



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS**

NABÍJEČKA NICD, NIMH A LI-ION AKUMULÁTORŮ NAPÁJENÁ A ŘÍZENÁ POMOCÍ USB

**NICD, NIMH AND LI-ION ACCUMULATOR CHARGER SUPPLIED AND CONTROLLED VIA
USB**

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR NOSEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VÁCLAV ZEMAN, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Petr Nosek

ID: 78637

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Nabíječka NiCd, NiMH a Li-ion akumulátorů napájená a řízená pomocí USB

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte principy funkce nabíječek pro akumulátory uvedeného typu a možnosti jejich realizace ve formě zařízení řízeného a napájeného z počítače PC prostřednictvím rozhraní USB. Seznamte se s protokolem USB a jeho použitím. Na základě této analýzy vypracujte obvodový návrh nabíječky s konfigurací vybranou po dohodě s konzultantem. Realizujte a oživte navrženou nabíječku včetně řídicího programu v počítači PC.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Belza, J.: Vestavná nabíječka akumulátorů LI-ion. Praktická elektronika A Radio, roč. 11, 2006, č. 12, s. 31

[2] Mann, B. : C pro mikrokontroléry, BEN, 2003. ISBN 80-7300-077-6

Termín zadání: 29.1.2010

Termín odevzdání: 26.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Zeman, Ph.D.

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ANOTACE

Práce se zabývá rozborem a nabíjením baterií typu NiCd, NiMH, Li-Ion pomocí mikrokontroléru z řady ATMEL AVR ovládaného a napájeného z PC pomocí USB. Část práce je věnována charakteristice USB rozhraní a jeho možnostem softwarové enumerace do mikrokontroléru AVR. Obsahuje také základní charakteristiky nabíjených baterií včetně známých metod nabíjení. Druhá polovina práce potom obsahuje kompletní návrh a realizaci nabíječky akumulátorů, která se skládá z elektronické části, programu pro mikrokontrolér ATMEGA168 a programu pro PC. Uvádí obvodové schéma nabíječky a vývojové diagramy hlavních funkcí programu.

Výsledkem práce je funkční vzorek nabíječky akumulátorů výše uvedených typů.

Přílohy obsahují návrh DPS, kompletní obvodové schéma a nabíjecí a vybíjecí charakteristiky článků. Obsahem práce je také příloha uvedená na optickém disku. Zde se jedná hlavně o programy pro mikrokontrolér a PC. Jsou zde uvedeny také jednotlivé projekty pro AVR studio, Borland Builder6 C++ a Eagle, pomocí kterých byla vytvořena nabíječka.

Klíčová slova: řízení z USB, nabíjení Li-Ion, NiMH, NiCd, ATMEL AVR, Libusb, V-USB

ABSTRACT

Deals with analysis and battery charging NiCd, NiMH, Li-Ion through a series of microcontroller from Atmel AVR controlled and powered from a PC via USB. Part is devoted to the characteristics of the USB interface and software capabilities to the enumeration AVR microcontroller. It also contains the basic characteristics of charged batteries, including the known methods of charging. The second half of the tehsis then provides a complete design and implementation of battery chargers, which consists of electronic parts, ATMEGA168 microcontroller program and the program for the PC. Presents circuit diagram of the charger and flowcharts of the main features of the program.

The result of this thesis is functional battery charger above types.

Attachments include a proposal DPS, a full circuit diagram and the charge and discharge characteristics of cells. The thesis is also referred to annex to the optical disk. Here it is mainly programs for microcontroller and PC. They are listed here as well as individual projects for AVR Studio, Borland Builder6 C + + and Eagle, which was created by chargers.

Keywords: controlled via USB, charged Li-Ion, NiMH, NiCd, ATMEL AVR, Libusb, V-USB

NOSEK, P. Nabíječka NiCd, NiMH a Li-ion akumulátorů napájená a řízená pomocí USB. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 63 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Václav Zeman, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Nabíječka NiCd, NiMH a Li-Ion akumulátorů napájená a řízená pomocí USB“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 20. května 2010

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji konzultantovi práce Ing. Ondřeji Pavelkovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne 20. Května 2010

.....
podpis autora

Obsah

Obsah	2
1 Úvod	4
2 Vlastnosti akumulátorů a jejich správné používání	5
2. 1. Niklokadmiové (NiCd) a niklometalhydridové (NiMH) akumulátory	5
2. 1. 1. Obecná charakteristika.....	5
2. 1. 2. Nabíjení.....	5
2. 1. 3. Vybíjení	10
2. 2. Lithium-ionové (Li-ion) akumulátory.....	10
2. 2. 1. Obecná charakteristika.....	10
2. 2. 2. Nabíjení.....	12
3. Univerzální sériová sběrnice USB.....	13
3. 1. Charakteristika USB.....	13
3. 1. 1. Fyzická vrstva – mechanické a elektrické vlastnosti.....	14
3. 1. 2. Logická vrstva	16
3. 2. Existující emulace externích USB řadičů	20
3. 2. 1 FTDI obvody	20
3. 2. 2. USB řadič jako periférie mikrokontroléru.....	21
3. 2. 3. IgorPlug-USB (AVR)	22
3. 2. 4 V-USB	22
4. Měření elektrických parametrů USB sběrnice a diskuze navržených parametrů nabíjecího zařízení	23
5. Koncepce a struktura nabíjecího systému.....	25
6. Elektronická část zařízení	27
6. 1. Bloková struktura	27
6. 2. Mikrokontrolér ATMEGA168.....	27
6. 2. 1. Obecná charakteristika.....	27
6. 2. 2. Funkce a nastavení mikrokontroléru	28
6. 3. Snižující spínaný měnič napětí.....	30
6. 3. 1. Teorie spínaného snižujícího měniče.....	30
6. 3. 2. Charakteristika použitého měniče.....	30
6. 4. Způsob měření napětí a proudu a úpravy úrovní pro měření pomocí A/D převodníku mikrokontroléru	32
6. 5 Spínaná vybíjecí zátěž.....	35
6. 6. Poznámky k návrhu a výrobě DPS.....	35
7. Obslužný program nabíjecího zařízení pro PC a Libusb-win32.....	35
7. 1. Libusb-win32	35
7. 2. Hlavní program	36
7. 2. Jednotlivé prvky a vzhled uživatelského rozhraní	37
8. Vlastní program mikrokontroléru se softwarovou enumerací ovladače V-USB.....	39
8.1. Hlavní soubor programu mikrokontroléru	39
8. 1. 1. Struktura souboru.....	39
8. 1. 2. Charakteristika přepínače volaného při přijetí dat z USB	39

8. 1. 3. Charakteristika funkcí hlídajících nabíjení a vybíjení akumulátoru.....	40
8. 2. V-USB.....	42
8. 3. Regulace napětí a proudu PSD regulátorem (diskrétním PID)	43
8. 3. 1. Základní princip diskrétního regulátoru	44
8. 3. 2. PID regulátor a jeho spojitost s PSD	44
8. 3. 3. Vlastní řešení regulace.....	44
Závěr	46
Seznam literatury	48
Abecední přehled použitých zkratk	50
Seznam obrázků a tabulek	51
Seznam obrázků	51
Seznam tabulek	52
Seznam příloh	53
Přílohy.....	54

1 Úvod

Neustálá mobilita kdekoliv se nacházíme, to je trend poslední doby. Tímto směrem se také ubírá vývoj uživatelský zařízení, provázejících nás každý den. Mobilní zařízení jsou nejčastěji napájená vlastními akumulátory, které je potřeba dle užívání dobíjet. Kolikrát se stane, že se vybijí akumulátor v mobilním telefonu, digitálním fotoaparátu či svítilně a uživatel u sebe nemá potřebnou nabíječku, ba dokonce ani zásuvku se síťovým napětím. Ale má u sebe notebook nebo stolní počítač. Zde se s výhodou nabízí využití elektrický proud dodávaný zdrojem počítače.

Diplomová práce se zabývá návrhem nabíječky napájené a řízené přes velmi rozšířené rozhraní USB. U nabíjení baterií je velmi důležité hlídat nabíjecí proud a napětí, tak aby nepřesáhli jisté meze, které by způsobily zničení akumulátorů. Dalším velmi důležitým bodem je přesně určit okamžik konce nabíjení baterie, tak aby nedošlo k jejich přebíjení. Proto se také první kapitola tohoto projektu zabývá vlastnostmi a problematikou nabíjení baterií.

Počítač se stal dnes již u každého téměř jakýmsi standardem. Tohoto je využito pro napájení a řízení nabíječky přes rozhraní USB. Druhá část projektu se zabývá podrobnější charakteristikou USB sběrnice a možnostmi emulace USB řadičů do jednočipových mikrokontrolérů.

Mnohé externí harddisky mají tzv. ypsilon USB kabel se zdvojeným napájením, což vypovídá o tom, že druhý USB konektor slouží pouze k napájení, aniž by zařízení informovalo počítač o velikosti odebíraného proudu k připojenému konektoru. To vedlo autora ke změření maximálně dodávaného proudu USB sběrnice a ověření zdali základní desky počítačů omezují proud USB sběrnice dle standardu. Více v kapitole 4.

Po dohodě s konzultantem diplomové práce Ing. Ondřejem Pavelkou, byla navržena a realizována nabíječka, která umožňuje nabíjet dva alkalické akumulátory nebo jeden Li-ion. V páté kapitole je uvedeno celkové koncepční schéma a charakteristika USB nabíječky, tak aby čtenáře uvedlo do obsahu dalších tří kapitol, které podrobně popisují navržené zařízení nabíječky po částech (hardware, firmware mikrokontroléru a software pro PC).

2 Vlastnosti akumulátorů a jejich správné používání

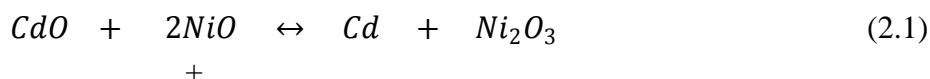
Nabíječka baterií bude nabíjet baterie typu NiCd, NiMH a Li-ion. Následující odstavce pojednávají o vlastnostech daných akumulátorů a hlouběji rozebírají vhodné metody nabíjení a techniky pro ukončení nabíjení. Všechny informace jsou čerpány a sumarizovány z literatury [1][6][7][15][26].

2. 1. Niklokadmiové (NiCd) a niklometalhydridové (NiMH) akumulátory

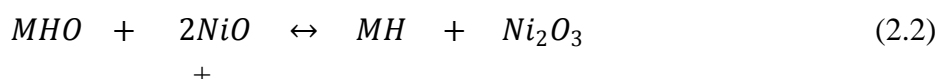
Tato podkapitola patří oběma druhům, jelikož pro nabíjení NiCd i NiMH akumulátorů lze použít stejné metody nabíjení, lišící se pouze způsobem ukončení nabíjecího procesu.

2. 1. 1. Obecná charakteristika

Jedná se o akumulátory s alkalickým elektrolytem, uzavřeným v pouzdru a opatřeny elektrodami s nominálním napětím článku 1,2 V. Články NiCd obsahují značné množství silně toxického kadmia (asi 20% procent z celk. hmotnosti). Proto je snaha tyto články nahrazovat ekologicky téměř nezávadnými, ale dražšími akumulátory NiMH. Nejčastěji se s nimi lze setkat ve válcovém provedení, kde kladnou elektrodu tvoří plstěný vysoce porézní nikový substrát (hydroxid niklu), obsahující další niklové přísady. Záporná elektroda je děrovaná poniklovaná ocelová fólie, pokrytá aktivním materiálem kadmia (NiCd článek) nebo slitinou kovu s vodíkem (NiMH článek). Elektrody jsou od sebe izolovány separátorem a ponořeny do alkalického elektrolytu. Základní chemické reakce probíhající v akumulátorech znázorňují tyto chemické zápisy:



pro niklokadmiové akumulátory a

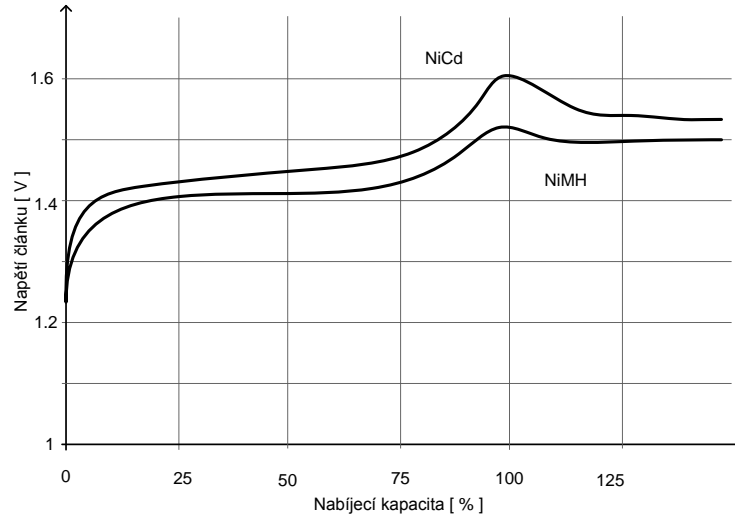


pro niklometalhydridové akumulátory.

2. 1. 2. Nabíjení

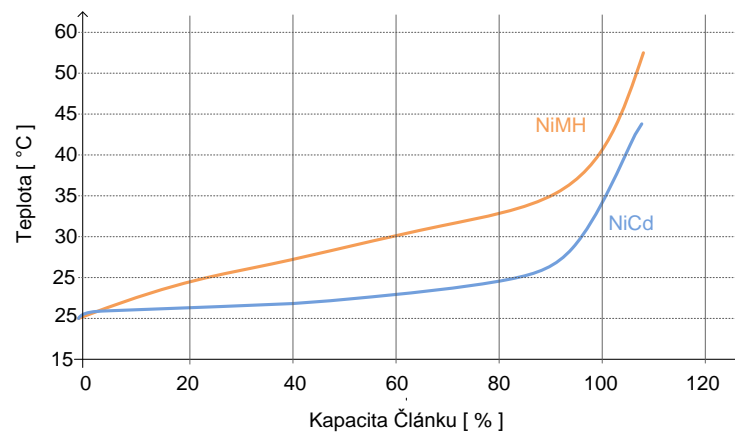
Správné nabíjení je rozhodující nejen pro získání maximální kapacity, ale také k zamezení vnitřních teplot, tlaků a dalších stavů, které nepříznivě ovlivňují životnost baterie. Při nabíjení těchto typů článků je převážná část energie využita k vytvoření aktivních materiálů, které jsou poté využity k čerpání energie z akumulátoru. Menší část energie je spotřebována na parazitní procesy, jako je vytvářením tepla a plynů kyslíku a vodíku. Tento poměr se ke konci nabíjení mění ve prospěch parazitních procesů, klesá tedy účinnost nabíjení. Toto se může kompenzovat nabíjením článků na 140% u NiCd a 160% u NiMH.

Napětí nabíjených článků nejprve stoupá až do stavu, kdy jsou plně nabity a potom mírně klesá. U NiCd je maximum výraznější než u NiMH. Při zvětšování nabíjecího proudu se extrémní křivky zvětšují. Obr. 1 znázorňuje typické nabíjecí charakteristiky obou článků při konstantním proudu 1C a teplotě 21°C, kde konstantou C je myšlena jmenovitá kapacita článku.



Obr. 1: Typická nabíjecí napěťová charakteristika NiCd a NiMH článků

Pokles na křivkách je možno využít pro zjištění okamžiku ukončení nabíjení. K tomu lze použít i teplotu článků, protože se ke konci nabíjení značně zahřívají, jak ukazuje graf níže.



Obr. 2: Závislost teploty na kapacitě NiCd a NiMH článku při nabíjení

Napětí baterie při nabíjení závisí na mnoha faktorech, nejvíce však na nabíjecím proudu ($I_{\text{nabíjecí}} \cdot R_{\text{vnitřní}}$) a na teplotě, kdy s rostoucí teplotou klesá vnitřní odpor a tím i napětí. Účinnost nabíjení je tedy jistou měrou závislá i na teplotě a se zvyšující teplotou klesá a to vlivem zvyšující se produkce kyslíku na kladné elektrodě. Správné nabíjení baterie, jakož i celý proces nabíjení jsou velmi důležité pro životnost a výkonnost baterie.

K tomuto účelu je velmi důležité celý proces nabíjení řídit a to tak, aby se zamezilo přebíjení a vysokým teplotám uvnitř článků. Techniky pro zjištění okamžiku ukončení nabíjení jsou:

- časové nabíjení,
- záporný přírůstek napětí,
- nulový napěťový přírůstek,
- teplotní ukončení,
- teplotní přírůstek,
- rychlost teplotního přírůstku,
- inflexní bod.

Časové nabíjení

Nabíjení je přerušeno po uplynutí určitého časového intervalu. Doporučuje se pro nabíjení proudem menším než $C/3$, čímž se vyhne nadměrnému přebíjení.

Záporný přírůstek napětí

Touto metodou se sleduje napětí článku, jakmile začne klesat, považuje se za nabitý. Tato metoda je vhodnější pro NiCd články, jelikož je u nich napěťový pokles výraznější než u NiMH (viz Obr. 2).

Nulový napěťový přírůstek ($\Delta U = 0$)

Alternativní metoda k předchozí vhodná pro NiMH články, nevykazující odpovídající napěťový pokles. Nabíjení je zde přerušeno poté, co napětí dosáhne vrcholu, tedy napěťový přírůstek je nulový. Nehrozí zde riziko přebíjení a doporučuje se použít nabíjecího proudu $1C$.

Teplotní ukončení

K přerušení nabíjení dochází, jakmile teplota článku dosáhne teploty indikující začátek přebíjení. Tento bod je ale velmi obtížné stanovit, neboť je ovlivněn teplotou okolí, konstrukcí baterie, nabíjecím proudem a dalšími faktory. Tato metoda má spíše pojistný charakter a používá se spíše k ošetření nečekaných událostí u ostatních metod, aby zareagovala dříve například v případě vadného článku.

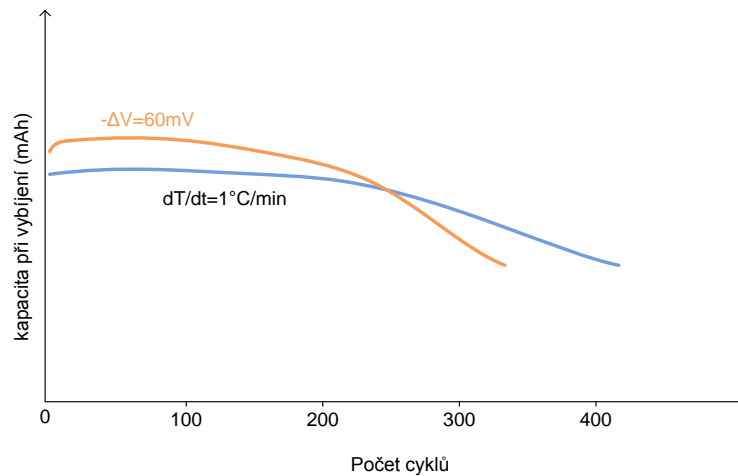
Teplotní přírůstek

Při této metodě je sledován rozdíl aktuální teploty baterie a teploty na začátku nabíjení. Nabíjení je přerušeno, překročí li rozdíl stanovenou hodnotu.

Rychlost teplotního přírůstku

Sleduje se změna teploty s časem a nabíjení je přerušeno, když derivace teploty překročí předem stanovenou hodnotu. Tím je omezen vliv teploty okolního prostředí. Tato metoda je doporučena pro články NiMH, zajišťuje dlouhou životnost. Zaznamená také dříve počátek přebíjení dříve jak metoda záporného přírůstku napětí. Je pro ni doporučen

nabíjecí proud o velikosti 1C při zvýšení teploty 1°C za minutu a vrcholové nabíjení proudem C/10 po dobu 1/2 hodiny.



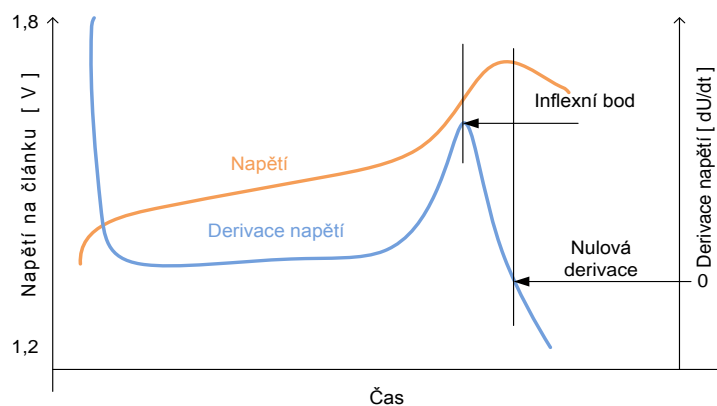
Obr. 3: Životnost a kapacita baterie pro různé ukončovací techniky

Inflexní bod

Velmi spolehlivá metoda pro rychlé a bezpečné nabíjení, která je založena na sledování druhé derivace napětí článku podle času definované jako

$$\frac{d^2 U_{baterie}}{dt} = 0. \quad (2.1)$$

Jakmile se tato rovná nule, nastává časově omezené vrcholové (Top-up) nabíjení, kdy je článek nabíjen přerušovaným nabíjením (1/4 času nabíjení, 3/4 pauza). Střední hodnota nabíjecího proudu je tak snížena na 1/4. To je velmi výhodné, protože kyslík vznikající ke konci nabíjení na kladné elektrodě má dostatek času, aby zrekombinoval na záporné elektrodě, tím se omezí nárůst vnitřního tlaku a teploty v závěrečné fázi nabíjení.



Obr. 4: Průběh napětí a jeho derivace během nabíjení

Výše uvedené techniky spolu lze kombinovat, kdy jedna doplňuje druhou. Při výběru ukončovací techniky se bere také v úvahu velikost nabíjecího proudu (viz Tab. 1).

nabíjecí proud	ukončovací technika
1C - C/2	založená na napětí nebo na teplotě
C/2 - C/3	založená na napětí nebo na teplotě
C/3 - C/10	založená na napětí s časovým omezením
C10 a méně	časové omezení

Tab. 1 Závislost ukončovací techniky na nabíjecím proudu

Na základě uvedených technik a k nim přiřazených nabíjecích proudů se dá celý nabíjecí proces rozdělit na několik vhodných nabíjecích metod označených dobou nabíjení.

Rychlé nabíjení (doba nabíjení je cca 1 hodina)

Metoda pro nabíjení vhodná jak pro NiCd tak i pro NiMH články využívající konstantní proud o velikosti cca $1 - C/2$. Díky velikosti proudu je zde velmi žádoucí včas přerušit nabíjení, protože nadměrná teplota a tlak vznikající při přebíjení tak velkým proudem by snadno mohly poškodit článek. Pro ukončení nabíjení je možno využít ukončovací techniky založené na napěťovém poklesu, zvýšení teploty nebo rychlosti přírůstku teploty. Poslední uvedená je nejvhodnější.

Zrychlené nabíjení (doba nabíjení je cca 4 hodiny)

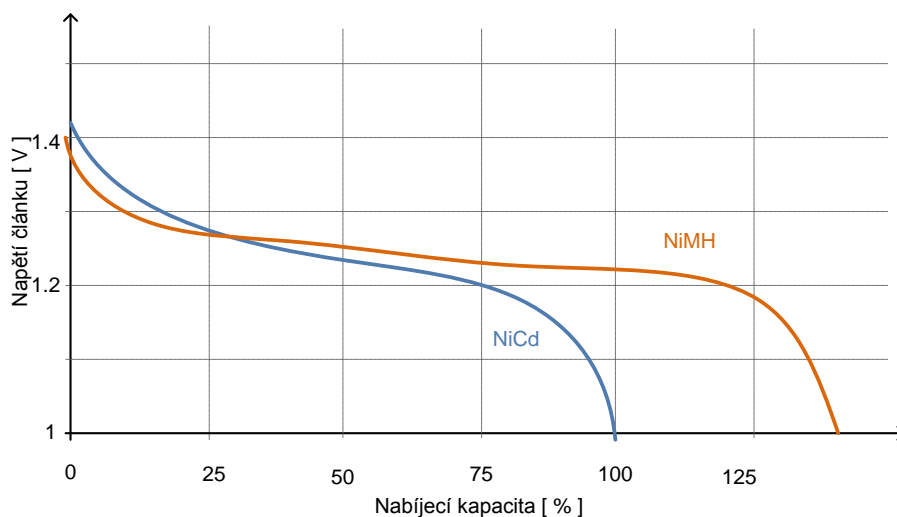
Baterie je nabíjena proudem o velikosti C/3 a nabíjení je doporučeno ukončit technikou záporného přírůstku napětí s ochranným časovačem nastaveným na 120% nabíjecí kapacity.

Pomalé nabíjení (doba nabíjení je cca 12 hodin)

Nabíjení konstantním proudem o velikosti C/10 s časovým omezením se využívá pro plné nabíjení článků NiCd a NiMH. Nabíjení by mělo být přerušeno po 120% nabíjecí kapacity (přibližně 12 hodin pro plně vybitou baterii).

2. 1. 3. Vybíjení

Vybíjecí charakteristiky obou typů článků (Obr. 5) jsou si velmi podobné. Není-li z akumulátorů odebírán žádný proud, pohybuje se jejich napětí v rozsahu 1,25 až 1,35 V/článek. Při odebírání proudu z článků (při vybíjení) je typické napětí 1,2 V/článek a konečné napětí 1,0 V/článek.



Obr. 5: Vybíjecí charakteristiky NiCd a NiMH (podmínky: nabíjení proudem C/5 po dobu 5 hod. při teplotě 21°C)

Předchozí obrázek znázorňuje typické vybíjecí charakteristiky NiCd a NiMH článků stejných rozměrů, kde je vybíjecí křivka plochá u obou typů téměř po celou dobu vybíjení.

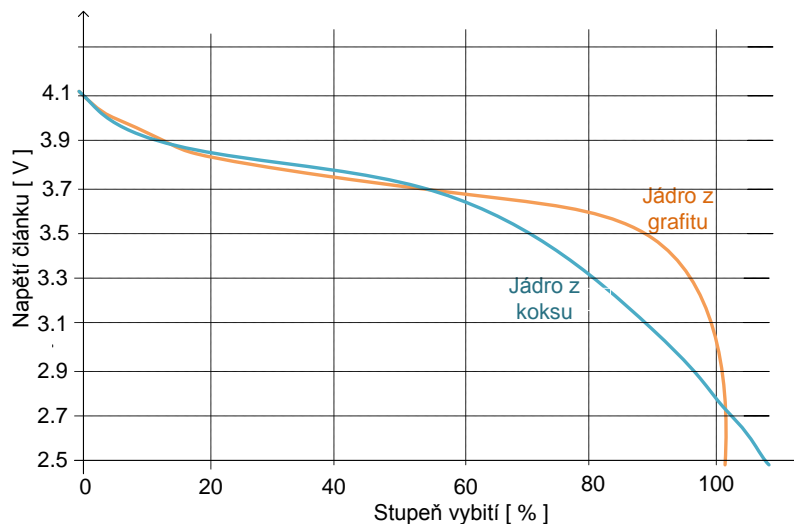
2. 2. Lithium-ionové (Li-ion) akumulátory

2. 2. 1. Obecná charakteristika

Akumulátory Li-ion jsou velmi kvalitním zdrojem napájecího napětí, disponují malým samovybíjením, relativně malými rozměry a nízkou hmotností. Z hlediska uživatele nevyžadují téměř žádnou údržbu. Nejčastěji se s nimi lze setkat ve formě válcových článků a tzv. akupacků (např.: pro mobilní telefony, notebooky, atp.). Válcové články obsahují většinou dva typy pojistek. První pracuje na principu membrány a reaguje na zvýšený atmosférický tlak uvnitř článku, který vzniká při přebíjení, právě tehdy membrána mechanicky přerušuje elektrický obvod a nabíjení přerušuje. Druhá pojistka ve formě kroužku ze speciální hmoty, plní funkci proudové pojistky. Ten se při průchodu proudu zahřívá a od určité hodnoty prudce zvýší svůj odpor, čímž omezí proud.

Akupacky jsou navíc vybaveny elektronickým ochranným obvodem, který hlídá maximální a minimální napětí článku, maximální nabíjecí a vybíjecí proud, teplotu článků a chrání je tak před částečným nebo úplným zničením. Ochranný obvod odebírá z akumulátoru trvale proud řádu jednotek až desítek mikroampér. Běžně se lze setkat se dvěma typy akupacků, lišící se provedením záporné uhlíkové elektrody (u článků anody). V prvním případě je uhlík elektrody ve formě „koku“ (z anglického „coke“),

užívající mikrokrystalickou formu uhlíku, dříve označovanou jako „amorfní uhlík“. Liší se od druhé grafitové formy neorientovanými krystaly a také tvarem vybíjecí křivky (viz Obr. 6), maximálním nabíjecím napětím a napětím, při kterém je třeba ukončit vybíjení (uvádí následující Tab. 2).



Obr. 6: Typická vybíjecí křivka Li-ion akumulátorů s různým jádrem

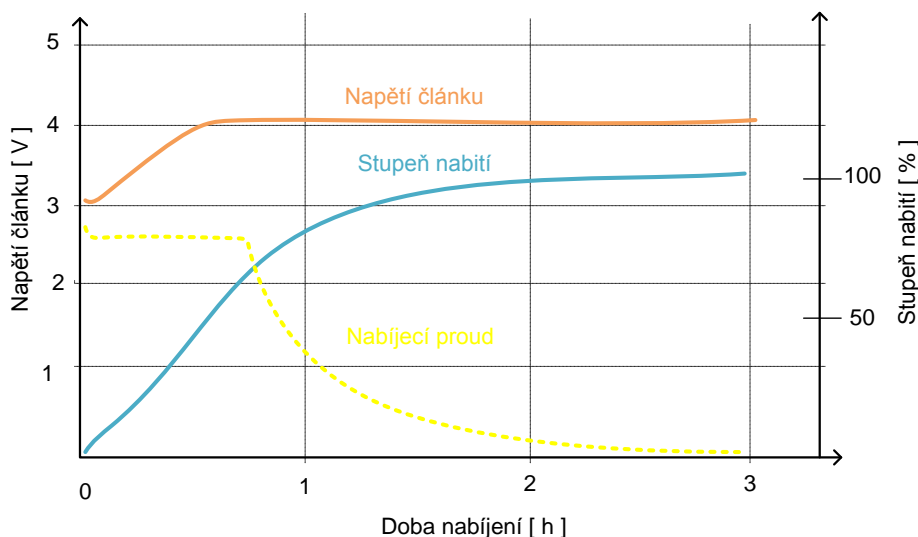
typ ulíkové elektrody	max. nabíjecí napětí [V]	konečné vybíjecí napětí [V]
koks	4,2	2,5
grafit	4,1	3

Tab. 2 Základní napěťové údaje vztažené k typu uhlíkové elektrody

Lze se také setkat s lithium-polymerovými (Li-Pol) akumulátory, které umožňují dosáhnout větší energetické hustoty v článku. Tyto však umožňují jen malý počet nabíjecích cyklů, proto rychle degradují a lze se s nimi setkat jen zřídka.

2. 2. 2. Nabíjení

Akumulátory Li-ion se nabíjejí standardně zdrojem stejnosměrného napětí s omezením nabíjecího proudu. Při nabíjení je nutno dodržet hodnotu konečného nabíjecího napětí. Již malé překročení tohoto napětí podstatně zkrátí dobu životnosti tohoto akumulátoru. Konečné nabíjecí napětí je dle typu provedení uhlíkové elektrody 4,1 V nebo 4,2 V, které je potřeba dodržet s přesností $\pm 1\%$. Požadavky na nabíjecí proud nejsou tak striktní, zde je hlavně potřeba nepřekročit maximální hodnotu nabíjecího proudu, kterou výrobci těchto baterií stanovují jako násobky 0,1 až 2 C.



Obr. 7: Průběh napětí a proudu při nabíjení akumulátoru Li-ion proudem $1C^1$

Obr. 7 znázorňuje grafickou závislost nabíjecího proudu, napětí článku a stupně nabití na době nabíjení (platí pro nabíjení proudem $1C$). Proces nabíjení je možno rozdělit do dvou stěžejních částí, v té první je článek nabíjen konstantním proudem, dokud napětí na článku nedosáhne konečného nabíjecího napětí. Ve druhé fázi nabíjení nabíjecí proud exponenciálně klesá s časem. Proud klesá až téměř na nulovou hodnotu, což je velká výhoda Li-ion akumulátorů, kdy nehrozí přebíjení článku. Není tedy potřeba žádných ukončovacích metod, jako tomu je u niklo-kadmiových a niklo-železitých akumulátorů. Článek je považován za nabitý, klesne-li nabíjecí proud na hodnotu blízkou se $0,05 C$.

Typ akumulátoru	NiCd	NiMH	Li-ion
Jmenovit napětí [V]	1,2	1,2	3,7
Hustota energie [Wh/kg]	39	57	90
Samovybitení [%/den]	1	1,5	0,5
Počet nabíjecích cyklů	1000	500	400
Rychlonabíjení [min]	15	30	60

Tab. 3 Souhrnné parametry všech tří výše zmiňovaných typů akumulátorů

¹ Nabíjecí proud nemá oceňovanou osu z důvodu jeho závislosti na konkrétním akumulátoru

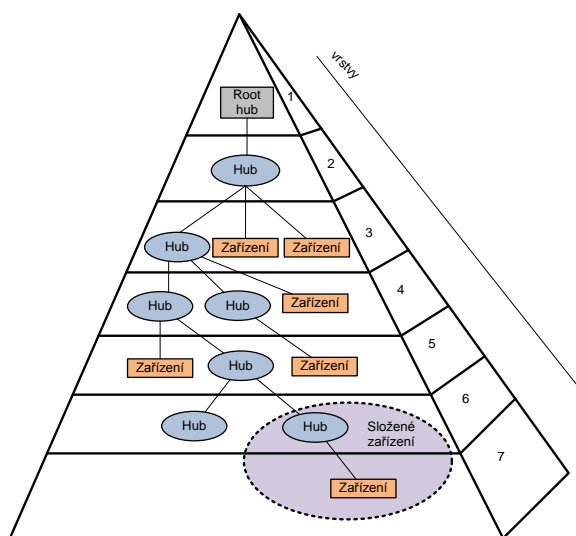
3. Univerzální sériová sběrnice USB

Tato kapitola je věnována podrobnějšímu specifikaci USB sběrnice, komunikačního protokolu a realizace implementace USB řadiče do externího zařízení.

Sběrnice USB se stala už pomyslným standardem pro komunikační spojení osobního počítače s externím zařízením (HID zařízení, paměťové média, tiskárny, měřicí přístroje, atp.). Na rozdíl od staršího sériového rozhraní (RS-232) disponuje USB mnohem většími komunikačními prostředky, což je na druhou stranu vyváženo její složitou strukturou. K dispozici jsou čtyři specifikace USB 1.0, 1.1, 2.0 a nejnovější USB 3.0. Následující text se zabývá v této práci použitou specifikací USB 1.1. a čerpá z literatury [8][16][21][23].

3. 1. Charakteristika USB

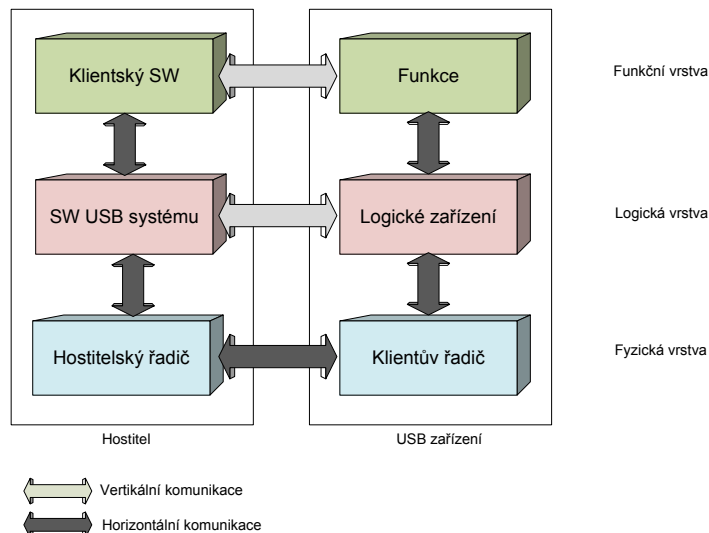
USB sběrnice je řízená a komunikace probíhá mezi dvěma zařízeními typu MASTER a SLAVE. V celém komunikačním řetězci je jen jedno zařízení typu MASTER, v USB specifikacích nazváno jako hostitel. Zařízení typu SLAVE, periferní zařízení, může být několik, komunikace však vždy inicializuje hostitel. USB využívá vrstvenou hvězdicovou topologii, kde je v centru každé hvězdice USB hub, k němuž může být připojeno periferní zařízení či další hub. Vrstev může být maximálně sedm a někdy se celá topologie znázorňuje ve formě pyramidy viz následující obrázek.



Obr. 8: Pyramidová topologie USB

Vzhledem ke zpoždění signálu v kabelech a hubech dovoluje specifikace maximálně pět hubů mezi hostitelem a zařízením. Takto může být k jednomu hostiteli připojeno až 127 zařízení.

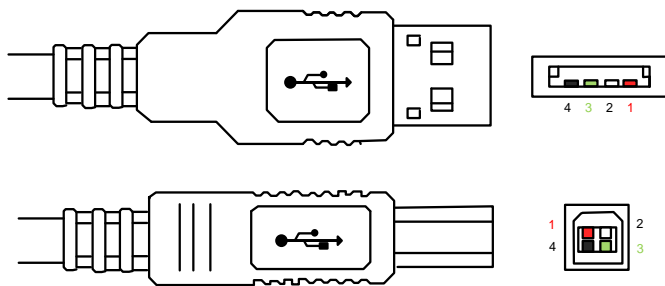
Celá komunikační struktura USB sběrnice může být rozdělena do tří základních vrstev, jak ukazuje Obr. 9. V systému existují dva typy komunikací - vertikální a horizontální. Komunikující strany vnímají komunikaci horizontálně, jelikož komunikují vzájemně mezi sebou a na stejné úrovni. Skutečná komunikace však probíhá vertikálně formou požadavků od nejvyšší úrovně směrem k nejnižší a naopak.



Obr. 9: Vrstvový komunikační model USB sběrnice

3. 1. 1. Fyzická vrstva – mechanické a elektrické vlastnosti

K propojení dvou USB zařízení slouží standardizované konektory dvou typů A a B. Konektor typu A je použit vždy pro upstream, tedy u hostinského zařízení. Pro koncové zařízení slouží čtvercový konektor typu B popřípadě mini-B. Rozdílným tvarem konektoru je vyloučeno spojení dvou hostitelů. Zařízení malých rozměrů (řádu jednotek centimetrů), většinou bez přívodního kabelu, jsou opatřeny konektory typu A (obvykle zařízení k uchování dat). Konektory jsou propojeny čtyřmi vodiči doplněnými o stínění.



Obr. 10: Konektory USB s označenými piny

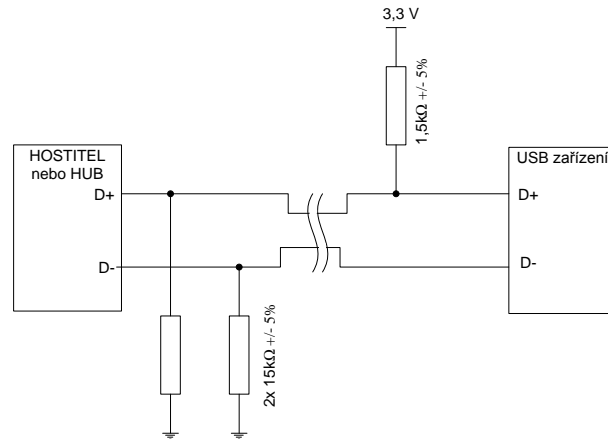
pin	význam	barva kabelu
1	Ucc (+5V)	červená
2	DATA-	bílá
3	DATA+	zelená
4	GND	černá

Tab. 4 Značení a význam vodičů USB konektorů

Dva páry jsou využity pro napájení zařízení, které poskytuje hostitel USB sběrnice. Napětí je stejnosměrné nesymetrické v rozmezí 4,75 – 5,25V. Připojené zařízení může ze sběrnice odebírat proud až 100 mA (jedna jednotka) a v případě potřeby maximálně 500 mA (pět jednotek) na jednom portu. Hodnotu proudového odběru sděluje USB zařízení hostiteli pomocí deskriptorů.

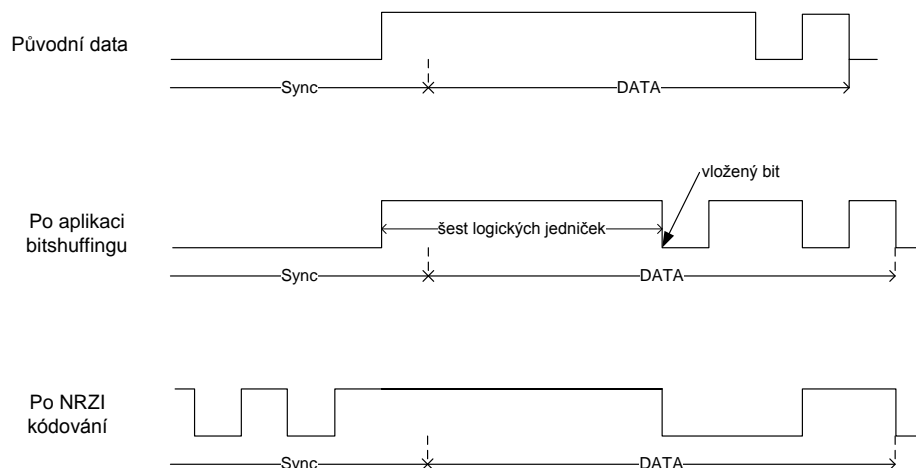
Druhý pár kabelů, sloužící pro obousměrný přenos dat, je kroucený a má impedanci 90 Ω. Data ve formě elektrického proudu jsou přenášena vedením diferencially, což z větší části eliminuje okolní rušení. Datové vodiče jsou označeny jako D+ a D-, přiřazení jednotlivým pinům konektorů a barvám kabelů viz předchozí tabulka. K vyjádření logické jedničky musí být na straně vysílače na vodiči D+ napětí větší jak 2,8 V a na D- menší jak 0,3V. U nízké logické úrovně, tedy logické nuly, je to právě

naopak, kde na D- je vyjádřena jako napětí větší než 2,8V a na D+ je menší jak 0,3V. Přijímač poté rozpoznává logické úrovně tak, že při logické jedničce je na D+ napětí alespoň o 200mV větší jako na D-. Při logické nule je napětí na D+ alespoň o 200mV menší jak na D-.



Obr. 11: Umístění pull-up rezistoru pro komunikaci rychlosti 12 MBit/s

Pro identifikaci použité rychlosti komunikace periferního zařízení slouží pull-up rezistor hodnoty 1,5k Ω na datových vodičích, které jsou svedeny ke kladné svorce napájecího napětí. Následující obrázek demonstruje začlenění pull-up rezistoru, za účelem identifikace rychlosti komunikace sběrnice specifikace USB 1.1. Pro USB 2.0 je tento rezistor připojen na D+ prostřednictvím programově ovladatelného spínače.



Obr. 12: Začlenění bit-shuffingu a NRZI kódování do původního signálu

Posloupnosti dat, reprezentovaných logickými úrovněmi musí projít přes bit shuffling (vždy po šesti logických jedničkách vloží jednu nulu), který zabezpečí signál proti výpadku synchronizace přijímače a vysílače. Signál je pak kanálově kódován metodou NRZI (Non Return to Zero Inverted), která nízkou logickou úroveň kóduje jako změnu úrovně nosného signálu a vysokou úroveň jako setrvání v úrovni nosného signálu.

3. 1. 2. Logická vrstva

Na logické vrstvě spolu hostitel a periferní zařízení komunikují přímo, takže huby jsou z tohoto pohledu transparentní. Přesněji řečeno z pohledu horizontální komunikace blok SW USB systému na straně hostitele komunikuje přes defaultní rouru s koncovým bodem nula, nacházející se v bloku Logického zařízení na straně USB zařízení. Z pohledu vertikální komunikace, kdy klientský software požaduje přenos dat po USB sběrnici mezi svým bufferem a endpointem, hostitelský řadič (nebo řadič na straně USB zařízení) tato data převede do podoby paketů, které jsou pak přenášena po sběrnici.

Koncový bod (endpoint) je jednoznačně identifikovatelná část USB zařízení, která stojí na jednom konci komunikačního toku mezi hostitelem a zařízením. Každé logické zařízení se skládá z několika nezávislých koncových bodů. Endpointy mají zároveň návrhem pevně daný směr komunikace (příjem / vysílání dat). Kombinace identifikátoru zařízení, čísla endpointu a směru komunikace dává dohromady jednoznačné určení endpointu v rámci USB sběrnice. Koncový bod má jisté charakteristiky, které určují typ přenosů mezi ním a klientským SW. Koncový bod nula (endpoint zero) musí být implementován v každém USB zařízení a slouží k prvotní konfiguraci zařízení. USB systém používá endpoint 0 k inicializaci a k některým generickým úkonům, jako je například konfigurace logického zařízení. Ostatní koncové body (Non-endpoint Zero) mohou být implementovány USB zařízením podle potřeby. Low speed zařízení jsou limitována počtem dvou dalších endpointů (kromě dvou s číslem 0). Full speed zařízení mohou mít dalších endpointů tolik, kolik umožňuje definice protokolu (tedy 15 vstupních a 15 výstupních).

Roura (USB pipe) je spojení mezi endpointem na straně zařízení a softwarem na straně hostitele. Roury reprezentují schopnost přenosu dat mezi bufferem v programu hostitele a endpointem v zařízení. Jsou dva navzájem se vylučující komunikační módy rour:

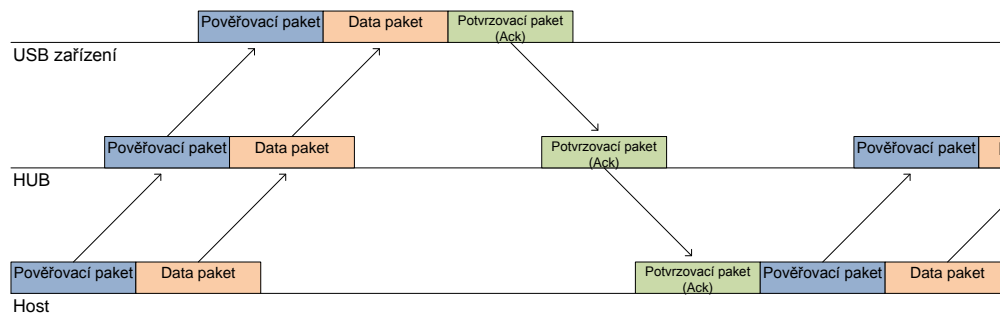
- Proud (stream): Data, přenášená rourou, nemají specifikovanou strukturu, mohou to být libovolná data a jejich formát závisí na návrhu daného zařízení.
- Zpráva (message): Data přenášená v tomto módu mají strukturu určenou specifikací USB.

USB nijak neinterpretuje data přenášená rourami. Ačkoli přenos zpráv vyžaduje, aby data byla strukturována podle USB specifikace, není jejich obsah USB sběrnici nijak interpretován. Roura, nazývaná Defaultní řídicí roura (default control pipe), je vytvořena v okamžiku připojení zařízení do systému a je pevně spojena s endpointy 0. Případné další roury jsou vytvořeny v okamžiku nakonfigurování USB zařízení. Klientský software požaduje přenos dat tím, že pošle rouře IRP (I/O Request Packet, paket s požadavkem na vstup/výstup dat). Detaily IRP definuje konkrétní operační systém podle svých zvyklostí. Data, která na jedné straně vsupují do roury, na druhé straně beze změny vystupují ve stejném pořadí. Proudové roury jsou vždy jednosměrné a data jsou v nich přenášena v sekvenčním pořadí. Proudová roura je připojena k endpointu, určenému svým číslem a směrem přenosu. Endpoint se stejným číslem, ale v opačném směru, může být použit pro další rouru. Proudové roury slouží k hromadným, izochronním a přerušovacím přenosům. Roury zpráv (message pipes) pracují s endpointem jiným způsobem než proudové roury. Nejprve hostitel zašle zařízení

požadavek. Následuje přenos dat v požadovaném směru a posléze je přenesena informace o stavu. Roury zpráv dodržují určitou strukturu dat, která umožňuje identifikaci příkazů a požadavků, čímž je zajištěno dodržení paradigmatu požadavek/data/stav. Tyto roury zároveň umožňují obousměrnou komunikaci, ačkoli komunikaci vždy zahajuje hostitel.

Komunikace

USB zavádí časový úsek jedné milisekundy, nazývaný rámeček (frame), pro low/full speed zařízení a úsek 125 μ s, nazývaný mikrorámeček (microframe), pro high speed zařízení. Rámeček (mikrorámeček) může obsahovat několik transakcí. Každý typ přenosu definuje, jaké transakce jsou povoleny v jednom rámečku (mikrorámečku) pro koncový bod. Izochronní a přerušovací koncové body mohou přistupovat ke sběrnici každých N rámečků (mikrorámečků).



Obr. 13: Ukázka USB transakce

Každá transakce na USB sběrnici se skládá z kombinace paketů. Data jsou přenášena v paketech za účelem:

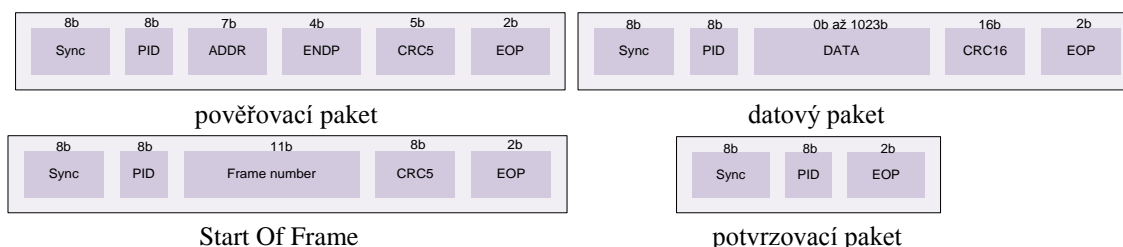
- přenést užitečná data,
- provést enumeraci připojeného zařízení,
- řídit stavy zařízení,
- korigovat chyby při přenosu.

USB specifikuje šestnáct typů paketů rozdělený do čtyř skupin. Typ paketu je identifikovatelný pomocí hodnoty PID. Identifikátorů je šestnáct, jejich hodnoty a typ paketu ukazuje následující tabulka.

skupina	typ	hodnota PID	význam paketu
pověřovací	OUT	0xE1	host chce odeslat data
	IN	0x69	host chce přijímat data
	SOF	0xA5	začátek 1ms rámce
	SETUP	0x2D	signalizuje start řídicího přenosu
datové	DATA0	0xC3	datový paket
	DATA1	0x4B	datový paket
	DATA2	0x87	datový paket (u USB 2.0)
	MDATA	0x0F	datový paket (u USB 2.0)
potvrzovací	ACK	0xD2	kladné potvrzení příjmu dat
	NAK	0x5A	záporné potvrzení příjmu dat
	STALL	0x1E	přenos není kompletní
	NYET	0x95	žádná odezva
speciální	PRE	0x3C	přepínání sběrnice FULL/LOW-speed
	ARR	0x3C	
	SPLIT	0x78	
	PING	0xB4	

Tab. 5 Typy a skupiny paketů USB sběrnice

Pověřovací pakety slouží k řízení směru komunikace. Potvrzovací pakety informují o úspěšnosti přenosu. Datové pakety už obsahují samostatná uživatelská data. Struktura paketů je znázorněna na obrázku níže.



Obr. 14: Formáty paketů

Každý paket se skládá z úvodní synchronizace (Sync), identifikace paketu (PID), zabezpečení CRC kódem a konce paketu (EOP). Další obsah je závislý na typu paketů. Synchronizace (Sync) je tvořena sedmi nulami a jedničkou. Nachází se na začátku

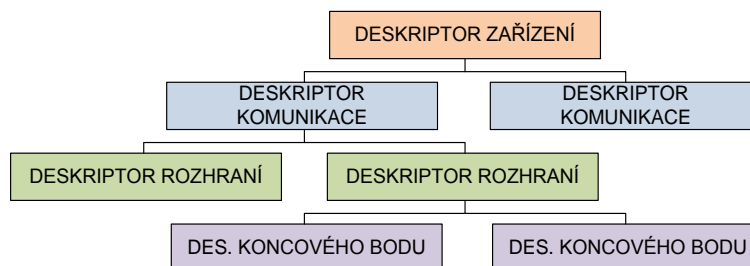
každého paketu a je zde z důvodu synchronizace taktovacího generátoru příjemce paketu. Datové pakety jsou zabezpečeny proti chybám 16 bitovým a ostatní pakety pěti bitovým cyklickým redundantním kódem (CRC).

Na USB sběrnici mohou probíhat čtyři různé druhy přenosu, lišící se druhem operace:

- **Řídící přenosy** jsou používány ke konfiguraci zařízení při jeho připojení a umožňují přístup k různým částem zařízení. Přenášejí konfigurační, řídicí nebo stavové data mezi klientským software a připojeným zařízením. Tento přenos se skládá z transakce SETUP obsahující příznak SETUP, který říká, že bude následovat paket SETUP z adresy zařízení a čísla endpointu se kterým chce komunikovat. Dále následuje jeden či více datových transakcí, bude se tedy přenášet DATA paket a nakonec se provede transakce STATUS, která vrací informaci o úspěchu prováděné operace.
- **Hromadné přenosy** slouží k přenosu velkého množství dat a jsou na ně kladeny nejmenší omezení. K přenosu může být využito veškeré přenosové pásmo. Hromadný přenos nemůže garantovat ani šířku přenosového pásma (tedy rychlost přenosu dat) ani zpoždění při přenosu. Využívají neobsazeného prostoru rámců, záleží tedy hodně na ostatním provozu sběrnice.
- **Přerušovací přenosy** jsou určeny pro včasné a spolehlivé doručení dat. Nejčastěji pro asynchronní události s velkou důležitostí, jako je například stisk tlačítka myši.
- **Izochronní přenosy** neboli proudové přenosy v reálném čase. Zabírají předem dohodnuté přenosové pásmo s předem dohodnutým zpožděním. Typický příklad izochronních dat je digitálně zpracovaný hlas. Pokud není zajištěn stejnoměrný tok dat, objeví se ve výsledném zvuku výpadky, způsobené podtečením či přetečením bufferů. Za přesně časované doručování izochronních dat se na druhou stranu platí rizikem možných ztrát při přenosu.

Deskriptory/identifikace zařízení

Každé USB zařízení má přidělenou jednoznačnou identifikaci a musí také hostiteli poskytnout další potřebné údaje jako jsou například nároky na napájecí proud. Všechny potřebné údaje jsou uspořádány do hierarchické struktury, kterou vystihuje následující obrázek.



Obr. 15: Hierarchie deskriptorů

Stručný popis jednotlivých hladin:

- **Deskriptor zařízení** – pouze jediný, obsahuje informaci o podporované rychlosti, dvojici VID/PID a počet konfigurací zařízení
- **Deskriptor konfigurace** – každé zařízení může mít více konfigurací, ale aktivní může být jen jedna z nich. Tyto deskriptory obsahují např. proudový odběr, počet rozhraní, apod.
- **Deskriptor rozhraní** – každá konfigurace může mít současně zapnutých více rozhraní. Např. multifunkční zařízení reprezentující fax, tiskárnu a scanner.
- **Deskriptor koncového bodu** – identifikace koncového bodu.

3. 2. Existující emulace externích USB řadičů

Existující emulace USB řadičů je možno rozdělit na skupinu hardwarovou a softwarovou. Ta první je nejčastěji realizována jediným integrovaným obvodem (obvody FTDI) nebo jen jeho částí (periferie mikrokontroleru). Druhá skupina implementuje řídicí program do jednočipového mikrokontroleru (obvody ATMEL AVR, PIC, Texas Instruments).

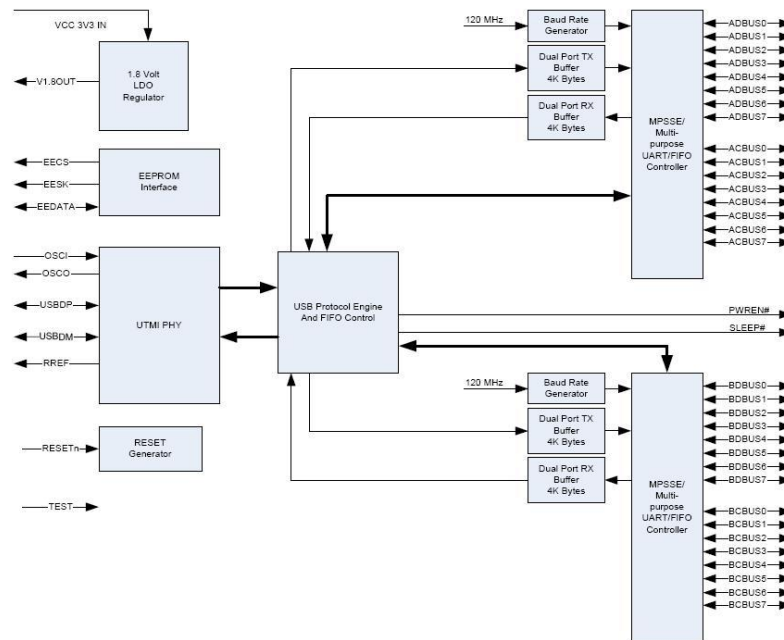
3. 2. 1 FTDI obvody

Společnost Future Technology Devices International již několik let nabízí řadiče realizující převod protokolu USB na ostatní datové sběrnice (UART, parallel, I2C, SPI, JTAG). Tyto jsou schopny pracovat s pomalejším rozhraní USB 1.0 a také s vysokorychlostním rozhraním USB 2.0 s přenosovou rychlostí až 480 Mbps. Po připojení USB sběrnice a externího oscilátoru nepotřebují pro svoji činnost již žádné další externí obvody (v ideálních případech). Je možno je doplnit programovatelnou EEPROM pamětí, do které je možno doplnit deskriptory, pro upřesnění připojeného USB zařízení. Výrobce dodává ovladače, které umožňují zařízením identifikovat buď jako virtuální COM port nebo jako obecné zařízení USB, ke kterému se přistupuje pomocí dynamických knihoven dodávaných s ovladači. Jako konkrétní příklad lze v současné době uvést jeden z nejnovějších zástupců této rodiny USB řadičů FT2232H, jehož cena se pohybuje okolo 160 Kč.

Základní vlastnosti FT2232H:

- USB převodník s mnoha konfiguracemi sériových i paralelních portů na jediném čipu
- Nevyžaduje programování žádného specifického USB firmware
- Kompatibilní s USB 2.0
- High Speed 480 Mbps
- Full Speed 12 Mbps
- Multi-Protocol Synchronous Serial Engine (MPSSE)
- Podpora převodu mezi USB a JTAG, I2C, SPI nebo bit – bang
- UART nebo FIFO porty konfigurovatelné pomocí MPSSE
- Nezávislé Baud Rate generátory

- RS232/RS422/RS485 UART až 12 Mbaud
- USB – paralelní FIFO až 8 MB/s
- Synchronní FIFO linka pro rychlosti větší než 25 MB/s



Obr. 16: Blokový diagram obvodu FT2232H

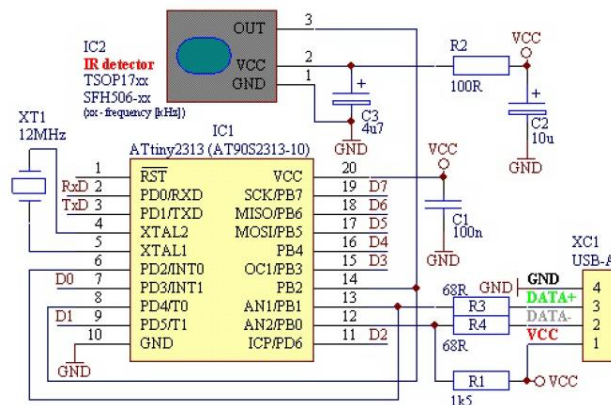
Z výše uvedeného vyplývá, že obvody FTDI jsou přístupné jak svým širokým rozsahem použití, tak i cenou. Lze je použít k laboratorním účelům, k jednoduše a levně zkonstruovaným převodníkům z USB sběrnice na ostatní sběrnice. Díky svým požadavkům na napětí, proudový odběr a v neposlední řadě také svou cenou nejsou vhodné pro hromadnou výrobu produktů, čímž by se hodně prodražila. [11]

3. 2. 2. USB řadič jako periférie mikrokontroléru

Integrované USB řadiče se stávají standardně vstupně/výstupními perifériemi mikrokontroléru, čímž částečně vytlačují použití výše uvedeného převodníku a jím podobným. Tyto se objeví u předních výrobců mikrokontrolérů jako je ATMEL, Microchip, Texas Instrument. Jako v předchozím případě výrobci poskytují ke stažení jednak firmware pro mikrokontrolér obvykle v jazyce C a také ovladače pro systém Microsoft Windows. Licence ve většině případů dovolují použít tento software i v komerčních produktech. Pro částečné přiblížení parametrů a funkcí poslouží mikrokontroler ATmega8U2, který je rozšířen oproti ATmega168 (použit jako řídicí jednotka a softwarově emulovaný řadič v této práci) o hardwarovou periférii USB řadiče. ATmega8U2 mimo jiné disponuje podporou USB 2.0 full speed komunikace, propustností 12Mbit/s, 176 bytovou DRAM pro alokaci paměti koncových bodů, čtyřmi nastavitelnými endpointy, odpojením od USB sběrnice na žádost mikrokontroléru, resetem mikrokontroléru bez nutnosti odpojení od sběrnice. [2]

3. 2. 3. IgorPlug-USB (AVR)

Slovenský inženýr Igor Češko, který je autorem mnoha projektů využívající PC a jeho periférie, napsal vlastní projekt realizující USB řadič pro mikrokontrolér ATMEL Tiny2313 přetaktovaný z 10 MHz na 12 MHz (USB komunikace probíhá na nízké rychlosti 1,5 Mbit/s), zahrnující firmware pro mikrokontrolér, ovladač, DLL knihovnu a demonstrační program pro operační systém Windows. Projekt řešil ovládání PC dálkovým ovládačem s infračerveným paprskem.



Obr. 17: Schéma zapojení součástek přípravku pro dálkové ovládání PC

Mikrokontrolér, časovaný 12MHz krystalovým oscilátorem, využívá 8 hodinových taktů pro přijetí jednoho bitu USB low-speed signálu. Při přijímání datového toku řeší první úplné přijetí paketu a poté se až provede odstranění NRZI, bit-shuffingu a rozbor parsování. Naopak při odesílání dat se provede NRZI a bit-shuffing v reálném čase.

Je zpřístupněn firmware pro mikrokontrolér, psaný v assembleru a autorem značně komentovaný, DLL knihovna s funkcemi a jejich popisem pro programovací prostředí Delphi, Visual basic a C++ Builder. Všechny potřebné soubory a dokumentace jsou uvedeny na internetových stránkách autora [8].

3. 2. 4 V-USB

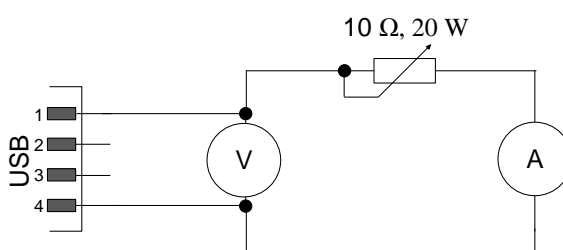
Projekt rakouské firmy Objective Development (dříve nazván USB-AVR), zabývající se programovou emulací USB řadiče do mikrokontrolérů Atmel AVR, je distribuován jak pod licenci GNU a i alternativně pro komerční využití. Firmware běží na libovolném mikrokontroléru AVR, disponující alespoň 2 kB paměti Flash, 128 bytů paměti RAM a taktovací frekvence alespoň 12 MHz. Velkou předností je software pro AVR psaný v jazyku C, který je velmi značně komentován a tím pádem srozumitelný a snadněji upravitelný. Jen zabezpečení NRZI, bit-shuffingu a CRC je v assembleru z důvodu přesného časování.

Ukázky použití USB řadiče jsou k dispozici pro operační systémy Linux, Mac OS X a MS Windows na webu firmy. Velkou výhodou je, že se také dá použít i jako zařízení ve třídě HID, kdy nejsou potřeba psát nebo upravovat ovladače pro USB operačního systému. [20]

Tento způsob enumerace USB řadiče do vlastního zařízení využívá i nabíječka akumulátorů, proto je charakterizován v kapitole 8, pojednávající o programovém vybavení mikrokontroléru.

4. Měření elektrických parametrů USB sběrnice a diskuze navržených parametrů nabíjecího zařízení

Kapitola se zabývá měřením elektrických parametrů USB sběrnice, konkrétně napětí a proudu, různých typů základních desek (mainboardů). Stanovuje jistý závěr z tohoto měření na základě něhož diskutuje o elektrických parametrech a možnostech použití USB nabíječky akumulátorů



Obr. 18: Schéma pro měření proudu USB sběrnice (A-metr: Proskit MT-1860, V-metr: METEX M-3800)

typ PC/označení výrobce	Výrobce základní desky	Počet USB přípojek	Proud [A]
Stolní PC/bez označení	MSI	4	0,829
Stolní PC/HP dc5800	HP	8	0,92
Laptop/Asus A6Km	Asus	4	0,768

pozn: proud je uváděn při poklesu napětí na sběrnici maximálně na 4V

Tab. 6 Informace o maximálním změřeném proudu USB sběrnice na daném hardware

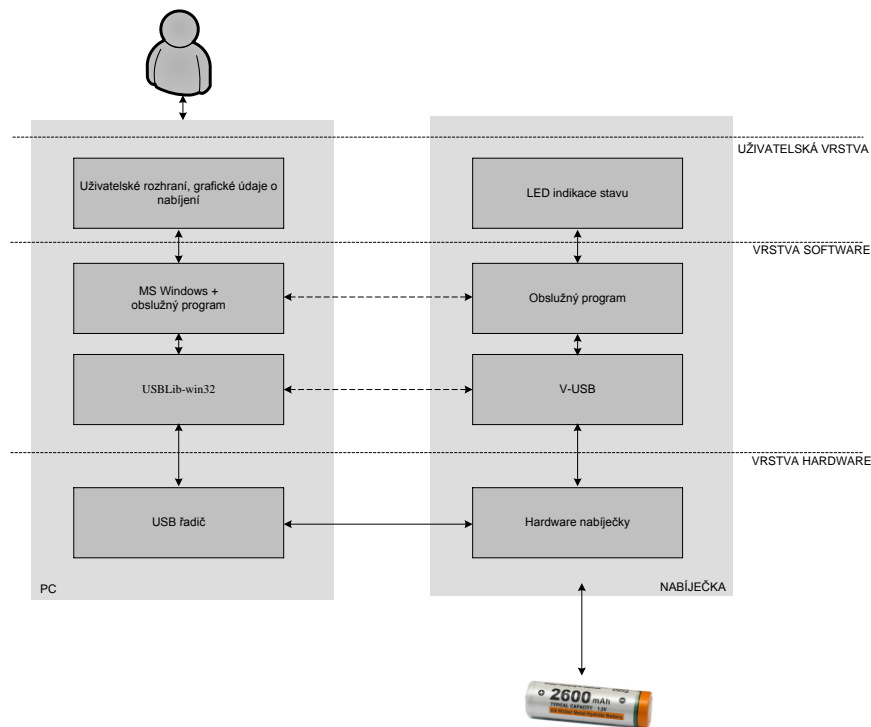
I když údaje proudů v Tab. 6 dávají najevo, že většina základních desek neomezuje proud sběrnice USB, tak jak předepisují USB specifikace, tedy dle toho jak si žádá USB zařízení při připojování k hostiteli. Nelze se při návrhu zařízení napájeného z USB spoléhat na to, že některé USB porty hostitele dodávají větší proud než specifikací daných 500mA. Zde je totiž také potřeba brát zřetel i na prostředky, spojující fyzické vrstvy USB zařízení, jako jsou konektory, kabely a cesty tištěných spojů, které vedou napájecí proud ze zdroje k zařízení. Ty jsou dimenzované na jistý maximální proud a může hrozit nevratné poškození. Při měření elektrických parametrů USB sběrnice bylo také zjištěno, že některé USB kabely neumožňovaly přenášet elektrický proud větší jak 300mA. Napětí na USB sběrnici je zřejmě napojeno přímo na pěti voltovou větev zdroje napětí v PC chráněno pouze proudovými pojistkami typu polyswitch. Tohoto využívají výrobci zařízení, napájených z USB s větším odběrem proudu, jako jsou např. přenosné externí paměťové disky.

Z výše uvedených skutečností plyne, že se bude z hlediska elektrických parametrů níže navržená nabíječka akumulátorů přesně držet specifikace USB 1.1. Její maximálně odebíraný proud bude činit 500mA, proto aby se zabránilo případným komplikacím či dokonce nevratným poškozením hardware uživatele tohoto zařízení.

Proto bude-li nabíječka nabíjet současně dva akumulátory typu Ni-Cd nebo Ni-MH, bude každý z nich nabíjen maximálně 200 mA. Bude-li nabíjet jeden akumulátor typu Li-ion bude nabíječka dodávat do akumulátoru proud maximálně 400 mA. Jelikož ostatní součástky, hlavně mikrokontrolér při zapnutém časovači/čítači pro generování PWM (popisovaném v kap. 6) odebírají proud okolo 60mA.

5. Koncepce a struktura nabíjecího systému

Kapitola souhrnně znázorňuje a charakterizuje nabíječku jako celek rozdělen na několik vrstev a jejich vzájemnou komunikaci. Klade si za cíl názorně začlenit jednotlivé prvky celkového projektu, tak aby bylo zřejmé, kde se nachází a jak spolu souvisí. Tyto prvky budou poté blíže charakterizovány v následujících kapitolách.



Obr. 19: Vrstvová struktura nabíjecího systému se zobrazenými vstupy a výstupy pro uživatele

Úplně nejnižší vrstva obsahující elektronické obvody se stává z hardware PC připojeného přes USB k nabíječce, kde nejdůležitějším prvkem je řadič USB zařízení, nejčastěji umístěný a vázaný se základní desku PC. Tento je závislý na výrobci základní desky a podrobně rozebírán nebude. Na stejné úrovni vrstvého modelu, znázorněného na Obr. 19, se nachází všechny vlastní elektronické části nabíječky, které podrobně charakterizuje šestá kapitola.

Nadřazená vrstva zahrnuje veškerý software. Na straně PC je to operační software MS Windows Seven a USBLib-win32, obsahující ovladače a dynamické knihovny pro OS Windows, sloužící uživatelským aplikacím pro přístup k libovolnému USB zařízení bez nutnosti psaní vlastního kódu ovládače. A v neposlední řadě sem patří také obslužná aplikace nabíječky, naprogramovaná v rámci této diplomové práce. USBLib-win32 a vlastní obslužnou aplikaci pro PC detailně charakterizuje sedmá kapitola.

Programové vybavení na straně vlastního elektrického zařízení, umístěného v mikrokontroléru, bude dále nazýváno jako firmware. Firmware je možno logicky strukturovat podobně jako na nejnižší vrstvě, na USB ovládač, realizován pomocí V-USB a vlastní program komunikující přes tento ovladač s PC a periferii použitého

mikrokontroléru. Vývojové diagramy a podrobnou specifikaci vytvořeného vlastního firmware a V-USB uvádí kapitola osmá.

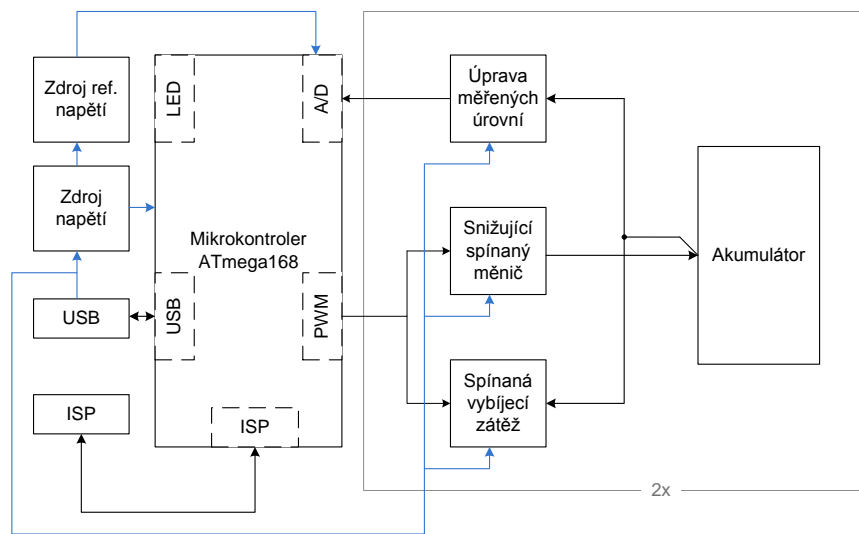
Uživatелеm zadané hodnoty do obslužné aplikace v PC jsou zpracovány tak, že se vypočítají všechny potřebné údaje pro nabíjení, tyto se ještě přepočítají na celá čísla. Tyto údaje jsou poté při počátku procesu vybíjení/nabíjení kompletně předány do mikrokontroléru. Mikrokontrolér si každou z nich postupně ukládá do paměti a počítači potvrzuje jejich správné přijetí a uložení. Poté se už program v počítači jen dotazuje každou sekundu na údaje proudu a napětí na baterii a tyto zobrazuje v grafech.

Firmware v mikrokontroléru hlídá stav nabíjení, vybíjení a reguluje proud na požadovanou úroveň. Při nabíjení alkalických článků hlídá velikost záporného přírůstku za daný čas a v případě jeho překročení považuje akumulátor za nabitý. U Li-ion akumulátorů sleduje napětí, které když dosáhne 4,2 V je považován za nabitý. Stejně tak sleduje úroveň nabíjecího proudu, který pokud poklesne pod 0,05C dříve než dosáhne nabíjecí napětí 4,2 V je akumulátor považován za nabitý. U nabíjení obou typů akumulátorů je zařazen ještě ochranný časovač nastavený na 120% nabití, který v případě přetečení také ukončuje nabíjecí proces.

Vybíjecí proces je ukončen poté, co napětí na akumulátoru dosáhne 1 V v případě alkalických a 2,6 V v případě Li-ion akumulátorů.

6. Elektronická část zařízení

6. 1. Bloková struktura



Obr. 20: Bloková schéma hardwarové části nabíječky baterií (modré cesty značí napájení)

Řídící funkci hardwarové části nabíječky akumulátorů zastává jednočipový mikrokontrolér ATMEGA168. Dále realizuje A/D převod měřených úrovní napětí, upravených v bloku Úprava měřených úrovní. Generuje PWM signál, jehož střída určuje výstupní napětí a proud na snižujícím spínaném měnič a také proud protékající vybijecí zátěží v bloku vybití akumulátoru. Mikrokontrolér komunikuje s PC přes rozhraní USB a pomocí LED diod informuje o stavu právě vykonávaných procesů. Jelikož je nabíječka určena pro nabíjení dvou akumulátorů NiCd nebo NiMH jsou vyznačené bloky zdvojené.

6. 2. Mikrokontrolér ATMEGA 168

6. 2. 1. Obecná charakteristika

Nejdříve bylo v zapojení experimentováno s mikrokontrolérem ATMEGA8, ale jelikož má pouze tři výstupy pro generování PWM signálu, bylo využito jeho obdobné varianty ATMEGA168 s šesti výstupy pro generování signálu. Tento mikrokontrolér disponuje 16kB programovatelné FLASH, 1kB RAM a 512B EEPROM paměti. Mimo jiné obsahuje 10bitový AD převodník s šesti vstupy a již zmíněný čítač/časovač (2x 8bit a 1x 16bit).

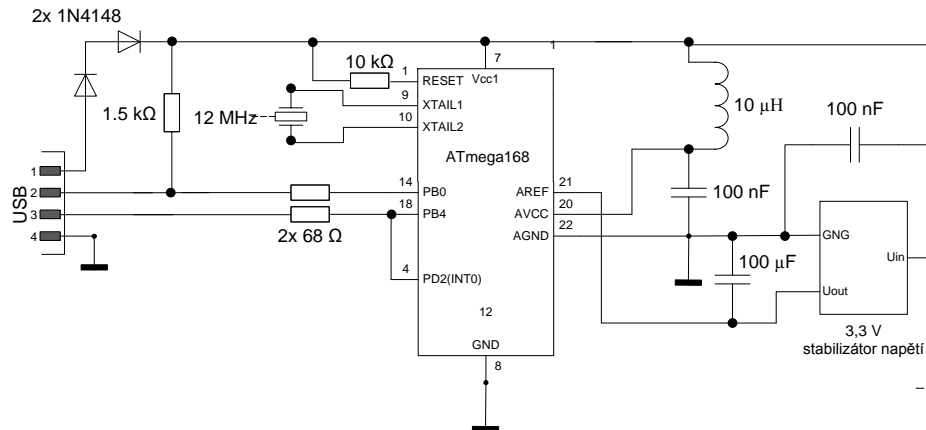
Mikrokontrolér byl programován pomocí zabudovaného ISP rozhraní. Jako programátor bylo použito obvodového zapojení dle aplikační poznámky AVR910 [12], doplněného o převodník USB/UART realizovaného obvodem FT232BM.

6. 2. 2. Funkce a nastavení mikrokontroléru

USB řadič

Jednou z nepostradatelných funkcí implementovaných v mikrokontroléru je softwarově řešený USB řadič zařízení.

Obvodové schéma zapojení součástek uvedené na Obr. 21 vychází z referenčního modelu PowerSwitch pro použití softwarové enumerace USB řadiče V-USB. [20]



Obr. 21: Elektrické schéma zapojení součástek k mikrokontroléru jako USB řadiče (levá strana) a zapojení funkce ADC převodníku (pravá strana)

Mikrokontrolér ATmega168 pracuje na frekvenci 12MHz. Datová rychlost USB komunikace je 1,5 Mbit/s. O této skutečnosti je USB řadič hostitele informován pomocí 1,5kΩ rezistoru, přivádějící kladné napětí na vodič DATA-. Napájení je obstaráno z USB sběrnice a diody 1N4148 jsou levnou náhradou 3,5 V stabilizátoru napájecího napětí, kvůli kompatibilitě se standardem USB. Datové vodiče USB jsou připojeny na vývody PB0 a PB4 mikrokontroléru. Na vývodu PD4 je realizováno externí přerušení, pro identifikaci požadavku PC ke komunikaci přes USB.

Generátor PWM signálů

Ke generování PWM signálů slouží hardwarově realizované časovače obsažené v mikrokontroléru. Celkem jsou využity dva ze tří dostupných časovačů označených podle [3] jako Timer/Counter1 a Timer/Counter2². První časovač pracuje s frekvencí 31,25kHz a slouží pro řízení spínání snižujícího měniče popsaného v následující podkapitole. Ke generování požadované frekvence je potřeba nastavit registry TCCR1A a TCCR1B tak, aby byla dělička frekvence interního hodinového zdroje mikrokontroléru nastavena na 1, výstupy Timer/Counter1 OC1A a OC1B na pinech PB1 a PB2 nebyly invertovány a bylo aktivován mód generování rychlého PWM s omezeným vrcholem čítáním definovaným v registru OCR1.

² Timer/Counter0 je využit pro generování vnitřního periodického přerušení (viz. Kapitola 8 PID regulátor)

Hodnota registru OCR1 požadovanou výstupní frekvenci PWM signálu se poté vypočte pomocí upraveného vztahu (5.1) uvedeného v [3], kde N značí hodnotu děličky frekvence interního hodinového zdroje, f_{clkIO} hodnotu frekvence interního hodinového zdroje mikrokontroleru a hodnotu.

$$f_{OCRnPWM} = \frac{f_{CLK\ I/O}}{N \times (1 + OCRn)} \quad (5.1)$$

Názorný příklad výpočtu hodnoty registru OCR1 s konkrétními hodnotami pro frekvenci PWM 31,25kHz:

$$OCR1 = \frac{f_{CLK\ I/O}}{1 \times f_{OCR\ 1\ PWM}} - 1 = \frac{12 \times 10^6}{1 \times 31,25 \times 10^3} - 1 = 383. \quad (5.2)$$

V případě Timer/Counter2 je vrchol čítání pevně dán nastavením registru TCCR2A a TCCR2B na hodnotu 255. Frekvence PWM signálu, dostupná na vývodech pinů PB3 a PD3 označených jako OCR2A a OCR2B a sloužící ke spínání vybíjecí zátěže k akumulátoru, je zde dle vztahu (5.1)

$$f_{OCR2PWM} = \frac{12 \times 10^6}{1 \times (1 + 255)} = 46,875\ kHz. \quad (5.3)$$

Konkrétní nastavení registrů čítače Timer/Counter1 a Timer/Counter2 jsou uvedeny ve zdrojovém kódu firmware mikrokontroleru umístěném na přiloženém optickém disku.

A/D převodník

Pro přeměnu napětí na určitý formát hodnoty reprezentovaný číslicově je využit vnitřní 10-bitový A/D převodník. Schéma zapojení pro zprovoznění převodníku uvádí Obr. 21. Měřené napětí je přivedeno na pinech portů PC0 – PC5. Vnitřní zdroj referenčního napětí implementovaný v mikrokontroléru vykazoval při spuštěném generátoru PWM signálu nestálost svého výstupního napětí. Výsledný měřený konstantní údaj byl tímto prakticky v každém okamžiku jiný téměř až o 10% ze své skutečné hodnoty a jeho hodnota referenčního napětí činná pouze 1,1V. Proto je jako zdroj referenčního napětí použito zapojení s externím integrovaným stabilizátorem LE33CZ. Převod je poté realizován dle následujícího vztahu uvedeného v [3]

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}} = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{3,3}. \quad (5.4)$$

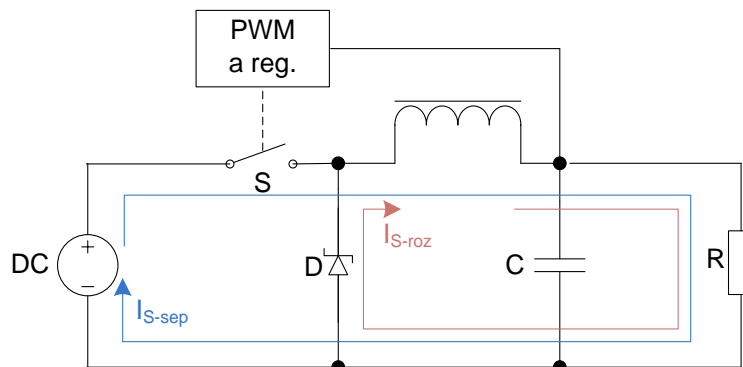
Kde V_{IN} je napětí přivedené na vstup ADC a V_{REF} referenční napětí. Tato hodnota je pro zjištění finální hodnoty měřené veličiny ještě násobena konstantou, jejíž hodnota je závislá na způsobu použitého násobiče měřeného signálu, charakterizovaného v kapitole 6. 4. .

Finální hodnota měřené veličiny je poté dopočtena až v programu PC, mikrokontrolér pracuje se svými hodnotami získanými z registrů ADC převodníku.

6. 3. Snižující spínaný měnič napětí

Pro účely snížení a řízení úrovně nabíjecího napětí získávaného z napětí USB sběrnice, je použit spínaný snižující měnič (anglicky BUCK-CONVERTER).

6. 3. 1. Teorie spínaného snižujícího měniče



Obr. 22: Základní princip BUCK CONVERTERU (I_{S-sep} – proud při sepnutém spínači S, I_{S-roz} – proud při rozepnutém spínači S)

Základní princip měniče je na Obr. 22. Hlavním regulačním prvkem je v tomto případě spínač, který svým rychlým střídavým přepínáním z polohy sepnuto a rozepnuto, reguluje výstupní napětí. Je-li spínač sepnut protéká proud z napájecího zdroje přes cívku L, která v sobě indukuje energii, do výstupního odporu R. Je-li spínač S rozepnut, zastává cívka se svou dříve naindukovanou energií zdroj proudu pro zátěž R, tekoucí přes diodu D. Proud a napětí na odporu R v obvodu klesá s vybíjením cívky. Průměrná hodnota výstupního napětí je pak úměrná době sepnutí spínače S a proudové zatížení součástek a zvlnění výstupního napětí je pak úměrné frekvenci spínání.

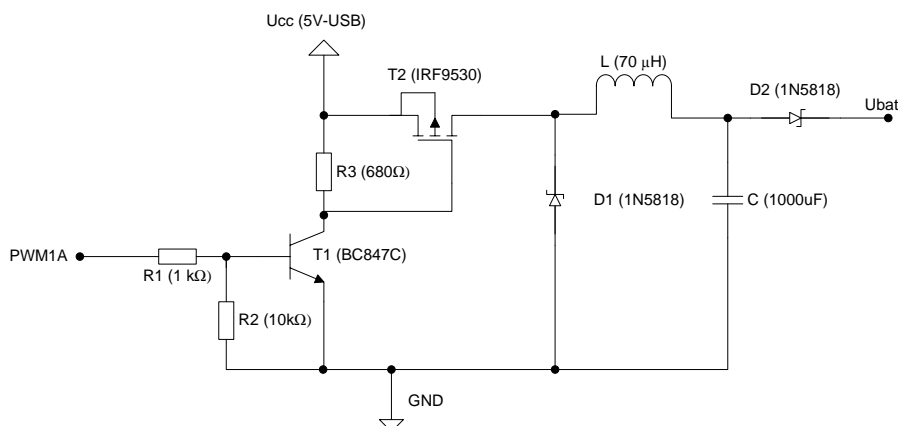
Kondenzátor C má v obvodu za úkol stabilizovat zvlněné napětí, při sepnutém spínači se nabíjí a při rozepnutém kompenzuje klesající proud dodávaný vybíjecí se cívkou.

Z důvodů možnosti zvýšení či snížení zátěže R a tudíž i kolísání proudového odběru a výstupního napětí se zavádí zpětná vazba do regulačního prvku, který automaticky zajišťuje konstantní zvolené výstupní napětí pomocí délky impulzu sepnutí spínače S.

Regulátor uvedený v Obr. 22 (blok PWM a reg.) je realizován programově a implementován v hlavním programu mikrokontroléru a jeho podrobná charakteristika je uvedena v kapitole 8.

6. 3. 2. Charakteristika použitého měniče

Regulační prvek je v případě nabíječky baterií tvořen z větší části mikrokontrolérem, který generuje PWM signál, přiváděný na svorku označenou jako PWM1A v Obr. 23. Tento signál, zesílený pomocí zesilovače s bipolárním tranzistorem T1, poté ovládá spínání unipolární tranzistor T2, který je v roli spínacího prvku S. Proto aby se připojený akumulátor zpětně nevybíjel přes obvod měniče je zařazena dioda D2.



Obr. 23: Schéma zapojení spínaného snižujícího měniče

Výpočet cívky pro parametry při nabíjení akumulátoru NiCd a NiMH

$$L_{Ni} = \frac{(V_{in} - V_{out} - V_{RDSon}) \cdot t_{on}}{2 \cdot I_{out \max}} = \frac{(5 - 1,5 - 0,1) \cdot 16 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,4} = 68 \mu H, \quad (5.5)$$

výpočet cívky pro druhou větev - parametry při nabíjení akumulátoru NiCd a NiMH s maximálním proudem 200 mA

$$L_{Ni2} = \frac{(V_{in} - V_{out} - V_{RDSon}) \cdot t_{on}}{2 \cdot I_{out \max}} = \frac{(5 - 1,5 - 0,1) \cdot 16 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,2} = 136 \mu H, \quad (5.6)$$

a výpočet cívky pro parametry při nabíjení akumulátoru Li-ion

$$L_{Li} = \frac{(V_{in} - V_{out} - V_{RDSon}) \cdot t_{on}}{2 \cdot I_{out \max}} = \frac{(5 - 4,2 - 0,1) \cdot 16 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,4} = 14 \mu H, \quad (5.7)$$

kde

$$V_{RDSon} = R_{DSon} \cdot I_{out \max} = 0,25 \cdot 0,4 = 0,1V, \quad (5.8)$$

V_{in} – vstupní napětí měniče,

V_{out} – požadované výstupní napětí měniče,

$I_{out \max}$ – maximální uvažovaný výstupní proud,

T_{on} – doba sepnutí spínacího tranzistoru ozn. v Obr. 23 jako T2,³

R_{DSon} – typický odpor mezi DRAIN a SOURCE tranzistoru ozn. v Obr. 23 jako T2 [13]

Ve vlastním obvodovém zapojení nabíječky bude použita v první nabíjecí větvi cívka 70μH, protože výše uvedené vztahy počítají minimální velikost indukčnosti, při kterém měnič pracuje správně a cívka indukčnosti 14μH by při nabíjení alkalických článků destabilizovala napěťový měnič. V druhé větvi, bude použita cívka 150 μH dle výpočtu (5.6) a nabízeného sortimentu prodejců součástek v ČR.

³ Buck-converter je nejúčinnější, je-li střída spínání 50% [4]

Volbu vhodného spínacího tranzistoru T2 podmiňovaly požadavky na nízkou spotřebu tohoto výkonového prvku. Vybrán byl tranzistor IRF9530 technologie MOSFET s indukovaným kanálem P od společnosti International Rectifier. Výkonová ztráta je pro toto konkrétní zapojení a trvalé sepnutí tranzistoru (střída PWM = 100%) stanovena na

$$P_{RDSon} = V_{DSon} \cdot I_{out\ max} = 0,1 \cdot 0,4 = 0,04W. \quad (5.9)$$

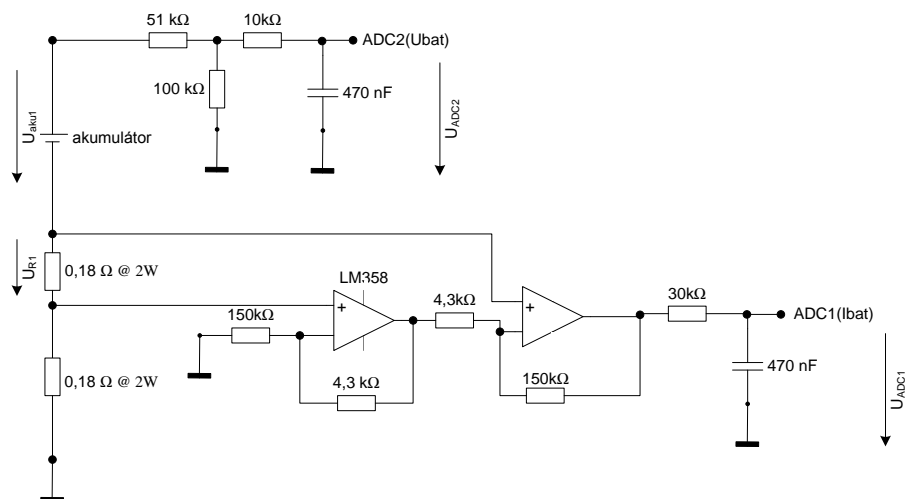
Navržený obvod byl před vlastní realizací simulován v programu LTspice [17].

6. 4. Způsob měření napětí a proudu a úpravy úrovní pro měření pomocí A/D převodníku mikrokontroléru

V bloku Úprava měřených úrovní jsou prováděny operace násobení nebo dělení konstantou vstupní úrovně signálu. Operace jsou realizovány pomocí odporových děličů nebo zapojení s OZ. Ve všech zapojení jsou hodnoty součástek voleny tak, aby byla měřená veličina co nejméně ovlivňována vstupním odporem měřících obvodů.

Napětí na akumulátoru je měřeno přímo na jeho kladné svorce. V zapojení pro nabíjení také Li-ion akupacků je pro měření napětí použito pouze odporového děliče s hodnotami součástek volenými tak, aby maximální napětí na Li-ion akupacku při nabíjení mohlo být měřeno rozsahem 0-3,3V AD převodníku mikrokontroléru.

Měření proudu je realizováno pomocí měření napětí na velmi malém odporu známé hodnoty 0,18Ω. Toto napětí je poté násobeno konstantou pomocí zapojení s OZ, tak aby měřená úroveň napětí byla co nejefektivněji rozložena mezi měřitelný rozsah AD převodníku.



Obr. 24: Měření napětí a proudu na větvi, která nabíjí jak alkalické tak Li-ion akumulátory

Vztah pro získání hodnoty měřeného napětí zesíleným diferenčním zesilovačem uvedeným na Obr. 24

$$U_{R1} = U_{ADC1} \cdot \left(\frac{4,3+150}{4,3}\right)^{-1} = \frac{U_{ADC1}}{35,88} \quad (5.10)$$

a nabíjecí proud akumulátoru se poté vypočte následovně

$$I_{aku} = \frac{U_{ADC1}}{35,88 \cdot R_1} = \frac{U_{ADC1}}{35,88 \cdot 0,18} = \frac{U_{ADC1}}{6,458}, \quad (5.11)$$

kde napětí U_{ADC1} lze získat přepočtem pomocí upraveného vztahu (5.4). Maximální možný měřitelný proud je pak

$$I_{aku\ max} = \frac{U_{ADC\ MAX}}{6,458} = \frac{3,3}{6,458} \cong 511\ mA \quad (5.12)$$

a nejmenší měřitelný rozdíl proudu (měřicí krok)

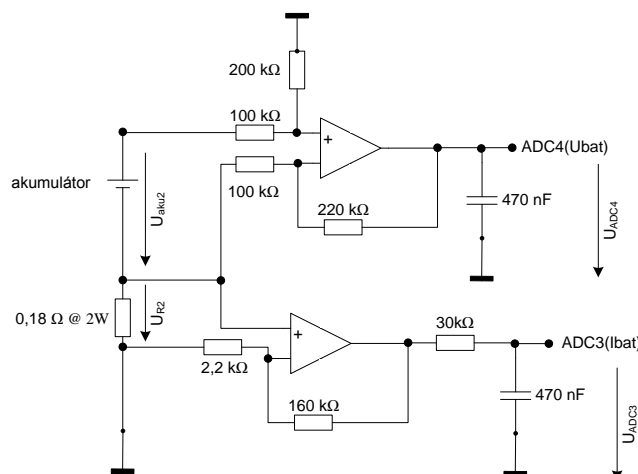
$$I_{aku\ min} = \frac{I_{aku\ max}}{2^{10}} = \frac{0,511}{1024} \cong 0,5\ mA. \quad (5.13)$$

Měřicí krok při měření napětí akumulátoru je

$$U_{aku\ min} = \frac{U_{aku\ max}}{2^{10}} = \frac{5}{1024} \cong 4,9\ mV. \quad (5.14)$$

Obr. 24 a Obr. 25 ilustrují konkrétní případy zapojení obvodů pro měření potřebných veličin. V každé větvi je použit jeden operační zesilovač typu LM358. V prvním případě (Obr. 24 - větev, která nabíjí alkalické a lithiové akumulátory) je pro měření proudu využito diferenční zapojení OZ, tak aby jednak bylo využito obou OZ v pouzdře LM358 a také tak, aby byl dle zapojení OZ vstupní odpor měřiče co největší (z ideálního pohledu OZ nekonečný). Diferenční zapojení OZ je výhodné také z pohledu rušivých okolních vlivů, které mohou vznikat v blízkosti spínaného snižujícího měniče obsahujícího indukčnost.

Druhá nabíjecí větev (Obr. 25 - nabíjí pouze alkalické články) využívá diferenční zapojení OZ pro měření napětí, jelikož je žádoucí aby se měřené napětí rozprostřelo do celého rozsahu AD převodníku. Úroveň napětí pro měření proudu je zesilována neinvertujícím zapojení OZ.



Obr. 25: Měření napětí a proudu na větvi, která nabíjí jen alkalické akumulátory

Vztah pro získání hodnoty měřeného napětí obvodem uvedeným na Obr. 25 je

$$U_{R2} = U_{ADC3} \cdot \left(\frac{160}{2,2} + 1\right)^{-1} = \frac{U_{ADC3}}{73,72} \quad (5.15)$$

a nabíjecí proud akumulátoru se poté vypočte následovně

$$I_{aku2} = \frac{U_{ADC3}}{73,72 \cdot R_2} = \frac{U_{ADC3}}{73,72 \cdot 0,18} = \frac{U_{ADC3}}{13,27} \quad (5.16)$$

Maximální měřitelný proud je pak

$$I_{aku\ max\ 2} = \frac{U_{ADC\ MAX}}{13,27} = \frac{3,3}{13,27} \cong 249\ mA, \quad (5.18)$$

a nejmenší měřitelný rozdíl proudu (měřící krok)

$$I_{aku\ min\ 2} = \frac{I_{aku\ max\ 2}}{2^{10}} = \frac{0,249}{1024} \cong 0,2\ mA. \quad (5.19)$$

Napětí na baterii se z hodnoty AD převodníku přepočte pomocí vztahu (5.4) a poté je

$$U_{aku2} = U_{ADC4} \cdot \left(\frac{220}{100}\right)^{-1} = \frac{U_{ADC4}}{2,2}. \quad (5.20)$$

Z důvodu možnosti vzniku rušivých špiček, vzniklých ve snižujícím napěťovém měnič, je ještě měřený signál veden přes pasivní dolní propust prvního řádu. Kmitočet dolní propusti je 1000x menší než kmitočet, na kterém pracuje snižující měnič napětí

$$f_{DP} = (2\pi RC)^{-1} = (2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 470 \cdot 10^{-9})^{-1} = 33,86\ Hz. \quad (5.21)$$

6. 5 Spínaná vybíjecí zátěž

Vybíjení akumulátoru je realizováno pomocí jednoho výkonového tranzistoru TP122, spínaného PWM signálem z mikrokontroléru a výkonového rezistoru, ve kterém se energie z akumulátoru mění v teplo. První větev slouží pro vybíjení Li-ion akumulátorů a druhá pro vybíjení NiCD a NiMH.

6. 6. Poznámky k návrhu a výrobě DPS

K návrhu desky plošných spojů byl použit editor plošných spojů Eagle. Ke zdokonalení již předem nabitých zkušeností s programem a zásad návrhu DPS posloužila literatura [19].

DPS a rozložení součástek na nich jsou uvedeny v příloze A. DPS jsou strukturovaně rozděleny na digitální část, nízko-odběrovou analogovou část a část s velkým odběrem proudu a možností vzniku rušivého elektromagnetického pole zejména kolem cívek. Součástky jsou na obou stranách oboustranné DPS a to jak v klasických pouzdrech, tak v pouzdrech SMD.

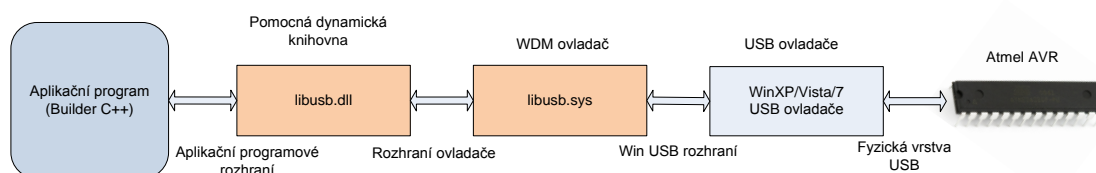
7. Obslužný program nabíjecího zařízení pro PC a Libusb-win32

7. 1. Libusb-win32

Libusb-win32 je soubor ovladače a dynamické knihovny pro OS Windows, sloužící uživatelským aplikacím pro přístup k libovolnému USB zařízení bez nutnosti psaní vlastního kódu ovladače. Může být použit pro:

- jako filtr ovladače pro stávající, již instalovaná zařízení, což Libusb umožňuje komunikovat s jakýmkoliv instalovaným zařízením,
- jako ovladač pro zařízení, pro které neexistuje žádný ovladač (vlastní vyvinutý hardware).

Je 100% kompatibilní s API, podporuje hromadné přenosy, přerušení a všechny standardní žádosti zařízení.



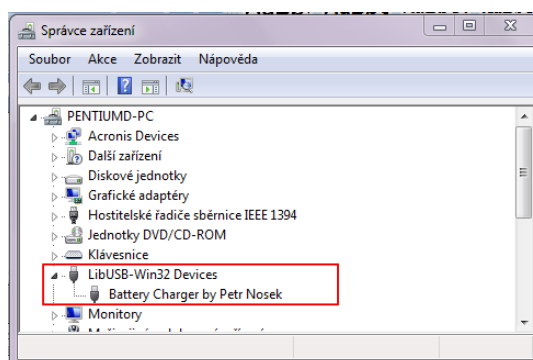
Obr. 26: Architektura Libusb ovladače

Před instalací ovladačů do PC je potřeba nakonfigurovat soubor s příponou *inf*, který musí být součástí složky obsahující soubory s ovladači (libusb.dll a libusb.sys). V tomto souboru je potřeba správně uvést PID a VID identifikátor připojovaného USB zařízení. [10]


```
-----  
; Devices  
-----  
[Devices]  
"Battery Charger by Petr Nosek"-LIBUSB_DEV, USB\VID_16c0&PID_05dc  
  
[Strings]  
manufacturer = "VUT FEKT - UTKO"
```

Obr. 27 Náhled na část konfiguračního souboru s příponou *inf*

Instalace ovladačů do PC probíhá standardním způsobem, jako instalace ovladačů jiných zařízení. Po připojení USB nabíječky do PC si OS počítače vyžádá zadání umístění, kde se nachází soubory ovladače. Ty jsou přiloženy na optickém disku, jenž je přílohou. Poté je potřeba kladně potvrdit varování o neoriginálnosti ovladače, které hlásí OS. Pokud vše proběhne v pořádku je ve správci zařízení OS možno vidět zařízení pracující s ovladači Libusb-win32, tak jak uvádí Obr. 28.



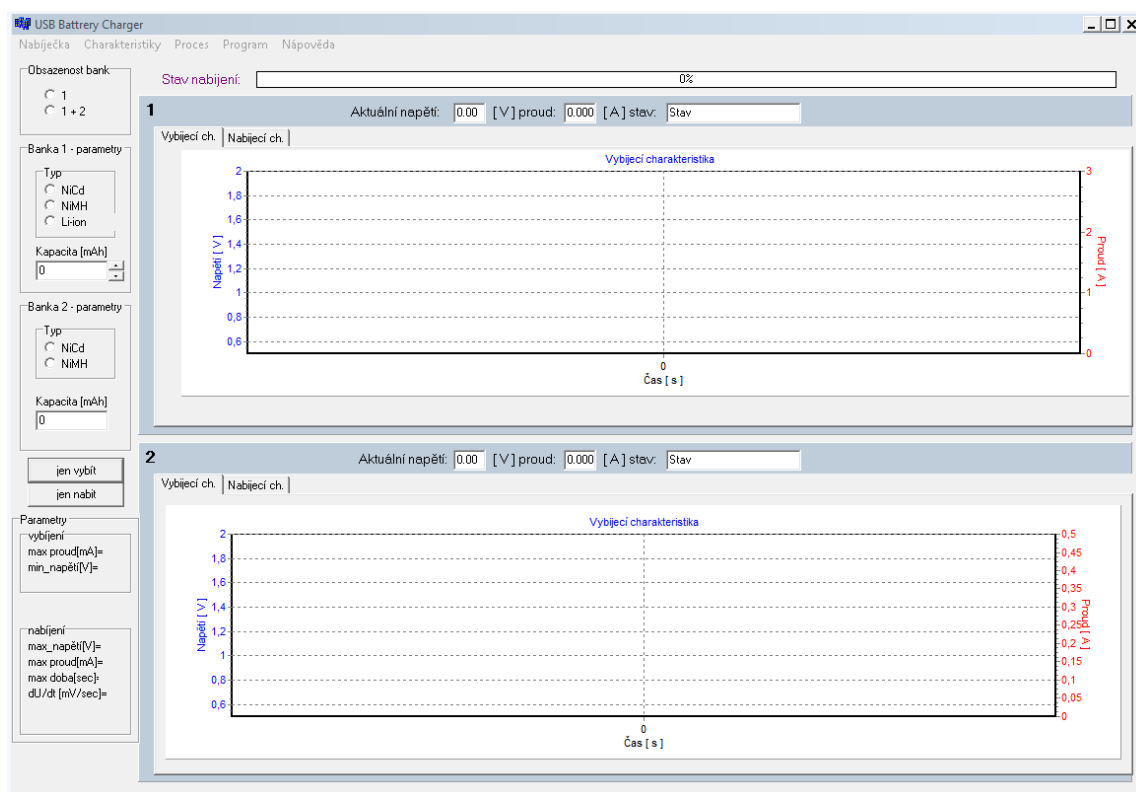
Obr. 28 Ukázka zařazení Libusb-win32 po instalaci ovladačů

7. 2. Hlavní program

Program byl vytvořen v programovacím prostředí C++ Builder 6 pomocí formulářové aplikace. Toto prostředí bylo voleno z důvodu autorových znalostí práce s C++ Buldier 6, z důvodu dostupnosti kvalitní literatury popisující zmiňované programovací prostředí (např.: [14]) a z důvodu velké modularity a nabízených již vytvořených komponent pro formulářové aplikace (např.: tChart pro vytváření grafů).

Vytvořený program pracuje pod OS MS Windows XP, Vista a Seven, tedy pod všemi dnes nejhojněji využívanými OS od MS. Pro nastudování programování formulářových aplikací v C++ Builder, byla použita literatura [14] [25].

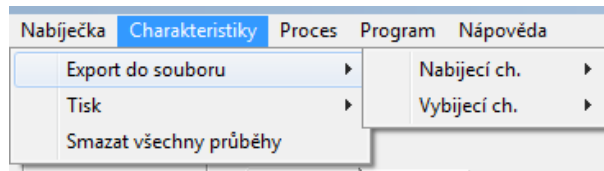
7. 2. Jednotlivé prvky a vzhled uživatelského rozhraní



Obr. 29: Vzhled formulářové aplikace pro obsluhu nabíječky z PC

Vzhled formulářové aplikace ukazuje Obr. 29. V levém horním rohu se nachází ovládací panel pro zadávání parametrů akumulátorů uživatelem. Je zde nutno zadat, kolik akumulátorů je vloženo, jakého jsou typu a jakou mají jmenovitou kapacitu. Pod tímto panelem se nachází informační část, která uvádí přepočtené parametry nabíjení z parametrů zadaných.

Největší část okna zabírají grafické údaje, informující o průběhu nabíjení. V horní části se nachází progres bar, informující o procentuálním stavu nabíjení. Jeho stav je vypočítáván ze stanovené průměrné doby nabíjení, závislé na kapacitě a nabíjecím proudem, a již uplynulém čase nabíjení. Hlavním výstupem programu v PC jsou nabíjecí a vybíjecí charakteristiky zobrazované dle užití nabíjecí větve. Charakteristiky lze ukládat do bitmapových souborů nebo je přímo tisknout na výchozí tiskárnu pomocí horního menu. Vodorovná osa zobrazuje vždy čas, pravá svislá osa zobrazuje úroveň napětí na akumulátoru a levá osa proud v ampérech. Rozsahy hodnot na osách se automaticky přepínají tak, aby byly změřené průběhy dobře odečitatelné. U napěťové osy se mění dle typu vloženého akumulátoru z 5 V rozsahu (pro Li-ion) na 2 V (pro alkalické). U proudové osy se rozsah mění při nabíjení dvou nebo jednoho alkalického akumulátoru z 250 mA rozsahu na 500 mA. Detailní náhledy nabíjecích a vybíjecích charakteristik je možno vidět při běhu programu pro PC uvedeném na přiloženém optickém disku nebo v příloze B.



Obr. 30: Ukázka horního menu

Struktura horního menu:

- Nabíječka
 - Ověřit zda je připojena
- Charakteristiky
 - Export do souboru
 - Nabíjecí ch.
 - 1. patice
 - 2. Patice
 - Vybíjecí ch.
 - 1. patice
 - 2. Patice
 - Tisk
 - Smazat všechny průběhy
- Proces
 - Ukončit právě probíhající proces
- Program
 - Ukončit
- Nápověda
 - Informace o programu

Pomocí horního menu lze ukončit právě probíhající proces a vymazat všechny údaje v grafech. Program se před vykonání těchto úkonu ještě jednou dotáže a zobrazí varování. Poté odešle do mikrokontroléru příkaz k zastavení generování PWM signálu, k zastavení funkcí regulující a hlídající procesy a k vymazání některých proměnných. Lze také funkcí horního menu ověřit, zda je připojená nabíječka přes USB a zda správně komunikuje.

8. Vlastní program mikrokontroléru se softwarovou enumerací ovladače V-USB

Hlavní program pro mikrokontrolér byl vytvořen v jazyku C, ve vývojovém prostředí AVR Studia za pomoci příslušné sady překladačů GNU Compiler Collection (zkráceně GCC). Samotné programování téměř vždy (vyjma triviálních nebo známých zápisů částí kódů) předcházela grafická algoritmizace jednotlivých problémů v podobě vývojových diagramů, kde některé jsou také pro názornost součástí této kapitoly.

8.1. Hlavní soubor programu mikrokontroléru

8.1.1. Struktura souboru

Hlavní soubor *main.c*, jenž je přílohou na vloženém optickém disku a je bohatě komentován, má následující strukturu. V první části jsou vloženy odkazy na pomocné hlavičkové soubory pro možnost obsluhy vstupně výstupních portů, používání zpoždění, přerušení, matematických funkcí a v neposlední řadě hlavičkové soubory pro softwarový USB řadič a PID regulátor. V další části jsou definovány zástupné označení některých zápisů či konstant, tak aby se později v programu užil jen jejich zastupující zápis pro lehčí orientaci. Následují globální definice užitých proměnných a deklarace některých funkcí volaných ještě před jejich definicí. Dále jsou definovány těla funkcí užitých pro používání AD převodníku mikrokontroleru a funkcí pro hlídání nabíjení a vybíjení akumulátorů, který jsou charakterizovány vývojovými diagramy v následujících podkapitolách. Inicializace portů a funkcí mikrokontroleru uvedených v kapitole 6. 2. jsou zapouzdřeny ve funkci *portInit()*. Funkce *usbFunctionSetup()* je volána při přijetí datového rámce z USB sběrnice a obsahuje přepínač, jehož poloha je určena prvním datovým bytem poslaným z PC. Struktura této funkce je charakterizována v podkapitole níže.

Hlavní funkce *main()*, spouštějící se vždy po spuštění mikrokontroleru, obsahuje volání funkce inicializace portů, inicializaci USB řadiče a spouští připojení zařízení k PC přes USB. Dále povoluje přerušení, hlavně z důvodu inicializace příchozí komunikace z PC. V nekonečné smyčce *while(1)* jsou poté volány funkce pro zjištění, zda-li nedošla nějaká data z PC a volá se funkce PID regulátoru, je-li povolena.

Mikrokontrolér tedy po zapnutí napájení provede výše uvedené body a vyčkává na povely z PC.

8.1.2. Charakteristika přepínače volaného při přijetí dat z USB

Přepínač disponující čtrnácti polohy, je použit vždy při externím přerušení mikrokontroléru vyvolaného příchozími daty na USB sběrnici. Poloha přepínače je určena prvním bajtem dat z USB a ostatní bajty jsou využity k předávání údajů o akumulátorech a nabíjecím procesu. Prvních sedm poloh přepínače slouží pro načtení a uložení údajů potřebných k nabíjení a vypočtených programem v PC ze zadaných údajů uživatelem.

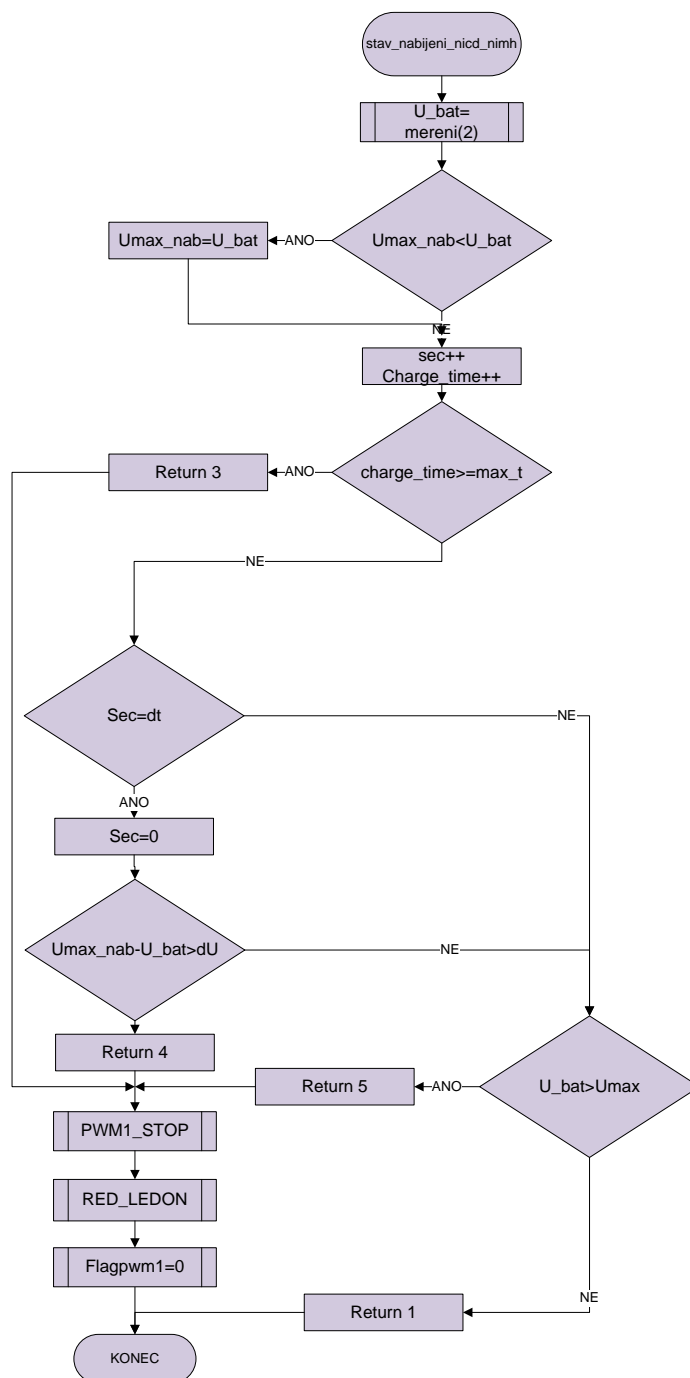
Načítány a ukládány jsou tyto údaje:

- maximální a minimální napětí na akumulátoru,
- maximální nabíjecí proud,
- maximální doba nabíjení,
- záporný napěťový přírůstek za určitou dobu (v případě alkalických baterií).

Další dvě polohy přepínače umožňuje spustit samostatný proces nabíjení nebo vybíjení. Poslední polohy jsou volány periodicky při spuštěném nabíjení či vybíjení a mají za úkol volat funkce hlídající stav nabíjení či vybíjení a odesílat do PC přes USB aktuální hodnoty napětí a proudu. Je zde také možnost ukončit procesy předčasně příkazem z PC.

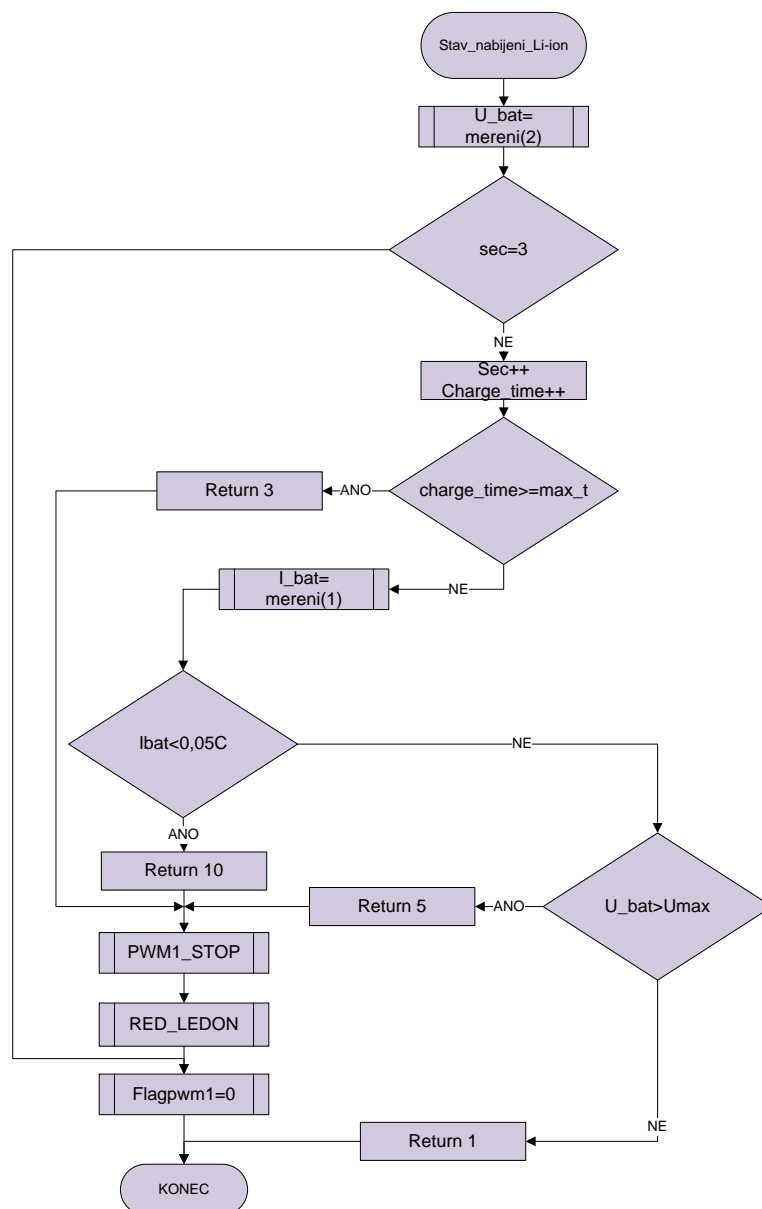
8. 1. 3. Charakteristika funkcí hlídajících nabíjení a vybíjení akumulátoru

Vývojový diagram algoritmu funkce hlídající nabíjení alkalických akumulátorů (NiCd, NiMH) je uveden na Obr. 31. Tato funkce je volána každou sekundu při aktivním procesu nabíjení tohoto typu akumulátorů a hlídá metodou záporného napěťového přírůstku (viz kapitola 2. 1. 2.), zdali není akumulátor již nabit. Ukládá hodnotu maximální úrovně napětí na akumulátoru, kterou pak porovnává s aktuální hodnotou. Pokud by se stalo, že aktuální hodnota je menší než maximální o 20 mV, je baterie považována za nabitou. Stejně tak funkce hlídá čas nabíjení, je-li překročen dříve než je dosaženo 20 mV poklesu, je nabíjení ukončeno. Dalším ochranným prvkem je hlídání překročení nabíjecího napětí, to nesmí přesáhnout 1,7 V, jinak je nabíjení také ukončeno. Pokud funkce rozhodne z některého výše uvedeného důvodu ukončit nabíjení, informuje o tom program v počítači pomocí stavů, které jsou návratovou hodnotou této funkce. Program v počítači poté na základě této hodnoty zobrazí důvod ukončení nabíjení uživateli. Stálá hodnota nastaveného nabíjecího proudu je regulována pomocí programového PSD regulátoru (viz kapitola 8. 3. 3.).



Obr. 31: Vývojový diagram funkce hlídající stav nabíjení alkalických (NiCd a NiMH) akumulátoru

Funkce hlídající stav nabíjení Li-ion akumulátorů má stejný účel jako výše charakterizovaná. Také hlídá, aby nebyla překročena maximální doba nabíjení. Konec nabíjení ovšem rozpoznává podle úrovně napětí a proudu na nabíjeném akumulátoru. Pokud je dosaženo buď napětí 4,2 V nebo proudu číselně menšího než 5% kapacity baterie je nabíjení přerušeno. Zde je využito programového PSD regulátoru pouze první tři sekundy nabíjení pro dosažení úrovně požadovaného proudu. Poté už není hodnota proudu regulována z důvodu chování akumulátorů Li-ion při nabíjení (viz kapitola 2. 2. 2.).

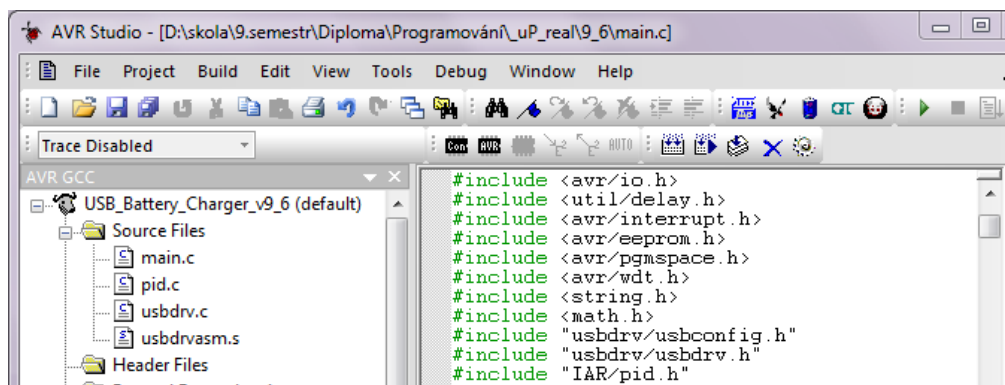


Obr. 32: Vývojový diagram funkce hlídající stav nabíjení Li-ion akumulátoru

Při procesu vybíjení akumulátoru je periodicky volána funkce `stav_vybijeni()`, která hlídá stav vybíjení tak, že kontroluje, zdali nebyl překročen maximální proud a zdali nebylo dosaženo úrovně napětí na akumulátoru (dle úrovní uvedených v kapitole 2), ve které je považován za vybitý.

8. 2. V-USB

Základní charakteristika softwarové enumerace USB řadiče do zařízení je uvedena v kapitole 3. Pro implementaci ve vlastním zařízení jsou na webových stránkách projektu V-USB [20] k dispozici ke stažení soubory potřebné pro naprogramování firmware pro mikrokontrolér v jazyku C.



Obr. 33: Náhled na hlavní zdrojové soubory v AVR studiu při použití V-USB a programového PID reg.

Základní funkce pro komunikaci po sběrnici (transakce dat, definice deskriptorů, inicializace sběrnice apod.) jsou zapsány v souboru `usbdrv.c`. Tento soubor využívá řadu dalších hlavičkových a zdrojových souborů jako je např.:

- **usbdrv.h** – deklarace funkcí pro užití USB sběrnice, definice konstant, definice vlastností deskriptoru apod,
- **usbconfig.h** – nastavení parametrů procesoru (název zařízení, frekvence oscilátoru, nastavení pinů a portů ke kterým je připojena USB sběrnice apod).

Soubor psaný v assembleru **usbdrvasm.S** obsahuje zabezpečení dat NRZI, bit-shuffingem a CRC.

V-USB je omezen nedostatečnými časovými prostředky a výkonnostními hranicemi mikrokontroléru. Z těchto důvodů nekontroluje:

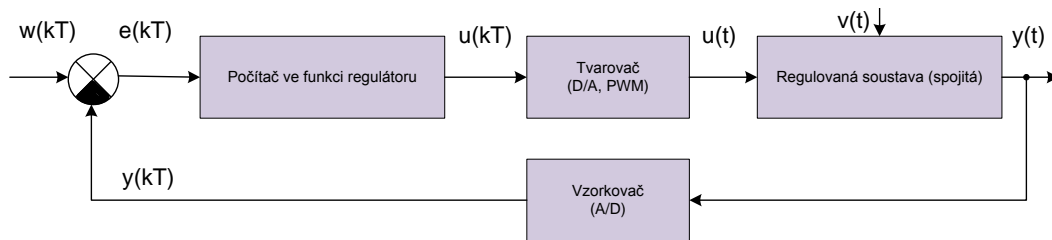
- chyby v bit-shuffingu
- SE0 uprostřed bytu
- CRC5 a CRC16.

V-USB také neřeší USB suspend mode, což lze ale v případě nutnosti vyřešit vlastní obslužnou rutinou [20].

8. 3. Regulace napětí a proudu PSD regulátorem (diskrétním PID)

Pro efektivní regulaci požadovaného napětí a proudu na výstupu spínaného snižujícího měniče (viz kapitola 6. 3.) je zařazen PSD regulátor, což je diskrétní verze proporcionálně integračně derivačního regulátoru. Uplatňuje se v systémech, ve kterých je zařazeno diskrétní ovládání a řízení funkcí systému např. pomocí mikrokontroléru. Je vhodný pro implementaci v jazyku C.

8. 3. 1. Základní princip diskrétního regulátoru

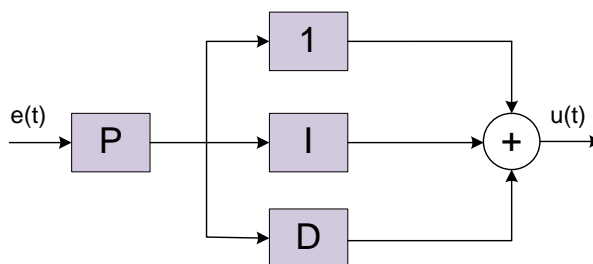


Obr. 34: Diskrétní regulační obvod

Na Obr. 34 je uveden nejběžnější typ regulačního obvodu, kdy je regulována spojitá soustava a tedy máme spojitou regulovanou veličinu $y(t)$. Ta je prostřednictvím vzorkovače vzorkovaná s periodou T a převedena na diskrétní funkci $y(kT)$. Počítač vypočítá ze vstupní číslicově zadané řídicí veličiny $w(kT)$ a z $y(kT)$ regulační odchylku $e(kT)$ a vlastní řídicí algoritmus počítače určí hodnotu akčního zásahu $u(kT)$. Tato hodnota je tvarovačem převedena na spojitý signál $u(t)$, který pomocí regulačního orgánu působí na regulovanou soustavu.

8. 3. 2. PID regulátor a jeho spojitost s PSD

PID regulátor se skládá z proporcionální, integrační a derivační části. Do regulátoru vstupuje regulační odchylka $e(t)$ a vystupuje akční veličina $u(t)$. Přenos regulátoru se uvádí jako poměr těchto veličin. Proporcionální složka je realizována zesilovačem, kde regulační odchylka je přímo úměrná akční veličině. Při použití integrační části regulátoru je akční veličina přímo úměrná integrálu regulační odchylky ovlivněné také zesílením této části. Derivační část produkuje akční veličinu takovou, která je přímo úměrná derivaci regulační odchylky.



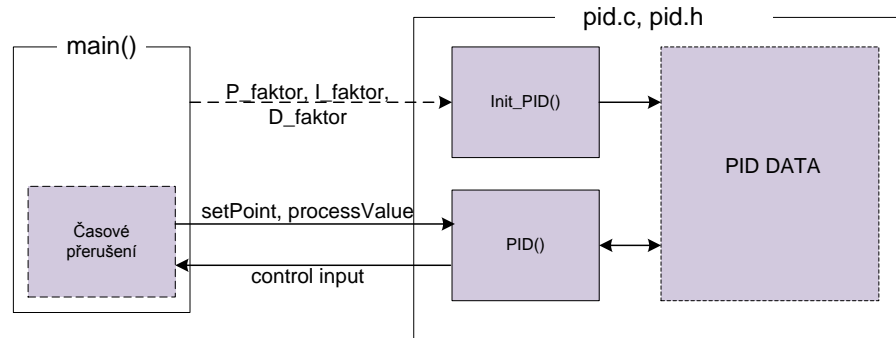
Obr. 35: Bloková struktura PID regulátoru

Číslicovou verzi PID regulátoru lze získat diskretizací integrační a derivační složky. Integraci provedeme náhradou spojitého signálu tzv. stupňovitou náhradou zleva. Určení hodnoty integrálu se provádí jakou sumarizace ploch pod náhradním průběhem. Derivaci získáme nahrazením diferencemi (podělenými T , tj. poměrnými diferencemi). [22]

8. 3. 3. Vlastní řešení regulace

Regulovanou veličinou je nabíjecí napětí nebo proud, kterou ovlivňuje akční veličina střída PWM signálu. Napětí nebo proud jsou s nastavenou periodou na pětinu sekundy snímány a diskretizovány A/D převodníkem mikrokontroléru. Program mikrokontroléru

vypočítává na základě předchozích a aktuálních hodnot regulační odchylky novou hodnotu střídý, která se poté zapisuje do registru OCR1A (pro první akumulátor) nebo OCR1B (pro druhý akumulátor) generátorů PWM signálu (čítače/časovače1). Tento proces se periodicky opakuje do té doby, není-li hlavní programem vypnut. Regulator je řešen programově a využívá implementace již hotového PID regulatoru pro mikrokontroléry ATMEL AVR vytvořeného společností ATMEL [9].



Obr. 36: Zařazení do hlavního programu a struktura programového regulátoru

Implementaci regulátoru do vlastního programu znázorňuje Obr. 36, kde parametry regulačních členů p_factor , i_factor a d_factor jsou inicializovány v hlavním těle programu. Funkcí `init_pid` probíhá inicializace parametru ve struktuře `PID_DATA`, ve které jsou poté ukládány všechny parametry a stavy. Funkce `pid()` je volána v pravidelných intervalech pomocí přerušení vyvolaného po přetečení časovače a vypočítává hodnotu akční veličiny. [9]

Závěr

Mezi hlavní cíle diplomové práce patřilo nastudovat teorii kolem nabíjení akumulátoru NiCd, NiMH a Li-ion, což přehledně uvádí druhá kapitola. A na základě takto nastudovaných informací navrhnout a vytvořit nabíječku skládající se z elektronické části, programu pro mikrokontrolér a programu pro PC.

Část diplomové práce se také zabývá charakteristikou USB sběrnice a softwarové enumeraci USB řadiče do mikrokontroléru. V této práci byla využita softwarová enumerace USB řadiče do mikrokontroléru a Libusb ovladače USB pro PC.

V rámci diplomové práce byla vytvořena nabíječka napájená a řízená přes rozhraní USB umožňující nabíjet dva články NiCd či NiMH s jmenovitým napětím 1,2 V nebo jeden akumulátor Li-ion se jmenovitým napětím 3,6 V. Alkalické články (NiCd a NiMH) jsou nabíjeny konstantním proudem, který obstarává programově realizovaný PID regulátor. V případě jednoho článku max. proud činí 400 mA, v případě dvou článků max. 200 mA na článek). Ukončení nabíjení při dosažení maximálního nabití alkalického akumulátoru je rozpoznáváno pomocí metody záporného přírůstku a hlídáno pomocí časovače, který automaticky ukončí nabíjení po překročení daného času. Hlídá se také, aby nebylo překročeno maximální dovolené napětí na článku.

Li-ion akumulátory jsou nabíjeny při konstantní střídě PWM signálu řídicí snižující spínaný měnič napětí, pouze na začátku je nastaven počáteční nabíjecí proud programovým PID regulátorem. Poté je sledováno napětí a proud na článku, kde po dosažení jistých hranic (max. napětí 4,2 V nebo minimálního proudu číselně 5% z kapacity akumulátoru), ukončuje firmware mikrokontroléru nabíjení.

Bylo vytvořeno kompletní obvodové schéma nabíječky a k němu návrh DPS. K hardwaru nabíječky byl vytvořen obslužný program pro mikrokontrolér ATMEGA168. K zadávání parametrů akumulátoru, spouštění procesů nabíjení a vybíjení a ke sledování podrobných nabíjecích a vybíjecích charakteristik byl vytvořen obslužný program pro PC. Také byl realizován funkční vzorek, pomocí kterého bylo provedeno ověření funkcí nabíječky, jehož grafické výstupy jsou uvedeny v příloze C.

Nabíječka umožňuje také vybíjet akumulátory. Kde první větev umožňuje vybíjet akumulátory Li-ion počátečním proudem 350 mA a druhá větev vybíjí alkalické články proudem 400 mA.

Při nabíjení i vybíjení akumulátorů jsou v programu počítače vykreslovány charakteristiky průběhů napětí a proudu v závislosti na čase. Tyto charakteristiky je možno exportovat do bitmapového souboru nebo přímo tisknout na výchozí tiskárně operačního systému PC.

Hodnoty napětí a proudu měřené při nabíjení a vybíjení jsou zatíženy jistou chybou. Tato chyba je způsobená převážně omezenými možnostmi AD převodníku, kde hlavní roli hraje bitová rozlišitelnost. V první nabíjecí větvi je měřeno s krokem 5 mV a 0,5 mA a v druhé větvi s krokem 2 mV a 0,2 mA viz kapitola 6. 4. . Chybu

při měření také zatěžují hodnoty součástek, jejíž hodnoty uvádí výrobci s jistou procentuální tolerancí.

Nabíječka by se dala dále samozřejmě zdokonalovat. Například přidáním teplotních senzorů, které by hlídaly teplotu akumulátoru a pracovali by jako faktor ovlivňující zjištění konce nabíjení i jako faktor kontrolní. Určité vyšší provozní teploty značí nestandardní chování akumulátoru. Při implementaci zjišťování teplot článku je potřeba brát zřetel na ovlivňování teplotou okolí a špatné možnosti upevnění teplotních senzorů na oválný článek.

Seznam literatury

- [1] ARENDÁŠ, Miroslav, RUČKA, Milan. Nabíječky a nabíjení. 3. upr. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1999. 112 s. ISBN 80-86056-61-9.
- [2] Atmel Corporation. AVR 8-Bit RISC Introduction [online], c2009. [cit. 2009-11-15]. URL: <<http://www.atmel.com/products/avr/overview.asp>>.
- [3] ATMEGA168 datasheet. Colorado: Atmel Corporation. 2009. 378 s. Dostupné z WWW: <<http://www.atmel.com/products/avr/overview.asp>>.
- [4] Battery Charger for SLA, NiCd, NiMH and Li-Ion Batteries. Colorado: Atmel Corporation, 2006. 43 s. Dostupné z WWW: <<http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc1659.pdf>>.
- [5] BAGOCKIJ, V. S., SKUNDIN A. M.: Elektrochemické zdroje proudu. Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [6] BELZA, J. Vestavná nabíječka akumulátorů Li-ion. Praktická elektronika A Radio, roč. 11, 2006, č. 12, s. 31
- [7] CENEK, Miroslav. Akumulátory od principu k praxi. 3. upr. vyd. Praha : FCC PUBLIC , 2003. 248 s. ISBN 80-86534-03-0 .
- [8] ČEŠKO, Igor. Dálkové ovládání přes USB [online], c2000-2009. [cit. 2009-13-12]. URL: <[http://www.cesko.host.sk/IgorPlugUSB/IgorPlug-USB%20\(AVR\).htm](http://www.cesko.host.sk/IgorPlugUSB/IgorPlug-USB%20(AVR).htm)>.
- [9] Discrete PID controler. Colorado: Atmel Corporation, 2006. 10 s. Dostupné z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2558.pdf>.
- [10] ERDFELT, Johannes . Libusb Developers Guide [online]. 2009 [cit. 2009-12-01]. Dostupný z WWW: <<http://libusb.sourceforge.net/doc/>>.
- [11] Future Technology Devices International Limited. FTDI Products [online], c2009. [cit. 2009-05-11]. URL: <<http://www.ftdichip.com/FTProducts.htm>>.
- [12] In-System Programing. Colorado: Atmel Corporation, 2008. 12 s. Dostupné z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc0943.pdf>.
- [13] IRF9530 datasheet Colorado: Atmel Corporation. 2007. 6 s. Dostupné z WWW: <<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf9530.pdf>>

- [14] KADLEC, Václav. Učíme se programovat v Borland C++ Builder a jazyce C++ . Brno : Computer Press, 2002. 402 s. ISBN 80-7226-550-4.
- [15] KREJČÍŘÍK, A.: Napájecí zdroje 1. díl, Praha: BEN, 2002. 352 s. ISBN 80-86056-02-3
- [16] KUBÍČEK, Jaroslav. Univerzální sériové rozhraní USB. AUTOMA [online]. 2000 [cit. 2009-12-01]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=27823>.
- [17] Linear Technology [online]. 2007 [cit. 2010-02-19]. Design Simulation and Device Models. Dostupné z WWW: <<http://www.linear.com/designtools/software/>>.
- [18] MANN, Burkhard. : C pro mikrokontroléry, Praha: BEN, 2003. 280 s. ISBN 80-7300-077-6
- [19] MIŠUREC, Jiří; ŠTĚPÁN, Miroslav ; ZEMAN, Václav. Konstrukce elektronických zařízení: Návrh plošných spojů. Brno: VUT, 2005. 72 s.
- [20] Objective Development Software GmbH : Virtual USB port for AVR microcontrollers [online]. 2009 [cit. 2009-11-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.obdev.at/products/vusb/index.html>>.
- [21] PEACOCK, Craig . USB in a NutShell : Making sense of the USB standard [online]. 2001 , 6th April 2007. [cit. 2009-11-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.beyondlogic.org/usbnutshell/usb1.htm>>.
- [22] ŠVARC, I.; ŠEDA, M.; VÍTEČKOVÁ, M. Automatické řízení. Brno : CERM, 2007. 326 s. ISBN 978-80-214-3491-2.
- [23] USB Implementers Forum. Universal Serial Bus Specification Revision 1.1 [online], c1998. 311 s. [cit. 2009-11-11]. URL: <<http://www.usb.org/developers>>.
- [24] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontrolery Atmel AVR : Programování v jazyce C*. Praha : BEN-technická literatura, 2006. 216 s., CD-ROM. ISBN 80-7300-102-0.
- [25] VIRIUS, M. M. Virius: C++Builder verze 5.0. . Praha : Grada Publishing,, 2000. 290 s. ISBN 80-7169-390-1.
- [26] ZAJÍC, Miloš. Často kladené otázky o LiIon člancích [online]. 2007 , [cit. 2009-12-13]. Dostupný z WWW: <http://www.zajic.cz/nablion/lionfaq.htm>>.

Abecední přehled použitých zkratek

API - Application Programming Interface

AVR - označení pro rodinu 8bitových mikročipů typu RISC s harvardskou architekturou od firmy Atmel

DPS – deska plošných spojů

GNU – „svobodný software“

HID – Human interface device

I/O - vstupní/výstupní

ISP – způsob programování přímo ve vlastním zařízení

MS - Microsoft

OZ – operační zesilovač

PC – osobní počítač

VID/PID – identifikátory USB zařízení

PID – Proporcionálně-integračně-derivační regulátor

PSD – Proporcionálně-sumačně-diferenciální regulátor

OS - Operační systém pro PC

PWM – Pulsně-šířková modulace

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1: Typická nabíjecí napěťová charakteristika NiCd a NiMH článků.....	6
Obr. 2: Závislost teploty na kapacitě NiCd a NiMH článku při nabíjení.....	6
Obr. 3: Životnost a kapacita baterie pro různé ukončovací techniky.....	8
Obr. 4: Průběh napětí a jeho derivace během nabíjení.....	8
Obr. 5: Vybíjecí charakteristiky NiCd a NiMH (podmínky: nabíjení proudem C/5 po dobu 5 hod. při teplotě 21°C).....	10
Obr. 6: Typická vybíjecí křivka Li-ion akumulátorů s různým jádrem.....	11
Obr. 7: Průběh napětí a proudu při nabíjení akumulátoru Li-ion proudem 1C.....	12
Obr. 8: Pyramidová topologie USB.....	13
Obr. 9: Vrstvový komunikační model USB sběrnice.....	14
Obr. 10: Konektory USB s označenými piny.....	14
Obr. 11: Umístění pull-up rezistoru pro komunikaci rychlosti 12 MBaut/s.....	15
Obr. 12: Začlenění bit-shuffingu a NRZI kódování do původního signálu.....	15
Obr. 13: Ukázka USB transakce.....	17
Obr. 14: Formáty paketů.....	18
Obr. 15: Hierarchie deskriptorů.....	19
Obr. 16: Blokový diagram obvodu FT2232H.....	21
Obr. 17: Schéma zapojení součástek přípravku pro dálkové ovládání PC.....	22
Obr. 18: Schéma pro měření proudu USB sběrnice (A-metr: ProsKit MT-1860, V-metr: METEX M-3800).....	23
Obr. 19: Vrstvová struktura nabíjecího systému se zobrazenými vstupy a výstupy pro uživatele.....	25
Obr. 20: Bloková schéma hardwarové části nabíječky baterií (modré cesty značí napájení).....	27
Obr. 21: Elektrické schéma zapojení součástek k mikrokontroléru jako USB řadiče (levá strana) a zapojení funkce ADC převodníku (pravá strana).....	28
Obr. 22: Základní princip BUCK CONVERTERU (I_{S-sep} – proud při sepnutém spínači S, I_{S-roz} – proud při rozepnutém spínači S).....	30
Obr. 23: Schéma zapojení spínaného snižujícího měniče.....	31
Obr. 24: Měření napětí a proudu na větvi, která nabíjí jak alkalické tak Li-ion akumulátory.....	32
Obr. 25: Měření napětí a proudu na větvi, která nabíjí jen alkalické akumulátory.....	34
Obr. 26: Architektura Libusb ovladače.....	35
Obr. 27: Náhled na konfigurační soubor s příponou <i>inf</i>	36
Obr. 28: Ukázka zařazení Libusb-win32 po instalaci ovladačů.....	36
Obr. 29: Vzhled formulářové aplikace pro obsluhu nabíječky z PC.....	37
Obr. 30: Ukázka horního menu.....	38
Obr. 31: Vývojový diagram funkce hlídajících stav nabíjení alkalických (NiCd a NiMH) akumulátoru.....	41
Obr. 32: Vývojový diagram funkce hlídajících stav nabíjení Li-ion akumulátoru.....	42
Obr. 33: Náhled na hlavní zdrojové soubory v AVR studiu při použití V-USB a programového PID reg.	43
Obr. 34: Diskrétní regulační obvod.....	44
Obr. 35: Bloková struktura PID regulátoru.....	44
Obr. 36: Zařazení do hlavního programu a struktura programového regulátoru.....	45

Seznam tabulek

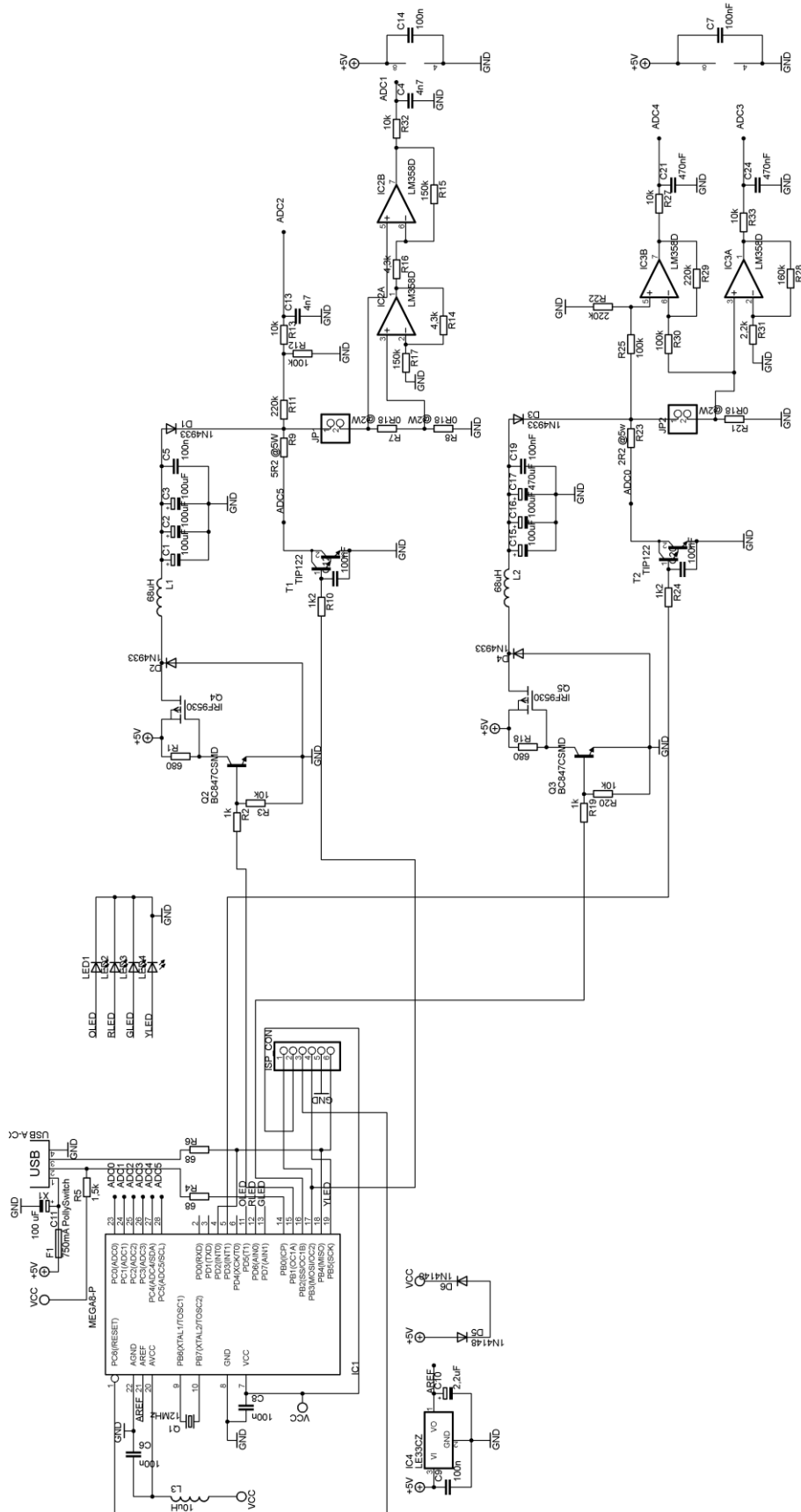
Tab. 1 Závislost ukončovací techniky na nabíjecím proudu	9
Tab. 2 Základní napěťové údaje vztažené k typu uhlíkové elektrody.....	11
Tab. 3 Souhrnné parametry všech tří výše zmiňovaných typů akumulátorů	12
Tab. 4 Značení a význam vodičů USB konektorů	14
Tab. 5 Typy a skupiny paketů USB sběrnice.....	18
Tab. 6 Informace o maximálním změřeném proudu USB sběrnice na daném hardware.....	23

Seznam příloh

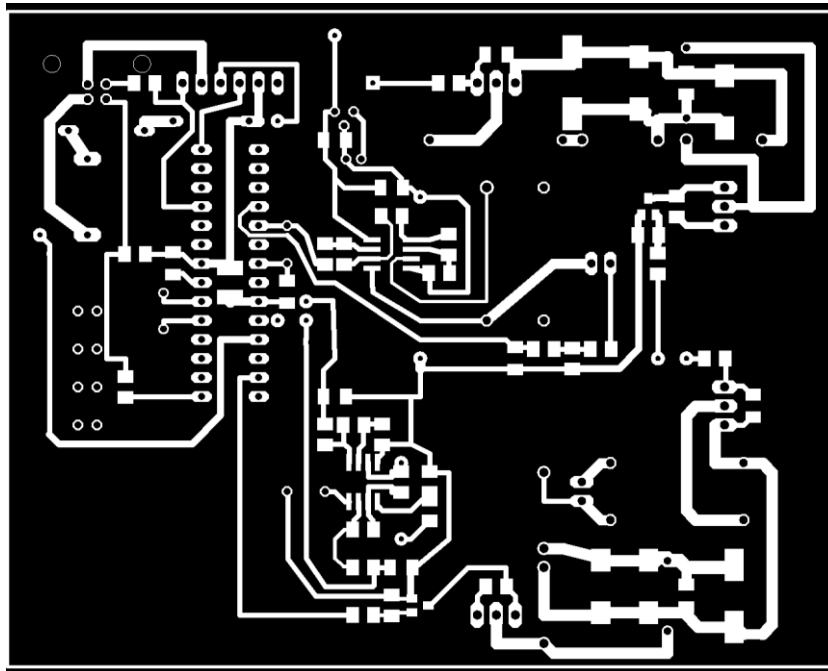
A.	Kompletní obvodové schéma nabíječky a desky tištěných spojů.....	55
B.	Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky pro různé akumulátory	60
C.	Náhled programu při nabíjení	62
D.	Obsah přiloženého optické disku	63
E.	Naměřené průběhy spínaného snižujícího měniče napětí uvedeného v kapitole 6.	64

Přílohy

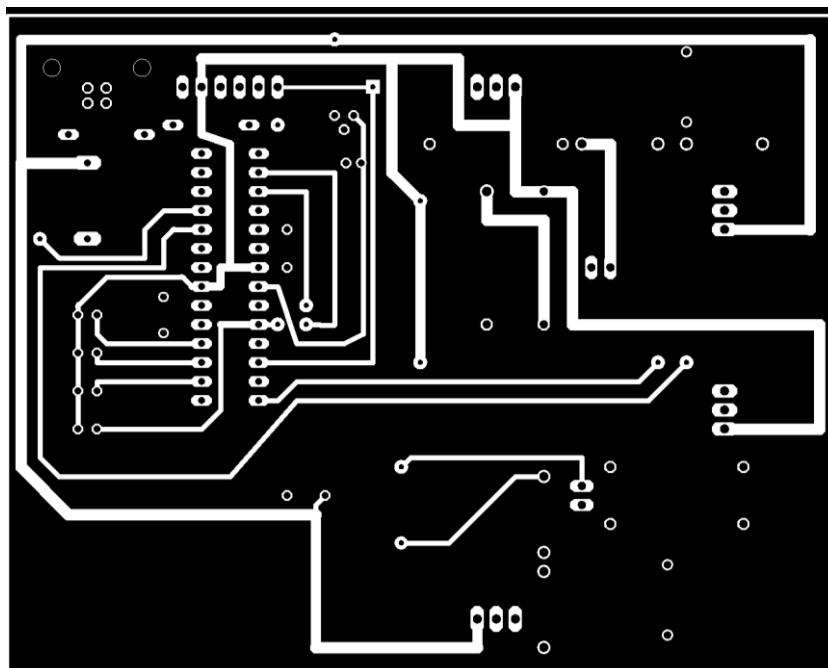
A. Kompletní obvodové schéma nabíječky a desky tištěných spojů



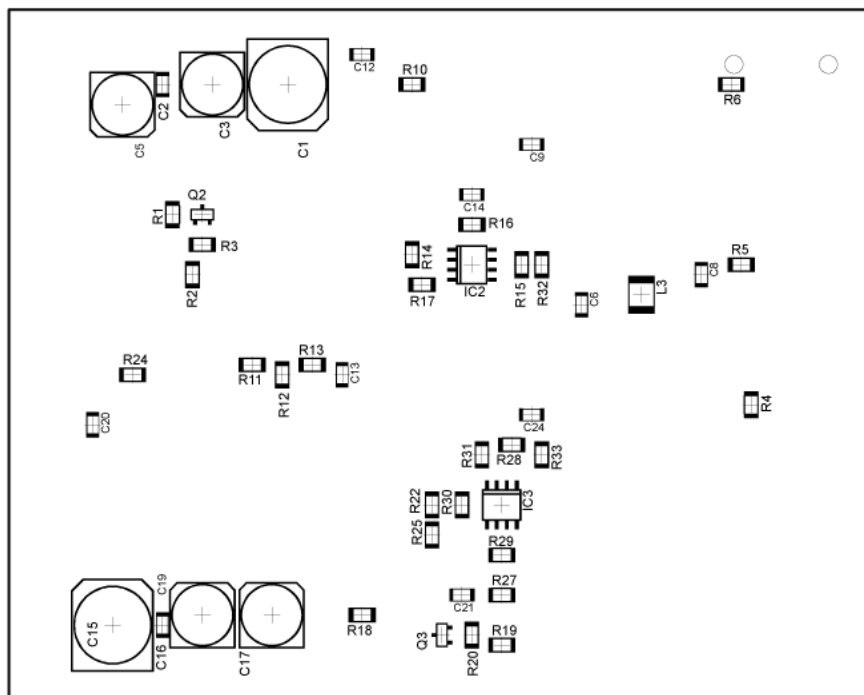
Príloha A. 1: Obvodové schéma nabíječky akumulátorů



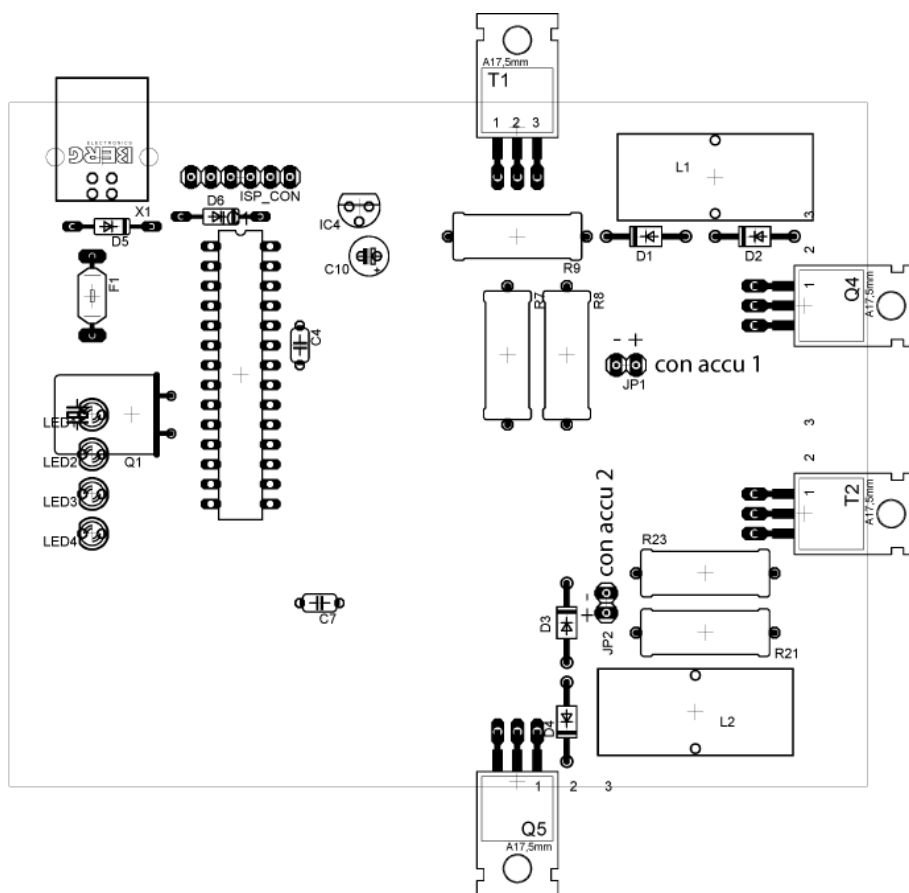
Příloha A. 2: Spodní strana DPS (11 x 8,8 cm)



Příloha A. 3: Horní strana DPS (11 x 8,8 cm)



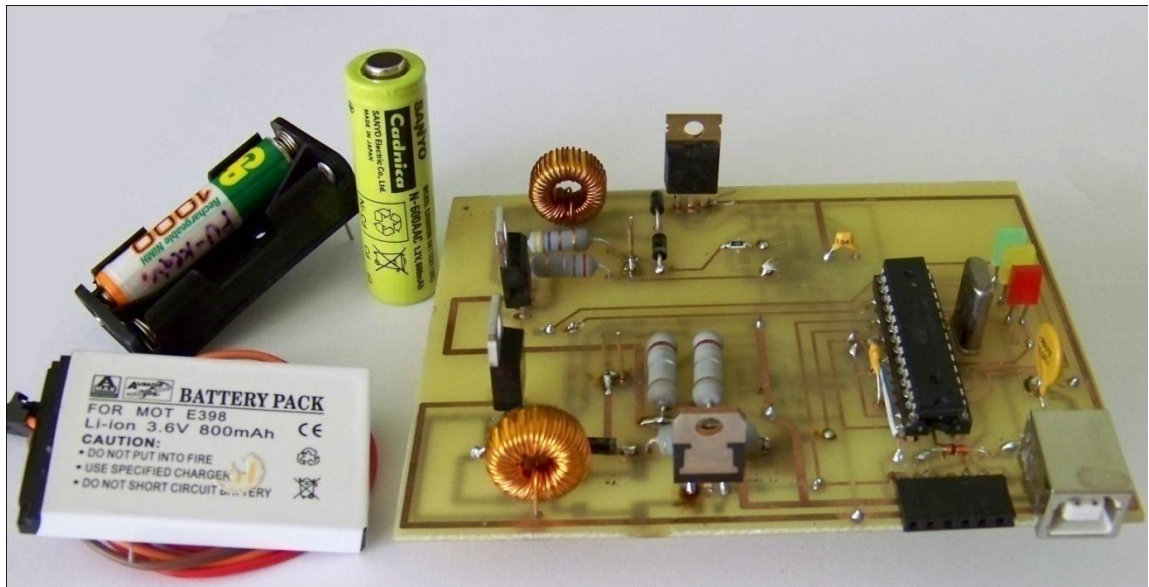
Příloha A. 4: Rozmístění součástek na spodní straně DPS



Příloha A. 5: Rozmístění součástek na horní straně DPS

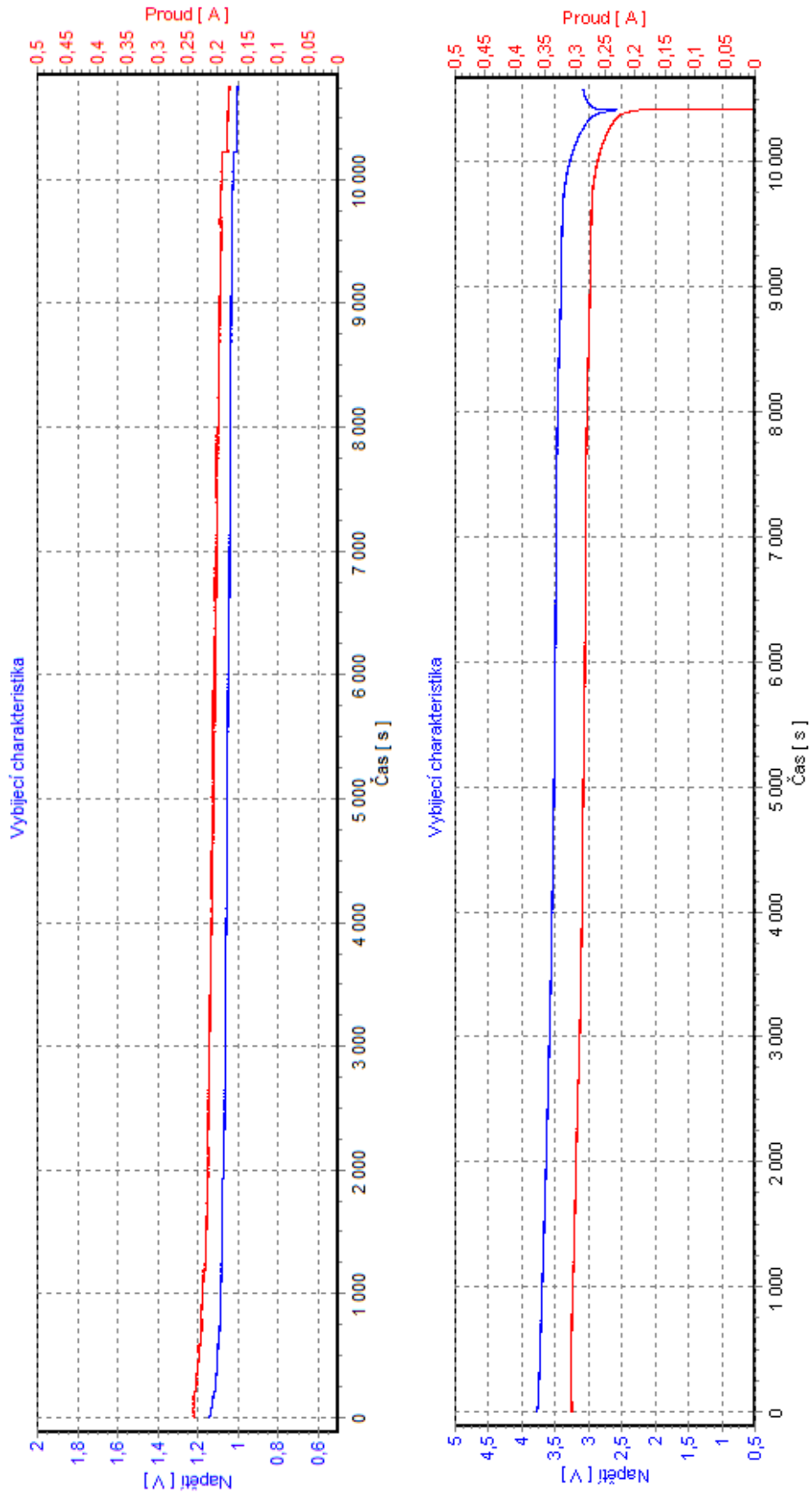
Označení	Hodnota	Pouzdro	Označení	Hodnota	Pouzdro
C1	100uF	1206	Q2	BC847CSMD	SOT23
C2	100uF	1206	Q3	BC847CSMD	SOT23
C3	100uF	1206	Q4	IRF9530	TO-220
C4	4n7	1206	Q5	IRF9530	TO-220
C5	100n	1206	R1	680R	1206
C6	100n	1206	R2	1k	1206
C7	100nF	1206	R3	10k	1206
C8	100n	1206	R4	68R	1206
C9	100n	1206	R5	1,5k	1206
C10	2,2uF	1206	R6	68R	1206
C11	100uF	1206	R7	OR18 2W	
C12	100nF	1206	R8	OR18 2W	
C13	4n7	1206	R9	OR18 5W	
C14	100n	1206	R10	1k2	1206
C15	100uF	1206	R11	220k	1206
C16	100uF	1206	R12	100k	1206
C17	470uF	1206	R13	10k	1206
C19	100nF	1206	R14	4,3k	1206
C20	100nF	1206	R15	150k	1206
C21	470nF	1206	R16	4,3k	1206
C24	470nF	1206	R17	150k	1206
D1	1N5818	DO-41	R18	680R	1206
D2	1N5818	DO-41	R19	1k	1206
D3	1N5818	DO-41	R20	10k	1206
D4	1N5818	DO-41	R21	OR18 2W	
D5	1N4148	DO-35	R22	220k	1206
D6	1N4148	DO-35	R23	OR18 5W	
F1	750mA	PollySwitch	R24	1k2	1206
IC1	ATMEGA168	DIL28	R25	100k	1206
IC2	LM358D	SO08	R27	10k	1206
IC3	LM358D	SO08	R28	160k	1206
IC4	LE33CZ	TO-33	R29	220k	1206
ISP_CON		1X06	R30	100k	1206
JP1		1X02	R31	2,2k	1206
JP2		1X02	R32	10k	1206
L1	68uH	L1812	R33	10k	1206
L2	150uH		T1	TIP122	TO-220
L3	10uH		T2	TIP122	TO-220
Q1	12MHz	HC47U-H	X1	USB	A-CON

Příloha A. 6: Seznam součástek

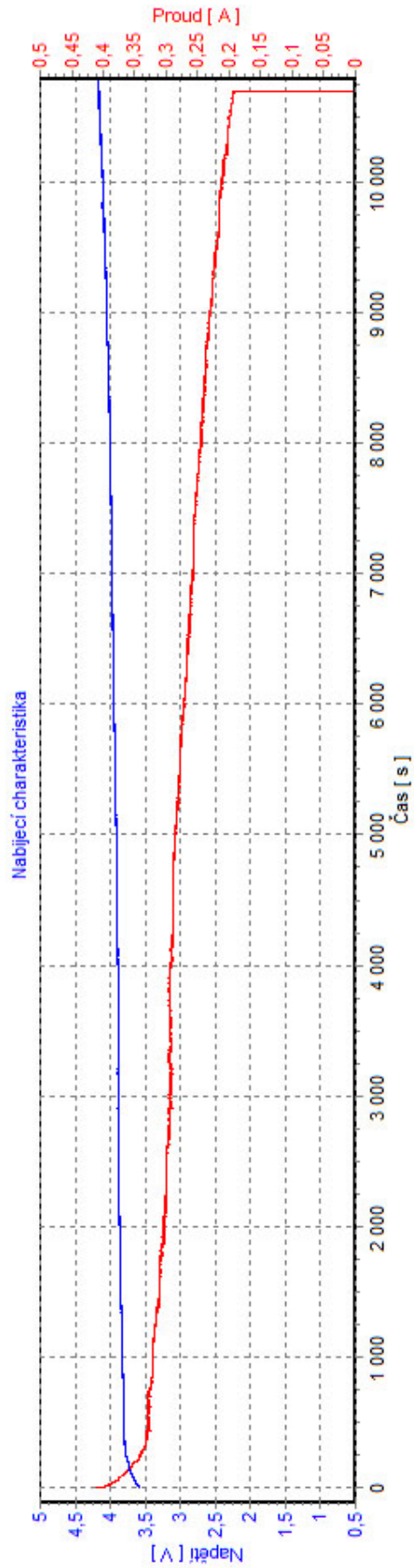
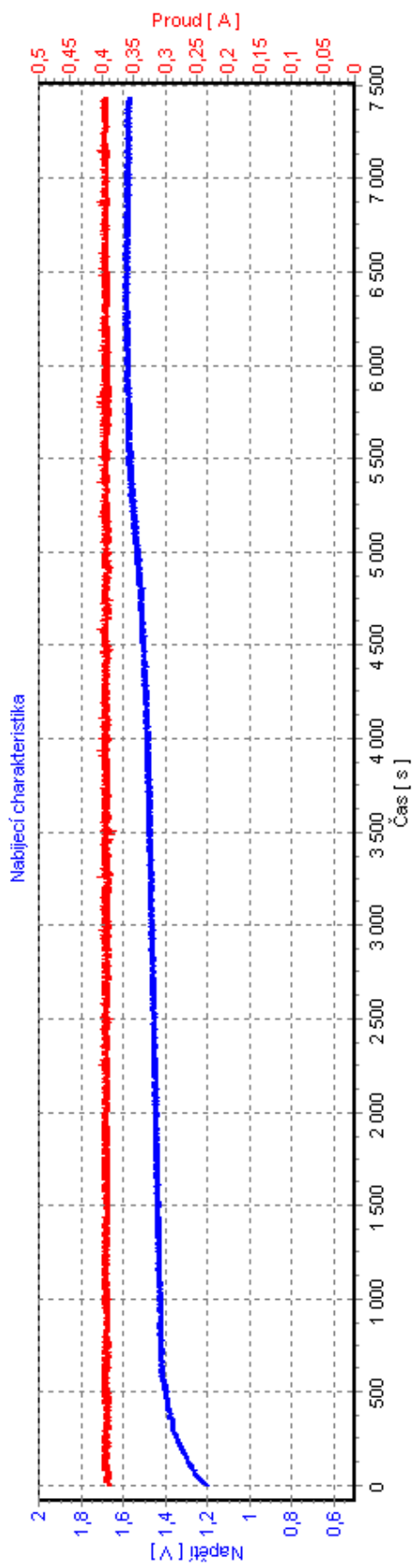


Příloha A. 7: Foto osazené DPS součástky

B. Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky pro různé akumulátory vytvořené programem pro obsluhu nabíječky

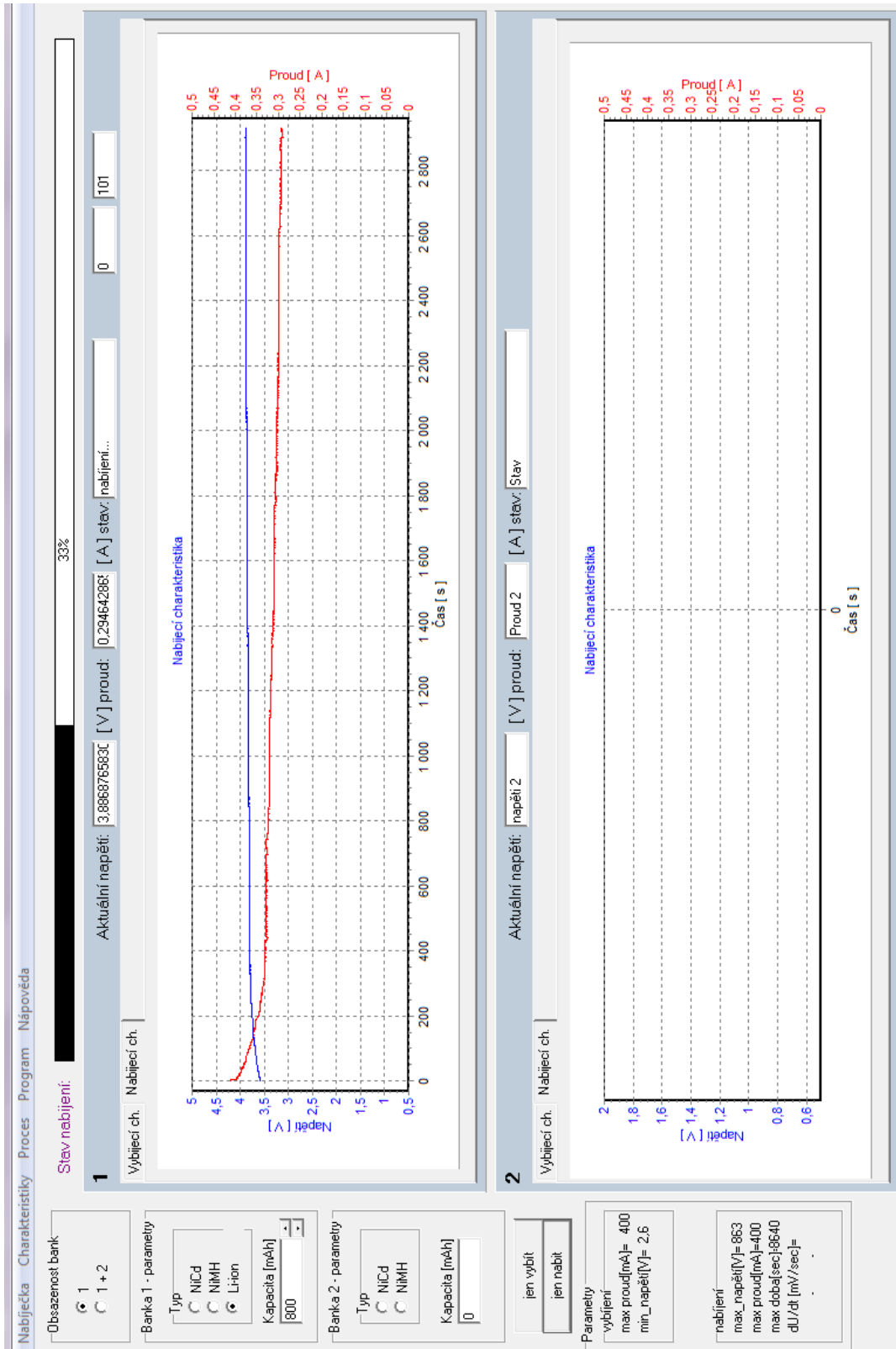


Příloha C. 6 a 2: Vybíjecí charakteristiky NiCd (600 mAh, nahoře) a Li-ion akumulátorů (800 mAh, dole)









Příloha C. 3 a 4: Nabíjecí charakteristiky NiCd (600 mAh, nahoře) a Li-ion (800 mAh, dole) akumulátorů (Rozptyl napětí a proudu viditelný na horní charakteristice je způsoben menší stabilitou snižujícího spínaného napětí – viz příloha E.)

C. Náhled programu při nabíjení

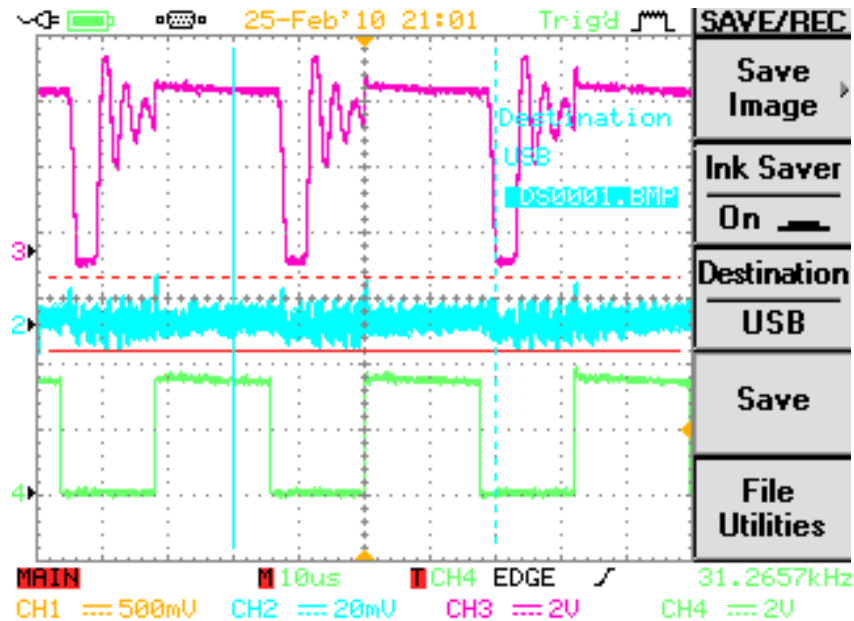


Příloha D. 1: Ukázka programu při nabíjení akumulátoru Li-ion s kapacitou 800mAh

D. Obsah přiloženého optické disku

-  DPS Eagle
-  LT Spice - simulace
-  Ovladače USB
-  Program pro PC
-  Program pro uP
-  Text diplomové práce

E. Naměřené průběhy spínaného snižujícího měniče napětí uvedeného v kapitole 6. 3. 2.



Příloha B. 1: Průběhy měřené pomocí osciloskopu Instek GDS2064 při 55% střídě PWM (CH2 průběh výstupní úrovně napětí na zátěži 50 Ω , CH3 průběh napětí na výstupu výkonového tranzistoru T2 – dle obvodového schéma na Obr. 23, CH4 PWM signál z mikrokontroléru), (časová osa je vodorovná a napěťová osa je svislá)