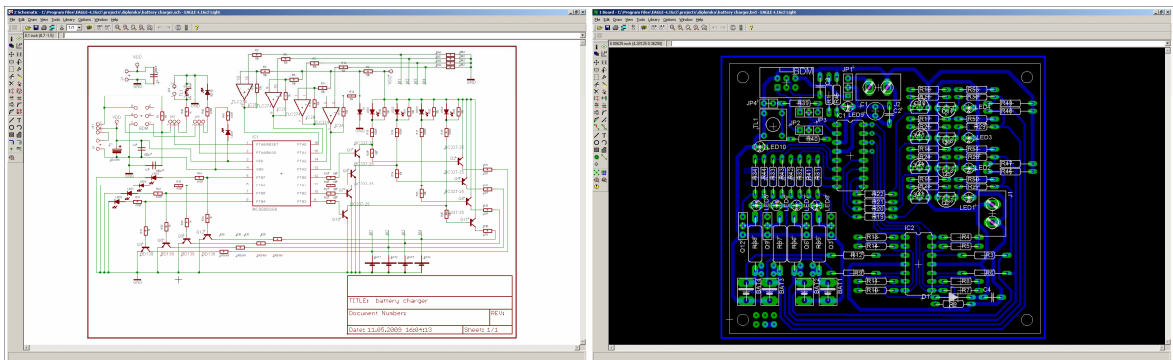
8 NÁVRH A VÝROBA OBVODŮ A DPS

8.1 Eagle 4.16r2

Software Eagle je komplexní nástroj pro návrh desek plošných spojů. Pro návrh DPS použitých v diplomové práci postačuje free verze tohoto programu. Ta je omezena maximální velikostí navrhované desky 100 x 80 mm, možností použít jen dvě signálové vrstvy spojů a schéma zapojení je možno vytvořit pouze na jednom listu.

Přes veškerá omezení je tento návrhový systém plně postačující pro účely této diplomové práce. Navíc ovládání tohoto programu je velice intuitivní a jednoduché a i když jsem dříve pracoval s jiným systémem, neměl jsem s ovládáním programu žádné větší problémy.

Malou nevýhodou tohoto programu byly knihovny součástek, které mi připadly trochu nepřehledné a některé použité součástky jsem v základních knihovnách vůbec nenalezl. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl vytvořit vlastní knihovnu se všemi součástkami, které jsou v diplomové práci použity.



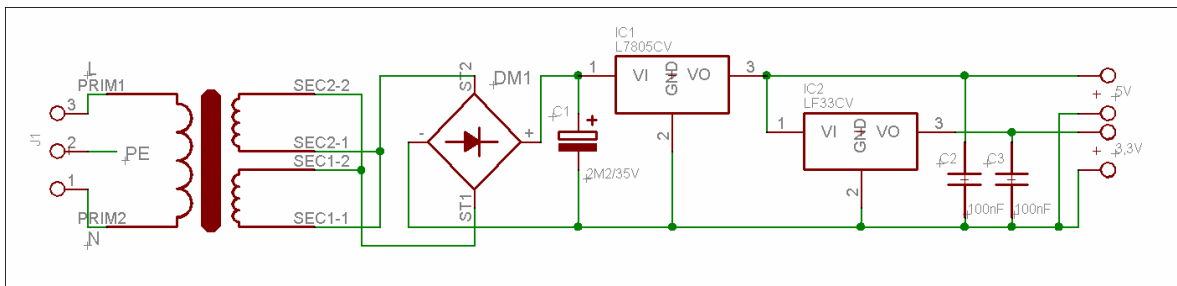
Obr 9. Náhled prostředí software Eagle

8.2 Napájecí modul

Celé zařízení potřebuje pro svoji práci dvě rozdílná napětí. Napětí 5 V je použito k napájení operačního zesilovače a k napájení nabíjecí části. Napětí 3,3 V je použito k napájení řídicího mikroprocesoru.

8.2.1 Schéma zapojení

Vstupní střídavé napětí 230 V je transformátorem TR1 sníženo na 9 V. Samotný transformátor obsahuje dvě sekundární vinutí, každé s maximálním proudem 1,11 A. Jelikož nabíjecí část potřebuje při maximální zátěži proud 1,2 A (přičemž není započítán odběr samotného mikroprocesoru a OZ), jsou obě sekundární vinutí propojena paralelně. Tímto zapojením bylo dosaženo dvojnásobného proudu, který může transformátor dodávat. Transformované napětí je následně přivedeno na usměrňovací můstek DM1. Velikost usměrňovaného napětí je 13,09 V. Toto napětí je filtrováno kondenzátorem C1 (2,2m F / 35 V) a následně přivedeno na vstup stabilizátoru IC1 (L78S05CV). Výstupní napětí stabilizátoru IC1 je 5 V a maximální proud tekoucí stabilizátorem je 2A, což zcela pokryje energetické nároky celého obvodu. Stabilizované napětí je poté přes malý filtrační keramický kondenzátor C2 (100 nF) přivedeno na výstupní svorkovnici. Navíc je toto napětí také přivedeno na stabilizátor IC2 (LF33CV). Stabilizované napětí 3,3 V z tohoto stabilizátoru je opět filtrováno malým keramickým kondenzátorem C3 (100 nF) a poté přivedeno na další výstupní svorkovnici. Na následujícím obrázku je zobrazen celkový pohled na schéma zapojení.

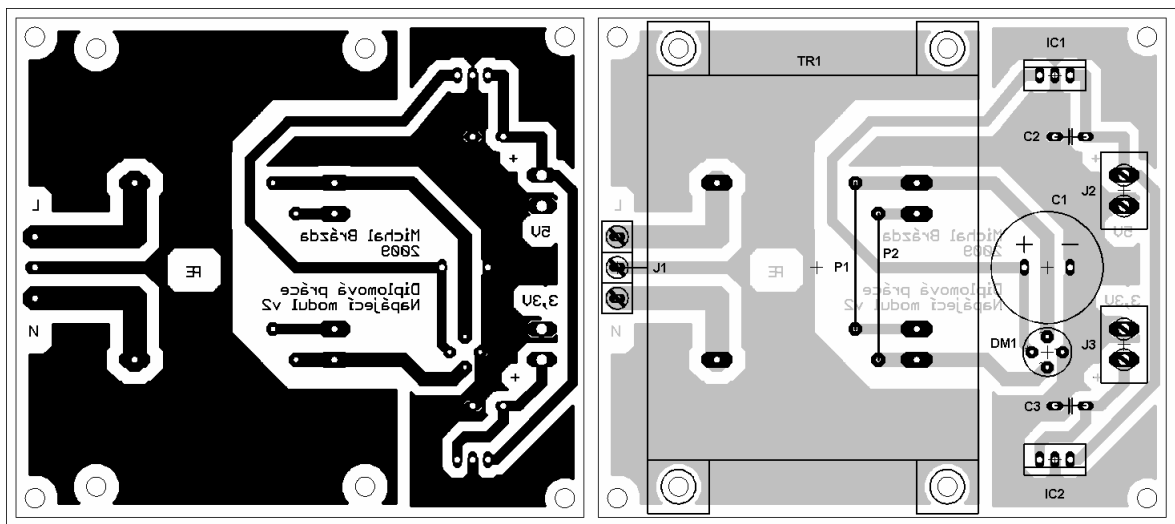


Obr 10. Schéma zapojení napájecího zdroje

8.2.2 Deska plošných spojů

Deska plošných spojů byla vytvořena v návrhovém systému Eage 4.16rc2 (viz. Výše). Rozmístění součástek nedává mnoho prostoru pro kreativitu, protože převážnou část DPS zabírá samotný transformátor oba stabilizátory jsou umístěny tak, aby poskytly co největší průstup tepla. U stabilizátoru IC1 dochází k velkému úbytku napětí provázeném velkým proudovým odběrem. To způsobuje nadměrné zahřívání pouzdra stabilizátoru a proto je tento doplněn pasivním chladičem. Na tuto skutečnost opět muselo být pamatováno při návrhu DPS. Veškeré spoje jsou navrženy s dostatečnou rezervou, takže by

nemělo dojít k přehřívání těchto vodivých cest průchodem nadměrného proudu. Bohužel tento plošný spoj se mi nepodařilo dokonale navrhnout a proto jsou pod transformátorem zamaskovány dvě drátové propojky P1 a P2, které paralelně propojují obě sekundární vinutí. Po celé ploše DPS jsou „rozlity“ dvě měděné plochy. První je připojena k zemnímu vodiči napájení 230 V a je umístěna převážně pod transformátorem. Tím je zajištěno oddělení primární a sekundární vinutí transformátoru a zároveň je tím chráněna část s osázenými součástkami před možným zkratem a připojením na plné síťové napětí 230 V. Další „rozlité“ část je zemnicí vodič stejnosměrného napětí, která musí snést velké proudové odběry nabíjecí části. Na následujícím obrázku je zobrazena deska plošných spojů a rozmístění součástek.



Obr 11. Deska plošných spojů zdroje a rozmístění součástek

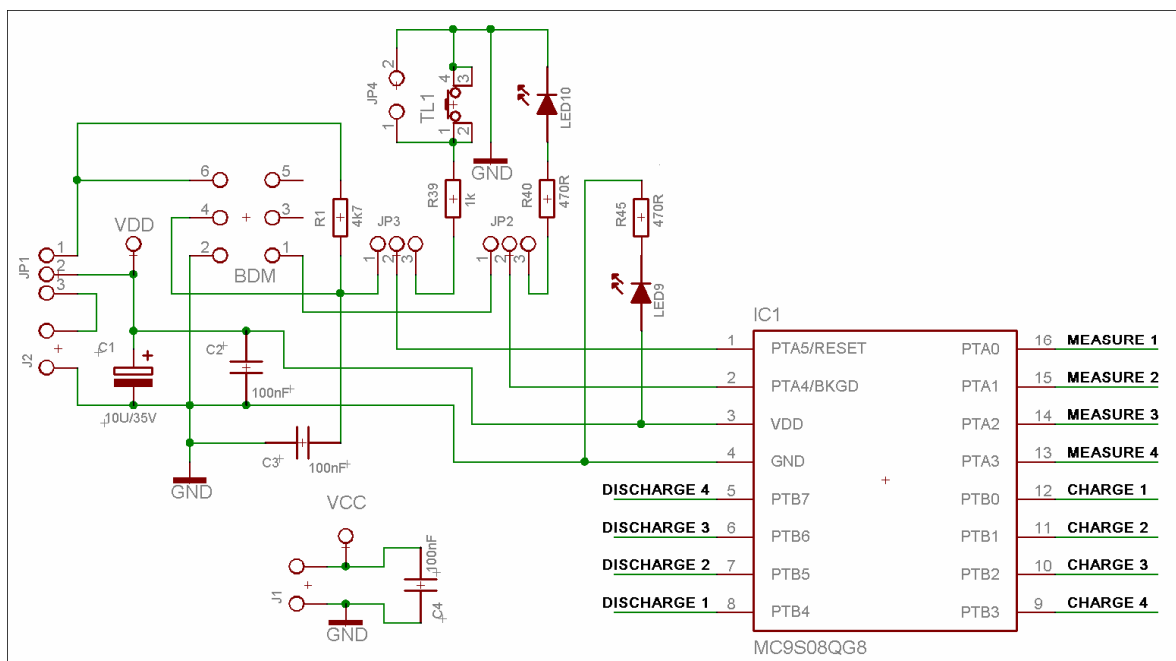
8.3 Nabíjecí modul

Popisované schéma slouží pouze k ilustračním účelům. Celkové schéma zapojení celého nabíjecího modulu je zobrazeno v příloze. Nabíjecí, vybíjecí a měřicí části jsou v textu zobrazeny samostatně pro jeden článek. Tyto schémata se v celkovém zapojení opakují čtyřikrát pro každou jednotlivou nabíjecí buňku.

8.3.1 Schéma zapojení – řídicí a napájecí část

Popisované zapojení se skládá z několika částí - napájecí, ovládací a programovací, jejichž funkčnosti jsou hardwarově přepínány pomocí jumperů JP1, JP2 a JP3. Mikroprocesor IC1 může být napájen buď z napájecího zdroje, nebo z rozhraní BDM. Jako

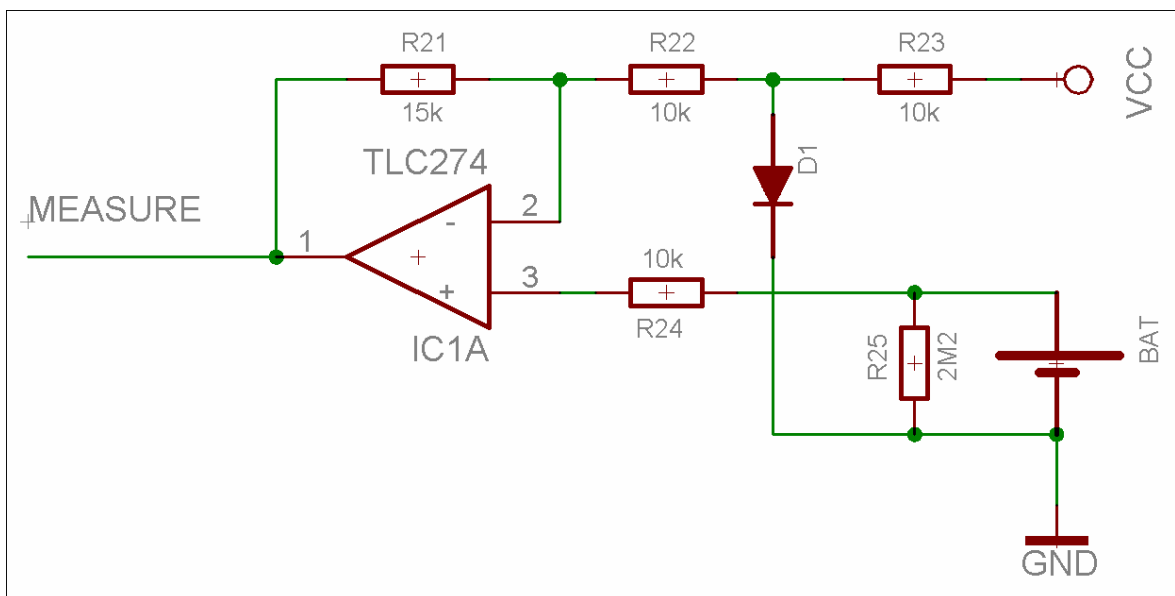
přepínač těchto napájecích napětí je použit jumper JP1. LED9 a R45 (470 Ω) slouží jako indikace přítomnosti napájecího napětí na mikroprocesoru. Kondenzátory C1 (10 μF) a C2 (100 nF) slouží jako dodatečná filtrace napájecího napětí. Jak bylo popsáno výše piny 4 a 5 portu PTA mají dvojí funkci. Hardwarové přepínání mezi těmito funkcemi je realizováno jumpery JP2 a JP3. Přepneme-li jumpery na funkci programovací, jsou piny mikroprocesoru připojeny přímo na konektor BDM, přičemž kondenzátor C3 (100 nF) a rezistor R1 (4,7 kΩ) zajišťují správný hardwarový restart mikroprocesoru vyvolaný rozhraním BDM. Při přepnutí jumperu JP2 do výstupní funkce je na pin č portu PTA přes rezistor R40 (470 Ω) připojena LED10 jako indikace stavu programu mikroprocesoru. Je-li přepnut jumper JP3 do vstupní funkce je na pin 5 portu PTA přes rezistor R39 (1 kΩ) připojeno tlačítko TL1. Navíc je k TL1 paralelně připojen jumper JP4, tak aby bylo možno bez nutnosti demontáže připojit externí tlačítko. Na tomto schématu je navíc zobrazeno napájení pro OZ. Toto napájecí napětí je navíc filtrováno kondenzátorem C4 (100 nF). Diskrétní výstupy DISCHARGE a CHARGE jsou aktivní v logické „1“ a slouží k sepnutí jednotlivých funkcí nabíjení či vybíjení. Analogový signál MEASURE je vnitřně připojen na A/D převodník mikroprocesoru a slouží ke sledování napětí na baterii. Schéma zapojení je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr 12. Schéma zapojení řídicí části

8.3.2 Schéma zapojení – měřící část

Základem měřícího obvodu je operační zesilovač TLC274, zapojený ve funkci zpětnovazebního zesilovače. Tento integrovaný obvod potřebuje ke své funkci napájecí napětí 5 V (VCC). Rezistory R21 (15 k Ω) a R22(10 k Ω) nastavují velikost zesílení na přibližnou hodnotu 2,5. Dioda D1 a rezistor R23 tvoří referenční hodnotu, které posouvá měřící rozsah analogového signálu o 0,5 V kladným směrem od nuly. Tato reference je společná pro všechny čtyři nabíjecí buňky. Rezistor R24 (10 k) má za úkol omezit proud tekoucí z baterie (BAT) do operačního zesilovače tak, aby nedošlo k jeho poškození. Pokud není žádná baterie připojena rezistor R25 (2,2 M Ω) zajišťuje uzemnění kladného vstupu OZ, čímž brání jeho přechodu do kladné saturace. Tento přechod může být způsoben napětím, které se dostává na kladný vstup přes vnitřní zapojení použitého integrovaného obvodu. Analogový výstup MEASURE je připojen přímo na příslušný pin mikroprocesoru. Schéma zapojení je zobrazeno na následujícím obrázku.

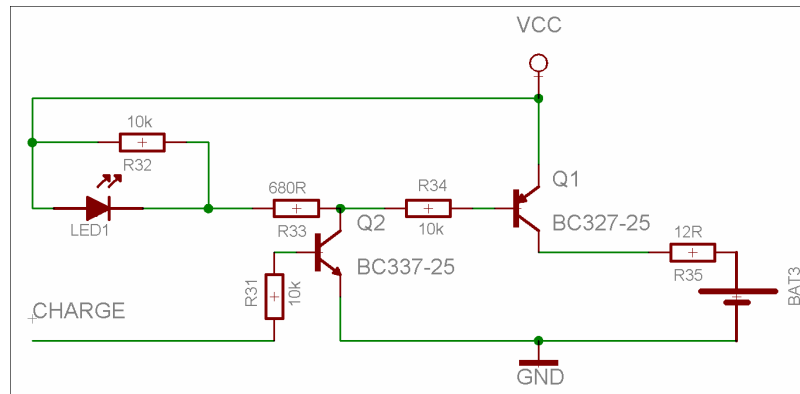


Obr 13. Schéma zapojení měřící části

8.3.3 Schéma zapojení – nabíjecí část

Nabíjecí část je spuštěna logickou úrovní „1“ na vstupu CHARGE. Rezistor R31 (10 k Ω) omezuje proudovou zátěž digitálního výstupu mikroprocesoru a tím také proud tekoucí do báze transistoru Q2. Proud tekoucí do báze transistoru Q1 je omezen rezistorem R34 (10k Ω). Jeli tranzistor Q2 otevřen dojde k otevření tranzistoru Q1, který připojí nabíjecí napětí na baterii. Proud tekoucí do baterie je omezen rezistorem R35 (12 Ω). Tento

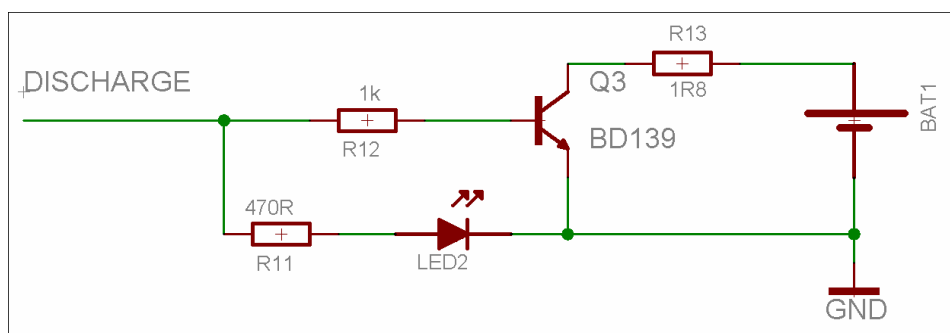
proud je v rozmezí od 245mA při nabitě baterii, až po 300 mA při vybité baterii. LED1 a rezistor R33 (680 Ω) slouží jako indikace sepnutého stavu nabíjení. Rezistor R32 (10 k Ω) zajišťuje úplné uzavření transistoru Q1. Jako spínací transistory jsem použil BC337-25 (NPN) a BC327-25 (PNP). Tyto tranzistory jsou dodávány v pouzdře TO92 a jmenovitý proud tekoucí kolektorem je 800 mA. Oba typy tranzistorů mohou být bez problému nahrazeny jakýmkoliv ekvivalentním typem.



Obr 14. Schéma zapojení nabíjecí části

8.3.4 Schéma zapojení – vybíjecí část

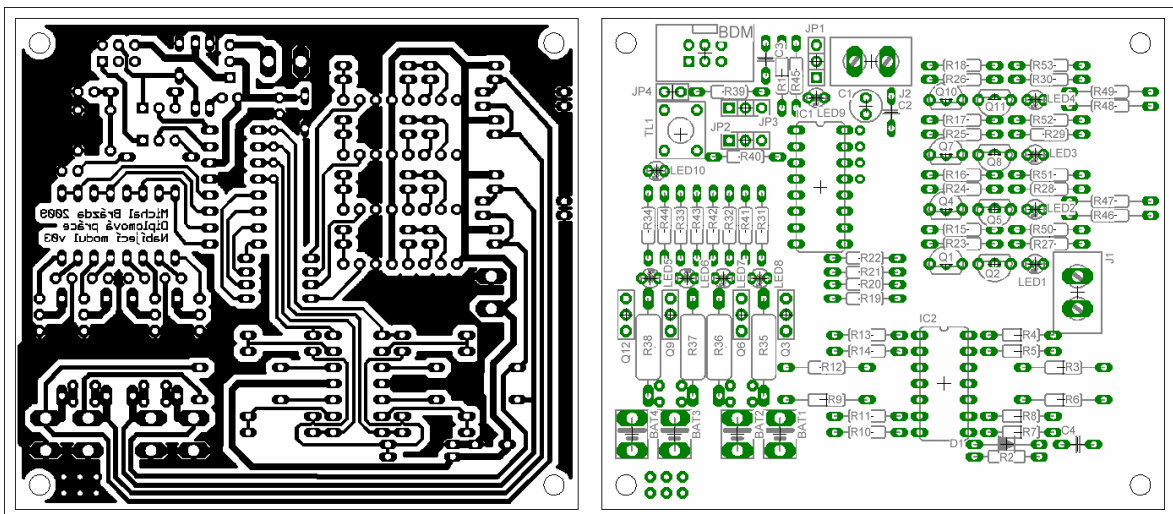
Vybíjecí část je aktivována logickou úrovní „1“ na vstupu DISCHARGE. Rezistor R12 (1 k Ω) omezuje proud tekoucí do báze transistoru Q3 (BD139) a zároveň snižuje proudovou zátěž digitálního výstupu mikroprocesoru. LED2 a rezistor R11 (470 Ω) slouží jako indikace stavu vybíjení. Je-li transistor Q3 otevřen dojde k připojení baterie na zem a tím pádem k jejímu vybíjení. Rezistor R14 (1,8 Ω) omezuje vybíjecí proud na 860 mA při plně nabitém článku. Tranzistor je uložen v pouzdře TO225, které zajišťuje dostatečný odvod tepla. Maximální proud tekoucí tranzistorem je 1,5 A. Tento tranzistor opět může být nahrazen jakýmkoliv spínacím NPN tranzistorem, který zvládne vyšší proudovou zátěž.



Obr 15. Schéma zapojení vybíjecí části

8.3.5 Deska plošných spojů

Deska plošných spojů byla opět vytvořena s pomocí návrhového systému Eagle 4.16rc2. Součástky jsem se snažil rozvrhnout symetricky a zároveň je seskupit podle jejich funkce. V levém horním rohu je část programovací a ovládací společně s přívodem externího napájení 3,3 V použitého pro mikroprocesor, který je v této části rovněž umístěn. Pod touto částí opět po levé straně jsou umístěny součástky použité ve vybíjecí části a také jsou tu umístěny konektory pro připojení jednotlivých akumulátorových buněk. Byly použity konektory s klíčem čímž je zabráněno obrácení polarity připojené baterie a možnosti jejího poškození. V pravé horní části jsou umístěny součástky obsluhující funkci k nabíjení a v pravé spodní části je realizována měřicí část společně s přívodem napájení 5 V. Na zemnicí vodivou cestu jsem opět použil funkci „rozlítí“ mědi, protože tato musí zvládnout velké proudové zatížení při sepnutí nabíjecího procesu u všech čtyř buněk současně. Napájecí cesty pro mikroprocesor i pro pouzdro s operačními zesilovači jsou oproti signálovým a datovým spojům rovněž zesíleny.

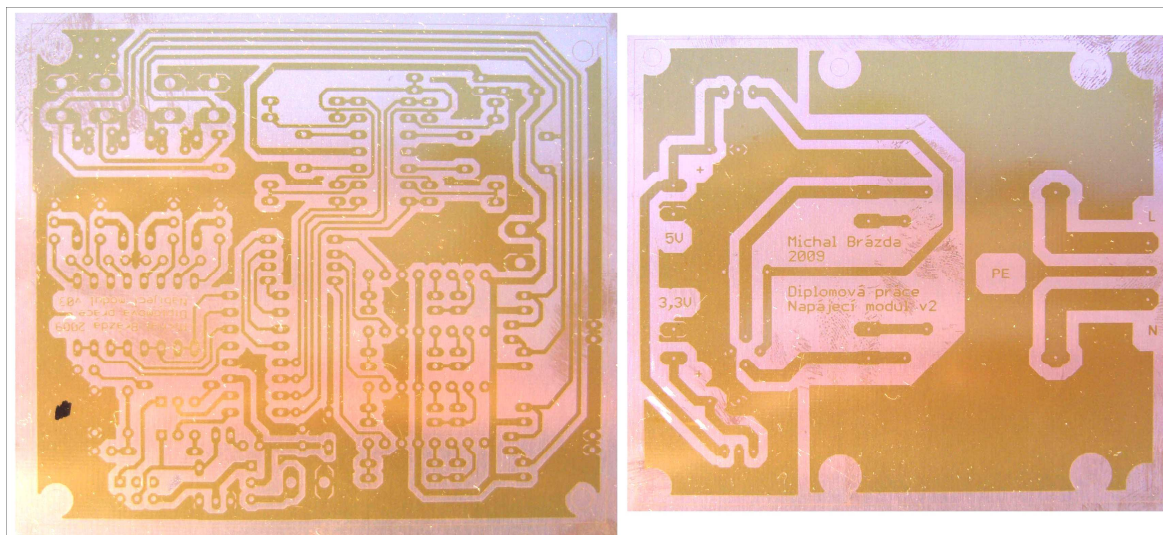


Obr 16. Deska plošných spojů nabíjecího modulu

8.4 Výroba, osazení a oživení DPS

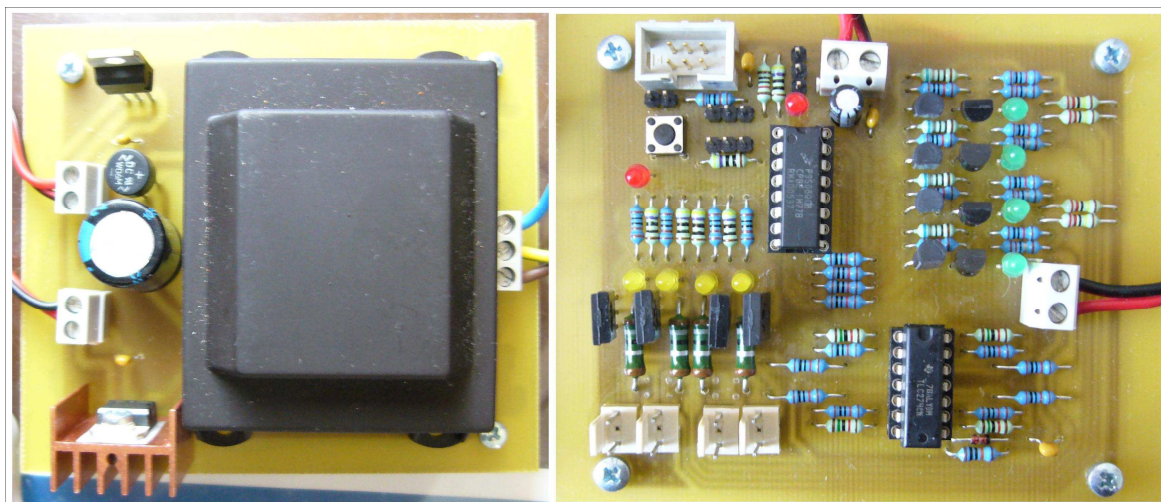
Poté co byly obě desky plošných spojů navrženy, bylo možno přistoupit k jejich výrobě. V první řadě byl na laserové tiskárně na průhlednou folii vytištěn podklad pro výrobu obou DPS. Jelikož sytost tisku nebyla dostatečná vytiskl jsem obě šablony dvakrát a následně je přes sebe přeložil. Tím bylo dosaženo dostatečné sytosti barvy šablony. K výrobě samotného plošného spoje jsem použil cuprexitit s již nanosenou fotocitlivou

vrstvou. Na tento jsem přiložil vytvořenou šablonu a vložil jsem takto připravenou desku pod UV zářič. Doba vyzařování pod zdrojem světla byla okolo tří minut. Po osvětlení jsem ponořil celou desku do vývojky a po přibližně šesti minutách zůstal na desce pouze neosvícený obrazec plošných spojů.



Obr 17. Obrazce plošných spojů nanesené na cuprexitu fotocestou

K samotnému leptání jsem použil roztok chloridu železitého. Koncentraci tohoto roztoku jsem spíše odhadoval. Leptání samotných desek trvalo asi hodinu. Vyleptané plošné spoje jsem očistil od zbytků fotocitlivé vrstvy a natřel roztokem kalafuny v lihu. Při osazování DPS zdroje jsem začal nejdříve drátovými propojkami, které jsou umístěny pod transformátorem. U ostatních součástek na pořadí nezáleží, protože všechny mají ve svém okolí dostatek prostoru. U nabíjecího modulu jsem nejdříve osadil precizní patice pro obě DIL pouzdra a následně všechny rezistory a keramické kondenzátory. Následně všechny pasivní prvky jako svorkovnice a jumpery. Poté jsem přistoupil k osazení LED diod a všech tranzistorů. Po odstranění přebytků kalafuny lihem, jsem na celou stranu spojů u obou DPS aplikoval nevodivý ochranný lak. Po zaschnutí laku jsem vyzkoušel a proměřil zdroj napájení. Poté jsem bez osazených integrovaných obvodů s pomocí drátových propojek ověřil zapojení nabíjecího modulu. Nakonec jsem do patic umístil oba integrované obvody a vyzkoušel funkci programovacího rozhraní BDM.

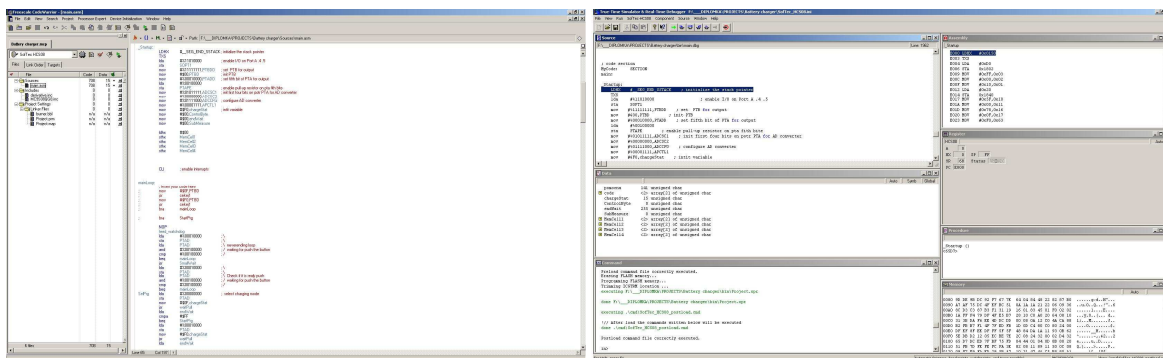


Obr 18. Nabíjecí modul a modul zdroje osázené součástkami

9 SOFTWARE PRO MIKROPROCESOR

9.1 Freescale Code Warrior 5.9.0

Freescale Code Warrior je prostředí pro vývoj aplikací pro mikroprocesory Freescale. Toto prostředí umožňuje psát programy jak v jazyce C tak v assembleru. Je to komplexní nástroj, který pod jediným IDE rozhraním umožňuje celý program vytvořit, simulovat a nakonec naprogramovat do mikroprocesoru. Navíc obsahuje i Real-Time debugger, který dokáže právě přes rozhraní BDM krokovat vytvořenou aplikaci přímo v mikroprocesoru, což velice usnadňuje celý vývoj programu.

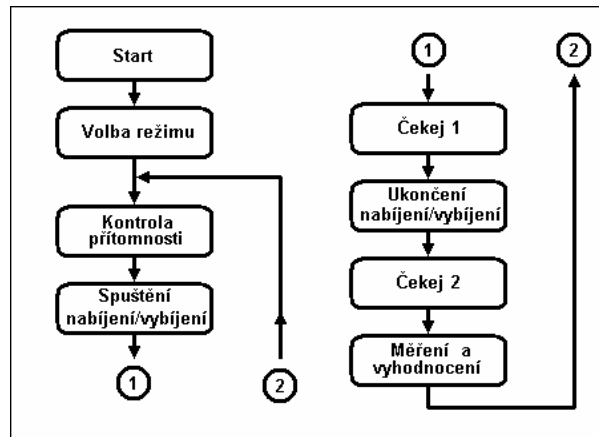


Obr 19. Náhled na prostředí Freescale Code Warrior

9.2 Popis programu mikroprocesoru

Program mikroprocesoru je napsán v assembleru. Skládá se z několika hlavních částí. První část obsluhuje volbu režimu nabíječe, další část sleduje přítomnost akumulátorů v jednotlivých nabíjecích buňkách a poslední část provádí měření a vyhodnocení napětí na akumulátorech. Volba režimu je spuštěna po restartu počítače a je provedena pouze jednou. Proces detekce přítomnosti akumulátoru a měřící proces běží v nekonečném cyklu. Nabíjení případně vybíjení je indikováno přerušovaným svitem LED diod. Proces nabíjení na buňce je ukončen pokud dioda patřící k tomuto článku zhasne. Do programu je zavedeno také několik čekajících smyček. „Čekej1“ slouží k pozastavení ve stavu nabíjení či vybíjení akumulátorů zapsaného na port B mikroprocesoru a má trvání přibližně tři sekundy. Druhá čekající smyčka „Čekej2“ slouží k ustálení hodnot napětí na nabíjecích buňkách před započítáním vlastního měření. Tato smyčka je 8x kratší než předchozí.

Názorně je celý program zobrazen na následujícím obrázku

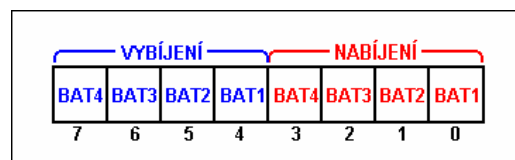


Obr 20. Blokové chéma programu mikroprocesoru

Program využívá několik proměnných.

- MemCell1 – MemCell4 slouží k uchování hodnoty napětí v buňce v předchozím cyklu měření
- ControlByte – slouží k ovládání portu mikroprocesoru při logické „1“ na příslušném bitu je port aktivní
- chargeStat – slouží k volbě režimu portu, logická úroveň „1“ na příslušném bitu určuje aktivní režim na dané nabíjecí buňce
- SubMeasure – Pomocná proměnná pro zjištění rozdílu napětí na nabíjecí buňce
- endWait – obsahuje návratovou hodnotu funkce WaitPull, FFh tlačítko bylo uvolněno

Navíc je v programu definována konstanta LowVoltage, která určuje velikost napětí, při kterém je vybíjecí proces zastaven a následně je spuštěn proces nabíjení.

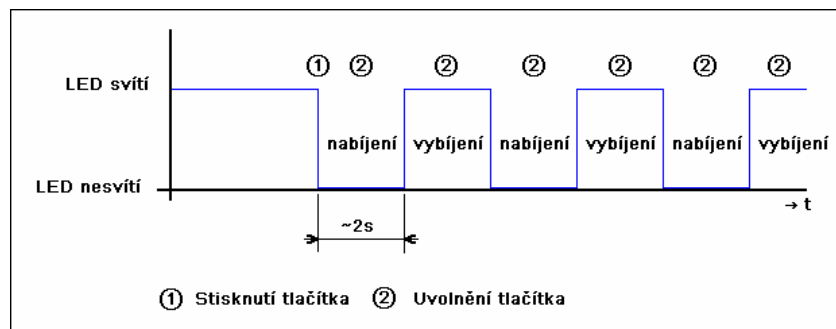


Obr 21. Význam bitů u proměnných ControlByte a chargeStat

Celý zdrojový kód programu pro mikroprocesor je uložen jak na doprovodném disku CD, tak v textové podobě v přílohách na konci dokumentu.

9.2.1 Volba režimu

Po restartu a inicializaci mikroprocesoru program v nekonečné smyčce čeká na stisknutí tlačítka. Dojde-li k stisknutí, indikační LED dioda (červené barvy) začne blikat v intervalu přibližně dvě sekundy. Je-li tlačítko uvolněno v okamžiku kdy dioda nesvítí je do proměnné chargeStat uložena hodnota 0x0Fh, která zajistí spuštění nabíjecího procesu. V opačném případě je do proměnné uložena hodnota 0xF0h čímž je zjištěno následné spuštění procesu vybíjení. Protože na tlačítku může dojít k nežádoucím zážitkům, je každé čtení stavu tlačítka duplikováno a mezi obě po sobě navazující čtení portu je vložena krátká čekací smyčka. Pokud je výsledek čtení v obou případech shodný, je stav tlačítka předán k dalšímu zpracování. V opačném případě program pokračuje v normální činnosti. Časová posloupnost signálů při volbě režimu je zobrazena na následující obrázku.



Obr 22. Časová posloupnost signálů při volbě režimu nabíječe

9.2.2 Sledování přítomnosti článků

Tato část programu slouží k vyhodnocení přítomnosti akumulátoru v nabíjecí buňce. Také má za úkol nastavit proměnnou ControlByte která je následně zapsána na port mikroprocesoru. Ke své funkci využívá také proměnnou chargeStat. Podle stavu této proměnné program rozhoduje jestli má na příslušné buňce spouštět nabíjení nebo vybíjení. Tato Proměnná není funkcí programu nijak ovlivňována.

Celá funkce programu spočívá ve zjištění přítomnosti napětí na dané buňce. Pokud je napětí přítomno (tzn. buňka obsahuje akumulátor), je podle stavu proměnné chargeStat na příslušné buňce spuštěn požadovaný proces. Pokud nebylo detekováno žádné napětí, je tato buňka z celého procesu odstraněna, až do další kontroly přítomnosti. Během celého běhu programu je postupně na zásobníku mikroprocesoru vytvářena proměnná ControlByte, která je po skončení programu zapsána na port B mikroprocesoru. Celý

program je napsán tak, aby neumožnil spuštění nabíjecího a vybíjecího režimu na jedné buňce současně.

9.2.3 Měřicí proces

Oba procesy využívají ke své funkci proměnné MemCell1 – MemCell4. Nabíjecí proces sleduje, zda na některé buňce nedošlo k poklesu napětí. Pokud k poklesu došlo, je zjištěna jeho velikost. Jestliže je velikost poklesu větší nebo rovna předem nastavené hodnotě, je na této buňce nabíjecí proces ukončen. Vybíjecí proces sleduje průběh napětí na buňce a v případě poklesu napětí pod 1,0 V je vybíjecí proces ukončen a následně je aktivováno nabíjení buňky. Celý program mění v závislosti na stavu buněk proměnnou chargeStat, která je využívána k vytvoření proměnné ControlByte.

ZÁVĚR

V této práci jsem se seznámil s různými typy akumulátorů a problematikou jejich nabíjení. Na základě těchto znalostí jsem navrhl a sestrojil nabíječ NiCd a NiMH článků řízený mikroprocesorem MC9S08QG8. Pro detekci ukončení nabíjecího procesu jsem použil metodu „ $-\Delta V$ “, protože je vhodná pro oba podporované typy akumulátorů a navíc je velice dobře realizovatelná na použitém mikroprocesoru. Navržené řešení bylo funkčně odzkoušeno na obou typech článků. Zvolený mikroprocesor se ukázal jako plně postačující pro účely této aplikace. Bohužel akumulátory na bázi lithia jsou diametrálně odlišné od typu NiCd a NiMH. Liší se jak velikostí konečného nabíjecího napětí, tak také nabíjecí metodou vhodnou pro tento typ. Pro realizaci nabíječe článků na bázi lithia bych spíše doporučoval místo zvoleného mikroprocesoru použít specializovaný integrovaný obvod určený právě k nabíjení tohoto typu akumulátorů.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

I got acquainted with different types of accumulators and their charging in this diploma thesis. According to my knowledge I designed and constructed the NiCd and NiMH battery charger controlled by microprocessor. I used the „ ΔV “ method for the end of charging process detection. It is suitable for both supported types of accumulators and it can be well realized in this type of microprocessor. The designed concept was successfully tested on both cell types. The chosen microprocessor was completely appropriate for the intents of this application. However the lithia-accumulators are entirely distinct from NiCd and NiMH types. The quantity of final charging voltage and the charging method are different from the other types. I would personally recommend the usage of specialized integrated circuit for the charging of lithia-battery type.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAREK, J., STEHLÍK, L.: Hermetické akumulátory v praxi. IN-EL, spol.s r.o., 2004. ISBN 80-86230-34-4
- [2] Highlander Technologies: MC9S08QG8 Quick Start Tips.pdf [online], Revision 1, November 2005, [citováno 8.5.2009] Dostupné z:
<<http://forums.freescale.com/freescale/attachments/freescale/8BITCOMM/581/1/MC9S08QG4-8%20Quick%20Start%20Tips1.pdf>>
- [3] BASTIAN, P.: Praktická elektrotechnika. Europa – Sobotáles, Brno, 2004, 295 s. ISBN 80-86706-07-9
- [4] HORST, J.: Informační a telekomunikační technika. Praha, BEN, 2004, 231 s. Terminologický slovník. ISBN 80-7300-127-6
- [5] ZÁHLAVA, V., VOBECKÝ, T.: Elektronika - Součástky a obvody, principy a příklady. Praha, Grada, 2006, 220s. ISBN 80-247-1241-5.
- [6] UHLÍŘ, I. A KOL. Elektrické obvody a elektronika. Praha : ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02466-0.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

OZ Operační zesilovač.

DPS Deska plošných spojů.

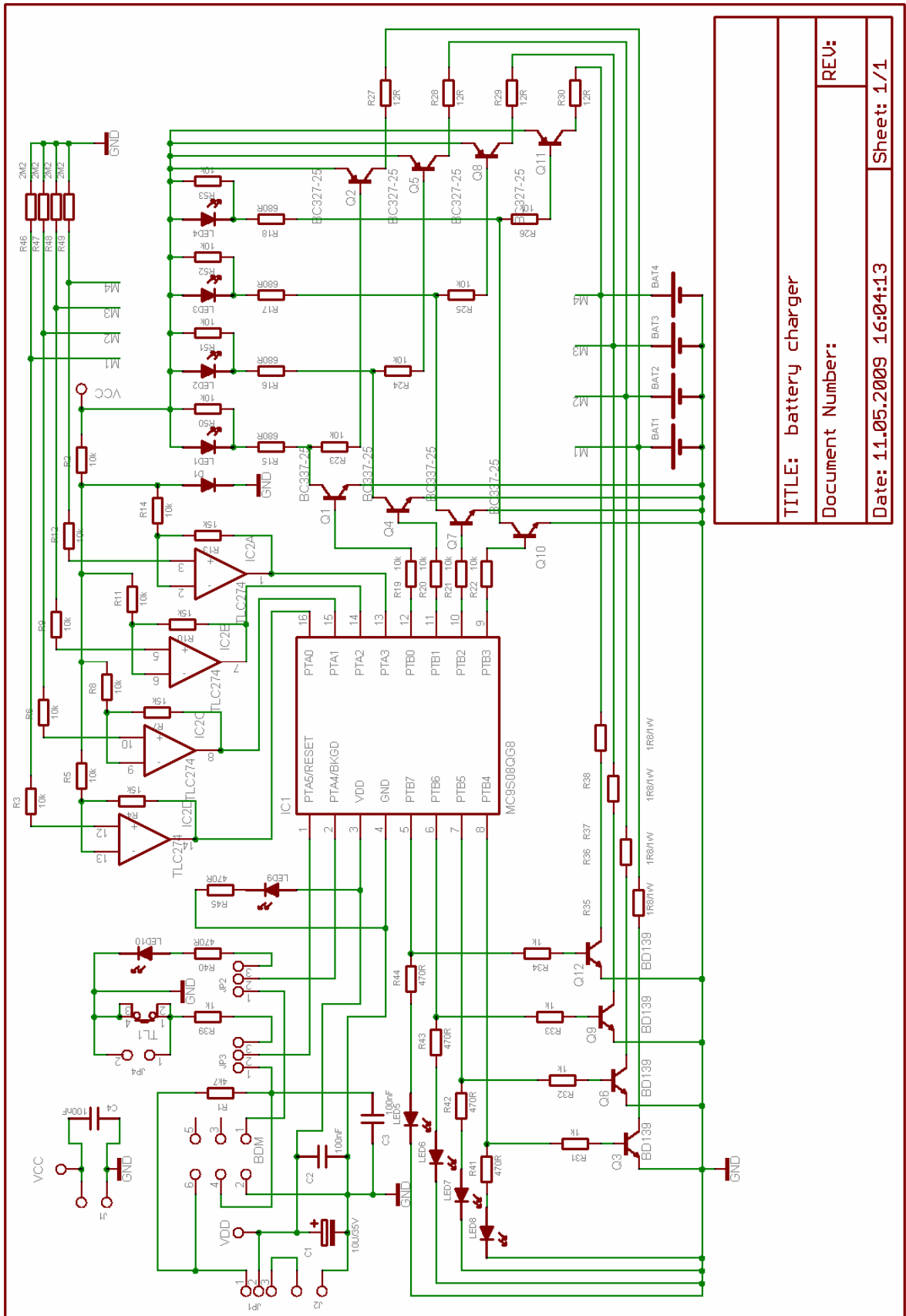
SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR 1.	SCHEMATICKÉ ZOBRAZENÍ FUNKCE AKUMULÁTORU	12
OBR 2.	PAMĚŤOVÝ EFEKT U NICD AKUMULÁTORU	16
OBR 3.	KONSTRUKCE HERMETICKÉHO NICD AKUMULÁTORU VÁLCOVÉHO TVARU	18
OBR 4.	VYBÍJECÍ KŘIVKY RŮZNÝMI PROUDY NICD AKUMULÁTORU PRO VŠEOBECNÉ POUŽITÍ PŘI 20 °C, PO PŘEDCHOZÍM NABÍJENÍ PROUDEM $0,1 I_T$ PO DOBU 16 HODIN PŘI 20 °C	19
OBR 5.	POHYB IONTŮ Li^+ PŘI NABÍJENÍ A VYBÍJENÍ	25
OBR 6.	POPIS POUZDRA MIKROPROCESORŮ MC9S08QG8 (VLEVO) A MC9S08QG4 (VPRAVO)	39
OBR 7.	MINIMÁLNÍ ZAPOJENÍ MIKROPROCESORU PRO ROZHRANÍ BDM	39
OBR 8.	USB KIT SPYDER OD FIRMY SOFTEC MICROSYSTEMS	40
OBR 9.	NÁHLED PROSTŘEDÍ SOFTWARE EAGLE	43
OBR 10.	SCHÉMA ZAPOJENÍ NAPÁJECÍHO ZDROJE	44
OBR 11.	DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ ZDROJE A ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK	45
OBR 12.	SCHÉMA ZAPOJENÍ ŘÍDÍCÍ ČÁSTI	46
OBR 13.	SCHÉMA ZAPOJENÍ MĚŘÍCÍ ČÁSTI	47
OBR 14.	SCHÉMA ZAPOJENÍ NABÍJECÍ ČÁSTI	48
OBR 15.	SCHÉMA ZAPOJENÍ VYBÍJECÍ ČÁSTI	48
OBR 16.	DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ NABÍJECÍHO MODULU	49
OBR 17.	OBRAZCE PLOŠNÝCH SPOJŮ NANESENÉ NA CUPREXTITU FOTOCESTOU	50
OBR 18.	NABÍJECÍ MODUL A MODUL ZDROJE OSÁZENÉ SOUČÁSTKAMI	51
OBR 19.	NÁHLED NA PROSTŘEDÍ FREESCALE CODE WARRIOR	52
OBR 20.	BLOKOVÉ CHÁMA PROGRAMU MIKROPROCESORU	53
OBR 21.	VÝZNAM BITŮ U PROMĚNNÝCH CONTROLBYTE A CHARGESTAT	53
OBR 22.	ČASOVÁ POSLOUPNOST SIGNÁLŮ PŘI VOLBĚ REŽIMU NABÍJEČE	54

SEZNAM PŘÍLOH

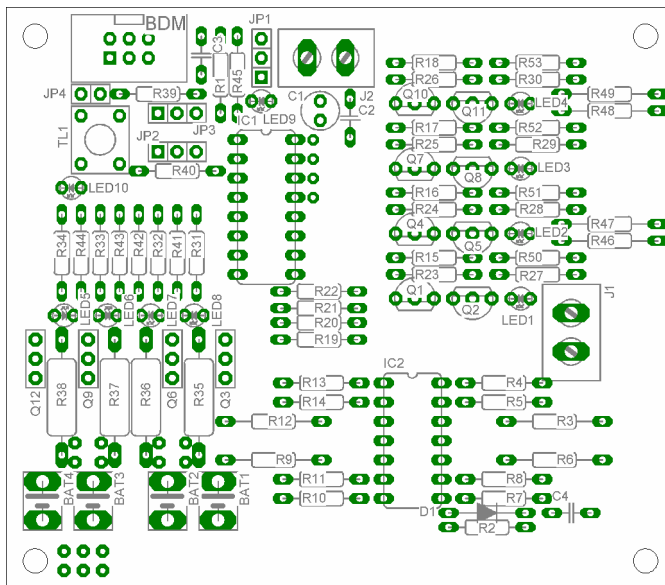
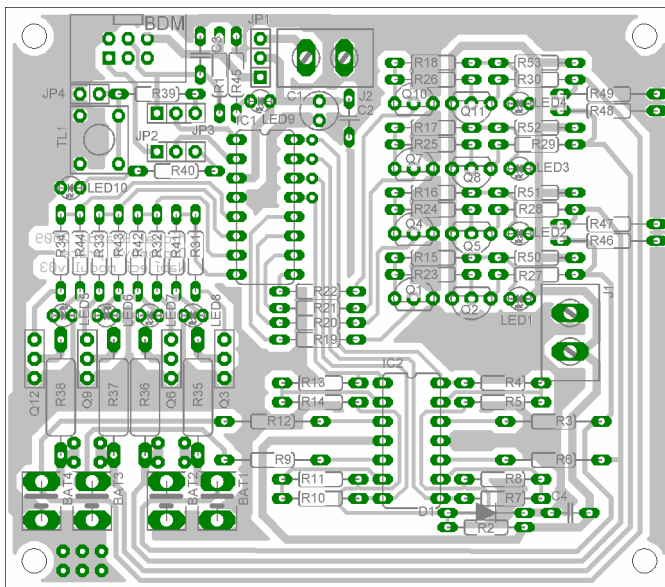
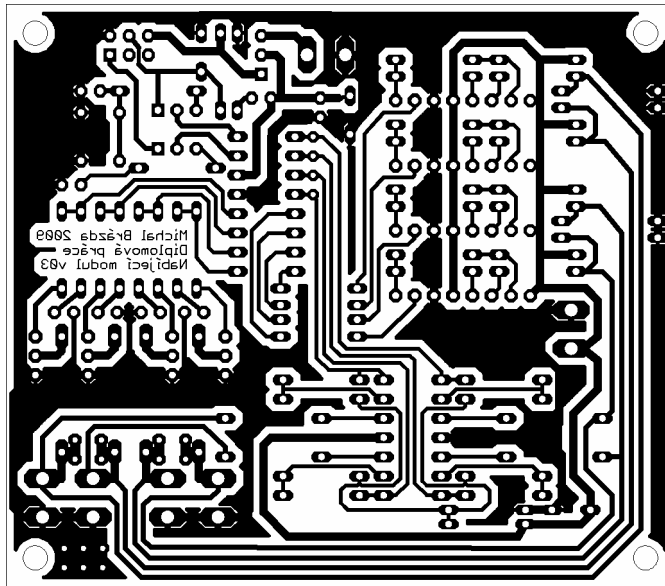
PŘÍLOHA I:	CELKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ NABÍJECÍHO MODULU	62
PŘÍLOHA II:	DPS NABÍJECÍHO MODULU	63
PŘÍLOHA III:	SCHÉMA ZAPOJENÍ NAPÁJECÍHO ZDROJE	64
PŘÍLOHA IV:	DPS NAPÁJECÍHO ZDROJE	65
PŘÍLOHA V:	SEZNAMY SOUČÁSTEK.....	66
PŘÍLOHA VI:	ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU MIKROPROCESORU	68

PŘÍLOHA I: CELKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ NABÍJECÍHO MODULU

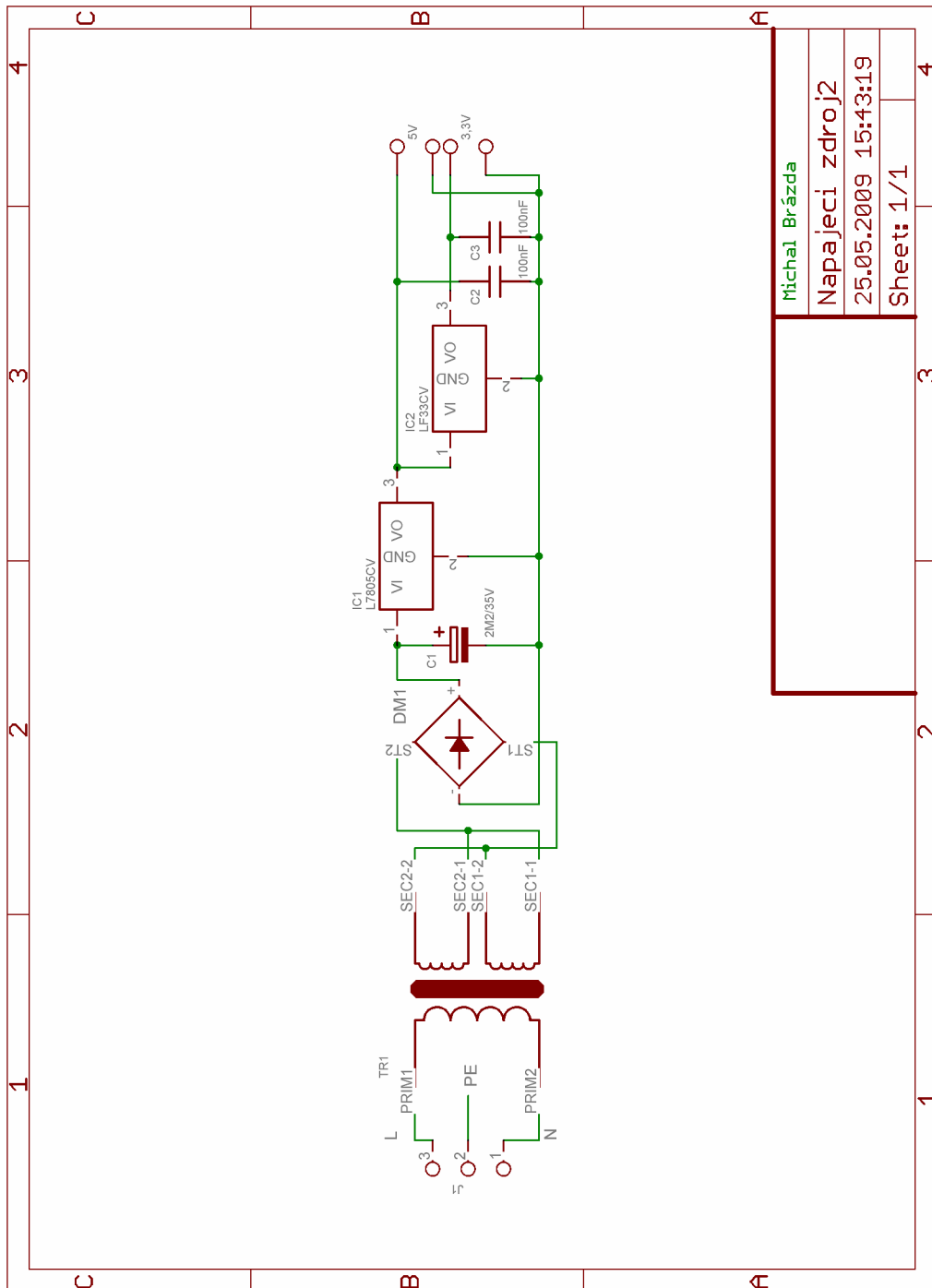


TITLE: battery charger	
Document Number:	REV:
Date: 11.05.2009 16:04:13	Sheet: 1/1

PŘÍLOHA II: DPS NABÍJECÍHO MODULU

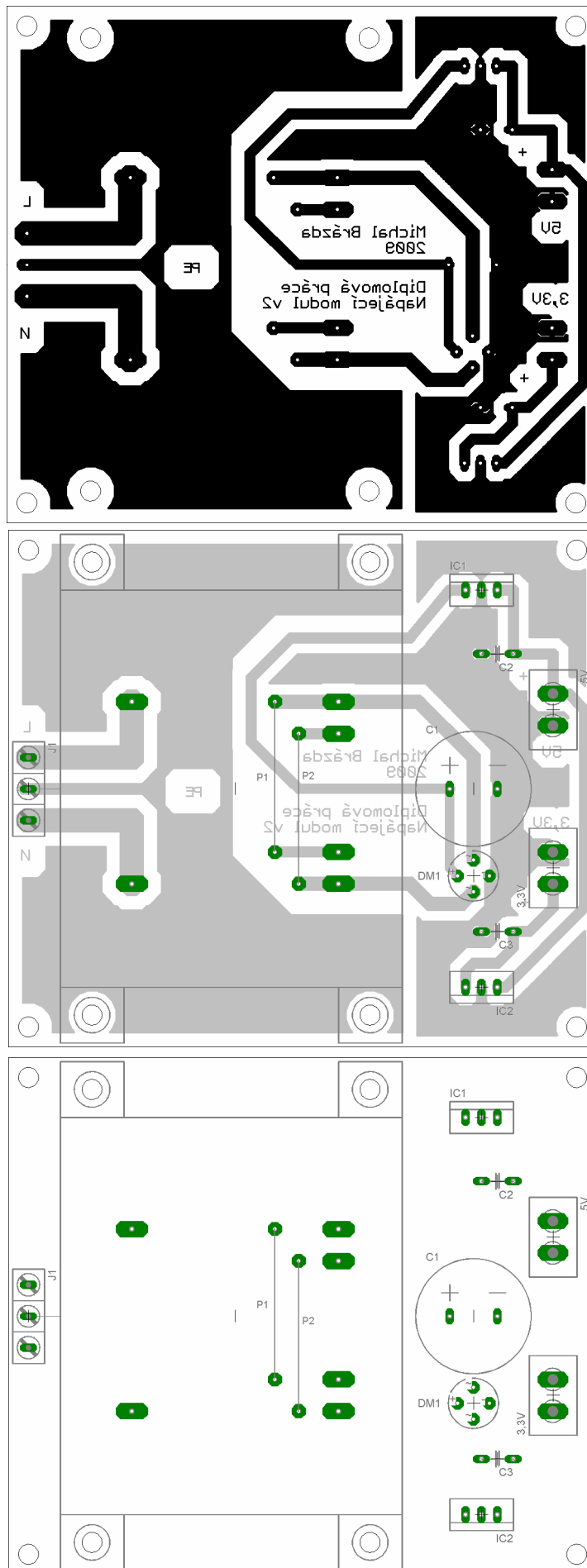


PŘÍLOHA III: SCHÉMA ZAPOJENÍ NAPÁJECÍHO ZDROJE



Michal Brázda	4
Napájecí zdroj 2	4
25.05.2009 15:43:19	4
Sheet: 1/1	4

PŘÍLOHA IV: DPS NAPÁJECÍHO ZDROJE



PŘÍLOHA V: SEZNAMY SOUČÁSTEK**Nabíjecí modul**

IC1	MC9S08QG8
IC2	TLC274CN
Q1,4,7,10	4 x BC337-25
Q2,5,8,11	4 x BC327-25
Q3,6,9,12	4 x BD139
LED1-10	10 x LED \varnothing 3mm, různé barvy
D1	1N4148
R1	4k7
R2,3,5,6,8,9, 11,12,14,19-26, 50-53	21x 10k
R4,7,10,13	4 x 15k
R15-18	4 x 680R
R27-30	4 x 12R
R31-34,39	4 x 1k
R35-38	4 x 1R8 / 2W
R40-45	6 x 470R
R46-49	4 x 2M2
C1	Elektrolytický kondenzátor 10 μ F / 35 V
C2-4	Keramický kondenzátor 100 nF
J1,2	Svorkovnice 2 pin
JP1-4	Jumerová lišta 11 pinů
TL1	PB1720
BDM	Konektor 2x3 pinů
BAT1-4	Konektor s klíčem 1x3 piny (prostření pin odstraněn)

Napájecí modul

TR1	Transformátor 2x9 V , 1,11 A
C1	Elektrolytický kondenzátor 2200 μ F / 35 V
C2,C3	Keramický kondenzátor 100 nF
DM1	můstek usměrňovací, 80V, 1.5A, RB1F
J1	Svorkovnice 3 pin
3,3V	Svorkovnice 2 pin
5 V	Svorkovnice 2 pin
IC1	78S05CV
IC2	LF33CV
P1,P2	Drátové propojky

PŘÍLOHA VI: ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU MIKROPROCESORU

```

;*****
;* This stationery serves as the framework for a user application. *
;* For a more comprehensive program that demonstrates the more *
;* advanced functionality of this processor, please see the *
;* demonstration applications, located in the examples *
;* subdirectory of the "Freescale CodeWarrior for HC08" program *
;* directory. *
;*****

; Include derivative-specific definitions
        INCLUDE 'derivative.inc'

; export symbols
        XDEF _Startup, main
        ; we export both '_Startup' and 'main' as symbols. Either can
        ; be referenced in the linker .prm file or from C/C++ later
on

        XREF __SEG_END_SSTACK ; symbol defined by the linker for
the end of the stack

; variable/data section
MY_ZEROPAGE: SECTION SHORT ; Insert here your data definition

chargeStat      rmb 1 ; chargestatus $0F = only charging / $F0
discharge before charging
ControlByte     rmb 1
endWait         rmb 1
SubMeasure      rmb 1
MemCell1        rmb 2
MemCell2        rmb 2
MemCell3        rmb 2
MemCell4        rmb 2
LowVoltage      equ $0242

; code section
MyCode: SECTION
main:

_Startup:
        LDHX #__SEG_END_SSTACK ; initialize the stack pointer

```

```

TXS
lda  #%11010000          ; enable I/O on Port A .4 .5
sta  SOPT1
mov  #%11111111,PTBDD   ; set  PTB for output
mov  #$00,PTBD          ; init PTB
mov  #%00010000,PTADD   ; set fifth bit of PTA for output
lda  #%00100000
sta  PTAPE              ; enable pull-up resistor on pta fifth bite
mov  #%01011111,ADCSC1 ; init first four bits on potr PTA
                        ; for AD converter
mov  #%00000000,ADCSC2
mov  #%01111000,ADCCFG ; configure AD converter
mov  #%00001111,APCTL1
mov  #$F0,chargeStat   ; intit variable
mov  #$00,ControlByte
mov  #$00,endWait
mov  #$00,SubMeasure
ldhx #$00
sthx MemCell1
sthx MemCell2
sthx MemCell3
sthx MemCell4
CLI  ; enable interrupts

mainLoop:
    feed_watchdog
    lda  #%00010000 ; \
    sta  PTAD       ; \
    lda  PTAD       ; \ neverending loop
    and  #%00100000 ; / waiting for push the button
    cmp  #%00100000 ; /
    beq  mainLoop
    jsr  SmallWait
    lda  #%00010000 ; \
    sta  PTAD       ; \
    lda  PTAD       ; \ Check if it is realy push
    and  #%00100000 ; / waiting for push the button
    cmp  #%00100000 ; /
    beq  mainLoop
SelPrg  lda  #%00000000 ; select charging mode
        sta  PTAD
        mov  #$0F,chargeStat
        jsr  waitPull

```

```
    lda    endWait
    cmpa  #$FF
    beq   StartPrg
    lda   #%00010000
    sta   PTAD
    mov   #$F0,chargeStat
    jsr   waitPull
    lda   endWait
    cmpa  #$FF
    beq   StartPrg
    bra   SelPrg
StartPrg  jsr   CheckCells
          LDA   ControlByte
          sta   PTBD
          jsr   cekej1
          LDA   #$00
          sta   PTBD
          jsr   cekej2
          mov   #%10000000,ADCSC1
MainPrg1  lda   ADCSC1
          and   #%10000000
          beq   MainPrg1
          ldhx  ADCRH
          lda   chargeStat
          and   #%00010000
          cmpa  #$00
          bne   MainPrg3
          cphx  MemCell11
          blo   MainPrg2
          sthx  MemCell11
          bra   MainPrg5
MainPrg2  stx   SubMeasure
          lda   MemCell11+1
          sub   SubMeasure
          cmpa  #04
          bne   MainPrg5
          lda   chargeStat
          and   #%11111110
          sta   chargeStat
          bra   MainPrg5
MainPrg3  sthx  MemCell11
          cphx  #LowVoltage
```

```
        ble    MainPrg4
        bra    MainPrg5
MainPrg4  cphx  #$00
        beq    MainPrg5
        lda    chargeStat
        and    #%11101110
        ora    #%00000001
        sta    chargeStat
MainPrg5  mov    #%10000001,ADCSC1
MainPrg6  lda    ADCSC1
        and    #%10000000
        beq    MainPrg6
        ldhx  ADCRH
        lda    chargeStat
        and    #%00100000
        cmpa  #$00
        bne    MainPrg8
        cphx  MemCell2
        blo    MainPrg7
        sthx  MemCell2
        bra    MainPrg10
MainPrg7  stx    SubMeasure
        lda    MemCell2+1
        sub    SubMeasure
        cmpa  #04
        bne    MainPrg10
        lda    chargeStat
        and    #%11111101
        sta    chargeStat
        bra    MainPrg10
MainPrg8  sthx  MemCell2
        cphx  #LowVoltage
        ble    MainPrg9
        bra    MainPrg10
MainPrg9  cphx  #$00
        beq    MainPrg10
        lda    chargeStat
        and    #%11011101
        ora    #%00000010
        sta    chargeStat
MainPrg10 mov    #%10000010,ADCSC1
MainPrg11 lda    ADCSC1
```

```
    and    #%10000000
    beq    MainPrg11
    ldhx   ADCRH
    lda    chargeStat
    and    #%01000000
    cmpa   #$00
    bne    MainPrg13
    cphx   MemCell3
    blo    MainPrg12
    sthx   MemCell3
    bra    MainPrg15
MainPrg12  stx    SubMeasure
    lda    MemCell3+1
    sub    SubMeasure
    cmpa   #04
    bne    MainPrg15
    lda    chargeStat
    and    #%11111011
    sta    chargeStat
    bra    MainPrg15
MainPrg13  sthx   MemCell3
    cphx   #LowVoltage
    ble    MainPrg14
    bra    MainPrg15
MainPrg14  cphx   #$00
    beq    MainPrg15
    lda    chargeStat
    and    #%10111011
    ora    #%00000100
    sta    chargeStat
MainPrg15  mov    #%10000011,ADCSC1
MainPrg16  lda    ADCSC1
    and    #%10000000
    beq    MainPrg16
    ldhx   ADCRH
    lda    chargeStat
    and    #%10000000
    cmpa   #$00
    bne    MainPrg18
    cphx   MemCell4
    blo    MainPrg17
    sthx   MemCell4
```



```
        bra    MainPrg20
MainPrg17 stx    SubMeasure
        lda    MemCell4+1
        sub    SubMeasure
        cmpa   #04
        bne    MainPrg20
        lda    chargeStat
        and    #%11110111
        sta    chargeStat
        bra    MainPrg20
MainPrg18 sthx   MemCell4
        cphx   #LowVoltage
        ble    MainPrg19
        bra    MainPrg20
MainPrg19 cphx   #\$00
        beq    MainPrg20
        lda    chargeStat
        and    #%01110111
        ora    #%00001000
        sta    chargeStat
MainPrg20 nop
        feed_watchdog
        jmp    StartPrg

CheckCells feed_watchdog
        lda    #\$00          ; variable on stack
        psha
        mov    #%10000000,ADCSC1
CheckCells1 lda   ADCSC1
        and    #%10000000
        beq    CheckCells1
        lda    ADCRH
        cmp    #\$00
        bne    CheckCells2
        lda    ADCRL
        cmp    #\$02
        bgt    CheckCells2
CheckCells4 feed_watchdog
        mov    #%10000001,ADCSC1
CheckCells5 lda   ADCSC1
        and    #%10000000
        beq    CheckCells5
```

```
    lda    ADCRH
    cmp    #$00
    bne    CheckCells6
    lda    ADCRL
    cmp    #$02
    bgt    CheckCells6
CheckCells8  feed_watchdog
    mov    #%10000010,ADCSC1
CheckCells9  lda    ADCSC1
    and    #%10000000
    beq    CheckCells9
    lda    ADCRH
    cmp    #$00
    bne    CheckCells10
    lda    ADCRL
    cmp    #$02
    bgt    CheckCells10
CheckCells12 feed_watchdog
    mov    #%10000011,ADCSC1
CheckCells13      lda    ADCSC1
    and    #%10000000
    beq    CheckCells13
    lda    ADCRH
    cmp    #$00
    bne    CheckCells14
    lda    ADCRL
    cmp    #$02
    bgt    CheckCells14
CheckCells16      pula
    sta    ControlByte
    RTS

CheckCells2  lda    chargeStat
    and    #%00010001
    cmpa   #%00000001
    bne    CheckCells3
    pula
    ora    #%00000001
    psha
    bra    CheckCells4
CheckCells3  pula
    ora    #%00010000
```

```
    psha
    bra    CheckCells4

CheckCells6 lda    chargeStat
    and   #%00100010
    cmpa  #%00000010
    bne   CheckCells7
    pula
    ora   #%00000010
    psha
    bra   CheckCells8

CheckCells7 pula
    ora   #%00100000
    psha
    bra   CheckCells8

CheckCells10    lda    chargeStat
    and   #%01000100
    cmpa  #%00000100
    bne   CheckCells11
    pula
    ora   #%00000100
    psha
    bra   CheckCells12

CheckCells11    pula
    ora   #%01000000
    psha
    bra   CheckCells12

CheckCells14    lda    chargeStat
    and   #%10001000
    cmpa  #%00001000
    bne   CheckCells15
    pula
    ora   #%00001000
    psha
    bra   CheckCells16

CheckCells15    pula
    ora   #%10000000
    psha
    bra   CheckCells16
```

```
waitPull1    lda    #05
waitPull2    ldhx   #$FFFF
waitPull11   psha
              lda    PTAD
              and    #%00100000
              cmp    #%00100000
              beq    waitPull4
waitPull7    pula
              aix    #-1
              feed_watchdog
              CPHX   #0
              bne    waitPull11
              DECA
              BNE    waitPull2
              bra    waitPull5
waitPull4    jsr    SmallWait
              lda    PTAD
              and    #%00100000
              cmp    #%00100000
              bne    waitPull7
              pula
              mov    #$FF, endWait
              bra    waitPull3
waitPull5    mov    #$00, endWait
waitPull3    RTS
```

```
cekej1
```

```
    psha
    pshx
    pshh
    LDA    #016
    bra    cekej
```

```
cekej2
```

```
    psha
    pshx
    pshh
    LDA    #02
```

```
cekej nop
```

```
n2    LDHX   #$FFFF
n1    AIX    #-1
      feed_watchdog
      CPHX   #0
```

```
BNE    n1
DECA
BNE    n2
pulh
pulx
pula
RTS

SmallWait    psha
              pshx
              pshh
              lda    #02
SmallWait1    ldhx   #$00ff
SmallWait2    aix    #-1
              feed_watchdog
              cphx   #0
              bne   SmallWait2
              deca
              bne   SmallWait1
              pulh
              pulx
              pula
              RTS
```