



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**FAKULTA Elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky**



**Bakalářská práce**

**System managementu baterie pro elektrokolo**

autor: **Pavel Lípa**

vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Novák, Ph.D.**

---

**Praha 2016**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
katedra elektroenergetiky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Lipa Pavel**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Systém managementu baterie pro elektrokolo**

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhněte a realizujte modul managementu baterie elektrokola.
2. Zaměřte se na možnost použití různých typů a počtu článků baterie, zařízení doplňte o online přenos aktuálních údajů o stavu baterie do mobilního telefonu uživatele.
3. Pro tento účel navrhněte a implementujte vhodnou aplikaci.
4. Proveďte testy realizovaného systému a prokažte přínos jeho nasazení.

Seznam odborné literatury:

- [1] Hrubec Michal: Nabíjecí technika a nabíjecí algoritmy, disertační práce ZČU Plzeň 2011
- [2] Bingjun Xiao, Yiyu Shi, Lei He: A Universal State-of-Charge Algorithm for Batteries, 47th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC), 2010, ISBN 978-1-4244-6677-1
- [3] Bergveld, H.J.: Battery Management Systems-Design by Modelling, dissertation thesis Universiteit Twente 2001, ISBN 90-74445-51-9

Vedoucí: doc. Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 19. 5. 2016

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych chtěl poděkovat doc. Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a cenné rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Dále velký dík patří Ing. Petru Kortánkovi za poskytnutí cenných rad při tvorbě vlastního návrhu a programování.

V poslední řadě bych tímto chtěl poděkovat své rodině za její podporu a pochopení.

## **Čestné prohlášení**

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

Datum: 27.5.2016

.....

podpis bakalanta

## **Název bakalářské práce:**

System managementu baterie pro elektrokola

## **Abstrakt:**

Tato práce se zabývá návrhem systému managementu baterie (BMS) pro instalaci v elektrokole. BMS lze rovněž použít pro různé typy a počty sériově zapojených bateriových článků instalovaných v různých typech zařízení. Systém je doplněn o online přenos aktuálních údajů o stavu baterie do mobilního telefonu uživatele. Práce v úvodu definuje pojem BMS, účel použití, možné dělení a základní systémové části BMS. Následně jsou popsána současná řešení, jejich výhody a nevýhody a důvody, proč nesplňují mnou daná kritéria. V praktické části je popsán vlastní návrh řešení, který je rozdělen do tří částí. V první části práce se zabývám návrhem měřicího modulu. Ve druhé části popisuji návrh CPU modulu. V poslední části jsou vysvětleny jednotlivé funkce uživatelské aplikace. Na závěr práce se zabývám testováním vývojového kitu BMS a jeho přínosy.

## **Klíčová slova:**

BMS, baterie, elektrokolo, mobilní aplikace

**Bachelor's Thesis title:**

Battery management system for electric bicycle

**Abstract:**

This Bachelor Thesis deals with a design of Battery Management System (BMS) for the installation on an electrical bike. BMS can also be used for different types and numbers of in-series connected battery cells. The system is complemented by online transmission of actual battery state data to the mobile phone application. Introduction chapter describes the concept, purpose, possible classification and basic structure of BMS. Subsequently the current solutions, their advantages and disadvantages are described, as well as why they do not meet my criteria. The practical part describes the BMS system implementation, which is divided into three parts. The first part deals with the design of the measuring module. The second part describes the design of the CPU module. The last part explains the individual functions of user application. Finally the work deals with the testing of developed BMS kit and summarizes its benefits.

**Keywords:**

BMS, battery, electrical bicycle, mobile application

## Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	- 7 -
1. Úvod.....	- 1 -
2 Battery Management System .....	- 2 -
2.1 BMS .....	- 2 -
2.2 Základní části BMS .....	- 3 -
2.2.1 Nabíjecí zařízení .....	- 3 -
2.2.2 DC/DC měnič.....	- 4 -
2.2.3 Akumulátor .....	- 5 -
2.2.4 Zátěž.....	- 7 -
2.2.5 Komunikační rozhraní .....	- 7 -
3 Definice zadání, analýza dostupných řešení a návrh blokového schématu .....	- 8 -
3.1 Definice zadání.....	- 8 -
3.2 Dostupná řešení .....	- 8 -
3.2.1 BMS123 .....	- 9 -
3.2.2 BMS2405 .....	- 9 -
3.3.3 MiRy BMS-F .....	- 9 -
3.4 Návrh blokového schématu.....	- 10 -
3.4.1 Popis bloků.....	- 11 -
3.3.2 Parametry a vlastnosti navrhované BMS.....	- 11 -
4 Návrh měřicího modulu .....	- 12 -
4.1 Blokový návrh.....	- 12 -
4.2 LTC6804-1 - popis .....	- 13 -
4.3 Komunikační rozhraní.....	- 13 -
4.3.1 Komunikace mezi CPU modulem a měřicím modulem .....	- 13 -
4.4.2 Komunikace mezi měřicími moduly.....	- 14 -
4.4 Návrh balancování.....	- 15 -
4.4.1 Výpočet vybíjecího odporu.....	- 16 -
4.4.2 Světelná signalizace balancování.....	- 17 -
4.4.3 Vývojový diagram balancování .....	- 18 -
4.5 Zapojení akumulátorových článků .....	- 19 -
4.6 Ukázka programu .....	- 20 -
5 Návrh CPU modulu.....	- 21 -

5.1	Mikrokontroler .....	- 21 -
5.2	Měření rychlosti .....	- 21 -
5.3	PWM regulace výkonu.....	- 22 -
5.4	Měření teploty motoru.....	- 24 -
5.5	Proudová sonda .....	- 25 -
5.6	Signalizační prvky.....	- 25 -
5.6.1	LED dioda.....	- 25 -
5.6.2	Piezoelektrický bzučák .....	- 26 -
5.7	Vypínání nabíjecího ústrojí .....	- 26 -
5.8	Integrovaný budič.....	- 28 -
5.9	Komunikační rozhraní.....	- 28 -
5.9.1	Asynchronní sériové rozhraní .....	- 28 -
5.9.2	Bluetooth modul.....	- 29 -
5.10	Stav nabití.....	- 30 -
6	Mobilní aplikace .....	- 31 -
6.1	Android.....	- 31 -
6.2	Android aplikace .....	- 31 -
6.2.1	Grafické rozhraní .....	- 31 -
6.2.2	Komunikační rozhraní .....	- 33 -
7	Oživování a dosažené výsledky .....	- 37 -
7.1	Oživování .....	- 37 -
7.2	Dosažené výsledky.....	- 38 -
7.2.1	Vývojový kit .....	- 38 -
7.2.2	Nabíjení Li-ion akumulátoru.....	- 40 -
7.2.3	Vybíjení Li-ion akumulátoru .....	- 40 -
7.2.4	Balancování.....	- 41 -
8	Závěr .....	- 42 -
	Seznam použité literatury .....	- 43 -
	Seznam obrázků.....	- 44 -
	Seznam příloh .....	- 46 -

## Seznam symbolů a zkratk

OS	Operační systém
BMS	Battery Management System
PWM	Pulzně šířková modulace
NZ	Nabíjecí zařízení
$I_{od.}$	Odebíraný proud [A]
$I_{nab.}$	Nabíjecí proud [A]
CPU	Centrální procesorová jednotka
IO	Integrovaný obvod
MM	Měřicí modul
MIK	Mikrokontroler
Pp	Počet polpárů
SPI	Sériové periferní rozhraní
isoSPI	Izolované sériové periferní rozhraní
LTC	Linear Technology
SCK	SPI clock
MUX	Multiplexor
CCP	Capture/Compare/PWM
U	Napětí [V]
P	Výkon [W]
I	Proud [A]
$R_{vyb.}$	Vybíjecí odpor
$I_{bal.}$	Balancující proud [A]
$U_{dif}$	Rozdílové napětí [V]
PC	Počítač



# 1. Úvod

V současné době dochází k rychlému nárůstu využívání elektrokol, jejichž nedílnou součástí jsou zdroje energie v podobě nejrůznějších akumulátorů. Většina těchto akumulátorů vyžaduje zvýšenou péči. Při nesprávném užívání může dojít k výraznému poklesu kapacity nebo až k trvalému zničení akumulátoru. Sám jsem při pozdním odpojení nabíjecího zařízení způsobil přebití akumulátoru a tím i jeho trvalé poškození, které se projevilo rapidním poklesem kapacity. Proto jsem se ve své bakalářské práci rozhodl zabývat návrhem systému pro management baterie (BMS – Battery Management System), jehož úkolem bude pečovat o akumulátor.

Cílem mé bakalářské práce je navrhnout systém managementu baterie pro elektrokola s volbou různých typů akumulátorů (Li-Pol, Li-ion), který bude akumulátory chránit před užíváním v nevhodných pracovních režimech. V žádném případě nesmí dojít k opuštění pracovních oblastí akumulátoru, které jsou výrobcem udávány v katalogovém listu, neboť by tak mohlo dojít k poškození akumulátoru. Z tohoto důvodu je nutné nabíjecí a vybíjecí cykly co nejpřesněji monitorovat.

Pro šetrné nabíjení je nutno vyrovnávat napětí na jednotlivých člancích akumulátorové baterie, provádět takzvané balancování. Pro řízené vybíjení je vhodné výkonové omezení, které v případě blížící se hranice vybití akumulátoru přeruší odběr energie z akumulátoru. BMS musí být konfigurovatelný pro různý počet akumulátorů v baterii, který si uživatel sám nastaví. BMS bude implementován přímo do elektrokola, proto je potřeba vyřešit komunikaci mezi uživatelem a BMS. Ke komunikaci jsem vybral technologii Bluetooth, konkrétně modul HC-06, který komunikaci s mobilním zařízením zprostředkuje. Aplikace bude navržena pro operační systém Android. Tuto možnost jsem zvolil z důvodu širokého zastoupení mobilních zařízení s výše zmiňovaným OS na trhu

## 2 Battery Management System

Tato kapitola se zabývá teoretickou analýzou systému managementu baterie (dále jen BMS) a popisem základních částí. V této kapitole vycházím ze zdrojů [1] a [2].

### 2.1 BMS

Neexistuje jednoznačná definice, co přesně pojem BMS znamená. Z širšího úhlu pohledu se jedná o technologii nebo produkt určený k péči o baterii.

Může zahrnovat následující funkce:

- Ochrana baterie
- Monitorování stavu baterie
- Maximální využití kapacity baterie
- Odhadování stavu baterie
- Informování uživatele nebo napájeného zařízení o stavu baterie

**Základním úkolem BMS je zajistit optimální využití energie uvnitř baterie a minimalizovat rizika, která mohou baterii poškodit.**

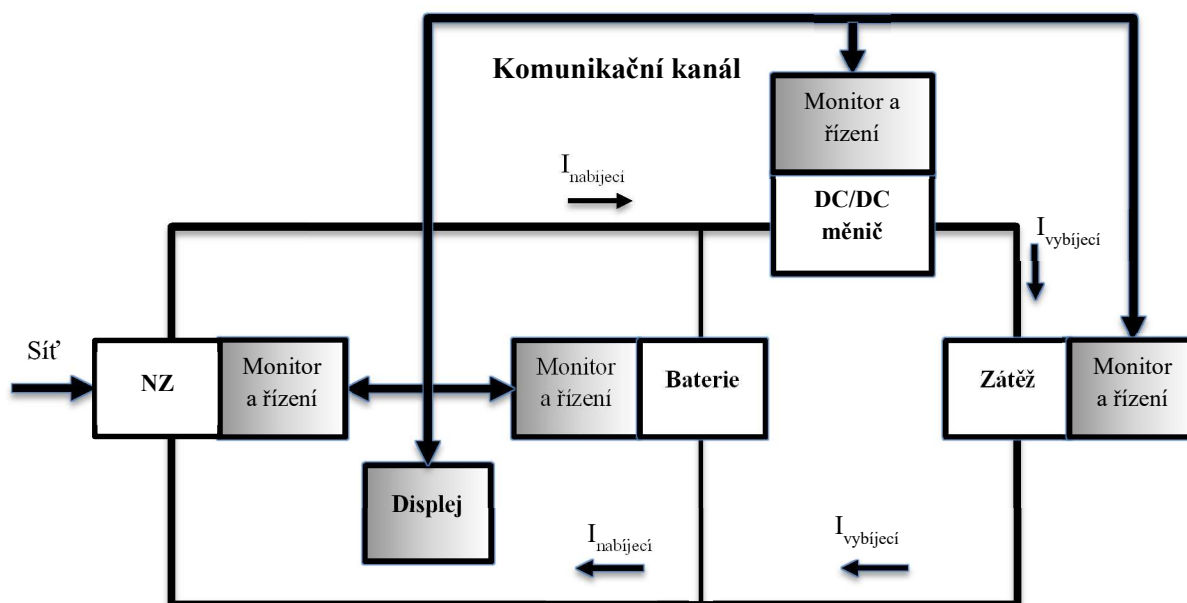
BMS se skládá z: nabíjecího ústrojí, baterie, napájecího zdroje a zátěže. Míra sofistikovanosti bude záviset na funkčnosti monitorovací a řídicí funkce. Obecně platí, že čím vyšší je tato míra sofistikovanosti, tím přesněji bude sledován stav baterie, čímž se prodlouží její životnost. Funkce těchto částí závisí na několika parametrech:

- **Cena produktu:** Obecně platí, že náklady na BMS by měly být nízké v porovnání s náklady na celý produkt. Pokud bude funkčnost řídicích a monitorovacích funkcí relativně na nízké úrovni, bude v důsledku toho i BMS relativně levný.
- **Vlastnosti produktu:** Úzce souvisí s cenou produktu. Drahé produkty budou obsahovat více funkcí než produkty levné. Například drahá akumulátorová vrtačka se světelnou indikací “nízký stav baterie“ bude vyžadovat sofistikovanější BMS než levná vrtačka bez světelné signalizace
- **Typ Baterie:** Každý typ baterie má své specifické vlastnosti. Některé baterie potřebují více péče, jako například „Li-ion“, některé zas méně, např. „Olovené“.
- **Typ produktu:** V některých produktech jsou baterie nabíjeny a vybíjeny častěji než v jiných. Například mobilní telefon, který je nabíjen/vybíjen téměř každý den, v porovnání s elektrickým zubním kartáčkem, který má podstatně delší časové intervaly nabíjení/vybíjení (uvažujme-li stejné typy bateriových článků). U zařízení s vysokým počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů se budou rychleji měnit parametry baterie. Počet cyklů je důležitý pro určení životnosti baterie. Z těchto důvodů bude potřeba sofistikovanější BMS v mobilním telefonu, než je ve zmiňovaném zubním kartáčku.

Základní struktura BMS je zobrazena na obr. 2.1. Skládá se z jednotlivých částí, zobrazených pomocí “monitorovacího a funkčního” bloku. Měřené hodnoty a řídicí příkazy jsou

mezi systémovými částmi BMS předávány přes komunikační kanál. Jako komunikační kanál může být použito “cokoliv“, od jednoduché pulsně šířkové modulace (PWM) až po komunikační protokol MODBUS atp.

BMS zobrazená na obr. 2.1 také obsahuje informační zařízení, sloužící k indikaci aktuálního stavu baterie, kterým je například LED dioda indikující nízký stav napětí. Může být také použit komplexnější systém, jako je LCD (Liquid-Crystal Display), který zobrazuje aktuální stav baterie.



Obr. 2.1: Blokové schéma struktury BMS

## 2.2 Základní části BMS

### 2.2.1 Nabíjecí zařízení

Nabíjecí zařízení (dále jen NZ) slouží k obnově náboje sekundárního článku nuceným průchodem proudu skrze článek. Velikost nabíjecího proudu závisí na technologii, typu, teplotě a počtu nabíjených článků. NZ může být realizováno buď jako samostatná jednotka, nebo jako součást přenosného zařízení. Zejména ve druhém případě musí být účinnost zařízení dostatečně vysoká, jinak by docházelo k nadměrnému zahřívání přenosného zařízení, jehož součástí je i akumulátor, a tím by mohlo při dlouhodobějším opakování dojít k jeho poškození.

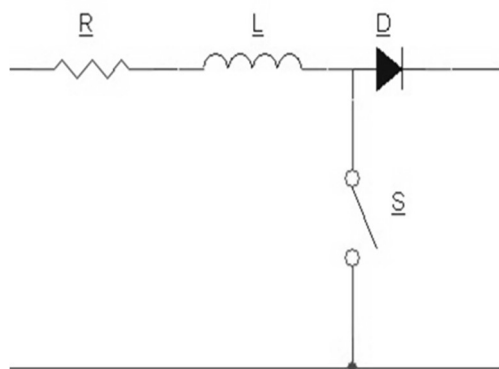
Z pohledu návrhu BMS lze NZ rozdělit do dvou skupin, a to na sofistikované a jednoduché. První typ NZ implementuje celou řadu funkcí (z hlediska kontroly a monitorování aktuálních hodnot při nabíjení baterie). Tyto systémy se vyznačují především sofistikovanějším přístupem k nabíjecímu procesu. Využívají více metod pro stanovení okamžiku ukončení nabíjení s ohledem na co nejmenší přebíjení a vystavování akumulátorových článků vysoké teplotě. Rozpoznávají stav nabití a na základě toho upravují průběh nabíjecího cyklu. NZ spadající do této skupiny je často univerzální, neboť je schopné nabíjet řadu bateriových sestav jednoho nebo i více

výrobci. K těmto NZ postačí jednodušší BMS, co se týče z hlediska monitorování a řízení nabíjecího cyklu.

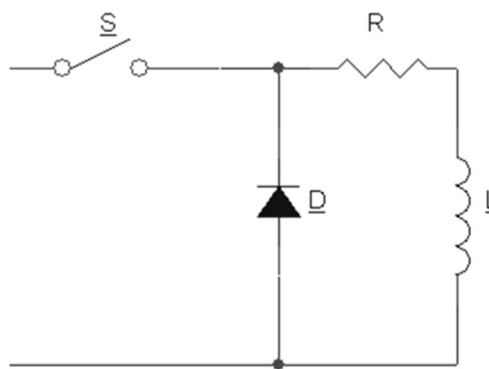
Jednoduchá NZ obvykle neobsahují žádné řídicí ani monitorovací systémy a je nutné stav nabíjení pravidelně kontrolovat. Tato NZ pracují zpravidla s konstantním výstupním napětím nebo proudem, výstup se tedy nemění v závislosti na čase ani na stavu nabití akumulátoru. Nízké kvalitě nabíjení odpovídá také nízká cena zařízení. V tomto případě je nutný sofistikovanější BMS, který sleduje stav akumulátoru v průběhu nabíjení. Nejčastěji sledovanými hodnotami jsou teplota a napětí baterie. V okamžiku nabití baterie, popřípadě při překročení teplotního limitu, musí BMS zajistit včasné ukončení nabíjecího cyklu, aby nedošlo k degradaci baterie.

### 2.2.2 DC/DC měnič

Základní úlohou DC/DC měniče v příslušném přenosném zařízení je spojit baterii s různými systémovými částmi, které potřebují odlišné napětí, než je baterie schopna dodat. Napětí baterie může být buď vyšší, nebo naopak nižší. V prvním případě používáme stejnosměrný měnič napětí pro snižování napětí, tzv. “step-down converter”, který je znázorněn na obr. 2.3, ve druhém případě stejnosměrný měnič napětí pro zvyšování napětí, tzv. “step-up converter”, viz obr. 2.2.

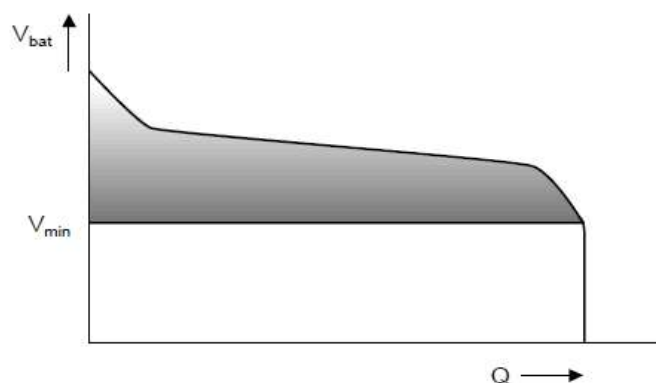


Obr. 2.2: Step-up converter.



Obr. 2.3: Step-down converter.

Při návrhu měniče je třeba vycházet z vybíjecích charakteristik baterie, jejichž průběh je zaznamenán na obr. 2.4. Měnič by měl být dimenzován na minimální hodnotu napětí  $V_{\min}()$ , charakteristickou pro daný typ baterie. Tím zaručíme funkčnost měniče i při nižších hodnotách napětí baterie.



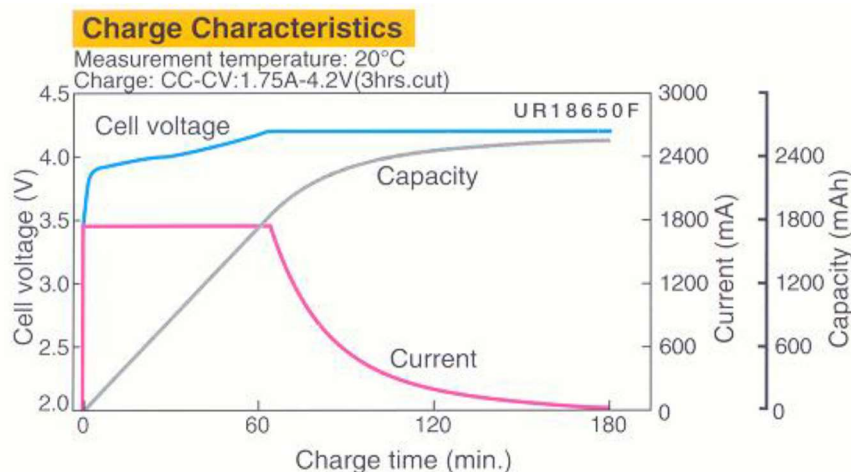
Obr. 2.4: Průběh vybíjecí charakteristiky Li-ion akumulátoru (převzato ze zdroje [2])

Dále hraje velkou roli účinnost. Měníče s nízkou účinností mění zbytkovou energii na teplo, což je u přenosných zařízení používajících jako zdroj energie baterii velmi nežádoucí efekt, kterým by docházelo k urychlenému vybíjení baterie. Proto je nutné v BMS používat jen měniče s co možná nejvyšší účinností.

### 2.2.3 Akumulátor

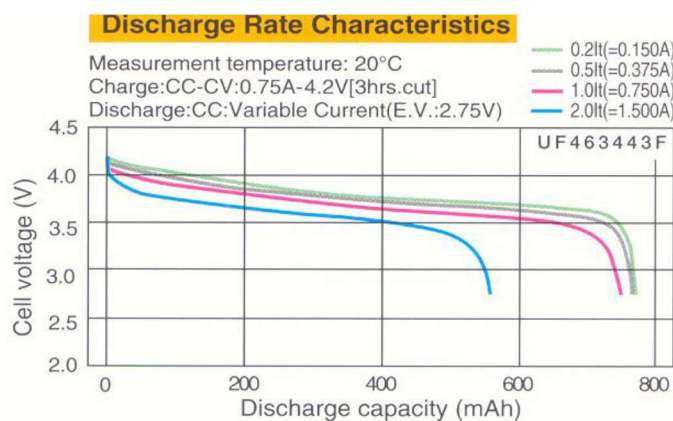
Elektrochemický akumulátor podle zdroje [1] je sekundární článek, který můžeme po nabití použít jako zdroj energie. Procházející proud v elektrochemickém akumulátoru vyvolá vratné chemické změny, které se projeví rozdílným elektrochemickým potenciálem na elektrodách. Základní úlohou akumulátoru je tedy uložit elektrickou energii získanou z nabíjecího zařízení a přenést ji na zátěž v okamžiku potřeby. To dovoluje přenosnému zařízení pracovat bez připojení k vnějšímu napájecímu zdroji. Na trhu existuje celá řada akumulátorů s odlišnými chemickými vlastnostmi. Příkladem jsou nickel-cadmium (NiCd), nickel-metalhydride (NiMH) a lithium-ion (Li-ion) akumulátory.

Charakteristiky jednotlivých akumulátorů se značně liší, a to i pro akumulátory se stejným chemickým složením. Důvodem může být odlišná konstrukce nebo různé přísady. Na obr. 2.5 je zobrazena typická nabíjecí charakteristika Li-ion akumulátoru. V okamžiku dosažení maximálního napětí článku, které vždy udává výrobce daného druhu akumulátoru, musí dojít k ukončení nabíjecího cyklu, jinak hrozí přehřívání. Protože jsou nominální napětí na článcích elektrochemických akumulátorů relativně malá (1,2 V až 3,7 V), jsou tyto články sdružovány do akumulátorových baterií pro dosažení požadovaných hodnot napětí či kapacity. Sériovým zapojením jednotlivých článků lze získat vyšší napětí při stejné hodnotě kapacity. Paralelní kombinací získáme vyšší hodnotu kapacity při zachování napětí. Těmito kombinacemi lze dosáhnout požadovaných hodnot napětí a kapacit akumulátorových baterií pro daný typ zátěže. Při sériovém zapojení mohou některé články vykazovat rozdílný vnitřní odpor a při nabíjení může docházet k rozdílným svorkovým napětím jednotlivých článků. Aby k tomu nedocházelo, jsou zde implementovány ochranné obvody zabraňující jeho poškození, které se nazývají balancéry. Balancér slouží k vyrovnání napětí jednotlivých článků akumulátorových baterií. Princip je založen na přeměně přebytečné elektrické energie uložené v akumulátoru na jinou formu energie, kterou je nejčastěji teplo. Více viz kapitola [4.4].



Obr. 2.5: Nabíjecí charakteristika Lithiových článků (převzato ze zdroje [13])

Obdobné podmínky jako pro nabíjení platí i pro vybíjení. Napětí na článku akumulátoru nesmí poklesnout pod stanovenou hodnotu udávanou výrobcem. Takový stav by mohl vést až k jeho zničení. Na obr. 2.6 je zobrazen průběh závislosti napětí akumulátoru na velikosti odebraného proudu. Při vyšších hodnotách vybíjecího proudu dochází k většímu poklesu napětí na článku a k urychlenému vybíjecímu procesu. Aby bylo možné i nadále pracovat s akumulátorem, který se jeví pro danou hodnotu  $I_{od}$  již vybitý, je nutné výkonové omezení, kterým lze korigovat hodnotu  $I_{od}$  z akumulátoru. Tím lze prodloužit dobu pracovního cyklu. Avšak tento způsob řízení lze použít jen u některých aplikacích. Zde je uveden příklad použití pro elektrokolo: Dosáhne-li uživatel hranice minimálního napětí akumulátoru při  $I_{od} = 1,5$  A, dojde k výkonovému omezení na maximálně možný  $I_{od} = 1,0$  A a uživatel bude moci i nadále odebrat energii z akumulátoru při nových, nižších hodnotách výkonu přenášeného z akumulátoru na zátěž.



Obr. 2.6: Vybíjecí charakteristiky při změně velikosti vybíjecího proudu (převzato ze zdroje [13])

Při návrhu BMS je také třeba brát v potaz maximální dobu životnosti akumulátoru. Důležité je zamyslet se nad rozdílem mezi pracovním napětím akumulátoru a jeho doporučeným provozním napětím. Podle článku [3], pracovní napětí slouží k zjišťování jmenovité kapacity, ale doporučené provozní napětí je rozsah, kdy článek dosahuje daleko větší životnosti. Pokud máme článek s pracovním napětím 2,5–4,2 V, pak v tomto režimu je schopen poskytnout přibližně 500 nabíjecích cyklů. Pokud je vybíjení ukončeno již při 3,0 V, pak jeho životnost dosahuje 1500 nabíjecích cyklů. Z výše uvedeného vyplývá, že většina současných BMS provozní napětí nebere v úvahu a vychází z předem definovaných hodnot pracovního napětí (rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou napětí daného typu článku), čímž nelze prodloužit dobu jeho životnosti.

### 2.2.4 Zátěž

Základní úlohou zátěže je konvertovat elektrickou energii získanou z akumulátoru na jinou formu energie, jako je například teplo, mechanická práce atd. Z obr. 2.1 lze zátěž rozdělit na následující části, tvořené:

- systemovými částmi BMS  
Spotřeba elektrické energie těchto částí musí být minimální v porovnání s uživatelskou zátěží napájenou z příslušného akumulátoru.
- napájeným zařízením  
Jako napájené zařízení si lze představit jakoukoliv zátěž, jejíž funkce závisí na stavu akumulátoru, například elektromotor.

### 2.2.5 Komunikační rozhraní

Základní úlohou komunikačního rozhraní BMS je přenášet řídicí a monitorovací signály z jedné části BMS do druhé a informovat uživatele o aktuálním stavu BMS, jak je vidět na obr.

2.1. Mezi základní komunikační rozhraní patří:

- LCD
- LED diody
- Zvuková signalizace

## 3 Definice zadání, analýza dostupných řešení a návrh blokového schématu

Řešení, jak navrhnout a implementovat systém managementu baterie pro elektrokola, je několik. Proto je nutné si definovat, čeho má být výsledný systém schopný a pro koho je určený. Tato kapitola se věnuje konkrétní definici problému, rozboru současně dostupných zařízení na trhu, samotnému výběru technologií a jeho zdůvodnění. Předtím, než začneme se samostatným návrhem BMS, je potřeba provést následující přípravu:

- Definovat požadované funkce navrhovaného BMS
- Analyzovat současně dostupná řešení na trhu
- Navrhnout koncepci řešení a blokové schéma

### 3.1 Definice zadání

Výsledné zařízení musí splňovat určité požadavky a zajistit bezpečný provoz akumulátoru. V první řadě je potřeba, aby zařízení bylo aplikovatelné na různé typy a počty článků v baterii s možností volby pracovních oblastí, daných typem akumulátorového článku. Musí být doplněno o funkci balancování, čímž bude udržována stejná hodnota napětí více sériově zapojených článků. Dále je potřeba implementovat řídicí funkce, které budou podle aktuálního stavu článku ovládat NZ a zátěž napájenou z akumulátoru. Z hlediska NZ musí dojít k přerušení nabíjecího procesu v okamžiku dosažení maximálního napětí článku a při dosažení minimálního napětí článku musí být zátěž odpojována od akumulátoru. V neposlední řadě je potřeba zajistit bezdrátovou komunikaci pro přenos dat mezi uživatelem a samotným zařízením. Díky tomu je možné zařízení ovládat na dálku, případně zjistit jeho aktuální stav.

Na závěr bude navržena Android aplikace, která bude v první řadě určena jen uživatelům znalých této problematiky. Nejprve je nutné navržený systém důkladně otestovat a teprve poté lze uvažovat o možných úpravách tak, aby BMS mohl používat i běžný uživatel. Aplikace bude doplněna o konfigurační registr, který umožní nastavit BMS podle potřeb. Na základě toho bude moci uživatel systém testovat na různých typech zařízení (elektrokolech apod.). Mezi nejdůležitější nastavení patří maximální a minimální hodnota napětí článku, která charakterizuje jeho pracovní oblasti. Do budoucna by měli mít přístup do konfiguračního registru jen uživatelé, kteří prokáží znalost dané problematiky. Na základě toho získají heslo, které jim povolí přístup do registru. Tím bude zamezena možnost špatného nastavení BMS.

### 3.2 Dostupná řešení

Na trhu je v současné době několik dostupných řešení. Tato část je věnována třem z nich, přičemž ke každému je uvedena základní charakteristika, cena a základní výhody a nevýhody. Dále je zde uvedeno, nakolik dané zařízení splňuje námi definované požadavky na BMS. První dvě řešení byla vybrána z internetového obchodu. Samozřejmě na trhu existuje více dostupných řešení, ale tyto zvolené BMS nejlépe odpovídají aplikačním požadavkům této práce. Jako třetí byla vybrána jednotka MiRy BMS-F, vyrobená studentem ČVUT fakulty Elektrotechnické, která měla sloužit pro správu a řízení akumulátorových článků školní formule (FSE).



### 3.2.1 BMS123

BMS123 nabízí kompletní řešení řízení a monitorování lithiových článků a akumulátorů. Jedná se o modulární systém využívající komplexní a univerzální řešení aplikovatelné na různé typy lithiových článků jako jsou LiFePO<sub>4</sub>/LiFeYPO<sub>4</sub>. To znamená, že každý článek musí být doplněn o malý měřicí obvod, který je poté propojen s řídicí jednotkou. Velkou výhodou BMS123 je možnost ukládání důležitých údajů (počet článků, napětí článků, teplota článků, celkové napětí akumulátoru), za účelem kontroly správného provozu akumulátoru. Velkou nevýhodou tohoto zařízení je však cena, která je 424 \$ (cca 10 500 CZK). Tato cena navíc není konečná, neboť v ní není zahrnut měřicí obvod, který je podle počtu článků nutno dokoupit. Cena jednoho měřicího obvodu je 16 \$ (cca 400 CZK). Jelikož se v této práci zabýváme návrhem BMS pro elektrokola, kde se ve většině případů používá akumulátorů o vyšším napětí (více sériově zapojených článků), mohla by se výsledná cena vyšplhat až na 15 000 CZK. Dále zařízení neobsahuje vhodné funkce pro užívání v elektrokolech a při větším počtu v sérii zapojených článků by tento systém nabýval značných rozměrů. Z toho důvodu tento BMS nespĺňuje kritérium pro užívání v elektrokolech.

### 3.2.2 BMS2405

Jeden z nejnovějších výrobků německé firmy Emsiso, která se zabývá vývojem BMS. BMS2405 je určená pro měření 6 až 24 lithiových článků. Součástí je 30A relé, sloužící k rozpínání nabíjecího obvodu a 0,5A balancovací obvod, implementovaný pro každý článek. Výhodou BMS2405 je výpočet SoC, integrovaný displej, proudová ochrana a dva teplotní senzory. Nevýhodou tohoto zařízení je též cena, která je sice o něco málo nižší (400 \$, cca 10 000 CZK), ale i přesto pro běžného uživatele značně vysoká. Další nevýhodou je omezená funkčnost monitorovacího softwaru, který lze použít pouze na PC. Z toho důvodu nelze využít monitorovacích funkcí během jízdy na elektrokole. I proto BMS2405 nespĺňuje kritéria zadání práce.

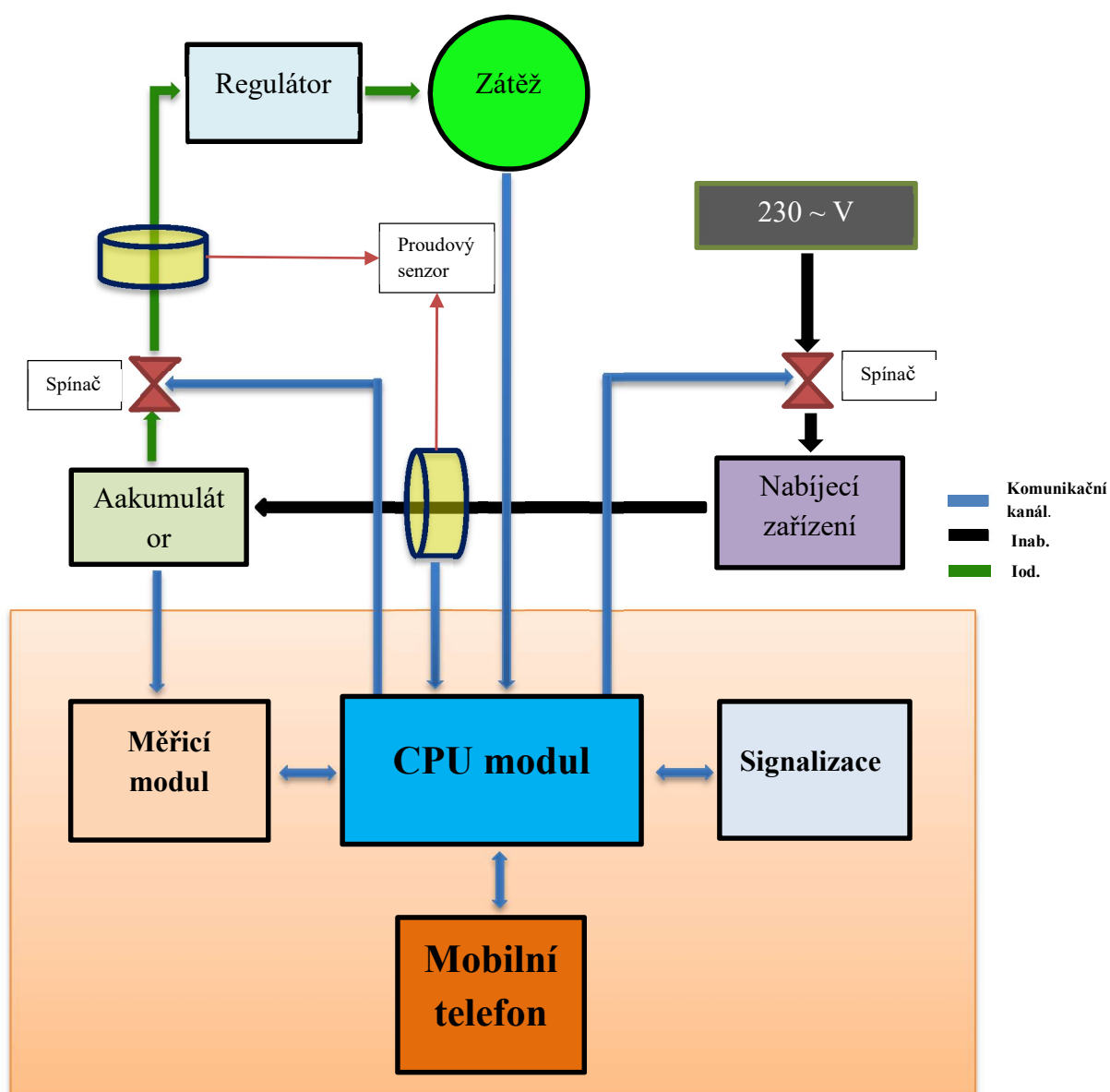
### 3.3.3 MiRy BMS-F

Tento BMS [13] byl navrhnout studentem fakulty elektrotechnické v Praze. Jedná se o modulární systém, který lze podle počtu článků rozšiřovat o tzv. BMS moduly. Maximálně je možné připojit 32 takovýchto modulů. Základ modulu tvoří IO BQ76PL536, který měří v rozsahu od 3 do 6 článků. Celkem lze měřit až 192 sériově zapojených článků. Dále tento BMS obsahuje následující funkce: balancování, měření teploty článku, proudový senzor, čítač náboje a precharge. Nevýhodou tohoto zařízení je nízký počet měřených článků na jeden BMS modul. V současné době jsou na trhu novější IO, které měří až 14 v sérii zapojených článků, čímž je minimalizována cena i rozměry BMS. Dále BMS neobsahuje bezdrátové komunikační rozhraní, čímž též není splněno zadání práce.

### 3.4 Návrh blokového schématu

Při návrhu BMS je nutné nejprve navrhnout koncepci řešení a blokové schéma. Po prostudování současných variant byly vypsány potřebné funkce, na jejichž podobném principu bude navrhovaný BMS pracovat, plus bude doplněn o potřebné funkce, aby bylo splněno zadání práce.

Na obr. 3.1 je zobrazeno blokové schéma BMS, které se skládá celkem ze 4 bloků, zobrazených v oranžovém rámečku. Jsou to: Měřicí modul, CPU modul, mobilní telefon a signalizace. Dále jsou zde zobrazeny systémové části elektrokola, jako například regulátor, zátěž ve formě elektromotoru, nabíjecí zařízení a akumulátor. Tyto části “komunikují” s CPU modulem pomocí komunikačního kanálu.



Obr. 3.1: Blokové schéma BMS.

### 3.4.1 Popis bloků

#### Měřicí modul

Měřicí modul, který je doplněn o pasivní balancování, slouží k měření požadovaných hodnot jednotlivých článků. Dokáže měřit napětí, teplotu a spotřebu. Moduly využívají dvě komunikační rozhraní a to isoSPI a SPI. První MM komunikuje s CPU modulem pomocí SPI. Ostatní moduly už komunikují pomocí isoSPI a to proto, aby bylo zajištěno galvanické oddělení jednotlivých MM a zajištěna ochrana proti vysokofrekvenčnímu rušení. Jeden modul měří 3 až 12 článků (záleží na typu článku).

#### CPU modul

CPU modul je hlavní řídicí jednotka BMS. Zprostředkovává komunikaci s ostatními moduly a jinými systémovými částmi elektrokola – shromažďuje a posílá z nich data, případně řídicí příkazy. Tato jednotka obsahuje SD kartu pro ukládání důležitých hodnot akumulátoru. Dále je tento modul doplněn funkcemi vhodnými pro elektrokola, jako např. měření rychlosti, teploty motoru a vzdálenosti. Součástí je také proudový senzor, který slouží k měření odebíraného/dodávaného proudu.

#### Mobilní telefon

Mobilní telefon je pro uživatele jedna z nejdůležitějších částí BMS, která má dvě úlohy. První je zobrazit potřebná data pro zajištění kontroly správného provozu celého zařízení. Druhá úloha umožňuje nastavení předdefinovaných registrů, charakteristických pro daný typ zařízení. Tím mám na mysli počet článků, pracovní oblasti akumulátorového článku, začátek a konec balancování a mnoho dalších.

### 3.3.2 Parametry a vlastnosti navrhované BMS

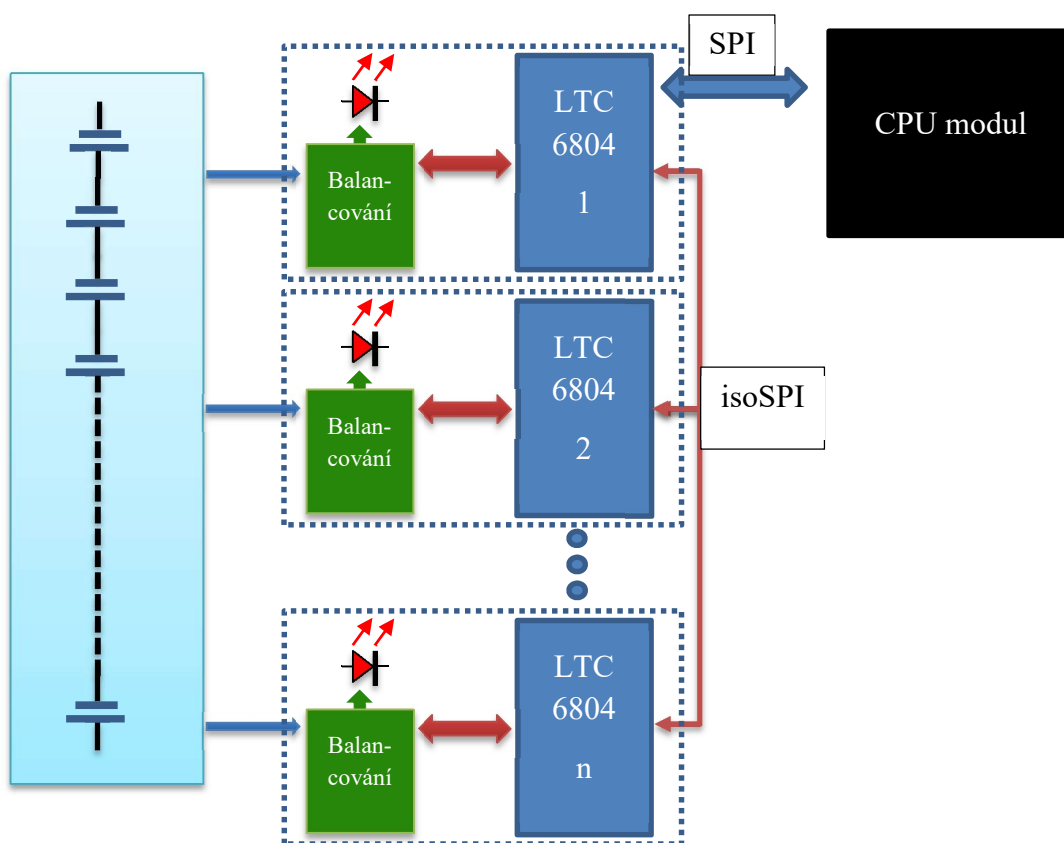
- Měří až 192 článků
- Lze zapojit až 80 teplotních senzorů (každý MM obsahuje 5 senzorů)
- Integrovaný  $\pm 200$  A proudový senzor
- Integrovaný Bluetooth modul (Android komunikace)
- 6 digitálních výstupů (možnost řízení relé až 0,5 A)
- Měření rychlosti motoru (Hallova sonda)
- UART/MODBUS rozhraní
- Škrticí klapka (ovládání PWM, výkonová redukce)
- 2 analogové a 2 digitální vstupy/výstupy
- Vstup pro ovládání nabíjecího zařízení
- Signalizační rozhraní

## 4 Návrh měřicího modulu

V této části bude stručně popsán návrh jednotlivých částí a vlastnosti měřicího modulu. Základ měřicího modulu tvoří IO LTC6804-1 od Linear Technology [5]. Výsledné schéma zapojení se nachází v příloze číslo 3. Kapitola vychází ze zdrojů [4] a [5].

### 4.1 Blokový návrh

Blokové schéma vychází z katalogového listu IO LTC6804-1, jak je zobrazeno na obr. 3.1. Měřicí modul (dále jen MM) musí být možno připojit k libovolnému počtu článků, které bude schopen balancovat a vyčítat potřebná data pro zajištění jejich správné funkce. Při odpojení napájení, popřípadě dosažení minimální hodnoty napětí akumulátoru udávané výrobcem, nesmí MM odebrat žádnou energii. Dále musí být navržena komunikace mezi měřicím modulem a CPU modulem, který bude zprostředkovávat komunikaci s uživatelem.



Obr. 4.1: Blokové schéma měřicího modulu.

### 4.2 LTC6804-1 - popis

LTC 6804-1 je IO, který měří až 12 v sérii zapojených článků s celkovou chybou měření napětí nižší než 1,2 mV na článek. Měřicí rozsah je 0 až 5 V, díky tomu je LTC 6804 vhodný pro většinu typů současných akumulátorových článků. Struktura dovoluje měřit s až 16bitovým rozlišením a přesností lepší než 0,04 %.

K optimalizaci četnosti aktualizací a rozlišení slouží celkem šest provozních režimů. V nejrychlejším z nich lze provádět měření veškerých článků do 290  $\mu$ s. Využijeme-li chráněného 2drátového isoSPI, dokážeme propojit více obvodů LTC6804, které tak mohou souběžně pracovat i na větší vzdálenosti. Rozhraní isoSPI, které je součástí každého IO LTC6804, zaručuje vysokou odolnost vůči vnějšímu rušení.

#### Souhrn technických parametrů LTC 6804-1:

- Měří až 12 článků
- Maximální chyba měření na článek je 1,2 mV
- 290  $\mu$ s k změření všech článků v systému (v nejrychlejším režimu)
- 16 bitový A/D převodník
- Pasivní balancování s programovatelným časovačem
- Spotřeba 4  $\mu$ A v režimu spánku
- Teplotní senzory
- Komunikační rozhraní: SPI a isoSPI
- 48 pinové SSOP pouzdro

### 4.3 Komunikační rozhraní

LTC 6804-1 podporuje 2 typy komunikačního rozhraní a to standardní 4-vodičové sériové rozhraní (SPI) a 2-vodičové izolované rozhraní (isoSPI).

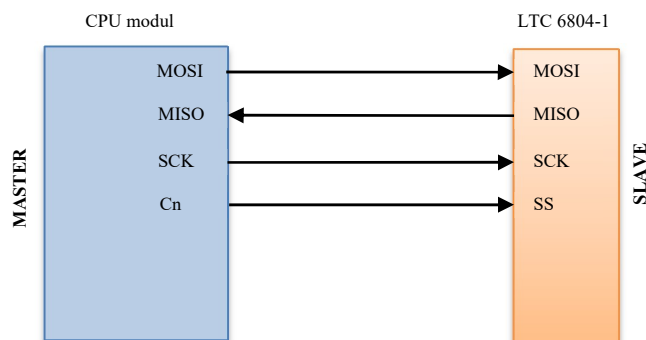
#### 4.3.1 Komunikace mezi CPU modulem a měřicím modulem

Pro měřicí modul bylo vybráno standardní 4-vodičové sériové rozhraní (SPI). Důvodem je zachování nízké ceny výrobku, jelikož isoSPI rozhraní je použito pouze v obvodech firmy LTC a obvod by musel být doplněn o IO LTC6020, který by převáděl signál z isoSPI na SPI. Rozhraní SPI podporuje v dnešní době většina mikrokontrolérů a proto bylo vybráno právě toto komunikační rozhraní. Při použití SPI je jeden z obvodů, v našem případě CPU modul, typu Master a druhý z obvodů (Měřicí modul) typu Slave, jak je zobrazeno na obr. 4.2. Jednotlivé obvody jsou spojeny čtyřmi vodiči:

- Datový výstup MOSI (Master Out, Slave In) CPU modulu je připojen na vstup MOSI integrovaného obvodu LTC 6804-1.
- Datový vstup MISO (Master In, Slave Out) CPU modulu je propojen s výstupem MISO integrovaného obvodu LTC 6804-1.
- Výstup hodinového signálu SCK je připojen na vstup SCK LTC 6804-1
- Každý obvod Slave má vstup SS (Slave Select) pro výběr obvodu. Je-li SS v neaktivní úrovni, je rozhraní SPI daného obvodu neaktivní a jeho výstup MISO je ve stavu vysoké

## KAPITOLA 4. NÁVRH MĚŘÍCIHO MODULU

impedance. Vstupy SS jednotlivých obvodů jsou samostatnými vodiči propojeny s obvodem Master.



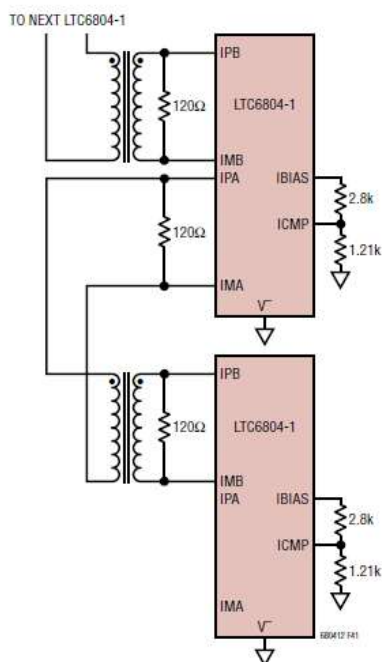
Obr. 4.2: Celková koncepce systému se sběrnici SPI.

Schéma zapojení SPI rozhraní je zobrazeno na obr. 4.4. Piny CSB až SDO jsou konfigurovatelné buď jako 2-drátový, nebo jako 4-drátový sériový port. Pro MM bylo použito 4-drátové sériové rozhraní (SPI), které závisí na nastavení pinu ISOMD. Připojením pinu ISOMD k V- nakonfigurujeme port A pro 4-drátovou SPI. SDO pin je výstup typu otevřený kolektor, který podle katalogového listu IO vyžaduje pull-up rezistor zapojený k napájecímu napětí.

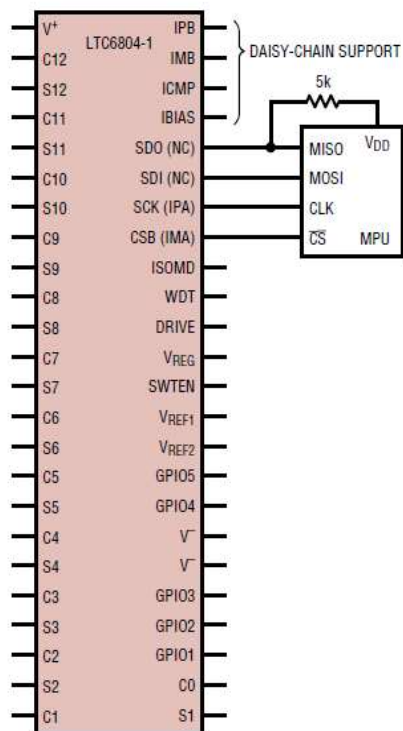
### 4.4.2 Komunikace mezi měřicími moduly

Ke komunikaci mezi IO LTC6804 bylo vybráno komunikační rozhraní isoSPI. Jedním z hlavních důvodů bylo galvanické oddělení jednotlivých MM a vysoká odolnost vůči vnějšímu rušení. IsoSPI poskytuje způsob, jak propojit zařízení využívající “kroucená” vedení. Rozhraní je navrženo pro nízkou míru chybovosti i v případě, kdy je obvod vystaven vnějšímu rušení. Izolace je dosaženo pomocí externího transformátoru. LTC6804-1 zařízení mohou komunikovat prostřednictvím přenosu diferenciálních impulzů “tam a zpět” přes izolační bariéru. Na výstupu vysílače jsou tři úrovně napětí: +V, 0, -V.

Hostitelský MIK nemusí podporovat isoSPI, aby mohl komunikovat s dalším MM, který je spojen s prvním MM pomocí isoSPI, obr. 4.3. SPI signály hostitelského MIK jsou zakódovány do diferenciálních pulzů pomocí prvního LTC6804-1, který je nastaven pomocí portu A na SPI rozhraní a komunikace s druhým LTC6804-1 už probíhá po isoSPI rozhraní, které lze nastavit na portu B. Blokové schéma zapojení je zobrazeno na obr. 4.4. Takto lze zapojit až 16 MM, což umožňuje měřit až 192 článků.



Obr. 4.3: Zapojení isoSPI (převzato ze zdroje [5]).



Obr. 4.4: Zapojení SPI (převzato ze zdroje [5]).

## 4.4 Návrh balancování

Existují dva typy balancování a to:

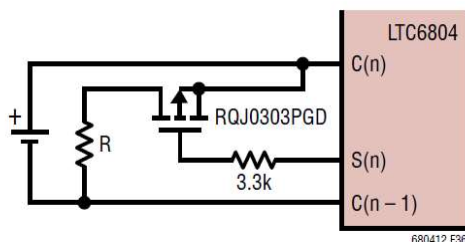
- Aktivní (bezeztrátové)
- Pasivní (ztrátové)

Pro naše zařízení bylo vybráno balancování pasivní a to z důvodu zachování jednoduchosti a ceny BMS. Pasivní balancování lze jednoduše realizovat spínačem a vhodným typem odporu, který přemění přebytečnou energii akumulátoru na teplo. Oproti tomu je aktivní balancování složitější. U tohoto typu balancování by bylo potřeba navrhnout systém, který by pracoval s přebytečnou energií a ukládal ji např. do jiného typu akumulátoru tak, aby bylo možné tuto energii znovu využít. Mezi největší problémy, které by při návrhu tohoto systému nastaly, je konfigurovatelnost MM. Konfigurovatelnost znamená, že lze MM využít pro různý počet akumulátorových článků (3 až 12). Z tohoto hlediska by musel být obvod aktivního balancování dimenzován na různé hladiny napětí, což by návrh nejen zkomplikovalo, ale i prodražilo. Druhý problém je, že celý koncept BMS je navržen na minimální spotřebu energie, takže je nepřipustné odebírat v průběhu balancování velké množství energie. Z toho důvodu by se aktivním balancováním získalo velice málo energie.

Z ekonomických aspektů je aktivní balancování vhodné spíše pro aplikace využívající velké bateriové packy, jako jsou elektromobily a powerwally, kde se výkony pohybují v řádech kWh. Ztráty by v tomto případě za použití pasivního balancování byly již znatelné. Naproti tomu aplikace jako elektrokola, notebooky a další přenosné zařízení, kde se výkony pohybují v rozmezí jednotek, až desítek Wh se vyplatí spíše balancování pasivní. To je z důvodu zachování nízkých rozměrů a ceny výrobku.

**Návrh pasivního balancování**

Při návrhu byl nejprve vybrán vhodný typ tranzistoru, který bude řízen IO LTC 6804-1 a bude ovládat celý průběh balancování. Z katalogového listu LTC 6804-1 je na výběr interní MOSFET typu N, nebo externí PMOS tranzistor. Zde byl vybrán externí PMOS typu BSS84P, jehož zapojení je zobrazeno na obr. 4.5. Pro řízení externího PMOS tranzistoru slouží digitální výstupy S. Obvod bude navržen pro napětí 4,2 V a to proto, že dnešní elektrokola využívají jako zdroj energie především Li-ion akumulátory. Z maximálního možného napětí akumulátorového článku bude v následující kapitole [4.4.1] vypočítán vybíjecí odpor.



Obr. 4.5: Externí vybíjecí obvod (převzaté ze zdroje [5]).

#### 4.4.1 Výpočet vybíjecího odporu

Aplikací Ohmova zákona (4.4) bude vypočítána velikost vybíjecího rezistoru. Pro výpočet bude nejprve nutné zvolit vhodnou velikost balancovacího proudu. Při výpočtu budeme vycházet z maximálního napětí současných Li-ion akumulátorových článků, které se pohybuje okolo 4,2 V a ze zvolené hodnoty vybíjecího proudu 100 mA. Hodnota vybíjecího proudu, vzhledem k použití u elektrokol, kde dochází k opakovanému nabíjení a vybíjení v delších časových intervalech, bude dostačující, jelikož BMS bude mít dostatek času vybalancovat napětí na jednotlivých člancích. Pro použití MM do aplikací, jako např. elektrobusey atp., kde dochází k vybíjení a nabíjení v krátkých časových intervalech, by bylo nutné navrhnout balancovací obvod pro vyšší vybíjecí proudy a to až do jednotek ampér. V této práci se však touto možností zabývat nebudeme.

$$U = R * I \quad (4.0)$$

Výsledný odpor vybíjecího rezistoru nám po dosazení do (4.5) vyšel:

$$R_{vyb} = \frac{U}{I_{vyb}} = \frac{4,2}{0,1} = 42 \Omega \quad (4.1)$$

Nyní je potřeba vypočítat maximální ztrátový výkon a podle toho vybrat vhodný typ rezistoru.

$$P_z = R * i^2 = 42 * 0,1^2 = 0,42 W \quad (4.2)$$

Při výběru rezistoru je lepší systém nadimenzovat a vybírat tak z vyšších hodnot ztrátového výkonu, aby nedošlo k případnému poškození rezistoru.



### 4.4.2 Světelná signalizace balancování

K indikaci vybíjecího proudu byla navržena světelná signalizace. Důvodem je informovat uživatele o stavu balancování a případně upozornit na špatné nastavení MM, které bude popsáno v kapitole [6]. Schéma zapojení je na obr. 4.6. Při výpočtu předřadného odporu R1 budeme vycházet z katalogového listu, kde jsou uváděny pracovní oblasti charakteristické pro daný typ LED diody.

#### Obecný tvar rovnice pro výpočet

Na předřadném odporu R1 vzniká procházejícím proudem úbytek napětí. Tento úbytek se musí rovnat následující rovnici (4.3), kde  $U_r = R1 \cdot I_{led}$ :

$$U_{baterie} = U_r + U_{led} \quad (4.3)$$

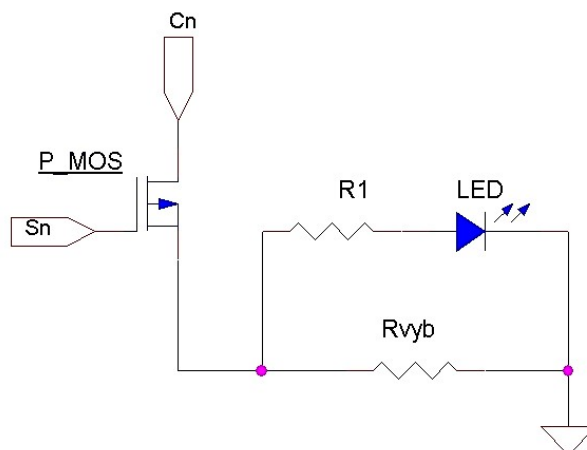
Po úpravě (4.3) dostaneme vzorec pro výpočet předřadného odporu:

$$R1 = \frac{U_{baterie} - U_{le}}{I_{led}} \quad (4.4)$$

Za  $U_{baterie}$  dosadíme maximální možnou hodnotu napětí článku. Je to z důvodu zamezení překročení hodnot napětí a proudu, které by mohly LED diodu trvale poškodit. Dále z katalogu červené LED diody vyčteme, že ideální proud procházející touto LED je 25 mA a napětí na přechodu 1,9 V. Po dosazení do vztahu (4.4) dostaneme výslednou hodnotu odporu:

$$R1 = \frac{4,2 - 1,9}{0,025} = 92 \Omega \quad (4.5)$$

Výsledné zapojení je určeno pro akumulátorové články (Li-ion) s vyšším nominálním napětím, které se pohybuje okolo 3,6 V. U článku s nižším napětím by musela být vypočítána nová hodnota odporu R1. Jelikož se v současné době instalují do elektrokol převážně Li-ion články, byla ponechána hodnota odporu 92  $\Omega$ . Nutné podotknout, že se změní výsledná hodnota vybíjecího proudu, která se zvětší o 25 mA. Celkový vybíjecí proud bude 125 mA.

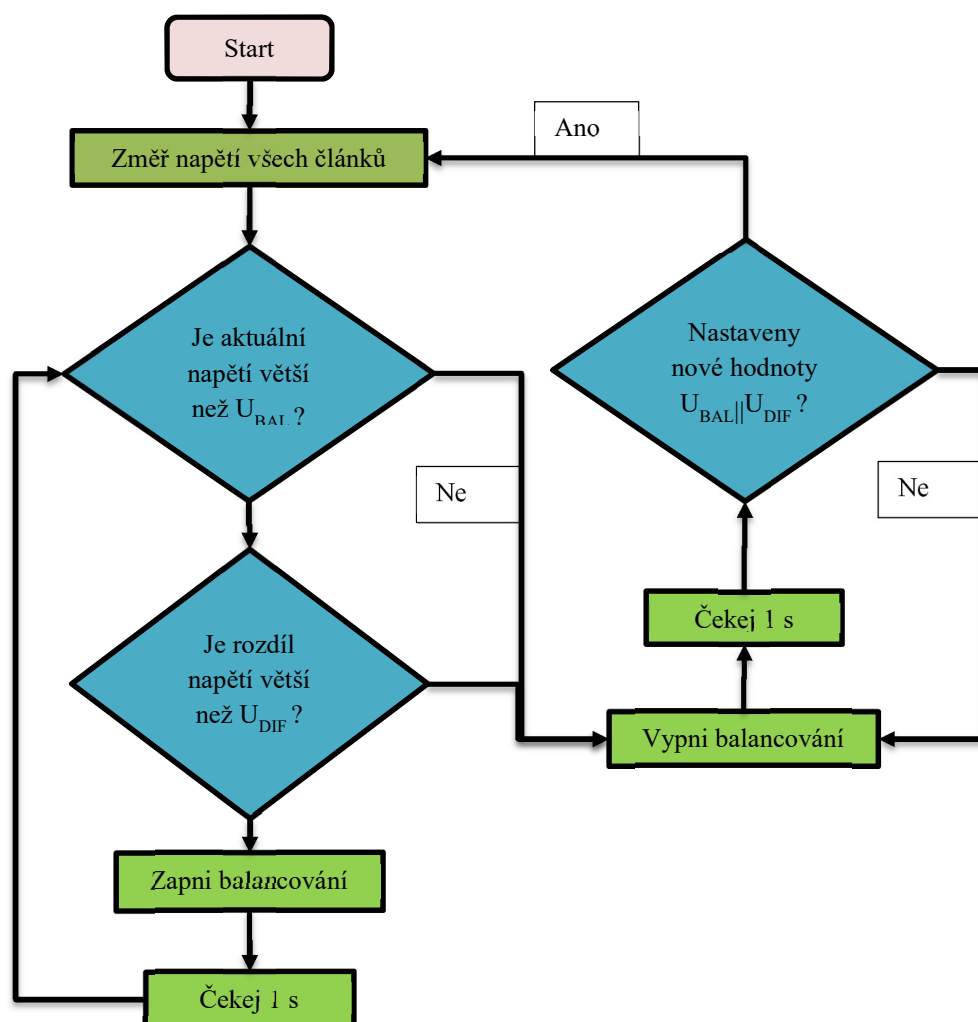


Obr. 4.6: Zapojení LED diody

### 4.4.3 Vývojový diagram balancování

Vývojový diagram průběhu balancování je na obr. 4.7. Akumulátor bude balancován, jakmile budou splněny dvě podmínky. První podmínka porovnává napětí článku se zvolenou hodnotou  $U_{BAL}$ , kterou si uživatel zvolí pomocí konfiguračního registru, více viz kapitola [6]. Tato hodnota slouží k zamezení balancování při nízké hodnotě napětí. Tím je zamezeno možné vybití akumulátoru balancovacím obvodem. Je-li napětí na akumulátoru větší než  $U_{BAL}$  → je splněna první podmínka.

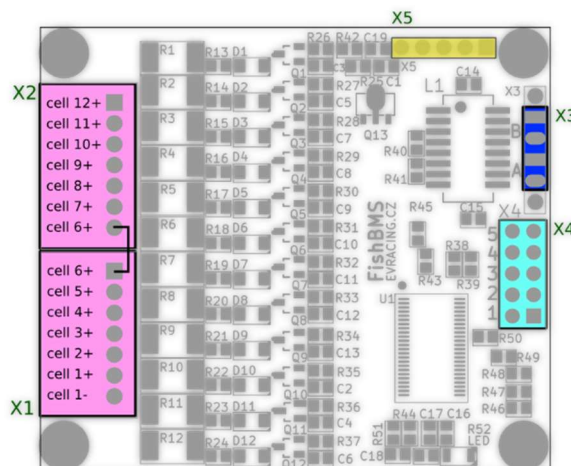
Druhá podmínka porovnává rozdíl napětí mezi články s hodnotou  $U_{DIF}$ , kterou si uživatel také nastaví v konfiguračním registru. V okamžiku, kdy je rozdíl mezi články větší než  $U_{DIF}$ , je splněna druhá podmínka a zahájí se balancování. Uvedu na příkladu: Máme-li dva články, jeden o napětí  $U_1 = 4120$  mV, druhý  $U_2 = 3800$  mV a  $U_{DIF} = 10$  mV → balancování bude probíhat dokud  $|U_1 - U_2| > U_{DIF}$ . Minimální možná hodnota  $U_{DIF}$  je nastavena na 10 mV, a to z důvodu možného kolísání napětí na jednotlivých článcích, kterým by docházelo k neustálému zapínání a vypínání balancování. Kolísání může být způsobeno stářím článku, rozdílem teplot, či napájením zátěže. Z toho důvodu je doporučena hodnota  $U_{DIF} = 10$  mV.



Obr. 4.7: Vývojový diagram balancování

## 4.5 Zapojení akumulátorových článků

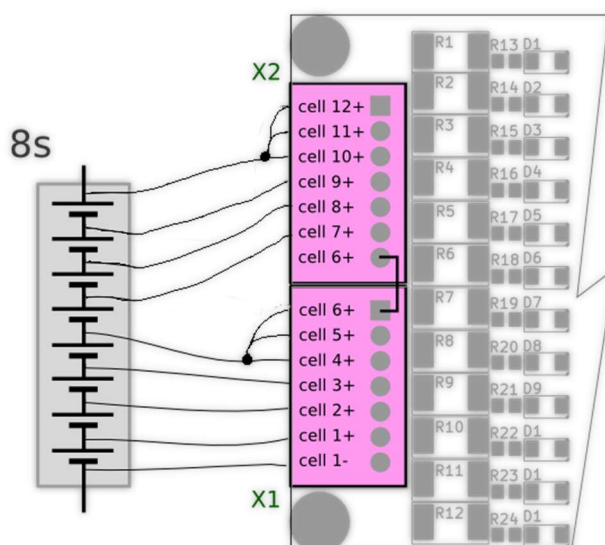
Základní zapojení 12 článků k MM je zobrazeno na obr. 4.8. 12 sledovaných článků je rozděleno do dvou skupin po šesti článcích, které jsou měřeny pomocí dvou interních multiplexorů a AD převodníků.



Obr. 4.8: Zapojení 12 článků

Při monitorování méně než dvanácti článků je nutné nejprve vypočítat nominální napětí ( $U_{nom}$ ) sériově zapojených článků. Dle katalogového listu musí být  $U_{nom}$  větší než 11V, aby byla zajištěna správná funkčnost IO LTC 6804-1.

Pro optimální synchronizaci měření v aplikaci s méně než dvanácti články musí být nevyužité piny  $C_n$  rovnoměrně rozděleny pro horní a dolní MUX. Je-li měřen lichý počet článků, horní MUX by měl mít připojen menší počet článků. Nepoužité kanály  $C_n$  by měly být vázány k dalším nepoužitým kanálům  $C_n$  na stejném MUX a spojeny k hornímu pinu (dolního a horního MUX), jak je zobrazeno na obr. 4.9, kde je pro zjednodušení vynechán balancovací obvod.



Obr. 4.9: Zapojení osmi článků

## 4.6 Ukázka programu

Následující ukázka programu vychází z použití dvou IO LTC6804-1. První, označme jako S1, který je konfigurován v SPI módu, nastaven pomocí pinu ISOMD, více viz kapitola [4.3-1], a druhý, S2, je konfigurován v isoSPI módu, více též v kapitole [4.3-2].

### Výpočet času sériového rozhraní

Počet modulů (počet LTC6804) =  $n$

Počet bajtů v sekvenci (B):

Příkaz: 2 (příkazový bajt) + 2 (příkaz PEC) = 4

Data: 6 (Datových bajtů) + 2 (Data PEC) = 8 bajtů pro 1 jednotku

$B = 4 + 8 \cdot n$

Frekvence sériového portu na 1 bit = F

Čas =  $(1/F) \cdot B \cdot 8$  bitů =  $(1/F) \cdot [4 + 8 \cdot n] \cdot 8$

Čas pro 2 LTC6804, s 1MHz sériovým portem =  $(1/1e6) \cdot (4 + 8 \cdot 2) \cdot 8 = 160 \mu\text{s}$

Poznámka: Tento čas bude stejný pro všechny zapisovací a čtecí registry.

### **Probuzení sériového rozhraní**

1. Odeslat fiktivní bajt. Aktivita na CSB a SCK probudí sériové rozhraní na S1.
2. Počkat určitý časový interval na probuzení všech jednotek S1 a S2, který lze vypočítat podle katalogového listu (Počet jednotek • Doba probuzení).
3. Odeslat příkaz.

### **Zápis konfiguračních registrů**

1. Signál na CSB v log.0.
2. Odeslat WRCFG příkaz (0x00 0x01) a PEC (0x3D 0x6E).
3. Odeslat CFGR0 bajt jednotky S2, poté CFGR1(S2), až CFGR5(S2), PEC CFGR0(S2) až CFGR5(S2).
4. Odeslat CFGR0 bajt jednotky S1, poté CFGR1(S1), až CFGR5(S1), PEC CFGR0(S1) až CFGR5(S1).
5. Signál na CSB v log.1. Data odeslána do všech jednotek.

### **Čtení napětí**

1. Signál na CSB v log.0.
2. Odeslat RDCVA příkaz (0x00 0x04) a PEC (0x07 0xC2)
3. Číst CVAR0 bajt jednotky S1, poté CVAR1(S1), až CVAR5(S1), PEC CVAR0(S1) až CVAR5(S1)
4. Číst CVAR0 bajt jednotky S2, poté CVAR1(S2), až CVAR5(S2), PEC CVAR0(S2) až CVAR5(S2)
5. Signál na CSB v log.1.

### **Start ADC převodu napětí jednotlivých článků**

(všechny články, normální mód se zakázaným balancováním)

1. Signál na CSB v log.0.
2. Odeslat ADCV příkaz s MD[1:0] = 10 a DCP = 1
3. Signál na CSB v log.1.

### **Čištění napěťových registrů**

1. Signál na CSB v log.0.
2. Odeslat CLRCELL příkaz (0x07 0x11) a PEC (0xC9 0xC0)
3. Signál na CSB v log.1.

## 5 Návrh CPU modulu

V této části bude stručně popsán návrh a funkce jednotlivých částí CPU modulu, který bude zprostředkovávat komunikaci mezi uživatelem a měřicím modulem.

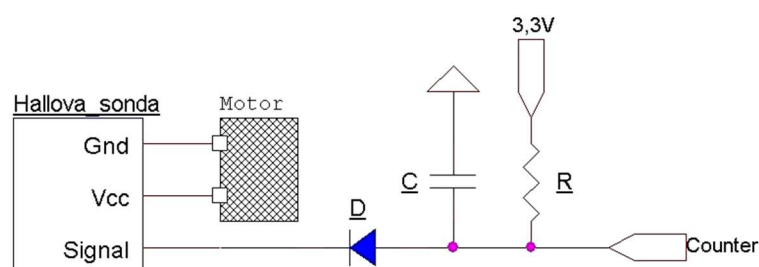
### 5.1 Mikrokontroler

Pro řízení CPU modulu je použit MIK PIC18F66K80. MIK je založen na Harvardské architektuře, tj. paměť pro data a program jsou navzájem oddělené. Tento MIK byl zvolen hlavně proto, že má dostatečný počet příslušných pinů s požadovanými funkcemi. Parametry MIK:

- provozní napětí: 1,8 - 5,5 V
- provozní teplota -40 °C až +85 °C
- frekvence jádra až 64 MHz
- 54 vstupů/výstupů
- UART sériové rozhraní
- SPI sériové rozhraní
- pět 8/16 bitový čítač/časovač s 8 bitovou programovatelnou předděličkou
- 12 bitový analogově digitální převodník ADC multiplexovaný do 11 kanálů
- čtyři CCP moduly
- integrovaný 3,3 V regulátor

### 5.2 Měření rychlosti

Měření rychlosti je realizováno pomocí Hallovy sondy, jelikož je nedílnou součástí většiny současných motorů pro elektrokola. Zapojení je zobrazeno na obr. 5.1. Hallův senzor je elektronická součástka, která měří intenzitu magnetického pole díky využití tzv. Hallova jevu.



Obr 5.1 Schéma zapojení pro měření rychlosti

Při otáčení rotoru se na výstupním pinu (signal) objeví napěťové impulsy, které jsou zaznamenány pomocí osciloskopu na obr. 5.2. Obvod pro měření tvoří filtrační kondenzátor, pull-up rezistor a dioda. V okamžiku kladného napěťového impulsu z Hallovy sondy, dioda nevede proud v závěrném směru, to znamená, že na výstupním pinu (counter) bude i nadále hodnota napájecího napětí pull-up rezistoru, která je 3,3V. Naopak při indikaci nulového signálu na Hallově sondě, dojde ke “stažení” napětí na pull-up rezistoru na nulu. Průběhy těchto signálů na pinu (Counter), jsou zaznamenávány jednotkou CCP5, která je součástí MIK. Výpočet rychlosti vychází ze vztahu (5.1).

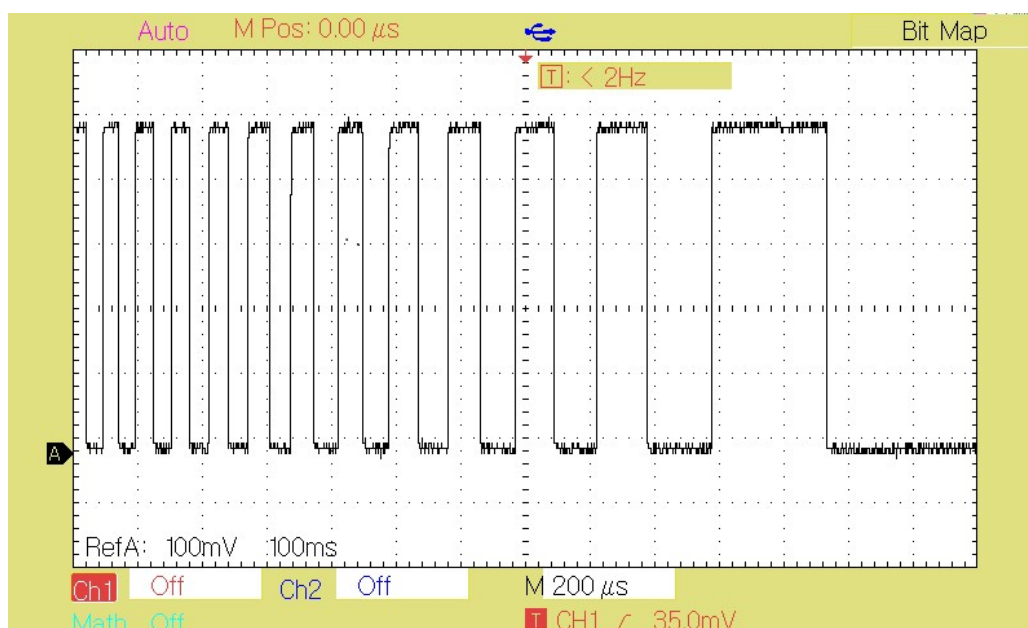
$$v = \frac{s}{t} \quad [\text{m/s}] \quad (5.1)$$

Pro výpočet dráhy (s), byla zvolena jednotka “CAPTURE unit”, kterou nastavíme, na generování přerušovací rutiny s každou sestupnou hranou příchozího signálu, pomocí registru CCP5CON. Nyní vyjádříme vztah pro výpočet dráhy při každé obsluze přerušování:

$$s = \frac{\text{obvod kola}}{Pp} \quad [\text{mm}] \quad (5.2)$$

Výsledná hodnota dráhy je udávána v milimetrech, z důvodu větší přesnosti výpočtu. Pro dostatečné rozlišení bude MIK vyhodnocovat rychlost pro  $t > 100 \text{ ms}$ , aby při nízkých rychlostech nedocházelo k chybným výpočtům. Přejde-li  $v < 100 \text{ ms}$  více jak jeden napěťový impuls, je rovnice (5.1) upravena do tvaru 5.3. Proměnná (počet pulsů) inkrementuje při každé sestupné hraně,  $v < 100 \text{ ms}$ . V okamžiku vykonání výpočtu je proměnná nastavena na 0 a celý cyklus se může opakovat.

$$v = \frac{s \cdot \text{počet pulsů}}{t} \quad [\text{m/s}] \quad (5.3)$$



Obr. 5.2: Snímek z osciloskopu – průběh napěťových signálů na Hallově sondě

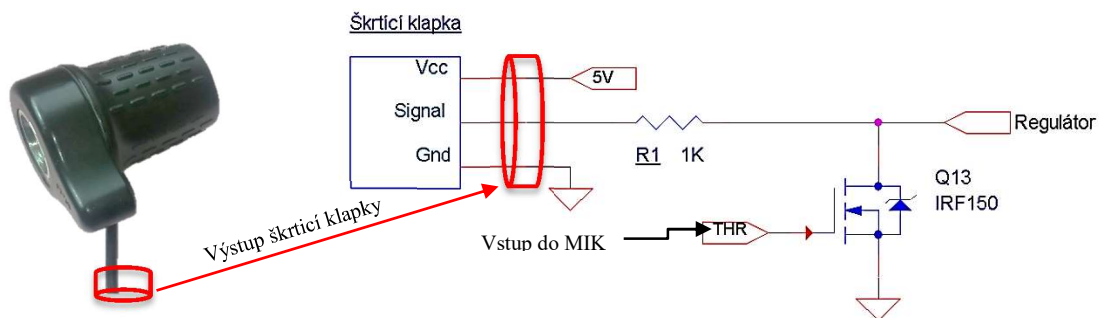
### 5.3 PWM regulace výkonu

Jedná se o regulaci omezující výkon elektrokola pomocí škrticí klapky, neboť ta je nedílnou součástí většiny dnešních elektrokol. Schéma zapojení je zobrazeno na obr. 5.4. Funkce škrticí klapky u elektrokola spočívá ve změně hodnoty odporového děliče. Nejčastěji se používají lineární potenciometry, u nichž má odporová dráha po celé délce lineární přírůstek odporu. Škrticí klapka mívá vyveden jeden pin, zpravidla bývá označován jako “signal”, který udává hodnotu požadovaného výkonu pro příslušný regulátor ve formě napětí. Z těchto znalostí byla navržena výkonová regulace elektrokola. Pro řízení byl zvolen tranzistor 2N7002 a  $1 \text{ k}\Omega$  odpor, které jsou zapojeny na pin signal. Celý obvod funguje na principu napěťového děliče. V okamžiku požadavku maximálního výkonu je T1 uzavřen, to znamená na T1 bude napětí dáno výstupem ze

škrticí klapky a výkon nebude omezen. Je-li naopak požadován nulový výkon přenášený z akumulátoru do motoru, je T1 plně otevřen. Téměř celé napájecí napětí bude v tomto okamžiku na odporu R1 a regulátor bude číst nulové napětí (spojen se zemí), čímž “odpojíme” akumulátor od zátěže. Zamezíme tak možnému vybití akumulátoru. Vývod (THR) T1 je řízen PWM funkcí implementovanou v MIK. Z tohoto hlediska bylo potřeba zjistit, zda regulátor na vstupu obsahuje blokovací kondenzátor, který by integroval vstupní napěťové impulsy způsobené PWM. Z katalogových listů regulátorů určených pro elektrokola byl zjištěn obsah kondenzátoru na vstupu od škrticí klapky. Z tohoto důvodu nemusel být navrhovaný obvod doplněn o tento kondenzátor. Funkce PWM funguje na principu změny šířky výstupního signálu tzv. (duty cycle). Do režimu PWM je nastavena jednotka CCP2. Pro úspěšné nastavení je třeba provést následující kroky:

1. Nastavit hodnotu periody zápisem hodnoty do registru PR2.
2. Nastavit vývod CCP2 jako výstupní v registru TRIS
3. Nastavit předděličku zápisem do T2CON
4. Nakonfigurovat jednotku CCP2 do režimu PWM

Je-li provedeno správné nastavení, lze střihu měnit zapisováním hodnot do registru CCPR2L v intervalu  $\langle 0,255 \rangle$ , kde hodnota 255 znamená plné otevření T1 a hodnota 0 plné zavření. Toto výkonové omezení lze ovládat pomocí mobilního telefonu, kde uživatel bude přímo zapisovat hodnoty do registru CCPR2L.

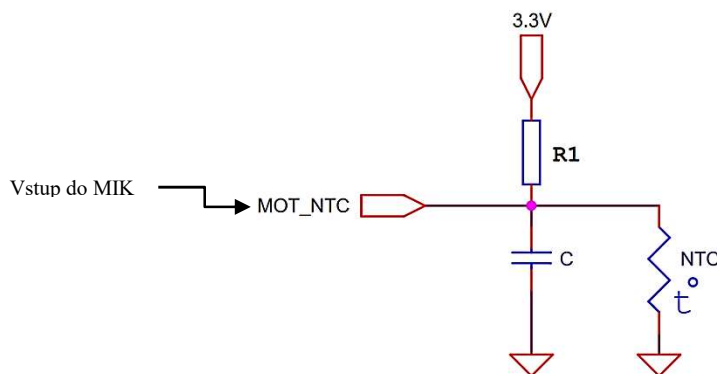


Obr. 5.3: Škrticí klapka.

Obr. 5.4: Schéma zapojení škrticí klapky pro regulaci výkonu.

## 5.4 Měření teploty motoru

Teplotu motoru je zapotřebí měřit z toho důvodu, aby nedošlo k nadměrnému přetížení a tím i k možnému poškození motoru. Měření teploty je realizováno pomocí NTC termistoru, které mají udávanou přesnost měření s odchylkou  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . V následujících odstavcích bude navrženo zapojení obvodu pro výpočet teploty motoru s použitím MIK. Schéma zapojení je na obr. 5.5. NTC termistor má definovaný průběh závislosti odporu na teplotě pomocí Stein-Hartovy rovnice (5.4).



Obr. 5.5: Schéma měření teploty.

Pro výpočet teploty je zvolen NTC termistor o velikosti  $R_{25}$  10 k $\Omega$  při nominální teplotě  $25^\circ\text{C}$  a rezistor R1 o téže velikosti. Ve většině případů výrobci udávají koeficienty potřebné pro výpočet teploty. Stein-Hartova rovnice [6], ve které vystupuje teplota  $T$ , odpor  $R$  a konstanty „a“, „b“ a „c“ pro daný typ termistoru, které jsou určovány při předepsaných teplotách. Rovnici lze vyjádřit pro přímý výpočet teploty při známém odporu (5.4).

$$\frac{1}{T} = a + b * \ln(R_{ntc}) + c * [\ln(R_{ntc})]^3 \quad (5.4)$$

Pro vyjádření teploty ve  $[\text{C}]$  lze rovnici upravit na vztah:

$$\Theta = \frac{1}{(a+b*\ln(R_{ntc})+c*[\ln(R_{ntc})]^3)} - 273.15 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (5.5)$$

Velikost  $R_{ntc}$  na obrázku 5.4, lze vypočítat aplikací Ohmova zákona:

$$U = R * I \text{ [V]} \quad (5.6)$$

Po několika úpravách lze napsat vztah (5.6) do tvaru:

$$R_{ntc} = \frac{U_{ntc} * R1}{U_{ref} - U_{ntc}} \text{ [\Omega]} \quad (5.7)$$

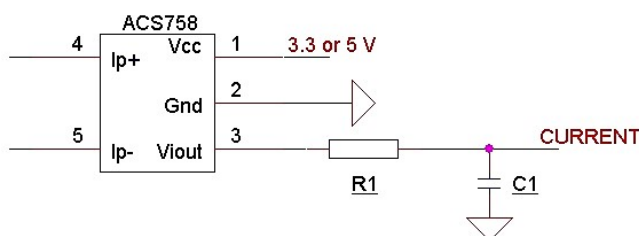
Neznámou hodnotu (napětí)  $U_{ntc}$  na NTC rezistoru získáme pomocí MIK, s implementovaným 12-ti bitovým A/D převodníkem, který je spojen s pinem (MOT\_NTC). Nyní vzorec pro odpor (5.7) dosadíme do vztahu (5.4) a získáme základní vztah, který musí být upraven do co nejjednodušší podoby, aby při výpočtu teploty nedocházelo ke zpomalování MIK. Následující zjednodušení je provedeno podle knihy [7], článku [5.5.2], kde použijeme upravený vzorec (5-17), do kterého za odpor  $R_{ntc}$  dosadíme vzorec (5.6). Výsledný vzorec přepíšeme do MIK. Nutné je správně přetypovat použité proměnné, aby nedocházelo ke ztrátě přesnosti výpočtu.



$$\Theta = \frac{1}{\frac{1}{\beta} * \ln\left(\frac{R_{nTC}}{R_{25}}\right) + \frac{1}{T_{25}}} - 273.15 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (5.8)$$

## 5.5 Proudová sonda

Proudová sonda slouží k měření elektrického proudu odebíraného z akumulátoru. Pro měření byla vybrána sonda ACS758, zobrazená na obr. 5.7. Jedná se o Hallův senzor proudu, který je integrován v SMD pouzdře, s maximální měřitelnou hodnotou proudu  $\pm 200$  A. Hodnota proudu je reprezentována na výstupním pinu příslušnou hodnotou napětí, které je dáno vztahem  $\left(\frac{V_{cc}}{2} + I * \text{citlivost}\right)$ . Vybraná sonda je charakterizována citlivostí  $10 \frac{mV}{A}$ . Pro měření a vyhodnocování hodnoty vycházíme ze schématu zapojení na obr. 5.6. Obvod je doplněn o  $330 \Omega$  odpor R1 sloužící pro omezení proudu a  $100 \text{ nF}$  filtrační kondenzátor C1 sloužící k potlačení případně vzniklých vysokofrekvenčních složek šumu a rušení v obvodu. Hodnotu napěťového signálu  $V_{iout}$  zpracovává 12 bitový A/D převodník s dostatečným rozlišením, které je při napájení  $3,3 \text{ V}$   $3,2 \text{ mV}$  na bit.



Obr. 5.6: Schéma zapojení proudového senzoru.



Obr. 5.7: Proudová sonda ACS758.

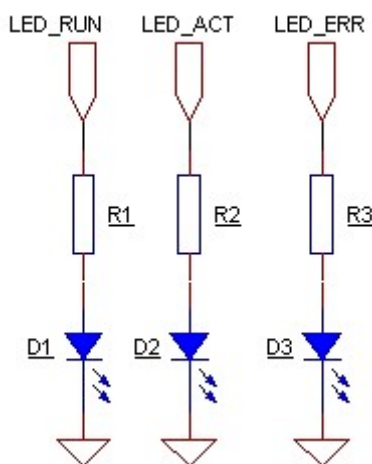
## 5.6 Signalizační prvky

CPU modul je opatřen signalizačními prvky sloužícími k indikaci aktuálního stavu zařízení. Celkem má modul implementovány 4 signalizační prvky.

### 5.6.1 LED dioda

K světelné signalizaci byly vybrány 3 LED diody v SMD pouzdře. Jedná se o elektronický prvek, který při průchodu proudu v propustném směru vyzařuje kvanta energie ve formě záření. Schéma zapojení LED diod je na obr. 5.8. Byly vybrány 3 LED diody, které indikují 3 základní stavy CPU modulu, a to:

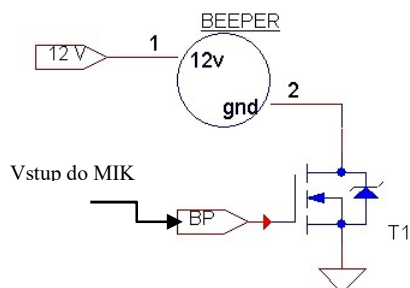
- Zelená D1, indikující uživateli aktivní stav modulu.
- Modrá D2, indikující příjem dat z mobilního zařízení.
- Červená D3, indikující chybové stavy, jako např. nízké napětí na člancích, vysoká teplota motoru.



Obr. 5.8: Schéma zapojení signalizačních LED diod.

### 5.6.2 Piezoelektrický bzučák

Ke zvukové signalizaci byl vybrán piezoelektrický “bzučák“ s integrovaným oscilátorem, je zobrazen na obr. 5.10. Hlavním úkolem bzučáku je informovat uživatele o změnách aktuálního stavu, jako např. zapnutí: CPU modulu, elektrokola, světel, atd. nebo včas hlásit případně vzniklé chyby a tím předejít k možnému poškození zařízení.



Obr. 5.9: Schéma zapojení.



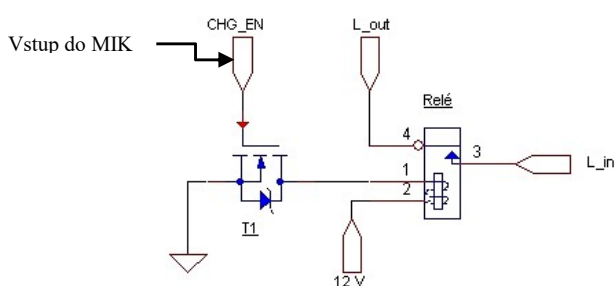
Obr. 5.10: Piezoelektrický bzučák.

## 5.7 Vypínání nabíjecího ústrojí

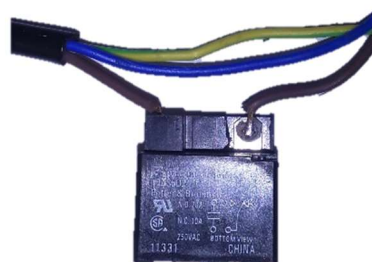
Úkolem CPU modulu je také vypínat nabíjecí ústrojí v okamžiku dosažení maximální hodnoty napětí udávané výrobcem akumulátoru, kterou bude moci uživatel zadávat pro různé typy pomocí mobilní aplikace, viz kapitola [6]. Napětí na akumulátoru v průběhu nabíjení bude měřeno MM, který je popsán v kapitole [4]. Celý cyklus nabíjení je zobrazen na vývojovém diagramu na obr. 5.13. Náhradní schéma na obr. 5.11 zobrazuje možné zapojení nabíjecího zařízení. Obvod se skládá z tranzistoru T1, který spíná relé. Kontakty relé jsou připojeny k přívodnímu vodiči NZ tak, aby v okamžiku rozepnutí tranzistoru bylo relé rozpojeno a tím byl rozpojen napájecí obvod NZ, jak je zobrazeno na obr. 5.12. Dojde-li k nabití akumulátoru, nastaví se pomocná proměnná warning na 0 a tím je zamezeno dalšímu nabíjení. Je to z důvodu možného poklesu napětí při ukončení nabíjecího cyklu. Jinak by docházelo k neustálému spínání

NZ a mohlo by dojít k jeho poškození. Proto se hodnota warning nastaví na 1 v okamžiku poklesu napětí pod nastavenou úroveň a nabíjecí cyklus se může opakovat.

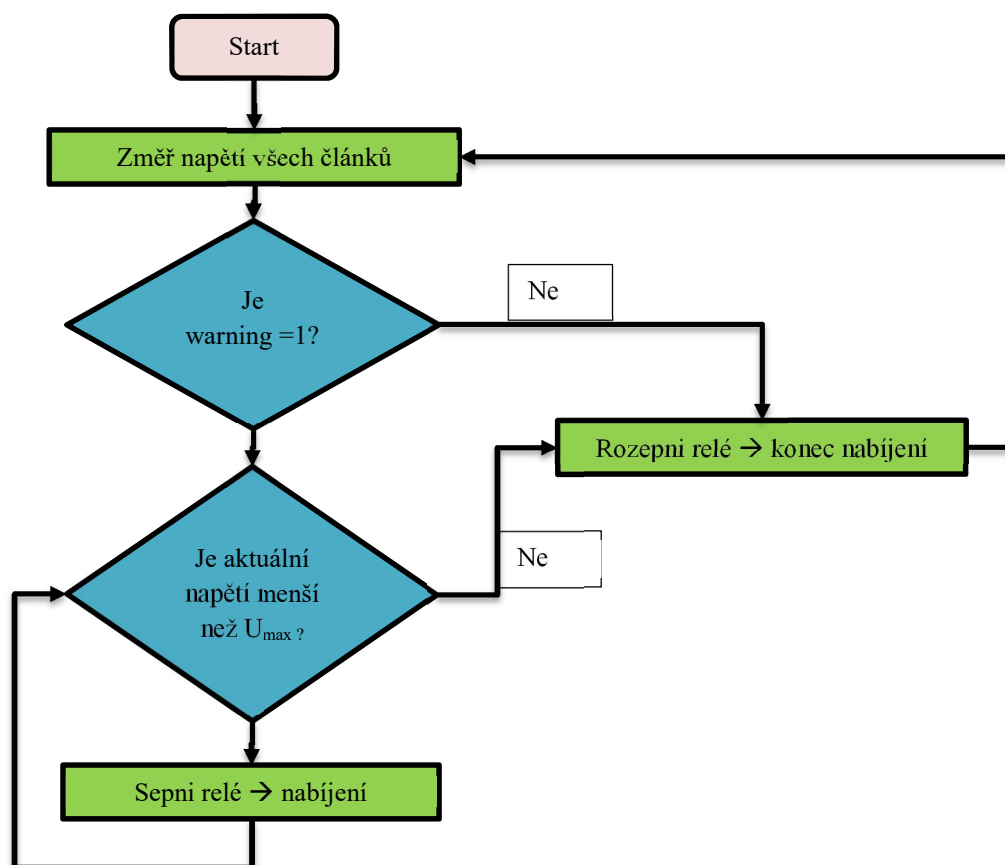
Při výběru relé vycházíme z katalogu nabíjecího zařízení, které musíme dimenzovat na síťové napětí ~240 V a maximální možný proud odebíraný ze sítě podle katalogového listu.



Obr. 5.11: Schéma zapojení nabíjecího ústrojí.



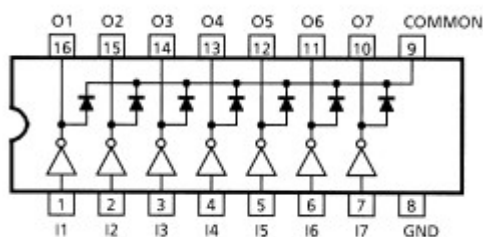
Obr. 5.12: Zapojení relé.



Obr. 5.13: Vývojový diagram nabíjení.

## 5.8 Integrovaný budič

CPU modul je doplněn o obvod ULN2003, který je nízkonapěťovým a zároveň též nízkopříkonovým IO 7-mi kanálových polí s Darlingtonovými tranzistory. To umožňuje spínat relé, či LED diody, s konstantním napětím 12 V a maximálním proudem 0,5 A, který je schopen IO dodat. Budič je řízen MIK a spínání jednotlivých výstupů lze ovládat pomocí Android aplikace, více viz kapitola [6.2.2].



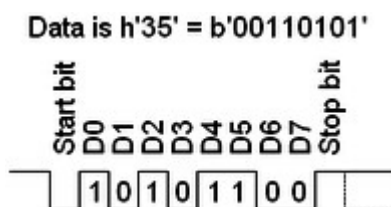
Obr. 5.14: Integrovaný budič ULN2003 (převzato ze zdroje [8]).

## 5.9 Komunikační rozhraní

Z katalogového listu MIK, bylo vybráno asynchronní sériové rozhraní (USART), které je popsáno v následující kapitole [5.9.1] a je spojeno s Bluetooth modulem značky Arduino, sloužícím ke komunikaci s mobilním telefonem [5.9.2].

### 5.9.1 Asynchronní sériové rozhraní

Jedná se o sériovou asynchronní sběrnici. Podle [9] je USART tvořena dvěma vodiči, které se obvykle značí RX (vstup) a TX (výstup). V klidovém stavu je na vodičích signál v log. 1 (pokud neprobíhá vysílání ani příjem). Začátek vysílání je zahájen změnou hodnoty signálu na log. 0 po dobu jednoho bitu. Poté probíhá přenos dat, kdy je nejprve poslán nejnižší datový bit, až po poslední nejvýznamnější datový bit, který je následován stop bitem (opět úroveň log. 1). Po odvysílání stop bitu může začít přenos dalšího bajtu.



Obr. 5.15: Asynchronní 8-bitový přenos (převzato ze zdroje [9]).

### Vyslání bajtu

Jakmile jsou data zapsána do registru TXREG, všechny bity jsou přepsány do registru pro vysílání (Transmit Shift Register). Odtud jsou dále přeposlány na TX pin, přičemž je jim přiřazen

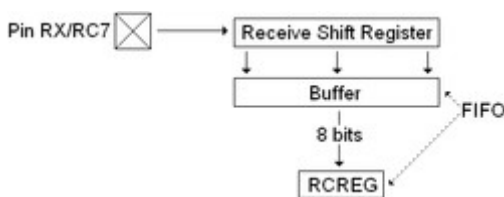
na začátek start a na konec stop bit. Použití speciálního registru pro vysílání umožňuje načítání nových dat do registru TXREG už během vysílání dat předchozích. To maximálně zefektivňuje komunikaci.



Obr. 5.16: Blokový diagram pro odeslání 8 bitů (převzato ze zdroje [9]).

### Příjem bajtu

Po detekci start bitu na pinu RX se další data bit po bitu přesunou do registru pro příjem (Receive Shift Register). Po přesunutí posledního bitu se zkontroluje stop bit a data se pošlou do bufferu, který je předá registru RXREG, pokud je prázdný. Tento buffer a registr RXREG jsou dva elementy FIFO. Separátní použití registru pro příjem a FIFO bufferu poskytuje softwaru běžícímu na MIK čas k přečtení doručených dat bez rizika přepsání těchto dat dalšími doručenými. Je tedy možné obdržet první dva bity a dále přijímat třetí bit ještě předtím, než jsou data vyčtena z registru RXREG.



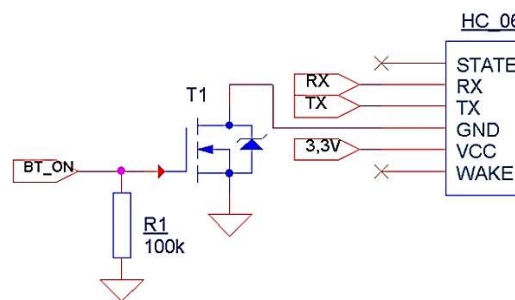
Obr. 5.17: Blokový diagram pro příjem 8 bitů (převzato ze zdroje [9]).

## 5.9.2 Bluetooth modul

Pro přenos dat z CPU modulu na mobilní telefon byl použit Bluetooth modul HC-06, zobrazený na obr. 5.18. Jedná se o sériový modul pro bezdrátovou komunikaci. Na obr 5.19 je znázorněno schéma zapojení Bluetooth modulu napájeného 3.3 V. Modul HC-06, použitý v této bakalářské práci, obsahuje pouze jednu červenou LED diodu, která slouží k indikaci provozu. V okamžiku zapnutí dioda svítí přerušovaně v krátkých časových intervalech. Dojde-li ke spárování s mobilním zařízením, dioda svítí nepřerušovaně. Pro řízené zapínání a vypínání je obvod doplněn o tranzistor T1, který je řízen MIK. Cílem je zajistit vypínání Bluetooth modulu v okamžiku, kdy je BMS v neaktivním stavu (režim spánku).



Obr. 5.18: Bluetooth modul HC-06.



Obr. 5.19: Zapojení HC\_06.

## 5.10 Stav nabití

Odhad stavu nabití akumulátoru je velice důležitý. Dá se říci, že z pohledu uživatele je to jeden z nejdůležitějších ukazatelů aktuálního stavu baterie, vyjádřen v [%]. Proto jsem se rozhodl, implementovat tuto metodu odhadu do BMS.

Pro odhad stavu nabití je v BMS použita metoda Coulombova. Tato metoda je založena na integraci odebraného/dodaného proudu za čas. Rovnice pro výpočet SoC pomocí Coulombovi metody je dána:

$$SoC = SoC(0) + \frac{1}{C_n} \int (I_{batt} - I_{loss}) dt \quad (5.16)$$

*SoC(0) = počáteční odhad SoC*

*C<sub>n</sub> = jmenovitá kapacita v Ampér sekundách*

*I<sub>batt</sub> = kladná hodnota pro nabíjení a záporná hodnota pro vybíjení*

*I<sub>loss</sub> = proud ztrátou reakce*

Coulombova metoda má však zásadní nedostatek. Při zapojení více článku v sérii vzniká tzv. akumuláční chyba. Ta vzniká vlastní spotřebou článku, která není do výpočtu zahrnuta a v konečném výsledku se může vypočtená hodnota stavu nabití lišit od skutečné hodnoty. Což může vést až k degradaci článku. Proto je tato metoda doporučována pouze pro počítání stavu nabití jednoho článku.

Z toho důvodu není metoda SoC realizována počítáním náboje celého akumulátoru ale z naměřených hodnot  $U=f(\text{SoC})$  získaných od výrobce testovaného akumulátoru při různě velkých vybíjecích proudech. Podobné průběhy jsou zobrazeny na obr. (2.15). Z těchto dat byly vybrány hodnoty napětí, které přísluší daným hodnotám SoC (10%, 20%...100%). Hodnoty napětí byly poté zapsány do MIK a pomocí funkce SOC(), která porovnává nejnižší napětí článku s těmito hodnotami je vypočítán SoC.

Nevýhoda této metody je však v tom, že tato výpočetní funkce je použitelná pouze pro články Panasonic typu (18650), ke kterým byly naměřena data. U ostatních typů nelze zaručit správnost výsledku SoC.

## 6 Mobilní aplikace

V této části bude popsán návrh Android aplikace a její hlavní funkce. BMS aplikace využívá MODBUS protokolu přes sériové rozhraní UART ke komunikaci a nastavení jednotlivých částí zařízení. Pojmem uživatel používaným v této kapitole se rozumí člověk znalý této problematiky.

### 6.1 Android

Android je podle zdroje [10] operační systém pro mobilní zařízení, který je založen na jádře Linux, dostupný jako otevřený software (open source). Tento operační systém bere v úvahu výkonová omezení, kterými disponují klasická mobilní zařízení, jako výdrž baterie, menší výkon a málo dostupné paměti. Zároveň byl systém Androidu navržen pro běh na různém hardwaru. Systém tak může být použit bez ohledu na druh telefonu, velikost či rozlišení obrazovky.

Samotná platforma Android dává k dispozici nejen operační systém s uživatelským prostředím pro koncové uživatele, ale i kompletní řešení nasazení operačního systému (specifikace ovladačů aj.) pro mobilní operátory a výrobce zařízení. V neposlední řadě pro vývojáře aplikací poskytuje efektivní nástroje pro jejich vývoj – Software Development Kit. Z těchto důvodů byl vybrán tento operační systém pro návrh zmiňované aplikace.

### 6.2 Android aplikace

Android aplikace má na starosti dvě hlavní úlohy. První je zobrazit/nastavit potřebné hodnoty ve vhodném grafickém rozhraní. Pomocí tohoto rozhraní bude uživatel moci sledovat veškeré údaje popsané v předchozích kapitolách, například: napětí na akumulátoru, aktuální proudový odběr a v okamžiku potřeby nastavit příslušné registry. Druhá úloha zprostředkovává komunikaci mezi mobilním zařízením a CPU modulem pomocí Bluetooth rozhraní a zjednodušeného komunikačního protokolu MODBUS.

#### 6.2.1 Grafické rozhraní

GUI (z anglického Graphical User Interface, v překladu grafické uživatelské rozhraní) je pro uživatele nejdůležitější součástí celého zařízení. V praxi uživatel používá jen grafické rozhraní a nezajímá ho, co konkrétně se děje uvnitř zařízení. K tvorbě uživatelského rozhraní bylo použito Android Studio, ve kterém je velmi jednoduché vytvořit přehledné a intuitivní GUI. Na dnešním trhu je mnoho druhů Android zařízení, která se liší velikostí a rozlišením displeje, proto není vhodné umístit jednotlivé prvky GUI (tlačítka, textové dialogy) na pevně dané pozice, neboli souřadnicemi v pixelové mřížce, ale relativně. Konkrétně například na úvodní obrazovce je tlačítko na spojení zařízení s CPU modulem CONNECT umístěné do středu osy X a Y. Další prvky na této obrazovce jsou umístěny v závislosti k tomuto tlačítku.



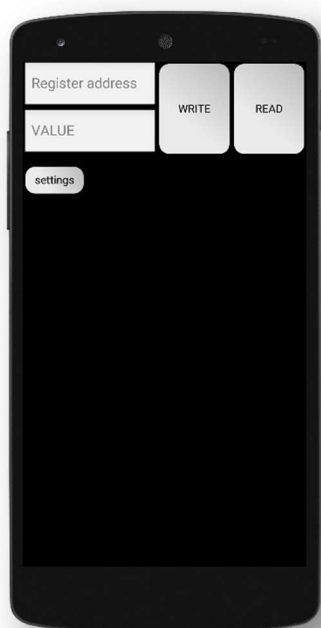
Obr. 6.1: Úvodní obrazovka Android aplikace. Obr. 6.2: Monitorovací obrazovka Android aplikace.

Na obr 6.1 je úvodní obrazovka, kterou uživatel uvidí hned po spuštění Android aplikace. Pro spojení s CPU modulem je nutné nejprve zapnout Bluetooth rozhraní příslušného telefonu a poté zmáčknout tlačítko CONNECT. Dojde-li ke spárování zařízení, objeví se v dolní části úvodní obrazovky dialog s textem (**Connected**). V okamžiku chybného spojení se objeví dialog s textem (**Error: Could not connect to a socket**). V tomto případě doporučuji zkontrolovat zapnutí Bluetooth rozhraní a poté celou akci zopakovat. Jsou-li zařízení úspěšně spojena, uživatel může pomocí tlačítka MONITOR otevřít layout, který je na obr 6.2 a pomocí něj lze sledovat následující hodnoty:

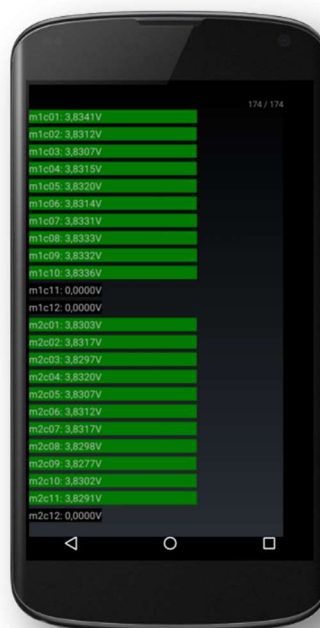
- Proud odebíraný/dodávaný do baterie
- Minimální a maximální napětí na článku
- Celkové napětí akumulátorové baterie
- Teplotu motoru
- Rychlost
- SoC
- Grafický průběh napětí v závislosti na čase
- Tachometr

Kromě tlačítka MONITOR je úvodní obrazovka doplněna o následující tlačítka. MODBUS R/W slouží k čtení/zapisování hodnot z/do předem definovaných registrů, více informací poskytne následující kapitola [6.2.2]. Pod tlačítkem MODBUS R/W je umístěno několik tlačítek s charakteristickými obrázky. Tlačítko se znakem baterie slouží ke sledování napětí všech článků. Po jeho kliknutí se objeví layout na obr. 6.3. Sousední tlačítka se znakem žárovky a spínače slouží k zapínání výstupu integrovaného budiče [5.8]. Pomocí konfiguračního registru [6.2.2], si lze zvolit, který z výstupů (0 až 6) integrovaného budiče bude zapnut.





Obr. 6.3: Modbus rozhraní.



Obr. 6.4: Napětí jednotlivých článků.

### 6.2.2 Komunikační rozhraní

Podle zdroje [11] je MODBUS komunikační protokol na úrovni aplikační vrstvy ISO/OSI modelu, umožňující komunikaci typu klient-server mezi zařízeními na různých typech sítí a sbernic. V současné době je podporována celá řada komunikačních médií, např. sériové linky typu RS-232, RS-422 a RS-485. Komunikace probíhá metodou požadavek-odpověď a požadovaná funkce je specifikována pomocí kódu funkce, jež je součástí požadavku.

V BMS je implementován pouze zjednodušený MODBUS, který využívá jenom funkce 0x03 čti uchovávací registry (Read Holding Registers) a 0x10 zapiš více registrů (Write Multiple Registers). MODBUS používá tzv. „Big-endian“ reprezentaci dat. To znamená, že při posílání datových položek delších než 1 bajt je jako první posílán nejvyšší bajt a jako poslední nejnižší bajt.

#### Popis kódů funkcí:

##### **(0x03) Čti uchovávací registry (Read Holding Registers)**

Tato funkce slouží ke čtení obsahu až 20 registrů. Ke čtení více registrů je nutné příkaz opakovat. V požadavku je specifikována adresa prvního registru a počet registrů. V odpovědi odpovídá každému registru dvojice bytů.

Byte	Popis
01	Adresa cpu modulu (vždy 01)
03	Kód funkce
03 E8	Počáteční adresa prvního registru ke čtení

00 02	Počet registrů
AA 2D	CRC

**(0x10) Zapiš více registrů (Write Multiple Registers)**

Tato funkce slouží k zápisu až 20 registrů. K zapisování více registrů je nutné příkaz opakovat. V požadavku je specifikována adresa prvního registru, kód funkce a počet bajtů, které se mají zapsat.

Byte	Popis
01	Adresa cpu modulu (vždy 01)
03	Kód funkce
04	Počet bajtů
8F B5	Obsah registru
8F BA	Obsah registru
B4 0F	CRC

Následně byly vytvořeny dvě tabulky, kde jsou předdefinovány registry, pomocí nichž uživatel bude moci číst/zapisovat požadované hodnoty. První tabulka (Informační registr), slouží pouze ke čtení a lze sledovat až 27 hodnot. Princip sledování požadovaných registrů je velmi jednoduchý. Nejprve je nutné pomocí tlačítka MODBUS R/W otevřít příslušný layout, obr. 6.3, a následně opsat číslo daného registru a stisknout tlačítko READ. Následně se v textovém okně VALUE zobrazí hodnota registru.

Druhá tabulka (Konfigurační registr) slouží k nastavování požadovaných parametrů. Je zde možnost čtení, ale i zápisu. Princip zápisu funguje obdobně jako čtení. Uživatel též opíše hodnotu daného registru, do textového pole VALUE napíše požadovanou hodnotu a vše potvrdí tlačítkem WRITE. Proběhne-li zápis v pořádku, objeví se dialog, s textem (**Value “požadovaná hodnota” written**). V případě chybné hodnoty vypíše (**Wrong number format!**). Celkem je možno nastavit 27 registrů, kterým přísluší dané funkce. V tabulce jsou tučně vyznačeny dva registry, a to **Maximální hodnota napětí** a **Minimální hodnota napětí**. Hodnoty těchto registrů patří mezi nejdůležitější, neboť charakterizují operační oblasti daného typu akumulátoru a zamezí opuštění těchto pracovních oblastí. Další důležitou funkcí je nastavení počtu článků/modulů. Maximálně lze nastavit 16 modulů, kdy každý může měřit až 12 článků.

## KAPITOLA 6. MOBILNÍ APLIKACE

<b>Informační registr</b>		
<b>Registr</b>	<b>R/W</b>	<b>Funkce</b>
3000	R	Upozornění
3001	R	Chyby
3002	R	Chyby CPU
3003	R	Proud [0.1A]
3004	R	Napětí [0.01 V]
3005	R	Rychlost [0.01 km/h]
3006	R	SOC [%]
3007	R	Nejmenší napětí na článku [0.1mV]
3008	R	Největší napětí na článku [0.1mV]
3009	R	Teplota motoru [K]
3010	R	Ampérhodiny [0.01 Ah]
3011	R	Vzdálenost[0.01 km]
3012	R	Hodnota škrticí klapky (255 → plně otevřen)
3013	R	Minimální teplota na článku
3014	R	Maximální teplota na článku
3015	R	Průměrná teplota na článek
3016	R	Analogový vstup 1 – syrová data
3017	R	Analogový vstup 2 – syrová data
3018	R	Analogový vstup 3 – syrová data
3019	R	Analogový vstup 4 – syrová data
3020	R	Analogový vstup 5 – syrová data
3021	R	Analogový vstup 1 – napětí [0.1mV]
3022	R	Analogový vstup 2 – napětí [0.1mV]
3023	R	Analogový vstup 3 – napětí [0.1mV]
3024	R	Analogový vstup 4 – napětí [0.1mV]
3025	R	Analogový vstup 5 – napětí [0.1mV]
3026	R	Počet měřených modulů

Konfigurační registr																
Registr	R/W	Funkce														
4000	R/W	<b>Nastavení počtu článků/modulů</b>														
4001	R/W	<b>Číslo článku</b>														
4002	R/W	<b>Moduly</b>		<b>11</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
4003	R/W		<b>0</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4004	R/W		<b>1</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4005	R/W		<b>2</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4006	R/W		<b>3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4007	R/W		<b>4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4008	R/W		<b>5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4009	R/W		<b>6</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4010	R/W		<b>7</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4011	R/W		<b>8</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			<b>9</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			<b>10</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			<b>11</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			<b>12</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			<b>13</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			<b>14</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		<b>15</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		<b>Počet</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4012	R/W	Proudový senzor - nastavení offsetu (1,65V = 1650)														
4013	R/W	Proudový senzor – nastavení citlivosti (např. 10 mV/A)														
4014	R/W	Obvod kola v [mm]														
4015	R/W	Počet pólů motoru														
4016	R/W	Referenční napětí pro CPU (3.3V = 3300 mV)														
4017	R/W	Hodnota koeficientu $\beta$ pro NTC termistor														
4018	R/W	Rezervováno														
4019	R/W	Počet měřených článků (sériově zapojených)														
4020	R/W	<b>Maximální hodnota napětí v [mV]</b>														
4021	R/W	<b>Minimální hodnota napětí v [mV]</b>														
4022	R/W	Start balancování (Nastavení, do jaké hodnoty lze balancovat)														
4023	R/W	Nastavení balancovacího rozdílu (min. 2 mV)														
4024	R/W	Rezervováno														
4025	R/W	Nastavení výstupu budiče tlačítka power (0,1..6)														
4026	R/W	Nastavení výstupu budiče tlačítka light (0,1..6)														

## 7 Oživování a dosažené výsledky

Tato část se zabývá ověřením funkčnosti výsledného zařízení, problémy, které nastaly v průběhu oživování a dosaženými výsledky.

### 7.1 Oživování

Oživování zařízení bylo rozděleno do několika hlavních kroků, v jejichž průběhu byly postupně otestovány a oživeny jednotlivé funkční bloky.

Konkrétní oživované funkční bloky:

- Vstupy/výstupy CPU modulu
- Měřicí modul
- SPI komunikace mezi CPU modulem a MM
- Komunikace mezi CPU modulem a mobilním telefonem

Nejjednodušší bylo oživení vstupů a výstupů CPU modulu. Veškeré vstupy byly nejprve zapojeny podle schématu a následně otestovány. Důsledkem testování byla změna zapojení vstupu signálu z Hallový sondy, jelikož v prvním případě byl zapojen na analogový vstup MIK, který neobsahoval CCP a tím nešlo rychlost přesně změřit. Problém byl vyřešen prohozením pinu zelené LED diody, který obsahoval CCP jednotku, pomocí níž bylo následně realizováno měření rychlosti. Ostatní vstupy a výstupy již fungovaly podle očekávání.

Následně byl oživen MM, který na první pohled fungoval bez problému, ale v okamžiku zadání příkazu k balancování nejevil balancovací obvod žádnou činnost. Po dlouhém testování bylo zjištěno prohození kontaktů P-MOS tranzistoru na plošném spoji. Tento problém byl odstraněn prohozením kontaktů tranzistorů a výměnou poškozeného IO LTC6804-1 za nový, který zřejmě nevydržel hodnotu napětí na pinech (Sn). Ostatní části MM nevykazovaly v průběhu testování žádné problémy.

Největším problémem bylo oživení SPI komunikace mezi CPU modulem a MM. Po zapojení logického analyzátoru, který měl zobrazit průběhy přenosu dat na SPI, byl naměřen pouze výstupní signál z MIK. Na první pohled se zdálo, že je to způsobeno pouze prohozením MM, kdy je jeden nastaven v SPI modu a ostatní v isoSPI. Po důkladném prozkoumání bylo vše zapojeno správně. Následně jsem vyzkoušel komunikaci CPU modulu s jiným MM, ani ta nefungovala. Z toho vyplynulo, že chyba bude na 100% v CPU modulu. Pin (SDI) MIK nebyl připájen k padu plošného spoje, čímž byla přerušena komunikace. Po opravení této chyby již SPI fungovalo bez problémů. Dále jsem prováděl testování komunikace CPU modulu s mobilním zařízením pomocí Bluetooth modulu HC-06, kterým byl obvod opatřen. Nejprve testování probíhalo pomocí Android aplikace (ArduinoRC), která byla navržena pro řízení obvodů Arduino. Po úspěšném otestování tohoto komunikačního rozhraní jsem začal navrhovat uživatelskou Android aplikaci, která je v současné době ještě ve fázi testování.

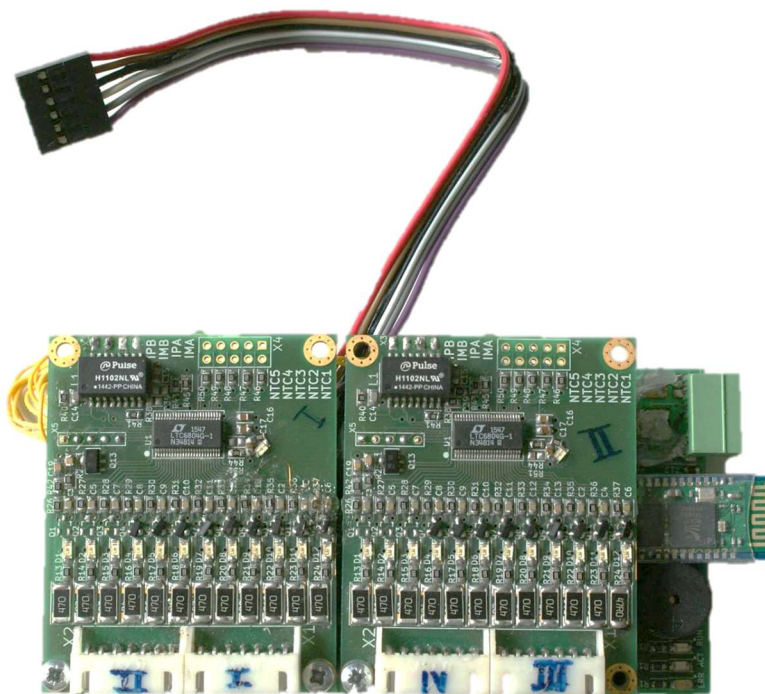
## 7.2 Dosažené výsledky

Samostatná realizace této práce vyvrcholila vytvořením vývojového kitu BMS. Ten je základem pro testování a zdokonalování jednotlivých hardwarových částí, programu MIK a Android aplikace.

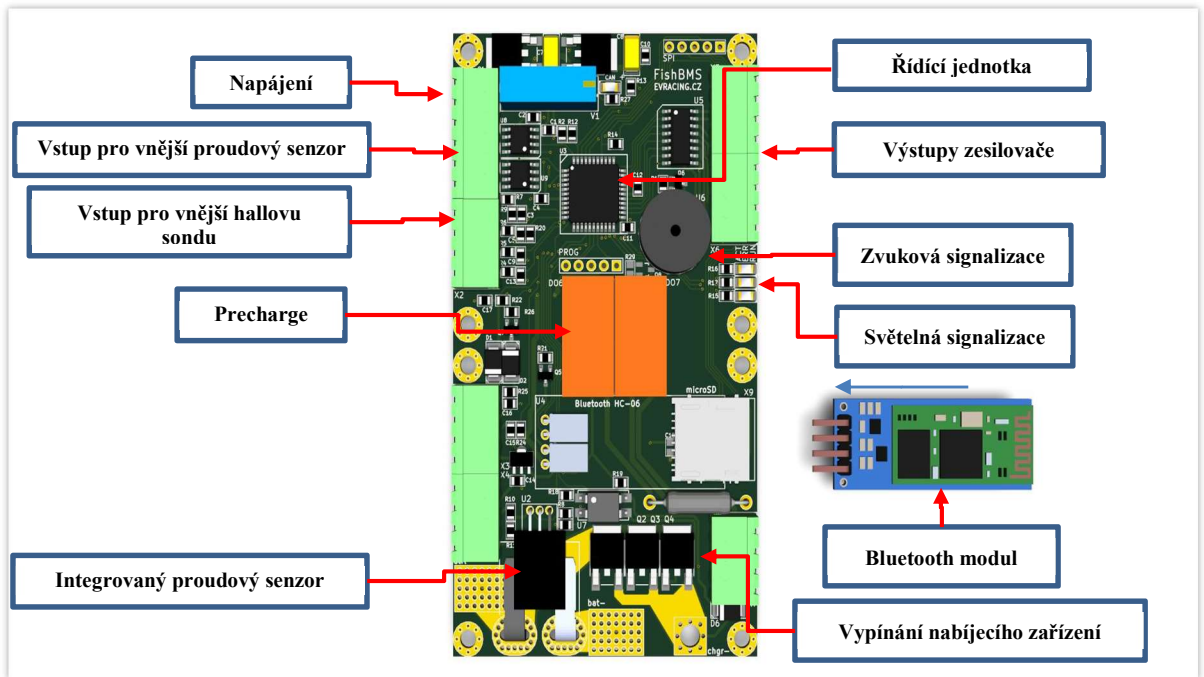
### 7.2.1 Vývojový kit

Na obr. 7.1 je zobrazen vývojový kit BMS, jehož součástí je CPU modul a 2 MM. Pro minimalizaci rozměrů byly MM při návrhu umístěny nad CPU modul. Řídicí jednotka má vpravo vyveden Bluetooth modul ke komunikaci s mobilním telefonem. Aby byla možná i komunikace s PC, bylo rozhraní UART vyvedeno pomocí univerzálního konektoru tak, že lze Bluetooth modul z konektoru jednoduše vytáhnout a místo něj lze použít USB převodník, který stačí zapojit na příslušné piny: (RX, TX a GND) a spojit s PC. Výše nad ním je vyveden PICKit ICSP konektor, kvůli možným úpravám v softwaru řídicí jednotky. Zmiňovaný proudový senzor není součástí tohoto vývojového kitu. Ten lze dodatečně připojit na vyznačené piny podle schématu CPU modulu, příloha 4.

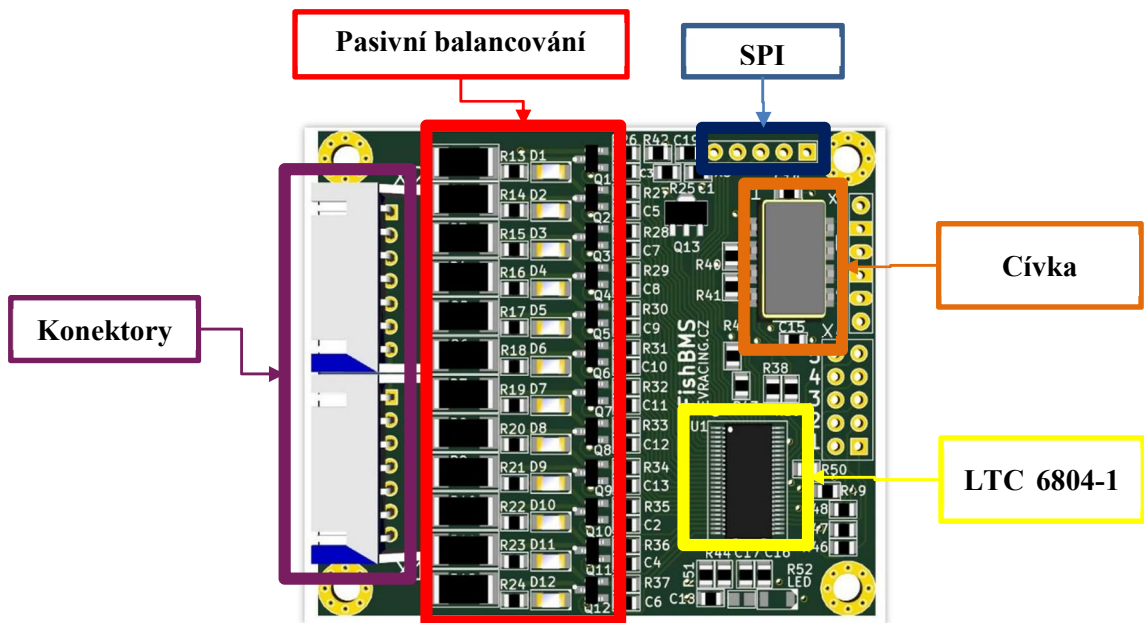
Chyby a nedostatky při testování vývojového kitu vedly k řadě změn, či rozšíření. Na obr. 7.2 a 7.3 je zobrazen aktuální 3D návrh BMS. CPU modul byl doplněn o precharge relé, sloužící ke spínání obvodu akumulátoru, jehož součástí je napěťový regulátor (obsahující kondenzátor). Při přímém spojení akumulátoru a regulátoru by došlo k velkému proudovému nárazu a mohlo by dojít k poškození BMS. Dále z důvodu snížení rozměrů BMS byl plošný spoj CPU modulu doplněn o proudový senzor. V poslední řadě byl upraven obvod vypínání nabíjecího zařízení, více viz obr. 7.2. Funkčnost těchto úprav nebyla dosud otestována, neboť jsou teprve ve formě návrhu.



Obr. 7.1 Vývojový kit BMS



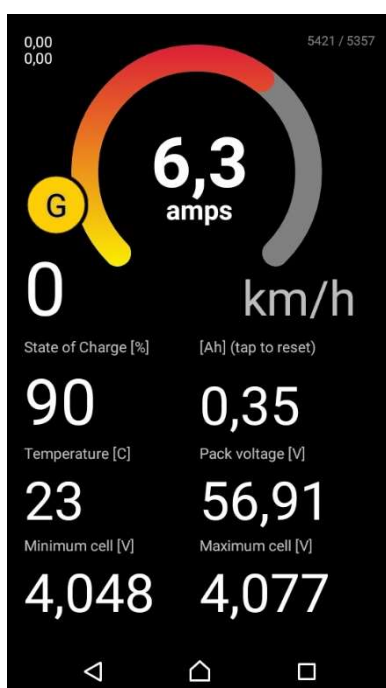
Obr. 7.2: CPU modul prototyp, 3D kicad.



Obr. 7.3: MM prototyp, 3D kicad.

## 7.2.2 Nabíjení Li-ion akumulátoru

Testování probíhalo na akumulátoru, který se skládá ze 14 sériově a 7 paralelně zapojených článků (14s7p), s konstantním nabíjecím proudem 6,3 A. V grafu (obr. 7.4) je vidět průběh napětí (přepočítáno na %), který je zaznamenán pomocí Android aplikace. V okamžiku dosažení maximální hodnoty napětí, kterou si uživatel nastaví v konfiguračním registru podle daného typu akumulátorového článku, došlo k ukončení nabíjecího cyklu. V grafu je konec nabíjení charakterizován poklesem napětí na akumulátoru. To je způsobeno nenulovým vnitřním odporem, na kterém dochází při průchodu nabíjecího proudu k úbytku napětí, které se sčítá s vnitřním napětím akumulátoru. Na obr. 7.5 jsou zobrazeny průběhy měřených hodnot jako, nabíjecí proud, napětí akumulátoru, minimální a maximální napětí článku a SoC.



Obr. 7.4: Monitorovací obrazovka.

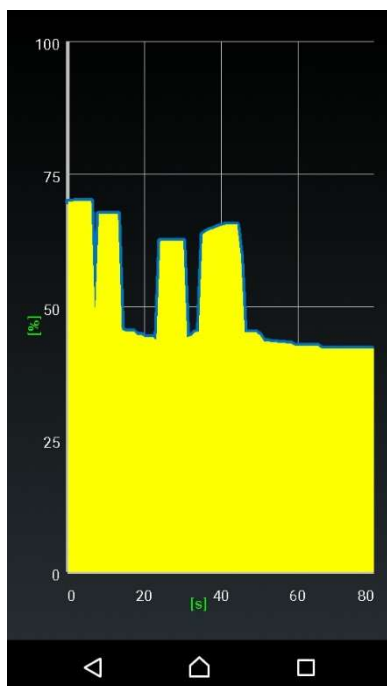


Obr. 7.5: Průběh napětí při nabíjení

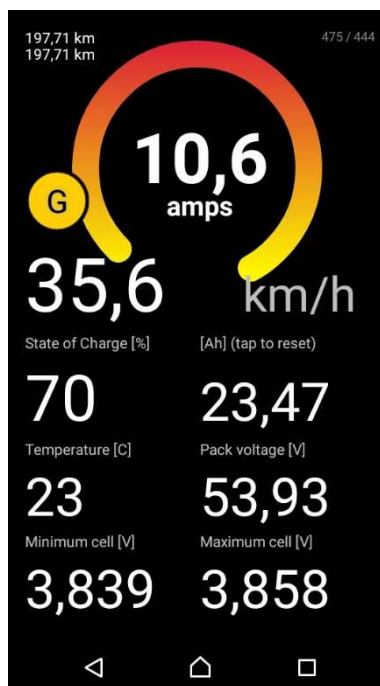
## 7.2.3 Vybíjení Li-ion akumulátoru

Vybíjení bylo testováno v průběhu jízdy na elektrokole, kde byl použit stejný typ akumulátoru jako při nabíjení. V grafu (obr. 7.6) je vidět průběh napětí během jízdy. Při jízdě po rovině je pokles napětí nepatrný, kdežto při jízdě do kopce je pokles výrazný. Na druhém obr. 7.7 jsou zobrazeny průběhy měřených hodnot jako při nabíjení, doplněny jsou o měření rychlosti a ujetou vzdálenost elektrokola.





Obr. 7.6: Průběh napětí při vybíjení.



Obr. 7.7: Monitorovací obrazovka.

## 7.2.4 Balancování

Na obr. 7.8 je zobrazena světelná signalizace balancování Li-ion článků. Na druhém obr. 7.9 je vidět napětí jednotlivých vybalancovaných článků, kde byl nastaven balancovací rozdíl ( $U_{dif}$ ) 30 mV, více viz kapitola [4.4.3]. Funkčnost balancování byla otestována i na jiném druhu akumulátoru, a to olověném. Zde byl ale problém se světelnou signalizací, neboť olověné články mají jiné nominální napětí a nedošlo tím k rozsvícení červené LED diody.



Obr. 7.9: Napětí jednotlivých článků.



Obr. 7.8: Světelná signalizace balancování.

## 8 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat modul managementu baterie (BMS), který je určen pro použití v elektrokolech. Při návrhu byla jednou z hlavních priorit variabilita systému. To znamená možnost nastavení pracovních charakteristik pro různé typy a počet bateriových článků. Podle zadání byl též systém doplněn o komunikační rozhraní, které zajišťuje komunikaci s mobilním telefonem.

Aby se mi podařilo tento cíl zrealizovat, musel jsem nejprve danou problematiku důkladně nastudovat. Po získání dostatečných informací jsem vybral několik současných BMS od různých výrobců a porovnal jejich vlastnosti. Zjistil jsem, jaké metody a funkce současné BMS využívají a proč nejsou vhodné pro použití v elektrokolech. Aby bylo splněno zadání práce, musel být BMS doplněn o další nové vlastnosti. Navrhl jsem vývojový kit BMS, který obsahuje všechny výše zmíněné funkce. Zhotovený kit byl otestován při nabíjení a vybíjení akumulátoru, kde byla zjištěna funkčnost měření napětí, proudu, rychlosti, vzdálenosti a balancování článku. Aby se však navržený systém mohl začít vyrábět a používat v elektrokolech, je nutné dořešit několik drobných detailů, jako např. opravit hardwarové chyby CPU modulu, zprovoznit SD kartu a realizovat měření teploty jednotlivých článků akumulátoru.

Při realizaci bakalářské práce jsem se naučil mnoho nových věcí, které jsem před tím neovládal, zvláště v oblasti návrhu plošných spojů a práce se softwarem. Jedná se například o programování Android aplikací a různých komunikačních rozhraní implementovaných v MIK. Věřím, že jsem zadání a požadavky této Bakalářské práce splnil.

## Seznam použité literatury

- [1] HRUBEC, Michal. Nabíjecí technika a nabíjecí algoritmy: disertační práce ZČU Plzeň 2011.
- [2] Bergveld, H.J.: Battery Management Systems-Design by Modelling: disertation thesis Universiteit Twente 2001, ISBN 90-74445-51-9.
- [3] Abeceda baterií a akumulátorů [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z URL: <http://www.battex.info/?id=77&top=100>
- [4] DUDÁČEK, K. Sériová rozhraní SPI, Microwire, I2 C a CAN [online]. [cit. 2016-01-12]. Dostupné z URL: [http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova\\_rozhrani.pdf](http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf)
- [5] Alldatasheet LTC6804-1 [online]. [cit. 2016-01-12]. Dostupné z URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/495163/LINER/LTC6804-1.html>
- [6] Steinhart–Hart equation In Wikipedia: the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 9 October 2009 , 8 April 2010 [cit. 2015-08-29]. Dostupné z URL: [en.wikipedia.org/wiki/Steinhart–Hart\\_equation](http://en.wikipedia.org/wiki/Steinhart–Hart_equation)
- [7] IBRAHIN, Dogan: Microcontroller-based Temperature Monitoring and Control [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/533468/ALLEGRO/ACS758.html>
- [8] Linear technology ULN2003 [online]. [cit. 2015-10-18]. Dostupné z URL: <http://codeandlife.com/wp-content/uploads/2012/02/uln.png>
- [9] USART in Wikipedia: the free encyclopedia [online]. [cit. 2015-09-08]. Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/USART>
- [10] Android (operační\_systém). Wikipedia: the free encyclopedia [online]. [cit. 2016-01-28]. Dostupné z URL: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Android\\_\(opera%C4%8Dn%C3%AD\\_syst%C3%A9m\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Android_(opera%C4%8Dn%C3%AD_syst%C3%A9m))
- [11] RONEŠOVÁ, A. Přehled protokolu MODBUS [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z URL: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [12] ČVUT, FEL, K13113, A1M13EZF. Lithiové akumulátory [online]. [cit. 2016-02-27]. Dostupné z URL: [https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/1779/mod\\_resource/content/1/11.Li\\_aku.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/1779/mod_resource/content/1/11.Li_aku.pdf)
- [13] RÝZEK, Miroslav. BMS (Battery Management System) pre akumulátorovú batériu FSE (Formula Student Electric). Bakalářská práce ČVUT Praha 2013.

## Seznam obrázků

Obr. 2.1: Blokové schéma struktury BMS.....	- 3 -
Obr. 2.2: Step-up converter.....	- 4 -
Obr. 2.3: Step-down converter.....	- 4 -
Obr. 2.4: Průběh vybíjecí charakteristiky Li-ion akumulátoru (převzaté ze zdroje [2])...	- 5 -
Obr. 2.5: Nabíjecí charakteristika Lithiových článků (převzaté ze zdroje [13]) .....	- 6 -
Obr. 2.6: Vybíjecí charakteristiky při změně velikosti vybíjecího proudu.....	- 6 -
Obr. 3.1: Blokové schéma BMS . .....	- 10 -
Obr. 4.1: Blokové schéma měřicího modulu. ....	- 12 -
Obr. 4.2: Celková koncepce systému se sběrnici SPI.....	- 14 -
Obr. 4.3: Zapojení isoSPI (převzaté ze zdroje [5]). .....	- 15 -
Obr. 4.4: Zapojení SPI (převzaté ze zdroje [5]).....	- 15 -
Obr. 4.5: Externí vybíjecí obvod (převzaté ze zdroje [5]). .....	- 16 -
Obr. 4.6: Zapojení LED diody .....	- 17 -
Obr. 4.7: Vývojový diagram balancování.....	- 18 -
Obr. 4.8: Zapojení 12 článků .....	- 19 -
Obr. 4.9: Zapojení 8 článků .....	- 19 -
Obr. 5.1 Schéma zapojení pro měření rychlosti.....	- 21 -
Obr. 5.2: Snímek z osciloskopu – průběh napěťových signálů na Hallově sondě.....	- 22 -
Obr. 5.3: Škrtková klapka.....	- 23 -
Obr. 5.4: Schéma zapojení škrtkové klapky pro regulaci výkonu. ....	- 23 -
Obr. 5.5: Schéma měření teploty. ....	- 24 -
Obr. 5.6: Schéma zapojení proudového senzoru. ....	- 25 -
Obr. 5.7: Proudová sonda ACS758.....	- 25 -
Obr. 5.8: Schéma zapojení signalizačních LED diod. ....	- 26 -
Obr. 5.9: Schéma zapojení. ....	- 26 -
Obr. 5.10: Piezoelektrický bzučák. ....	- 26 -
Obr. 5.11: Schéma zapojení nabíjecího ústrojí. ....	- 27 -
Obr. 5.12: Zapojení relé. ....	- 27 -
Obr. 5.13: Vývojový diagram nabíjení. ....	- 27 -
Obr. 5.14: Integrovaný zesilovač ULN2003 (převzaté ze zdroje [8]). ....	- 28 -
Obr. 5.15: Asynchronní 8-bitový přenos (převzaté ze zdroje [9]). ....	- 28 -
Obr. 5.16: Blokový diagram pro odeslání 8 bitů (převzaté ze zdroje [9]).....	- 29 -
Obr. 5.17: Blokový diagram pro příjem 8 bitů (převzaté ze zdroje [9]).....	- 29 -
Obr. 5.18: Bluetooth modul HC-06. ....	- 29 -
Obr. 5.19: Zapojení HC_06. ....	- 29 -
Obr. 6.1: Úvodní obrazovka Android aplikace.....	- 32 -
Obr. 6.2: Monitorovací obrazovka Android aplikace. ....	- 32 -
Obr. 6.3: Modbus rozhraní.....	- 33 -
Obr. 6.4: Napětí jednotlivých článků. ....	- 33 -
Obr. 7.1: Vývojový kit BMS .....	- 38 -
Obr. 7.2: CPU modul prototyp, 3D kicad. ....	- 39 -

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 7.3: MM prototyp, 3D kicad. ....	- 39 -
Obr. 7.4: Monitorovací obrazovka.....	- 40 -
Obr. 7.5: Průběh napětí při nabíjení.....	- 40 -
Obr. 7.6: Průběh napětí při vybíjení.....	- 41 -
Obr. 7.7: Monitorovací obrazovka.....	- 41 -
Obr. 7.9: Napětí jednotlivých článků.....	- 41 -
Obr. 7.8: Světelná signalizace balancování. ....	- 41 -

## **Seznam příloh**

Příloha 1: Měřicí modul

Příloha 2: CPU modul

Příloha 3: Schéma zapojení měřicího modulu

Příloha 4: Schéma zapojení CPU modulu

Příloha 5: Ukázka implementace BMS v elektrokole

Příloha 6: Android\_aplikace.rar

Příloha 7: BMS\_C.rar