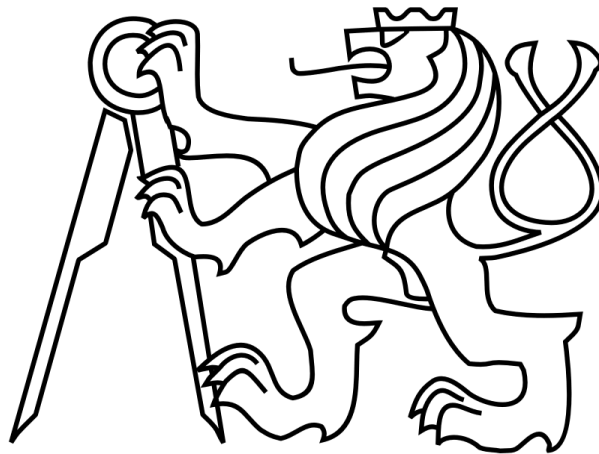


**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta elektrotechnická**

**katedra mikroelektroniky**



**Bakalářská práce**

**Inteligentní charakterizační nabíjecí stanice**

**Autor:** Miroslav Konečný

**Vedoucí práce:** Ing. Vladimír Janíček, Ph.D.,

**2017**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Konečný** Jméno: **Miroslav** Osobní číslo: **435000**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**  
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektronika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Inteligentní charakterizační nabíjecí stanice**

Název bakalářské práce anglicky:

**Intelligent Characterization Charging Station**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Prostudujte principy nabíjení moderních typů akumulátorů a obvody, které zajišťují tzv. power management.
- 2) Zvolte vhodný nabíjecí proces vzhledem k optimalizaci nabíjecího procesu a šířce podporovaných typů akumulátorů.
- 3) Navrhněte koncept a obvodové zapojení nabíjecí stanice.
- 4) Rozšířte možnosti nabíjecí stanice o možnost sledování nabíjecího procesu (např. displej, PC, paměť).
- 5) Zapojení zrealizujte a ověřte dosažení parametry.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Battery Management Systems, Plett G.L., ISBN-13: 978-1630810238.
- 2) Battery Management Systems, Volume II: Equivalent-Circuit Methods, Plett G.L., ISBN-13: 978-1630810276.
- 3) Battery Power Management for Portable Devices, Barsukov Y., ISBN-13: 978-1608074914

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Vladimír Janiček Ph.D., katedra mikroelektroniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **10.09.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



# **AUTHOR STATEMENT FOR UNDERGRADUATE THESIS**

I declare that the presented work was developed independently and that I have listed all sources of information used within it in accordance with the methodical instructions for observing the ethical principles in the preparation of university thesis.

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. 05. 2017

.....  
Miroslav Konečný

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Vladimírovi Janíčkovi, Ph.D., za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

## **Anotace**

Cílem této práce bylo zhodnotit dosavadní trh s možnými principy nabíjení akumulátorů a na základě tohoto posouzení navrhnout a vyrobit vhodný prototyp inteligentní charakterizační nabíjecí stanice. Tato práce je rozdělena na praktickou a teoretickou část.

V první části jsou popsány principy nabíjení a analýza trhu u mikroprocesorů, které jsou používány k řízení nabíjecích procesů pro běžné akumulátory.

V druhé části je popsána samotná realizace inteligentní charakterizační nabíjecí stanice.

## **Klíčová slova:**

CCS, nabíječka, nabíjení, mikroprocesor, HID

## **Abstract**

The aim of this work is to evaluate the existing market with possible principles of battery charging and on the basis of this assessment to design and produce a suitable prototype intelligent characterization charging station. This thesis is divided into practical and theoretical part.

The first part describes principles of charging and market analysis of microprocessors that are used to control charging processes for common accumulators.

The second part narrates the realization of intelligent characterization charging station itself.

## **Index Terms:**

CSS, Charger, Charging, Microprocessor, HID

# Obsah

1.	Úvod teoretické části.....	11
1.1	Historie akumulátorů .....	11
2.	Uvedení do problematiky .....	12
2.1	Seznam požadavků na budoucí nabíjecí stanici.....	12
3.	Základní druhy a typy elektrochemických napájecích zdrojů.....	13
3.1	Akumulátory NiCd .....	13
3.1.1	Proces nabíjení NiCd.....	13
3.2	Akumulátory NiMH .....	15
3.2.1	Proces nabíjení NiMH.....	15
3.3	Akumulátory Li-Ion.....	16
3.3.1	Proces nabíjení Li-Ion .....	16
3.4	Akumulátory SLA .....	17
3.4.1	Proces nabíjení SLA.....	17
3.5	Akumulátory Li-Pol.....	18
3.5.1	Proces nabíjení Li-Pol .....	18
3.6	Přehled základních parametrů různých typů akumulátorů .....	19
4.	Technologie nabíjení akumulátoru.....	20
4.1	Nabíjecí charakteristika typu U.....	20
4.2	Nabíjení charakteristikou typu I .....	20
4.3	Nabíjení charakteristikou typu W.....	21
4.4	Dobíjení článků nesymetrický střídavých proudem .....	21
5.	Možnosti ukončení nabíjení .....	22
5.1	Při dosažení zvoleného napětí - $U_{max}$ .....	22
5.2	Podle sklonu nabíjecí charakteristiky - $\Delta U/\Delta T$ .....	22
5.3	Po dosažení zvolené teploty - $t_{max}$ .....	22
5.4	Po uplynutí nastaveného času - $T_{max}$ .....	22
6.	Obvody pro nabíjení.....	23
6.1	Computer Charge System.....	23
6.2	Electrode Charging Specific .....	23
6.3	Linear Technology.....	24
6.4	Řídicí obvody MAXIM .....	24
6.5	Integrovaný obvod Philips TEA1x.....	25
6.6	Přehled vybraných integrovaných obvodů .....	26
7.	Závěr teoretické části .....	28
8.	Úvod praktické části.....	29
8.1	Popis a funkce modulu CCS9620 EB EV3.....	29
8.2	Zapojení a přípojky modulu .....	30
8.3	Správné nastavení parametrů pro nabíjecí modul.....	31
8.3.1	R9 Přizpůsobení na napětí akumulátoru (počet článků):.....	31
8.3.2	R17 Napěťové omezení maximální napětí: .....	31
8.3.3	R1 Nastavení nabíjecích proudů.....	32



8.3.4	Nastavení modulu pro digitální analýzu vzorků.....	32
8.4	Vypočtené ovládací rezistory .....	33
9.	Schématický návrh řídicí logiky .....	35
9.1	Schéma zapojení první části .....	35
9.2	Schéma zapojení druhé části .....	39
10.	Výroba desky plošného spoje.....	43
10.1	Postup při výrobě DPS.....	43
11.	Programová část.....	44
11.1	Problematika vývoje .....	44
11.2	Vývojový diagram .....	46
12.	Prototyp charakterizační nabíjecí stanice.....	48
12.1	Parametry prototypu inteligentní nabíjecí stanice.....	50
13.	Závěr praktické části .....	51
14.	Seznam obrázků .....	52
15.	Seznam tabulek .....	52
16.	Použitá literatura .....	53
17.	Seznam příloh .....	54

## Seznam použitých zkratek a symbolů

I	A	Proud
U	V	Napětí
$T_{\max}$	°C	Maximální teplota
$t_{\max}$	s	Maximální čas
$R_9$	$\Omega$	Rezistor pro nastavení nominálního nabíjecího napětí
$R_{10}$	$\Omega$	Rezistor pro nastavení nominálního nabíjecího napětí
$R_3$	$\Omega$	Rezistor pro nastavení maximálního nabíjecího napětí
$R_{17}$	$\Omega$	Rezistor pro nastavení maximálního nabíjecího napětí
$V_{\text{nom}}$	V	Nominální nabíjecí napětí sekundárního článku
$V_{\max}$	V	Maximální nabíjecí napětí sekundárního článku
$I_{\text{ch}}$	I	Nabíjecí proud
$C_{\text{bat}}$	mAh	Kapacita akumulátoru
NiCd		Nikl-kadmiový akumulátor
NiMH		Nikl-metal hydridový akumulátor
SLA		Sealed Lead Acid akumulátor (elektrolyt není v tekutém stavu)
Pb		Olověný akumulátor (elektrolyt je v tekutém stavu)
Li-Pol		Lithium-Polymerový akumulátor
Li-Ion		Lithium-Ionový akumulátor
DPS		Deska plošného spoje
Bias		Systematická chyba
SMB		System Management Bus – (řídící sběrnice)
MicroSD		Formát výměnné flashové paměťové karty
MT		Označení propojky pro digitální analýzu vzorků
CCS		Computer Charge System
HID		Human Interface Device - (zařízení pro uživatelské rozhraní)

# 1. Úvod teoretické části

V dnešní době, v době moderních zařízení, bez kterých si život nedokážeme představit, se v téměř každém zařízení nachází akumulátor. Ve většině případů se akumulátory liší v typu či počtu článků a nás to nutí používat hned několik nabíjecích stanic. Právě to mě motivovalo k zamyšlení nad univerzální nabíjecí stanicí, která bude obohacena o testování akumulátorů.

Rozhodl jsem se prozkoumat trh v oblasti procesorových nabíječek a zvolit vhodnou a univerzální metodu nabíjení pro více typů akumulátorů. Hlavním kritériem při průzkumu trhu je schopnost nabíjet šetrnou metodou více typů akumulátorů v různém počtu sekundárních článků. Jako vedlejší parametry byly zvoleny schopnost rychlonabíjení a udržování akumulátoru v nabitém stavu.

## 1.1 Historie akumulátorů

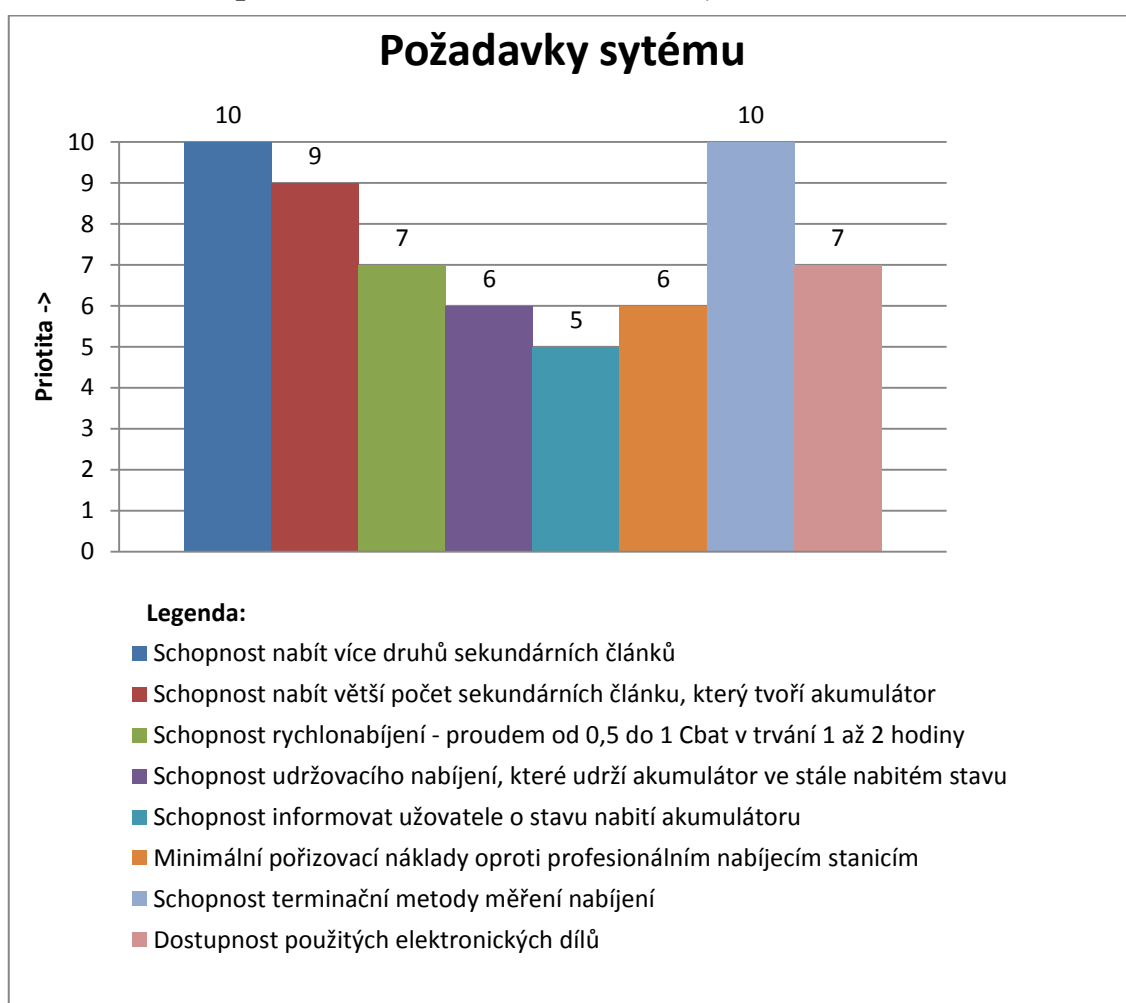
Elektrochemické zdroje proudu prodělaly od objevu galvanického článku A. Voltem koncem 18. století (olověný akumulátor v polovině 19. století, sobě podobné NiCd a NiM akumulátory na přelomu 19. a 20. století) období slávy i úpadku. Než v druhé polovině 19. století ovládl trh elektromagnetický generátor, byly galvanické články jediným použitelným zdrojem elektrické energie. Na výsluní a do popředí se dostaly s rozvojem radiotechniky a automobilů. V současnosti všechny zdroje existují vedle sebe a jsou dále zdokonalovány, aniž je třeba ten či onen zavrhnout. K obnově napájení nezávislého na elektrické síti pro civilní elektronická zařízení dochází v padesátých letech, kdy se objevily elektronkové přenosné radiopřijímače [1]. Další změna přichází s objevem a aplikací polovodičů. Koncem padesátých let se i u nás objevily první tuzemské tranzistorové přijímače, a tím začal rozmach přenosných elektronických přístrojů. Ten dospěl až k neutuchajícímu rozmachu dnešní doby, kdy se na trvalém pokroku podílejí všichni zúčastnění na straně nabídky moderní elektroniky – vývoj a výroba součástek, přenosných počítačů, přístrojů zábavní a komunikační elektroniky a samozřejmě také všeho ostatního, kde není žádoucí závislost na elektrické síti a primárních zdrojích. Přestože technologie moderních integrovaných elektronických součástek umožňuje navrhovat dokonalejší zapojení s nižší spotřebou, snaha o co nejvyšší množství funkcí (někdy běžným uživatelům ani nevyzkoušených) výslednou spotřebu, a tím i nároky na zdroj, spíše zvyšuje. Takovým příkladem jsou elektromotorky pro vibrační vyzvánění v mobilních telefonech. V některých případech je pro volbu mezi primárními a sekundárními články rozhodující jen úvaha uživatele přístroje. Jindy charakter zařízení prakticky jednoznačně vyžaduje napájení z akumulátorů a primární článek poslouží jen v případě nouze po vybití akumulátorů. Pak je důležité, aby doba, kdy je přístroj z důvodu vybití zdroje nepoužitelný, byla co nejkratší, aby poměrně drahé akumulátory vydržely co nejdéle a bylo možné je nabíjet sice co nejrychleji, ale tak, aby přitom byly respektovány vlastnosti použitého typu.

## 2. Uvedení do problematiky

Výrobci integrovaných obvodů nabízejí širokou škálu vhodných návrhů pro různé nabíjecí systémy. Získání přehledu není však pro vývojáře jednoduché. Nejdříve musí být vytvořen seznam požadavků na budoucí systém a s tímto seznamem musí být prověřeny jednotlivé možnosti nabíjení sekundárních článků.

Ideální nabíjecí stanice by měla umět nabíjet co nejšetrněji všechny druhy dostupných akumulátorů v různém počtu, a v co nejkratším čase za minimální pořizovací náklady.

### 2.1 Seznam požadavků na budoucí nabíjecí stanici



Obrázek 1: Požadavky systému

### 3. Základní druhy a typy elektrochemických napájecích zdrojů

Chceme-li se zabývat obvody pro řízené nabíjení akumulátorů, je nasnadě se zmínit nejprve o samotných akumulátorech. Proto tato kapitola bude krátce pojednávat o současně dostupných a perspektivních nabíjecích elektrochemických zdrojích. Tyto články se nazývají sekundární články neboli akumulátory, které umožňují vícenásobné vybíjení po obnovení kapacity nabíjením elektrickým proudem nebo napětím. Pokud je více článků navzájem spojených a uložených do jednoho tělesa, nazýváme tento zdroj baterií. Je však pravidlem, že se pojmy článek a baterie příliš nerozlišují. V současnosti jsou nejvíce rozšířené a snadno dostupné čtyři hlavní typy nabíjecích baterií. Jsou to niklo–kadmiové (NiCd), niklo-metal-hydridové (NiMH), olověné (Sealed Lead-Acid, SLA), lithium-iontové (Li-ion) a lithium-polymerové (Li-pol) akumulátory.

#### 3.1 Akumulátory NiCd

Elektrochemický systém, zatím i vzhledem k nižší ceně nejrozšířenějších, těsných akumulátorů NiCd, tvoří elektrody a alkalický elektrolyt. Kladná elektroda je ze spékaného (sintrovaného) hydroxidu niklu, který je velmi porézní. Zápornou elektrodu tvoří kadmium, což je vzhledem k jeho toxicitě jedním ze současných důvodů proti užívání těchto akumulátorů. Elektrody odděluje rovněž porézní, např. nylonový separátor. Elektrolyt je vodný roztok hydroxidu draselného (KOH), který je nasáklý v elektrodách a separátoru. Díky svému nízkému vnitřnímu odporu jsou stále aktuálním zdrojem pro spotřebiče [1].

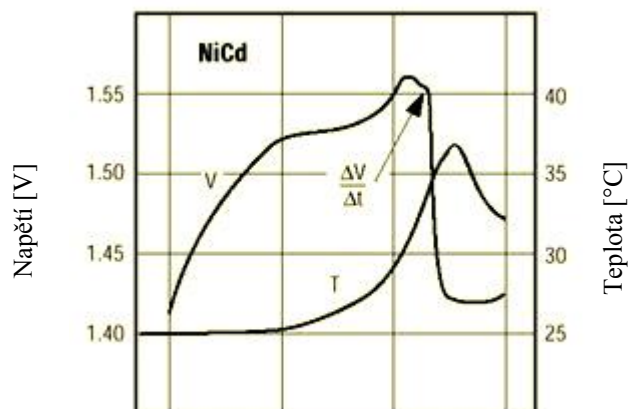
V zájmu jejich optimálního využití je vhodné dodržovat následující zásady:

- nezatěžovat trvale proudem větším než 20% hodnoty kapacity v Ah,
- standardní nabíjecí proud je 15% kapacity, při jeho použití je doba nabíjení 10h,
- pro urychlení nabíjení lze, pokud teplota článku nepřekročí 70°C, užít proud o 30% až 100% Ah kapacity, případně i více,
- v pohotovostním stavu lze nabitě akumulátory trvale udržovat proudem 2 až 3% Ah kapacity,
- do baterie je třeba spojovat jen články o stejné kapacitě a stavu nabití. Jinak hrozí nejdříve vybitému článku přepólování, které vede k jeho zničení,
- samovybíjení nabitých akumulátorů lze zpomalit skladováním při nižší teplotě.

##### 3.1.1 Proces nabíjení NiCd

Nabíjecí proces obnovuje schopnosti baterií, přičemž kapacita je ovlivněna proudem, teplotou okolí a časem. Základní princip je, že zvýšení nabíjecího proudu či napětí při stejné teplotě okolí vyvolá zvýšení potenciálu na obou elektrodách. Když je baterie plně nabitá, je dosaženo maximálního napětí, ale pokud je již přebíhá, nastane nepatrný pokles napětí. To je důsledkem zvýšení teploty kvůli exotermické kyslíkové rekombinační reakci. Díky tomu jevu uvnitř vznikne tlak. V uzavřených NiCd bateriích je vnitřní tlak navržen tak, aby během nabíjení zůstal v bezpečných úrovních, popřípadě, aby bezpečně opustil baterii, ale to vede ke zkrácení životnosti baterií. Obecně nejúčinnější nabíjení je při, nebo pod pokojovou teplotou, neboť

chemikálie obou elektrod jsou více stabilní při nižší teplotě. Kapacita záporné elektrody se přemísťuje do kladné elektrody a přebytek kapacity je označován jako nabíjecí rezerva článku [3].



Obrázek 2: Nabíjecí charakteristika NiCd článku dle [8]

## 3.2 Akumulátory NiMH

Záporná elektroda těchto článků, které mají téměř dvojnásobnou energetickou hustotu než NiCd, je z kovové slitiny (např. lantan - nikl) schopné absorbovat vodík. Kladná elektroda je z práškového niklu, který se při nabití přemění na hydroxid niklu. Elektrolytem je opět hydroxid draselný. Nevýhodou vůči NiCd je jejich vyšší cena a rychlejší samovybíjení, které se zpomalí při teplotě okolo 5°C, při níž je tedy vhodné nabité články skladovat. Při opakovaném neúplném vybití a plném nabití u nich dochází změnami ve struktuře elektrod ke snížení napětí. Podobně jako paměťový jev u NiCd, mizí tento stav po úplném vybití s následným plným nabitím [1].

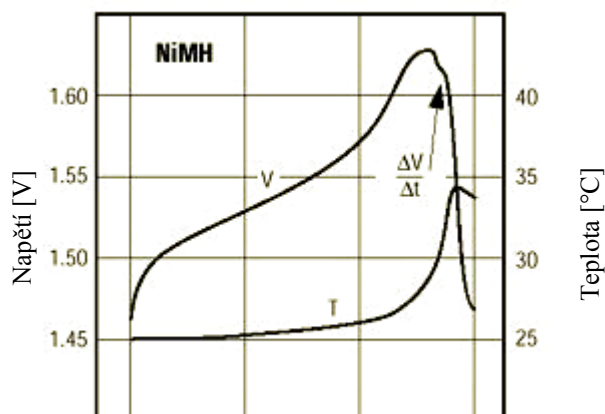
Vlastnosti NiMh akumulátorů:

- při vybití baterií z více článků opět hrozí přepólování a je proto nutné je vytvářet z článků stejné kapacity,
- vzhledem k nízkému vnitřnímu odporu je třeba zamezit vzniku zkratu, případně použít tepelnou pojistku, která obvod rozpojí,
- při skladování, které může být až několik let by měla být teplota mezi -20°C a +35°C,
- baterie nelze vytvářet z článků různých elektrochemických systémů.

### 3.2.1 Proces nabíjení NiMH

Samotný proces nabíjení je velmi podobný NiCd akumulátorům, ale tyto baterie nemají charakteristický nárůst a pokles napětí při dosažení 100 % kapacity.

U nabíjení je nutné si zvolit vhodnou teplotu, vybrat co nejlepší nabíjecí charakteristiku a hlavně hlídat teplotu, jelikož nabíjení je reakce exotermická. U těchto baterií je nutné dávat si velký pozor na přehřívání, neboť k němu může dojít velmi snadno. I když jsou tyto akumulátory navrženy s kyslíkovým rekombinačním mechanismem, který zpomalí nahromadění tlaku při přehřívání, má přehřívání vliv na chemickou reakci v kladné elektrodě, kde přestane reagovat hydroxid nikelnatý s hydroxidovou skupinou a začne se vytvářet kyslík. Tento kyslík putuje k záporné elektrodě, kde reaguje s vodíkem na vodu. Pokud je generace Kladná elektroda kyslíku rychlejší než reakce s vodíkem, vznikne v baterii nadměrný kyslíkový tlak. Tento tlak může mít za následek únik kyslíku bezpečnostním otvorem. To znamená snížení kapacity a doby života akumulátorů. [6]



Obrázek 3: Nabíjecí charakteristika NiMh článku dle [8]

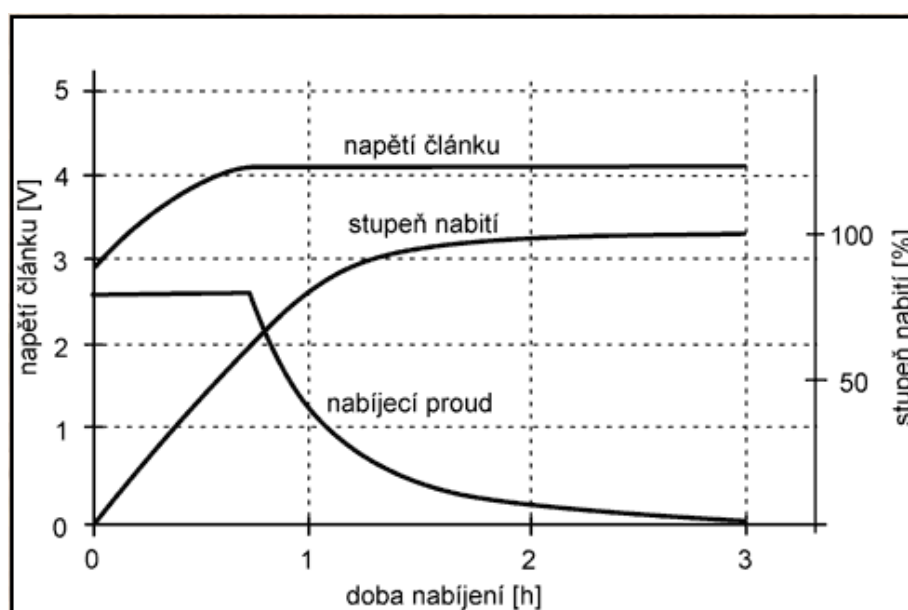
### 3.3 Akumulátory Li-Ion

Patří k posledním inovacím baterií z hlediska elektrochemického systému. I když v objemové hustotě energie předstihují NiMH jen asi o 10-30%, v hmotnosti převyšují těžké NiMH asi dvakrát, což je u přístrojů jako jsou např. přenosné počítače a videokamery důležitá výhoda. Kladnou elektrodu tvoří lithium s oxidy kovů jako např. kobalt, záporná je z materiálu na základě uhlíku. Elektrolytem je sůl lithia v organickém roztoku. Mají však také řadu omezení, zvláště v značné citlivosti k přebíjení a nedostatečnému nabití. Aby pojmulý maximální množství energie, je třeba je nabít na napětí, které musí být velmi přesně dodrženo a bývá, podle výrobce, 4,2 V až 4,3 V na článek. Rovněž jsou citlivé na maximální hodnotu vybíjecího proudu. Opakované nadměrné vybíjení vede ke ztrátě kapacity.

#### 3.3.1 Proces nabíjení Li-Ion

Nabíjení je zpravidla rozděleno do dvou fází. Během první fáze je akumulátor nabíjen konstantním proudem (viz obr. 4). Ve chvíli, kdy článek dosáhne maximálního nabíjecího napětí (4,2 V u LiCoO<sub>2</sub>), nabíječ přepne režim na konstantní napětí. S přibývajícím kapacitou klesá nabíjecí proud, jehož hodnota v konečné fázi rozhoduje o ukončení nabíjení.

Na rozdíl od niklových akumulátorů se Li-ion při správném nabíjení znatelně nezažhívají. Oproti tomu však nelze jejich nabíjení urychlit kvůli omezenému maximálnímu napětí. Útěchou však může být skutečnost, že během nabíjení konstantním proudem akumulátor dokáže vstřebat cca 80 % kapacity, přičemž tato fáze trvá přibližně hodinu. Zbylých cca 20 % článku pojme během asi dvou hodin. Obecně se uvádí, že vystavovat Li-ion maximálnímu napětí při fázi konstantního napětí je dobré provádět po co nejkratší dobu. To lze ovlivnit nižšími proudy nabíjení konstantním proudem. Nejpoužívanější ukončovací metodou je pokles proudu, někdy také pevný časový interval pro fázi konstantního napětí. To je ovšem vhodné u nabíječe pro konkrétní typ a kapacitu, jinak může být akumulátor nepřiměřeně napětově namáhán. [10]



Obrázek 4: Nabíjení Li ion článku dle [7]

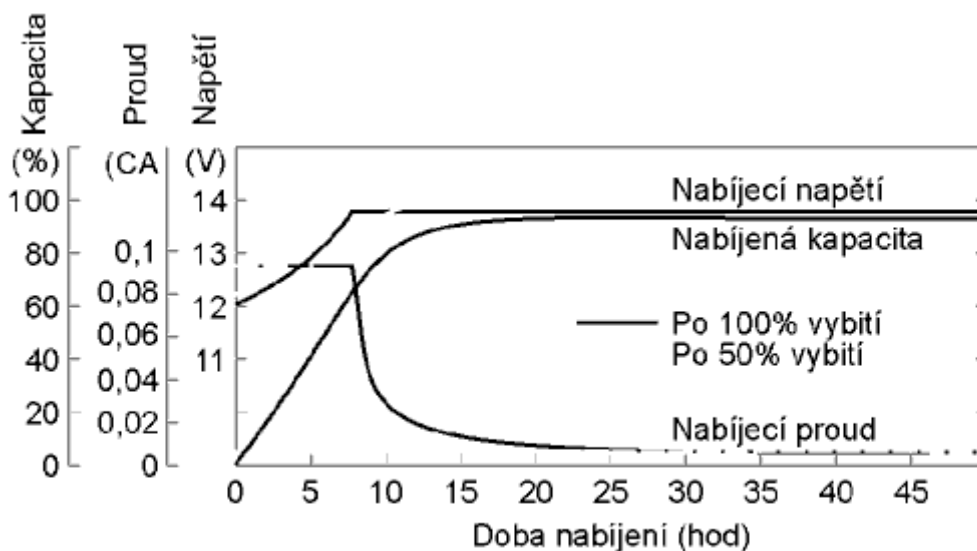


### 3.4 Akumulátory SLA

Olovňý akumulátor je zdrojem elektrické energie tam, kde se jedná o větší kapacity, řádově ampérhodiny a více. Olovo jako záporná, kysličník olova jako kladná elektroda, jako náplň kyselina sírová. Probíhající chemický proces při nabíjení a vybití je vratný a teoreticky bezztrátový. Ve skutečném provozu však dochází k úbytku vody, která se proto musí občas doplňovat a k vývinu plynů, které jsou při větší koncentraci výbušné. Navíc jsou akumulátory náchylné k mechanickému poškození olověných desek v důsledku otřesů. Při větším naklonění, nebo poškození pouzdra je zde nebezpečí, že kyselina sírová vyteče. Rovněž objemová účinnost ( $\text{Ah/m}^3$ ) není právě nejlepší. Ale přes všechny výhody se tento typ akumulátoru stále používá a to zejména pro svoji schopnost krátkodobých velkých vybíjecích proudů potřebných pro startování spalovacích motorů.

#### 3.4.1 Proces nabíjení SLA

Obecně olověné akumulátory můžeme ideálně nabíjet třístupňovým nabíjením. To se skládá ze třech částí nabíjení konstantním proudem (rychlé nabíjení), dále konstantním napětím (absorpční část) a na konec udržováním nižším napětím.



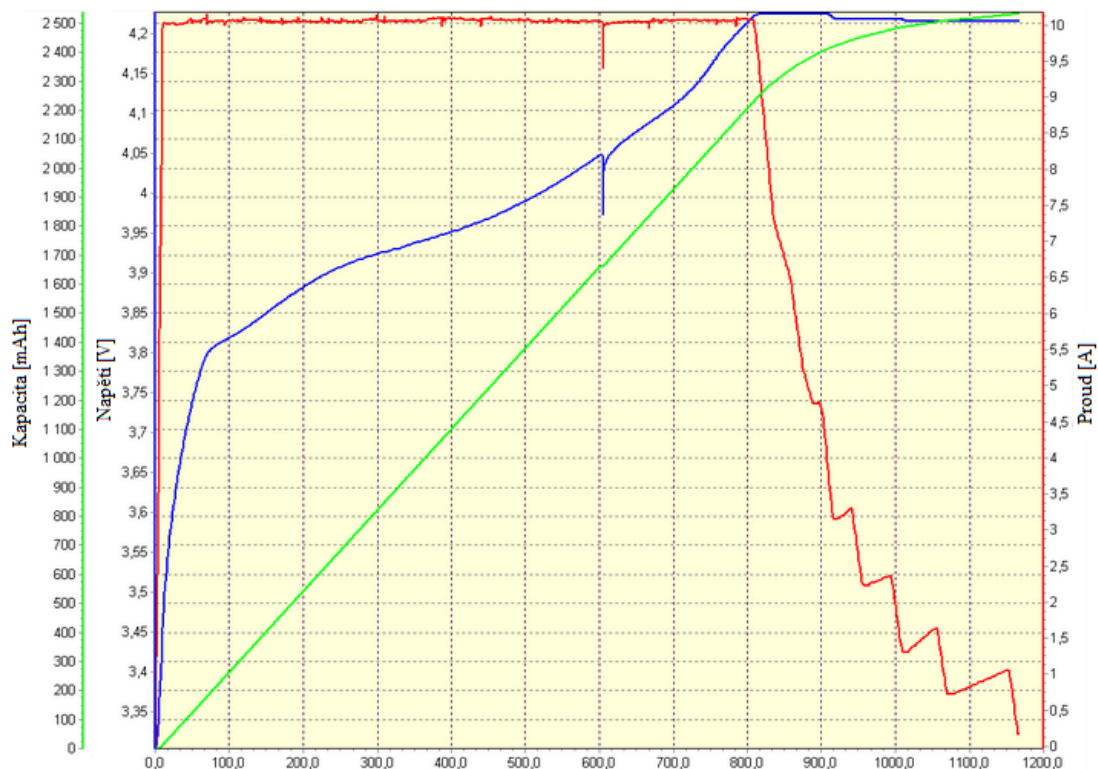
Obrázek 5 Graf - nabíjení konstantním napětím dle [11]

## 3.5 Akumulátory Li-Pol

Lithio-polymerový akumulátor používá pevný elektrolyt. Katoda sestává z oxidu lithia a kobaltu nebo z oxidu lithia, niklu a kobaltu. Anodu tvoří sloučeniny grafitu. Lithium polymerové baterie jsou velmi lehké. V porovnání s typem Li-Ion je typ Li-Pol při stejné kapacitě asi o 10 až 15% lehčí, ale o 10 až 20% objemnější. Při nízkých teplotách kolem bodu mrazu články ztrácí až 50% své kapacity, naopak při vyšších teplotách nad 45°C může článek v krajním případě vzplanout či vybuchnout. Časté vystavování těmto teplotám výrazně zkracuje počet pracovních cyklů. Obecně lithium-polymerové články jsou dnes nejpokročilejší prakticky používanou variantou skladování elektrické energie, přesto na trhu mezi výrobky nejsou nejrozšířenějšími, důvodem je cena.

### 3.5.1 Proces nabíjení Li-Pol

Nabíjení se provádí podobně jako u akumulátorů typu Li-ion. Nejprve v režimu konstantního proudu. Po dosažení napětí 4,2 V na článku přejde nabíjení do režimu konstantního napětí, kde je toto napětí udržováno a proud je postupně snižován. Nabíjení je ukončeno ve chvíli, kdy nabíjecí proud klesne na 10% hodnoty proudu v konstantním režimu. Nabíjecí proud ale vůbec nemusí být konstantní, jeho změny v průběhu nabíjení nevadí, neměl by ale překračovat doporučenou velikost. [3]

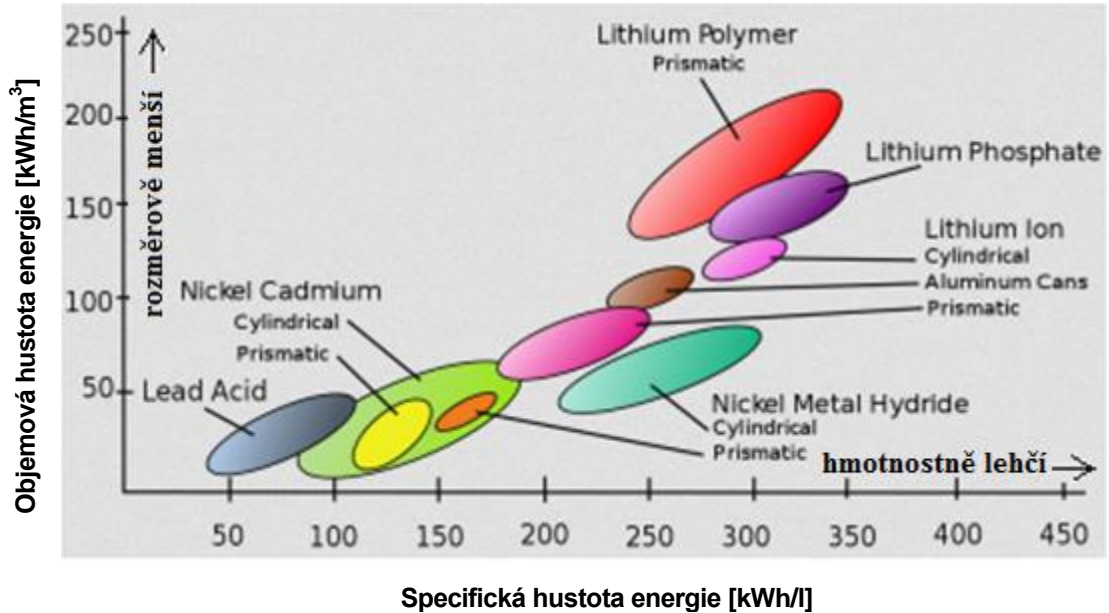


Obrázek 6: proces nabíjení Li-Pol článku dle [10]

### 3.6 Přehled základních parametrů různých typů akumulátorů

Tabulka 1: Srovnání různých typů akumulátorů dle [5]

Typ akumulátoru	Záporná elektroda	Kladná elektroda	Nominální napětí (V)	Teoretická měrná hustota energie (Wh/kg)	Běžná měrná hustota energie (Wh/kg)	Běžná objemová hustota energie (Wh/l)
Lead-Acid	Pb	PbO <sub>2</sub>	2	252	35	70
Nickel Cadmium	Cd	NiOOH	1,2	313	45	60
Nickel Hydrogen	H <sub>2</sub>	NiOOH	1,2	434	55	60
Nikel Metal Hydride	Mh	NiOOH	1,2	278-800	70	170
Nickel Zinc	Zn	NiOOH	1,6	372	60	120
Lithium Ion	Li	Li <sub>2</sub> CoO <sub>2</sub>	3,6	766	120	200
Lithium Polymer	Li	LiCoO <sub>2</sub>	3,7	836	180	300



Obrázek 7: vztah objemu, hmotnosti a hustoty energie dle [2]

## 4. Technologie nabíjení akumulátoru

Ke zjištění nabitého stavu akumulátorů existují různé metody. Většina vyráběných řídicích obvodů kombinuje několik těchto metod zjišťování nabitého stavu akumulátorů.

### 4.1 Nabíjecí charakteristika typu U

Tato charakteristika počítá s nabíjením konstantním napětím. Po připojení vybitého akumulátoru k nabíječi začíná nabíjení velkým počátečním proudem. Ten způsobuje rychlé ohřátí elektrolytu. Velikost konstantního napětí má být nastavena na plynovací napětí nabíjeného akumulátoru s poměrně velkou přesností, která je alespoň 1 %. Tento způsob nabíjení umožňuje nabíjet větší množství baterií o stejném svorkovém napětí zapojených paralelně. U těchto typů nabíječe je nutné dát pozor, aby nedošlo ke zkratu na svorkách, nebo k připojení vadného akumulátoru. Nabíječ je nutné jistit proti velkému proudu, který by mohl takto vzniknout.

Pro nabíjení NiCd a NiMH akumulátorů se tento typ dá použít, přičemž se zvolí konstantní napětí 1,65 V až 1,72 V na článek. Tento způsob nabíjení uvedených akumulátorů není příliš výhodný, ale je v praxi celkem hodně využíván právě kvůli jednoduchosti a možnosti nabíjení více článků najednou bez jakéhokoliv nastavování či změny parametrů nabíječe.

### 4.2 Nabíjení charakteristikou typu I

Tyto nabíječe pracují na principu nabíjení konstantním proudem. Oproti typu „U“ mají mnoho výhod, ale samozřejmě i nějaké nevýhody. Mezi jednoznačné výhody patří zkratuvzdornost. Dále lze snadno zjistit množství energie dodané do akumulátorů, jelikož je to násobek nabíjecího proudu a času nabíjení. K samočinnému odpojení nabíječe lze použít časový spínač. Nevýhodou je větší doba nabíjení, to však lze odstranit tzv. rychlým nabíjením. V dnešní době jsou moderní obvody určené pro nabíjení akumulátorů NiCd a NiMH konstruovány výhradně pro nabíjecí charakteristiku typu I.

### 4.3 Nabíjení charakteristikou typu W

Typická charakteristika W se vyznačuje tím, že se zvyšujícím svorkovým napětím na akumulátoru během nabíjení se úměrně zmenšuje nabíjecí proud. Této charakteristiky se dosahuje u většiny nabíječů tím, že se do sekundárního nebo primárního obvodu transformátoru zařazuje omezující impedance. Nabíječe s touto charakteristikou jsou vhodné pro rychlé nabíjení. Pro různé druhy akumulátorů a optimální nabíjení je vhodný různý sklon charakteristiky W, takže lze takové nabíječe těžko konstruovat jako univerzální bez možnosti přepínání odboček transformátoru či impedancí. Používání nabíječe s charakteristikou W vyžaduje větší dohled během nabíjecího cyklu. Je zpravidla nutné, aby byl nabíječ vybaven kontrolním ampérmetrem. V podstatě by se dalo říct, že je to kombinace předchozích dvou typů, přičemž převládají nevýhody typu U.

### 4.4 Dobíjení článků nesymetrický střídavých proudem

Akumulátor bývá nabíjen proudem, který má takový charakter, že po každém časovém intervalu, v kterém se akumulátor nabíjí, následuje časový interval, kdy se akumulátor částečně vybíjí. Tato metoda má určité přednosti proti trvalému nabíjení stejnosměrným proudem nebo pulzujícím proudem. Má neobvykle velkou účinnost, protože tímto nabíjením se depolarizují elektrody.

Dále lze rozdělit nabíjení podle rychlosti dosažení žádané kapacity, a s tím i související velikost nabíjecího proudu.

## 5. Možnosti ukončení nabíjení

U profesionálních nabíjecích stanic se vzájemně kombinuje několik nejpoužívanějších možností ukončení nabíjení, které samozřejmě přihlíží k nabíjecí charakteristice akumulátoru z důvodu co nejšetrnějšího nabíjení.

### 5.1 Při dosažení zvoleného napětí - $U_{max}$

Jedna z nejobyčejnějších metod ukončení procesu nabíjení akumulátoru, je právě při dosažení napětí, které reprezentuje hodnotu nabitého akumulátoru. Přesnost měření reprezentujícího napětí je závislá na rozlišovací schopnosti A/D převodníku, který by měl být součástí nabíjecího obvodu.

### 5.2 Podle sklonu nabíjecí charakteristiky - $\Delta U/\Delta T$

Tato metoda zjišťuje strmost stoupání nabíjecí křivky, která u NiCd a NiMH článků klesá na konci nabíjecího procesu. Daný obvod, zajišťující tento typ ukončení, musí obsahovat převodník A/D. Převodník provádí odečet napětí akumulátorů v různých časech, které vyhodnocuje, zdali napětí roste, nemění se či klesá. Vzorkovací perioda převodníku je většinou dána časem nabíjení.<sup>1</sup>

### 5.3 Po dosažení zvolené teploty - $t_{max}$

Tento způsob je založen na porovnávání teploty akumulátorů a teploty okolí pomocí termistorů. Tato metoda, někdy zvaná jako blokovací, dokáže zjistit podchlazený i přehřátý akumulátor a při těchto krajních stavech blokovat nabíjení. Metoda není vhodná pro nabíjecí charakteristiku typu U, kdy dochází k rychlému nárůstu teploty elektrolytu. Také není moc vhodná při nabíjení většího počtu akumulátorů, které nejsou v jednom celku, protože měření volných článků je technicky náročné a nepřesné. Přesnost tohoto měření je obecně snížena nutností co nejlepšího tepelného styku s akumulátorem.

### 5.4 Po uplynutí nastaveného času - $T_{max}$

Tato metoda je jednoduchá a vyžaduje pouze časovač. Je nejvhodnější pro nabíjení podle charakteristiky typu I, jelikož lze jednoduše zjistit, jaký čas bude potřeba při nabíjení akumulátoru o známé kapacitě známým proudem. Tato metoda bývá často používána jako doplňková metoda k předchozím dvěma metodám, protože má jistící charakter.

---

<sup>1</sup> Nabíjecí proces se ukončí, pokud na výstupu A/D převodníku je logická hodnota reprezentující napětí nabitého článku.

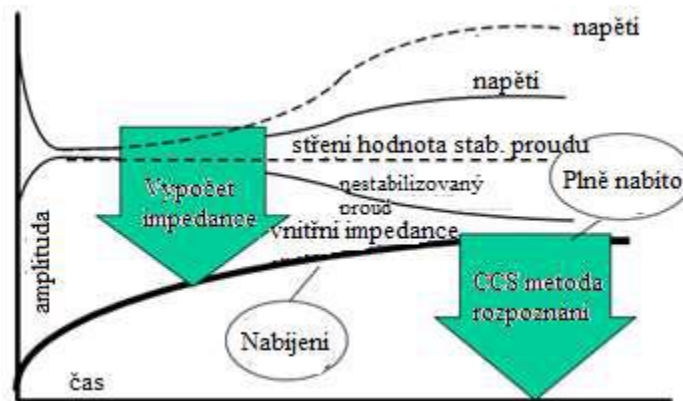
## 6. Obvody pro nabíjení

Obvodů pro nabíjení existuje celá řada. Od obyčejných napěťových stabilizátorů přes logické integrované obvody, až k obvodům, které dokáží komunikovat s SMB sběrnici. Touto problematikou se také zabývá celá řada světově uznávaných výrobců.

### 6.1 Computer Charge System

Jedná se o patentovaný Computer Charge System (CCS). Čip zjišťuje z časového průběhu napětí článků a nabíjecího proudu charakteristický parametr, který není výrobcem blíže specifikován. Toto měření odráží průběh nabíjecího procesu uvnitř článku a dává přesnou hodnotu při dosažení plného nabití, která se výborně hodí pro zjištění údajů daných výrobcem k určení vypínacích bodů.

Výrobce uvádí, že během nabíjení dochází k průběžnému měření impedance mezi elektrodami a elektrolytem. To má zaručit, že obvod dokáže nabíjet všechny existující technologie baterií, v jakémkoliv sériovém či paralelním řazení, bez jakéhokoliv přebíjení.



Obrázek 8: CCS proces terminace dle [12]

Dle ukázkových zapojení výrobcem lze odvodit, že se jedná o pulzní nabíječ, kdy je vždy na chvíli přerušen nabíjecí proud, a zároveň je měřeno svorkové napětí článku. Napětí je nutno odporovým děličem nejprve upravit tak, aby na vstupu CCS obvodu bylo maximálně 1,2 V.

CCS čip existuje v mnoha variantách. Jako univerzální řídicí obvod s nabíjecím proudem do 2A pro maximálně 15 článků se vyrábí obvod CCS9310. Varianta CCS9410 umožňuje například hlídat až 3 akupacky současně. Tyto čipy vyrábí BTI Büro für Technologie und Innovation (Graz, Rakousko). [4]

### 6.2 Electrode Charging Specific

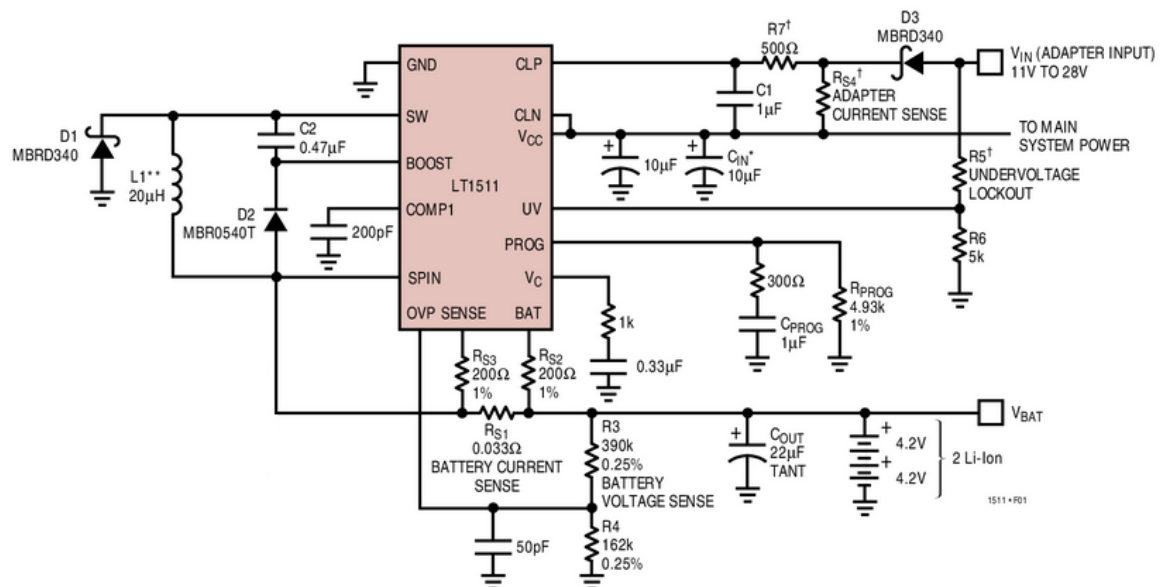
ECS-Elektrodově specifický nabíjecí systém, taktéž patentovaný, zpracovává potenciálové signály elektrod akumulátoru a získává tak informace o stavu akumulátoru. Výrobce tohoto čipu je Accu-Power, Graz. Výrobce dále uvádí, že pokud je dostatečný zdroj energie, tak ECS technologie dokáže bezpečně a šetrně nabít SLA akumulátor o jmenovité kapacitě 100Ah za méně než 30 minut. Dle prodejce ECS nabíjecích stanic Harpoon Ltd, je nabíjecí stanice AP-18 nejlehčí 50A nabíječka [14].

### 6.3 Linear Technology

Společnost Linear Technology nabízí velké množství nabíjecích obvodů, pro všechny dostupné akumulátory a nabíjecí proudy, až do 4 A. Většina těchto obvodů zvládá pracovat autonomně, je zde ale možnost obvody dále ovládat pomocí mikrořadičů a rozšiřovat některé z vlastností. V nabídce jsou lineární, spínané, pulzní obvody, případně jejich kombinace s měniči napětí apod.

S minimem vnějších součástek je schopen obvod LT1510 firmy Linear Technology řídit proces nabíjení tří nejběžnějších druhů akumulátorů - NiCd, NiMH a Li-Ion.

Obvod LT1510 je typický zástupce spínaných nabíjecích obvodů. Nejčastěji se používá v mobilních telefonech, v ručních terminálech atd. Obvod LT1511 je s nabíjecím proudem do 3A předurčen pro nabíjení akumulátorů v noteboocích nebo větších přenosných zařízeních. Tyto obvody s "adaptivním nastavováním velikosti nabíjecího proudu" mají také možnost nabíjet akumulátory během jejich používání.



Obrázek 9: LT1510 jako nabíječka Li-Ion článku [13]

### 6.4 Řídicí obvody MAXIM

Nabíjení s řídicími obvody MAXIM může probíhat v několika fázích. Některé obvody umožňují ještě před započítím nabíjení článku vybití a eliminovat paměťový jev<sup>3</sup>. Vlastní nabíjení článků zahajuje fáze rychlého nabíjení. V této fázi je doplněna podstatná část náboje celkové kapacity článku. Poté může následovat doplňková fáze s redukovanou hodnotou nabíjecího proudu – koncové nabíjení. Nabíjecí proces je zpravidla uzavřen tím, že malý udržovací proud hradí ztráty vznikající samovybitím článku. Integrované obvody MAXIM ukončují fázi nabíjení při výskytu některé z následujících událostí: určený nárůst teploty článku,

<sup>3</sup> Tento jev vzniká při opakovaném vybití NiCd akumulátorů (min. 50 –100 ×) na malou, ale vždy stejnou hloubku vybití. Jeho podstatou jsou změny krystalové struktury záporné elektrody. Je to reverzibilní jev snadno odstranitelný plným vybitím akumulátoru. Projevem paměťového efektu je vznik druhého vybití stupně, což je náhlý pokles napětí akumulátorového článku zhruba o 50 až 100 mV, při tom nedochází k poklesu kapacity článku. [15]



nulový přírůstek či pokles napětí na článku, překročení maximální teploty článku, nulový přírůstek či pokles napětí na článku, překročení maximální teploty článku, maximální doby nabíjení a maximálního dovoleného napětí na článku.

## **6.5 Integrovaný obvod Philips TEA1x**

Nabíjecí obvody řady TEA1x jsou určeny pro nabíjení čtyř nejpoužívanějších typů akumulátorů – NiCd, NiMh, Li-Ion, a SLA. Obvody umožňují nabíjet buď to konstantním proudem, nebo pulzně šířkovou modulací se současným monitorováním teploty. Pro vyhodnocení nabitého stavu akumulátoru obvody TEA1x využívají následující metody: při dosažení napětí nabitého článku, vyhodnocení sklonu nabíjecí křivky na konci nabíjení, vyhodnocování strmosti nárůstu teploty článku za čas.

## 6.6 Přehled vybraných integrovaných obvodů

Tabulka 2: Porovnání vybraných integrovaných obvodů, které jsou vhodné pro nabíjení [17]

Výrobce	Označení obvodu	PB	NiCd	NiMH	Li-ion	Alk.	Řízení nabíjení
Accu-Power,Graz	ECS	1..12	1..12	1..12	-	1..n	Elektrodově specifický nabíjecí systém
Benchmarq Microele.	BQ2002	-	1..n	1..n	-	-	Tmax,tmax,Umax,- ΔU, Peak Voltage Det.
	BQ2002T	-	1..n	1..n	-	-	Tmax,tmax,Umax, ΔT/Δt
	BQ2003	1..n	1..n	1..n	-	-	Tmax,tmax,Umax,ΔT/Δt,- U
	BQ2004	-	1..n	1..n	-	-	Tmax,tmax,Umax, ΔT/Δt,PVD
	BQ2004E	-	1..n	1..n	1..n	-	Tmax,tmax,Umax, ΔT/Δt,- ΔU,PVD
	BQ2005	-	1..n	1..n	-	-	Tmax, tmax, Umax, ΔT/Δt, -ΔU
	BQ2007	-	1..n	1..n	-	-	Tmax, tmax, Umax, - U,PVD
	BQ2031	1..n	-	-	-	-	Tmax, tmax, Umax, -ΔU, Imin
BTI Büro für Technologie und Innovation	CCS9310B2	1..n	1..n	1..n	1..n	1..n	Computer Charge System
	CCS9310CTC	1..n	1..n	1..n	1..n	1..n	Computer Charge System
	CCS9410ER	1..n	1..n	1..n	1..n	1..n	Computer Charge System
	CCS9505FK	1..n	1..n	1..n	1..n	1..n	Computer Charge System
	CCS9620LT	1..n	1..n	1..n	1..n	1..n	Computer Charge System
Linear Technology	LT1239	-	-	-	1..2	-	Iconst,Uconst
	LT1325CN	1..6	1..12	1..12	1..4	-	Iconst,Uconst
	LT1510	-	2..12	2..12	1..4	-	Iconst,Uconst
	LT1511	-	2..12	2..12	1..4	-	Iconst,Uconst
	LT1512	-	1..12	1..12	1..4	-	Iconst,Uconst
	LT1513	-	1..12	1..12	1..4	-	Iconst,Uconst

Výrobce	Označení obvodu	PB	NiCd	NiMH	Li-ion	Alk.	Řízení nabíjení
Maxim	MAX712	-	1..12	1..12	-	-	T,t,Umax, $\Delta T/\Delta t$ , $-\Delta U$
	MAX713	-	1..12	1..12	-	-	T,t,Umax, $\Delta T/\Delta t$ , $\Delta-U$
	MAX2003	-	1..12	1..12	-	-	T,t,Umax, $\Delta T/\Delta t$ , $\Delta-U$
	MAX2003A	-	1..12	1..12	-	-	T,t,Umax, $\Delta T/\Delta t$ , $\Delta-U$
Motorola	MC33340	-	1..16	1..16	-	-	T,t,lconst,- $\Delta U$
	MC33345	-	-	-	1..4	-	Li-Ion Protection
	MC33347	-	-	-	1..2	-	Li-Ion Protection
	MC33348	-	-	-	1	-	Li-Ion Protection
Philips Semiconductors	SAA1501	2	2	2	1	-	Tmax,Bilance nabíjení
	TEA1101	-	1..n	1..n	-	-	Tmax,tmax,- $\Delta U$
	TEA1102	1..n	1..n	1..n	1..n	-	Tmax,tmax,- $\Delta U$ , $\Delta T/\Delta t$
	TEA1104	-	1..n	1..n	-	-	Tmax,tmax,- $\Delta U$
	TEA1400	-	1..6	1..6	-	-	-
Temic GmbH	U2400B	-	1..n	1..n	-	-	Tmax Umax, tmax
	U2402B	-	1..n	1..n	-	-	Tmax, -VU,Top-off,Udržovací nabíjení
	U2403B	-	1..n	1..n	-	-	tmax, Udržovací nabíjení
	U2405B	-	1..n	1..n	-	-	Tmax, - $\Delta U$ ,Top-off,Udržovací nabíjení
	U2407B	-	1..n	1..n	-	-	Tmax, - $\Delta U$ ,Top-off, Udržovací nabíjení

## 7. Závěr teoretické části

Po důkladném přezkoumání možností nabíjecích procesů u běžně vyskytujících se akumulátorů v domácnostech, s přihlédnutím na dostupnost nabíjecích obvodů na prodejním trhu, jsem došel k závěru, že z vybraných obvodů pro řízené nabíjení akumulátorů je vhodná technologie CCS od výrobce BTI Büro für Technologie und Innovation.

CCS čip umožňuje nabíjet všechny požadované typy akumulátoru v rozsáhlém počtu (omezení ve vstupním napětí obvodu). Některé CCS obvody umějí rychlonabíjení a zároveň tzv. udržovací nabíjení. Jejich hlavní výhodou je, že všechny obvody jsou schopné využívat CCS terminační metodu nabíjení založenou na měření impedance mezi vnitřní elektrodou a elektrolytem chemických článků. Díky této terminační metodě nemůže dojít k přebití a následnému poškození nabíjeného sekundárního článku.

Možným znevýhodněním pro vývojáře nabíjecí stanice s využitím CCS kontroléru je, že samotný kontrolér obsahuje sériový výstup, jehož protokol, není výrobcem nikde zveřejněn z důvodu patentované technologie.

Pro tvorbu nabíjecího obvodu byl vybrán modul procesorové nabíječky CCS9620 EB EV3.

## 8. Úvod praktické části

V praktické části budou popsány možnosti nastavení zakoupeného modulu procesorové nabíječky CCS9620 EB EV3 a návrh plošného spoje s realizací sekundárního řídicího obvodu, který slouží k informování uživatele o aktuálním stavu nabíjecího modulu a akumulátoru s možností ukládání nabíjecích parametrů do přenosné paměťové karty.

### 8.1 Popis a funkce modulu CCS9620 EB EV3

Evaluation Board CCS9620EV3 je univerzální předpřipravený modul pro vestavbu do rychlonabíjecích přístrojů vlastnosti modulu viz. tabulka 3. Evaluation Board CCS9620EV3 se skládá z regulátoru výkonu, který reguluje příkon proudu do akumulátoru, inteligentní nabíjecí kontrolér (CCS9620), který řídí regulátor výkonu a odpojení nabíjecího proudu v určitém čase a 5V napěťový regulátor pro interní a externí (max.50mA) zdroj proudu. Jen pomocí menšího nastavení je možné nabíjet akumulátory rozdílných technologií a typů (např.: NiCd, NiMh, olovené, gelové apod.) kapacit a počtu článků (sériové sepnutí), stejným nabíjecím proudem podle celosvětově patentované CCS technologie. Díky CCS technologii budou akumulátory rychle nabity s nejvyšší precizností (použití také v medicíně a zabezpečovací technice). Tím je prodloužena životnost akumulátorů a je zabráněno vedlejším škodlivým efektům, jako je např.: paměťový efekt.

**Tabulka 3: funkce modulu CCS9620 EB EV3**

Akumulátorová technologie:	NC, NMH, PB/SLA, Lion
Napětí akumulátorů:	0-20V <sub>m</sub> 1 – 10 článků (Ni)
Kapacita akumulátorů:	až 5Ah
Maximální napětí:	až 16V
Nabíjecí proud:	50mA do 1,2A
MT nastavení:	1h,2h,3h,4h
Nabíjecí procesor:	CCA9620SL

## 8.2 Zapojení a přípojky modulu

Všechny údaje se vztahují k zemnění (GND)

VIN: Napájecí napětí

GND: Zemnění

BAT: Plus pól akumulátoru (spojení minus pól akumulátoru s GND)

VP: OVP Over Voltage Protection (nutné pro Pb a Lion). R17 buďto vybavit interně (SMD nebo drátové zapojení) nebo externí přípojka a spojení s BAT. Pokud si nepřejete OVP (NC, NMH) R17 nechte otevřené.

UB: R9 (např.: voličový přepínač) připojit a spojit s BAT.

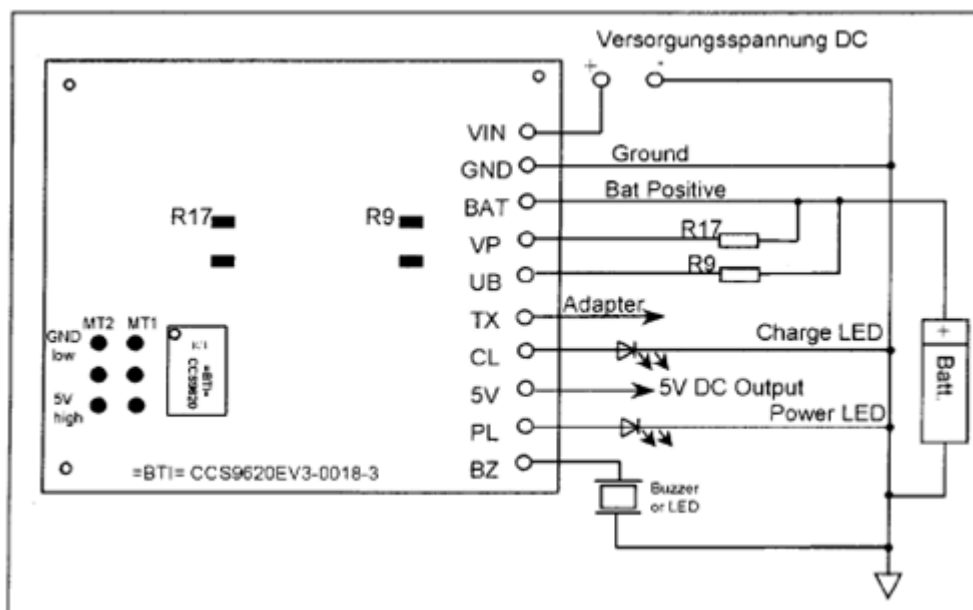
PL: Síťová LED: (Power LED) výstup musí být spojen s anodou (zelená) LED a katodou LED se zemněním.

CL: Nabíjecí LED (CL Charge LED) výstup musí být spojen s anodou (červená) LED a katodou LED se zemněním.

5V: Optimálně může být 5V spotřebič (max. zátěž 50mA) připojen na 5V výstup (5V DC-Output) a na zemnění.

BZ: Optimálně může být 5V piezo připojen na BZ (buzzer out) a zemnění.

TX: Optimálně může být datový kabel připojen k TX pin a zemnění.



Obrázek 10: Blokové schéma zapojení a přípojek modulu [16]

### 8.3 Správné nastavení parametrů pro nabíjecí modul

U modulu Evaluation Board CCS9620EV3 se změnou předem definovaných rezistorů změní parametry samotného nabíjecího procesu. Jmenovitě nominální napětí akumulátoru (8.3.1), maximální napětí na akumulátoru (8.3.2) a nabíjecí proud (8.3.3)

#### 8.3.1 R9 Přizpůsobení na napětí akumulátoru (počet článků):

S pomocí potenciometru R9/R10 musí být jmenovité napětí akumulátoru ( $V_{nom}$ ,  $V_{bat}$ ) rozděleno na 1,2V, aby mohl CCS nabíjecí procesor správně pracovat. Dělič napětí R9/R10 je určen vztahem (1) a jeho matematická úprava pro vyjádření rezistoru R9 je dána vztahem (1.1).

$$V_{nom} = 1,2 \cdot \left(1 + \frac{R_9}{R_{10}}\right) \quad (1)$$

$$R_9 = R_{10} \cdot \left(\frac{V_{nom}}{1,2} - 1\right) \quad (1.1)$$

#### 8.3.2 R17 Napěťové omezení maximální napětí:

Při nabíjení olovněných (Pb), gelových (SLA), Lion (nebo ostatní lithiové) musí být ohraničeno maximální nabíjecí napětí (při PB na 1,5 V/článek, lion 4,2 V/článek). Přesné hodnoty nalezneme v návodu k obsluze od výrobce akumulátorů. Maximální napětí je ohraničeno OVP inputem (Over Voltage Protection) LT1510. Napětí akumulátoru bude sníženo a rozděleno odpory R17/R3 a potom interní referencí 2,465V srovnán. Výpočet výstupního napětí akumulátoru je dána vztahem (2) a jeho matematická úprava pro vyjádření rezistoru R17 je dána vztahem (2.1)

$$V_{max} = 2,465 \cdot \left(1 + \frac{R_{17}}{R_3}\right) \quad (2)$$

$$R_{17} = R_3 \cdot \left(\frac{V_{max}}{2,465} - 1\right) \quad (2.1)$$

### 8.3.3 R1 Nastavení nabíjecích proudů

Nabíjecí proud akumulátoru  $I_{ch} = 2000 \cdot I_{bias}$  (Bias = systematická chyba) Nabíjecí proud  $I_{bias}$  bude určen interní referencí LT1510 na 2,465V rozdělený sumou  $(R_1+R_2)$ . Modulovaný 6:44 nabíjecí proud CCS9620 znamená 14% střední hodnotu redukce. Výpočet nabíjecích proudů je dán vztahem (3) a jeho matematická úprava je dána vztahem (3.1)

$$I_{ch} = \frac{2,465 \cdot 2000 \cdot 0,86}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

$$I_{ch} = \frac{4,24}{2,7 + R_1 \cdot 10^{-3}} [A] \quad (3.1)$$

### 8.3.4 Nastavení modulu pro digitální analýzu vzorků

MT1, MT2 MT-nastavení pro vyšší kapacity MT-nastavení je důležité pro digitální analýzu vzorků CCS nabíjecího procesoru a určuje rozsah nastavení přijímání dat (srovnání: měřicí oblast při měřících přístrojích). Kapacita akumulátoru  $C_{bat}$  může být stejná nebo menší než  $1,5 \cdot MT \cdot I_{ch}$ .

Nastavení propojek MT je dáno vztahem (4)

$$C_{bat} [mAh] < 1,5 \cdot MT [h] \cdot I_{ch} [mA] \quad (4)$$

Tabulka 4: nastavené propojek MT

MT [hodnota]	1	2	3	4
MT1 [Pin6]	GND	5 V	GND	5 V
MT2 [Pin7]	GND	GND	5 V	5 V



## 8.4 Vypočtené ovládací rezistory

Při samotném výpočtu ideálních parametrů  $V_{max}$ ,  $V_{nom}$ ,  $I_{ch}$  musely být zvaženy i odchylky od vypočteného ideálního rezistoru  $R$  od reálné hodnoty rezistoru  $R'$ , který je běžně dostupný v SMD provedení 0805. Tuto odchylku jsem vyjádřil v procentech a snažil jsem se vždy dosáhnout odchylky 0% nejuvhodnější kombinací rezistorů.

**Tabulka 5: Tabulka vypočtených rezistorů pro maximální nabíjecí napětí  $V_{max}$**

$V_{max}$ [V]	Typ	Počet článků	$R_{17}$ [k $\Omega$ ]	$R_{17}'$ [k $\Omega$ ]	$V_{max}'$	Odchylka [%]	složení rezistorů
3,6	Ni-Mh	2	4,60	4,5	3,57	-0,7%	3k+1k5
7,2	Ni-Mh	4	19,21	19,1	7,17	-0,4%	10k+9k1
7,2	Pb	3	19,21	19,1	7,17	-0,4%	10k+9k1
14,4	Pb	6	48,42	48	14,30	-0,7%	47k+1k0
4,1	Li-Ion	1	6,63	6,6	4,09	-0,2%	3k0+3k6
4,2	Li-Pol	1	7,04	6,99	4,19	-0,3%	3k0+3k6+390

**Tabulka 6: Tabulka vypočtených rezistorů pro nominální nabíjecí napětí  $V_{nom}$**

$V_{nom}$ [V]	Typ	Počet článků	$R_9$ [k $\Omega$ ]	$R_{17}'$ [k $\Omega$ ]	$V_{max}'$	Odchylka [%]	Složení rezistorů
2,4	Ni-Mh	2	33,00	33,00	2,40	0,0%	33k
4,8	Ni-Mh	4	99,00	99,00	4,80	0,0%	33k+33k+33k
6	Pb	3	132,00	133,00	6,04	0,6%	33k+100k
12	Pb	6	297,00	300,00	12,11	0,9%	300k
3,6	Li-ion	1	66,00	66,00	3,60	0,0%	33k+33k
3,7	Li-Pol	1	68,75	68,00	3,67	-0,7%	68k

**Tabulka 7: Tabulka vypočtených rezistorů pro nabíjecí proud  $I_{ch}$** 

$I_{ch}$ [A]	$R_1$ [k $\Omega$ ]	$R_1'$ [k $\Omega$ ]	$I_{ch}'$ [A]	odchylka %
0,050	82,096	82,00	0,050	0,11%
0,100	39,698	39,00	0,102	1,67%
0,150	25,565	24,00	0,159	5,86%
0,200	18,499	18,00	0,205	2,41%
0,250	14,259	15,00	0,240	-4,19%
0,300	11,433	11,00	0,309	3,16%
0,350	9,414	9,10	0,359	2,66%
0,400	7,900	7,80	0,404	0,95%
0,500	5,780	5,60	0,511	2,16%
0,600	4,366	4,70	0,573	-4,51%
0,700	3,357	3,30	0,707	0,95%
0,800	2,600	2,50	0,815	1,92%
0,900	2,011	2,00	0,902	0,23%
1,000	1,540	1,50	1,009	0,95%
1,100	1,154	1,10	1,116	1,43%
1,200	0,833	0,82	1,204	0,37%

Při výpočtu nabíjecího proudu  $I_{ch}$  o velikosti 0,150 A jsem se dopustil největší odchylky a to o 5,86%. Skutečný nabíjecí proud  $I_{ch}$  při zvolené hodnotě 0,150 A je 0,159 A, odchylka je způsobena rozdílem skutečné hodnoty odporu  $R_1$  od vypočítané (24 k $\Omega$  vs. 25,565 k $\Omega$ ).

## 9. Schématický návrh řídicí logiky

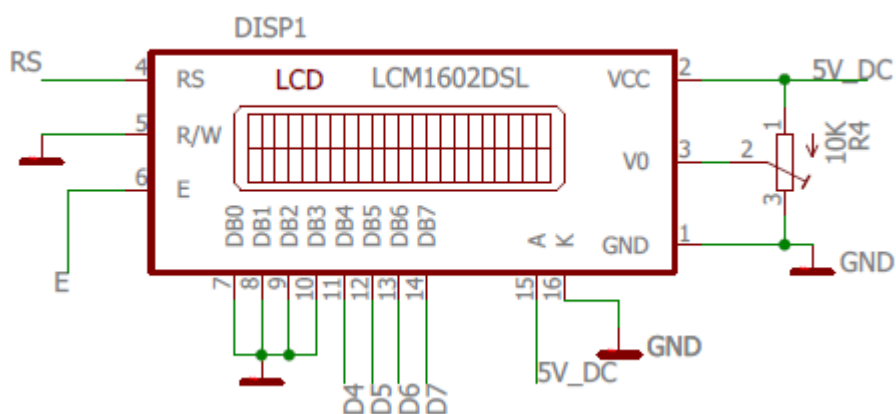
Realizace schématického návrhu byla rozdělena do dvou základních částí. V první části se jedná o plošný spoj s řídicí a zobrazovací logikou. Řídicí mikroprocesor byl zvolen PIC18F45K22. V druhé části neboli na druhé desce plošného spoje se nacházejí multiplexory s rezistory pomoci, kterými jsou voleny parametry nabíjení (nominální napětí, maximální napětí a nabíjecí proud).

Samotné návrhy plošných spojů byly realizovány v programu EAGLE 7.4.0, který byl dostačující pro vytvoření a zrealizování oboustranné desky plošného spoje.

Kompletní schéma zapojení, včetně návrhu DPS je nedílnou přílohou této bakalářské práce.

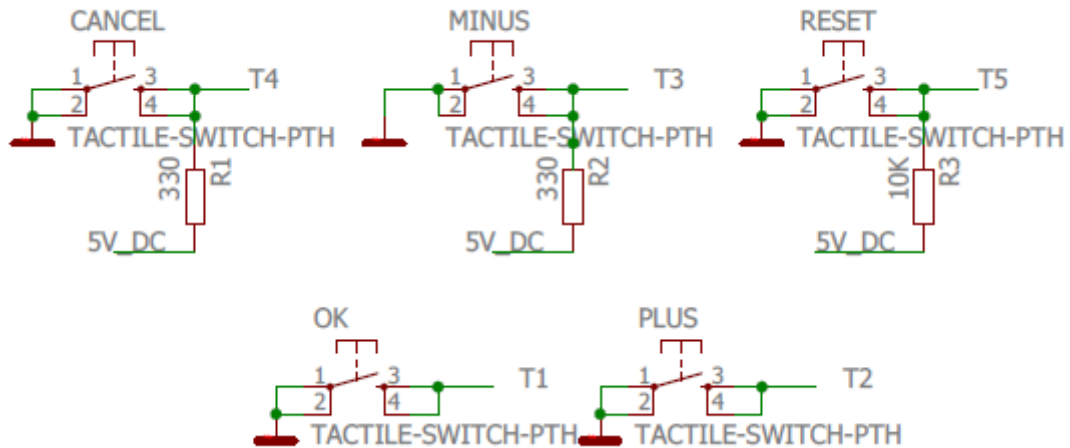
### 9.1 Schéma zapojení první části

Na obrázku 11 se nachází LCD zobrazovač 2x16 znaků, který slouží k informování uživatele o stavu nabíjení a zobrazuje parametry samotného nabíjecího procesu. Potenciometr R4 slouží k nastavení jasu LCD zobrazovače.



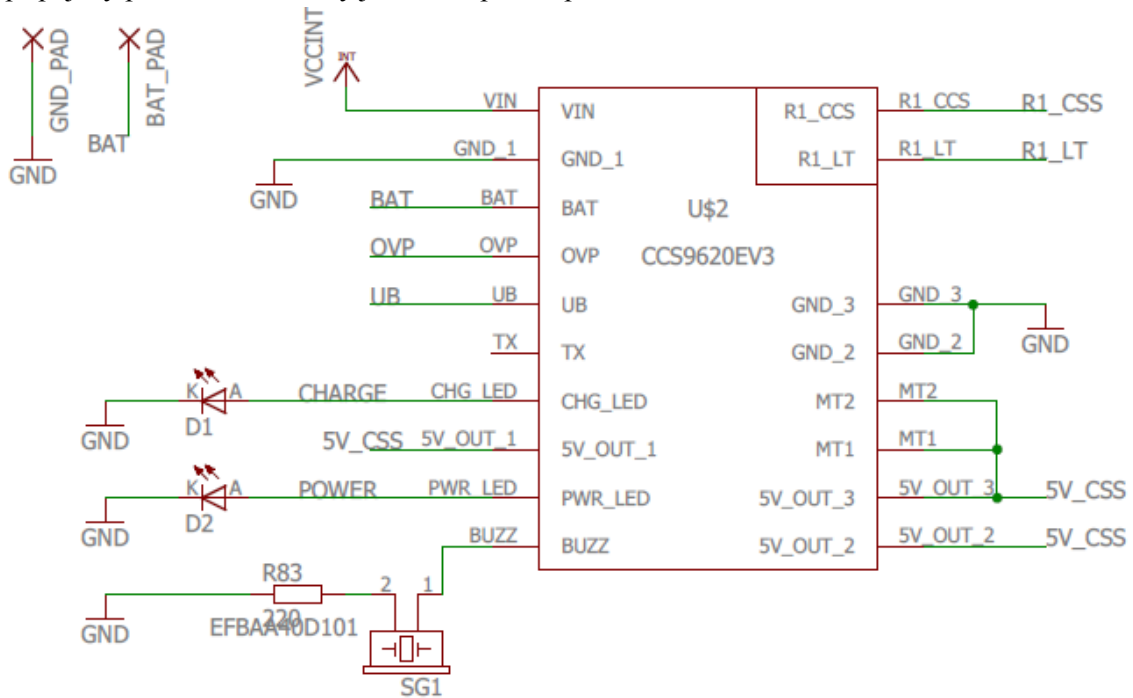
Obrázek 11: Schéma zapojení LCD zobrazovače

Na obrázku 12 se nachází schéma zapojení pěti ovládacích tlačítek sloužících ke zvolení typu a počtu sekundárních článků k nabití. Při stisknutí tlačítka T5 „RESET“ dojde k resetování mikroprocesoru PIC18F45K22. U tlačítek T1 „OK“ a T2 „PLUS“, se již nenachází přídavné rezistory z toho důvodu, že jsou připojeny ke vstupu mikroprocesoru umožňující pull-up zapojení rezistorů.



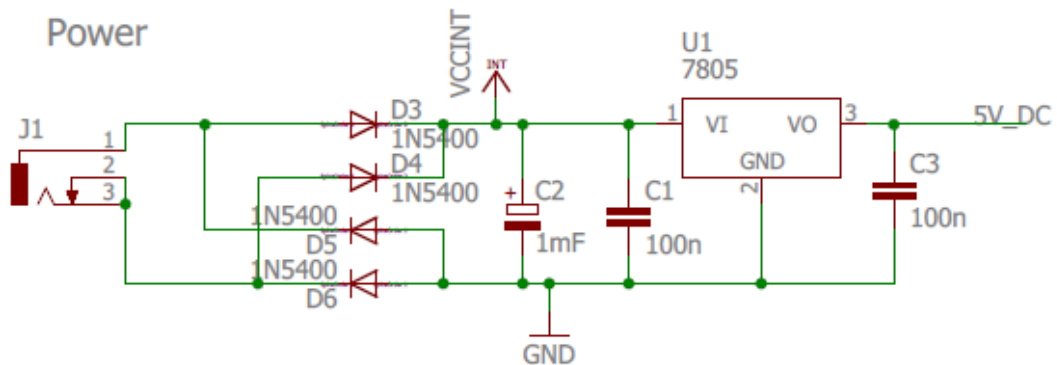
Obrázek 12: Schéma zapojení ovládacích tlačítek

Na obrázku 13 se nachází schéma zapojení modulu CCS9620 EB EV3. Samotný modul jsem musel nejprve navrhnout jako součástku do programu EAGLE 7.4.0, abych s ním mohl později pracovat při návrhu plošného spoje. Na obrázku se dále nacházejí dvě signalizační diody, které informují o zapnutí modulu (D2) a o spuštěném nabíjení (D1). Na výstupu označený BUZZ je připojený piezo bzučák, který je krátce spuštěn po nabití akumulátoru.



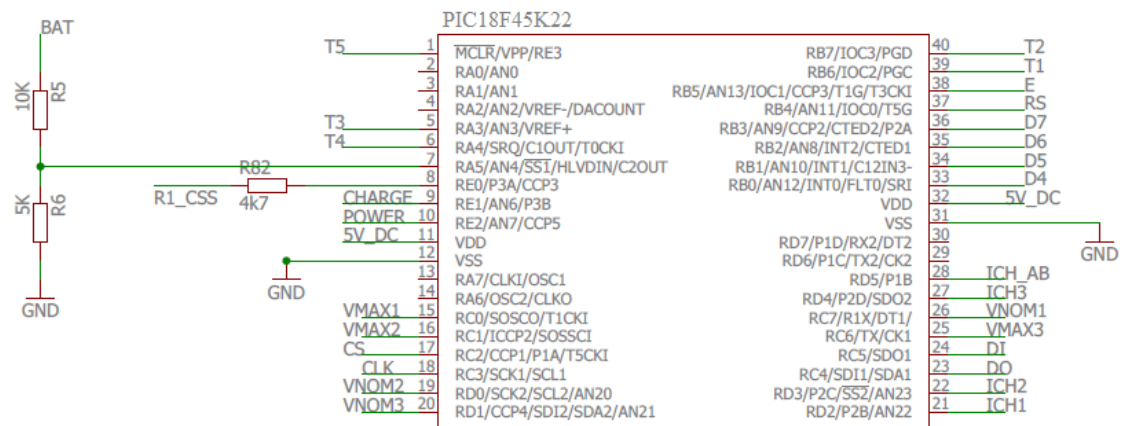
Obrázek 13: Schéma zapojení modulu CCS9620 EB EV3

Na obrázku 14 se nachází schéma zapojení napájecí části nabíjecí stanice. Konektor J1 je vstupní konektor, který je zapojen na vstupní napětí až 20 V. Dále se ve schématu zapojení nacházejí čtyři usměrňovací diody se stabilizátorem napětí na 5 V a vyhlazovací kondenzátory.



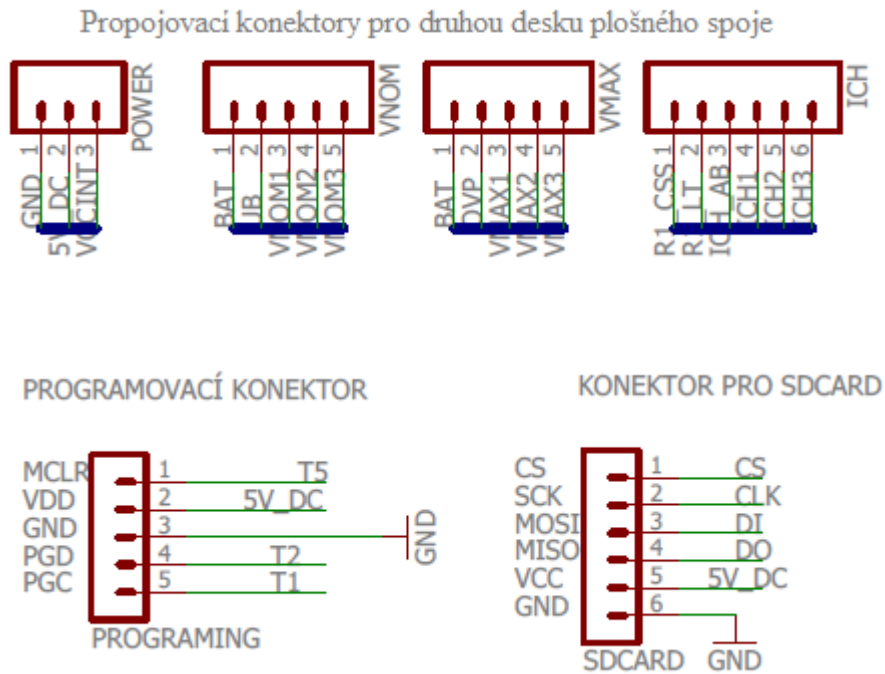
Obrázek 14: Shéma zapojení napájecí části

Na obrázku 15 se nachází schéma zapojení mikroprocesoru PIC18F45K22, který se standardně nenachází v knihovně součástek v programu EAGLE 7.4.0, a proto jsem ho musel nejprve navrhnout.



Obrázek 15: Zapojení mikroprocesoru PIC18F45K22

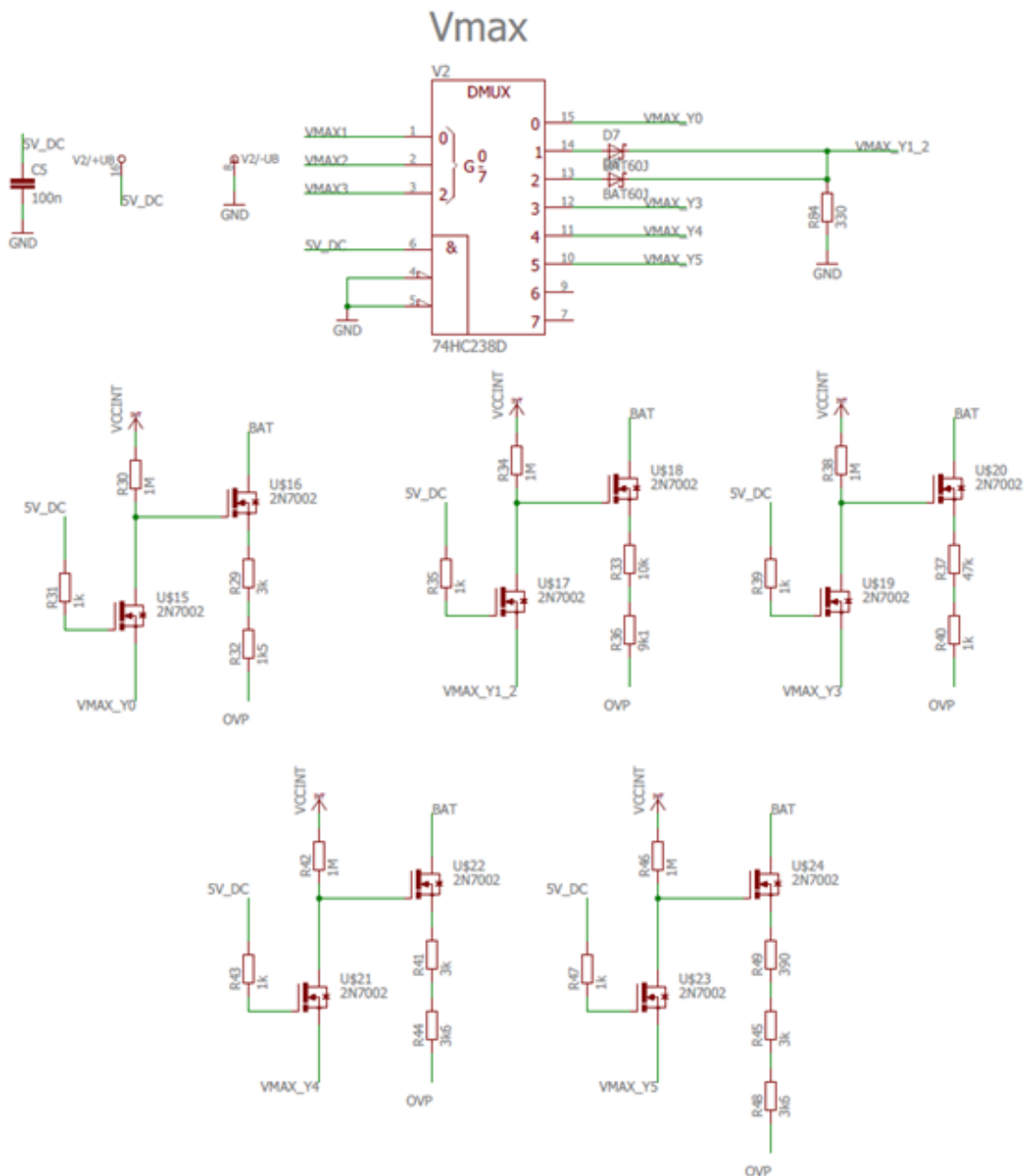
Na obrázku 16 se nacházejí čtyři propojovací konektory s druhou deskou plošného spoje. Dále programovací konektor, který slouží k připojení programátoru PICKIT 3, a konektor pro připojení slotu MikroSD karty se stabilizátorem napětí na 3 V.



Obrázek 16: propojovací konektory

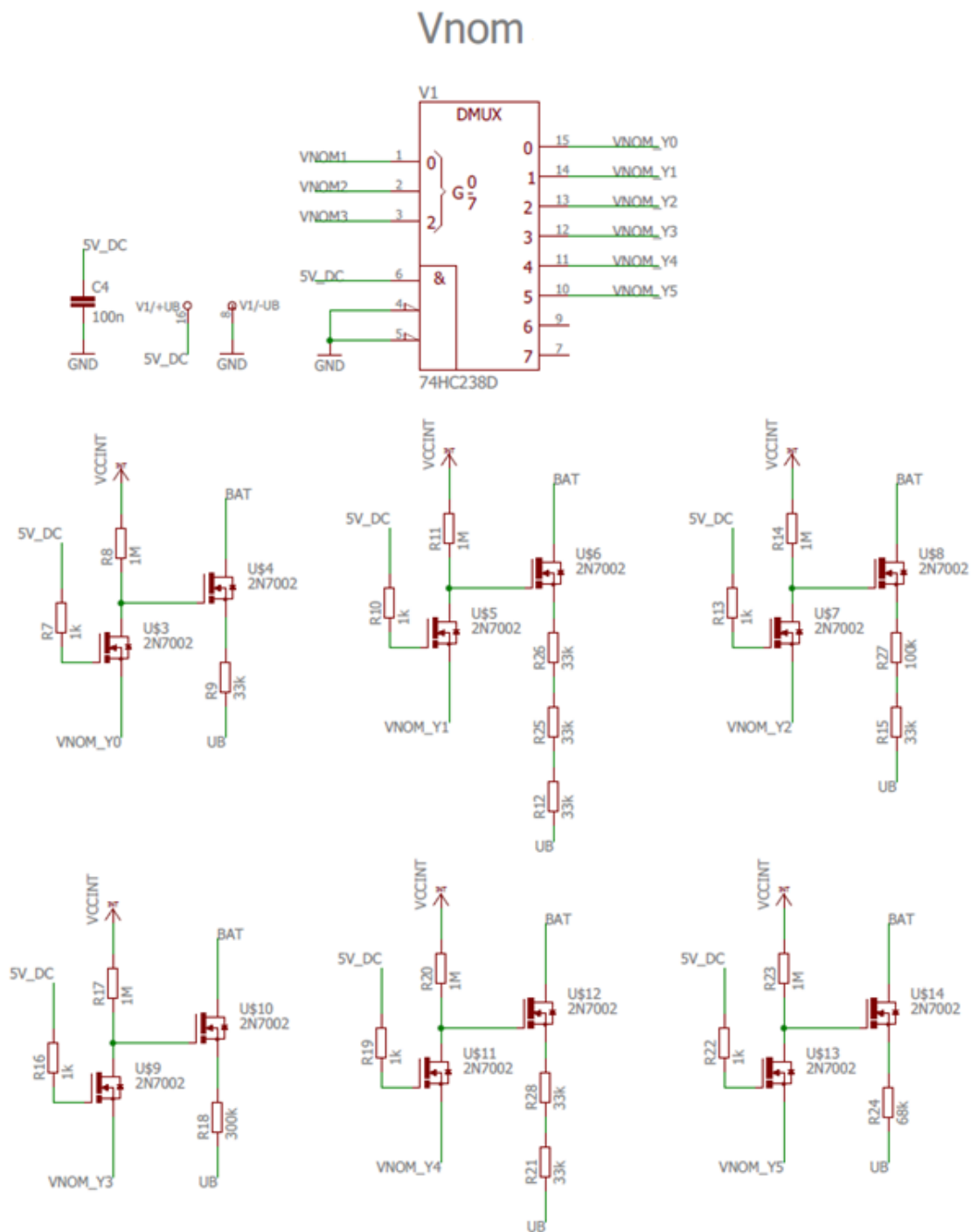
## 9.2 Schéma zapojení druhé části

Na obrázku 17 se nachází schéma zapojení multiplexoru a pěti bloků. V těchto blocích jsou zapojeny tranzistory typu MOSFET s hodnotou správného rezistoru dle tabulky 5.



Obrázek 17: Schéma zapojení pro nastavení napětí Vmax

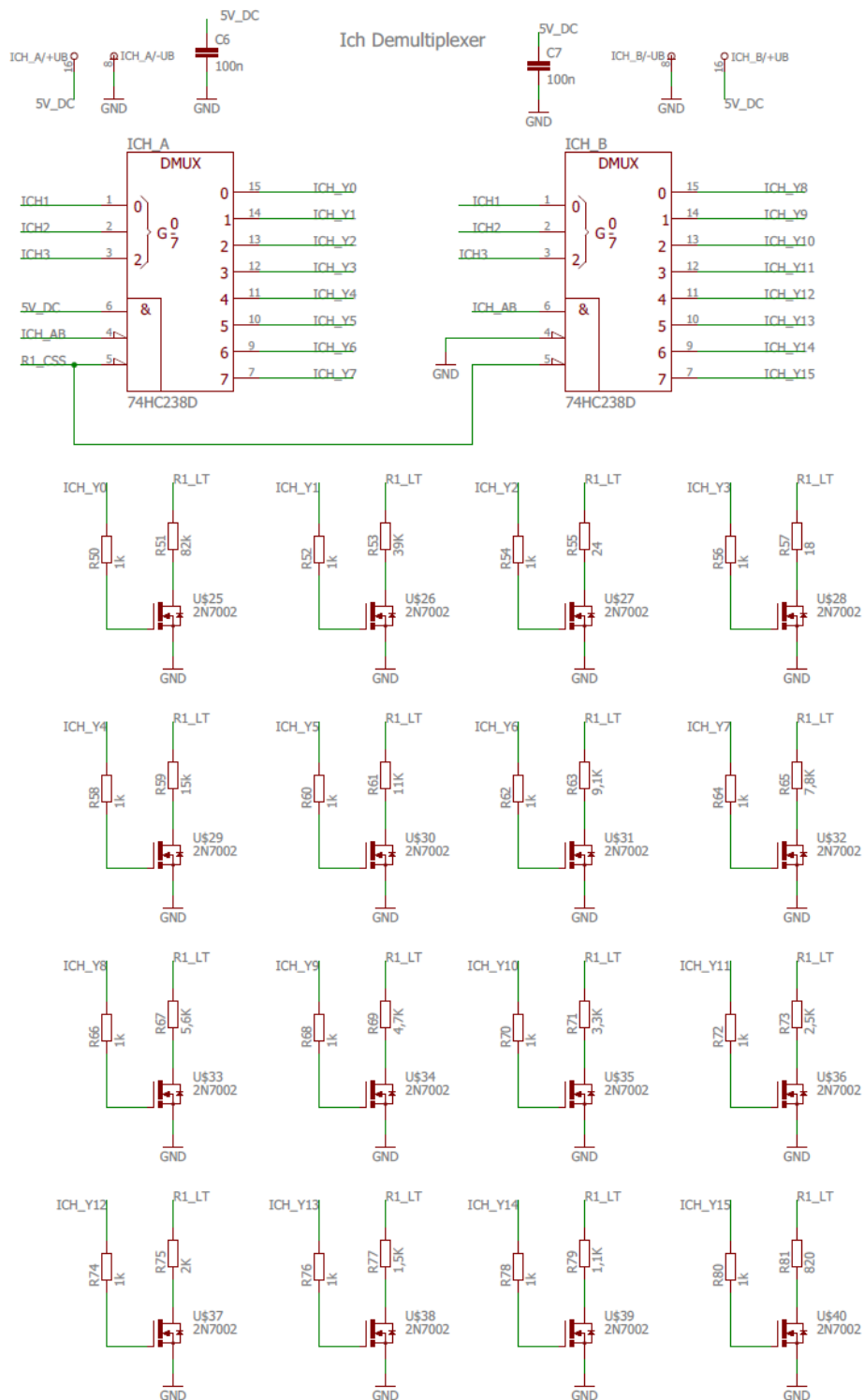
Na obrázku 18 se nachází schéma zapojení multiplexoru a šesti bloků. V těchto blocích jsou zapojeny tranzistory typu MOSFET s hodnotou správného rezistoru dle tabulky 6.



Obrázek 18: Schéma zapojení pro nastavení napětí Vnom

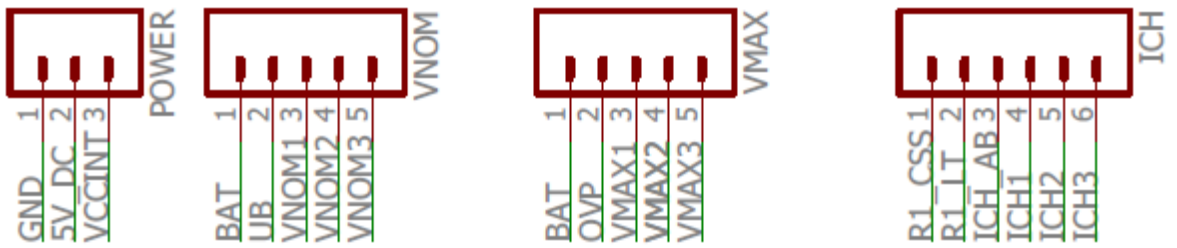


Na obrázku 18 se nachází schéma zapojení dvou multiplexorů a šestnácti bloků. V těchto blocích jsou zapojeny tranzistory typu MOSFET s hodnotou správného rezistoru dle tabulky 7.



Obrázek 19: Schéma zapojení pro nastavení nabíjecího proudu Ich

Na obrázku 20 se nachází schéma zapojení čtyřech propojovacích konektorů s první deskou plošného spoje. Tyto konektory jsou shodné s propojovacími konektory na obrázku číslo 16.



Obrázek 20: konektory pro připojení druhé desky plošného spoje

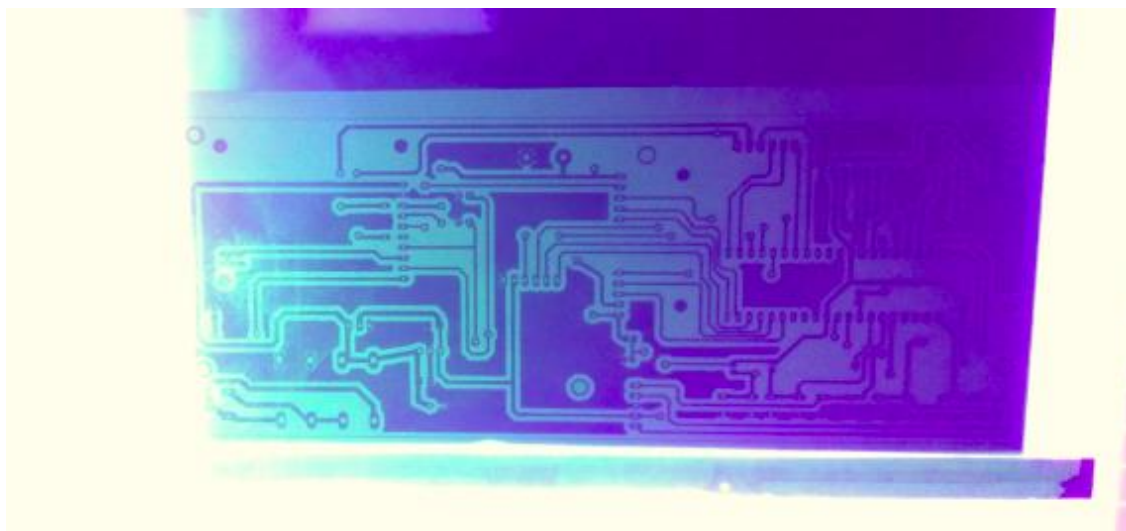
## 10.Výroba desky plošného spoje

Samotná výroba obou desek s plošnými spoji byla provedena mnou, v neprofesionálních podmínkách pomoci volně dostupných přípravků. K neprofesionální výrobě plošného spoje jsem se rozhodl z důvodu vysoké pořizovací ceny u specializovaných společností, které se zabývají výrobou plošných spojů. I přes možné studentské slevy, vzhledem k celkové velikosti desky plošného spoje, by zakázková výroba navýšila cenu nabíjecí stanice o téměř 200% z celkových nákladů.

### 10.1 Postup při výrobě DPS

Výrobu DPS v „domácích“ podmínkách lze rozdělit do několika kroků:

- 1) Vytisknutí motivu plošného spoje na průhlednou folii pomoci laserové tiskárny.
- 2) Nasvícení fotocitlivé kuprexidové desky s přiloženou folií.
- 3) Vyvolání motivu kuprexidové desky ve vývojce NaOH (hydroxid sodný).
- 4) Odleptání mědi pomoci leptací lázně z persíranu sodného  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ .
- 5) Nátěr ochranným lakem FLUX nebo rozpuštěnou kalafunou v líhu.
- 6) Vyvrtání děr a úchytů pro součástky
- 7) Vytvoření prokovů pomoci speciálních nýtků
- 8) Pájení a osázení desky předem zvolenými součástkami



Obrázek 21: Nasvícení fotocitlivé desky s přiloženou folií

## 11. Programová část

Řídicí program byl vymyšlen tak, aby byl jednoduchý a lehce pochopitelný jak pro pozdější rozvoj, tak i pro ovládání samotné nabíjecí stanice uživatelem. Jako „mozek“ nabíjecí stanice byl zvolen mikroprocesor PIC18F45K22, který má dostačující počet periférií k bezchybné funkčnosti nabíjecí stanice. K samotné tvorbě řídicího programu jsem použil programovací jazyk C ve vývojovém prostředí mikroC PRO for PIC. Samotný mikroprocesor PIC18F45K22 slouží ke správnému nastavení nabíjecího modulu CCS9620EV3 a následného informování uživatele o stavu nabíjeného akumulátoru, popřípadě zápisu dat o průběhu nabíjení akumulátoru pomocí protokolu I2C na paměťovou kartu, která je součástí inteligentní nabíjecí stanice.

### 11.1 Problematika vývoje

Při samotném vývoji programu se vyskytlo několik zásadních problémů. První velká překážka byla návrh postupu, jak bude odladěn samotný program pro mikrokontroler PIC18F45K22. Vzhledem k tomu, že možnosti ladění ve vývojovém prostředí mikroC PRO for PIC jsou značně omezující, dospěl jsem k závěru, že samotnou tvorbu programu rozdělím do několika hlavních úseků dle vývojového diagramu, které odladím v softwaru Proteus 8 Professional.

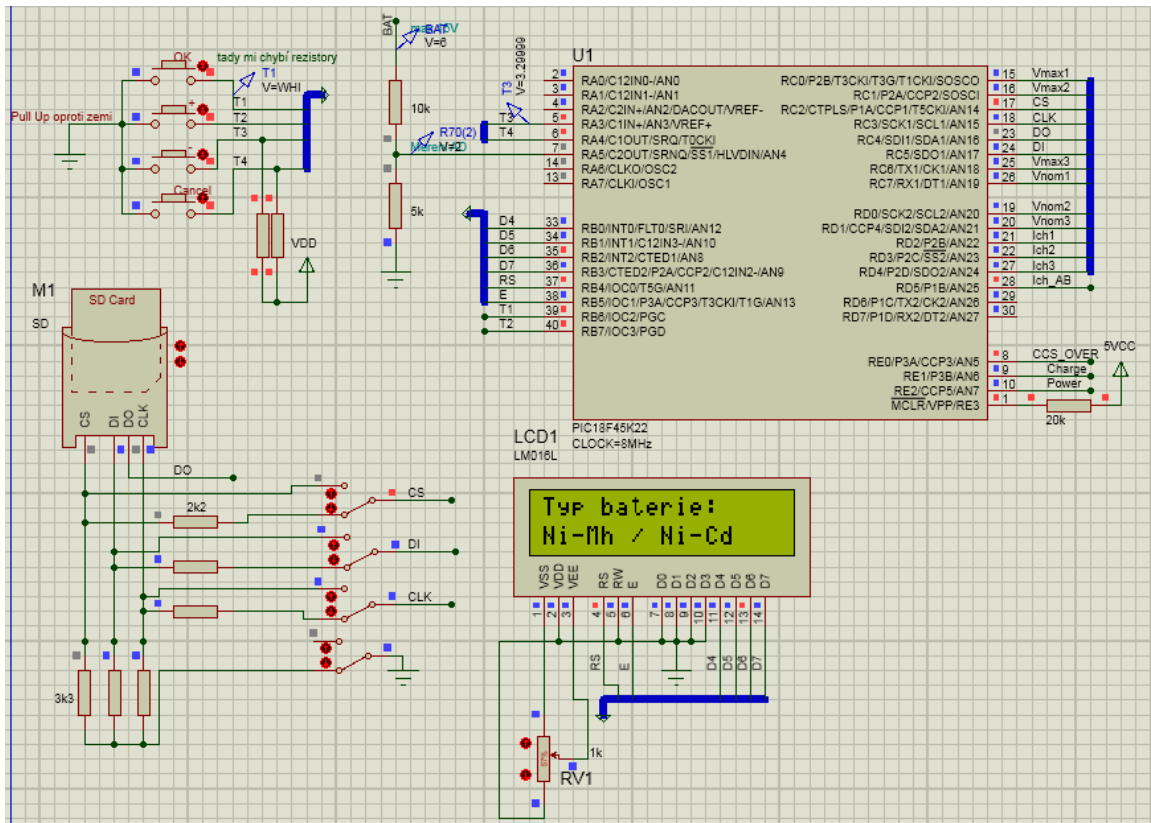
Druhý nečekaný problém byl, že software Proteus 8 Professional není plně kompatibilní s jazykem C pro mikrokontroler PIC18F45K22. Tento důležitý problém se projevoval přeskokováním některých instrukcí jmenovitě:

**IntToStr (int input, char \*output);**

**FloatToStr (float fnum, unsigned char \*str);**

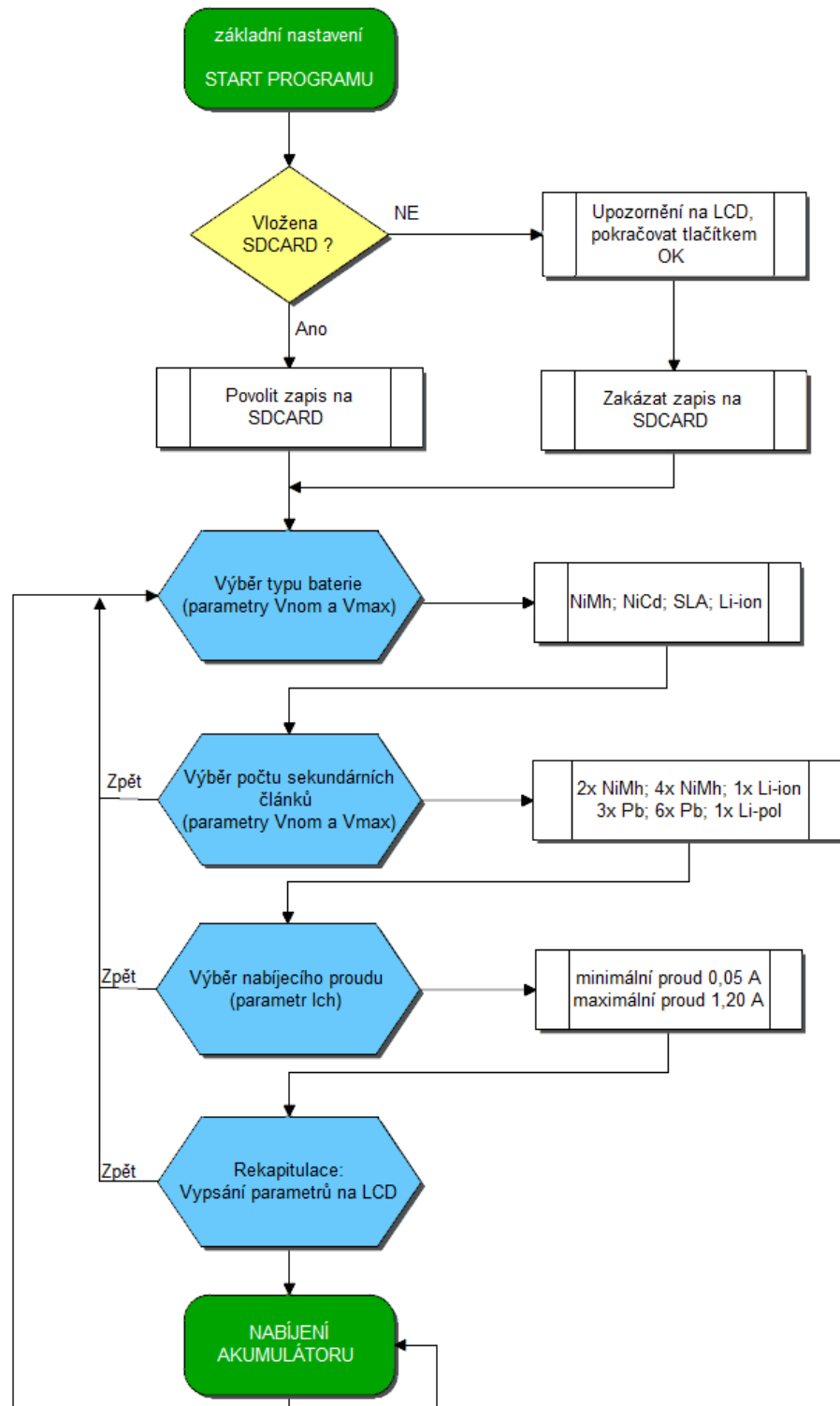
Pro správné odladění programu jsem musel tyto instrukce nahradit instrukcí:

**Strncpy (char \*to, char \*from, int size);**

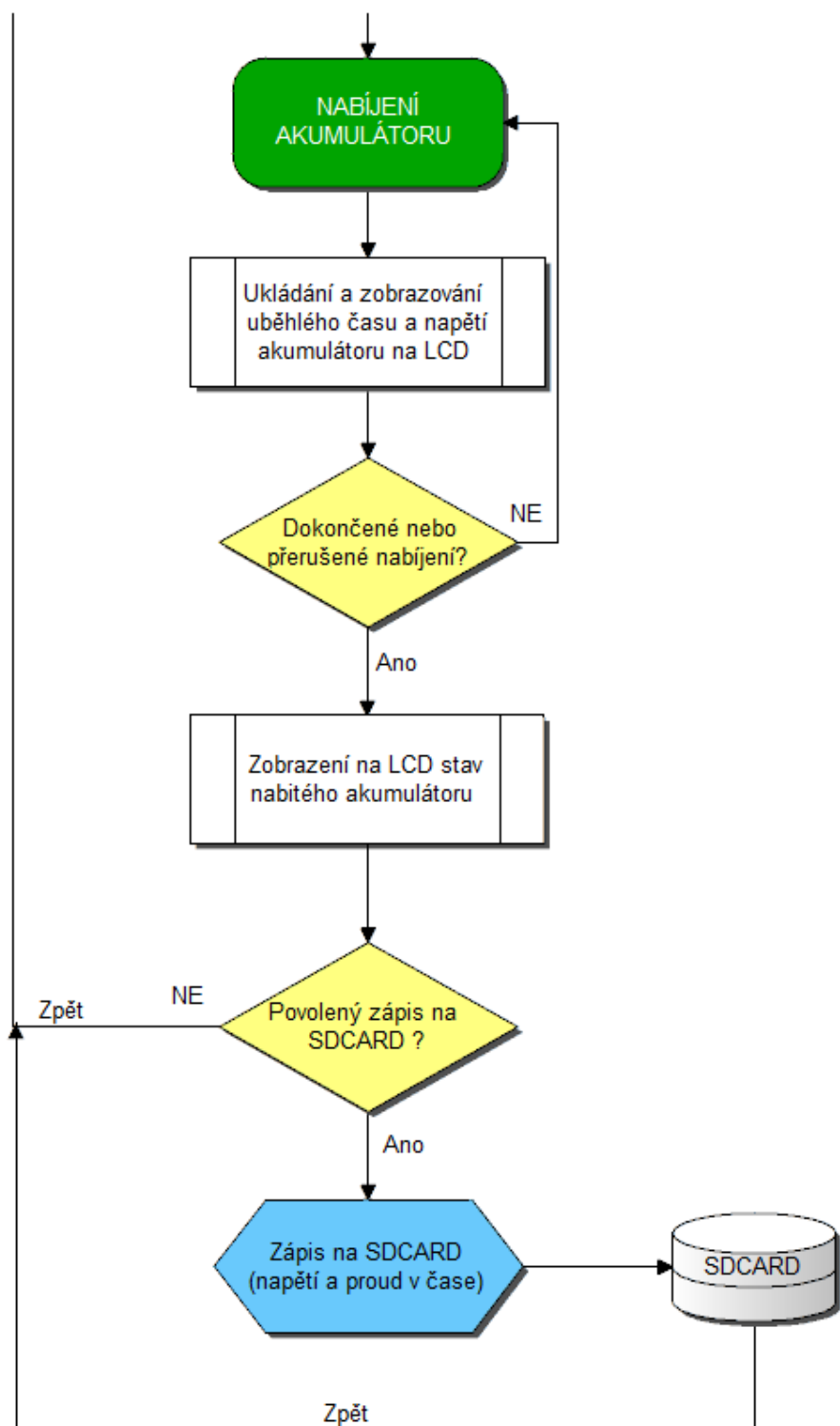


Obrázek 22: Simulace v programu Proteus 8 Professional

## 11.2 Vývojový diagram



Obrázek 23: Vývojový diagram - inicializační část



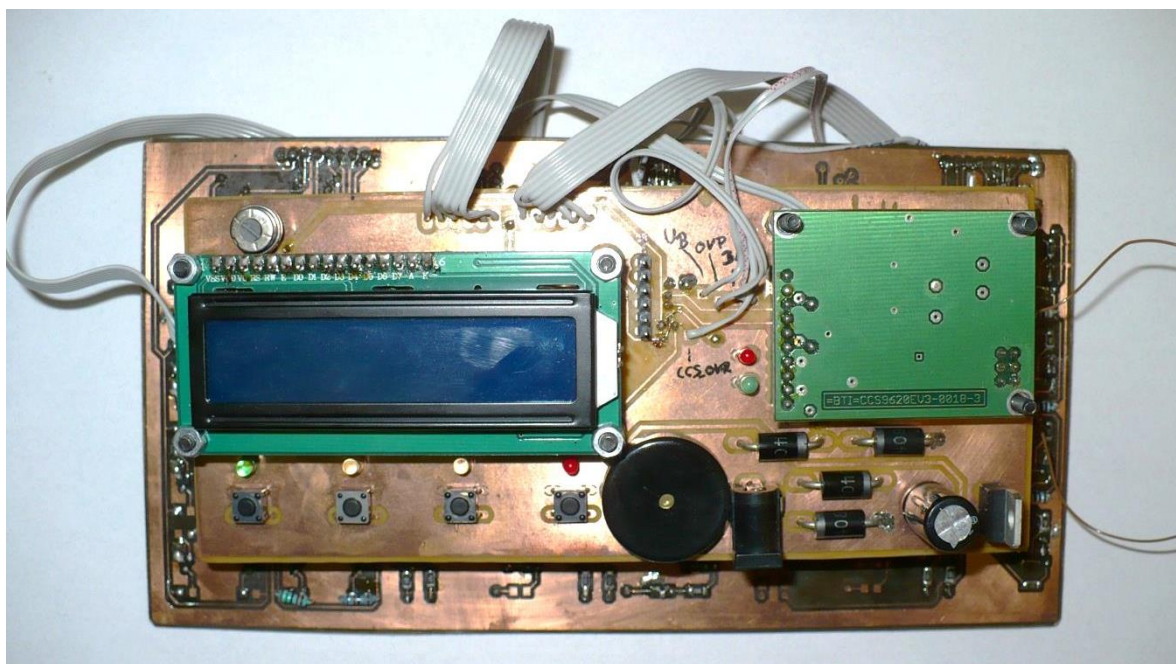
Obrázek 24: Vývojový digram - nabíjecí část

## 12. Prototyp charakterizační nabíjecí stanice

Zrealizovaná nabíjecí stanice umí nabíjet pět typů nejpoužívanějších sekundárních článků – NiCd, NiMh, SLA/Pb, Li-ion, Li-Pol. Uživateli nabízí možnost vybrat si nabíjecí proud v rozmezí 100 mAh až 1200 mAh a počet nabíjených sekundárních článků. Při nabíjení se na displeji zobrazuje aktuální napětí na sekundárním článku. Pakliže by toto napětí bylo výrazně překročeno v závislosti na počtu a typu sekundárního článku, nabíjecí proces se okamžitě ukončí. Při správném dokončení procesu nabíjení se ozve zvukové a světelné upozornění.

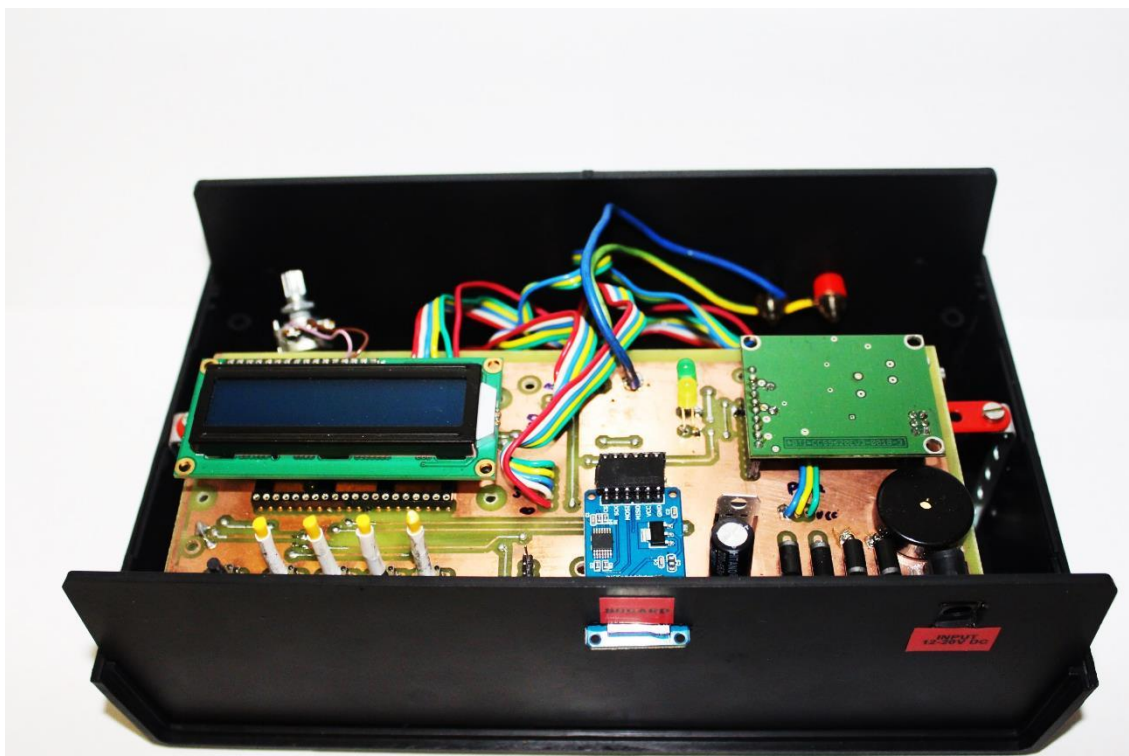
Nabíjecí stanice uživateli navíc poskytne sledovat průběh nabíjení a ukládat ho na externí paměťovou kartu. Na paměťové kartě se ukládají průběžné údaje o napětí v čase na akumulátoru a dále stabilní údaje jako jsou informace o nastavení nabíjecí stanice uživatelem. Jmenovitě typ a počet sekundárních článků a zvolený nabíjecí proud. Na základě těchto získaných informací lze zpětně charakterizovat nabíjený akumulátor a vyhodnotit, zdali je v pořádku a na kolik procent nominální kapacity byl nabit.

Zajímavostí u nabíjecího modulu Evaluation Board CCS9620EV3 je, že nabíjecí proud s rostoucí kapacitou akumulátoru je konstantní, až do úplného nabití akumulátoru. V ojedinělých případech se průběh nabíjecího proudu může měnit maximálně o 5% své hodnoty. Konstantní nabíjecí proud zajišťuje obvod LTI1510, který je součástí nabíjecího modulu.



Obrázek 25: Nabíjecí stanice (první zkušební verze)





Obrázek 26: Prototyp inteligentní charakterizační stanice v otevřené krabičce



Obrázek 27: Prototyp inteligentní charakterizační stanice v uzavřené krabičce

## 12.1 Parametry prototypu inteligentní nabíjecí stanice

Napájecí napětí 12 až 20 V

Maximální odběr proudu 1,4 A

Maximální nabíjecí proud 1,2 A

Rozměry s krabičkou 250×150×90 mm (délka × šířka × výška)

**Tabulka 8: Tabulka uspořádání sekundárních článků, které lze nabíjet zrealizovanou nabíjecí stanicí**

nominální napětí [V]	Typ článku	Počet sekundárních článků
2,4	NiMh, NiCd	2
3,6	NiMh, NiCd	3
4,8	NiMh, NiCd	4
4	Pb, SLA	2
6	Pb, SLA	3
12	Pb, SLA	6
3,6	Li-ion	1
3,7	Li-Pol	1

## 13. Závěr praktické části

Dle zadání bakalářské práce jsem prozkoumal principy nabíjení moderních typů akumulátorů a obvodů, které zajišťují power management. Ze získaných znalostí vzhledem k optimalizaci nabíjecího procesu a širce podporovaných typů akumulátorů, jsem zvolil nabíjecí obvod využívající patentovanou technologii CCS, která šetrně nabije téměř jakýkoliv typ sekundárního článku.

Pro návrh a následnou realizaci jsem vybral nabíjecí modul CCS9620 EB EV3 od výrobce BTI Büro für Technologie und Innovation, který dle teoretického rozboru vyšel jako vhodná volba s ohledem na všestrannost a především na šetrné nabíjení akumulátorů. Dále jsem pro realizaci nabíjecí stanice zvolil mikroprocesor PIC18F45K22 od výrobce Microchip Technology Inc, který zajišťuje interakci mezi uživatelem a nabíjecí stanicí.

Za účelem vytvořit prototyp laboratorního přístroje, jsem koncept nabíjecí stanice dále rozšířil o funkci sledování nabíjecího procesu displejem s možností ukládání průběžných informací o nabíjecím procesu na MicroSD kartu pro pozdější vyhodnocení.

Hlavní výhodou mnou zrealizované nabíjecí stanice je, že oproti konkurenčním nabíjecím stanicím nabídne CCS terminační metodu měření nabíjení pěti nejpoužívanějších typů akumulátorů a zároveň monitorování samotného nabíjecího procesu pro pozdější vyhodnocení.

Tyto vlastnosti řadí zrealizovanou nabíjecí stanicí na pomyslný vrchol v rámci domácích a běžně používaných nabíjecích stanic.

.

## 14. Seznam obrázků

Obrázek 1: Požadavky systému .....	12
Obrázek 2: Nabíjecí charakteristika NiCd článku dle [8] .....	14
Obrázek 3: Nabíjecí charakteristika NiMh článku dle [8] .....	15
Obrázek 4: Nabíjení Li ion článku dle [7] .....	16
Obrázek 5 Graf - nabíjení konstantním napětím dle [11] .....	17
Obrázek 6: proces nabíjení Li-Pol článku dle [10] .....	18
Obrázek 7: vztah objemu, hmotnosti a hustoty energie dle [2] .....	19
Obrázek 8: CCS proces terminace dle [12] .....	23
Obrázek 9: LTI1510 jako nabíječka Li-Ion článku [13] .....	24
Obrázek 10: Blokové schéma zapojení a přípojek modulu [16] .....	30
Obrázek 11: Schéma zapojení LCD zobrazovače .....	35
Obrázek 12: Schéma zapojení ovládacích tlačítek .....	36
Obrázek 13: Schéma zapojení modulu CCS9620 EB EV3 .....	36
Obrázek 14: Shéma zapojení napájecí části .....	37
Obrázek 15: Zapojení mikroprocesoru PIC18F45K22 .....	37
Obrázek 16: propojovací konektory .....	38
Obrázek 17: Schéma zapojení pro nastavení napětí $V_{max}$ .....	39
Obrázek 18: Schéma zapojení pro nastavení napětí $V_{nom}$ .....	40
Obrázek 19: Schéma zapojení pro nastavení nabíjecího proudu $I_{ch}$ .....	41
Obrázek 20: konektory pro připojení druhé desky plošného spoje .....	42
Obrázek 21: Nasvícení fotocitlivé desky s přiloženou folií .....	43
Obrázek 22: Simulace v programu Proteus 8 Professional .....	45
Obrázek 23: Vývojový diagram - inicializační část .....	46
Obrázek 24: Vývojový digram - nabíjecí část .....	47
Obrázek 25: Nabíjecí stanice (první zkušební verze) .....	48
Obrázek 26: Prototyp inteligentní charakterizační stanice v otevřené krabici .....	49
Obrázek 27: Prototyp inteligentní charakterizační stanice v uzavřené krabici .....	49

## 15. Seznam tabulek

Tabulka 1: Srovnání různých typů akumulátorů dle [5] .....	19
Tabulka 2: Porovnání vybraných integrovaných obvodů, které jsou vhodné pro nabíjení [17] .....	26
Tabulka 3: funkce modulu CCS9620 EB EV3 .....	29
Tabulka 4: nastavené propojek MT .....	32
Tabulka 5: Tabulka vypočtených rezistorů pro maximální nabíjecí napětí $V_{max}$ ...	33
Tabulka 6: Tabulka vypočtených rezistorů pro nominální nabíjecí napětí $V_{nom}$ ....	33
Tabulka 7: Tabulka vypočtených rezistorů pro nabíjecí proud $I_{ch}$ .....	34
Tabulka 8: Tabulka uspořádání sekundárních článků, které lze nabíjet zrealizovanou nabíjecí stanicí .....	50

## 16. Použitá literatura

- [1] J. Humlhans, Navrhňte si inteligentní nabíječky s obvody MAXIM, Praha: Technická literatura BEN Praha, 2005.
- [2] GP Nickel Cadmium - Technical Hand Book, „GP Nickel Cadmium - Technical Hand Book,“ [Online]. Available: [www.gpbatteries.com.hk](http://www.gpbatteries.com.hk).
- [3] „GP Nickel Metal Hydride- Technical Hand Book,“ [Online]. Available: <http://www.gpbatteries.com.hk>.
- [4] J. Belza, „belza-elektro web,“ [Online]. Available: <http://www.belza.cz/charge/liion1.htm>. [Přístup získán 18 2 2016].
- [5] D. Corrigan, „Introduction to NiMH Battery technology,“ 2002.
- [6] J. Hlinák, „Paladix,“ [Online]. Available: <http://www.paladix.cz/clanky/teoreticky-uvod-snaha-o-vymyceni-nepravd-o-akumulatorech.html>. [Přístup získán 18 2 2016].
- [7] B. University, „Battery University - Types of Lithium-ion,“ 19 2 2016. [Online]. Available: [www.batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://www.batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion).
- [8] M. Černý, „RoboDoupě,“ HobbyRobot, 21 4 2014. [Online]. Available: <http://robodoupe.cz/2014/nabijeni-li-pol-li-ion-a-life-akumulatoru-1/>. [Přístup získán 5 3 2017].
- [9] K. Javůrek, „Věda a technika - baterie budoucnosti,“ 27 5 2015. [Online]. Available: <http://vtm.e15.cz/baterie-budoucnosti-budou-mensi-a-vykonnejsi-jen-aby>. [Přístup získán 4 4 2017].
- [10] V. Sulc, „Vývoj.HW,“ MICRORISC s.r.o., 5 12 2002. [Online]. Available: <http://vyvoj.hw.cz/produkty/akumulatory-sla-sealed-lead-acid.html>. [Přístup získán 5 3 2017].
- [11] s. Conrad Electronic Česká republika, „Conrad Electronic,“ [Online]. Available: [http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/175000-199999/175358-an-01-sk-Processor\\_pro\\_riz\\_nabijeni.pdf](http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/175000-199999/175358-an-01-sk-Processor_pro_riz_nabijeni.pdf). [Přístup získán 12 12 2016].
- [12] B. T. a. innovation, „btiCCS,“ [Online]. Available: [www.btiCCS.com](http://www.btiCCS.com). [Přístup získán 12 12 2016].
- [13] Harpoon Ltd, „www.harpoon.si,“ [Online]. Available: [www.harpoon.si/uploads/datoteke/ecs\\_polnilec\\_ap18.pdf](http://www.harpoon.si/uploads/datoteke/ecs_polnilec_ap18.pdf). [Přístup získán 3 1 2017].
- [14] „Linear Technology Corporate,“ [Online]. Available: [www.linear.com/product/LT1511](http://www.linear.com/product/LT1511). [Přístup získán 12 12 2016].
- [15] BATTEX, „Abeceda baterií a akumulátorů,“ [Online]. Available: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/povery-a-myty-o-hermetickych-akumulatorech/pametovy-efekt-memory-effect>. [Přístup získán 6 4 2017].
- [16] s. Conrad Electronic Česká republika, „Conrad Electronic,“ [Online]. Available: [http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/150065-sp-01-en-Ladeprozessorplatine\\_CCS\\_9620SL\\_AB.pdf](http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/150065-sp-01-en-Ladeprozessorplatine_CCS_9620SL_AB.pdf). [Přístup získán 4 3 2017].
- [17] R. H. serveru, „Vývoj.HW,“ HW server s.r.o., 14 2 2000. [Online]. Available: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/chcete-stavet-nabijecku.html>. [Přístup získán 6 10 2016].

[18] „www.microchip.com,“ Microchip, 29 8 2009. [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001412G.pdf>. [Přístup získán 10 10 2016].

## 17. Seznam příloh

Součástí bakalářské práce jsou přílohy, které jsou přikládány na kompaktním disku a jsou nezbytnou součástí.

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 1) Kompletní vývojový diagram programu:   | diagram.png       |
| 2) Program pro mikroprocesor PIC18F45K22: | program.c         |
| 3) Schéma zapojení první části:           | mainboard.sch     |
| 4) Návrh plošného spoje první části:      | mainboard.brd     |
| 5) Schéma zapojení druhé části:           | mainboard_sit.sch |
| 6) Návrh plošného spoje druhé části:      | mainboard_sit.brd |