

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky

**Mikroprocesorová univerzální nabíjecí stanice
s CCS obvodem**

květen 2016

Diplomant: Bc. Daniel Hátle

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

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta, a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 26. 5. 2016

.....

podpis

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. H Á T L E Daniel**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Elektronika

Název tématu: **Mikroprocesorová univerzální nabíjecí stanice s CCS obvodem**

Pokyny pro vypracování

1. Proveďte průzkum trhu z pohledu inteligentních automatických nabíječek sekundárních článků s analýzou jejich stavu a sledováním nabíjecího procesu.
2. Navrhnete koncepci inteligentní nabíjecí stanice, která bude vybavena USB výstupem pro případné monitorování nabíjecího procesu v PC, dotykovým displejem pro nastavení nabíjecích parametrů.
3. V konstrukci využijte obvody CCS.
4. Zapojení realizujte ve formě prototypu.
5. Vytvořte obslužný software.
6. Proveďte ekonomickou rozvahu navrženého řešení.

Seznam odborné literatury:

1. internetové stránky a datasheety www.btcss.com
2. Humihans Jan - Inteligentní nabíječky s obvody MAXIM, BEN Praha, 2002, ISBN 80-86056-83-X
3. Marek Jiří, Stehlik Luděk - Hermetické akumulátory v praxi, IN-EL 2004, ISBN 80-86230-34-1
4. Root M. - The TAB Battery Book: An In-Depth Guide to Construction, Design, and Use ISBN 978-0071739900
5. Reddy T. - Linden's Handbook of Batteries, ISBN 978-0071624213

Vedoucí: **Ing. Vladimír Janiček, Ph.D.**

Platnost zadání: 9. 9. 2017



prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 3. 2016

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá návrhem prototypu univerzální nabíjecí stanice s CCS kontrolérem, a jeho následnou konstrukcí. Na prototypu se také nachází měřič kapacity baterií, a USB port, pro komunikaci s PC. Celé zařízení bylo již od počátku navrhováno tak, aby ho bylo možné ovládat pomocí grafického dotykového displeje. V práci jsou podrobně popsány různé nabíjecí obvody, technologie sekundárních chemických článků. Dále je dopodrobna popsán krok po kroku návrh nabíjecí stanice, vývoj ovládacího softwaru. Také jsou diskutovány dosažené výsledky, a ekonomická rozvaha zařízení tohoto typu.

Klíčová slova:

CCS, univerzální nabíječka, nabíječka, STM32, ANSI C, dotykový displej, Matlab

Summary:

This master's thesis deals with designing of universal charging station prototype, which is supposed to be built around the CCS controller. The prototype comprises battery charger, battery capacity measuring circuit, and USB port for communication between PC and the prototype. This device was designed to be controlled through resistive touch display. In this text, all used integrated circuits, charging methods and battery cell chemistries, are thoroughly described. The microcontroller program development and the process of designing charging circuit along with measured data and economic balance, are too part of this thesis.

Index Terms:

CCS, Universal charger, Charger, STM32, ANSI C, touch display, Matlab

Obsah

1. Úvod.....	9
1.1 Cíle práce	9
2. Teoretická část	10
2.1 Technologie sekundárních elektrochemických článků (akumulátorů)	10
2.2 Olověné akumulátory	10
2.3 Akumulátory na bázi niklu.....	13
2.4 Lithiové akumulátory	17
2.5 Způsoby nabíjení	20
2.6 Způsoby terminace nabíjení	21
2.7 Dostupné nabíjecí obvody.....	23
3. Návrh a realizace inteligentní nabíjecí stanice.....	31
3.1 Popis navrhovaného prototypu.....	31
3.2 Měřič kapacity chemických článků.....	47
3.3 Návrh schématu a desky plošných spojů	48
3.4 STM32 mikrořadič	50
3.5 Programová část inteligentní nabíječky	54
4. Diskuse získaných dat, ekonomická rozvaha	60
5. Závěr	65
6. Reference	66
7. Přílohy	68
Příloha A – Schéma nabíjecí stanice	68
Příloha B – Vrstvy DPS	Chyba! Záložka není definována.
Příloha C – Menu nabíjecí stanice	Chyba! Záložka není definována.

Seznam použitých zkratek

- AGM** - Absorbed glass mesh – vsáknutá skelná tkanina
- BGA** - Ball grid array – typ pouzdra smd
- CCS** - Computerized charging system – počítačový nabíjecí systém
- DMA** - Direct memory access – přímý přístup do paměti
- FAT** - File allocation table – tabulka souborů, souborový systém
- f_t** - Frekvence, při které je zisk OZ bez zpětné vazby roven 1
- GCC** - GNU compiler collection - kompilátor, licence GNU
- IC** - Integrated circuit – integrovaný obvod
- LCD** - Liquid crystal display – displej tekutých krystalů
- NDV** - Negative delta voltage – záporná změna napětí
- NiCd** - Nickel Cadmium – nikl kadmiový článek
- NiMH** - Nickel Metal Hydrid - NiMH článek
- OVP** - Overvoltage protection – ochrana proti přepětí
- OZ** - Operační zesilovač
- PLL** - Phase locked loop – fázový závěs
- PCB** - Printed circuit board – deska plošných spojů
- R_x, T_x** - Vysílací a přijímací kontakty USART
- SLA** - Sealed lead acid – uzavřený olovený akumulátor
- SMD** - Surface mount device – součástka pro povrchovou montáž
- SPI** - Serial Peripheral Interface – sériová sběrnice
- UART** - Universal asynchronous receiver and transmitter – univerzální sériový asynchronní přijímač a vysílač
- USB** - Universal serial bus – univerzální sériová sběrnice

1. Úvod

Diplomová práce se převážně zaměřuje na vývoj univerzální nabíjecí stanice s CCS obvodem. V teoretické části této práce jsou popsány chemické principy sekundárních chemických článků, a další důležité údaje jednotlivých technologií. Také jsou, v případě některých typů článků, uvedeny konkrétní výrobky, a uvedena naměřená data od výrobců. Dále byly popsány dnes nejvíce používané metody nabíjení, a detekce pro ukončování nabíjení, které zabraňují přebíjení článků, a prodlužují jejich životnost. Předtím, než se dostaneme k návrhu a realizaci nabíjecí stanice, je nezbytné zjistit, jaká již hotová integrovaná řešení, jsou k dispozici na trhu. Byla tedy prozkoumána nabídka nabíjecích obvodů vedoucích světových výrobců, a z dostupných výrobků, bylo několik vybráno, a stručně popsáno. Praktická část velice podrobně popisuje všechny obvody použité pro sestavení univerzální nabíjecí stanice, součástí popisu je i zdůvodnění, proč byl který obvod vybrán, a jak byl nastaven. Velký důraz je kladen na popis tvorby řídicího programu, a seznámení s mikrořadičem, na kterém je celá nabíjecí stanice založena. Popsána je i většina programových rutin, a program, který zpracovává naměřená data do grafické podoby. V závěru jsou diskutovány dosažené výsledky, analyzována naměřená data, a provedena ekonomická rozvaha navrženého řešení.

1.1 Cíle práce

- Provést průzkum trhu
- Navrhnout univerzální nabíjecí stanici za použití obvodů CCS
- Realizovat prototyp komunikující s PC, ovladatelný pomocí dotykového displeje
- Provést ekonomickou rozvahu navrženého řešení

2. Teoretická část

2.1 Technologie sekundárních elektrochemických článků (akumulátorů)

Pokud chceme sekundární elektrochemické články nabíjet, musíme vědět, o jaký akumulátor se jedná, a jakým způsobem ho nejlépe nabíjet. Články rozlišujeme podle toho, z jakých materiálů jsou vyrobeny. Také je lze rozlišit hodnotou nominálního napětí, které ovšem závisí na technologii výroby. Dnes jsou k dispozici akumulátory olověné, lithiové, na bázi niklu nebo nabíjecí alkalické – „RAM“. Mezi lithiové akumulátory patří Li-Ion, Li-Pol nebo LiFePO_4 , mezi niklové samozřejmě NiCd a NiMH. NiCd a NiMH, ale zdaleka nejsou jediné existující články na bázi niklu. Mezi ostatní niklové články patří NiFe (nikl-železné), dříve hojně používané jako trakční baterie, NiZn, které mají vyšší nominální napětí 1,65V na článek, a NiH články.

2.2 Olověné akumulátory

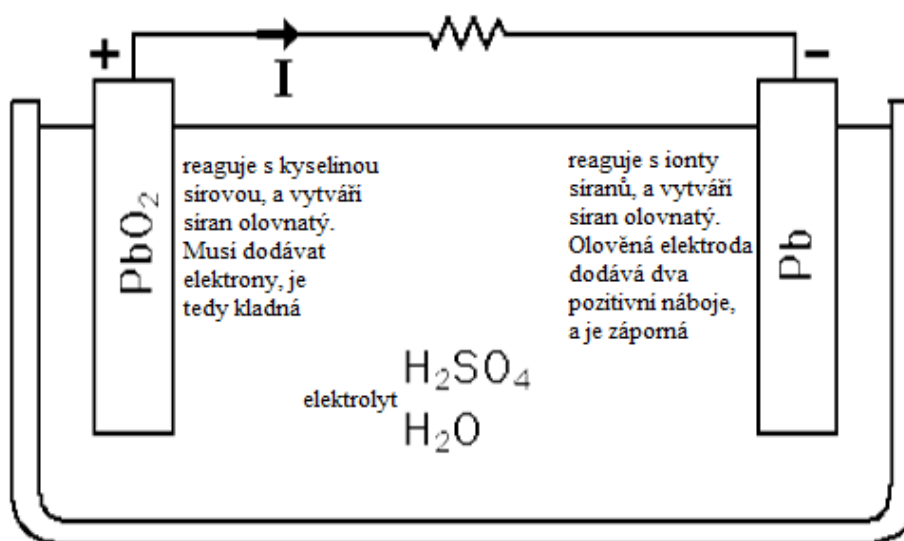
Olověný akumulátor je nejstarší známou technologií. Elektrody jsou tvořeny olovem. V nabitém stavu je negativní elektroda ve stavu čistého olova (Pb), pozitivní elektroda je pokryta oxidem olovnatým (PbO_2). Elektrody jsou ponořeny do elektrolytu – zde kyseliny sírové (H_2SO_4). Při vybití se postupně obě elektrody pokrývají síranem olovnatým (PbSO_4), koncentrace kyseliny slábne, a elektrolyt (pokud není gelový, AGM) je více náchylný k zamrznutí. Při nabíjení se síran olovnatý z elektrod dostává zpět do elektrolytu. Bohužel se nikdy po nabití nepodaří zbavit veškerého PbSO_4 , jehož malé množství i po plném nabití stále zůstává na obou elektrodách, a vede k zhoršování vlastností baterie, až do nepoužitelnosti. Nazýváno také sulfatace. I když je zde snaha usazený PbSO_4 z elektrod odstranit pomocí různých nabíjecích metod, například pulsního nabíjení, je sulfatace důvodem snižování kapacity baterie. Aby se elektrolyt nemohl vylít, vypařit z něho voda (nabíjení moc velkým proudem), omezila se náchylnost proti mrazu, a celkově snížila nutnost údržby těchto článků, byly vyvinuty gelové olověné a AGM („Absorbed Glass Mesh“) akumulátory, které buď využívají gelového elektrolytu nebo AGM, což je elektrolytem nasycená skelná tkanina, umístěná mezi pláty elektrod. Po narušení obalu takovýchto článků elektrolyt nevytéká, a neponičí tak zařízení, ve kterém jsou články instalovány. Z takto upravených akumulátorů ovšem nelze odebírat tak vysoké špičkové proudy, které např. potřebujeme k nastartování motorů, a proto jsou využívány zejména pro ukládání energie nebo záložní zdroje v solárních systémech, UPS a alarmech.

Na obrázku 2.1, je znázorněna vnitřní struktura olověného článku. Chemické reakce uvnitř článku lze popsat chemickými rovnicemi pro každou elektrodu zvlášť:

záporná elektroda:



kladná elektroda:



Obr. 2.1 – Olověný sekundární článek, uspořádání [1]

V případě vybíjení, na záporné elektrodě reaguje olovo s kyselinou sírovou, vzniká síran olovnatý, vodík, a protony. Na kladné elektrodě se také tvoří síran olovnatý a dodává elektrony.

Olověný článek má nominální hodnotu 2V, 2,041 při 25°C. Energetická hustota se pohybuje do 40 Wh/kg. Počet nabíjecích cyklů článku závisí na tom, jestli je akumulátor určen pro startování aut (SLI), tzv. „deep cycle“, který je přizpůsoben tomu, aby mohl být vybit až na 25% z celkové kapacity a poté znovu nabit. Počet cyklů se ale pohybuje mezi 200 – 700, což je méně než nabízejí další technologie. Nižší počet cyklů, nemožnost rychlého nabíjení, jsou ale vyváženy hlavně cenou, protože olověné akumulátory jsou ze všech ostatních těmi nejlevnějšími, a je dobře zvládnuta jejich recyklace. Dále se životnost baterie rapidně snižuje s provozní teplotou – o polovinu, při růstu o 10°C.

Olověné články se nejlépe nabíjí třístupňovou metodou, také v literatuře označováno jako „IUoU“ (konstantní proud, přepětí, napětí), kde nejdříve článek nabíjíme konstantním proudem. Tento proud by se měl pohybovat kolem C/10, což znamená, že nabíjíme proudem o velikosti desetininy kapacity uvedené v Ah. Poté, co v režimu konstantního proudu dosáhneme maximálního napětí (typicky 2,4V na

článek), můžeme přejít do druhé fáze, kde aplikujeme vyšší napětí než maximální. Poté čekáme na pokles nabíjecího proudu na minimální hranici, a přecházíme do třetí fáze, kde aplikujeme konstantní napětí, které může být bez poškození trvale připojeno k baterii. V této fázi udržujeme akumulátor nabitý – kompenzuje samovybitení (známé jako „trickle charge“). Lze použít také metoda CV, kde parametry jsou k dostání v dokumentaci od výrobce, a po celou dobu nabíjení je nutné pouze mít nastaven maximální přípustný proud. [1]

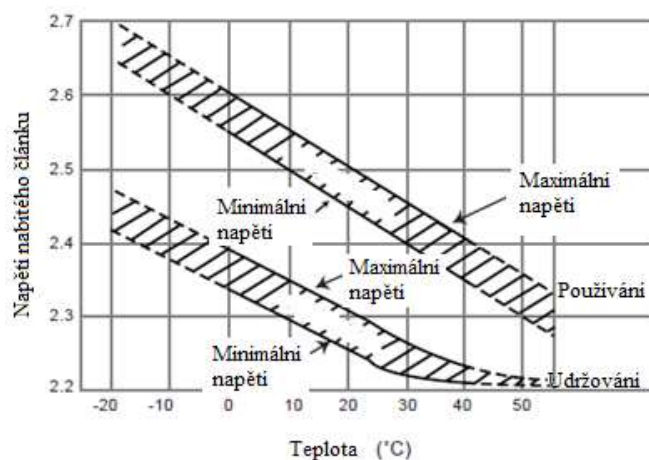
SLA akumulátor – ukázka



Obr. 2.2 – VRLA akumulátor Panasonic, řez akumulátorem [6]

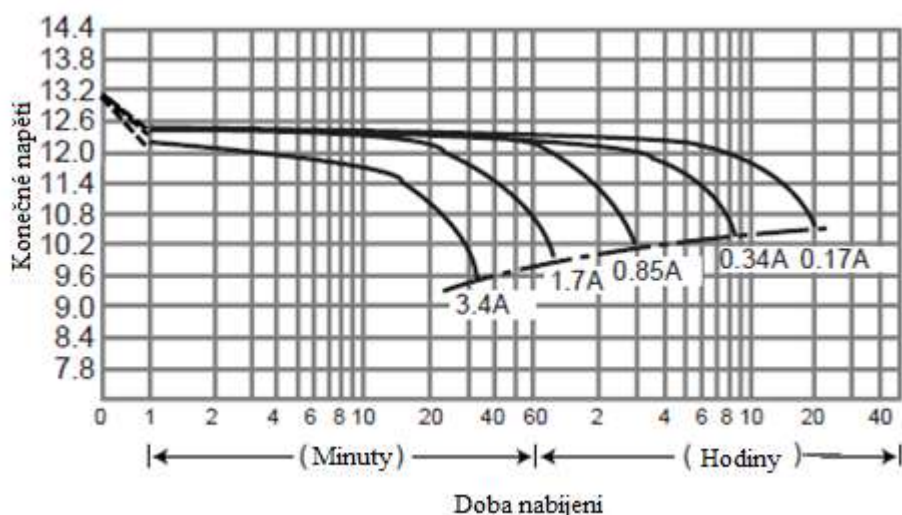
Jako ukázkou olověné baterie jsem vybral Panasonic LR-123R4P viz obr 2.2. Jedná se o typickou baterii pro UPS nebo zabezpečovací systémy. Jedná se o VRLA baterii, což je skupina, do které patří gelové a AGM baterie. Zkratka znamená „valve regulated lead acid“, v kostce se jedná o olověnou baterii s ventilem, který vypustí přebytečný plyn (vodík). Pro baterii je samozřejmě k dostání dokumentace, kterou si nyní popíšeme.

Tato baterie má nominální napětí 12V, kapacitu 3,4 Ah, a k připojení slouží fast-on konektory. Všechny kapacity a napětí, jsou uváděny pro teplotu 25°C, a při nabíjení musíme tento fakt brát v úvahu. Pokud se nacházíme v prostředí o jiné teplotě, musíme přepočítat nabíjecí napětí baterie, které s rostoucí teplotou klesá.



Obr. 2.3 - Závislost nabíjecího napětí na teplotě [7]

Na obrázku 2.3, lze pozorovat, jak se nabíjecí napětí s teplotou mění – klesá. Jsou zde zobrazeny dva průběhy, jeden pro tzv. udržování, kde je baterie trvale nabíjena nízkým proudem, aby se kompenzovalo její samovybíjení. Čím většími proudy nabíjíme, tím více nabíjecí napětí roste. V grafu je uváděno napětí pro jeden olověný článěk, tedy toto číslo násobíme šesti, protože v naší ukázkové 12V je článků 6. Pro nabíjení při 25°C tedy nabíjíme konstantním napětím 14,7V. Kapacita je udána 3,4 Ah, ta ale platí pouze pro způsob, kde baterii vybíjíme po dvacet hodin proudem 170mA, a s rostoucími vybíjecími proudy udávaná kapacita, kterou lze z baterie získat, klesá. Pokud bychom baterii vybíjeli proudem 2,1A po dobu jedné hodiny získáme 2,1 Ah. Poté co baterie dosáhne určitého napětí, označovaného jako „cut-off voltage“, je vhodné přestat vybíjet, abychom baterii hluboce nevybili. Maximální nabíjecí proud pro tuto baterii je při 25°C 1,36 A (proud musíme při nabíjení metodou konstantního napětí limitovat), a max. napětí v intervalu 14,5 – 14,9V. Na závěr ještě uvedu graf s vybíjecími křivkami.



Obr. 2.5 - Vybíjecí křivky pro VRLA baterii Panasonic, pro různé proudy [7]

2.3 Akumulátory na bázi niklu

Jsou takto nazývány, protože jejich kladná elektroda je tvořena oxidem niklu (do kontaktu přicházíme s dvěma - oxid nikelnatý NiO_2 a oxid niklitý Ni_2O_3). Jako elektrolyt je použit hydroxid draselný KOH. Niklová elektroda mění svoje chemické vlastnosti podle toho, jestli je článek nabíjen nebo vybíjen. Pokud je elektroda vybíjena, stává se jejím aktivním materiálem Ni(OH)_2 (hydroxid nikelnatý), pokud ji zpět nabíjíme, dostáváme NiOOH (hydroxid oxidu niklitého). Reakce na katodě lze popsat vztahem:



Vztah 2.3 vyjadřuje děje na katodě při nabíjení, pokud vybíjíme, probíhá reakce opačně, a v rovnici se pouze změní směr elektronů. Vybíjení tedy probíhá podle vztahu:



Protože všechny články na bázi niklu mají niklovou kladnou elektrodu, rozlišujeme technologie podle toho, jakým kovem (kromě NiH) je tvořena elektroda záporná. Protože i niklové baterie mají za sebou přes sto let vývoje, bylo experimentováno s různými materiály záporné elektrody. Nikl kadmiová (NiCd) baterie byla vynalezena Waldemarem Jungnerem ve Švédsku. Jungner experimentoval také s NiFe článkem, ale upustil od něho. NiFe článek byl později v Americe vyráběn Thomasem Edisonem, který jej nasazoval ve svých elektromobilech. NiFe baterie, společně s elektromobilem, byly ale vytlačeny automobily se spalovacím motorem, kde navíc výrobci použili olověnou startovací baterii. NiCd se stalo na dlouhou dobu jasnou volbou pro různá zařízení až do devadesátých let dvacátého století, kdy je z trhu začaly vytlačovat NiMH články. NiMH články dosahují vyšších kapacit než NiCd, ale trpí vyšším samovybíjením. NiCd články mají nyní ještě jednu nevýhodu – evropskou unií byl odsouhlasen jejich zákaz pro použití např. v aku-náradí, a to s platností od prosince 2016. V tomto textu se dále zaměřím pouze na NiCd a NiMH články.

NiCd články

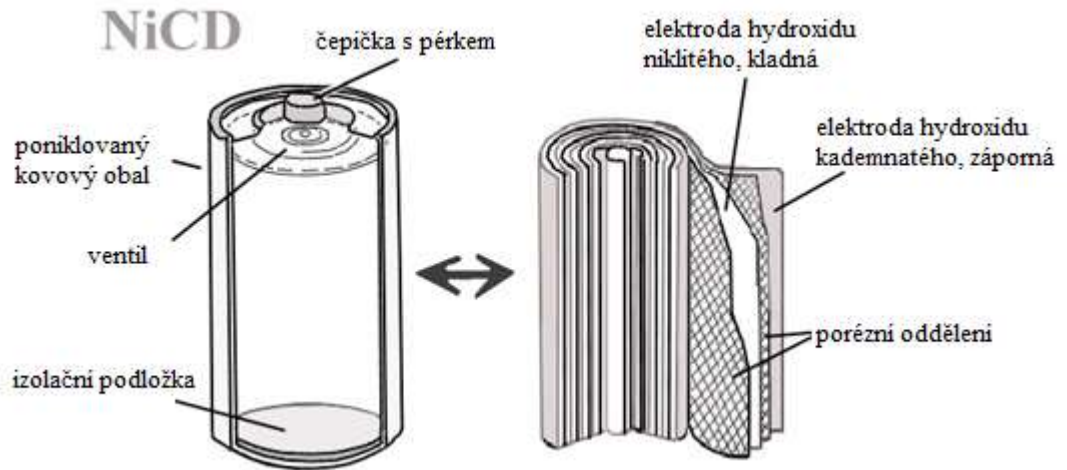
Na kladné niklové elektrodě se nic nemění (NiOOH), záporná elektroda je tvořena porézním kadmíem, a elektrolytem je hydroxid draselný (KOH) v koncentraci 20-34%. Nabíjecí a vybíjecí proces je popsán vztahem:



Zleva doprava se jedná o vybíjení, pokud strany zaměníme, získáme reakci pro nabíjení. Při přebíjení se tvoří kyslík, který poté chemicky rekombinuje do kadmiové elektrody a vytváří Cd(OH)_2 , které je při nabíjení opět proměněno na kadmium. Tohoto principu používají uzavřené články, kde je předimenzována záporná elektroda, aby vstřebala přebytečný kyslík, který je generován při přebíjení. Pokud NiCd článek opětovně hluboce vybíjíme, dochází k tvorbě molekul vodíku H_2 , který se nestihá vstřebávat do niklové elektrody, a po nastřádání dostatečného přetlaku může uzavřený článek prasknout. NiCd se vyrábějí plátové nebo srolované viz obr. 2.6, uzavřené („sealed“) nebo otevřené, s možností úniku plynu („vented“). U obou typů je důležité, aby se dovnitř článku nemohly dostat nečistoty ze vzduchu, protože kontaminují pozitivní i negativní elektrody, a snižují tak kapacitu článku. Nikl kadmiové články, mají mnohem delší životnost než olověné.

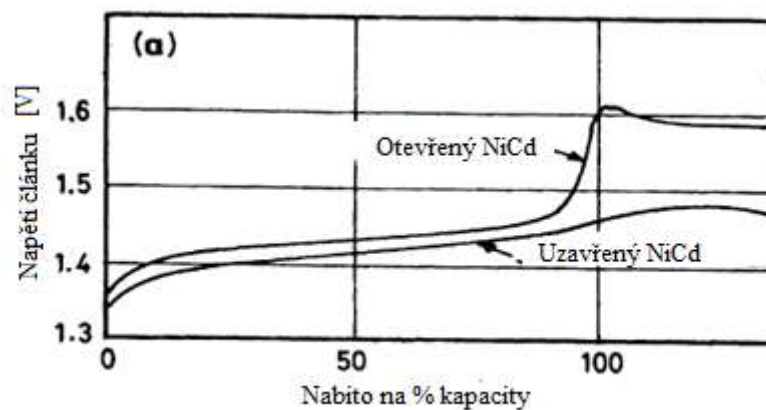
Na obr. 2.6 je zobrazeno upořádání uzavřeného NiCd článku. Skládá se z kladné a záporné elektrody, které jsou porézní – větší povrch, aby bylo dosaženo nízkého vnitřního odporu. Záporná elektroda je tvořena porézní kovovou fólií, která je pokryta aktivním materiálem – kadmíem. Kladná elektroda je tvořena NiOOH. Elektrody jsou

odděleny izolujícím separátorem, a ponořeny do alkalického elektrolytu. Všechny elektrolyt je nasáklý v aktivních hmotách elektrod a v separátoru – nikde není tekutý elektrolyt. Elektrody jsou stočeny do válce, který tvoří zápornou elektrodu. Kladná elektroda článku je tvořena čepičkou, pod kterou se skrývá ventil.



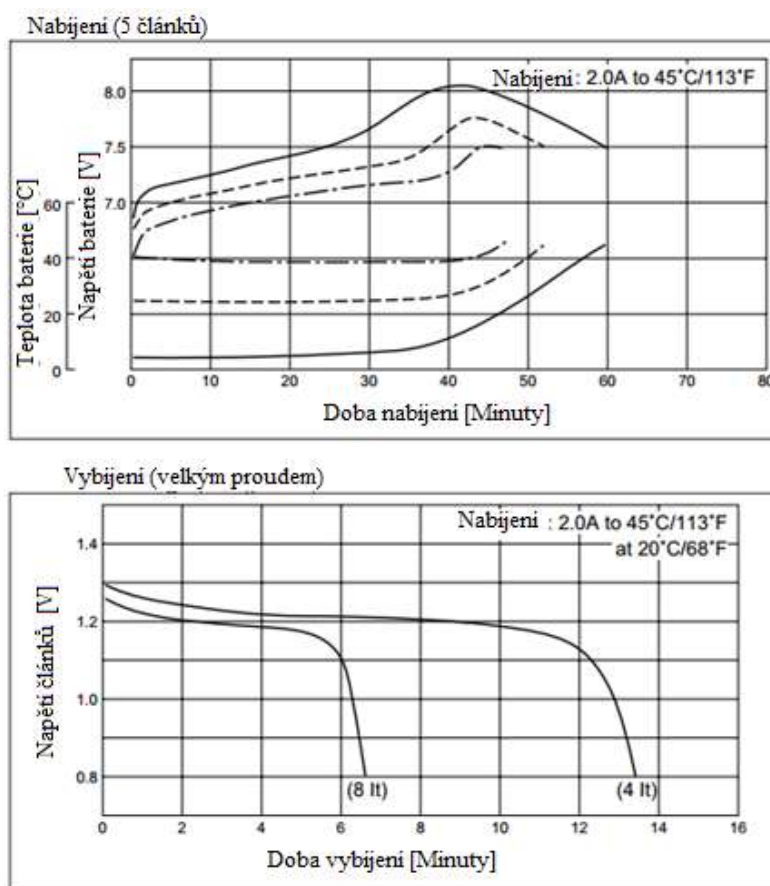
Obr. 2.6 - Vnitřní struktura uzavřeného NiCd článku [8]

Nominální napětí nikel-kadmiových článků je 1,2 V. Energetická hustota je lepší než u olověných akumulátorů, uváděno je 40-60 Wh/kg. Počet nabíjecích cyklů je mnohonásobně vyšší – až 2000 cyklů. NiCd má také vysokou hodnotu samovybití – 10% za měsíc. Jsou to jedny z baterií, které mohou být ultra rychle nabíjeny, a snesou velmi hrubé zacházení – např. hluboké vybití, a mohou být skladovány vybité. Po zakoupení nového vybitého NiCd, se musí článek poprvé nabíjet malými proudy do C/5.



Obr. 2.7 - Nabíjení NiCd článku proudem C/10 [22]

Na obrázku číslo 2.7, je zobrazen graf nabíjení NiCd článků proudem C/10. Povšimněte si prosím rozdílů mezi uzavřeným a otevřeným článkem, hlavně kde se nachází pokles napětí, který je jedním z indikátorů nabití u niklových článků. Tento pokles je při proudu C/10 téměř nezatelný, nebo se nachází až v místě, kde je článek přebítý.



Obr. 2.8 – Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky N-1300SCR, pro různé proudy [21]

Příklad NiCd článku

Pro příklad jsem vybral NiCd článek Panasonic N-1300SCR, což není standardní článek, ale je určen pro rychlé nabíjení. Udávaná kapacita tohoto článku je 1300 mAh, nominální napětí je samozřejmě 1,2V. Doporučený nabíjecí proud pro pomalé nabíjení je 130 mA (C/10), 390 mA pro „quick“ (C/3), a pro rychlé nabíjení 2A, tedy 1,5C. Rychlým nabíjením bude článek nabit přibližně za jednu hodinu. Vnitřní odpor článku je udán 4 mΩ. Na obrázcích výše jsou průběhy nabíjecích (pro 5 článků v sérii), a vybíjecích proudů, viz obr. 2.8.

NiMH články (uzavřené)

NiMH akumulátor má konstrukci, a kladnou elektrodu shodnou s NiCd akumulátorem. Elektrolytem je opět hydroxid draselný, který je nasáklý v elektrodách a separátoru, a nehrozí jeho vylití. Tyto články jsou také vybaveny přetlakovým ventilem. Značně se liší záporná elektroda. U NiMH článku je místo kadmia použit metal-hydrid, což je sloučenina kovu (nebo slitiny kovů) a vodíku. Ze slitin mohou jmenovat LaNi_5 , TiMn_2 , nebo ZrMn_2 . Vhodná slitina se vybírá podle požadavků na počet nabíjecích a vybíjecích cyklů, vysokou kapacitu pro uložení vodíku, a vlastnosti, které dovolí vysoké vybíjecí, a nabíjecí proudy. Vybíjení a nabíjení je popsáno vztahem:



Opět platí, že směrem zleva doprava jde o nabíjení, a opačně o vybíjení. Následující odstavce popisují výhody a nevýhody oproti NiCd článkům.

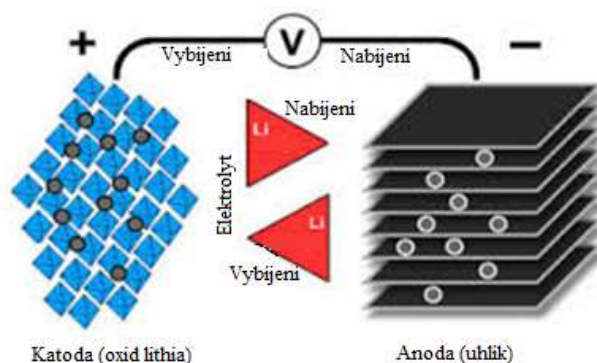
NiMH články nabízí oproti NiCd vyšší kapacitu, hydrát kovu (MH) je méně toxický oproti kadmiumu použitému v NiCd, a mohou pracovat v širším rozsahu teplot. NiMH technologie má ale i některé nedostatky oproti NiCd. S vyšší kapacitou NiMH článků, se také zvyšuje vnitřní odpor článku, a snižuje se tak maximální možný nabíjecí i vybíjecí proud. Většina NiMH článků trpí více samovybíjením než NiCd, a proto byly vyvinuty speciální NiMH články, které samovybíjením tolik netrpí. Tyto články nesou označení LSD NiMH, což je zkratka pro „low self discharge NiMH“, a prodávají se jako již nabité. Také počet nabíjecích cyklů se pohybuje v rozmezí 400-700, což je minimálně poloviční oproti NiCd. Způsob nabíjení, který je téměř totožný s NiCd, je popsán v dalších kapitolách.[8]

2.4 Lithiové akumulátory

Lithiové akumulátory dominují v téměř všech přenosných zařízeních, jako jsou notebooky, mobilní telefony, tablety, apod. Jsou malé, lehké a výkonné, jejich samovybíjení je oproti niklovým a olověným článkům minimální, a mají jednoduchý způsob nabíjení. Také s počtem nabíjecích cyklů rozhodně nezaostávají. Zde hraje velkou roli, při jakém napětí přestaneme článek vybíjet, i na jaké napětí je nabíjíme. Způsob nabíjení je sice jednoduchý, ale Li-Ion baterie jsou velice citlivé na přebití nebo přílišné vybití. Proti přílišnému vybití mají integrovaný obvod, který odpojí baterii od terminálů, pokud klesne napětí pod nějakou úroveň napětí (typicky 2,5V). Také můžeme např. u článků do mobilních telefonů vždy najít na baterii třetí terminál, ke kterému je připojen termistor pro měření teploty článku. Lithium-ion články mají udávanou energetickou hustotu 100 Wh/kg, Li-Pol dosahuje až 250 Wh/kg.

Chemický princip lithiového článku

V moderních lithiových člancích není kladná elektroda vyrobena přímo z lithia (vznětlivé), jako u primárních elektrochemických článků, ale v podobě oxidu kobaltitého LiO_3CoO , záporná elektroda existuje minimálně dvojího typu – mikrokrystalická forma uhlíku, grafitová a $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. Jako elektrolyt je použit tetrafluoroboritan lithný (LiBF_4). Pokud použijeme polymerový elektrolyt místo tekutého, získáváme Li-Pol článek.

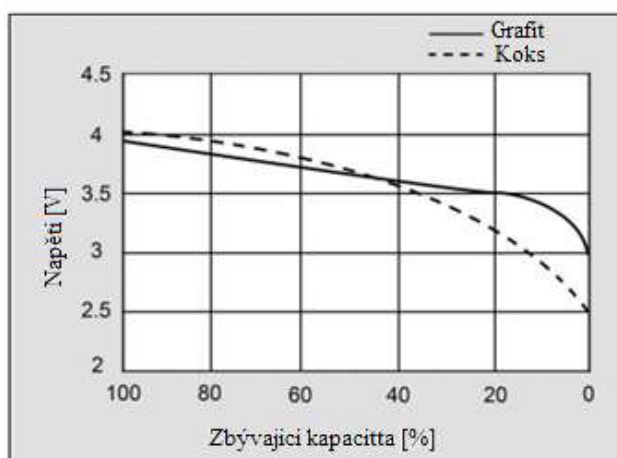


Obr. 2.9 - Li-Ion chemie zjednodušeně [9]

Baterie funguje na principu přenosu iontů lithia mezi kladnou a zápornou elektrodou. Lithiové ionty musí být schopny se přenášet skrze elektrolyt. Pokud baterii vybíjíme, ionty „cestují“ z uhlíkové elektrody oxidu niklu a kobaltu, a naopak při nabíjení. Popsaný princip, je popsán vztahem pro přenosy mezi elektrodami:



Jmenovité napětí Li-Ion článku je 3,6 V, 3,7V. Na rozdíl od niklových článků při vybíjení Li-Ion článku jeho napětí klesá strměji. A lze použít jako indikátor nabití nebo vybití Vybíjecí charakteristika Li-Ion článku je na obrázku 2.10. Li-Ion články nabíjíme metodou CCCV popsanou v následujících kapitolách.



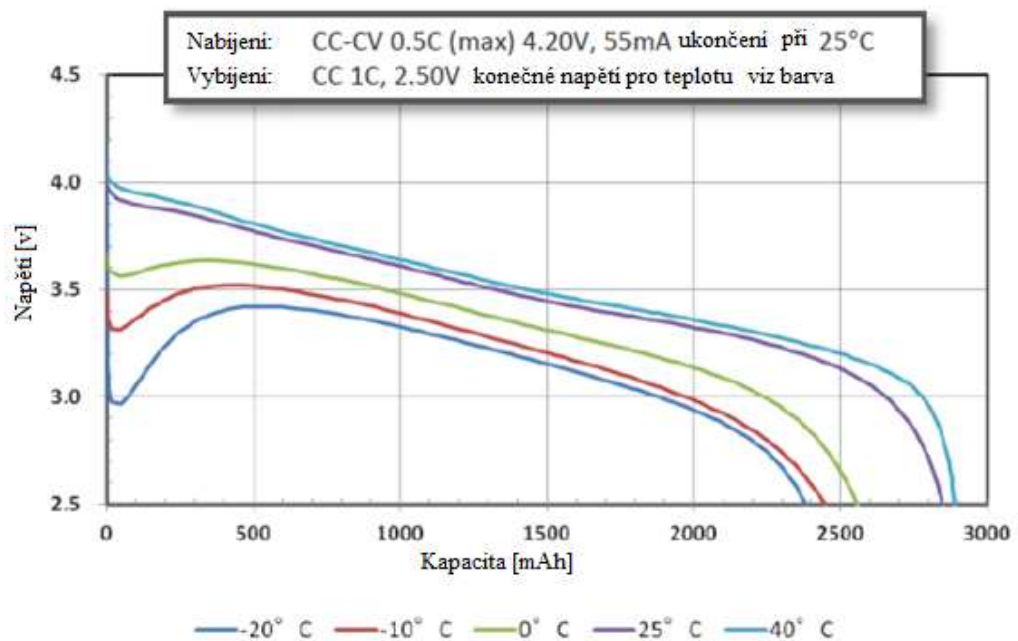
Obr. 2.10 - Vybíjecí křivka Li-Ion – různé záporné elektrody [6]

Další lithiové články

Kromě Li-Ion článků, jsou dnes na trhu články Li-Pol a LiFePO₄. Li-Pol akumulátory disponují většími vybíjecími proudy oproti Li-Ion. Výhody LiFePO₄ článků jsou ve vysoké teplotní stabilitě, zvládají lépe přebíjení, mají ale nižší nominální napětí 3,2V.

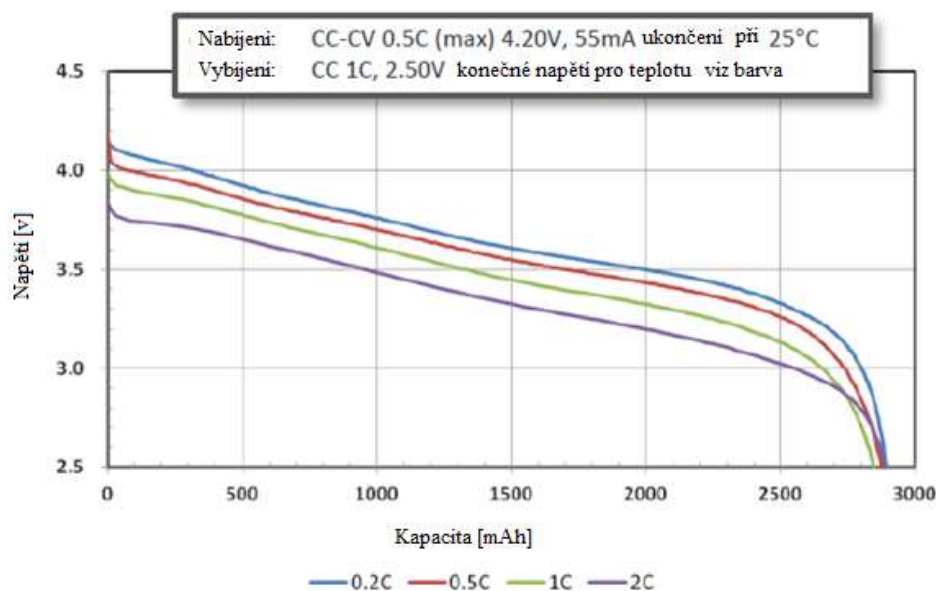
Li-Ion ukázka

Jako ukázkou jsem zvolil Li-Ion baterii Panasonic NCR18650F, ze série vysoko kapacitních Li-Ion baterií. Velikostně se článek podobá AA baterii, konkrétně je 65 mm vysoký, a 18,5 cm v průměru – jedná se o válcový článek. Nominální napětí je 3,6V, a kapacita by se měla pohybovat mezi 2700 - 2900 mAh (nominální kapacita je 2700mAh). Výrobce doporučuje nabíjet metodou CCCV, proudem 1375 mA po dobu čtyř hodin s maximálním napětím 4,2V. Teploty při nabíjení by neměly překročit 45°C, a klesnout pod bod mrazu. Skladovat a používat se může v teplotním rozmezí -20 – 50°C. Energetická hustota tohoto článku je 214 Wh/kg.



Obr. 2.11a – Vybíjecí charakteristiky pro různé teploty [7]

Nabíjecí charakteristika je shodná s tou, která je uvedena v následující kapitole u metody CCCV. V dokumentaci jsou uvedeny samozřejmě vybíjecí charakteristiky pro různé vybíjecí proudy (0,2 až 2C), vybíjecí charakteristiky závislé na teplotě, a graf znázorňující úbytek kapacity s počtem nabíjecích cyklů (po pěti stech cyklech pokles na 2000 mAh). Vybíjecí charakteristiky jsou uvedeny na následujících obrázcích 2.11a a 2.11b.



Obr. 2.11b – vybíjecí charakteristiky pro různé proudy [7]

2.5 Způsoby nabíjení

Způsoby nabíjení se dají rozdělit podle několika kritérií. Jedním z rozdělení je rozdělení podle rychlosti nabíjení. Doba, za kterou bude článek nabit, závisí na velikosti nabíjecího proudu. Tuto velikost většinou udáváme jako podíl kapacity článku v mAh resp. Ah. Znamená to, že když chci nabíjet 1000 mAh článek proudem $C/10$, nabíjecí proud bude 100 mA.

Při pomalém nabíjení je článek nabíjen proudy do $C/10$, a zcela logicky trvá nejdéle. Pro některé akumulátory je to ideální (olověné), ale například u NiCd a NiMH nám tak malý nabíjecí proud komplikuje možnost zjistit, kdy ukončit nabíjecí cyklus. Proto takové nabíječky nabíjí podle časovače, a je tu možnost, že baterie budeme přebíjet, a zkracovat tak jejich životnost. Pro rychlé nabíjení se používají proudy do 1C, a poté je zde ultra-rychlé nabíjení, kde jsou obvyklé proudy od 1C do 10C. Články podporující takto vysoké nabíjecí proudy, jsou vyráběny ve speciálních řadách.

Dále můžeme nabíječky rozdělit podle toho, jak nabíjí – konstantním proudem (CC), konstantním napětím (CV) nebo jejich kombinací (CCCV). Konstantní napětí je výhodné pro olověné baterie (více článků), Li-Ion. Konstantním proudem nabíjíme NiCd, NiMH, a v první fázi nabíjení i Li-Ion, olověné články. Dále je možné použít

pouze usměrněný transformátor o vhodném napětí, např. pro olověné baterie. Poslední větší kategorií je pulsní nabíjení, kde je nabíjecí proud zdrojem dodáván po pulzech. Mezi těmito pulzy, pokud máme mikroprocesorovou nabíječku, můžeme například měřit napětí článku a snažit se tak odvodit vnitřní impedanci článku.

2.6 Způsoby terminace nabíjení

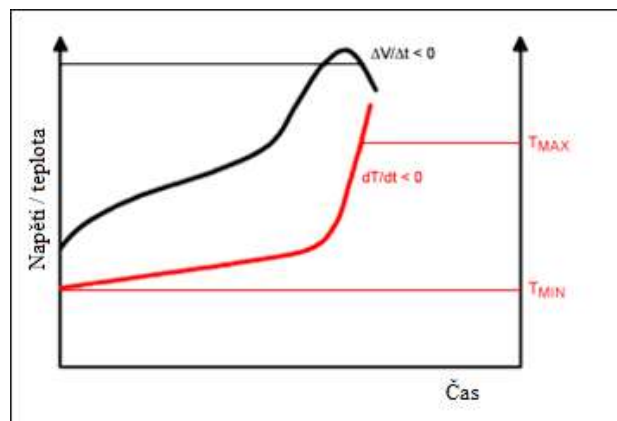
Tím nejdůležitějším při nabíjení je vědět, kdy ukončit nabíjecí cyklus. Pokud článek přebijeme, zkracujeme tím výrazně jeho životnost, a u některých technologií můžeme zapříčinit i destrukci článku. Přebíjení ale také zvyšuje teplotu, způsobuje plynování, a může dojít k explozi (pro Li-Ion je přebíjení neakceptovatelné), nebo alespoň k otevření přetlakového ventilu. Růst teploty můžeme využít i k odhadnutí, kdy nabíjení ukončit.

Ukončení po uplynutí určitého času – časovač

Tento způsob je jedním z nejprimitivnějších. Po započetí nabíjení se pouze začne měřit čas, jak dlouho byl článek nabíjen, a vůbec není bráno v úvahu, že jsme vložili skoro nabitý článek. Byla, a stále je tato metoda používána u nejlevnějších nabíječek. Větší smysl má tento typ ukončení jako záložní hlídací systém, a je také tak využíván.

Měření absolutní hodnoty teploty článku

Měří se teplotním senzorem absolutní hodnota, a např. při 40°C je nabíjení ukončeno. Při přebíjení se teplota článku vždy zvyšuje. Tato metoda opět neřeší některé situace, kdy zařízení z nabíječky těsně před ukončením nabíjení na chvíli odpojíme, článek stihne vychladnout, a po opětovném vložení do nabíječky se opět čeká na dosažení hraniční teploty.



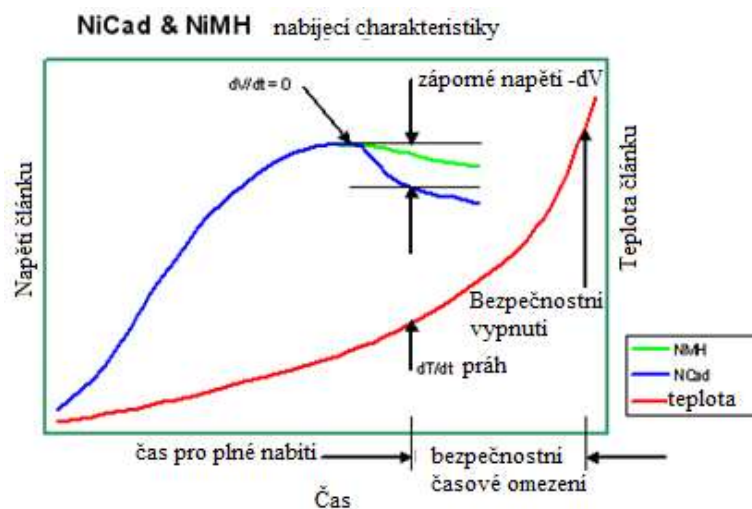
Obr. 2.12 - ΔT metoda [3]

Měření relativního rozdílu teploty článku (ΔT)

Je vylepšením předchozí metody. Nabíjecí obvod během cyklu nabíjení ukládá v určitém intervalu předešlé teploty nabíjeného článku. Pokud je článek již nabitý, začne prudce stoupat teplota. Asi nejvíce se tohoto využívá u NiMH článků, kde metoda ΔT nahrazuje použití metody $-dV$ (dále), protože pokles napětí článku po plném nabití není tolik znatelný jako u NiCd článků. Pro jeho správné měření je potřeba kvalitnější elektroniky, aby rozeznala i tak malý pokles napětí jako 10 mV, což může být hravě i chybové napětí za zesilovačem. Tato metoda lze samozřejmě použít i u NiCd. K ukončení nabíjení je potřeba růstu teploty o 1°C za minutu.

Měření změny napětí článku

Jak lze z předešlého obrázku 2.12 odhadnout, tak se při plném nabití mění i napětí článku. Na obrázku 2.13 je k vidění porovnání nabíjecích napěťových charakteristik NiCd a NiMH článků. Nejznámější je detekce záporné změny napětí, též označováno jako $-dV/dt$ nebo NDV – „negative delta V“. Nabíječka opět zaznamenává předchozí hodnoty napětí článku, a pokud začne napětí klesat, nabíjení bude ukončeno. Protože se záporná změna napětí téměř neprojevuje při nabíjení nižšími proudy, je používána převážně u rychlých nabíječek a výše. Nemusíme ale spoléhat pouze na $-dV$, v některých případech lze detekovat např. neměnicí se napětí, a po určitém uplynulém čase nabíjení ukončit.

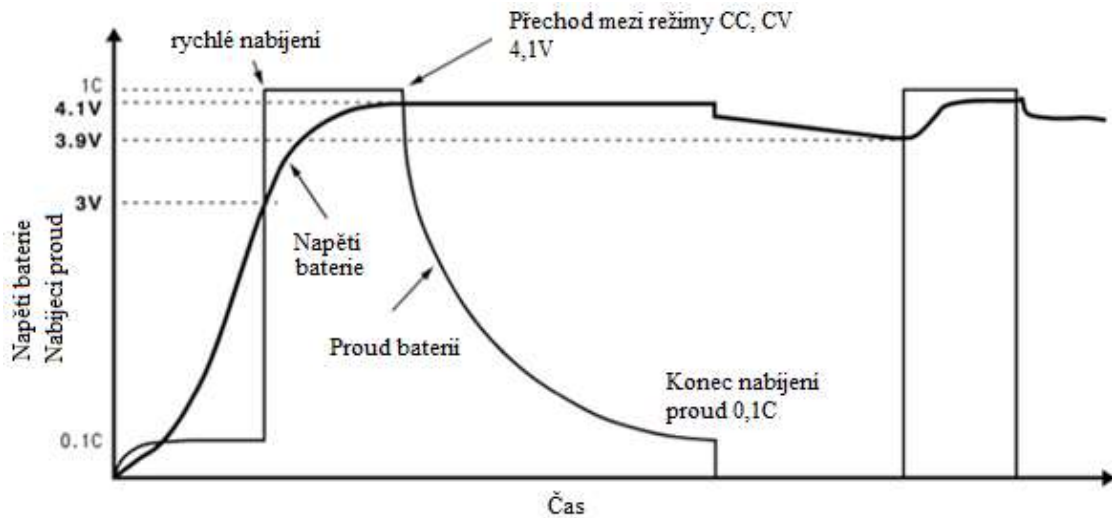


Obr. 2.13 - NiMH, NiCd průběhy [4]

Dosažení určitého napětí, proudu

Kombinace těchto kritérií se využívá u metody nabíjení CCCV, která je určena pro nabíjení Li-Ion článků. Nejdříve nabíjíme konstantním proudem v mezích zadaných výrobcem, a po dosažení napětí 4,2V (nebo jiné viz podkapitola Li-Ion), se nabíječ přepne do režimu konstantního napětí. V tomto režimu čekáme na dosažení

minimálního proudu, často 1% z nabíjecího, a nabíjení ukončíme. Tyto metody jsou shrnuty na obrázku 2.14.



Obr. 2.14 – CCCV pro lithiové akumulátory [5]

Nabíječky v praxi vždy kombinují několik metod terminace nabíjení, aby došlo ke správnému nabití článků, a maximalizaci jejich životnosti. Pokud se jedná o univerzální inteligentní nabíječku, ta by měla ovládat všechny nabíjecí režimy a všechny technologie akumulátorů.

2.7 Dostupné nabíjecí obvody

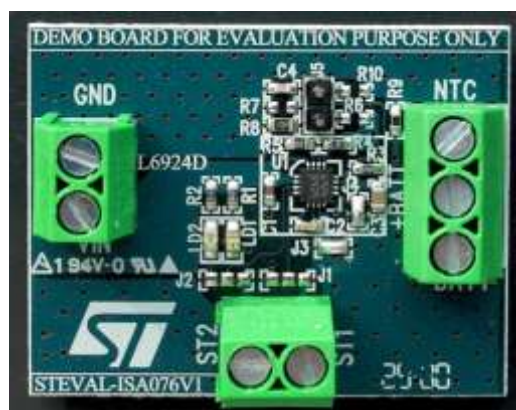
Specializované nabíjecí obvody vyrábí snad každý známý výrobce elektronických obvodů. Zakoupit lze nabíjecí obvody pro libovolnou technologii akumulátorů, s libovolnými nabíjecími proudy. Vybírat můžeme také podle metod nabíjení, způsobu ukončení nabíjení. V nabídce jsou lineární, spínané, pulzní i bezdrátové řídicí obvody pro samostatné nabíjecí stanice, nebo bateriová zařízení jako mobilní telefony, tablety, notebooky. Velmi dobrý výběr těchto obvodů můžeme najít u společností Linear Technology, Texas Instruments a Maxim Integrated. V průzkumu jsou zahrnuti i společnosti ST Microelectronics, BTI.

ST Microelectronics

ST Microelectronics nabízí několik integrovaných řešení, navržených hlavně pro přenosná zařízení. Obvody nabízejí nabíjecí proudy mezi 0,2 a 1,2 A, a jsou zaměřeny na převážně na Li-Ion články.

L6924D (ST) – pro nabíjení jednoho Li-Ion článku.

Vhodné pro přenosná zařízení – mobilní telefony, PDA. Obvod je kompletním řešením pro nabíjení jednoho Li-Ion nebo Li-Pol článku. Nemusí být připojen žádný výkonový tranzistor, ochranné diody, apod. K obvodu se připojuje pouze několik pasivních součástek pro nastavení vlastností nabíjení. Lze připojit i teplotní senzor. Obvod může nabíjet proudem až 1A. Obvod přestane nabíjet, pokud napětí baterie dosáhne nastaveného napětí (4,1V nebo 4,2V) a proudu (lze nastavit). Nabíjecí proces může být ukončen také zvýšením teploty baterie, nebo překročením maximální doby nabíjení. Nabíjecí obvod používá metodu CC/CV (constant current, constant voltage) tedy do dosažení určitého napětí nabíjí konstantním proudem, poté přejde na konstantní napětí, a po dosažení nastaveného proudu se nabíjení ukončí.



Obr. 2.15 – Demonstrační deska s obvodem L6924D [23]

Obvod má také tzv. režim „pre-charge“, který se používá pro hluboce vybité články (napětí pod 2,5V – v tomto módu se baterie nabíjí proudem asi 40 mA. Obvod L6924D pracuje v lineárním módu. Je zde ovšem možnost pracovat v tzv. kvazi-pulzním módu. V kvazi-pulzním módu se spoléháme na to, že proud omezuje předřazený spínací zdroj. V tomto módu ve fázi konstantního proudu dosahujeme vysoké účinnosti oproti lineárnímu režimu.

PM6613M

PM6613M se od předchozího IO liší v několika směrech. Tento čip je určen pro nabíjení více článků (2 - 4) v sérii (notebooky, tablety). Počet článků, nabíjecí proud, spínací frekvence snižujícího měniče se nastavují přes sběrnici SMBus. Nejedná se o lineární obvod, základem tohoto nabíjecího obvodu je snižující synchronní měnič. Měnič používá v „high-side“ i „low-side“ NMOS výkonové tranzistory. Aby toto bylo možné, je integrována i nábojová pumpa, která poskytuje napětí pro spínání „high-side“ tranzistoru. Velikost nabíjecího proudu lze měnit přes sběrnici od 64 mA do 16 A s krokem 64 mA. Proud je snímán diferenčně, z 10 mΩ rezistoru v sérii s baterií. ST dále nabízí specializované integrované obvody pro realizaci USB nabíječek – opět pro Li-Ion technologii. Speciální obvody pro nabíjení NiCd, NiMH, a dalších se v nabídce výrobce momentálně nenacházejí.

Linear Technology

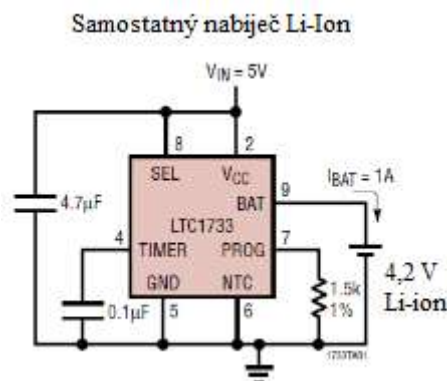
Společnost Linear Technology nabízí velké množství nabíjecích obvodů, pro všechny dostupné akumulátory, a nabíjecí proudy až do 4 A. Většina těchto obvodů zvládá pracovat autonomně, je zde ale možnost obvody dále ovládat pomocí mikrořadičů, a rozšiřovat některé z vlastností. V nabídce jsou lineární,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

Lineární nabíjecí obvody (LT)

V nabídce jsou obvody pro nabíjení všech typů akumulátorů. Pro Li-Ion je používána metoda CCCV, poté co proud klesne na $C/10$ a vyprší časovač (nastaveno kondenzátorem) je nabíjení ukončeno.

LTC1733 (lineární)

LTC1733 je lineárním nabíjecím obvodem určeným pro akumulátory Li-Ion v mobilních telefonech. Jedná se o plně integrované řešení, a k nastavení je potřeba pouze rezistor (nastavení nabíjecího proudu), a kondenzátor pro nastavení časovače. Samozřejmostí je možnost monitorování teploty pomocí NTC senzoru.



Obr. 2.16 - LTC1733 jednoduché zapojení [20]

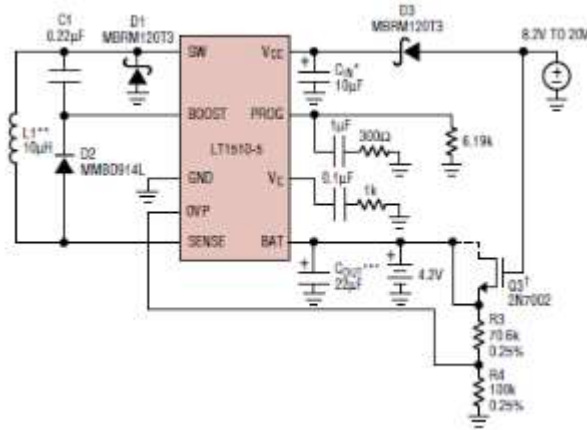
SPÍNANÉ nabíjecí obvody (LT)

Nabídka spínaných nabíjecích obvodů je opět velká (rok 2016 cca 57 obvodů). Všechny tyto obvody mají integrovan alespoň řídicí obvod pro spínaný zdroj (většinou snižující měnič), některé, většinou pro nižší nabíjecí proudy), mají integrované i spínací tranzistory, a je potřeba jenom připojit správnou indukčnost. Protože nabíjíme říditelným spínaným zdrojem, dosahují tyto nabíjecí obvody vyšších účinností než lineární. Zde již asi čtvrtina obvodů potřebuje dodat nějaké řízení z např. mikrořadiče. Dostupné jsou pro všechny typy akumulátorů, a pro nabíjecí proudy do 20 A.

LT1510 (LT)

LT1510 je typickým zástupcem spínaných nabíjecích obvodů. Je určen pro nabíjení NiCd, NiMH a Li-Ion článků, a lze samozřejmě i upravit pro nabíjení

olověných akumulátorů o nižších kapacitách. Maximální nabíjecí proud je 1,5A, který nelze zvýšit, protože rezistor pro snímání proudu i spínací tranzistory jsou integrovány v čipu. Proud se opět nastavuje rezistorem, jsou zde však i jiné možnosti – například DA převodníkem, nebo lze pomocí PWM měnit odpor rezistoru připojeného k pinu R_{PROG}.



Obr. 2.17 – LT1510 jako nabíječka Li-Ion [20]

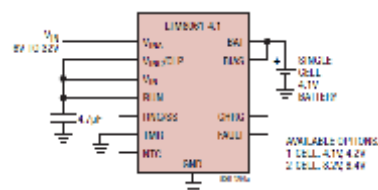
Důležitou částí obvodu je snižující měnič. Jeho spínací frekvence nelze měnit, výrobce však nabízí dvě varianty 200 kHz nebo 500 kHz. Vyšší frekvence vede samozřejmě k menším indukčnostem a úspoře místa. Pro nabíjení Li-Ion je zde pin OVP, který hlídá, kdy dosáhne článku napětí 4,2V, poté nabíječka přechází do fáze CV.

Další..

Dále Linear Technology nabízí pulzní nabíjecí obvody LTC1730 a LTC4052. Oba obvody jsou určeny pro nabíjení Li-Ion a LiPol článků. Maximální nabíjecí proud 1,3A. Pulzní obvod LTC1730 funguje tak, že dokud je akumulátor vybitý, spoléhá na proudové omezení zdroje, a vnitřní tranzistor je naplno otevřený. Poté co začne článek dosahovat nabitého stavu, tak omezuje proud (PWM), dokud proud nedosáhne C/10, po dosažení této podmínky, a doběhnutí časovače je nabíjení ukončeno.

µModule (LT)

Je označení nabíjecích odvodů od LT, které jsou plně integrovaným řešením. Na konstruktéra již zbývá pouze zajištění napájení, připojení teplotního senzoru a akumulátoru. Jedná se ještě o jednodušší zapojení než u obvodu L6924D (ST výše). Všechny jsou v BGA pouzdrech.



Obr. 2.18 - µModule – LT vše v jednom [20]

Texas Instruments

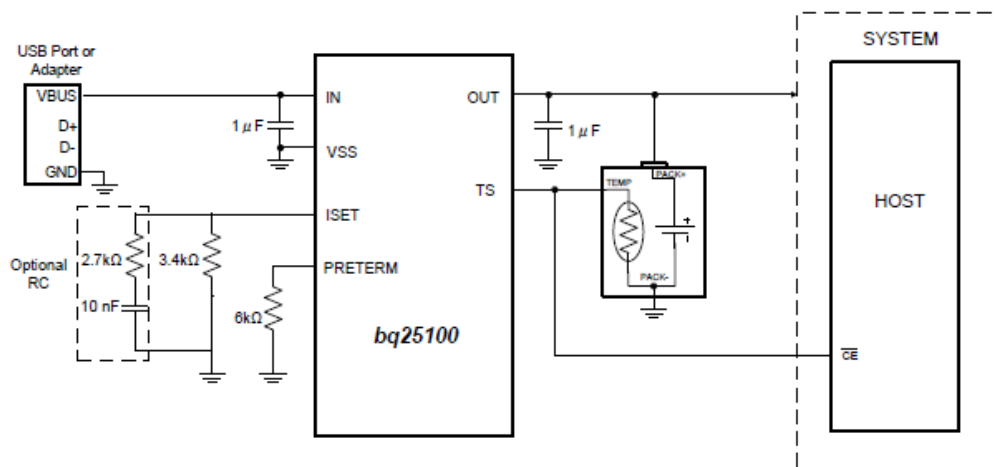
TI nabízí lineární, spínané, a navíc i obvody pro bezdrátové nabíjení. Ze spínaných nabízí rychlonabíjecí obvody, samostatné, a řízené přes SMBus. Nabídka lineárních obvodů je zde rozdělena na obvody určené pro tzv. nositelnou elektroniku a jednoduché výkonové IC, pro nabíjení jednoho až dvou článků. TI získalo původně nabíjecí a bateriové sledovací obvody akvizicí firmy BenchmarQ Microelectronics v roce 1999, proto jejich integrované obvody nesou značení BQ.

Lineární pro nositelnou elektroniku (TI)

V nabídce lineárních nabíjecích obvodů se nabízí k tomuto dni 99 produktů, zaměřují se na většinu technologií akumulátorů (NiCd, NiMH, Li-Ion/Pol a olověné aku). Nabíjecí proudy do 1,5A (neplatí pro 1 obvod určený pro olověné akumulátory). Všechny, kromě jednoho, mohou fungovat jako samostatné obvody – netřeba dalšího dodatečného řízení.

BQ25100

Je zástupcem ze skupiny určené pro nabíjení akumulátorů v nositelné elektronice. Zvládá nabíjení jednoho Li-Ion nebo Li-Pol článku, a je kladen důraz na nízkou spotřebu. Maximální nabíjecí proud je 250 mA. Dostupné v BGA pouzdře.



Obr. 2.19 – Zapojení BQ25100 jako USB nabíječky [20]

Zapojení je velice jednoduché (viz obr. 2.19). Můžeme pouze nastavit maximální proud pro nabíjení v rychlém režimu, a proud, při kterém je nabíjení ukončeno (v rozsahu 1-50%), což je v tomto případě minimálně 1 mA. Dvojnásobek takto nastaveného proudu je proudem, kterým se článek bude nabíjet, pokud je hodně vybit. Jako u většiny Li-Ion nabíječek, je i zde samozřejmostí možnost připojení teplotního senzoru (NTC), pro případné ukončení nabíjení. Nabíjí se opět v několika fázích – „pre-charge“, kde se nabíjí malým proudem, poté klasicky metodou CC/CV, a při poklesu nabíjecího proudu na námi nastavenou hranici je nabíjení ukončeno. Při paralelním řazení baterie se zátěží

nesmí být překročen max. proud. Ukončit nabíjení také může nastat po vypršení časovačů, a to nejdéle do 10 hodin.

BQ2002D

Tento obvod má být řazen za zdroj konstantního proudu, nebo alespoň za zdroj s proudovou limitací. Pomocí jednoho pinu vypíná nebo zapíná nabíjecí proud. Určen je pro nabíjení NiCd a NiMH. Je jedním z lineárních nabíjecích obvodů, který používá pro ukončení nabíjení metodu dT/dt , tato metoda je vhodná zvláště pro nabíjení NiMH článků, kde metoda ukončení – dV/dt nemusí být spolehlivá.

Spínané nabíjecí obvody

V nabídce jsou spínané obvody, které mají buď spínací tranzistory integrované, nebo mají integrované budiče pro externí tranzistory (nabíječ pro vyšší proudy). Takto plně integrovaná řešení nabízejí nabíjecí proudy až do 10A, různá vstupní napětí, tzv. „USB friendly“ obvody, lze je nastavovat přes sběrnice I²C, SMBus, a také pomocí pasivních součástek. Je opravdu z čeho vybírat – používají se osvědčené metody nabíjení a ukončování nabíjení. Pokud není za potřebí nic nastavovat ani řídit mikroprocesorem, jsou k dispozici obvody pracující samostatně. Samozřejmostí je podpora všech technologií akumulátorů, a také se v nabídce nacházejí obvody určené pro nabíjení a správu super kondenzátorů.

BQ24266

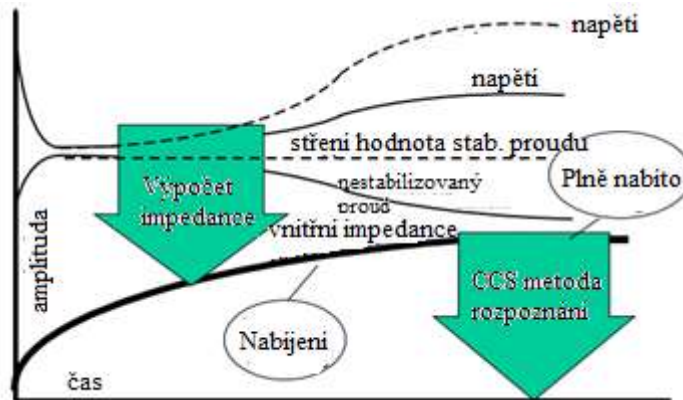
Je nabíjecím obvodem pro jeden Li-Ion/Pol článek, ale také se stará o napájení zařízení, ve kterém je osazen. Je vhodný pro napájení z USB, lze ale použít také střídavý adaptér. Napájí zařízení, a současně nabíjí akumulátor. Pokud je potřeba vyšší odběr napájeného zařízení, než je USB schopné dodat, je mu vyšší proud dodán z baterie. Nastavují se zvláště max. proudy pro USB a nabíjecí proud. Spínaný zdroj pracuje na frekvenci 1,5 MHz, a jeho výstup je přes pin SYS přiveden zpět do čipu, kde je dále používán pro nabíjení baterie. Baterie je opět nabíjena standardním způsobem – „pre-charge“, CC, CV, a poté ukončení. Po odpojení z USB, je zařízení napájeno z baterie.

Bezdrátové nabíječky (TI)

Texas Instruments nabízí čtyři vysílače a čtyři přijímače pro bezdrátové nabíječky. U vysílačů jsou to čtyři různé výkony – pod 2,5W, 3,5W, 5W a 10 W. Přijímače se starají o řízení výkonu vysílačů, a samozřejmě o nabíjení. Liší se počtem cívek, které lze připojit, a na jakém napětí zvládnou pracovat.

BTI

Rakouská společnost BTI nabízí několik integrovaných CCS kontrolérů. CCS je zkratkou „computerized charging system“, volně přeloženo jako počítačem řízený nabíjecí systém. Výrobce uvádí, že během nabíjení dochází k průběžnému měření impedance mezi elektrodami a elektrolytem. Toto má zaručit, že obvod dokáže nabíjet všechny existující technologie baterií, v jakémkoliv sériovém či paralelním řazení, bez jakéhokoliv přebíjení.

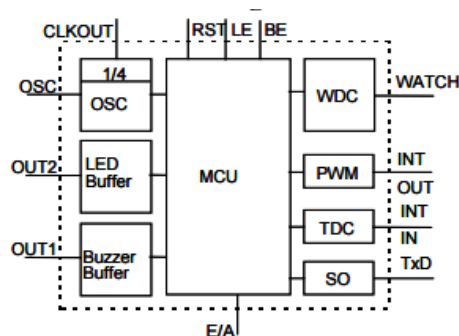


Obr. 2.20 – CCS proces terminace [19]

Podle analýzy ukázkových zapojení, dokumentace jednotlivých obvodů a „app notes“ lze odvodit, že se jedná o pulzní nabíječ, kdy je vždy na chvíli přerušen nabíjecí proud, a poté je měřeno napětí článku které se musí předem děličem vydělit tak, aby na vstupu CCS obvodu bylo maximálně 1,2V.

CCS9620LT

Obvod 9620 je jedním z celé řady CCS obvodů, které se liší v podstatě jenom drobnostmi.



Obr. 2.21 - CCS9620LT blokový diagram [19]

Všechny obvody jsou schopné využívat CCS terminační metodu nabíjení. CCS9620 má navíc jeden výstupní pin, který dovoluje konstruktérovi univerzální

nabíječky použít místo nevyfiltrovaného usměrněného napětí (100 Hz) externí spínaný zdroj. Tímto pinem je poté spínaný zdroj modulován tak, aby se dosáhlo pulsního nabíjecího režimu, nutného pro funkčnost metody CCS. Spínaný zdroj je navíc efektivnějším řešením. Další věcí, kterou se od sebe CCS kontroléry liší, je doba, za kterou opět mohou započít nabíjení článku, který byl již nabit. Tento kontrolér má také sériový výstup, jehož protokol ovšem není volně dostupný, a zákazník si musí dokoupit „dekódovací“ modul. Obvod CCS9620 je použit v prototypu nabíjecí stanice, a způsob jeho zapojení, je podrobně popsán v následujících kapitolách.

3. Návrh a realizace inteligentní nabíjecí stanice

V této kapitole bude dopodrobna popsán celý návrh nabíjecí stanice, a to v několika kapitolách. Je zde popsán a zdůvodněn výběr součástek pro realizaci, vysvětlena funkce a nastavení těchto součástek, popis konečného prototypu a jeho jednotlivých bloků. Samozřejmostí je také představení hlavního mikrořadiče, jeho schopností, a slovní popis programu, který nabíjecí stanici řídí.

3.1 Popis navrhovaného prototypu

Základním prvkem, který předurčuje naprostou většinu ostatních obvodů přítomných na prototypové desce, je CCS kontrolér. CCS kontrolér jsme si již představili krátce v teoretické části. CCS kontrolér je používán jako terminační obvod, pro nabíjení veškerých podporovaných článků. Podporovanými technologiemi výrobce nešetřil, a proto tedy budeme tento obvod využívat pro terminaci nabíjení všech technologií. Abychom ale mohli dosáhnout požadované univerzality, musíme přidat několik dalších podpůrných obvodů. CCS kontrolér dokáže samozřejmě fungovat samostatně i jako řídicí obvod pro zdroj nabíjení, ale my této funkce nebudeme využívat, a jako nabíjecí zdroj využijeme obvodu LT1511, jehož výstup bude CCS kontrolér řídit jenom tak, aby bylo možné použít CCS metodu terminace. Dalším krokem pro univerzalitu je možnost nabíjet téměř libovolný počet článků. Ten je samozřejmě určen napájecím napětím, ale CCS požaduje vydělení nominálního napětí článků na hodnotu 1,2V. Toto se například v komerčně dostupném nabíjecím modulu řešilo připojením vhodného odporového děliče na jeho svorky. Protože my chceme vše řídit z dotykového displeje, musíme tento způsob nahradit něčím jiným. Nakonec bylo vybráno řešení, kde se dělič s 8 volbami přepíná pomocí dvou analogových spínačů DG445. To ovšem stále není vše, co je pro univerzalitu potřeba, protože velká část chemických technologií vyžaduje omezení nabíjecího napětí. Asi nejkritičtější je toto pro Li-Ion články. Zde CCS kontrolér absolutně pokulhává, a pro toto omezení musíme použít obvodu LT1511 (naš nabíjecí zdroj), který s napětíovou ochranou pro články počítá. Protože i LT1511 potřebuje, tentokrát maximální napětí, mít vyděleno na požadovanou hodnotu děličem, i zde musíme mít přepínatelný dělič napětí, a to s vysokou přesností. Tímto zapojením docílíme určité (ne absolutní) volnosti – lze nabíjet více článků v sérii, lze omezit maximální nabíjecí napětí, a výstupní proud LT1511 lze nastavovat v celém rozsahu. Výstupní proud závisí na kombinaci dvou stříd dvou signálů, jednu z nich řídíme my, druhou pin E/A CCS kontroléru, abychom mohli ověřovat správnost nastaveného proudu, měříme ho stejně jako LT1511 na snímacím rezistoru. Tímto je tedy vyřešeno nabíjení článků.

Do prototypu byl ale zařazen další blok – měřič kapacity článků. Mezi těmito bloky lze přepínat pomocí relé, a nemohou pracovat zároveň. Měřič kapacity lze kromě měření kapacity použít i k vybíjení článků na určené napětí, předtím než se začne nabíjet. Měřič kapacity je určen primárně pro vybíjení článků konstantním proudem. Během vybíjení, u kterého lze nastavit vybíjecí proud a konečné napětí, je možno zaznamenávat napětí článku, pro pozdější vykreslení do grafu. Možno je i zaznamenávat průběh proudu, to ovšem není nutné, protože vybíjíme konstantním proudem.

Dalším blokem, blokem řídicím, lze označit mikrořadič STM32F4 a dotykový displej. Mikrořadič zprostředkovává komunikaci s uživatelem, počítačem, a má plnou kontrolu nad prototypovou deskou. Prototyp byl navrhnout na samostatné desce plošných

spojů, a s okolím komunikuje za pomoci vyvedeného 24 pinového konektoru, na kterém se nachází veškeré vodiče pro nastavování prototypu, a měření uvedených veličin. Tyto analogové výstupy, případně vstupy, jsou opatřeny zesilovači, které impedančně oddělují měřenou veličinu od převodníků. Analogové výstupy jsou také vybaveny přepětovou ochranou v podobě Zenerových diod, které začínají omezovat napětí kolem hranice 3V. Samozřejmou možností je také osazení anti-aliasingových filtrů, které by byly potřeba hlavně, pokud bychom chtěli dopodrobna vzorkovat nabíjecí proud vysokými vzorkovacími frekvencemi. Pro posílání navzorkovaných a zpracovaných dat, je na desce přítomen převodník ze sériového portu na port USB. K PC je prototyp tedy připojován USB kabelem. Zásílaná data jsou poté zpracována skriptem pro prostředí Matlab.

Prototyp lze napájet téměř libovolným stejnosměrným adaptérem s výstupním napětím v rozmezí od 12V do 20V, kde spodní hranice tohoto intervalu, by měla být vždy alespoň o 7V vyšší, než nominální napětí nabíjeného článku. Pro připojení nabíjených článků, je na kraji desky vyvedena šroubovací svorkovnice, ke které lze připojit vhodný „držák“ nabíjené baterie, nebo jiné připínací konektory, pro nabíjitelné 9V baterie, a baterie olověné. Všechny tři samostatné desky (nabíječ, displej a mikrořadič), jsou propojeny vlastním plochým kabelem, kde samostatné vodiče, byly dány na vhodná místa konektoru, a poté společně zaříznuta do konektoru pro ploché vodiče (používané dříve například pro připojení pevných disku do IDE řadiče, tedy před nástupem sběrnice SATA).

Zařízení pro komunikaci s uživatelem

Navrhnutá inteligentní nabíječka komunikuje s uživatelem přes barevný maticový led displej, a vstup uživatele je získáván z rezistivní dotykové vrstvy, která je součástí displeje. Nabíječka tedy nemá žádná vstupní tlačítka, potenciometry, ani rotační enkodéry. Pro takto nenáročnou úlohu, kde nemusíme rychle překreslovat displej, postačí levný sériový displej.



Obr. 3.1 – Dotykový modul [10]

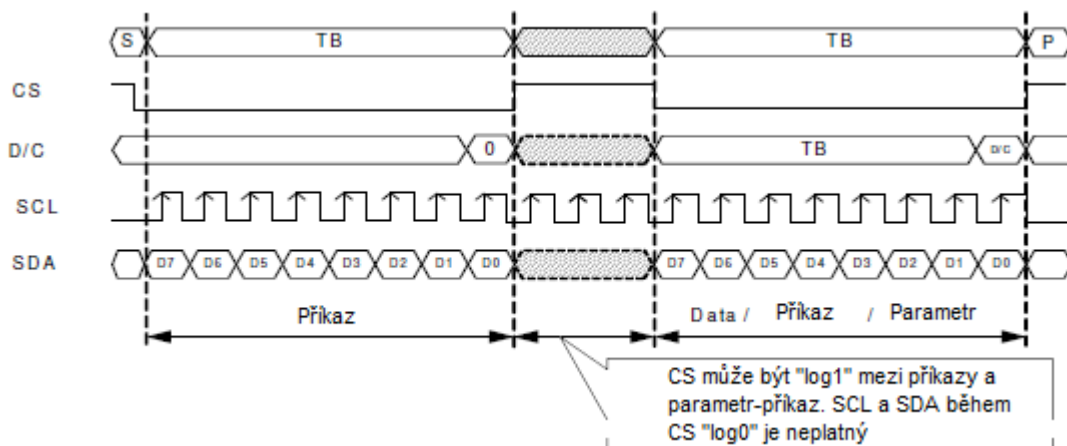
Mnou vybraný modul viz obr. 3.1, se skládá z LCD displeje s rozlišením 320x240 pixelů, ovládaného přes sériovou sběrnici SPI, a rezistivní dotykové vrstvy, která pro komunikaci používá stejnou sběrnici. Z druhé strany než je displej, je připájena zásuvka na mikro SD paměťové karty, používána například pro uložení obrázků nebo jiných objemných dat, potřebných k zobrazení. Připojuje se přes

hřebenový konektor (vzdálenost kontaktů 2,54 mm), což je vynikající pro účely našeho prototypu.

Displej

Jak jsem se již zmínil výše, tento displej má rozlišení 320x240 obrazových bodů, na úhlopříčce 2,4 palců (přibližně 6 cm), s podporovanou barevnou hloubkou až 18 bitů (262 tisíc barev). Pro naše účely si ovšem plně vystačíme s hloubkou 16 bitů, což je i maximální dosažitelná hloubka přes použité sériové rozhraní. Displej má na hřebenový konektor vyvedeny tyto kontakty: CS – „chip select“, aneb kontakt, který informuje displej, že data posílaná po sběrnici jsou určena jemu. CS je aktivní v nule. Pin SCK, což je hodinový signál. Dále kontakty MOSI a MISO, ze kterých se při náběžné hraně hodinového signálu zapisují/čtou data. Posledním kontaktem potřebným k úspěšnému kontaktu s displejem je kontakt D/C, kterým rozlišujeme mezi typem posílaných dat. Posílat lze obrazová data, nebo příkazová data.

V modulu je pro ovládání displeje osazen displejový řadič ILI9341. Tento řadič zvládá maximálně výše uvedené parametry. Komunikovat s řídicím procesorem ovšem zvládá nejenom zde v relativně pomalém sériovém přenosu, ale i pomocí jiných protokolů s různými bitovými hloubkami. Jmenovitě jsou to protokoly 8080-I, 8080-II, a 3 nebo 4vodičové sériové připojení. Třívodičové se oproti čtyřvodičovému odlišuje pouze přítomností již zmíněného kontaktu D/C. Tento kontakt, respektive jeho stav, je v třívodičovém zapojení posílán po sběrnici, a není fyzicky přítomen. Podporované barevné hloubky jsou 8/9/16/18bitové. Oba 8080 protokoly jsou samozřejmě paralelní. My se zaměříme na popis čtyřvodičového sériového připojení, které je použito v prototypu inteligentní nabíječky. Ukázka průběhů je zobrazena na obrázku 3.2 níže.

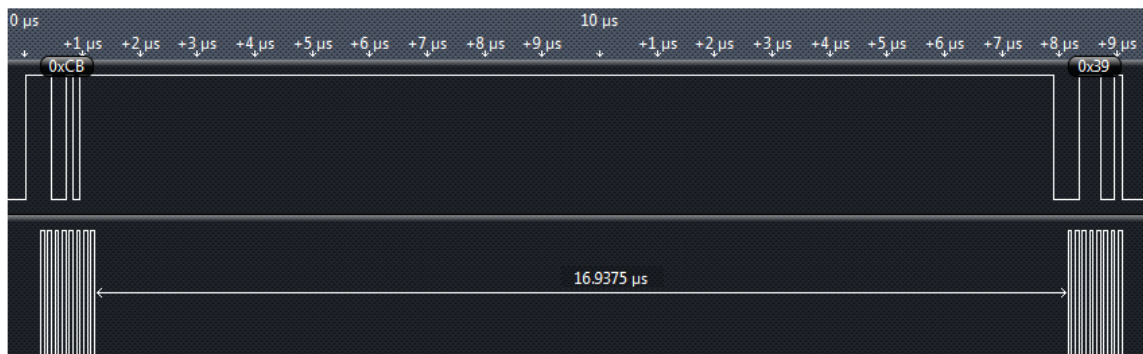


Obr. 3.2 – Sériová komunikace [11]

Komunikace začíná po změně CS na logickou 0. Poté se začnou data postupně na náběžných hranách hodinového signálu načítat do registru řadiče. Při načítání posledního bitu je načten i příkaz D/C, který rozlišuje, jestli posíláme ovládací příkaz nebo data. Ovládací příkazy jsou vždy osmibitové. Téměř všechny příkazy z 256 možných jsou obsazeny. Nastavovat se může například napětí budičů, vstupní napětí, úsporné režimy, jas displeje, i vlastní gama korekce. Před jakýmkoliv zobrazováním musí být vždy displej inicializován sekvencí, kterou lze nalézt v „app note“ výrobce. Po

inicializaci je dobré celou obrazovku přepsat stejnou barvou, protože displej ihned po nastavení zobrazuje nepěkný řádkový motiv. Pro ovládání inicializovaného displeje již budeme používat pouze jednoduché příkazy. V kostce jsou čtyři. Dvěma příkazy vybíráme okno (blok), do kterého budeme zapisovat barvu jednotlivých pixelů. Výběrem tohoto bloku si ušetříme nutnost překreslování celého displeje, což trvá téměř dvě sekundy. Jedním příkazem se vybírá začátek a konec řádku. Druhým příkazem vybíráme sloupec. Hodnoty jsou 16bitové, Hlavně proto, že displej má jeden rozměr 320. Dalším nutným příkazem je příkaz pro uložení do grafické paměti. Tento nemá žádné parametry. Nakonec posíláme příkaz s daty barev. Příkaz stačí zadat jednou, poté pouze zaslat barvy pro každý obrazový bod zvlášť. Pokud pošleme více dat než je potřeba (nad rámec vybraného okna), tyto jsou ignorována.

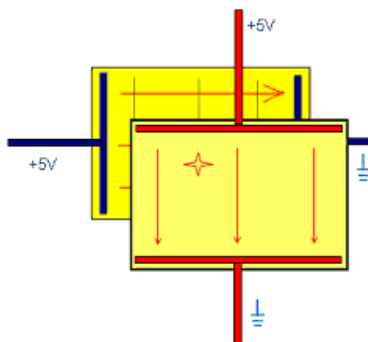
Pomalost sériového přenosu ještě zhoršuje chování SPI řadiče v řídicím procesoru STM32F407, který i když máme nastavenou maximální možnou rychlost hodin, čeká neúměrně dlouhou dobu mezi zasláním jednotlivých bajtů (v 8bitovém režimu). Řešení tohoto problému se nabízí více. Nejjednodušším je tuto prodlevu ignorovat. Dalším řešením je přepnutí SPI řadiče do 16bitového režimu, alespoň pro přenos dat o barvě, kde vzniká nejvíce zpoždění. Posledním, ale snad stoprocentním řešením je použití SPI řadiče tak, že povolíme získávání dat přes DMA kanál (direct memory access – data se posílají hardwarově přímo z/do paměti). To by bylo vhodné, pokud bychom měli v paměti nějaký složitější obrázek. Mít uložené v paměti tlačítka, které jsou vlastně obdélníky stejné barvy, však nedává smysl. Prodleva viz obr 3.3, obrázek z logického analyzátoru Saleae Logic 8.



Obr. 3.3 – Prodleva 17 μs, SCK 8 MHz

Dotyková vrstva

Dotyková vrstva, také nazýváno digitizér, je založena na rezistivní technologii. Použité je čtyř-drátové zapojení. O zpracování čtyř-drátového vyhodnocování dotyku se stará řadič XPT2046, což je kopie řadiče TSC2046 od Texas Instruments. Čtyř-drátovou dotykovou vrstvu tvoří dvě desky. Na vnitřky desek jsou nanесeny rezistivní vrstvy (ITO – oxid india a cínu), a z dvou boků desek jsou vyvedeny elektrody. Pro lepší představu je toto uspořádání zobrazeno na následujícím obrázku 3.4.



Obr. 3.4 – Konstrukce dotykové vrstvy [12]

Funguje to tak, že po stisknutí, a doteku dvou vrstev, které jsou odděleny od sebe malými „kuličkami“, je přivedeno napětí na jednu z vrstev. Na této vrstvě se potenciál rovnoměrně rozloží, a elektrodou na druhé vrstvě napětí v místě dotyku změříme. To samé provedeme i s druhou vrstvou. Na konci máme příslušná napětí, která korespondují s polohou X a Y. Tato konstrukce je tou nejjednodušší z možných rezistivních, jednoduše se vyhodnocuje, ale jsou zde i některé nedostatky. Například se relativně brzy opotřebovává nanесená rezistivní vrstva na elastické elektrodě, a zhoršuje se postupně přesnost určení souřadnic. Tento problém je řešen v zapojení s pěti vodiči, kde jsou budiče na nepohyblivé desce a vrchní elektroda pouze měří napětí.

Nyní podrobněji k řadiči TSC2046. Tento řadič je přesně vhodný k použité dotykové technologii. Podporuje pouze 4 - vodičové zapojení. Napětí jsou vzorkována 12bitovým převodníkem, s možností pouze 8bitového módu, pokud absolutní přesnost není prioritou. Řadič nabízí i několik dalších funkcí. Můžeme měřit teplotu řadiče, nebo také napětí napájecí baterie, pokud nějakou máme. Tento řadič komunikuje po stejné sběrnici jako displej, ušetříme tedy několik vodičů. Další, pro naši aplikaci užitečnou věcí, je vývod PENIRQ, což vodič, který změní svůj stav, poté co se dotkneme dotykové vrstvy. To, samozřejmě nejen že šetří procesorový čas, protože nemusíme sami testovat, jestli se někdo nedotkl displeje, ale také může potenciálně ušetřit energii. Řadič může být totiž, pokud se ho nikdo nedotýká v úsporném režimu.

Pro eliminaci chybných poloh, je vhodné použít alespoň některý ze základních algoritmů. Já používám doporučený algoritmus, který mezi sebou porovnává několik bezprostředně za sebou jdoucích naměřených poloh. Pokud jsou tyto polohy identické, je dotyk vyhodnocen jako správný, a dále zpracován uživatelským prostředím. V testovacím režimu se v místě dotyku zobrazí bod.

CCS kontrolér

V této inteligentní nabíjecí stanici je použit jeden z mnoha nabízených CCS kontrolérů, a to CCS9620LT. Tento čip jsem zvolil, protože je v současné době jediným, který lze zakoupit. Výrobce z Grazu již stihl navrhnout a vyrobit několik verzí těchto kontrolérů, lišících se především tím, jestli mají nějaké speciální výstupy pro led kontrolky, vývod pro řízení externích proudových zdrojů, sériový výstup, nebo jsou nějakým způsobem více soustředěné na určitou technologii sekundárních chemických článků. CCS je zkratkou počítačového nabíjecího systému, která téměř není známá, a to ani na internetu, což je celkem divné, když vezmeme v potaz, že se CCS kontroléry vyrábí již od počátků devadesátých let. Výrobce uvádí, že CCS kontrolér zvládá nabíjení veškerých dostupných technologií, bez jakéhokoliv před-vybíjení, a zaručuje vždy stoprocentní nabití a žádné přebíjení. To by mělo být zaručeno speciální CCS terminační technologií, založené na měření impedance mezi vnitřní elektrodou a elektrolytem chemických článků, ovšem není nikde do hloubky popsána. Pro náš účel je ovšem nejdůležitější ta informace, že tento obvod je tzv. univerzálním terminačním obvodem, pro nabíjení všech typů článků, nebudeme tedy muset řešit pro každou technologii zvlášť vhodnou terminační technologii, jako například – dV/dt pro NiCd články, dT/dt pro NiMH. Lithium iontové články jsou samozřejmostí, ale ty v principu nevyžadují žádnou specializovanou techniku terminace nabíjení, pouze proudový zdroj s napětovým omezením. Metody terminace byly již několikrát vyřešeny, a to jak cestou analogovou, i digitální. Digitální cestou, alespoň částečně, budeme na našem prototypu mít možnost funkci CCS terminace ověřovat, protože jsou na digitálně analogový převodník v řídicím kontroléru připojeny výstupy jak napětí nabíjené baterie, tak i proudu přes baterii procházejícího.

CCS9620LT je pro náš účel vhodným kandidátem, protože má speciální výstup, E/A, který moduluje nabíjecí proud z externího proudového zdroje tak, jak je pro CCS kontrolér potřeba. Externí proudový zdroj je jenom jednou z možností jak nabíjet. CCS kontrolér lze zapojit i tak, aby se stal sám nabíjecím zdrojem - výstup se jenom připojí na výstupní tranzistor, jehož báze se připojí k výstupu WATCH, a celé zapojení se chová jako CCS kontrolérem řízený laboratorní zdroj. V tomto případě je sice nutnost vstupní střídavé napětí z adaptéru usměrnit, ale je zakázáno z něho vyfiltrovat průběh za dvoucestným usměrňovačem. CCS používá tuto frekvenci 100 Hz k účelu CCS terminace. Tato frekvence je modulována na proud i v případě dříve zmíněného externího řízeného proudového zdroje. A to tak, že jednou za deset milisekund je nabíjecí proud přerušen, a v tomto čase je pravděpodobně měřena baterie/článek. CCS nikde neměří proud, předpokládá ovšem, že je konstantní. Posledním prvkem, který používá k terminaci, jsou dva komparátory. Kde jeden z nich je zapojen jako sledovač, do druhého jde signál z CCS kontroléru označený jako INTOUT, a druhým signálem je napětí článku vydělené na 1,2 V. INTOUT je pwm výstup, který je filtrován, tedy na vstupu komparátoru se tento signál tváří jako trojúhelníkový výstup z integrátoru. Tyto dva signály (trojúhelník a úroveň napětí baterie) tvoří na výstupu pwm modulaci, která je zavedena do CCS vstupu označeného jako INTIN.

V tomto odstavci si dovoluji diskutovat zmíněnou univerzalitu tohoto obvodu. Zvláště možnost nabíjení všech typů článků. Ano, obvod zvládá sám bez přidaných obvodů nabíjet NiCd a NiMH články – na ty je přímo stavěn. Pokud nabíjíme více článků, musíme jejich napětí děličem vydělit tak, aby maximální výstup bylo nominální napětí článku jednoho 1,2V, což je pochopitelné. Další obvody, budeme muset přidat, pokud chceme nabíjet články, u kterých bychom neměli, anebo přímo nesmíme

překročit nabíjecí napětí. Jedná se částečně o olovené baterie, ale hlavně o články lithiové. Zde se musí maximální napětí omezovat externě, což je v případě externího nabíjecího zdroje, používaného v našem prototypu možné. Toto bude popsáno dále. Také si nejsem jist, jak funkční je CCS terminace pro lithiové články, u kterých se nabíjení ukončuje, když nabíjecí proud klesne pod určitou hranici. CCS kontrolér totiž neví, jakým proudem nabíjíme.

Náš CCS kontrolér je dále vybaven výstupem pro několik indikačních led kontrolék, bzučák, a sériovým výstupem, jehož protokol (čímž nemyslím přenosovou rychlost, paritu, a podobně), není výrobcem nikde zveřejněn, ale je pouze nabízen další modul, který data, která jsou na tomto výstupu k dispozici, dekóduje, a poté teprve pošle na sériový port počítače. I tento modul samozřejmě něco stojí, a význam sériového výstupu CCS kontroléru tak částečně ztrácí smysluplnost. Dále stojí za zmínku, že obvod používá jako zdroj hodinového signálu RC oscilátor. Pak už jsou k dispozici pouze dva vstupy, které dávají dohromady binárně čtyři možnosti nabíjecího proudu. Protože na našem prototypu se nastavuje proud přímo u externího proudového zdroje, jsou tyto vstupy „natvrdo“ připojeny jako možnost nejvyššího proudu, a nejkratšího nabíjecího času. Na prototypu se vždy nastavuje proud maximálně možný pro danou technologii chemického článku nebo takový, který je možné ze zdroje maximálně odebírat (zde 3A). Pro možnosti experimentů jsou na prototypové desce vyleptány plošky, tak aby bylo možné osadit všechny možné kombinace.

CCS kontrolér poté co je článek nabit, stále monitoruje jeho napětí, a pokud napětí klesne pod určitou hranici (uváděno je asi 110 procent nominálního napětí), začne automaticky opět dobíjet. Článek tedy můžeme v nabíječce ponechat, a bude vždy řádně nabit, a nikdy se nepřebije. Na navrhnutém prototypu je CCS kontrolér použit pouze jako obvod, který určuje kdy ukončit nabíjení jednotlivých článků, a všechna ostatní upozornění a nastavení jsou nastavována pomocí grafického uživatelského prostředí na dotykovém displeji. Jako externí proudový zdroj pro nabíjení článků, a jejich napětíovou je použit univerzální obvod od společnosti Linear Technology, LT1511, který nám umožňuje nabíjet články proudem až 3A, špičkově 4A. Podrobný popis nastavení je uveden v následující kapitole.

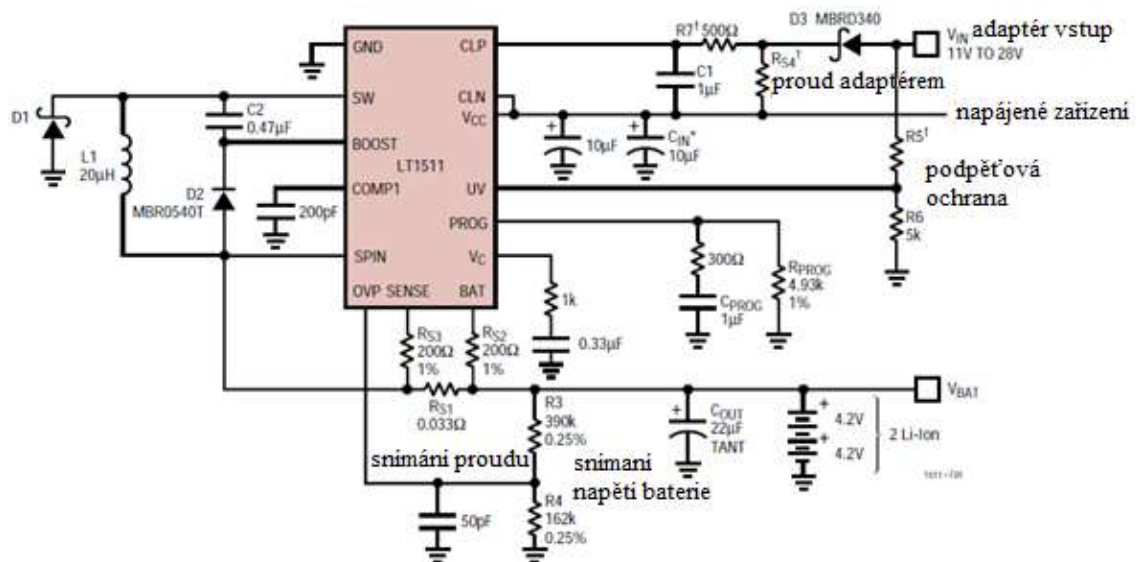
LT1511

Je již zmíněný spínaný nabíjecí zdroj od Linear Technology (LT), umožňující nabíjet články proudem až 3A. Je možné ho nazvat výkonnějším bratrem velice známého obvodu LT1510, který umožňuje nabíjet proudem maximálně polovičním, tedy 1,5A. LT1511, se řídí stejným způsobem jako LT1510, čehož jsem využil pro počítačové simulace obvodu. Simulace byla nutná především pro správný výběr některého z vývodů, který bude umožňovat CCS kontroléru modulovat nabíjecí proud. Možnosti jsou dvě, nicméně simulování obvodu ukázalo, že jenom jedna z nich je použitelná. Další přidanou vlastností, kterou se LT1511 liší od LT1510, je další zabudovaný proudový zesilovač. Tento zesilovač nehlídá nabíjecí proud, ale předřazuje se úplně na začátek řetězce, kde hlídá celkový proud, který potenciálně odebírá zařízení, ve kterém je LT1511 zabudován. Jedním z možných příkladů je ten, kdy bychom měli LT1511 jako nabíjecí obvod například v notebooku, kde by tento zesilovač kontroloval maximální odběr celého systému, tedy i včetně vlastního nabíjení baterie. V případě, že by byl tento limit omezen, omezil by se nabíjecí proud baterie. V designu prototypu této vlastnosti není využíváno, hned z několika důvodů. Zaprvé inteligentní nabíječka pouze nabíjí baterie, zobrazování na displeji a hlídání celého procesu dalším mikroprocesorem

téměř žádný proud nespotřebává, a také by další proudový snímací rezistor celý návrh zdražil, protože tento typ rezistorů, spolu s jejich požadovanou maximální výkonovou ztrátou, je zvláště pro jednokusové prototypování, docela drahý. Proto byla funkce kontaktů CLP a CLN vypnuta.

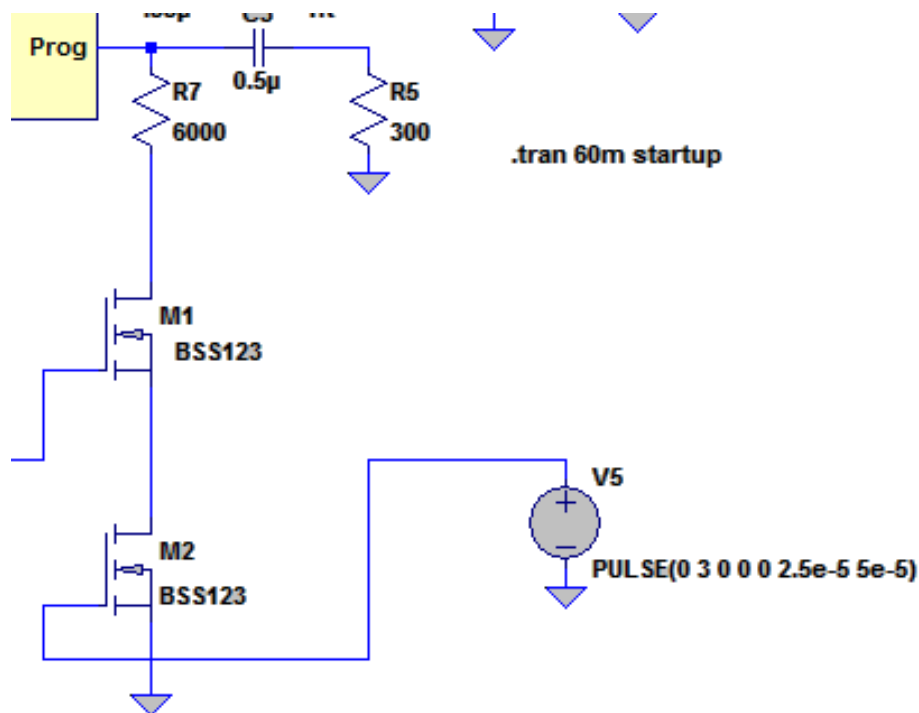
Nyní se dostáváme k nejdůležitější části nejenom LT1511, ale vlastně i celého prototypu. Pin PROG. Pomocí tohoto pinu se nastavuje nabíjecí proud. A také přes něj je modulován výstup E/A z CCS kontrolérů. Proud přes tento pin lze nastavit třemi způsoby. Prvním způsobem je pouze rezistor. Rezistor můžeme použít, protože víme přesně hodnotu napětí, která se na tomto pinu objeví. Podle toho jaký proud dovolíme, aby procházel tímto odporem, takový bude, po vynásobení konstantou tvořenou snímacími rezistory, proud nabíjecí. Tento způsob je značně primitivní, a znemožnil by nám realizaci opravdu univerzální nabíjecí stanice. Proto je zde další možnost, kde se proud nastaví připojením tohoto pinu k digitálně analogovému převodníku. Toto řešení již může být spolehlivě použito pro nastavování libovolného nabíjecího proudu. Ovšem ani této možnosti nevyužívám. Poslední možností je připojení odporu, který budeme tranzistorem připojovat a odpojovat na frekvenci v rádu kilohertzů. Na bázi tranzistoru přivedeme PWM z mikroprocesoru, a podle toho jakou střídu bude tento signál mít, takový proud bude nastaven. Téměř ideální je tedy použít odpor, který když je připojen natrvalo, umožňuje nabíjet maximálním možným proudem, a změnou střídy poté tento odpor „zvyšovat“, a snižovat tak nabíjecí proud. Protože tento vstup chceme také používat pro modulaci CCS kontrolérem, přidáme k tomuto tranzistoru tranzistor ještě jeden, a vytvoříme tak vlastně hradlo logického součinu (AND). PWM signál je puštěn stále, E/A signál od CCS je invertován a poté přiveden na tranzistor. Tímto způsobem je tedy zaručena i funkce CCS, musíme ale počítat s tím, že i tento signál se připočítává k PWM řízení nabíjecího proudu, a snižujeme tak jeho střední hodnotu ještě více.

Obvod LT1511 je zapojen téměř totožně s demonstračním zapojením uvedeným v datovém listu, ve kterém je ukázáno zapojení obvodu LT1511 jako nabíječky dvou Li-Ion článků v sérii, viz obrázek 3.5 níže.



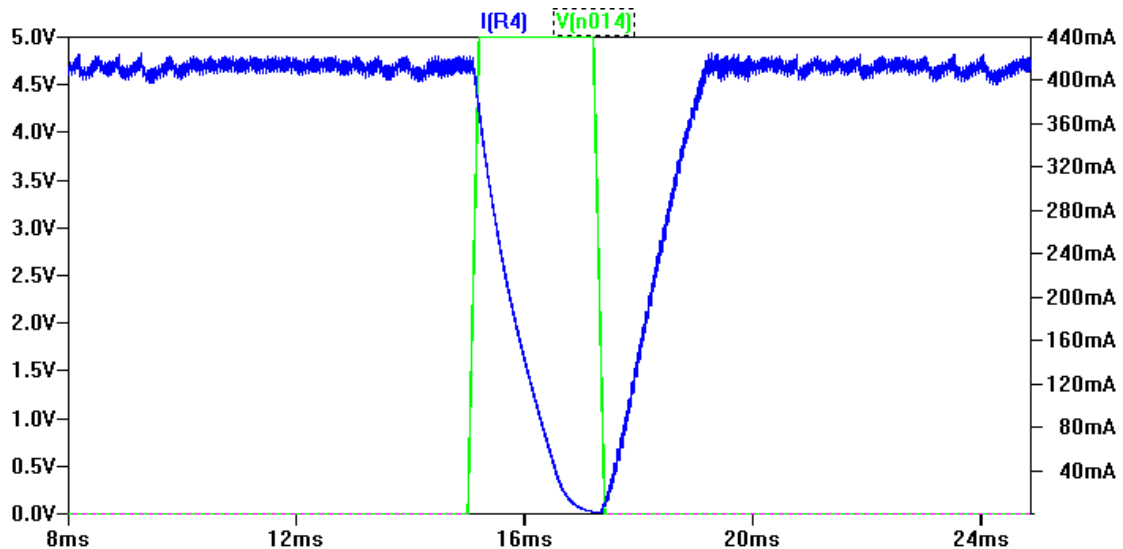
Obr. 3.5 – Typické zapojení LT1511 pro dva Li-Ion články [13]

Z ukázkového zapojení bylo odstraněno připojení druhého snímacího rezistoru, a obvod, který měl sledování tohoto proudu na starosti, byl zakázán. Dalším nevyužitým prvkem je obvod, který vypne spínaný zdroj při nízkém napětí napájecího adaptéru. Statický odpor na pinu R_{prog} byl nahrazen kombinací tranzistorů, sloužících pro různé nastavení proudů, a funkčnost CCS terminace. K pinu V_c byl připojen tranzistor, který pin „přitáhne“ k zemi, a vypne spínaný zdroj. Řídící elektroda tohoto tranzistoru je řízena hlavním procesorem podle potřeby, po zapnutí je spínání samozřejmě zakázáno. Vše ostatní, zůstává stejné. Jiné zapojení pinu PROG, bylo simulováno v prostředí LTspice, což je volně dostupný simulační program od společnosti LT. Byl zvolen, protože jsou k němu dostupné modely velké části integrovaných obvodů od společnosti Linear Technology, včetně LT1510, které je řízením totožné s LT1511. Simulace ovládání pinu PROG byla nutná pro ověření funkčnosti nastavení proudu, společně se vstupem E/A od CCS kontroléru. Na obrázku níže můžeme vidět výřez ze simulačního schématu, na kterém jsou dva SMD tranzistory BS123. Horní tranzistor je připojen přes invertor k pinu E/A, a většinu času je na jeho bázi 5V. Spodní tranzistor je zde pro nastavování nabíjecího proudu, a na jeho bázi je signál o frekvenci 5 kHz, se střídou, která se mění podle velikosti nastaveného nabíjecího proudu. Jeho řídicí signál má maximální napětí z mikrořadiče o velikosti 3V. S tím faktem, že je nabíjecí proud „vypínán“ dvěma signály s různou střídou musíme vzít v potaz při výpočtu celkového nabíjecího proudu.



Obr. 3.6 – Zapojení pinu Prog , LTspice

Výstupním požadavkem simulace, bylo viditelné přenastavení proudu, a dodržení poklesu nabíjecího proudu směrem k nule, při aktivním E/A. Výsledek simulace je k prohlédnutí níže.



Obr. 3.7 – Výsledek simulace PROG – modrý průběh výstupní proud, zelený E/A (pulz)

Nabíjecí obvod je dodáván v pouzdře TSSOP24, kde počet vývodů mírně převyšuje počet kontaktů potřebných. Pro toto je jediný důvod – chlazení. Čip nevyžaduje žádný další chladič, ani aktivní chlazení. Jako chlazení je použita plocha plošného spoje pod několika ploškami. Například plošky napájení a země jsou ztrojeny, a nacházejí se na různých místech pouzdra. Další komponentou, kterou LT1511 nevyžaduje je externí spínací tranzistor. Spínací tranzistory jsou integrovány, což nás osvobozuje od jejich správného výběru, a šetří místo na desce plošných spojů. Také je pro nás již interně řešen problém spínání tzv. „high side“ tranzistoru (jako dnes již u všech obvodů), což je tranzistor nad akumulací cívkou. Ten by mohl být sice typu PMOS, ale je nahrazen typem NMOS – rychlejší, jednodušší implementace. Vyšší napětí potřebné k jeho řízení je ukládáno v kondenzátoru, který je připojen k pinu BOOST. Čip je vybaven softstartem, díky kterému dochází k pozvolnému náběhu nabíjecího proudu. Rychlost náběhu si uživatel může nastavit sám, vhodnou kombinací kondenzátoru a rezistoru, které jsou připojeny k pinu V_c , doporučenou hodnotou kondenzátoru je alespoň 330 nF, což je sice zdánlivě nedůležitá informace, ale protože přizemněním tohoto pinu (V_c) lze pozastavit spínání tohoto spínaného zdroje, nabízí se jako možnost vstupu modulační nabíjecího proudu pro CCS kontrolér. Bohužel se tato možnost ukázala jako nevhodná, protože náběh spínaného zdroje po uvolnění tohoto kontaktu od země byl natolik pomalý, že nesplňoval požadavky CCS kontroléru, pro správné měření. Tohoto způsobu tedy je tedy nakonec využíváno pouze pro vypnutí nabíjení. Mezi další vlastnosti LT1511, kterou je dobré zmínit, je vstup UV („under-voltage“ – podpětí). Na tomto vstupu se měří vstupní napětí, a pokud klesne pod děličem nastavenou hodnotu nebo 7V, je spínaný zdroj vypnut. Pokud nebudeme tuto funkci využívat, můžeme pin UV buď uzemnit nebo připojit přes doporučený odpor 5k Ω na napájecí napětí. Tím vybereme možnost, kdy se nabíjecí obvod vypne, tedy při 7V. Tato ochrana je dnes opět téměř klasikou, využívanou například u mikrořadičů, kde se mikrořadič v případě nízkého napětí uvede například do vysoce úsporného režimu.

Pro správnou funkci tohoto spínaného zdroje (jedná se o snižující měnič, v anglosaské literatuře označován jako „buck converter“ nebo „step-down converter“, přeměňuje tedy vyšší napětí na nižší) potřebujeme již pouze vhodnou akumulaci cívku, diodu – protože se jedná o asynchronní snižující měnič napětí, a výstupní kondenzátor. Po několika pročetích jak datových listů, tak „appnotes“ (dokumenty popisující jak správně obvod zapojit), jsem nikde nenašel většinou důležitou kapitolu, která pojednává o výběru vhodné cívky. Použil jsem tedy hodnotu 20 μH , která je doporučována ve všech ukázkových zapojeních. Dioda je použita samozřejmě rychlá spínací Schottkyho, která zvládá trvalý proud 3A, špičkově a opakovatelně 6A. Kondenzátory jak vstupní, tak výstupní jsou tantalové, maximální napětí 25V.

Nabíjecí proud je měřen na proudovém snímacím odporu hodnoty 0,033 Ω , na kterém se měří úbytek napětí přes dva terminály „proudového“ zesilovače, SENSE a BAT. Mezi každým terminálem a snímacím rezistorem je umístěn stejný odpor 200 Ω , jehož přesnost (1%) není kritická. Teoreticky, a také je to tak provedeno, není ani snímací odpor v nijak vysoké toleranci hodnot. Přesnost nabíjecího proudu není nutná v řádech jednotek miliampér. Nejpřesnější rezistory jsou použity pouze v napěťové ochraně, potřebné u nabíjení lithiových článků. Hodnoty snímacího rezistoru a rezistorů, přes které je připojen k zesilovači, potřebujeme ke správnému výpočtu hodnoty odporu, kterým se nastavuje nabíjecí proud.

V našem případě si uživatel vybere vhodný nabíjecí proud pro připojený článek sám, a programem je pouze dopočítána hodnota střídy signálu, který řídí tranzistor přes který je připojen k pinu PROG rezistor o hodnotě 5 k Ω . Kromě výsledného proudu potřebujeme pro výpočet střídy hodnotu snímacího rezistoru, dvou rezistorů, přes které je snímací odpor připojen k zesilovači, střídu signálů E/A. Střída signálu E/A by se měla pohybovat kolem 0,86. Výsledný vzorec pro výpočet proudu je za předpokladu, že jsou rezistory připojující snímací odpor k zesilovači stejné, následující viz rovnice 3.1.

$$I_{BAT} = \left(\frac{2,465}{R_{PROG}} \right) \cdot \left(\frac{R_{S2}}{R_{S1}} \right) \cdot D_1 \cdot D_2 \quad (3.1)$$

Kde R_{PROG} je připojovaný rezistor, R_{S1} snímací rezistor, R_{S2} je rezistor, přes který je připojen k zesilovači. Střída D₁ je naší proměnnou, střída D₂ je střída signálu E/A. Označení rezistorů, a jejich umístění v zapojení si lze prohlédnout na ukázkovém zapojení LT1511 na obrázku 3.5.

$$I_{BAT} = \left(\frac{2,465}{5000} \right) \cdot \left(\frac{200}{0,033} \right) \cdot D_1 \cdot 0,86 \quad (3.2)$$

Z tohoto vzorce lze vypočítat střídu D₁, pokud zadáme požadovaný nabíjecí proud. Ze vzorce vyplývá, že pokud je CCS kontrolér aktivní, střída signálu E/A nám snižuje maximální nabíjecí proud s použitým rezistorem asi na 2,4 A, což lze jednoduše vykompenzovat náhradou rezistoru o hodnotě 5 k Ω , za rezistor s hodnotou 4 k Ω . Po vykompenzování střídy E/A, a dosazení do vzorce, získáme pro nabíjecí proud 1A, střídu D₁ = 0,42.

Protože některé typy článků jsou citlivé na hodnotu napětí, zde například Li-Ion a olovené akumulátory, je LT1511 vybaven vstupem OVP („Over voltage protection“ - přepětíová ochrana). Pro správnou funkci této části nabíjecího obvodu, je potřeba maximální napětí článku, nebo více článků (baterie) děličem vydělit na hodnotu 2,465 V. Na vyvinutém prototypu jsou připraveny děliče, které na správnou hodnotu vydělí napětí jednoho Li-Ion článku (4,2V), dvou článků (8,4V), a napětí 6V oloveného

akumulátoru (např., SLA). Pro rozsahy využívané Li-Ion články jsou osazeny přesné rezistory – tolerance 0,25%. Mezi těmito rozsahy se přepíná automaticky, podle toho, co uživatel nastaví na dotykovém displeji. Další možností je přizemnění kontaktu OVP, kdy není přepět'ové ochrany využíváno, přizemněním se vyhneme nežádoucím stavům. Rezistory lze pro možnosti jiných počtů článků přepájet, nebo využít toho, že je napětí měřeno 12bitovým a/d převodníkem, a ochranu pro libovolné napětí nastavit softwarově. Poslední z možností lze implementovat pouze za předpokladu, že zkratujeme pin E/A na zem (hradlem poté teče 30 mA), což bylo několikrát provedeno, pro otestování funkce obvodu LT1511. K této drastické akci bylo přistoupeno poté, co bylo ověřeno, že stav pinu E/A CCS kontroléru, je v případě nepřipojení baterie, ale například rezistoru, ve stavu logické 0. Pin E/A je samozřejmě vyveden na konektor prototypu. Tato digitalizace napětí ovšem není primárně určena pro vysoce přesné měření napětí – je nastaven pouze jeden měřicí rozsah, a to děličem 1:6, se zařazeným zesilovačem se ziskem 1. Dále je také měřen nabíjecí proud, a to na stejném rezistoru, jako na kterém měří LT1511. Je připojen k hotovému řešení – tzv. „high-side current sensing amplifier“ – jedná se o zesilovač určený přímo k měření proudu procházejícího přes snímací odpor s pevným převodem 20 V/V na rezistoru, a toto řešení bude zdůvodněno dále. Jedná se o unipolární vstupy, tedy by neměl ovlivňovat měření proudu spínaným zdrojem.

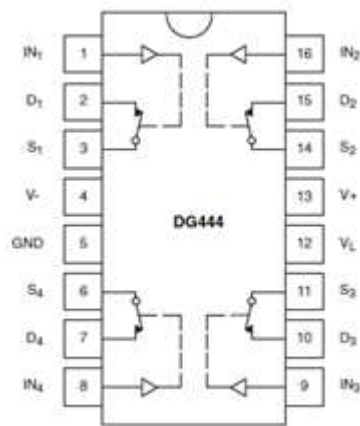
Přepínání rozsahů CCS a OVP

Jelikož by se celý prototyp měl ovládat dotykovým displejem, bylo by vcelku nevhodné, abychom museli nabíjecí rozsahy a přepět'ové ochrany nastavovat manuálně přepínačem. Při návrhu této části jsem postupně zavrhl několik různých řešení, které by bylo možné realizovat, ale byla by ohrožena například přesnost děličů pro OVP, nebo některé z těchto řešení nebylo dostupné pro napětí, s kterými zde pracujeme. Asi prvním nápadem byl digitální potenciometr, toto řešení jsem ovšem zavrhl, protože by nefungovalo. Vzorek, který jsem měl k dispozici, pracoval pouze do pěti voltů, a při vyšším napětí, by procházel přes ochranné diody neúnosný proud, a potenciometr by byl zničen. Poté, jako další možné řešení se nabízel analogový multiplexer 4051 a jemu podobné. Tyto multiplexery jsou dostupné pro používaná napětí, ale zde jsem nebyl spokojen s odporem sepnutého kontaktu, který se v některých případech blížil až k 600Ω. Nakonec jsem vybral pro přepínání děličů pro OVP a CCS analogové spínače DG444 nebo DG445. Jedná se o SPST spínače (SPST znamená „single pole single throw“, což lze brát jako jednopólový spínač), které se od sebe liší pouze v tom, že DG444 má kontakty NO („normally open“ – rozepnuté, normálně otevřené), a DG445 je má naopak zase všechny sepnuty. Zde je celkem jedno jaký typ použijeme, stejně je musíme před zahájením nabíjení nastavit. Pokud tak neuděláme, může se stát, že nebudeme mít připojeno nic, nebo v našem případě všechno paralelně, což také není žádoucí. Ve výsledku jsou v prototypu použity tyto analogové spínače tři, v každém pouzdře jsou obsaženy čtyři samostatné spínače. Každý spínač má svůj vstup, kterým se aktivuje. Užitečné je i to, že jsou odděleny zdroje pro spínače od zdrojů pro logiku. Zdroj logiky je zde připojen k pěti voltům, i když řídicí procesor je 3,3V. Toto jsem udělal zcela vědomě. Napájení spínačů je poté připojeno k napájecímu napětí. Takovýto spínač má po sepnutí celkem rozumnou hodnotu odporu pohybující se kolem 25Ω, což je hodnota, se kterou se již dá udržet v mezích tolerance, například pro pin OVP. Jedno pouzdro se čtyřmi spínači je tedy použito pro přepínání přepět'ové ochrany pro lithiové články, ostatní dvě jsou využity pro dělení nominálního napětí dolů na 1,2V pro CCS kontrolér. Těchto osm rozsahu je navíc ovládáno přes sério-paralelní převodník

74HC595, protože mi přišlo použití osmi vodičů pro řízení jako moc. Nakonec bylo tímto řešením několik vodičů ušetřeno, ne však většina, protože i 595 má několik vodičů navíc, například vodič pro ovládání třístavového budiče, restart apod. Data, která se budou sériově nahrávat, bude ale možno jednoduše zkontrolovat, jestli v nich není náhodou více než jedna logická jednička.

DG444/445

Jsou analogové spínače využívané pro přepínání rozsahů a přepět'ových ochran, vyrobeny společností Vishay. Jsou určeny pro vzorkovací obvody, spínání audio signálů, ale také pro automatizované měřicí přístroje. V pouzdře jsou obsaženy čtyři spínače. Důvodem výběru obvodů tohoto typu, byla jejich příznivá hodnota odporu při sepnutí, možnost práce z nesymetrického zdroje napájení (zem a kladné napětí), a to v rozsahu 5-36V, což plně dostačuje pro maximální napětí objevující se na svorkách našeho prototypu.



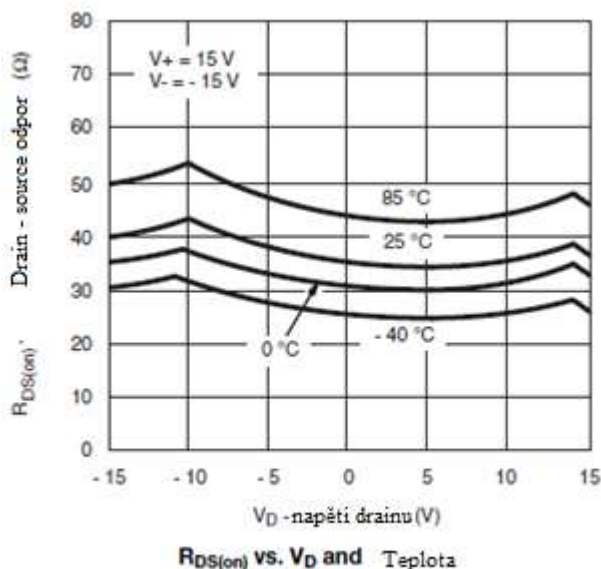
Obr. 3.8 – DG444 analogový spínací obvod [14]

Dalším plusem je již zmíněné oddělení napájení logiky a spínačů. Za nevýznamnou nevýhodu můžeme považovat počet kontaktů, potřebných pro spínání jednotlivých analogových spínačů. Pro každý ze spínačů, jeden ovládací kontakt, čtyři celkem v jednom pouzdře. Což je vlastně nejnižší možný počet, a v případě použití jednoho z těchto čipů je to v pořádku. Pokud čipů, a tedy spínačů, požadujeme více, budeme muset použít i více čipů, a počet ovládacích kontaktů rychle poroste. Nebylo by tedy na škodu, nějak se snažit omezit jejich počet. V případě jednoho čipu, jak již bylo zmíněno, to nemá cenu, a snížení počtu kontaktů by bylo možné dosáhnout pouze přidáním nějaké sériové sběrnice, přes kterou by se čip řídil. Protože se musíme při návrhu dívat i na (v praxi hlavně na) cenu řešení, nemá význam přidávat žádnou sběrnici, kde bychom v tomto případě za vysokou cenu snížili počet kontaktů asi o jeden. K dispozici jsou na trhu ovšem i čipy, které obsahují více spínačů, ale ty jsou mnohonásobně dražší. My potřebujeme tyto čipy použít tři – 12 spínačů. Byly tedy rozděleny tak, aby jeden řídil přepět'ovou ochranu článků (dělení napětí pro LT1511), a dva jsou použity na dělení počtu více článků na 1,2V pro CCS kontrolér. Ačkoliv pro řízení používáme mikrořadič, na kterém máme k dispozici téměř sto vývodů, byl použit pro řízení těchto dvou čipů (8 kontaktů) sérioparalelní převodník 74HC595. Toto řešení

se jevílo jako zajímavé, a vlastně ideální, protože potřebujeme řídit osm kontaktů. Všechny kontakty takto tedy můžeme řídit pomocí vyslání jednoho bajtu.

Na obrázku 3.8, je zobrazeno zapojení spínačů ke kontaktům čipu DG444, a také jsou popsány všechny jeho ostatní kontakty. Každý ze čtyř spínačů má vývody IN, D a S. IN je spínací elektroda. Pro sepnutí spínače, v případě 5V zdroje pro logiku, se logická jednička nachází v rozmezí od 2,4 V výše, což nám dovoluje i použití přímého řízení z našeho 3V mikrořadiče, a to v případě čipu pro přepět'ovou ochranu, ostatní dva jsou řízeny 5V z 74HC595. Napětí logiky je přivedeno na svorku V_L . Napájení spínačové části se nachází na kontaktech V_+ a V_- , pro kladný a záporný zdroj (proti GND). Toť vše. Pro zapojení, jako u všech ostatních čipů je vhodné blokovat napájecí napětí kondenzátorem. Například 100 a 10 nF paralelně (doporučení výrobce).

Mezi některé další údaje, pokud bychom používali DG444 ve vzorkovacím obvodu, je rychlost sepnutí. Spínač na tomto čipu dokáže sepnout během 100 ns, tato hodnota je ovšem ovlivněna více faktory, jmenovitě napájecím napětím, teplotou, a samozřejmě kapacitou zátěže. Pro nás již potřebnou informací, je maximální proud, který může přes spínač procházet. Pro DG444/445 je to 30 mA trvale, což je pro srovnání o 28 mA více, než by nám povoloval digitální potenciometr, který byl také pro návrh uvažován. Posledním parametrem je odpor sepnutého spínače. Nominální hodnota uváděná v datovém listu je 50Ω , jeho hodnota ale není konstantní pro všechny pracovní body, a mění s teplotou, a napětím na svorce D. Průběhy jsou zobrazeny na obrázku 3.9 níže. Z grafu zde uvedeného lze vyčíst, že při pokojové teplotě, s příslušným napájením, se může výsledný odpor blížit i 35Ω , a pro zhoršení na 50Ω by se musel čip trochu zahřát. Důležité je, že se nám i se zařazením tohoto „rezistoru“ do našeho děliče pro přepět'ovou ochranu, stále daří držet hodnoty v toleranci 0,25% (dělič je v řádu stovek $k\Omega$). [7]

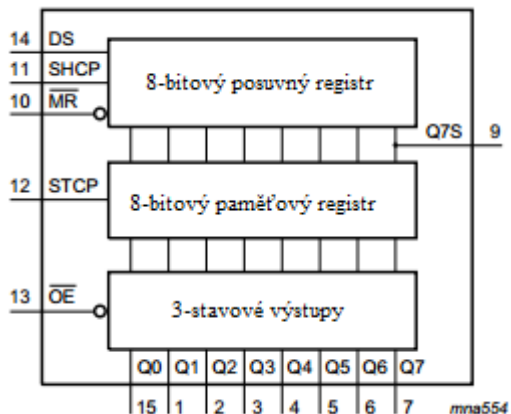


Obr. 3.9 – Odpor analogového spínače [14]

Převodník 74HC595

Je jedním z velice užitečných obvodů z řady 74. Konkrétně je to 8bitový sérioparalelní převodník, jehož vstup je sériový, a výstup je jak paralelní, tak sériový. Sériovým výstupem lze tyto převodníky řetězit, a získat tak sériový převodník více nežli

osmibitový. Tento obvod je hojně využíván například v tzv. světě osmibitových radičů, a celkově mikroradičů, které mají málo vývodů. Při vhodném zapojení, je můžeme využívat jako tzv. expandéry, které nám přidají vývody. Tento konkrétní typ se asi mírně liší od ostatních sérioparalelních převodníků, a to tím že obsahuje dva registry, místo typického jednoho viz obrázek 3.10.



Obr. 3.10 – 74HC595 registry [15]

Dva registry jsou pojmenovány „shift register“ (posuvný registr) a „storage register“ (ukládací registr), a každý z nich má svůj signál, kterým se do něj nahrávají data. Do posuvného registru, se nahrávají data po jednom bitu (sériově) tak, že se na pinu DS vystaví data, která se poté pomocí náběžné hrany na pinu SHCP uloží do posuvného registru. Tímto způsobem do něj nahrajeme všech osm bitů. Do úložného registru se ukládá náběžnou hranou na pin STCP, zde se poté zkopíruje celý obsah posuvného registru do ukládacího registru. Tyto kontakty lze spojit, a poté bude pin STCP vždy zpožděn o jeden takt oproti SHCP. Sériový výstup lze odebírat na kontaktu Q7S. Samozřejmostí jsou třístavové budiče, které jsou nutností pro provoz na jakékoliv sběrnici. My tímto převodníkem vybíráme jednu z osmi přednastavených voleb pro počet nabíjených článků, získáváme přehled v programovém kódu, a šetříme 3 vodiče.

Poté, co byla vyřešena otázka mikrořadičem řízeného přepínání, již je nutné pouze vypočítat jeden dělič napětí pro CCS kontrolér, a druhý dělič pro přepětíovou ochranu integrovanou v obvodu LT1511. V případě CCS kontroléru, jsou doporučené hodnoty pro různá nominální napětí článků uvedeny přímo v datovém listu. Pevná hodnota odporu, na kterém bude měřeno napětí, je 33kΩ, ostatní se samozřejmě mění. Na prototypové desce, jsou připájeny rezistory, které tvoří děliče tak, abychom mohli nabíjet články o nominálních hodnotách 1,2V (0kΩ), 2V (22kΩ), 2,4V (33kΩ), 3,6V (68kΩ), 4,8V (100kΩ), 6V (130kΩ), 7,2V (160kΩ) a jedna pozice výběru zůstala neosazena. V žádném z dokumentů od BTI nebyla uvedena požadovaná přesnost, proto byly použity rezistory s tolerancí 1%. Zato v případě ochrany lithiových článků, musíme použít rezistory s tolerancí nižší, konkrétně byly zakoupeny rezistory s tolerancí 0,1%. V datovém listu je přesněji uvedena hodnota 0,25, ale musíme také počítat s parazitním odporem našich analogových signálů. Děliče jsou nakonfigurovány pro jeden a dva lithiové články, 6V olověný akumulátor, a vypnutou ochranu. Ochrana se vypne přitáhnutím pinu OVP na zem. Rezistor, na kterém je požadované napětí 2,465V snímáno má hodnotu 100kΩ. Rezistor pro jeden lithiový článek byl vypočítán jako 73,2 kΩ, pro dva jako 237 kΩ. Dělič je pro nabíjení jiných článků vyřazen, přesně jak je požadováno výrobcem LT1511, vyhneme se tak zajisté nechtěným stavům nabíječky.

Měření napětí a proudu

Pro účely hlídání, a ověřování funkce CCS kontroléru, ale především pro možnost nějaké grafické reprezentace dat (nabíjecí a vybíjecí průběhy), je na prototypu měřeno napětí baterie a nabíjecí proud. Proud, jak je zde již zmíněno, je měřen speciálním obvodem MAX4173, napětí je vyděleno děličem 1:6, a poté prochází napěťovým sledovačem a ochranami D/A převodníku. Měření napětí je prováděno až přímo u svorek, ke kterým je připojena baterie (za relé), protože je ten samý obvod používán i pro měření napětí u měřiče kapacity článků. Napětí z obou těchto bloků je převáděno 12bitovým aproximačním D/A převodníkem, který je integrován v řídicím mikrořadiči STM32F407. Naopak měření proudu se děje na jediném snímacím rezistoru, který je sdílen s obvodem LT1511. Ačkoliv je měření proudu jednodušší v tzv. „low side“ (snímací odpor připojen mezi zem a záporný pól baterie), má i několik nevýhod. Asi nejvíce všemi zdůrazňovaná záporná vlastnost je ta, že pokud dojde ke svodu proudu někde před tímto místem, snímáme nulový proud, a nevíme, že k němu došlo. Pravděpodobnost, že by se toto stalo v „high side“ je nižší. Dále bych musel se snímacím odporem počítat při měření napětí během nabíjení, s úbytkem na něm počítat – ve všech místech, a vnesenou chybu korigovat. Proto jsem použil „high side“ měření proudu. Pro převod je používán obvod MAX4173, s převodem 20V/V, což je výhodný přenos pro snímací rezistor 0,033Ω. Maximální napětí, které mohu na AD převodníku měřit se rovná jeho referenčnímu napětí, které je napevno nastavené (demonstrační deska STM32F4 Discovery) na 3V. Tedy při maximálním špičkovém proudu 4A, je výstup z MAX4173 2,64V. Dalším produktem ve stejné řadě je produkt s převodem 50V/V, jehož výstup by nemohl již být zpracován převodníkem v celém rozsahu.

MAX4173

MAX4173 je přesný, levný, zesilovač snímání proudu s napěťovým výstupem. Je to kompletní řešení, které nás odprošťuje od navrhování vlastního diferenciálního zesilovače, pro měření napětí na proudovém snímacím odporu 0,033Ω. Protože je vše integrováno, šetříme také místo na desce plošných spojů. Protože na tomto místě v obvodu můžeme pracovat s vysokým souhlasným napětím, budeme pozorovat hodnotu CMRR (potlačení souhlasného napětí) vnitřního zesilovače. V datovém listu je uvedena hodnota 90 dB (30000x), což je přijatelnou hodnotou, s ohledem na cenu tohoto řešení. Přesnost měření v intervalu od 0 do 50 mV (1,5A nabíjecí proud), by neměla překračovat 2%, při vyšších napětích chyba klesá k polovině procenta. [18]

Použití operační zesilovače (dále OZ)

CCS řadič potřebuje ke své správné funkčnosti napájení 5V, proto tedy máme na desce k dispozici stabilizované napětí 5V. Jelikož jsou všechna napětí, která potřebujeme nastavovat či měřit, v rozmezí 0-3V, vystačíme si s nízkonapěťovými „rail-to-rail“ operačními zesilovači. Díky chybě při volbě pouzdra pro nákup, byly OZ nahrazeny OZ TS912 od ST. TS912 jsou dva OZ v jenom pouzdře, pracující při napájecím napětí již od 2,7 V. Opět, jako na většinu ostatních součástek, zde není kladen důraz na rychlost OZ, protože měříme pomalu měnící se jevy (napětí nabíjené, vybíjené baterie, konstantní proudy), navíc ve všech zapojeních, se nastavené zesílení pohybuje kolem $G = 1$. TS912 má f_t na 1 MHz. Udávaný offset maximálně 10 mV, lze vykompenzovat softwarově. Vstupní proudy, protože se jedná o CMOS, jsou zanedbatelné.

USB komunikace

Ačkoliv použitý mikrořadič řady STM32 podporuje USB, je na desce prototypu osazen převodník ze sériového portu na USB. Důvod je celkem prostý – jedná se o prototypovou desku, a ne každý řadič disponuje USB radičem. Prototypovou desku lze řídit i jinými, výrazně méně výkonnými mikrořadiči, a USB komunikace je dnes téměř nutná, protože sériový port není hojně osazován do pc. Proto pro případ, že by chtěl někdo řídit prototyp například s i8051, s USB sběrnici nebude mít problém. Datová propustnost sériového portu je pro naše účely plně dostačující – budou přenášeny pouze vzorky napětí maximálně několik za sekundu.

Jako převodník je použit čip FT232RL od společnosti FTDI, jedná se o nejenom mnou osvědčený produkt. Převodník je zapojen tak, aby byl napájen přímo z USB, a na desku plošných spojů jsou vyvedeny pouze piny R_X a T_X .

3.2 Měřič kapacity chemických článků

Měřič kapacity (a také vybíječ baterií) je také součástí prototypu, abychom mohli baterie vybíjet (například před nabitím), a orientačně měřit kapacitu článků. Obvod je zcela nezávislý na nabíjecí části, ovšem, protože sdílí s nabíjecí částí výstupní svorky, nelze používat současně s nabíječkou. Mezi nabíjecí a vybíjecí částí se přepíná pomocí relé. Měřič kapacity je řešen velice jednoduše, skládá se pouze z jednoho unipolárního tranzistoru, na kterém se většina energie mění na teplo, dvojitého operačního zesilovače a snímacích rezistorů. Měřič kapacity má, kromě vstupu pro baterii, jeden vstup, kterým se nastavuje vybíjecí proud, a zpětnovazební výstup pro měření skutečného proudu. Oba tyto vstupy opět obstarává hlavní procesor STM32. Vybíjecí proud se nastavuje dvanáctibitovým digitálně analogovým převodníkem, s maximálním výstupním napětím 3V, může být tedy nastaven vybíjecí proud asi 2,5 A (snímací rezistory mají odpor přibližně 1,1 Ω). Operační zesilovač (typ rail-to-rail) řídí gate nmos tranzistoru – je zapojen jako neinvertující zesilovač napětí. Napájen je napětím 5V, což protože se jedná o rail-to-rail operační zesilovač, nám dovolí, i se započtením prahového napětí vybíjecího tranzistoru maximální vybíjecí proud. Přes další operační zesilovač (stejně pouzdro), je přivedena zpětná vazba pro mikrořadič. Pro základní měření kapacity není nutná, do hry přichází například, pokud bychom chtěli použít tento obvod jako umělou zátěž jiného typu než konstantní proudovou. V základě tedy tento obvod funguje jako konstantní proudová zátěž, která je vhodná pro měření kapacity. U všech již v přechodících kapitolách jsou uvedeny grafy vybíjení článků konstantním proudem. Během celého procesu vybíjení je měřeno napětí vybíjeného článku, a pokud dojde k poklesu jeho napětí pod nastavený práh (tzv. cut-off voltage) – například 0,9 v u AA baterie, 3V u li-ion baterie, vybíjení se ukončí. Proud je konstantní, měříme pouze napětí na článku. Abychom mohli vypočítat některou z požadovaných veličin (Ah, Wh), nezbytně k tomu potřebujeme časový údaj, který lze jednoduše určit, protože všechna napětí a proudy na desce jsou vzorkována periodicky vždy ve stejném intervalu. Pokud chceme vykreslit křivku vybíjení, použijeme jakýkoliv software, který dokáže zpracovat data s CSV (čárkou oddělené hodnoty) příponou. Momentálně je výstup všech digitalizovaných veličin z univerzální nabíječky zpracováván jednoduchým skriptem, napsaným v prostředí Matlab.

3.3 Návrh schématu a desky plošných spojů

Schéma inteligentní nabíjecí stanice bylo navrženo v programu Orcad Capture, a poté pomocí Orcad PCB Editoru přeměněno na plošný spoj. Deska plošných spojů byla po důsledné kontrole vyrobena ve společnosti Pragoboard, a osazena převážně součástkami technologie SMT. Orcad Capture je profesionální program pro návrh obvodů, kreslení schémat, a ve spojení se SPICE (obvodový simulační program), lze ověřit funkčnost navrhnutého obvodu jako celku. Pro toto je ovšem potřeba mít k dispozici pro každou součástku simulační model. Pokud nepotřebujeme využívat simulací, a víme, případně jsme si ověřili funkčnost jinde, můžeme Capture použít pouze pro nakreslení schématu. Správnost schématu, které vytvoříme je velice důležitá, pro návrh desky plošných spojů v PCB Editoru. Velký pozor, si musíme dávat už i při výběru symbolů součástek, a průběžně kontrolovat, jestli jsou správně očíslovány kontakty, a souhlasí s pouzdrem, které budeme osazovat na desku. Nutností je u všech součástek poctivě vyplňovat jejich hodnoty (odpory, kapacity, max. napětí kondenzátorů). Kdybychom je nevyplnili, tak by se nám neúnosně prodloužila doba nákupu součástek, protože by vygenerovaný „BOM“ („bill of materials“ – seznam součástek) vůbec nedával smysl. Během nastavování hodnot součástek, musíme také ke každé přiřadit správné plošky pro návrh DPS. Zde, pokud jsme špatně vybrali symbol, budeme poprvé upozorněni na naše chyby, a máme možnost je opravit.

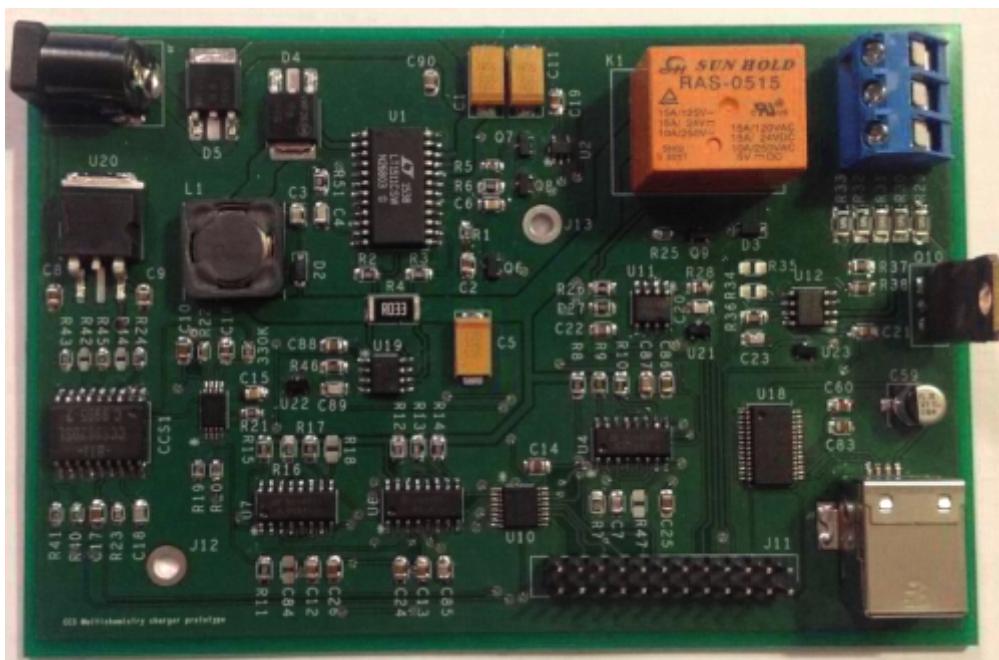
Plošky pro DPS jsou nazývány „PCB footprints“, a jejich shánění, případně nutný návrh, je tím nejdůležitějším krokem v návrhu. Základní knihovny s těmito ploškami, které jsou obsaženy v Orcadu, jsou prakticky nepoužitelné, a proto je vhodné si vytvořit, nebo nějakým jiným způsobem obstarat. Možností je velké množství, a pokud jsme již někdy museli tuto úlohu řešit, rychle se opět zorientujeme. Jednou z prvních možností, je ta, kde máme již svoji vlastní knihovnu plošek. Vždy se ale najde nějaká nová součástka, a jenom s tímto si nevystačíme. Pokud součástka pochází od některého z velkých výrobců, lze spolu s dokumentací, z jejich stránek většinou stáhnout soubor, který obsahuje nejen symbol pro Capture, ale i plošky pro PCB Editor, a to pro všechna nabízená pouzdra. Tyto soubory mají příponu *.bxl, a jsou přeměnitelné na knihovny pro Orcad za pomoci programu Ultra Librarian. Ultra Librarian je vynikající program, který nejenom že nám dovolí přeměnit soubory od výrobce na potřebné knihovny, ale také obsahuje velice obsáhlou on-line databázi součástek, která je z programu přístupná. Tato funkce je omezeně dostupná i v tzv. trial verzi. Jednou z dalších možností, je vyexportování všech plošek z některého již hotového plošného spoje, případně konverze plošek z jiných programů (Altium, Mentor Graphics..).

Toto byly možnosti, kde jsme nemuseli stahovat dokumenty s doporučenými velikostmi plošek, a tvořit je sami. Tento způsob je nejzdlouhavější, ale je zde téměř 100% jistota, že to, co vytvoříme, bude funkční. Plošky můžeme přímo vytvářet v PCB editoru, nebo použít program PCB Library Expert. V tomto programu lze zvolit typ součástky, pro kterou budeme plošky vytvářet, a poté pouze zadat rozměry a tolerance. Pokud přesto budeme chtít „footprinty“ vytvářet v PCB editoru, postup je takový, že nejdříve vytvoříme tzv. „pads“, což jsou jednotlivé plošky pro jeden kontakt součástky, a tyto „pads“ poté seřadit do skupin, a vytvořit tak pcb footprint pro konkrétní pouzdro.

Poté, co všechny výše uvedené úkoly splníme, provedeme v Capture již pouze několik úkonů, a můžeme již konečně začít navrhovat DPS v PCB Editoru. Začneme anotací součástek, která je přečísluje hezky vzestupně od jedničky. Pokud jsme hodně mazali součástky při návrhu schématu, mohli jsme mít součástky číslované různě, tímto

je srovnáme, a máme jistotu, že tzv. „silkscreen“ (sítotisk textu na DPS), bude mít hezké číslování. Nakonec provedeme DRC („design rules check“), což je kontrola schématu podle daných pravidel. Budeme upozorněni na nepřipojené uzly apod. Nakonec vygenerujeme netlist součástek, kterým předáme veškeré informace PCB Editoru. Po vhodném rozložení součástek v PCB Editoru, je ručně propojíme cestami, a hlavně se vyvarujeme použití autorouteru (automatické propojení). Při návrhu je vhodné dodržovat několik pravidel, u jakýchkoliv spínaných zdrojů dodržovat co nejkratší smyčku mezi spínacími prvky, cívkou a diodami. Spínaným částem se vyhneme s datovými sběrnicemi, vhodné je také oddělit analogové části od digitálních, pokud používáme nebezpečná napětí, také je oddělujeme. Cesty, používané pro vedení velkých proudů dostatečně dimenzujeme, tak, aby se nezahřívaly, případně neshořely.

Po dokončení návrhu se vygenerují data, která po nás požaduje výrobce. My budeme zasílat data do pool servisu společnosti Pragoboard. Pool servis se vyrábí pouze na jedné tloušťce mědi, a mimo jiné jsou zadané i minimální rozměry cest, mezer (5 milů – tisícín palce), i minimální průměry fréz a vrtáků. Do výroby zasíláme data pro fotonplotr ve formátu gerber, pro tyto vrstvy DPS: horní, spodní, nepájivá maska horní a spodní, silkscreen (popisky), a v neposlední řadě i data pro použití fréz. V případě frézovacích dat označíme místa, která mají být odfrézována, ve výrobě si sami určí velikosti fréz. Již posledními podklady pro výrobu jsou data pro souřadnicovou vrtačku. Ty si vygenerujeme v PCB Editoru pomocí volby ncdrill, a to ve formátu excellon. Naprostá většina součástek na našem prototypu je určena pro povrchovou montáž, všechny byly osazeny ručně. Výsledek našeho snažení, již osazený, je uveden na následujícím obrázku 3.11.



Obr. 3.11 – Osazená nabíjecí stanice

Označení vývodů na 24 pinovém konektoru (vpravo dole), lze samozřejmě vyhledat z kompletního schématu v příloze B, ale pro přehlednost, jsou funkce jednotlivých pinů vyobrazeny na obrázku 3.12.



Obr. 3.12 – 24 pinový konektor nabíječky

3.4 STM32 mikrořadič

O řízení všech periférií, měření napětí, nastavování napětí, komunikaci s PC i uživatelem se stará mikrořadič od společnosti ST, STM32F407. Protože se jedná o prototyp, mikrořadič není osazen na stejné desce jako nabíjecí a vybíjecí obvody, ale je součástí demonstrační desky společnosti ST, pojmenovaný STM32F4 Discovery, na které je osazen výše jmenovaný mikrořadič, a také několik, pro nás nepotřebných periférií, jako je I2S audio převodník, akcelerometr, ale také další STM32 mikrořadič, který je naprogramován tak, aby sloužil jako programátor hlavního mikrořadiče. V podstatě se jedná o ST-Link v2 bez krabičky. Číslo 32 v označení mikrořadiče znamená, že se jedná o 32bitový mikrořadič, F4 lze chápat jako výkonost mikrořadiče. ST nabízí celou řadu F, od F0 do F4 a nyní novinka F7. Číslo za písmenkem F koresponduje s názvem architektury, na které jsou tyto mikrořadiče založeny – ARM Cortex M4. STM32F4 je tedy z kategorie výrobcem označované jako „high – performance“ (vysoký výkon), u řady F4 až 225 DMIPS. Výrobce řady F4 označuje jako DSC – zkratka „digital signal controller“, což je kombinací zkratk mikrořadiče (MCU), a digitálního signálového procesoru (DSP). DSC osazené na naší desce „Discovery“ pracuje maximálně na frekvenci 168 MHz, je 32bitový, vhodné je zmínit, že z pouzdra je pro každý port vyvedeno 16 bitů ne 32. Pouzdro našeho mikrořadiče má vyvedeno 100 pinů.

V této kapitole se budu snažit co nejsrozumitelněji tento docela komplexní mikrořadič popsat. V úvodu je zmíněna maximální pracovní frekvence 168 MHz. Ano, to je maximální možná (povolená) frekvence, kterou můžeme pomocí jednoho z interních PLL získat. Tento mikrořadič má 2 PLL, max. jsou 3. Jedna je hlavní, která časuje AHB sběrnici. Pro AHB platí 168 MHz. Druhá PLL je označena jako PLLI2S, která, jak název napovídá, je využívána ke správnému časování sběrnice I2S (digitální přenos audia). Frekvence hlavní PLL je také vždy vydělena tak, abychom měli k dispozici 48 MHz takt pro USB sběrnici. Jako vstupní frekvenci si můžeme opět vybrat mezi interním RC oscilátorem, externím hodinovým signálem, externím krystalovým

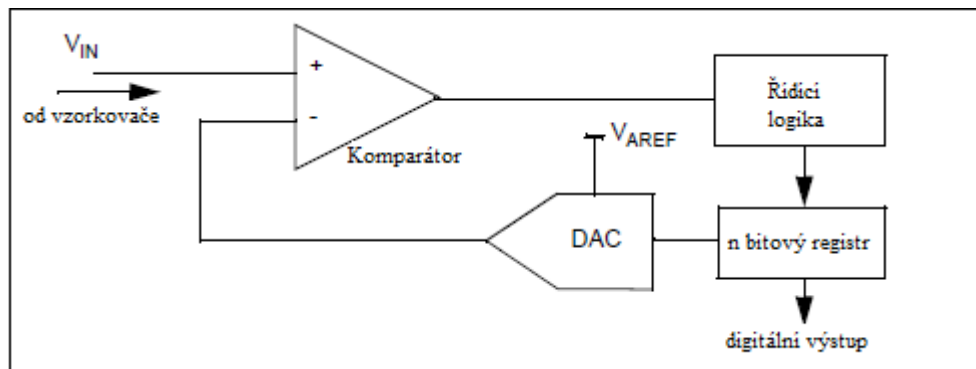
oscilátorem. Podle toho, co si vybereme je oscilátor označen HSI („high speed internal“ – rychlý RC interní), HSE („high speed external“ – rychlý krystalový externí). Tyto oscilátory mohou být použity nejen jako vstup do PLL, lze je využít také přímo pro časování mikrořadiče. Hlavní sběrnice AHB je tedy časována maximální rychlostí – označení „SYSCLK“. Na této frekvenci pracuje jádro, alu, paměťové řadiče. Frekvence pro periférie je několikrát nižší. Mikrořadič má dvě periferní sběrnice APB1 a APB2. APB1 pracuje maximálně na frekvenci 42 MHz a APB2 na 84 MHz. Periferiemi rozumíme například SPI, USART, časovače, napěťové převodníky. Výstupní porty jsou časovány také z AHB. Tyto informace zde nejsou uvedeny proto, abychom mohli obdivovat, co vše lze nastavit, ale abychom si již na začátku povšimnuli, že i u tohoto mikrořadiče je kladen docela velký důraz na spotřebu. Protože, každý port má po startu vypnuté hodiny. Totéž platí pro každou periférii, včetně rychlých oscilátorů a PLL, ty jsou také po startu vypnuty (a mezi zdroji hodin lze za běhu přecházet). Po startu jsou hodiny skoro všech periférií vypnuté, a mikrořadič „běží“ na frekvenci 16 MHz z interního RC oscilátoru. V programu pro prototyp, je frekvence nastavena na možné maximum 168 MHz.



Obr. 3.13 – demonstrační deska STM32F4 Discovery [16]

Dalším, a pro komunikaci s okolím nejdůležitějším prvkem jsou vstupně výstupní porty, v dokumentaci prostě označovány jako GPIO („general purpose input output“) port. Na demonstrační desce výše, s použitým mikrořadičem a jeho pouzdrem, máme k dispozici porty A-E, které jsou vyvedené kompletně (16 pinů). Po startu je každý port vypnut, a pokud ho chceme použít, je nutné mu zapnout hodiny, nastavit potřebné registry jednotlivých pinů, a inicializovat. Každý jednotlivý pin portu, se nastavuje individuálně. U pinu lze určit, jestli se jedná o vstup, výstup, jestli je tzv. analogový, jak rychlý má být, či pokud k němu chceme přiřadit některou z tzv. alternativních funkcí. Nastavení je velice jednoduché, a při použití základních knihoven a programovacího jazyka ANSI C, i přehledné. O tom ale více v kapitole o programování.

Při volbě nastavení jednotlivého pinu, se tedy musíme rozhodnout, pokud bude pin digitální nebo analogový. Oba mohou být samozřejmě nastaveny jako vstup nebo výstup. V případě digitálních pinů, můžeme veškeré jejich chování a průběhy signálů na nich ovládat softwarově, nebo pokud jsme nastavili pro pin alternativní funkci, může být pin, případně podmnožina pinů, ovládána některou z periférií. Což jsou například časovače a různé komunikační moduly, které nám ulehčují práci, a také šetří výpočetní výkon, protože pracují samostatně, mi pouze můžeme kontrolovat průběh přerušením nebo tzv. „flagy“, což jsou bity v nějakém stavovém registru, které přesně popisují, co momentálně periferie provádí. V případě analogových pinů, přenecháváme řízení pinu snad vždy na periférii, kterou je buď analogově digitální, nebo digitálně analogový převodník. Náš mikrořadič samozřejmě nabízí oboje, což je logické, pokud vezmeme v potaz, že se z části jedná od DSP procesor. Také je nutné uvést, že i když jsou periferie k pinům jednotlivých portů připojeny přes různé multiplexery, a přepínače sběrnic, tak si bohužel nemůžeme libovolně určovat, který pin bude ke konkrétní periférii připojen. Uživateli je umožněna volbou vždy alespoň mezi dvěma možnými piny pro periférii. V případě analogově digitálních převodníků, máme k dispozici 16 kanálů, ze kterých můžeme k jednotlivým převodníkům přepínat vstupy.



Obr. 3.14 – SAR A/D převodník [17]

V převodníkové části, nám STM32F407 může nabídnout tři samostatné dvanáctibitové analogově digitální převodníky, a dva digitálně analogové převodníky o stejném rozlišení. Referenční napětí pro tyto převodníky je „natvrdo“ připojeno ke stabilizovanému napájení mikrořadiče, v našem případě 3V. Nejedná se o úplně správné řešení, ale takto je reference zapojena pouze na naší demonstrační desce. U většiny pouzder je samozřejmě pin V_{ref} (referenční napětí) vyveden z pouzdra ven, kde se připojuje ke zdroji referenčního napětí, který je rozhodně stabilnější ve všech směrech (např. teplotně), a má vhodné výstupní napětí, korespondující s počtem stavů převodníku. U všech převodníků si můžeme libovolně volit rozlišení od osmi do dvanácti bitů. A/D převodníky jsou aproximační (SAR „successive approximation register“), vzorkovací obvod je samozřejmě integrován, a jeho parametry jsou automaticky nastavovány podle toho, jak rychle vzorkujeme, což opět ulehčuje práci, protože u mikrořadičů, se kterými jsem se doposud setkal, se tyto parametry nastavovaly podle tabulky v datovém listu. Maximální vzorkovací frekvence je zde závislá na hodnotě napájecího napětí, v našem případě, kdy napájecí napětí jsou 3V, může jeden převodník dosáhnout maximálně 2,4 MSPS („milionů vzorků za sekundu“), pokud ale využijeme všech třech A/D převodníků najednou, a budeme je spouštět s daným zpožděním za sebou (tzv. „interleaveing“ mód), a budeme prokládat vzorku ve správném prostředí, můžeme dosáhnout vzorkovací frekvence trojnásobné 7,2 MSPS.

SAR převodník funguje ve stručnosti tak, že (popis obrázku 3.14) se napětí uloží do „Sample and hold“ obvodu, a porovnává se s výstupem digitálně analogového převodníku (blok DAC). Porovnávání začíná od nejvyššího bitu, který odpovídá napětí $V_{ref}/2$. Pokud je měřené napětí vyšší než $V_{ref}/2$, do registru je na bit MSB, uložena jednička, pokud nižší, nula. Dále se pokračuje porovnávání s napětím $V_{ref}/4$. Číslo ve jmenovateli se s každým krokem mění na další číslo v řadě 2^x , až do té doby, dokud nedosáhneme minimální možné hodnoty, která je určena rozlišením převodníku. Poté co je hodnota napětí převedena, je uložena dále, a převádí se hodnota další.

Kromě analogových převodníků jsou v inteligentní nabíječce využívány periférie pro sériovou komunikaci, jmenovitě modul SPI a USART. K dispozici jsou samozřejmě i moduly pro sběrnice CAN, I²C a SMBUS, I2S. Mikrořadiče z této řady mají pro každý z protokolů několik takovýchto modulů. Konkrétně 6 USART modulů, 3 SPI/I2S, 3 I²C, kde každý může být nastaven rozdílně. My používáme USART pro zasílání vzorků napětí a proudů na virtuální COM port do PC. Na čtyř-drátovou SPI sběrnici je připojen LCD displej a dotyková vrstva. Sdílí mezi sebou signály SCK (hodiny), MOSI („master out, slave in“ – data posílaná do displeje, případně do dotykové vrstvy), MISO („master in, slave out“ – opačný směr). Piny CS („chip select“), které vybírají se kterým zařízením master komunikuje, samozřejmě sdílené nejsou. CS piny mohou být ovládány také přímo SPI modulem, nebo nad nimi může mít programátor plnou kontrolu ve svém programu, pokud modulu sdělí, že nechce využívat jeho CS. U SPI modulu, máme volnost výběru vzorkovacích hran u hodinového signálu, i nad polaritami signálu. Rychlost komunikace lze maximálně nastavit na rychlost sběrnice, ke které je modul připojen vydělená dvěma, to znamená maximálně 42 MHz pro SPI1, které je připojeno ke sběrnici APB2 a 21 MHz pro ostatní SPI moduly, připojené k APB1. U USART modulů si vystačíme s vodiči Rx a Tx, pro vysílání a příjem dat. Baud rate se nastavuje pouze zapsáním čísla (například 9600) do struktury knihovny, a knihovní funkce automaticky dopočítá nastavení časování modulu, což zrychluje psaní kódu.

Pro dotykovou vrstvu ovšem potřebujeme využít také přerušení, abychom nemuseli softwarově kontrolovat, jestli se někdo nedotkl displeje. Jak jsme se dozvěděli v předchozích kapitolách, dotyková vrstva je přímo vybavena výstupem, který přejde z logické 1 do logické 0, pokud se uživatel dotkne dotykové vrstvy. Abychom mohli tohoto pinu využít, použijeme integrovaný řadič přerušení, který se v našem případě nazývá NVIC („Nested Vector Interrupt Controller“). Jedná se o komplexní strukturu. Na rozdíl od některých základních mikrořadičů, kde je k dispozici jenom jedna adresa v programu, na kterou program v případě přerušení „skočí“, zde máme k dispozici až 82 maskovatelných vektorů přerušení (maskovatelný lze softwarově zakázat), vlastně pro každou periférii její vlastní. Protože se u takto pokročilého mikrořadiče samozřejmě počítá s maximálním využitím přerušení, a předpokládá se, že přerušení nám může přijít hned několik současně, musíme si při nastavování řadiče vybrat některou z 16 možných priorit přerušení. Nižší číslo, znamená vyšší prioritu, což jsou přerušení, která budou obsloužena přednostně. Některá z velkého množství přerušení jsou vyvedena od integrovaných periférií (přetečení časovače, dokončení převodu analogového převodníku, dokončení sériového převodu), ale pro náš účel budeme využívat externí přerušení („EXTI“), které je obslouženo, pokud na námi určeném pinu konkrétního portu dojde k námi definované změně – změna hodnoty z nuly na jedničku, opačně nebo obojí. Pro externí přerušení si můžeme vybrat některý z 16 dostupných kanálů, kde každý lze nastavit jinak. Podobně jako u přidělování pinu GPIO k modulům, i zde je určeno, který z pinů lze použít pro externí přerušení. Pokud tedy na námi určeném

kontaktní dojde ke změně (v případě dotykové vrstvy), v obsluze přerušeni bude přes SPI přečteno, ve kterém místě se uživatel displeje dotkl. Poté se vyhodnocuje, na jaké tlačítko klikl.

Asi posledním, pro nás klíčovým modulem, který potřebujeme ke správné funkci, je modul časovače. STM32F4 má až 17 časovačů, většinou 16bitových, poté několik 32bitových. Rozdělují se na obyčejné časovače, a pokročilé. Pokročilé časovače, kromě základních věcí jako měření času, pulzů, apod., mohou navíc mít vestavěn modul pro PWM („pulse width modulation“) – pulsně šířková modulace. Některé dokáží bez složitějšího nastavování i vyhodnocovat výstupy z tzv. kvadraturních enkodérů, které mají dva výstupy od sebe o 90° posunuté (pro určení směru). My budeme používat jeden časovač pro časování odběru vzorků napětí a proudu, druhý pokročilý časovač je využit ke generaci PWM signálu, který je na prototypu využíván pro nastavování nabíjecího proudu. LT1511 má pro PWM signál pouze jeden požadavek, a to, aby PWM frekvence byla více než několik kilohertz, což samozřejmě není problém. Střída tohoto signálu se vypočítává podle vzorce uvedeného v popisu obvodu LT1511.

3.5 Programová část inteligentní nabíječky

Celý program řídící inteligentní nabíjecí stanici včetně měřiče kapacity, byl napsán v jazyce C. Jako vývojové prostředí, byl použit open source projekt CooCox, který používá ke kompilaci kompilátor GCC. CooCox je neplacenou alternativou ke komerčním vývojovým prostředím, jako je například Keil μ Vision, IAR. Jako dnes většina vývojových prostředí, i toto má rozsáhlou databázi podporovaných mikrořadičů od různých výrobců, včetně našeho STM32F4. Při zakládání projektu si můžeme vybrat přímo mikrořadič osazený na demonstrační desce Discovery, i když je v databázi obsažena i deska samotná, jediné co se liší, že nám budou nabídnuty jak oficiální, tak uživatelské knihovny pro další integrované obvody, které jsou osazeny na demonstrační desce. Protože žádný z nich nehodláme použít, vystačíme si s knihovnami pouze pro STM32F407.

Všechny knihovny se po vybrání správného mikrořadiče objeví v záložce repozitáře, kde si jednoduchým zaškrtnutím políčka vybereme periferie, se kterými budeme pracovat. Základní knihovny, ve kterých se nacházejí všechny potřebné základní funkce, poskytuje pro náš mikrořadič přímo společnost ST Microelectronics. Pro každou periferii je tedy soubor funkcí zvlášť, ve kterém jsou navíc i všechny funkce stručně popsány. Jediné co zbývá po vybrání určité knihovny, je nezapomenout vložit „include“ direktivu s hlavičkovým souborem, který ke knihovně (.c) patří. Mezi nabízenými knihovnami se nachází i některé složitější, mezi které patří implementace souborových systémů (např. FAT), USB protokolu, dokonce i operačního systému RTOS, což je „real time operační systém“. Tyto pokročilejší knihovny nevyužijeme. Poslední knihovnou, kterou budeme potřebovat, je knihovna obsahující všechny funkce, které známe z jazyka C na PC. Zabere ve flash paměti mikrořadiče asi 30 kB, což je zanedbatelné, protože náš mikrořadič má velikost flash paměti 1 MB. Tímto krokem získáváme funkce jako printf a sprintf, které využijeme pro zasílání navzorkovaných napětí, a jejich řádné číselné formátování. Funkce sprintf je zde využita pro převod textových řetězců (v C se nejedná o „string“, ale o pole znaků „char“) na jednotlivé znaky, pro účely jejich zobrazování na LCD displeji.

Za pomoci funkcí obsažených v základních knihovnách, byly napsány složitější funkce, pro ovládání celé nabíječky. Není nijak překvapující, že naprostou většinu kódu

tohoto programu, tvoří kód pro komunikaci s uživatelem přes displej a dotykový panel. Ostatní funkce poté ovládají PWM, pro nastavení proudu, vyčítají vzorky z převodníků.

Rutiny pro uživatelské prostředí

Jak již bylo několikrát zmíněno, inteligentní nabíječka komunikuje s uživatelem přes LCD displej, a vstupy od uživatele přijímá pouze z dotykového panelu. Proto byly v programu vytvořeny potřebné funkce, kterými lze vše rychle a přehledně zapsat.

Rutiny pro dotyk

Pro dotykový panel byla v podstatě napsána pouze jedna funkce, která poté, co uživatel stiskne panel, zjistí polohu x a y stisku. Tato funkce je vždy volána z obsluhy přerušení, kterou vyvolá sestupná hrana externího přerušení, ke které je připojen pin dotykového panelu, označen jako PENIRQ. Ihned na počátku obsluhy, je započata komunikace s řadičem dotykového panelu XPT2046 přes SPI. Sériová komunikace probíhá jako osmibitová. Řadiče se můžeme dotázat nejen na pozice x, y, ale například i teplotu čipu, či napětí baterie, pokud je k nějaké připojen. Celá komunikace probíhá tak, že pošleme jeden bajt, ve kterém pomocí jednotlivých bitů nejenom řadiči sdělíme, jaká data má převést a zaslat, ale i v jakém módu mají pracovat budiče, do jakého úsporného režimu se má řadič po dokončení dotazu přepnout. Také lze vybrat 12 nebo 8bitové rozlišení. My budeme využívat 12bitové rozlišení, zvolíme také libovolný z úsporných režimů, protože pokud tak neučiníme, není aktivní výstup přerušení. Po zaslání tohoto bajtu musíme dvakrát přijmout data po osmi bitech, abychom získali 12bitovou hodnotu polohy. Tento postup opakujeme dvakrát – pro x, a pro y souřadnici. Než začneme s přijatými daty jakkoliv pracovat, využijeme algoritmus na eliminaci špatných stisků, který byl popsán výše. Ve zkratce ale čekáme na to, až přijmeme alespoň dvakrát ty samé hodnoty. Přijaté bajty zkombinujeme do jedné proměnné tak, že první (vyšší) bajt posuneme o osm bitů doleva pomocí operátoru <<, přičteme druhý bajt, a vynulujeme zbylé čtyři bity, protože proměnná je 16bitová, a data 12bitové. Nakonec již pouze převedeme získané napětí na číslo, které koresponduje s pozicí na displeji, což je v případě souřadnice x hodnota mezi 0 až 239, pro souřadnici y hodnota mezi 0 a 319. Protože asi při každém druhém stisku docházelo k vyhodnocení polohy, jakoby uživatel stiskl okraj displeje, jsou všechna data, která spadají do prvních dvou řádků displeje zahozena a ignorována. Řešení se osvědčilo, a nikterak nás neomezuje, protože tlačítka zobrazovaná na displeji jsou umístěna vždy až za touto „mrtvou zónu“.

Poté co program získá přesné souřadnice, a stále se nachází v obsluze přerušení, se vyhodnocuje, jestli nebylo stisknuto některé ze softwarových tlačítek. Program také v případě vyhodnocování stisků musí vědět, na které obrazovce v uživatelském prostředí se momentálně nachází, a vědět, jestli je právě zobrazena softwarová klávesnice pro vstup čísel od uživatele. Toto je mu umožněno prostřednictvím několika proměnných, ve kterých je uložena pozice v uživatelském prostředí. Pro zvýšení komfortu zadávání čísel na klávesnici displeje, a stisky tlačítek, byla okolo jednotlivých tlačítek do všech směrů zvětšena o 10 obrazových bodů zóna, kde je stisk ještě vyhodnocen ve prospěch toho správného tlačítka.

Rutiny pro displej

Funkce pro správné zobrazování na displeji, vstupy od uživatele, a zobrazování řetězců, jsou úplným základem, pro správnou funkci nabíječky. Pokud by někde nastala chyba v komunikaci, nemohli bychom nabíječku ani přepnout do nabíjecího režimu, protože po restartu je relé v poloze pro měření kapacity článků. Proto byl na správnou funkčnost těchto funkcí kladen velký důraz. První věcí, která musí být provedena, je inicializace displeje. Ta je provedena zasláním výrobcem určených bajtů předtím, než displej můžeme použít pro zobrazování. Ihned poté, co je displej inicializován, přicházejí do hry funkce vykreslovací. Pro naše potřeby si vystačíme pouze s několika funkcemi. Funkcí pro překreslení celého displeje jednou barvou, vykreslením obdélníku dané barvy, vložení znaku na displej, a také zobrazením celého řetězce.

Vyplnění displeje je velice jednoduché, potřebujeme k tomu příkaz pro výběr obdélníku v paměti. Tento příkaz se displeji zasílá následovně: protože jeden rozměr displeje převyšuje možnosti osmi bitů, zasílají se polohy vrcholů obdélníku jako 16bitové hodnoty. Příkazy a data, se ale displeji zasílají 8bitově. Proto vždy zašleme nejdříve horních 8 bitů, poté dolních 8 bitů. Takto zašleme pozice všech čtyř vrcholů – postupujeme od levého horního vrcholu ve stejném směru, jako čteme (např. knihu). Dalším příkazem řadiči displeje potvrdíme tyto souřadnice. Displej nyní očekává zaslání barvy (16bit) pro každý z obrazových bodů displeje zvlášť. Pokud plníme displej nebo některý jiný obdélník stejnou barvou, vystačíme si s cyklem, kde zasíláme stále tu stejnou barvu. V případě znaků, musíme mít barvy pro každý jednotlivý pixel, uložena někde předem v paměti, a přesně tak, je tento problém řešen. V paměti jsou uložena data v „tabulce“, kde jejich pozice odpovídá číslům z ASCII tabulky. ASCII tabulka není v paměti uložena samozřejmě celá, prvních, asi 32 znaků je vypuštěno, je zde tedy offset. Tím, že čísla znaků v paměti odpovídají, nebo alespoň jdou stejně za sebou jako v ASCII tabulce, můžeme použít pro účely zobrazování jednotlivých znaků, a řetězců, funkci `sprintf()`. Funkce má podobnou syntaxi, jako `printf()`, a zde je použita pro „formátování proměnných“, což je klíčovou věcí. Možná se tak nezdá, ale číslo, ať celé nebo s desetinnou čárkou, je v paměti uloženo jako číslo, nebo mantisa a exponent. V tomto formátu ho ovšem nelze zobrazit na displeji, kde je jakékoliv číslo posloupnost jednotlivých znaků. Proto potřebujeme funkci `sprintf()`, která nám z jakéhokoliv čísla nebo řetězce, vytvoří námi požadovanou posloupnost znaků. Funkce vrací čísla znaků v ASCII, se kterými si již naše funkce hravě poradí. S textovými řetězci tento problém samozřejmě není, protože jsou již takto reprezentovány v paměti.

Nyní již tedy zvládáme napsat na displej hodnotu číselné proměnné, což je vynikající, protože uživatel jistě očekává nějaký grafický výstup napětí nebo proudu na displeji, a nemusí se připojovat k sériovému portu, aby si mohl vzorky přečíst tam. Do konzole sériového portu pro změnu zase písmena, čísla a čárky zapisuje velice užitečná funkce `printf()`.

Poslední důležitá funkce obstarává vstup číselných hodnot od uživatele. Toto potřebujeme k nastavení nabíjecího proudu, vybíjecího proudu a napětí, při kterém se přestane článek vybíjet, podle preferencí buď uživatele, nebo technologie článku. Vstup čísel přes dotykový panel je vždy řešen pomocí softwarové klávesnice, která se v případě potřeby vykreslí na displeji. Tato funkce byla napsána jenom pro zadávání čísel, ve skutečnosti nemá uživatel k dispozici ani desetinnou čárku. Místo ní, je na klávesnici tlačítko „mili“. Číslo lze tedy do paměti vložit s desetinnou čárkou. Číslo, které lze vložit, může obsahovat maximálně 6 znaků. Což je o dvě až tři více, než je

potřeba. Toto konstatuji proto, že například při nastavování nabíjecího proudu, je sice možné zadat jednotky miliampér, ale taková přesnost je v praxi nedosažitelná. Prakticky lze nastavit nabíjecí proud asi po 0,1 A až do 3 A. Jednotlivé znaky čísel se ukládají do pole o velikosti šesti prvků, a toto pole je po stisknutí tlačítka převedeno pomocí Hornerova schématu na jedno číslo, které se uloží do globální proměnné, a není již měněno. Na nabídky menu se můžete podívat do přílohy C.

STM32 základní knihovny

Díky těmto knihovnám nemusíme během programování stále listovat referenční programátorskou příručkou, vyhledávat umístění nastavovacích registrů, a dlouze zjišťovat význam jednotlivých bitů. Kdybychom zapisovali nastavení periférií bez knihoven, vystačili bychom si sice jenom s jedním řádkem v kódu, ale bez dodatečných komentářů, bychom již úplně tak jednoduše nevěděli, co jsme jak nastavili, a ještě hůře bychom něco přenastavovali. To by šlo řešit vlastními deklaracemi struktur pro nastavení, přiřazování jmen registrům a hodnotám, a ve výsledku, bychom stejně skončili s téměř podobnou knihovnou, jako nám nabízí ST. Knihovny také nabízejí ke každé periférii funkce pro jejich ovládání, což je opět zase pouze čtení a zapisování do registrů, případně nějaká bitová manipulace s nimi. Použití knihoven také umožňuje bezproblémové použití některého z jiných mikrořadičů ze stejné rodiny STM32, protože názvy registrů, se nemění, ale umístění registrů v paměti ANO. To by bylo nepřípustné při zápisu do registrů „napřímo“, zde se pouze vymění hlavičkový soubor, ve kterém jsou názvy registrů přiřazeny jejich adresám. Protože jsme v programovací kapitole, nyní bude předvedeno použití některých funkcí knihovny pro jednu periférii – A/D převodník. Od nastavení vývodů procesorů, až po vyčtení hodnoty.

Po restartu mikrořadiče jsou všechny hodiny periférií, včetně portů vypnuty, musíme je tedy povolit. K tomu slouží funkce z knihovny RCC – „reset and clock control“- blok ve kterém se nastavuje časování periférií. Budeme využívat dva piny na portu A a převodník ADC2. Následujícími funkcemi bude povolen hodinový signál.

```
RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA,ENABLE);
```

```
RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_ADC2, ENABLE);
```

Již jsme povolili hodinový signál, nyní nastavíme piny portu A, které budeme využívat jako analogové. Zde si nepřejeme, aby byl některý z kontaktů připojen interním rezistorem ani na napájecí napětí, ani na zem („pull up“, „pull down“). Nastavíme tedy volbu PuPd na NOPULL. Po vyplnění nastavovací struktury port nastavíme, a aktivujeme funkcí GPIO_Init().

```
GPIO_InitTypeDefStruct.GPIO_Pin = GPIO_Pin_0 | GPIO_Pin_1 ;
```

```
GPIO_InitTypeDefStruct.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AN;
```

```
GPIO_InitTypeDefStruct.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_NOPULL;
```

```
GPIO_Init(GPIOA,&GPIO_InitTypeDefStruct);
```

Pokud již máme připravené analogové kontakty – kanál 0 a 1, můžeme přistoupit k nastavování vlastností analogově digitálního převodníku. Začneme uvedením

nastavení do základního stavu pomocí funkce DeInit(). Převodníková knihovna využívá jiné nastavovací struktury než GPIO výše, proto budeme deklarovat dvě nové.

```
ADC_DeInit();  
  
ADC_InitTypeDef ad_setup;  
  
ADC_CommonInitTypeDef ADC_CommonInitStruct;
```

Ve struktuře „Common init structure“ nastavíme převodníky tak, abychom je mohli používat nezávisle – nespouštějí se tedy samy v určeném pořadí. Také je nutné nastavit předdělič hodinového taktu, zde na 8, protože by hodinový takt převodníků neměl převyšovat 13 MHz. Zakážeme DMA, a pomocí funkce ADC_CommonInit vše nastavíme.

```
ADC_CommonInitStruct.ADC_Mode = ADC_Mode_Independent;  
  
ADC_CommonInitStruct.ADC_Prescaler = ADC_Prescaler_Div8;  
  
ADC_CommonInitStruct.ADC_DMAAccessMode = ADC_DMAAccessMode_Disabled;  
  
ADC_CommonInit(&ADC_CommonInitStruct);
```

Nyní můžeme nastavit námi používaný převodník ADC2, pouze pro kanál 1. Nastavíme ho na maximální rozlišení 12 bitů, zarovnané doprava, a pomocí dalších částí struktury zakážeme většinu voleb, kterých by bylo využíváno při automatickém vzorkování. Nakonec připojíme kanál 1 (pin 1 z portu A) k převodníku ADC2, vyplněnou strukturu nahrajeme do registru převodníku, a funkcí ADC_Cmd převodník povolíme.

```
ad_setup.ADC_Resolution = ADC_Resolution_12b;  
  
ad_setup.ADC_DataAlign = ADC_DataAlign_Right;  
  
ad_setup.ADC_ContinuousConvMode = DISABLE;  
  
ad_setup.ADC_ExternalTrigConv = 0;  
  
ad_setup.ADC_ExternalTrigConvEdge = 0;  
  
ad_setup.ADC_NbrOfConversion = 1;  
  
ad_setup.ADC_ScanConvMode = DISABLE;  
  
ADC_RegularChannelConfig(ADC2,ADC_Channel_1,1,ADC_SampleTime_112Cycles);  
  
ADC_Init(ADC2,&ad_setup);  
  
ADC_Cmd(ADC2,ENABLE);
```

Převodník je připraven k digitalizaci napětí na námi nastaveném kontaktu procesoru, který je připojen kabelem k jednomu z výstupů inteligentní nabíječky. Nemusíme se bát zničení převodníků, nejenomže je tento problém ošetřen na prototypové desce, ale další ochrany jsou integrovány i v portu A, který má své ochranné diody. Převodník jsme nastavili tak, abychom za pomoci jedné funkce sami

spustili převod, a další funkcí vyčetli převedenou hodnotu. Převodník nám dá vědět, že ukončil převádění napětí vystavením příznaku ve svém stavovém registru. Krátký kód ukázkové funkce pro přečtení hodnoty napětí vypadá takto:

```
int adc_read(){
    int hodnota;
    ADC_SoftwareStartConv(ADC2); //nastartovat převod
    while((ADC_GetFlagStatus(ADC2, ADC_FLAG_EOC) == RESET) //převádění
    hodnota = ADC_GetConversionValue(ADC2); //vyčtení hodnoty
    ADC_ClearFlag(ADC1, ADC_FLAG_EOC); //smazání příznaku
    return hodnota; //funkce vrací hodnotu int
}
```

Tato funkce vrací hodnotu v rozmezí 0 – 4095, pokud chceme získat hodnotu napětí, musíme ji za použití znalostí o hodnotě referenčního napětí a rozlišení převodníku vypočítat. Podle vzorce 5.3.

$$U = \frac{U_{REF}}{2^{12}} \cdot \text{hodnota} [V] \quad (3.3)$$

Před započítáním měření je nutné korigovat offset, pokud nějaký je. Vzorky také průměrujeme, a pokud by to bylo nutné, můžeme vzorky přefiltrovat nějakým FIR//IIR filtrem – zde musí být nastavena jednotná vzorkovací frekvence, a souhlasit anti-aliasingový filtr na vstupu, jedině poté by bylo možné ho použít.

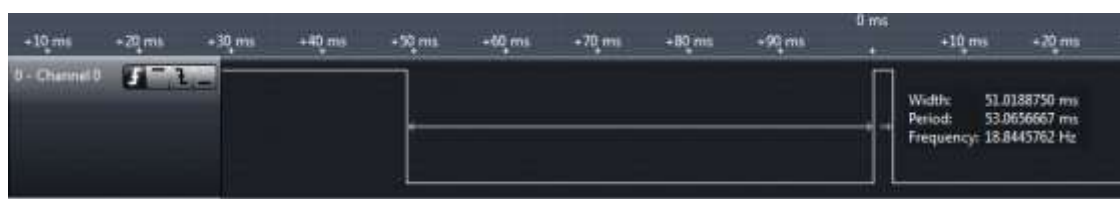
Program pro zpracování dat v PC

V podstatě se nejedná o samostatný program, ale o skript, k jehož spuštění budeme potřebovat prostředí Matlab. Skript je natolik jednoduchý, že nebudeme potřebovat žádný z nadstandardních modulů, pro Matlab nabízených. Skript je modifikací ukázkového skriptu od společnosti MathWorks (tvůrci Matlabu a Simulinku). Skript byl původně určen pro vyčítání napětí ze sériového portu digitálního multimetru Agilent. Největší výhodou, je nejen zapisování vzorků do paměti, které můžeme později zpracovat, ale hlavně vykreslování průběhu do grafu v reálném čase. Jediným parametrem, který je potřeba nastavit, je označení virtuálního sériového portu (COMx na Windows), protože se na různých počítačích jeho číslo mění. Programem zaznamenané průběhy jsou k prohlédnutí v následující kapitole.

4. Diskuse získaných dat, ekonomická rozvaha

Ověřování funkčnosti

Předtím, než byla měřena jakákoliv data, byl proveden test výstupů digitálně analogového převodníku, kterým se nastavuje vybíjecí proud u měřiče kapacity, také byly zkontrolovány průběhy, které mají být na výstupech a vstupech CCS kontroléru. Ověřen byl i výstup PWM, kterým je nastavován nabíjecí proud. Prvním z výstupů, který byl ověřen, byl výstup E/A CCS kontroléru.



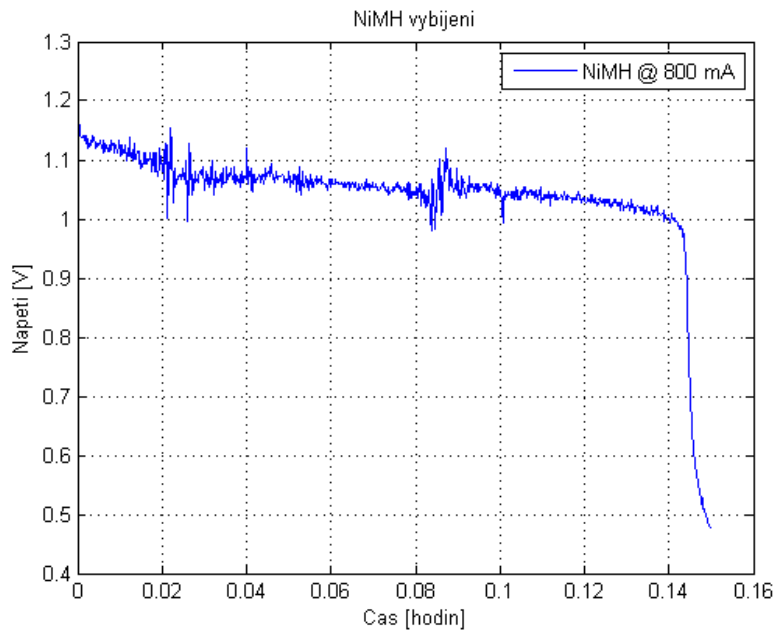
Obr. 4.1 – E/A výstup CCS kontroléru

Dále byly stejným způsobem zkontrolovány výstupy INTIN, INTOUT. Na těchto pinech se pomocí PWM měří napětí nabíjených článků, frekvence se pohybuje kolem 200 kHz, střída závisí na napětí nabíjeného článku. Během měření nabíjení článků se ukázalo, že tak, jak byl v datovém listu navrhnout dělič pro CCS kontrolér, se nedá téměř nic spolehlivě nabíjet, protože napětí na děliči je již tak vysoké, že střída na výstupu INTIN, je 100%. V datovém listu je uvedeno, že je nutné vydělit nominální napětí článku na 1,2V. Ovšem při tomto způsobu vydělení napětí, CCS kontrolér po jeho dosažení zastaví pinem E/A nabíjení, které se nespustí, dokud napětí opět nepoklesne. Bylo tedy vyzkoušeno přepnout dělič tak, aby na 1,2V bylo vyděleno napětí plně nabitého článku a ne nominální, což bylo odzkoušeno na Li-Ion článku. Nabíjení v tomto případě nebylo CCS kontrolérem trvale přerušeno, a článek byl nabit. O nepřekročení maximálního napětí 4,2V se postaral obvod LT1511, jehož přepětí ochrana je plně funkční.

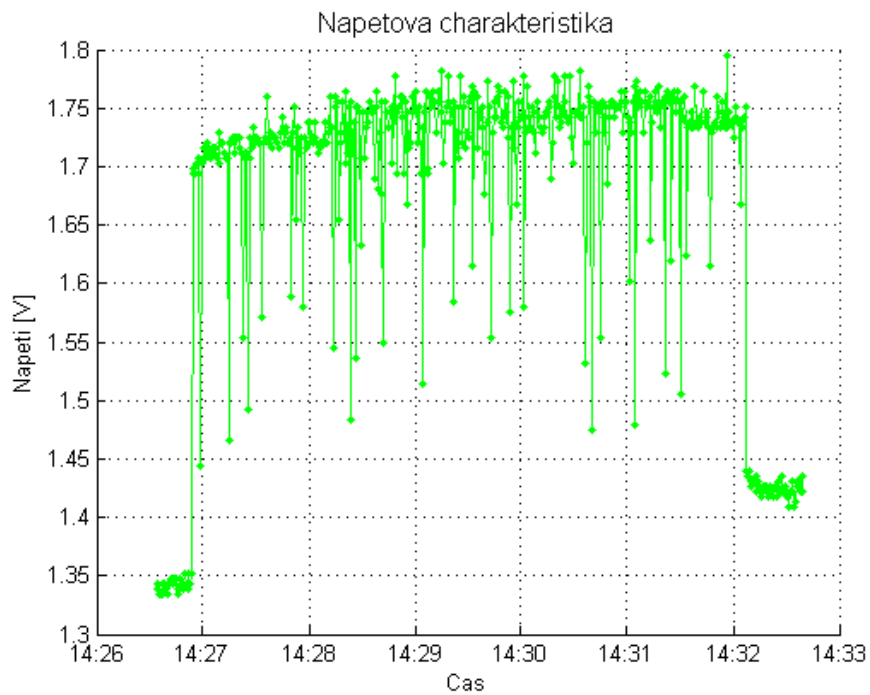
NiMH

Jedním z prvních článků, na kterém byla testována nabíjecí stanice, byl mnoho let starý článek Duracell, jehož udávané hodnoty byly 1,2V nominální napětí, a kapacita 2050 mAh. Článek byl předem nabit v jiné rychlé nabíječce. Poté byl vybíjen proudem 800 mA, charakteristika viz obr. 4.2. Charakteristika odpovídá předpokladu, že má být po většinu času vybíjení plochá, a poté prudce klesnout. Stejný článek byl poté nabit obvodem LT1511 proudem 1A (0,5C), s terminací pomocí CCS kontroléru viz obr. 4.3. Data zobrazená na obrázku nebyla nijak upravována, a tak na nehezkém průběhu můžeme sledovat nabíjecí napětí, které koresponduje se simulovaným průběhem, uvedeném na obrázku 3.7. Výrazné odchylky jsou způsobeny měřením napětí i v okamžiku, kdy byl nabíjecí proud dočasně pozastaven. V okamžiku měření nebylo implementováno měření v místě přerušení proudu (synchronizace s E/A). Pokud průběh podrobněji prostudujeme, můžeme pozorovat, že CCS kontrolér ukončil nabíjení článku poté, co nabíjecí napětí započalo klesat – terminace NDV, nikoliv CCS. Při vybíjecím procesu, byla spočítána kapacita jako 0,12 Wh, což byla také zhruba energie dodaná

zpět při nabíjení. Dělič napětí pro CCS kontrolér byl nastaven pro hodnotu nominálního napětí 2V, protože v případě zapojení podle datového listu (žádné dělení), CCS kontrolér nabíjecí proces blokoval signálem E/A v logické 1.



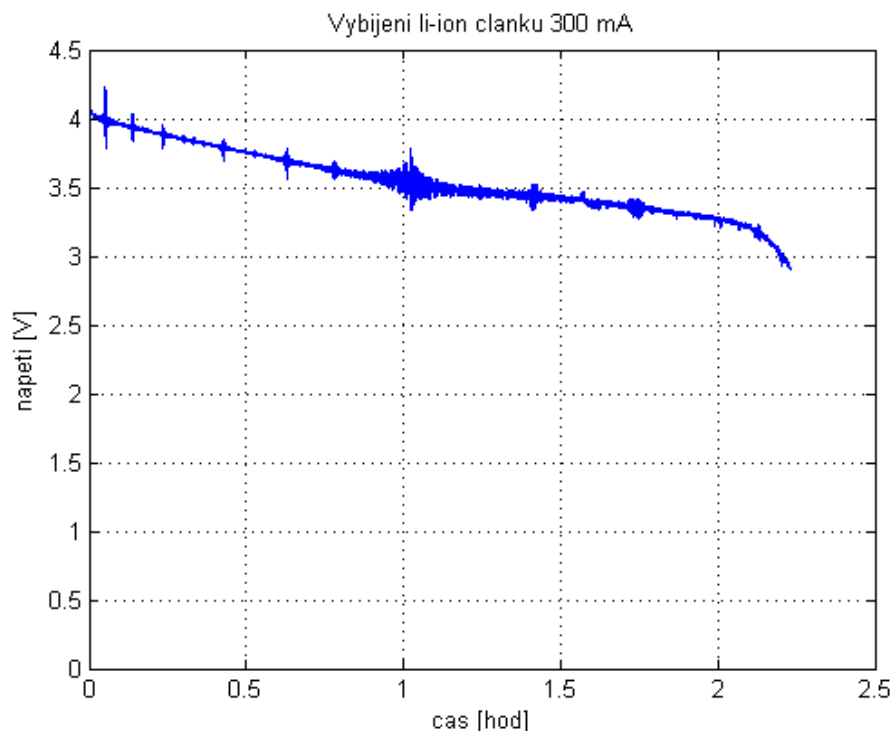
Obr. 4.2 – Vybíjení NiMH



Obr. 4.3 – NiMH CCS

Li-Ion

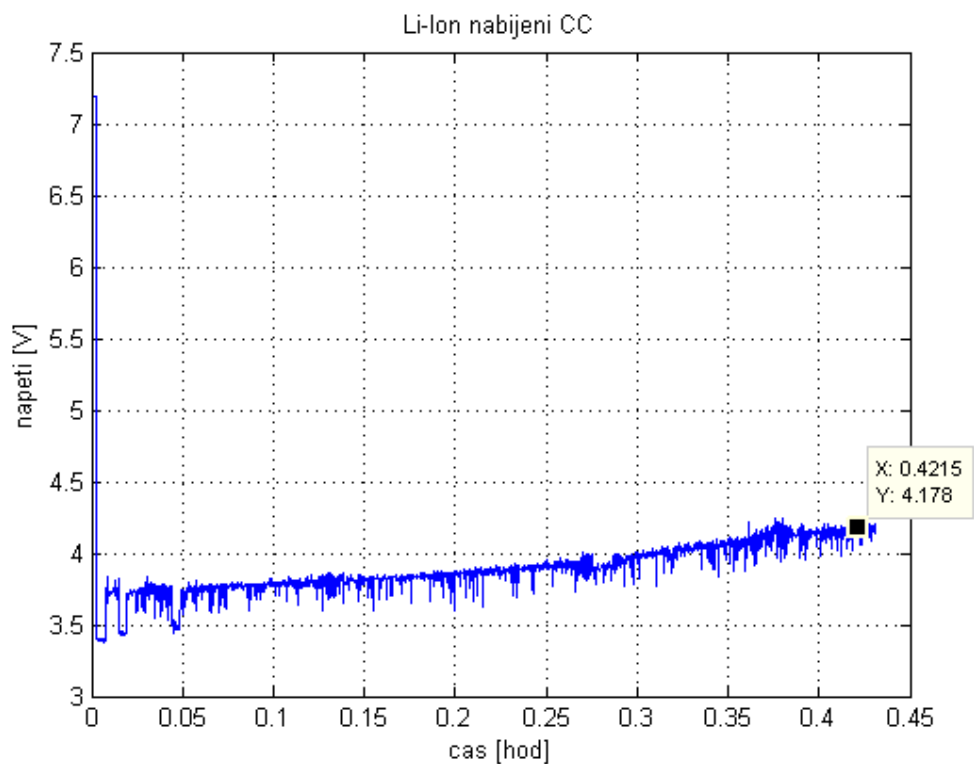
Pro naměření dat lithiových článků, byly změřeny dvě Li-Ion baterie z mobilních telefonů Nokia. První baterie měla kapacitu 1000 mAh, druhá 1300 mAh. První byla vybíjena (viz obr. 4.4) konstantním proudem 300 mA, až po hranici 3V. Napětí pod 3V hranici dále klesá, až na 2,5V, kde zareaguje ochranný obvod, který baterii odpojí od terminálů. Poté byla baterie nabita proudem 900 mA (obr. 4.5 – fáze konstantního proudu, dále je již napětí konstantní). Tato charakteristika byla naměřena díky téměř úplnému zakázání CCS kontroléru.



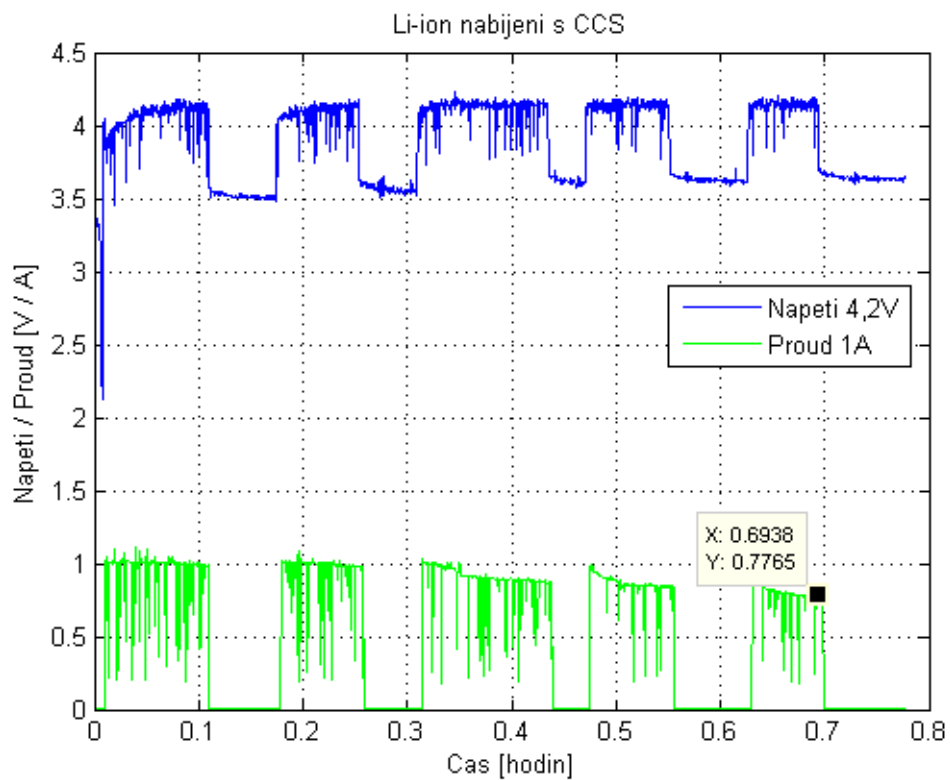
Obr. 4.4 – Li- ion vybíjecí charakteristika 300 mA

Pro druhou Li-Ion baterii, která byla vybita stejným způsobem, byl CCS kontrolér povolen tak, aby napětí nabité baterie (4,2V), bylo pro jeho potřeby vyděleno na 1,2V. Tentokrát bylo měřeno napětí i nabíjecí proud. Průběhy můžeme odečíst z obrázku 4.6. Nabíjeno bylo proudem 1 A (0,7C). Při tak vysokém nabíjecím proudu se výrazně zkrátí doba, po kterou nabíjíme konstantním proudem, a nabíjecí obvod LT1511, začíná ihned po dosažení napětí 4,2V limitovat proud, viz spodní průběh v grafu.

Na průběhu je jasně vidět, že nabíjení je CCS kontrolérem vždy na několik minut přerušeno, a poté opět obnoveno. Jeho jednání nelze spolehlivě popsat – nabíjecí napětí je vždy konstantní, a napětí článku v každém dalším intervalu také roste, proto se pravděpodobně nedá ani mluvit o funkci udržování článku.



Obr. 4.5 – Li-Ion nabijeni 900 mA, fáze konstantního proudu (CC)



Obr. 4.6 – Nabijení druhé Li-Ion baterie

Ekonomická rozvaha

V úvodu této podkapitoly musíme zvážit, jestli je nabíjecí stanice, která dokáže nabíjet různé druhy článků tím, co by běžný uživatel využil, případně zvládl správně ovládat. Situace je taková, že trendem, zvláště ve spotřební elektronice, je baterii integrovat do zařízení, a nabíjet ji pouze připojením adaptéru. Nabíjecí obvod je již v zařízení integrován. Baterii tedy, pokud to je vůbec možné, ze zařízení dnes většinou ani nevytahujeme, dokud je funkční. Faktem také je, že z veškeré spotřební elektroniky, byly dříve hojně používané akumulátory jako NiCd a NiMH nahrazeny Li-Ion bateriemi. Především proto, že Li-Ion baterie mají velice jednoduchý proces nabíjení, a proto je snad ani nelze nesprávně nabít. Mají rozumný počet nabíjecích cyklů, a dobrou energetickou hustotu, ovšem nelze je rychle nabíjet. Pokud nepotřebujeme univerzalitu nabíjecí stanice, rozhodně se cenově vyplatí pořízení specializovaného řešení, protože navrhnutá univerzální nabíjecí stanice není nikterak levným zařízením. Jenom pořizovací cena obvodu LT1511, je 400 Kč (duben 2016), a ostatní obvody, které jsou zapotřebí k použití CCS kontroléru, cenu dále zvyšují. Dalším problémem je téměř absolutní nedostupnost CCS kontroléru. CCS kontrolér, osazený v prototypu, byl zakoupen na celosvětovém tržišti Aliexpress, a jeho originalita, je nejistá. Jeho neoriginalita, by mohla vysvětlovat špatné výsledky nastavování nabíjení. Pokud bychom CCS kontrolér vypustili z návrhu, cena výrobku by se snížila přibližně na polovinu, a také by klesla složitost zapojení. Poté bychom pouze jiným způsobem museli řešit terminaci nabíjení NiCd a NiMH článků. Například přesným měřením napětí, proudu, případně i teploty článků mikrořadičem, a implementovat ukončovací metody digitálně. Další možností je samozřejmě použití některého ze zapojení s OZ. Některé další technologie článků zvládá LT1511 nabíjet sám, viz obrázek 3.5 ukázkového zapojení Li-Ion nabíječky.

5. Závěr

V úvodu práce byly popsány různé technologie sekundárních chemických článků, kde ke každé z technologií, byl uveden alespoň jeden příklad, na kterém byly ukázány základní vlastnosti jednotlivých technologií. Popsány byly tři velké kategorie: olověné akumulátory, články na bázi niklu a články lithiové. V další z kapitol, byly podrobně popsány způsoby nabíjení těchto chemických článků, včetně způsobů, podle kterých se ukončuje jejich nabíjení.

Před započítím návrhu mikroprocesorové univerzální nabíjecí stanice, byl proveden průzkum trhu na poli nabíjecích obvodů. Do průzkumu byli zahrnuti velcí výrobci, a od každého z uvedených, byl vybrán alespoň jeden nabíjecí obvod, popsán, a ve většině případů uvedeno blokové schéma jeho doporučeného zapojení. Nabízené obvody byly rozděleny do skupin podle různých kritérií. Mezi těmito obvody se také nachází CCS kontrolér, který je základním stavebním blokem prototypu.

V praktické části této diplomové práce byl kompletně popsán průběh návrhu prototypu, představeny využívané obvody, a popsány jejich základní funkce. Předmětem několika kapitol se stala i tvorba řídicího programu pro mikrořadič, který univerzální nabíjecí stanici řídí a získává data od uživatele. Než je dopodrobna představen řídicí program, jsme v několika podkapitolách seznámeni se základy architektury použitého mikrořadiče. Součástí praktické části je i popis postupu tvorby schématu, plošného spoje, a jeho výroba včetně osazení. V závěru jsou diskutována data naměřená prototypem, která byla zaznamenána komunikačním programem, funkčnost realizovaného prototypu, a jeho ekonomická rozvaha.

6. Reference

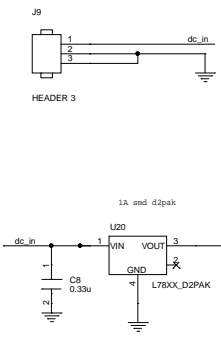
- [1] *Hyperphysics: Battery technologies* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/leadacid.html>
- [2] *LM2576: Battery charging* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/snva557/snva557.pdf>
- [3] *Maxim Integrated* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.maximintegrated.com>
- [4] *Battery and Energy Technologies: Battery Chargers and Charging Methods* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.mpoweruk.com/chargers.htm>
- [5] *A Designer's Guide to Lithium Battery Charging* [online]. By Steven Keeping [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2012/sep/a-designers-guide-to-lithium-battery-charging>
- [6] *Panasonic LC-R123R4PG* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <https://octopart.com/lc-r123r4pg-panasonic-12036206>
- [7] *Charging methods: Methods of charging the valve regulated Lead-Acid battery* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: https://na.industrial.panasonic.com/sites/default/pidsa/files/downloads/files/panasonic_vrla_chargingmethods.pdf
- [8] HAMMERBAUER PH.D., ing. Jiří. *Akumulátory NiFe a NiCd* [online]. , 1-41 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.malavoda.cz/akum_nife_nicd.pdf
- [9] *Battery university* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.batteryuniversity.com/>
- [10] LCD displej. <Http://www.electfreaks.com/> [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.electfreaks.com/store/24-tft-lcd-tft0124sp-p-785.html>
- [11] *ILI9341 datasheet* [online]. s. 35 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf>
- [12] Compare All Resistive Touch Technologies. *Elotouch* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://www.elotouch.com/Technologies/compare_resist.asp
- [13] *LT1511: Constant-Current/ Constant-Voltage 3A Battery Charger with Input Current Limiting* [online]. , 1 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1511fb.pdf>
- [14] *DG444, DG445: Quad SPST CMOS Analog Switches* [online]. , 1-8 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/70054/dg444.pdf>

- [15] *74HC595; 74HCT595: 8-bit serial-in, serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state* [online]. , 1-23 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: https://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT595.pdf
- [16] STM32F4 Discovery. *STM32F4 Discovery: Discovery kit with STM32F407VG MCU* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www2.st.com/content/st_com/en/products/evaluation-tools/product-evaluation-tools/mcu-eval-tools/stm32-mcu-eval-tools/stm32-mcu-discovery-kits/stm32f4discovery.html
- [17] *AN1636 APPLICATION NOTE: UNDERSTANDING AND MINIMISING ADC CONVERSION ERRORS* [online]. In: . s. 3-5 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/jp/resource/technical/document/application_note/CD00004444.pdf
- [18] *MAX4173: Low-Cost, SOT23, Voltage-Output, High-Side Current-Sense Amplifier* [online]. , 0-10 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX4173-MAX4173T.pdf>
- [19] *BTICCS: Technology and innovation* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.btiCCS.com/>
- [20] *Texas instruments: Dataheets and app notes* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.ti.com/>
- [21] *Panasonic: Cell type 1300SCR* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <https://industrial.panasonic.com/cdbs/ww-data/pdf2/ACC4000/ACC4000CE31.pdf>
- [22] *Chapter 4: Nickel-Cadmium Batteries* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.ehdl.org/docs/nicad-principles.pdf>
- [23] *L6924D: Single Cell Li Ion battery Charger* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.st.com/content/st_com/en/products/power-management/battery-management-ics/battery-chargers/l6924d.html

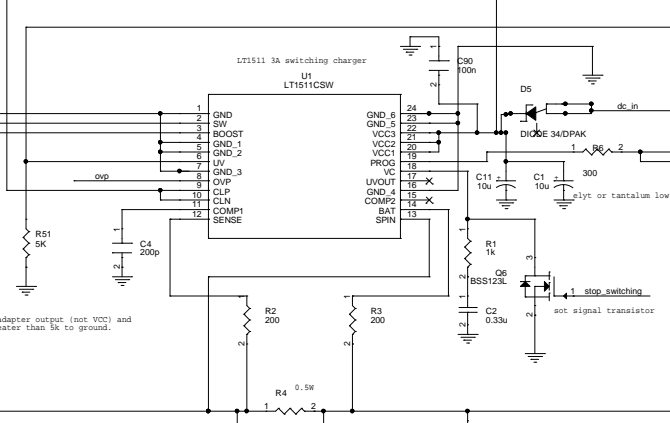
7. Přílohy

Příloha A – Schéma nabíjecí stanice

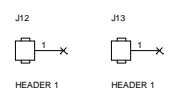
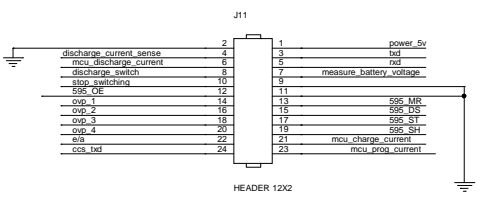
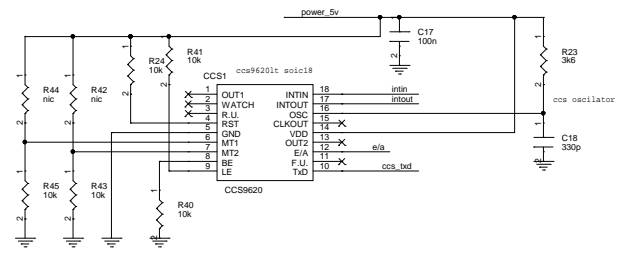
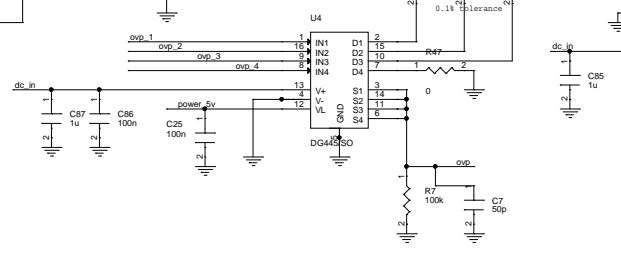
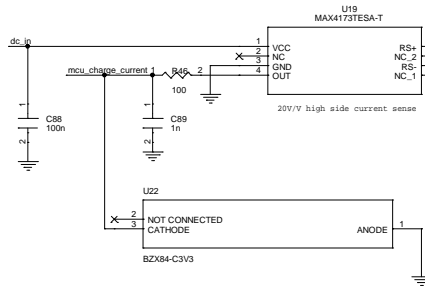
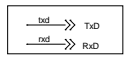
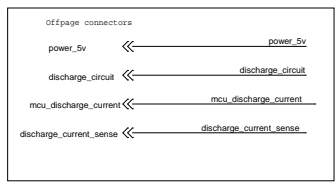
v allegru pozor na polaritu 1 2
dc plug jack



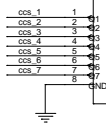
If the current limit is not used, both CLP and CLM pins should be connected to VCC.

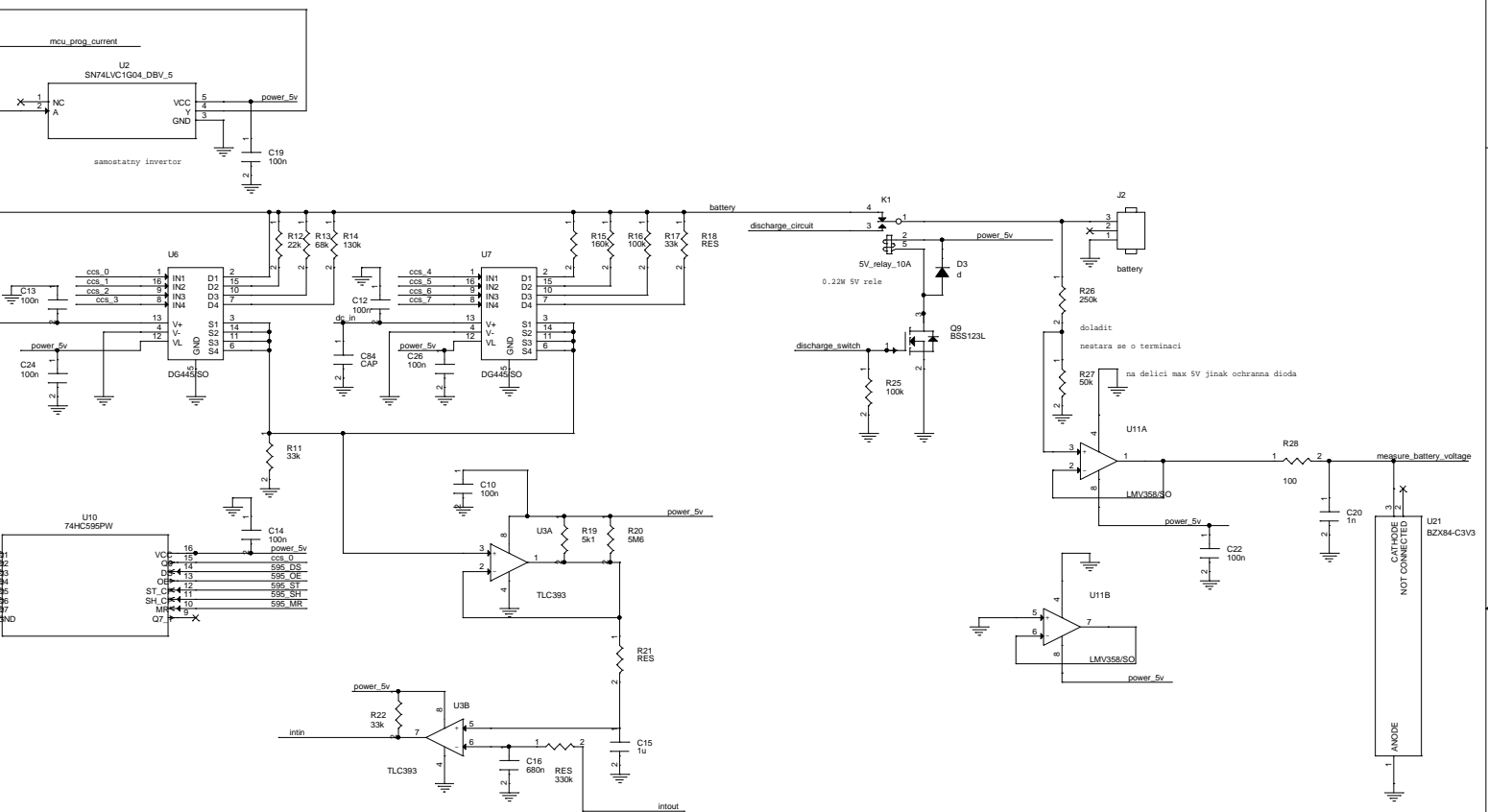


If the UV pin is not used, connect it to the adapter output (not VCC) and connect a resistor no greater than 5k to ground.

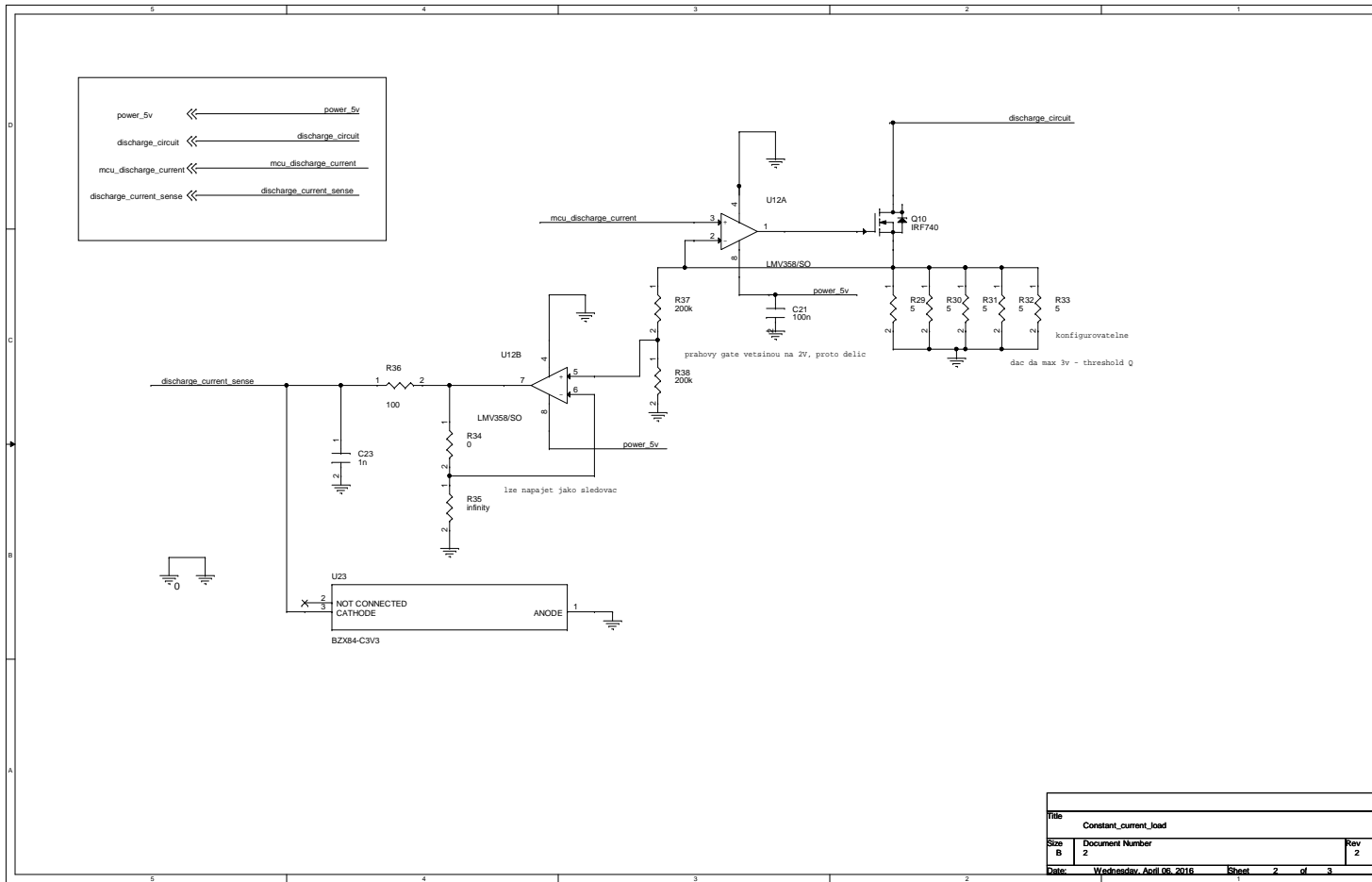


analog co nejdale od mcu_prog_current

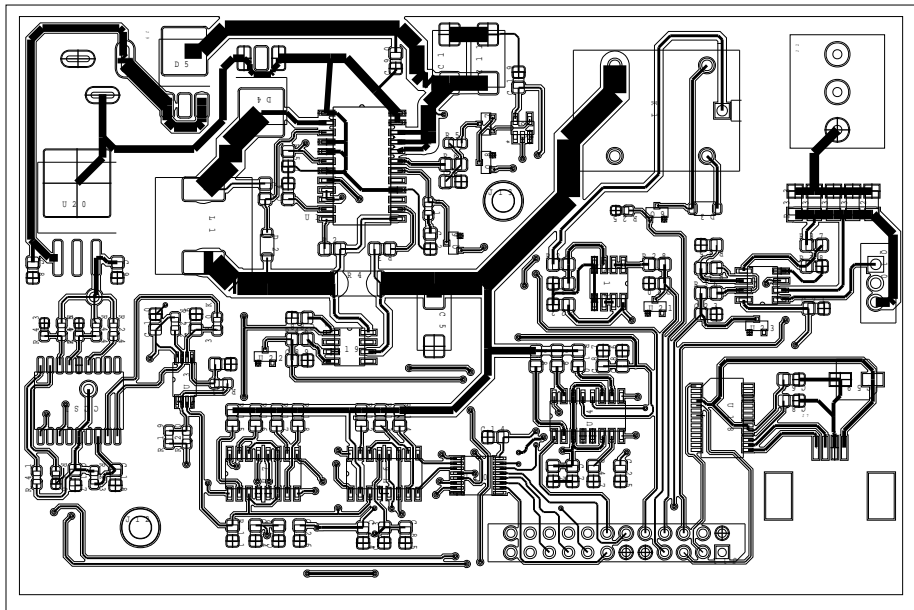


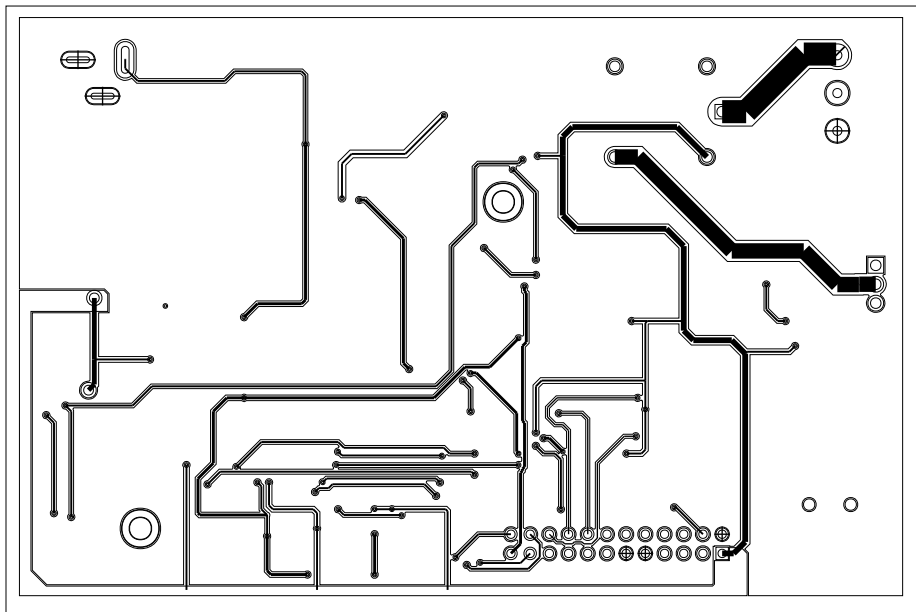


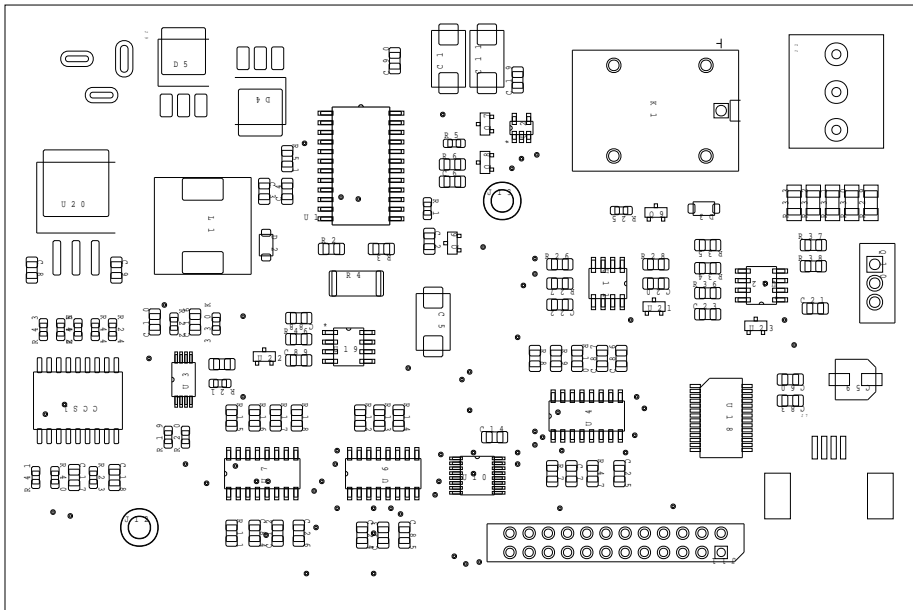
File	<Title>
Size	Document Number
D	<Doc>
Date	Wdnesday, April 06, 2016
Sheet	1 of 3

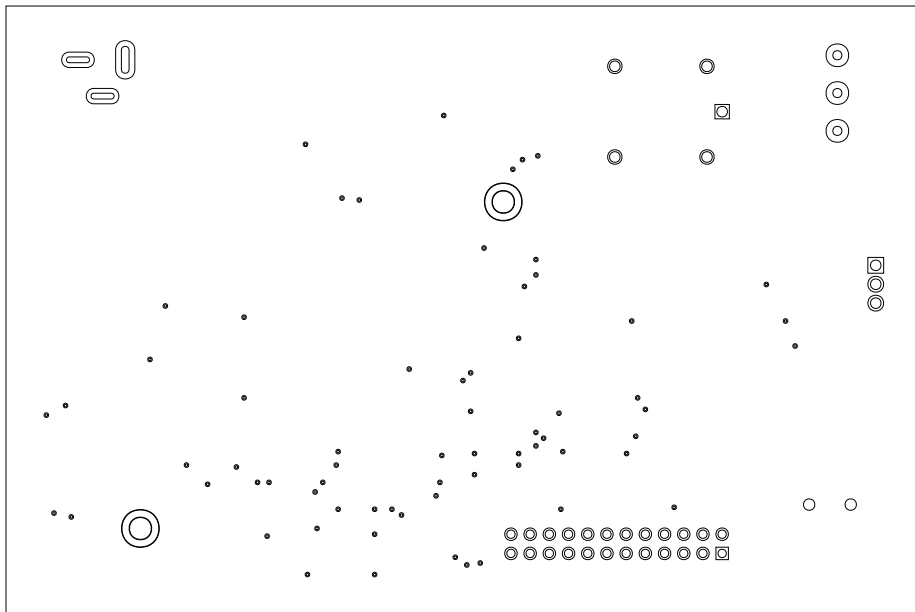


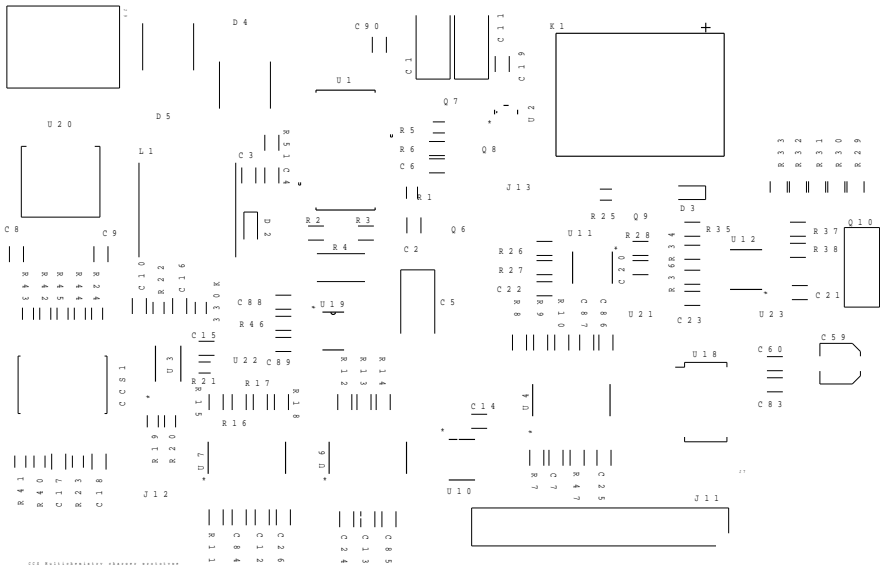
Příloha B – Vrstvy DPS











© 1988 Motorola Inc. All rights reserved.

Příloha C – Menu nabíjecí stanice

