

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Jednotka správy napájení pro čtyřkolového robota**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan BENEDIKT**  
Osobní číslo: **E14B0005P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Název tématu: **Jednotka správy napájení pro čtyřkolového robota**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je vyvinout jednotku správy napájení pro čtyřkolového robota Crawler. Robot je aktuálně vybaven hardwarem pro komunikaci s PC a regulátorem motorů. Napájení zajišťuje dvoučlánkový Li-Pol akumulátor. Přenos dat v rámci robota je řešen pomocí sběrnice CAN. Nová jednotka musí zajišťovat měření stavu baterie (na obou člancích), bezpečné odpojování elektroniky při vybití baterie a integrování odebraného proudu pro odhad spotřebované energie. Tyto informace budou zároveň jednotkou odesílány po sběrnici CAN.

1. Popište akumulátory Li-Pol a princip sběrnice CAN.
2. Navrhněte koncept zařízení. Dále prostudujte nabídku dobře dostupných součástek a konkretizujte zapojení. Při volbě procesorové platformy se zaměřte na nabídku firmy NXP.
3. Realizujte funkční vzorek po hardwarové stránce.
4. Naprogramujte firmware procesoru pro plnění požadovaných funkcí jednotky.
5. Ověřte funkčnost jednotky na robotovi a doplňte práci o její podrobnou specifikaci, která usnadní případné další modifikace.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ondřej Lufinka**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

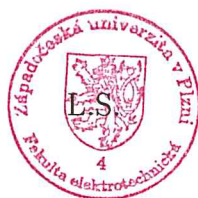
Datum zadání bakalářské práce:

**14. října 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**8. června 2017**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



Prof. Ing. Václav Kús, CSc.  
vedoucí katedry



V Plzni dne 14. října 2016

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na řešení správy napájení pro čtyřkolového robota Crawler postaveného na mikroprocesoru MC9S08DZ96 od společnosti NXP. Popisuje kompletní stavbu výrobku od základních zapojení pro oživení mikrokontroléru po veškeré vstupní a výstupní periferie. Obsažena jsou veškerá schémata zapojení a desky plošných spojů. Dále je řešen návrh programového vybavení mikroprocesoru. Prostřednictvím vývojových diagramů a přiložených kompletních zdrojových kódů je popsán postup inicializace mikroprocesoru do provozuschopného stavu.

## **Klíčová slova**

Akumulátory, Li-Pol, mikroprocesor, CAN, MC9S08DZ96.

**Abstract**

This paper deals with the project of Power management unit for the four-wheeled robot based on the microprocessor MC9S08DZ96 by NXP. At first, it describes the complete construction of hardware. It starts with basic circuits to make the microprocessor operational and it shows the other peripherals good for the device. All electrical schematics and printed circuit boards are attached. Then the software design is discussed via flow charts and complete source codes. There is the solution of the initialization of the microprocessor.

**Key words**

Batteries, Li-Pol, microprocessor, CAN, MC9S08DZ96.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 6.6.2017

Jan Benedikt

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Lufinkovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

ÚVOD.....	8
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
<b>1 LITHIOVÉ AKUMULÁTORY.....</b>	<b>11</b>
1.1 Akumulátory Li-Pol.....	11
1.1.1 Vlastnosti a využití.....	12
1.2 Parametry a grafické závislosti.....	12
1.2.1 Měření vnitřního odporu článku nebo akumulátoru.....	13
1.2.2 Měření impedance článků a akumulátorů.....	14
1.2.3 Měření kapacity článků a akumulátorů.....	15
1.3 Nabíjení a vybití akumulátorů.....	15
1.3.1 Nabíjení konstantním napětím.....	15
1.3.2 Nabíjení konstantním proudem.....	16
1.3.3 Nabíjení Li-Pol akumulátoru.....	16
<b>2 SBĚRNICE CAN (CONTROLLER AREA NETWORK).....</b>	<b>18</b>
<b>3 PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>21</b>
3.1 Návrh DPS.....	21
3.2 Nabídka součástek.....	21
3.3 Procesorová platforma NXP.....	23
3.4 Popis jednotlivých bloků.....	25
3.4.1 Blok měření napětí.....	25
3.4.2 Měření proudu.....	26
3.4.3 Blok napájení.....	28
3.5 Popis programu.....	30
3.6 Chyby.....	34
3.7 Měření na funkčním zařízení a jeho parametry.....	34
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>39</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>	<b>40</b>
<b>PŘÍLOHA A SCHÉMA A NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE.....</b>	<b>42</b>
<b>PŘÍLOHA B FOTOGRAFIE FINÁLNÍHO VÝROBKU.....</b>	<b>45</b>
<b>PŘÍLOHA C ROBOT CRAWLER.....</b>	<b>46</b>



## Úvod

Tématem mé bakalářské práce je projekt pro správu baterie Li-Pol pro čtyřkolového robota Crawler na Katedře aplikované elektroniky a telekomunikací. Robot slouží převážně pro výukové účely či pro prezentaci fakulty při akcích pro veřejnost.

Hlavní náplní této práce je ochrana lithium polymerových akumulátorů před jejich úplným, tedy destruktivním, vybitím. Zařízení je schopno měřit napětí na každém článku zvlášť a naměřená data posílat po sběrnici CAN, ze které je mohou číst další periferie robota. V případě potřeby zařízení odpojí ostatní periferie od napájení a tím i vypne celého robota.

Z hlediska členění je práce strukturována do tří kapitol. První kapitola této práce je zaměřena na problematiku Lithiových akumulátorů, zaměřeno převážně na Li-Pol akumulátory, jejich parametry a druhy nabíjení. Následně bude čtenář seznámen se základní teorií o CAN sběrnici.

Třetí kapitola se zabývá praktickou částí práce a vývojem výrobku od návrhu až po finální produkt. Je zde popsáno jak postupovat při návrhu DPS, jaký software lze využít, jaké zvolit součástky a jak desku oživit. Výběr mikrokontroléru, jeho oživení a nezbytné součásti pro naprogramování. Vysvětleno jak je řešeno napájení desky a měření vstupních veličin (napětí a proud) z akumulátorů, včetně popisu přesnosti měření. Poté zde nalezneme popis programu i s vývojovými diagramy, pro jednodušší pochopení jak zařízení pracuje. Popis chyb, kterých jsem se dopustil při návrhu zařízení a případné nápady na jeho vylepšení do budoucna. Práce je zakončena podkapitolou o měření na funkčním zařízení, kde lze nalézt vizuální výsledky z fungování zařízení v praxi.

## Seznam obrázků

<i>OBR. 1.1 MĚŘENÍ VNITŘNÍHO ODPORU AKUMULÁTORU.....</i>	13
<i>OBR. 1.2 MĚŘENÍ IMPEDANCE AKUMULÁTORU. ....</i>	14
<i>OBR. 1.3 CHARAKTERISTIKA NABÍJEČE S KONSTANTNÍM VÝSTUPNÍM NAPĚTÍM A ZÁVISLOST NABÍJECÍHO PROUDU NA DOBITÉ KAPACITĚ. ....</i>	16
<i>OBR. 1.4 NABÍJENÍ DVOUČLÁNKOVÉHO LI-POL AKUMULÁTORU. (PŘEVZATO Z [2], STR. 4) .....</i>	17
<i>OBR. 2.1 RÁMEC SBĚRNICE CAN. V DOLNÍM ŘÁDKU POČTY BITŮ POLÍ. (PŘEVZATO Z [4]).....</i>	19
<i>OBR. 2.2 PŘIPOJENÍ UZLŮ NA SBĚRNICI CAN. ....</i>	19
<i>OBR. 3.1 ROZMÍSTĚNÍ PINŮ NA PROCESORU. (PŘEVZATO Z [6], STR. 30).....</i>	23
<i>OBR. 3.2 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ MIKROKONTROLÉRU. ....</i>	24
<i>OBR. 3.3 BLOK MĚŘENÍ NAPĚTÍ ZA POMOCÍ REZISTOROVÉHO DĚLIČE. ....</i>	25
<i>OBR. 3.4 GRAF ZNÁZORNŮJÍCÍ ZMĚNU PŘEVODNÍHO POMĚRU V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ. (PŘEVZATO Z [7], STR. 11).....</i>	27
<i>OBR. 3.5 ZÁVISLOST POKLESU NAPĚTÍ NA PROUDOVÉM ZATÍŽENÍ REGULÁTORU. (PŘEVZATO Z [8], STR. 8).....</i>	29
<i>OBR. 3.6 BLOK NAPÁJENÍ. ....</i>	30
<i>OBR. 3.7 VÝVOJOVÝ DIAGRAM MAIN.C.....</i>	31
<i>OBR. 3.8 VÝVOJOVÝ DIAGRAM SOUBORU EVENTS.C. ....</i>	33
<i>OBR. 3.9 GRAF NAPĚTÍ NA AKUMULÁTORU V ZÁVISLOSTI NA ČASE, PŘI KLIDOVÉM REŽIMU. ....</i>	35
<i>OBR. 3.10 GRAF ODBĚRU PROUDU Z AKUMULÁTORU, PŘI KLIDOVÉM REŽIMU. ....</i>	36
<i>OBR. 3.11 GRAF ODEBRANÉ ENERGIE Z AKUMULÁTORU V ZÁVISLOSTI NA ČASE, PŘI KLIDOVÉM REŽIMU. ....</i>	36
<i>OBR. 3.12 GRAF ODBĚRU PROUDU Z AKUMULÁTORU V ZÁVISLOSTI NA ČASE, PŘI ZATÍŽENÍ.....</i>	37
<i>OBR. 3.13 GRAF NAPĚTÍ NA AKUMULÁTORU V ZÁVISLOSTI NA ČASE, PŘI ZATÍŽENÍ. ....</i>	37
<i>OBR. 3.14 GRAF ODEBRANÉ ENERGIE Z AKUMULÁTORU V ZÁVISLOSTI NA ČASE, PŘI ZATÍŽENÍ. ..</i>	38
<i>OBR. A.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ JEDNOTKY PRO SPRÁVU NAPÁJENÍ .....</i>	42
<i>OBR. A.2 DOLNÍ STRANA DESKY JEDNOTKY PRO SPRÁVU NAPÁJENÍ. ....</i>	43
<i>OBR. A.3 HORNÍ STRANA DESKY JEDNOTKY PRO SPRÁVU NAPÁJENÍ. ....</i>	43
<i>OBR. A.4 POTISK SPODNÍ STRANY DESKY .....</i>	44
<i>OBR. A.5 POTISK HORNÍ STRANY DESKY.....</i>	44
<i>OBR. B.1 HOTOVÉ A OSAZENÉ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ. ....</i>	45
<i>OBR. C.1 FOTOGRAFIE ČTYŘKOLOVÉHO ROBOTA CRAWLER.....</i>	46

## Seznam symbolů a zkratk

CAN	Controller Area Network. Sběrnice pro komunikační síť v automobilu.	
HW	Hardware. Fyzicky existující elektronické vybavení.	
MCU	Microcontroller Unit. Jednočipový mikropočítač.	
Li-Pol	Lithium polymerový akumulátor.	
DPS	Deska plošných spojů.	
LDO	Low-dropout. Napěťový regulátor s nízkým poklesem napětí.	
MOSFET	Polem řízený tranzistor.	
NiMH	Nikl-metal hydridový akumulátor.	
NiCd	Nikl-kadmiový akumulátor.	
FLASH	Elektricky programovatelná paměť s libovolným přístupem.	
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory. Elektricky mazatelná paměť pouze pro čtení.	
RAM	Random Acces Memory. Paměť s libovolným přístupem.	
A/D	Analog to Digital Converter. Analogově-digitální převodník.	
CD	Compact Disc. Kompaktní disk.	
$U$	Napětí.	[V]
$I$	Proud.	[A]
$R$	Elektrický odpor.	[ $\Omega$ ]
$Z$	Impedance.	[ $\Omega$ ]
$Q$	Kapacita akumulátoru.	[mAh]
$t$	Čas.	[s]
$F$	Síla.	[N]
$e$	Elektrický náboj.	[C]
$E$	Intenzita elektrického pole.	[V $m^{-1}$ ]
$v$	Rychlost náboje.	[ $ms^{-1}$ ]
$B$	Magnetická indukce.	[T]
$l$	Délka.	[m]

# 1 Lithiové akumulátory

V této kapitole se budu zabývat problematikou Lithiových akumulátorů a článků, se zaměřením na Lithium Polymerové akumulátory, měřením jejich parametrů a jejich nabíjením.

Lithium je kovový chemický prvek se standardním elektrolytickým potenciálem 3,045 V. Lithiové baterie používají takovou zápornou elektrodu, která poskytuje co největší náboj i energii, velikost náboje je určena poměrnou atomovou hmotností (7 g lithia odevzdá stejný náboj jako 103,5 g olova). Lithium je ve svých elektrolytech ze všech existujících látek nejvíce negativní, což přispívá k celkové energii akumulátoru a lithiové akumulátory jsou chemické zdroje proudu s největší možnou měrnou energií. Při výrobě, i z článku, musí být vyloučena voda a proto je zapotřebí užití bezvodných organických rozpouštědel. [1]

## 1.1 Akumulátory Li-Pol

Lithium polymerové akumulátory jsou velmi podobné lithium iontovým akumulátorům, ale bez některých nedostatků. Li-Pol akumulátory vydrží i špatné zacházení, tj. například plně nabitý Li-Pol akumulátor může být propíchnut hřebíkem a nedojde k výbuchu nebo k požáru.

Jako elektrolyt se původně používal plastový anodový materiál a SPE (pevný polymerní elektrolyt). Nyní se používá gelový elektrolyt a separátor.

Spíš než tradiční kovy používané v jiných malých dobíjecích člancích, používají lithium polymerové akumulátory tenký obalový materiál na bázi polymerů (110  $\mu\text{m}$ ), který obsahuje elektrochemické materiály. Lithium polymerové akumulátory patří v současné době mezi perspektivní zdroje energie v elektrických pohonech, alespoň v oblasti proudů řádově do 10 ÷ 40 A. V případě, že dodržíme základní zásady bezpečnosti provozu, nejsou nebezpečné. Důležité je zvolit vhodný typ akumulátoru vzhledem k uvažovaným vybíjecím proudům.

Abychom předešli poškození lithium polymerových akumulátorů je zapotřebí je chránit ochranným obvodem a to tak, že budeme sledovat napětí na článku. Díky tomu dokážeme zjistit, zda článek není příliš vybitý nebo přebitý a přerušit vybíjení/nabíjení článku, pokud se napětí odchyluje od normálních hodnot (minimálně 3,0 V na článek a maximálně 4,2 V na článek). Článek je odpojen i v případě že odebíraný proud je příliš velký, tato detekce se obvykle provádí pomocí tepelných pojistek. [1], [2], [9]

### 1.1.1 Vlastnosti a využití

Plně nabitý článek má napětí 4,2 V a minimální napětí jednoho článku jsou 3,0 V, tyto hodnoty nesmíme překročit, mohlo by dojít k nenávratnému zničení článku.

Akumulátory Li-Pol mají následující vlastnosti:

- Kladný hliníkový vývod je standardně plátován niklem pro snadné pájení.
- Žádné vložené pojistky (nezvětšuje se zbytečně vnitřní odpor akumulátoru).
- Impedance je udávána při kmitočtu 1 kHz a cca polovičním vybití akumulátorů.
- Počet cyklů při proudu 0,5C je 500 a je udán pro pokles kapacity na 80 %.
- Po 100 cyklech při vybíjení max. proudem klesne kapacita o 15 až 20 %.
- Střední vybíjecí napětí je cca 3,6 V / článek.
- Samovybíjení je minimální (procenta za měsíc).
- Nemají napěťovou depresi či „paměťový“ jev.

Nabíjení:

- Maximální nabíjecí napětí je 4,2 V  $\pm$  0,03 V / článek.
- Nabíjecí proud 1C (pro akumulátory vybité pod 2,9 V maximálně 0,1C).
- Teplota nabíjených článků musí být v rozsahu 0 °C až 45 °C.
- Nikdy nenabíjejte články pólované opačně.
- Na nabíječe nastavte maximální proud (nebo proudové omezení) na hodnotu 1 až 3C, dle typu akumulátoru.

Vybíjení akumulátorů:

- Vybíjecí proud je 2 až 3C pro standardní akumulátory, některé typy až 20C. Vybíjení vyššími proudy může články poškodit nebo zničit.
- Teplota při vybíjení by měla být v rozsahu -10 °C až +60 °C.
- Vybíjení je nutno ukončit při napětí 3 V / článek. Vybití na nižší napětí může články poškodit nebo zničit.
- Zkrat může články poškodit nebo zničit.

## 1.2 Parametry a grafické závislosti

V této kapitole se zaměřím na parametry akumulátorů. Budu se zde zabývat měřením a problematikou nabíjení článků.

### 1.2.1 Měření vnitřního odporu článku nebo akumulátoru

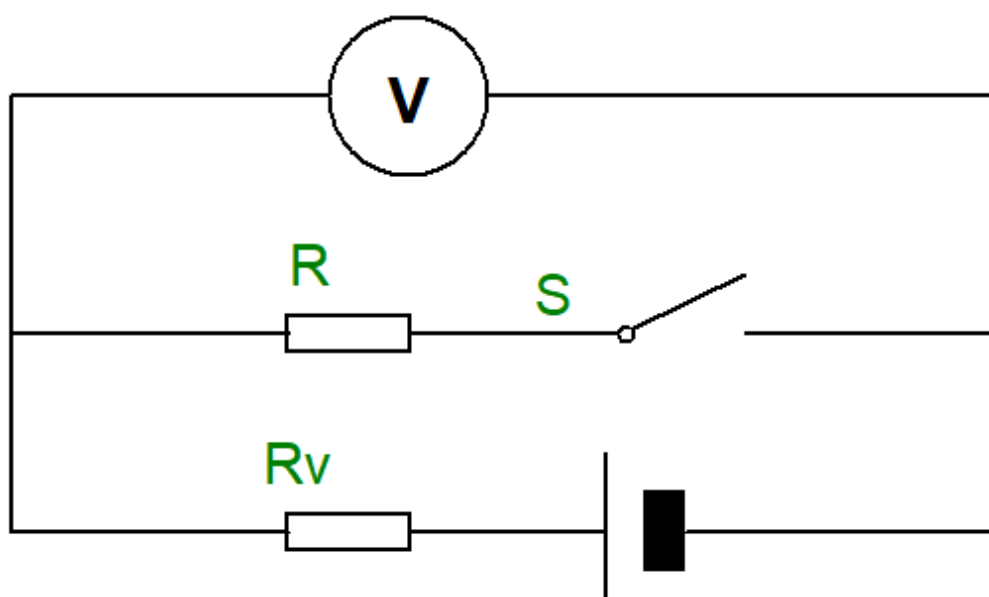
Při měření vnitřního odporu  $R_V$  dle Obr. 1.1 nejprve změříme voltmetrem, s velkým vnitřním odporem, napětí naprázdno  $U_0$ . Potom za pomoci spínače S připojíme zátěž a změříme napětí na zatíženém článku  $U_Z$ . Odpor zátěže musí být dimenzován tak, aby snesl proudové zatížení alespoň 1/10 kapacity akumulátoru. Vnitřní odpor poté lze určit ze vztahu ( 1.1 ) a zároveň s touto rovnicí platí také ( 1.2 ). Kombinací těchto dvou rovnic získáváme výsledný vztah pro vnitřní odpor ( 1.3 ).

$$I_Z = \frac{U_Z}{R_Z} \quad (1.1)$$

$$I_Z = \frac{U_0 - U_Z}{R_V} \quad (1.2)$$

$$R_V = \frac{R_Z \cdot (U_0 - U_Z)}{U_Z} \quad (1.3)$$

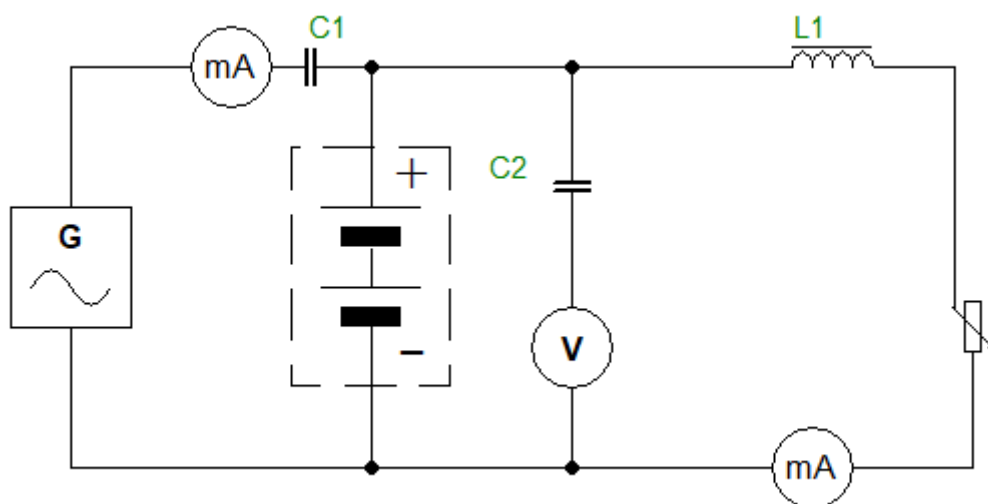
Vnitřní odpor článku a akumulátoru se během vybíjení a nabíjení mění, není konstantní. Vnitřní odpor akumulátoru se během vybíjení zmenšuje, což má za následek zmenšení pracovního napětí.



Obr. 1.1 Měření vnitřního odporu akumulátoru.

### 1.2.2 Měření impedance článků a akumulátorů

Impedance je důležitou, avšak často zanedbávanou, vlastností článků. Impedance se nejvíce uplatňuje tehdy, pokud článek používáme jako součást obvodů elektronických zesilovačů apod. Takový obvod může po určité době značně změnit svoje vlastnosti, aniž by došlo ke snížení svorkového napětí pod přípustnou mez. Impedance akumulátorů a jiných elektrochemických zdrojů se během vybíjení mění. Proto je vhodné znát její velikost v několika bodech vybíjecí charakteristiky akumulátoru. Často si vystačíme pouze s impedancí nabitého a vybitého článku.



Obr. 1.2 Měření impedance akumulátoru.

Impedance se měří podle zapojení Obr. 1.2, měříme ji při zatížení obvyklým zatěžovacím proudem článku. Paralelně k akumulátoru připojíme zdroj střídavého proudu o kmitočtu 1 kHz, napětí zjistíme střídavým voltmetrem. Paralelně k akumulátoru připojíme zátěž  $R_z$  přes oddělovací tlumivku, aby se neuplatnila impedance zátěže. To samé musíme zajistit u oddělovacího kapacitoru, jeho impedance musí být co nejmenší pro daný měřicí kmitočet. U voltmetru bychom měli zajistit co největší vnitřní odpor, aby chyba měření byla co nejmenší, alespoň  $0,5 \text{ M}\Omega / 1 \text{ V}$  a kapacita kapacitoru C2 by se měla pohybovat okolo  $10 \mu\text{F}$ . Musíme si dát pozor, aby střídavé napětí na svorkách článku nebylo větší než 5 % stejnosměrného napětí článku. Toto napětí lze snadno ovlivnit velikostí střídavého proudu, jenž projde přes kapacitor C1. Impedanci  $Z$  pak určíme z rovnice:

$$Z = \frac{U}{I}, \quad (1.4)$$

kde  $I$  je údaj z miliampérmetru a  $U$  údaj z voltmetru.

### 1.2.3 Měření kapacity článků a akumulátorů

Kapacita je nejdůležitější parametr každého článku a akumulátoru. Při měření kapacity se článek nebo akumulátor vybíjí přesně určeným proudem, který je určený zatěžovacím rezistorem a současně se při tom měří svorkové napětí. Napětí hlídáme, dokud se nedostane pod mez určenou výrobcem nebo normou jako charakteristické napětí pro vybitý stav, a zjistíme vybíjecí čas  $t$ . Sledujeme průměrné svorkové napětí po celou dobu vybíjení. Celkovou kapacitu článku lze určit vztahem:

$$Q = \frac{U_p \cdot t}{R}, \quad (1.5)$$

kde  $t$  je celková doba vybíjení,  $U_p$  je průměrné svorkové napětí během vybíjení a  $R$  je hodnota zatěžovacího rezistoru.

Životnost akumulátoru je určena počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů, po které se jmenovitá kapacita nezmenší pod určitou mez, pokud nedojde k mechanickému poškození. Měřený údaj kapacity akumulátoru by měl vždy obsahovat dodatečné informace o nejrůznějších vnějších vlivech. Kapacita akumulátoru obecně závisí na hustotě elektrolytu, teplotě, stupni opotřebování a způsobu nabíjení a vybíjení. [1]

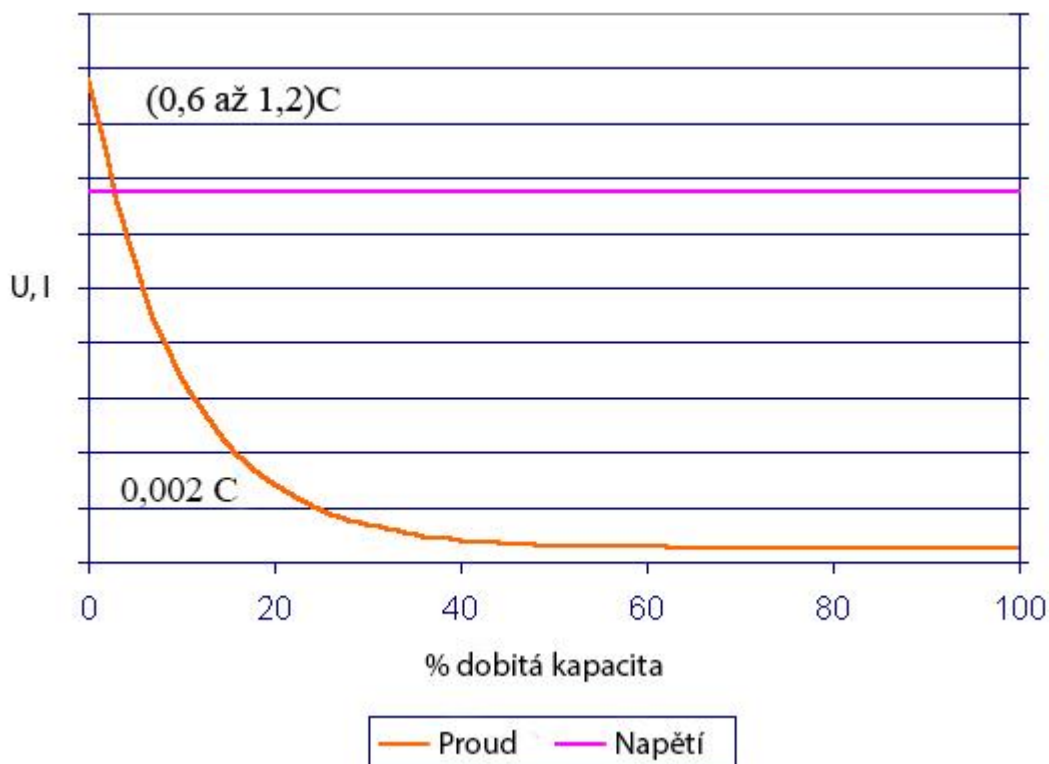
## 1.3 Nabíjení a vybíjení akumulátorů

### 1.3.1 Nabíjení konstantním napětím

Nabíjení konstantním napětím, občas nazývané jako nabíjení konstantním potenciálem, jak již z názvu vypovídá je založeno na stejnosměrném zdroji. Po připojení zdroje konstantního napětí je patrný velký počáteční proud kvůli velkému rozdílu potenciálu mezi akumulátorem a zdrojem *Obr. 1.3*. To způsobuje ohřátí elektrolytu. Nabíjení s konstantním napětím je schopno vcelku rychle dobít akumulátor, až 70 % kapacity během prvních třiceti minut. Ale čím je rozdíl potenciálů menší tím se i zmenšuje nabíjecí proud a zdatelně prodlužuje čas do plného nabití. Velikost nabíjecího napětí by se měla rovnat velikosti plynovacího napětí akumulátoru s velkou přesností, odchylka 1 %.

Na prvním grafu můžeme vidět volt ampérovou charakteristiku zdroje konstantního napětí a na druhém obrázku závislost nabíjecího proudu na čase  $t$ . Metoda nabíjení konstantním napětím se používá pro nabíjení olověných dopravních a startovacích akumulátorů, nikl-kadmiových akumulátorů a stříbrozinkových akumulátorů. Nabíječky s konstantním napětím se využívají nejčastěji tam kde je třeba obnovení vysokého procenta kapacity baterie za krátkou dobu. [1], [3]





Obr. 1.3 Charakteristika nabíječe s konstantním výstupním napětím a závislost nabíjecího proudu na dobité kapacitě.

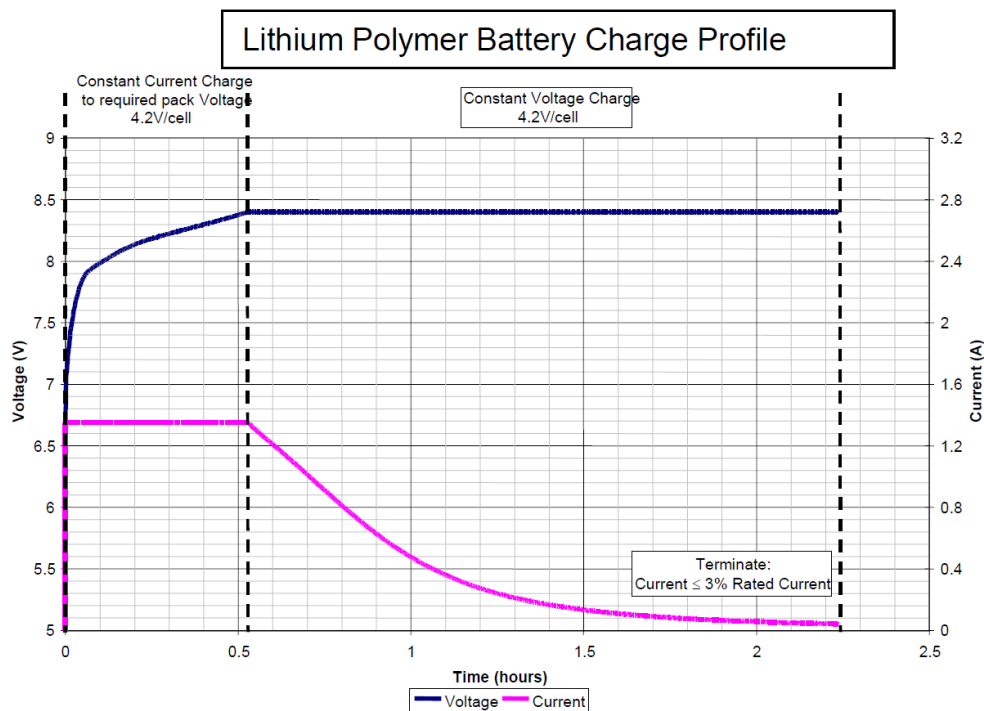
### 1.3.2 Nabíjení konstantním proudem

Nabíjení konstantním proudem jednoduše znamená, že nabíječ dodává stejný proud bez ohledu na stav nabití nebo teploty akumulátoru. Nabíjení konstantním proudem pomáhá vyrovnat články a akumulátory zapojené do série. Tato metoda se většinou používá pro nabíjení NiCd a nebo NiMH akumulátorů. [1]

### 1.3.3 Nabíjení Li-Pol akumulátoru

V této kapitole se budu zabývat nabíjením Li-Pol akumulátorů. Pár zásad ohledně nabíjení Li-Pol akumulátorů je již zmíněno v kapitole 1.1.1, nejdůležitější je nepřekročit maximální nabíjecí napětí, 4,2 V a dodržení teploty nabíjených článků 0 °C až 45 °C. Většina akumulátorů obsahuje ochranný obvod, který zabraňuje přebíjení a nadměrnému vybití. Ochranný obvod akumulátoru také omezuje napájecí napětí na 4,2 V a obsahuje teplotní čidlo, které odpojí nabíjení pokud, teplota dosáhne 90 °C. Při přílišném přebíjení se článek zahřívá a může až vzplanout. Tento ochranný obvod by měl sloužit až jako poslední stupeň ochrany a nemůžeme na něj vždy spoléhat, proto je vždy dobré navrhnout vlastní řešení ochrany akumulátoru. Lithium polymerové články nepodporují rychlé nabíjení, proto by se nikdy neměli nabíjet proudem větším než 1C.

Akumulátor se nabíjí ve dvou cyklech, tyto cykly nazýváme CC/CV. První cyklus při konstantním proudu (Constant Current) a druhý cyklus při konstantním napětí (Constant Voltage). První fáze nabíjení při konstantním proudu trvá, dokud napětí na článku nedosáhne 4,1 až 4,2 V. Po dosažení tohoto napětí se spustí nabíjení s konstantním napětím (4,2 V na článek), dokud se nabíjecí proud nesníží na 3 % ze jmenovitého proudu (1C). [2]



Obr. 1.4 Nabíjení dvoučlánekového Li-Pol akumulátoru. (Převzato z [2], str. 4)

## 2 Sběrnice CAN (Controller Area Network)

V této kapitole se budu zabývat sběrnicí CAN, která je využita v čtyřkolovém robotovi Crawler.

CAN BUS (Controller Area Network) je datová komunikační síť pro distribuované řídicí aplikace pracující v reálném čase. Byla vyvinuta firmou Bosch koncem 80. let minulého století, nasazuje se především v automobilovém průmyslu, zabezpečovacích systémech, pro komunikaci v průmyslových aplikacích (díky velké odolnosti vůči rušení) a pro sběr dat v distribuovaných systémech. Původně se zaměřovala na úsporu kabelů a zabezpečení komunikace mezi snímači, řídicími jednotkami a výkonovými prvky v automobilech. Ale díky vlastnostem a podpoře výrobců hardwaru se tento systém velmi rychle rozšířil a získal mezinárodní standard ISO 11898. Vybrána byla pro svoje vlastnosti vyhovující modulárnímu konceptu mobilní platformy, které jsou následující:

- Zaručená doba odezvy.
- Podpora režimu „multimaster“ (každý uzel může vysílat bez potřeby řídicího uzlu).
- Není pevně daná struktura (na čtyřkolového robota Crawler lze kdykoli přidat další jednotky a pouze rozšířit protokol o nové identifikátory, které zpracuje hlavní řídicí jednotka, což je jednoznačná výhoda pro budoucí rozvoj projektu).
- Prioritní rozhodování na základě identifikátoru (například zprávy pro motory mají vyšší prioritu než zprávy od senzorů).
- Rámce můžou obsahovat až 8 bytů (dostatečně dlouhé pro zprávy v platformě).
- Hardwarová detekce chyb a automatické znovu vyslání chybných rámců.
- Autonomní odpojení poškozených jednotek.
- Přenosová rychlost až 1 Mb/s, v závislosti na délce sběrnice *Tab. 2.1*.
- Norma CAN2.0A pro 11b identifikátor (zajišťující  $2^{11}$  různých zpráv) a CAN2.0B pro 29b identifikátor (zajišťující  $2^{29}$  různých zpráv).

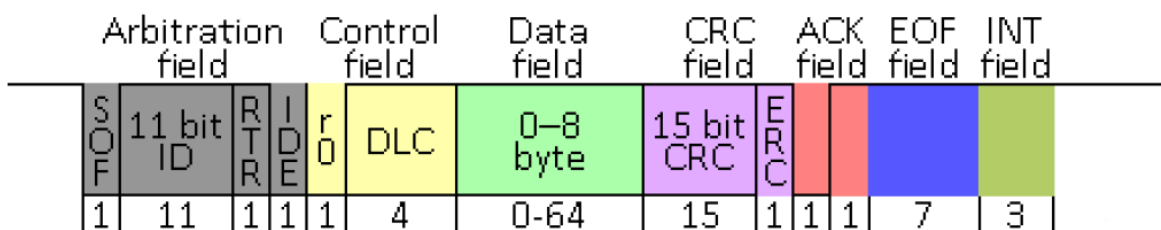
*Tab. 2.1 Závislost přenosové rychlosti na délce sběrnice.*

Přenosová rychlost	Maximální délka sběrnice
5 kBit/s	10 km
100 kBit/s	620 m
500 kBit/s	130 m
1 MBit/s	40 m

Sběrnice obsahuje ve své specifikaci fyzickou a linkovou vrstvu, což umožňuje vykonávat většinu funkcí přímo v řadiči (např. detekce chyb pomocí kontrolního součtu) a uspořit tak výpočetní výkon MCU na připojené jednotce. Ale nespécifikuje použité médium a napěťové úrovně. Ve sběrnici CAN se využívá diferenční vedení, které je schopné přenést dominantní „0“ a recesivní „1“.

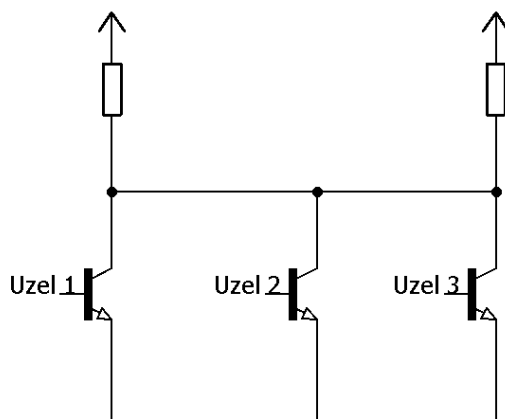
Topologie je sběrnice. Toto vedení je nejčastěji realizováno kroucenou dvojlínkou zakončenou rezistorem o hodnotě 120  $\Omega$ , vodiče jsou označeny CANH a CANL. Výhodou diferenčního vedení je, že rušení se indukuje do obou vodičů a diferenční napětí se nemění, což se hodí zejména v blízkosti motorů čtyřkolového robota. Signál se kóduje na bitové úrovni NRZ metodou pro datový a remote rámeček se z důvodu synchronizace používá kódování za použití bit stuffingu:

- Při kódování po pěti bitech stejné úrovně vložíme bit úrovně opačné.
- Při dekódování po pěti bitech stejné úrovně vyjmeme následující bit.



Obr. 2.1 Rámeček sběrnice CAN. V dolním řádku počty bitů polí. (Převzato z [4])

Uzly jsou na sběrnici připojeny na principu otevřeného kolektoru Obr. 2.2, jakákoli stanice je tedy schopná na sběrnici „zapsat“ „0“.



Obr. 2.2 Připojení uzlů na sběrnici CAN.

Pro další informace, detailní popis rámce a vysvětlení jednotlivých pojmů slouží dokument [4] v seznamu literatury, ze kterého jsem také čerpal informace pro tuto kapitolu.

### 3 Praktická část

V této části mé práce se zaměřím na návrh a realizaci výrobku pro správu napájení čtyřkolového robota Crawler.

#### 3.1 Návrh DPS

Při návrhu byl využit volně dostupný software pro návrh plošných spojů Eagle ve verzi 8.1.1. od společnosti AUTODESK, volně dostupný z [13] s využitím volně dostupné amatérské knihovny, odkaz na knihovnu je v seznamu literatury [5]. Při návrhu schématu je vždy zapotřebí, jako první zvolit procesorovou platformu, mikrokontrolér, tak aby periférie mikrokontroléru vyhovovali potřebě projektu. Od mikrokontroléru se odvíjí napájecí napětí celé desky, zpravidla 3,3 nebo 5 V. Při návrhu plošného spoje (DPS), je zapotřebí správně dimenzovat šířku vodivých cest. To se odvíjí také od tloušťky měděné fólie na desce, šířka většinou 35  $\mu\text{m}$ . Jak při vývoji schématu tak DPS, by součástky spadajícího do jednoho funkčního bloku měli být co nejbliže u sebe. A to z přehlednosti a také kvůli správně funkčnosti.

#### 3.2 Nabídka součástek

Při návrhu bylo vycházeno z volně dostupných součástek, které jsou lehce k dostání. Převážnou část tvoří součástky typu SDM pro plošnou montáž a to z důvodu minimalizace rozměrů výrobku. U rezistorů a kapacitorů se setkáme převážně s pouzdem 0805, tento údaj nám říká, že součástka je dlouhá 0,08 palce (2 mm) a široká 0,05 palce (1,27 mm). Pro propojení s akumulátory, motory a ostatními deskami byli použity konektory FASTON, které se nachází na prvních pozicích v *Tab. 3.1*. V prvním sloupci je pojmenování součástky ve schématu, ve druhém sloupci poté její hodnota (pokud jí má), ve třetím sloupci se nachází název součástky v knihovně a poslední sloupec označuje pouzdro součástky. Tato tabulka byla vyexportována z programu Eagle.

*Tab. 3.1 Přehled součástek*

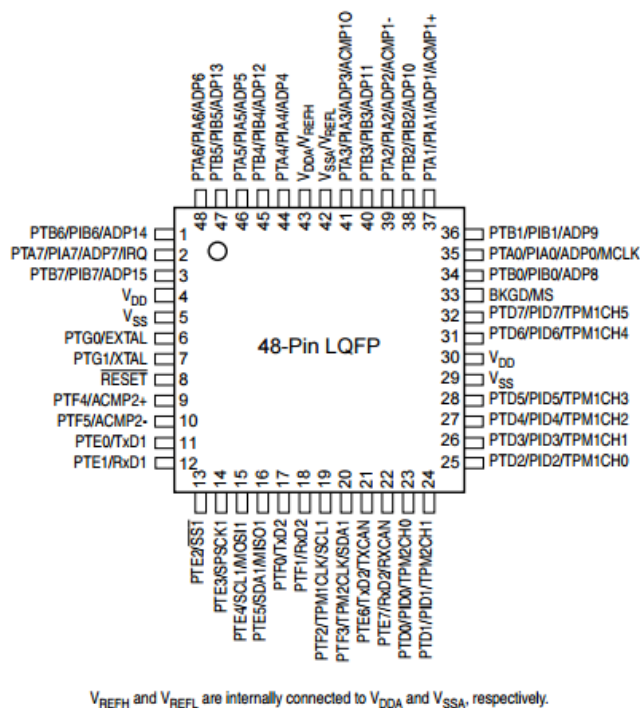
Part	Value	Device	Package
BAT		PIN2F061.060	F061.060
BAT/2		PIN2F061.060	F061.060
BGND1		PIN2F061.060	F061.060
BGND2		PIN2F061.060	F061.060
BGND3		PIN2F061.060	F061.060
C1	1 $\mu\text{F}$	C-KER_0805	805
C2	1 $\mu\text{F}$	C-KER_0805	805

C3	10 $\mu$ F/10 V	CPOL-EU153CLV-0505	153CLV-0505
C4	1 $\mu$ F	C-KER_0805	805
C5	27 pF	C-KER_0805	805
C6	27 pF	C-KER_0805	805
C7	100 nF	C-KER_0805	805
C8	1 $\mu$ f	C-KER_0805	805
C9	100 $\mu$ F/25 V	CPOL-EUE5-6	E5-6
C10	100 $\mu$ F/25 V	CPOL-EUE5-6	E5-6
C11	100 nF	C-KER_0805	805
C12	100 nF	C-KER_0805	805
D1	1N5819	BAV17	DO35-10
D2	4.5 V	ZENER-DIODESOD80C	SOD80C
D3	BAT54S	BAS40-04	SOT23
D4	BAT54S	BAS40-04	SOT23
DESKY		PIN2F061.060	F061.060
F1	3 A	SH22,5 A	SH22,5A
IC1	ACS758ECB-20	ACS758ECB-200B-PFF-T	CB-PFF
IC2	MC9S08DZ96	MC9S08DZ96	TQFP48_7X7
JP1		PINH-2X2	2X02
1.00		LEDCHIPLED_1206	CHIPLED_1206
1.01		LEDCHIPLED_1206	CHIPLED_1206
1.02		LEDCHIPLED_1206	CHIPLED_1206
M+	PIN2F061.060	PIN2F061.060	F061.060
Q1	CSM-7X-DU	CSM-7X-DU	CSM-7X-DU
Q3	IRFR5305	IRFR5305	D-PAK_TO252
R1	1 M $\Omega$	R-EU_R0805	R0805
R2	10 k $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
R3	10 k $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
R4	10 k $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
R5	100 k $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
R6	200 k $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
R7	200 k $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
R8	100 k $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
R9	300 $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
R10	300 $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
R11	300 $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
R12	100 k $\Omega$	R-EU_M0805	M0805
S1		10-XX	B3F-10XX
S2		10-XX	B3F-10XX
SV1		MA03-2	MA03-2
T1	BSS123	NMOSSOT23	SOT-23
U\$1	MCP2551-I/SN	MCP2551-I/SN	SOIC127P600X175-8N
U1	L4941BDT-TR	LP38691DT-3.3	TO228P1042X238-3N
X1	WAGO-TANK	WAGO-TANK	WAGO-PACKAGE

### 3.3 Procesorová platforma NXP

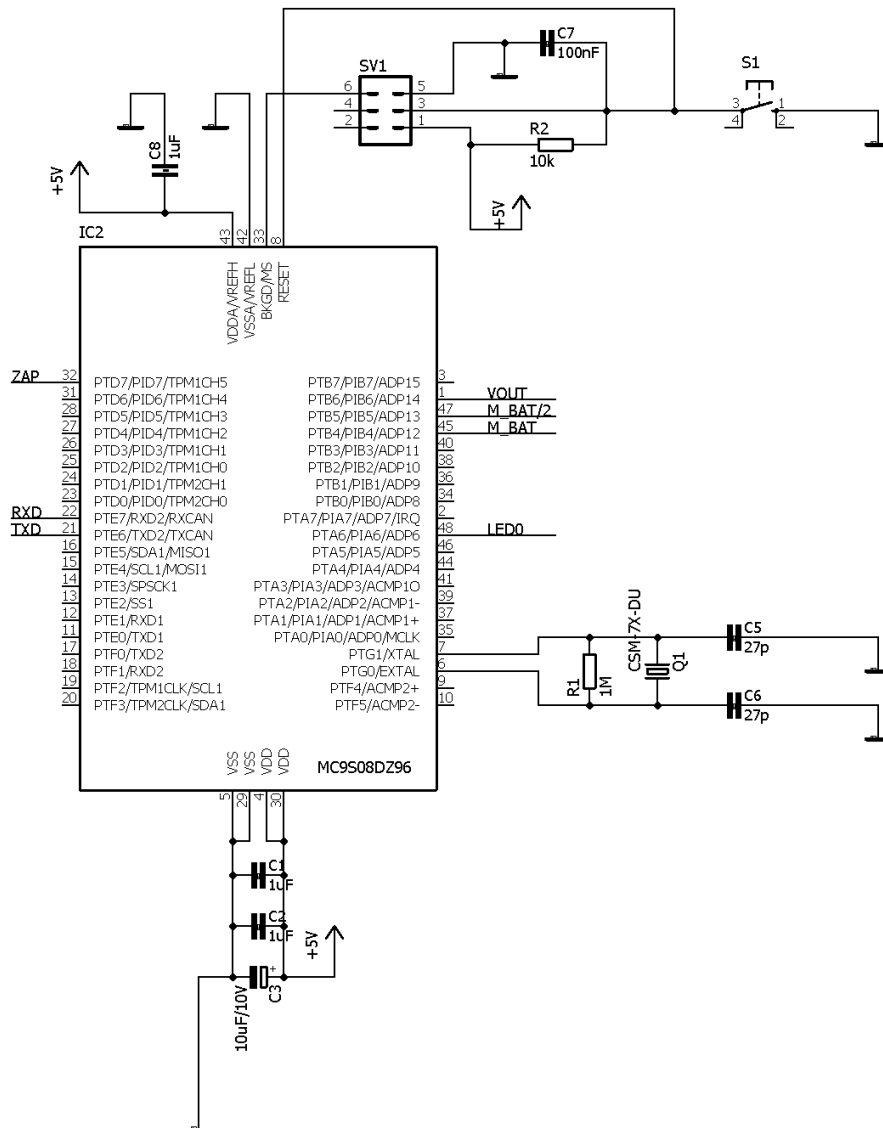
Jednotka správy napájení je založena na jednočipovém mikroprocesoru MC9S08DZ96 od společnosti NXP Obr. 3.1. Jedná se o 8-bitový mikrokontrolér s 48 piny. Disponuje pamětí typu FLASH o velikosti 96 kB, pamětí typu EEPROM o velikosti 2 kB a pamětí typu RAM o velikosti 6 kB. Podporuje režim Power-Saving Modes, který snižuje spotřebu při nečinnosti mikrokontroléru. Z periférií byl využit A/D převodník a periférie pro sběrnici CAN. A/D převodník je 12-bitový a hodnotu zvládne převést za 2,5  $\mu$ s. V aplikaci pro správu napájení je převodní čas nastaven pomocí děličky na 6,06  $\mu$ s. Periférie pro sběrnici CAN zvládá normu 2.0A a také 2.0B. [6]

Na Obr. 3.2 můžeme vidět základní zapojení mikrokontroléru. Na piny XTAL a EXTAL je připojen krystal s frekvencí 8 MHz.. Nezbytné je zapojení napájení piny VSS a VDD a také připojení referenčního napětí na pin VREFH a země na pin VREFL. Abychom mohli mikrokontrolér oživit je zapotřebí připojení programovacího kontroléru. V tomto případě má šest pinů a je zapojeno na piny BKGD/MS a  $\overline{\text{RESET}}$ , tlačítko S1 slouží pro resetování mikrokontroléru. Zapojení vychází z katalogového listu, který je k nalezení na [6].



Obr. 3.1 Rozmístění pinů na procesoru. (Převzato z [6], str. 30)





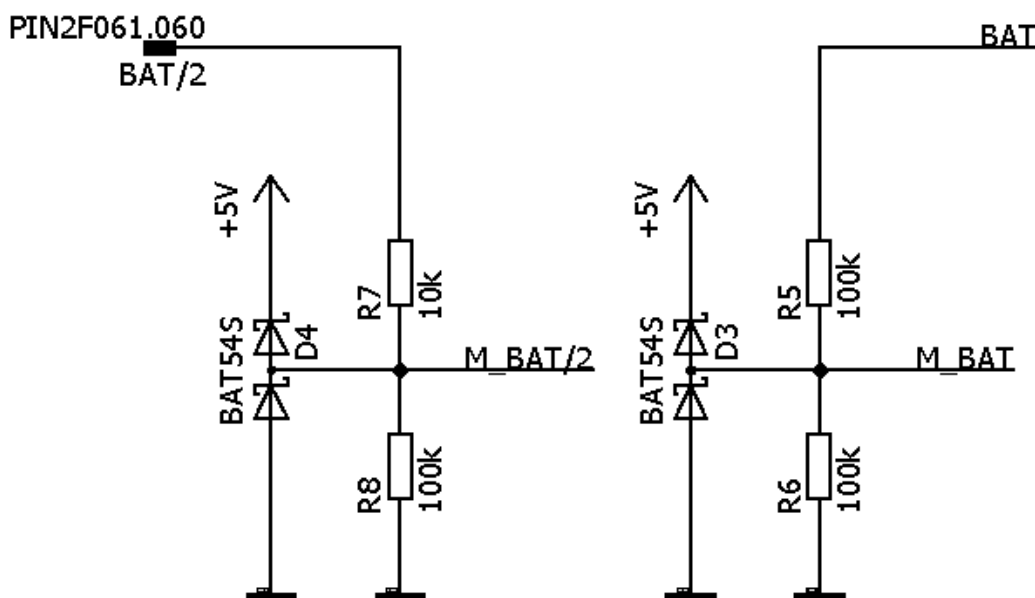
Obr. 3.2 Základní zapojení mikrokontroléru.

### 3.4 Popis jednotlivých bloků

Následující podkapitola je zaměřena na jednotlivé bloky jednotky pro správu napájení. Je zde popsáno měření proudu pomocí Hallovy sondy, měření napětí pomocí rezistorových děličů a blok napájení zařízení.

#### 3.4.1 Blok měření napětí

Měření napětí je řešeno přes rezistorový dělič *Obr. 3.3*. Měřený akumulátor se skládá ze dvou lithium polymerových článků, napětí je měřeno na obou článcích (max. 8,4 V) a poté na středním vývodu akumulátoru (max. 4,2 V). První rezistorový dělič pro oba články baterie je složen z odporů R5 (100 k $\Omega$ ) a R6 (100 k $\Omega$ ) a druhý odporový dělič pro měření napětí ze středního vývodu akumulátoru je složen z odporů R7 (10 k $\Omega$ ) a R8 (100 k $\Omega$ ). Z odporových děličů je snížené napětí vedeno do A/D převodníku mikroprocesoru MC9SO8DZ96, jenž snese maximálně 5 V, ochrana mikroprocesoru proti přepětí je řešena Schottkyho diodami D3 a D4.



*Obr. 3.3 Blok měření napětí za pomoci rezistorového děliče.*

Snížené napětí je zapotřebí přepočítat na odpovídající hodnotu. Převodní poměr lze určit z jednoduché rovnice pro dělič napětí ( 3.4 ), bohužel naměřené hodnoty multimetrem se neshodovali s hodnotami z A/D převodníku, za tuto chybu nejspíš může odchylka v hodnotě rezistorů, nepřesné referenční napětí pro porovnání a okolní rušivé vlivy. Proto

byla namísto analytické metody zvolena metoda empirická, kdy bylo za pomoci multimetru porovnáno vstupní napětí s napětím z A/D převodníku a vypočítán převodní poměr. Bylo zapotřebí provést vícero měření, aby empiricky určený převodní poměr byl co nejvíce přesný ( 3.2 ). Napětí na akumulátoru je měřeno každých 100  $\mu$ s, kdy mikroprocesor spadne do přerušení a vykoná výpočetní operaci. Pro získání co nejpřesnější hodnoty je napětí měřeno celkem 64krát a poté zprůměrováno. Počet 64 měření bylo zvoleno proto, že se jedná o mocninu 2, tudíž je možné použít bitové operace, které znatelně urychlí výpočetní čas ( 3.1 ). Rovnice ( 3.2 ) ukazuje výpočet napětí na obou člancích a rovnice ( 3.3 ) na středním vývodu akumulátoru. V první části rovnice musíme přepočítat rozsah A/D převodníku a následně vynásobit převodní konstantou, kterou jsme získali z empirického měření. Veličina  $U_C$  představuje součet všech 64 měření, veličina  $U_M$  poté zprůměrovanou hodnotu. Veličina  $U_1$  je vstupní napětí do rezistorového děliče a  $U_2$  výstupní na Obr M\_BAT a M\_BAT/2. Rezistory  $R_1$  a  $R_2$  představují v jednotce správy napájení rezistory  $R_5$ ,  $R_6$  a  $R_7$ ,  $R_8$ . Do rovnic dosazujeme v základních jednotkách, ale výsledek rovnic ( 3.2 ) a ( 3.3 ) vychází v mV.

$$U_M = \frac{U_C}{2^6} \quad (3.1)$$

$$U_1 = \frac{U_M \cdot 5000}{2^{12}} \cdot \frac{20041}{10000} \quad (3.2)$$

$$U_1 = \frac{U_M \cdot 5000}{2^{12}} \cdot \frac{11004}{10000} \quad (3.3)$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (3.4)$$

### 3.4.2 Měření proudu

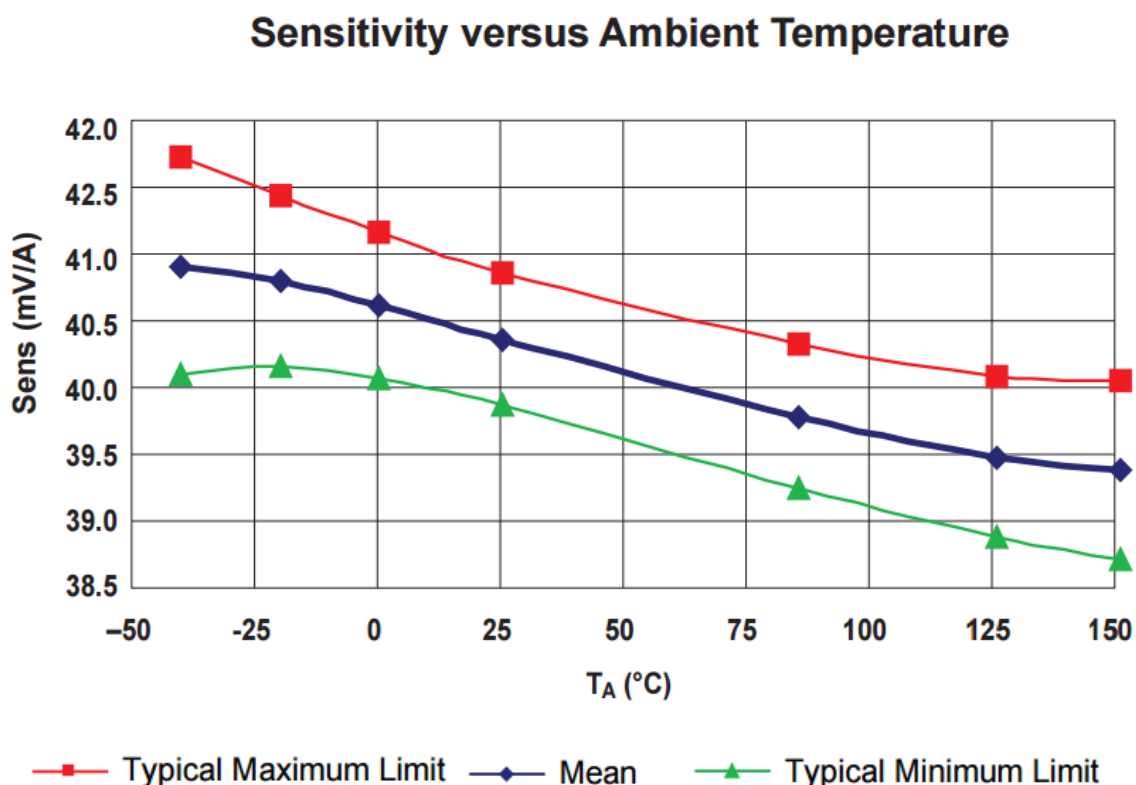
Měření proudu je řešeno pomocí Hallovy sondy, která využívá Hallův jev objevený Edwinem Hallem v roce 1879. Poprvé byl objeven v kovech, ale prakticky se ho podařilo realizovat v polovodičích, řadí se mezi galvanomagnetické jevy. Jev je založen na Lorentzově síle ( 3.5 ), která mění směr pohybu částic.

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E} + e(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (3.5)$$

Jev je nejsilnější u tenkého plochého vodiče, vektor vnějšího magnetického pole  $\mathbf{B}$  musí být kolmý na tento vodič. Magnetická síla působí na částice s nábojem, vychyluje je ze svého původního směru, a tak vznikne nerovnoměrné rozdělení částic s nábojem. Nerovnoměrné rozložení náboje zapříčiní vznik elektrického pole s intenzitou  $\mathbf{E}$ , které silově působí proti magnetickému poli  $\mathbf{B}$ . Tomu odpovídá Hallovo napětí ( 3.6 ).

$$U_H = R_H \cdot \frac{BI}{l} \quad (3.6)$$

Při návrhu byla zvolena Hallova sonda ACS758LCB-050B-PFF-T od ALLEGRO MICROSYSTEMS, napájecí napětí se může být 3,3 nebo 5 V. Vybraná sonda je schopna měřit proud protékající oběma směry. Výstupní veličinou je napětí, převodní poměr je 40 mV / A, tento převodní poměr se odvíjí od okolní teploty *Obr. 3.4*. Výstup je přiveden do A/D převodníku mikroprocesoru, kde je přepočítán na proudovou hodnotu. [7]



*Obr. 3.4 Graf znázorňující změnu převodního poměru v závislosti na teplotě.*

*(Převzato z [7], str. 11)*

V další verzi desky je zapotřebí k Hallově sondě zapotřebí implementovat také čidlo teploty, aby byla co nejvíce eliminována chyba způsobená závislostí měřícího převodu na teplotě. Měření je prováděno každých 100 μs, což je dostatečná doba, abychom mohli zachytit všechny krátkodobé proudové výkyvy a mohli tak správně určit proud odebraný z akumulátoru za čas. Tím se dostáváme k měření odebrané kapacity z akumulátoru, kapacita akumulátoru se udává v mAh. Odebranou energii vypočítáme dle integrálu, který můžeme dále zjednodušit:

$$Q = \int_0^t I dt = I \cdot \Delta t \quad (3.7)$$

Největší přesnost, které bylo dosaženo, při měření proudu je 30,5 mA. Při výpočtu citlivosti, je nutno nejprve spočítat maximální citlivost A/D převodníku ( 3.8 ). Víme, že citlivost sondy je 40 mV/A, musíme vycházet z hodnoty z katalogového listu. Po zavedení teplotního čidla by se tato citlivost měla měnit od okolní teploty, ze které si dokážeme určit citlivost celého měření proudu ( 3.9 ). Směr proudu, procházejícího sondou lze zjistit dle výstupního napětí, při teplotě 25 °C a proudu 0 A je výstupní napětí rovno polovině napájecího napětí.

$$\frac{5000}{2^{12}} = 1,22 \text{ mV/bit} \quad (3.8)$$

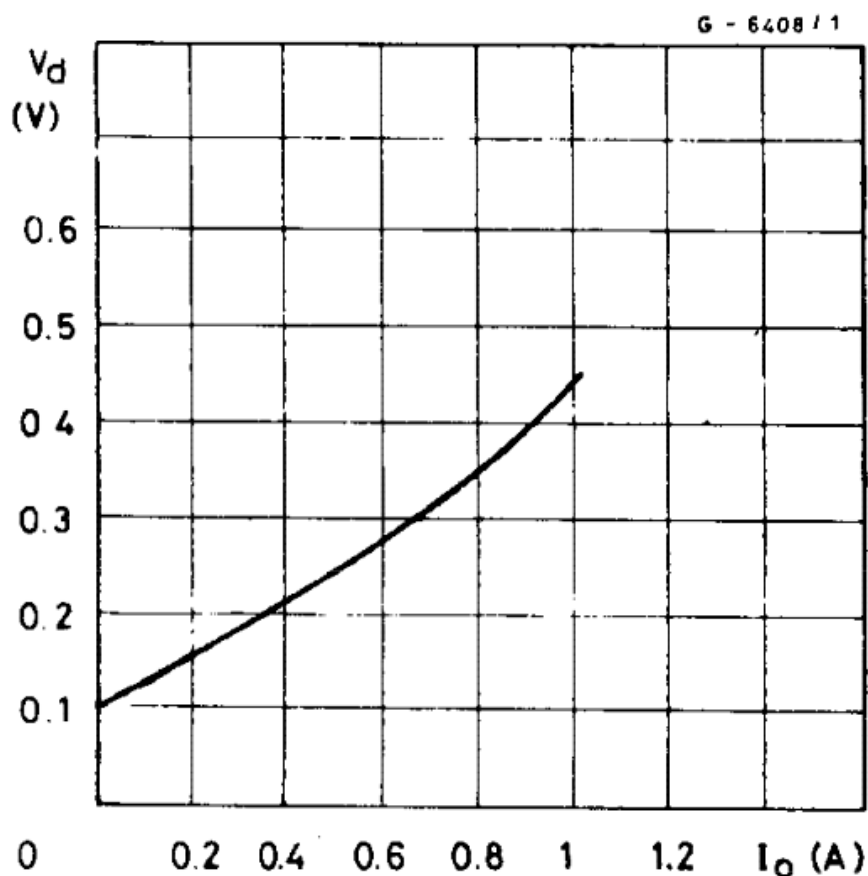
$$\frac{1,22 \text{ mV/bit}}{40 \text{ mV/A}} = 30,5 \text{ mA/bit} \quad (3.9)$$

### 3.4.3 Blok napájení

Téměř úplně vybitá baterie dodává napětí o velikosti 6,4 V a pro napájení mikroprocesoru a řadiče pro sběrnici CAN je zapotřebí 5 V. Proto blok napájení musí mít maximální pokles napětí 1,4 V, pokud by měl méně tak by mikrokontrolér a řadič pro sběrnici CAN nefungovali dle očekávání anebo by nefungovali vůbec. Čtyřkolový robot Crawler se bude dále vyvíjet a zdokonalovat, mnou vyvíjená deska bude zajišťovat napětí pro ostatní desky a také motory a proto je nezbytné přidání nadproudové pojistky F1 schopnou zvládnout až 3 A, aby nedošlo k možnému fatálnímu poškození. Blok napájení je znázorněn na *Obr. 3.6*.

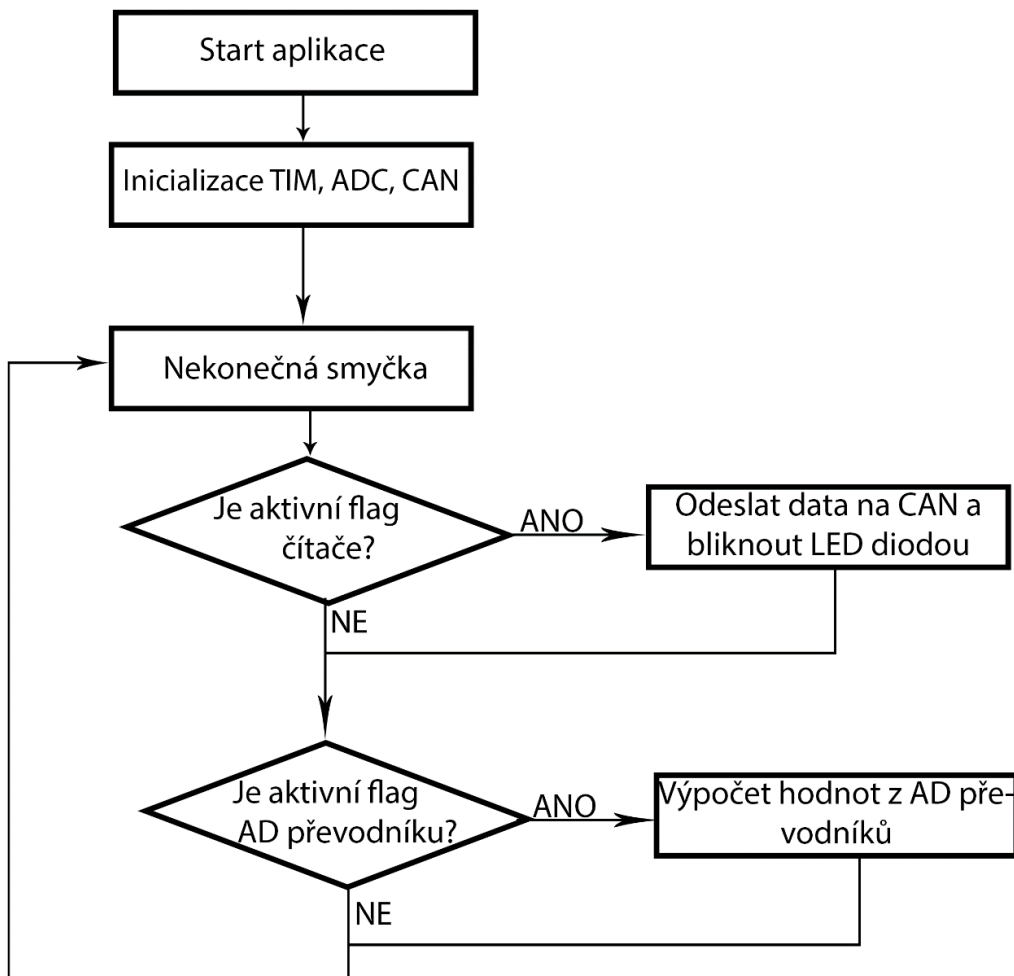
Za zmínku stojí také řešení napájení ostatních desek na čtyřkolovém robotovi Crawler, to je řešené pomocí MOSFET tranzistoru Q3 s kanálem typu P s ochrannou diodou. Ten je spínán buď manuálně pomocí tlačítka S2 a nebo softwarově pomocí MOSFET tranzistoru T1 s kanálem typu N. K otevření tranzistoru Q3 stačí krátký impuls a poté už ho drží otevřený Zenerova dioda se Zenerovo napětím 4,5 V. V budoucnu je zapotřebí k Zenerově diodě přidat paralelně rezistor spojený se zemí (pulldown), který bude udržovat tranzistor T1 v klidu zavřený. V návrhu je již zakomponovaný, ve výrobku nikoliv. Akumulátor lze odpojit i softwarově přivedením „0“ na GATE tranzistoru T1. Poté je napětí odvedeno do ostatních desek přes konektor FASTON pro jejich vlastní napájení. Bylo nezbytné umístění diody D1 kvůli filtračním kapacitorům, které se mohou vybijet zpětně do obvodu.

K regulaci napětí byl zvolen regulátor s nízkým poklesem napětí (dropoutem) L4941BDT-TR od firmy STMICROELECTRONICS v pouzdru DPAK. Tento regulátor má pokles napětí 450 mV při zatížení 1 A, při polovičním zatížení je jeho dropout 250 mV. Závislost poklesu napětí na proudovém zatížení lze zjistit z *Obr. 3.5*. Při měření vlastní spotřeby desky, bylo zjištěno, že proudový odběr desky je 75 mA a pokles napětí bude 100 mV. Výstupní napětí činí 5 V a maximální proudové zatížení je 1 A, což pro naši aplikaci dostačuje. Regulátor má integrovanou tepelnou pojistku, ochranu proti zkratu a připojení na obrácenou polaritu napětí. Dle katalogového listu [8], se doporučuje paralelně k regulátoru připojit dva filtrační kapacitory. Na vstup kapacitor s kapacitou 0,1  $\mu\text{F}$  a na výstup regulátoru elektrolytický kapacitor s kapacitou 22  $\mu\text{F}$ . Při návrhu bylo použito na vstupu, i na výstupu, paralelní spojení dvou kapacitorů. První kapacitor s kapacitou 0,1  $\mu\text{F}$  a druhý elektrolytický kapacitor s kapacitou 100  $\mu\text{F}$ .



*Obr. 3.5* Závislost poklesu napětí na proudovém zatížení regulátoru. (Převzato z [8], str. 8)





Obr. 3.7 Vývojový diagram main.c.

```

if(flag==1){
    PTAD_PTAD6=!PTAD_PTAD6; //blikání LED
    flag=0; //nulování flag
    sendCAN(current, voltage, voltage_2, power); //funkce
    pro //odesílání dat po sběrnici CAN
}
  
```

Předchozí část kódu má za úkol bliknout LED a posílat naměřená data po CAN sběrnici, pokud se proměnná flag rovná 1. Jak bude zřejmé z popisu souboru Events.c, kde je umístěn čítač, flag se nastaví na hodnotu 1 vždy jednou za 100 ms. Pro správný chod funkce je zapotřebí proměnnou flag vynulovat. Funkce sendCAN() obstarává, jak je z názvu patrné, posílání dat na sběrnici CAN. Do této funkce předáváme proměnně current, voltage, voltage\_2 a power. Těmito hodnotami se naplní příslušný registr pro odeslání dat v periférii CAN a nastaví se na „1“ bit, který zahájí přenos dat na CAN sběrnici.



```

/*Přepočet napětí a proudu*/
  if(flag_2==1){
    current=0;voltage=0;voltage_2=0;
    for(y=0;y<FILTER_SIZE;y++){
      voltage+=array_voltage[y];
      voltage_2+=array_voltage_2[y];
      current+=array_current[y];
    }
    voltage=voltage >> FILTER_BITS;           //přepočet voltage
    voltage=((voltage*5000) >> 12);
    voltage=(voltage*20041)/10000;

    voltage_2=voltage_2 >> FILTER_BITS;       //přepočet voltage_2
    voltage_2=(voltage_2*5000) >> 12;
    voltage_2=(voltage_2*11004)/10000;

    current=current >> FILTER_BITS;          //přepočet current
    current=((current*50000) >> 12);
    current=24749-current;
    current=(current*25)/10;                 // výsledek v
    mA //(citlivost sondy 40mV/A) max citlivost 30mA(12bit ADC)

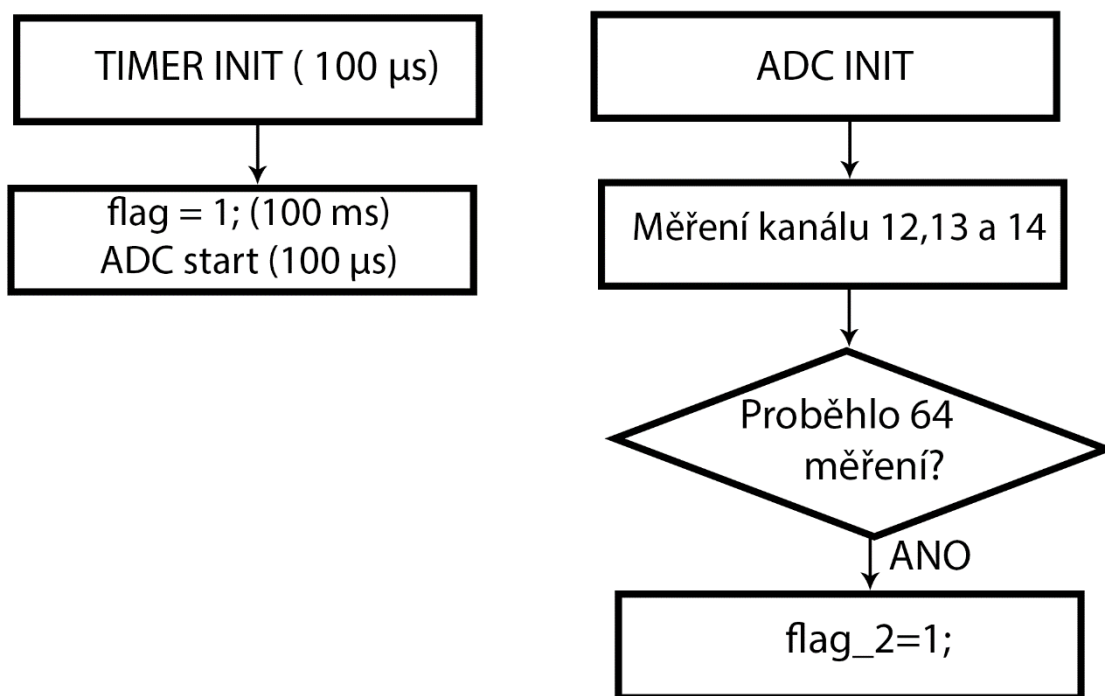
    power+=(current*6400)/1000;             //VÝKON ZA 64 MĚŘENÍ
    //mA*uS výsledek v uW
    if((voltage_2 < 3200) || ((voltage - voltage_2) < 3200)){
      ZAP = 0;
    }

    flag_2=0;
  }

```

Tato část kódu obstarává sběr a přepočet hodnot z A/D převodníků. Jak bude zřejmé z popisu souboru *Events.c*, kde je přerušeni od A/D převodníku, proměnná `flag_2` se nastaví na jedničku po naplnění polí `array_voltage`, `array_voltage_2` a `array_current` do kterých se vejde 64 hodnot. Výsledná hodnota se z těchto 64 měření průměruje. Na začátku bloku je zapotřebí vynulovat proměnné `current`, `voltage` a `voltage_2`, protože následně do nich uložíme součet všech 64 hodnot pomocí `for` cyklu (konstanta `FILTER_SIZE` je rovna 64). Tyto proměnné je zapotřebí následně vydělit 64, abychom získali zprůměrovanou hodnotu. To je prováděno za pomoci bitového posunu (konstanta `FILTER_BITS` je rovna 6), což je to samé jako, kdybychom dělili hodnotou  $2^6(=64)$ . Následující dva řádky zajišťují přepočet zprůměrované hodnoty, princip přepočtu je více popsán v kapitole 3.4.3 na str. 28. Tento samý postup je aplikován i na měření středního vývodu baterie i měření proudu. Výpočet pro měření proudu je více popsán v kapitole 3.4.2 na str. 26.

Dále se zde provádí měření odebrané energie z baterie dle vzorce ( 3.7 ) na str. 28, proud je násoben hodnotou 6400 proto, že měření A/D převodníku proběhne jednou za 100  $\mu$ s. Pro splnění podmínky `if`, musí být změřené napětí alespoň na jednom článku akumulátoru menší než 3,2 V (nejnižší mezní hodnota). Pokud je tato podmínka pravdivá, tak se proměnná `ZAP` nastaví na „0“. Ze schématu je zřejmé, že to způsobí přivedení „0“ na GATE tranzistoru T1 a tím pádem i odpojení všech desek od napájení a úplné zastavení robota. Vynulování proměnné `flag_2` je opět nezbytné pro správný chod aplikace.



Obr. 3.8 Vývojový diagram souboru *Events.c*.

```

ISR (TPM1_overflow) {
    cnt++;
    if (cnt==1000) {
        flag=1;
        cnt=0;
    }
    TPM1SC_TOF=0;
    ADCSC1_ADCH=12;
}
  
```

V této části kapitoly se budu zabývat funkcemi ze souboru *Events.c*, kde probíhá obsluha čítače a měření z A/D převodníků. Do této části aplikace nad textem mikrokontrolér spadne jednou za 100  $\mu$ s, když přeteče čítač. Každých 100 ms se nastaví proměnná `flag` na hodnotu jedna a to za pomoci proměnné `cnt`. Čítač je nutno vynulovat za pomoci řádku `TPM1SC_TOF=0;`. Poté se aktivuje čtení z 12. kanálu A/D převodníku.

```
ISR(ADC_interrupt) {
    if(ADCSC1_ADCH==12) { //měření voltage
        x++;
        if(x==FILTER_SIZE) {
            x=0;
            flag_2=1;
        }
        array_voltage[x]=ADCR;
        ADCSC1_ADCH=13;
    }
    else if(ADCSC1_ADCH==13) { //měření voltage_2
        array_voltage_2[x]=ADCR;
        ADCSC1_ADCH=14;
    }
    else if(ADCSC1_ADCH==14) { //měření current
        array_current[x]= ADCR;
    }
}
```

Zde se měří hodnoty na vstupu A/D převodníku a naplňuje se pole, které je předáváno do hlavní části programu. Kanály A/D převodníku se přepínají za pomoci registru ADCSC1\_ADCH. Do polí naměřených hodnot se zapisuje registr ADCR, kde je uložena právě naměřená hodnota.

Kompletní zdrojový kód je k nahlédnutí na CD, které je k práci přiloženo.

### 3.6 Chyby

Tato podkapitola obsahuje popis chyb při návrhu desky, při jejím ožívování a programování.

Při návrhu DPS nebylo využito veškerého prostoru a proto je v některých částech, zvláště okolo mikrokontroléru, hodně součástek na malém prostoru. To zapříčinilo několik zkratů a také odpájení několika vodivých cest. Pro další vylepšování desky doporučuji lepší rozložení součástek.

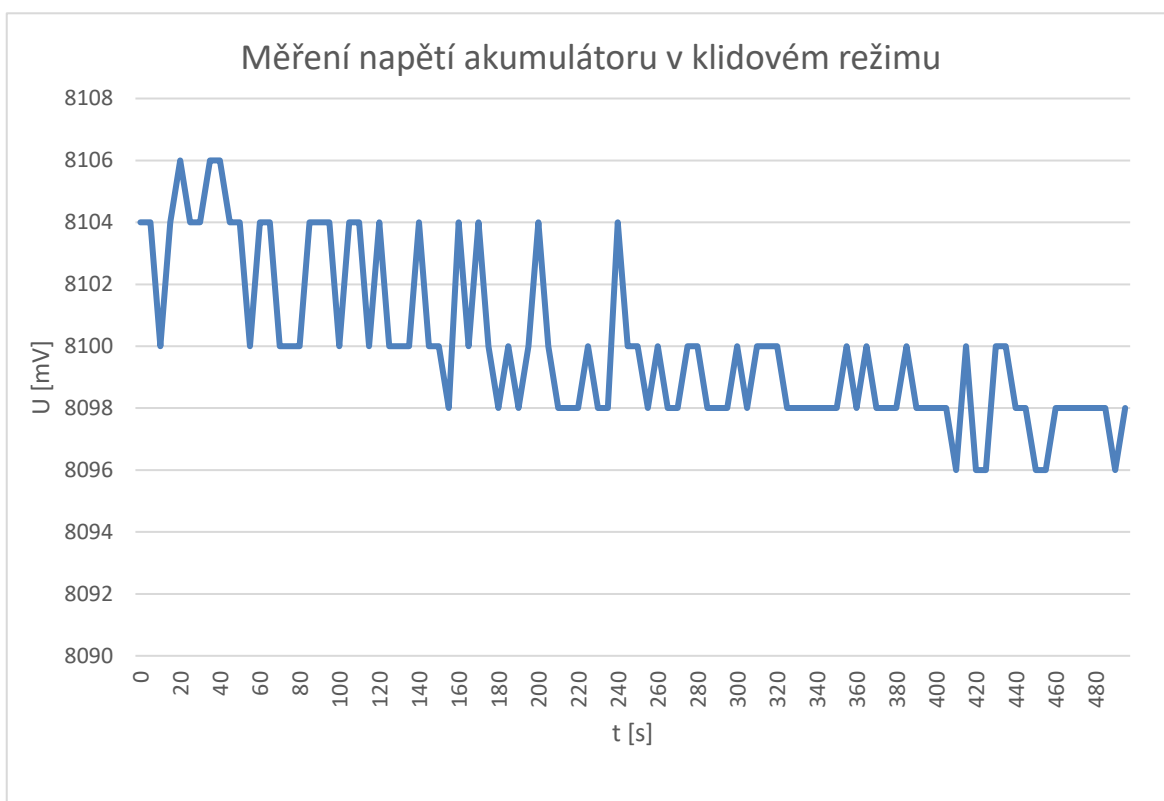
Další chyba, které jsem se dopustil, bylo, že při návrhu byla použita knihovna pro regulátor, kde byl prohozený vstupní a výstupní pin. Proto bylo nutné regulátor s nízkým poklesem napětí nahradit THT regulátorem 7805, který má výrazně větší pokles napětí konkrétně 2 V. Katalogový list tohoto regulátoru lze nalézt na [14]. Kvůli velkému poklesu napětí, nelze tento výrobek provozovat v praxi. Pokud napětí akumulátoru klesne pod 7 V regulátor již není schopný zajistit 5 V pro napájení mikrokontroléru.

### 3.7 Měření na funkčním zařízení a jeho parametry

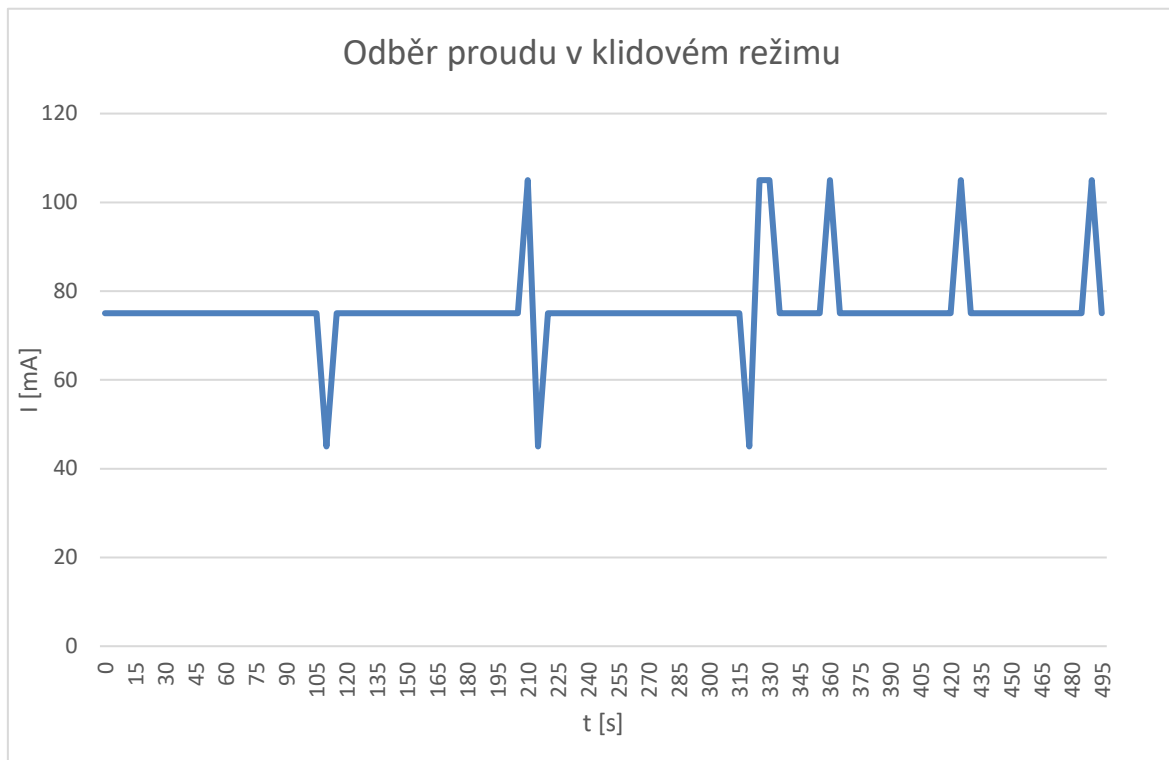
Při měření bylo zařízení napájeno z dvou článkového Li-Pol akumulátoru, zařízení nebylo připojeno na čtyřkolového robota Crawler. Proudový odběr motorů byl nahrazen

proměnným rezistorem. Proběhla dvě měření. První měření bylo bez zátěže a bez blikající LED diody, zařízení pouze měřilo napětí a proud. Druhé měření probíhalo se simulovanou zátěží na proměnném rezistoru, jehož odpor byl snižován od 100 až do 30  $\Omega$ . Samotné měření probíhalo 500 s a hodnoty byli sbírány jednou za 5 s.

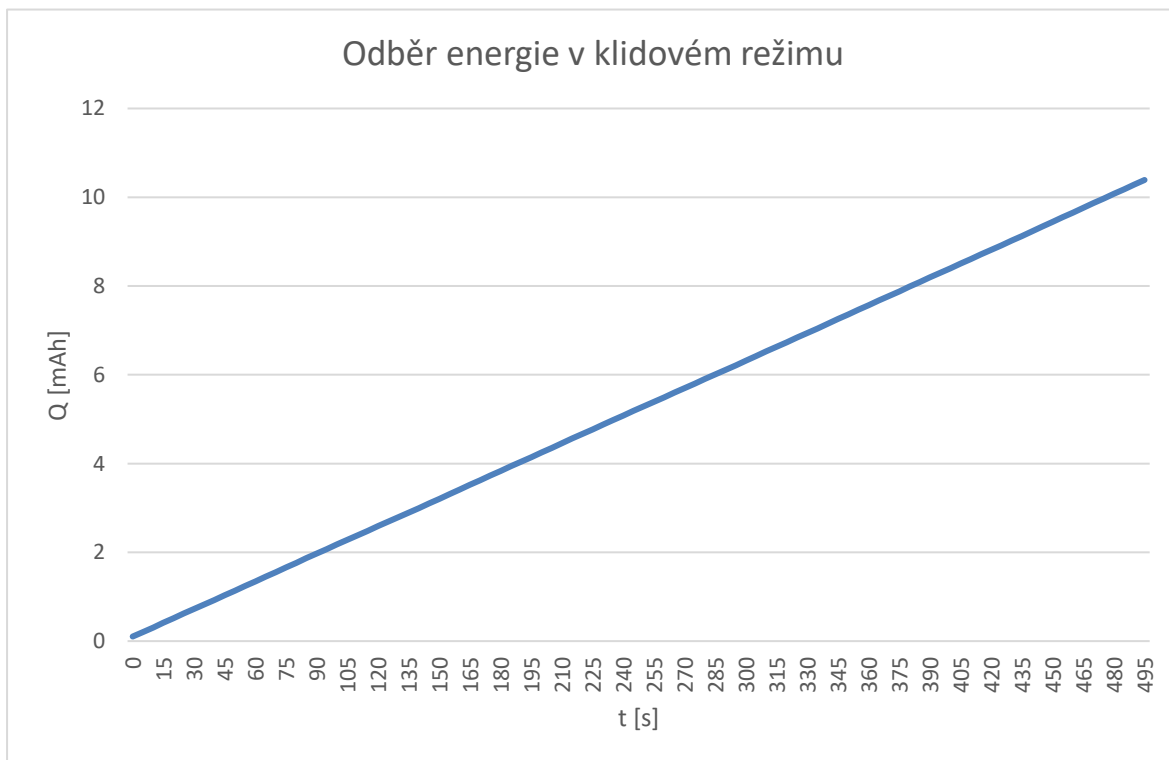
Výsledky prvního měření lze vidět na *Obr. 3.9*, *Obr. 3.10* a *Obr. 3.11*. Proudové výkyvy o 30 mA jsou způsobené citlivostí měření, to je blíže popsáno v kapitole 3.4.2 na str.26. To samé platí i u výkyvů při měření napětí, přesnost A/D převodníku je 1,22 mV/bit a část přesnosti ztrácíme také při přepočtu a jak je vidět výkyvy se pohybují v rozmezí  $\pm 2$  mV až  $\pm 4$  mV. Z *Obr. 3.11* je vidět, že celá deska spotřebovala za 500 s 10,4 mAh. Největší podíl na spotřebě má mikrokontrolér a řadič pro sběrnici CAN.



*Obr. 3.9* Graf napětí na akumulátoru v závislosti na čase, při klidovém režimu.

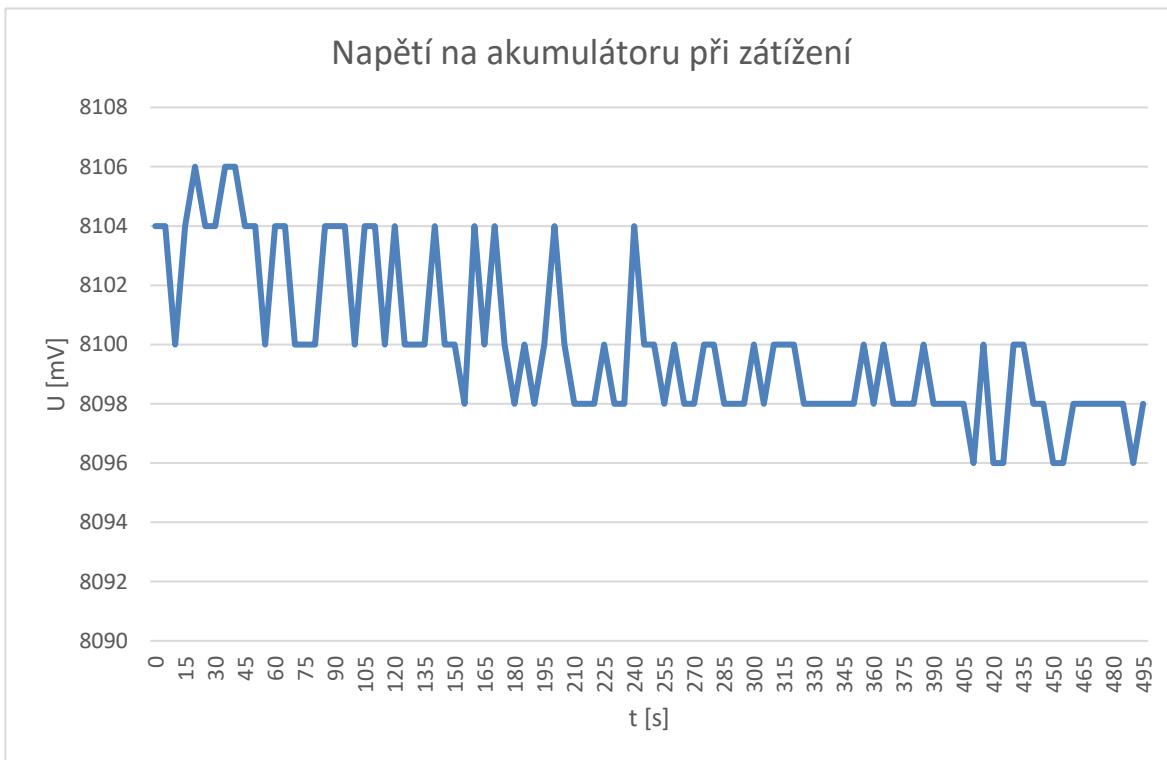


Obr. 3.10 Graf odběru proudu z akumulátoru, při klidovém režimu.

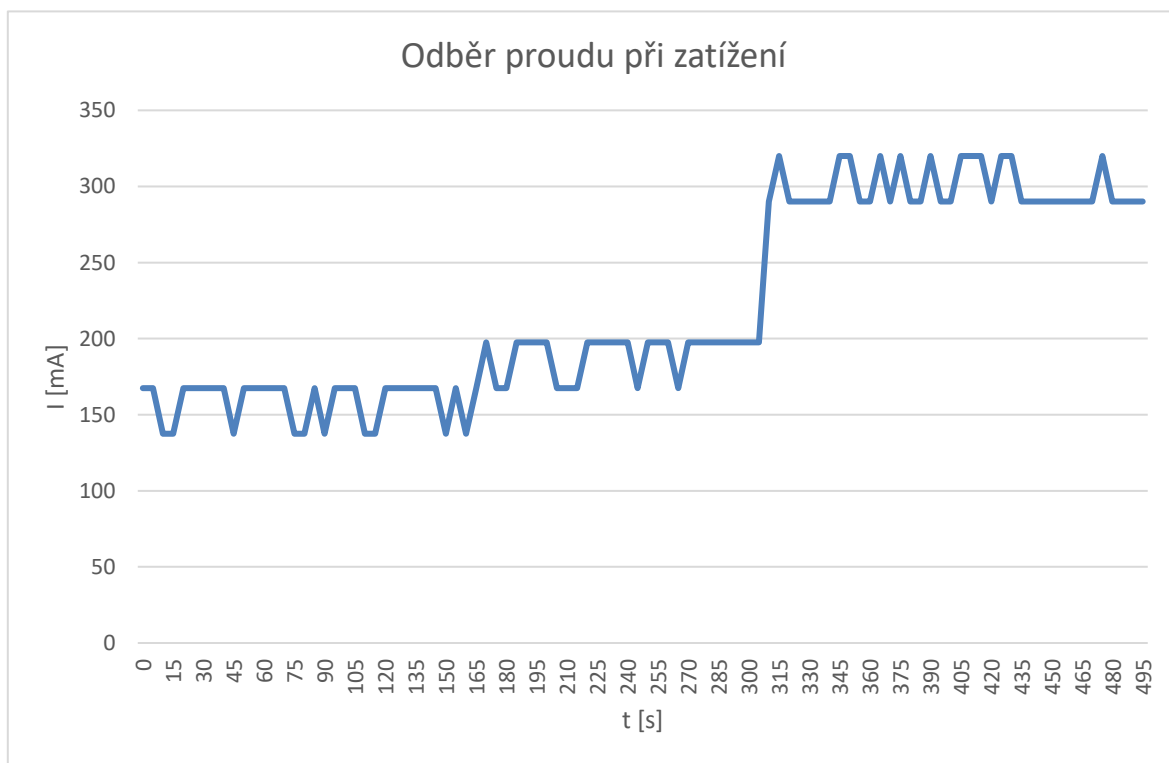


Obr. 3.11 Graf odebrané energie z akumulátoru v závislosti na čase, při klidovém režimu.

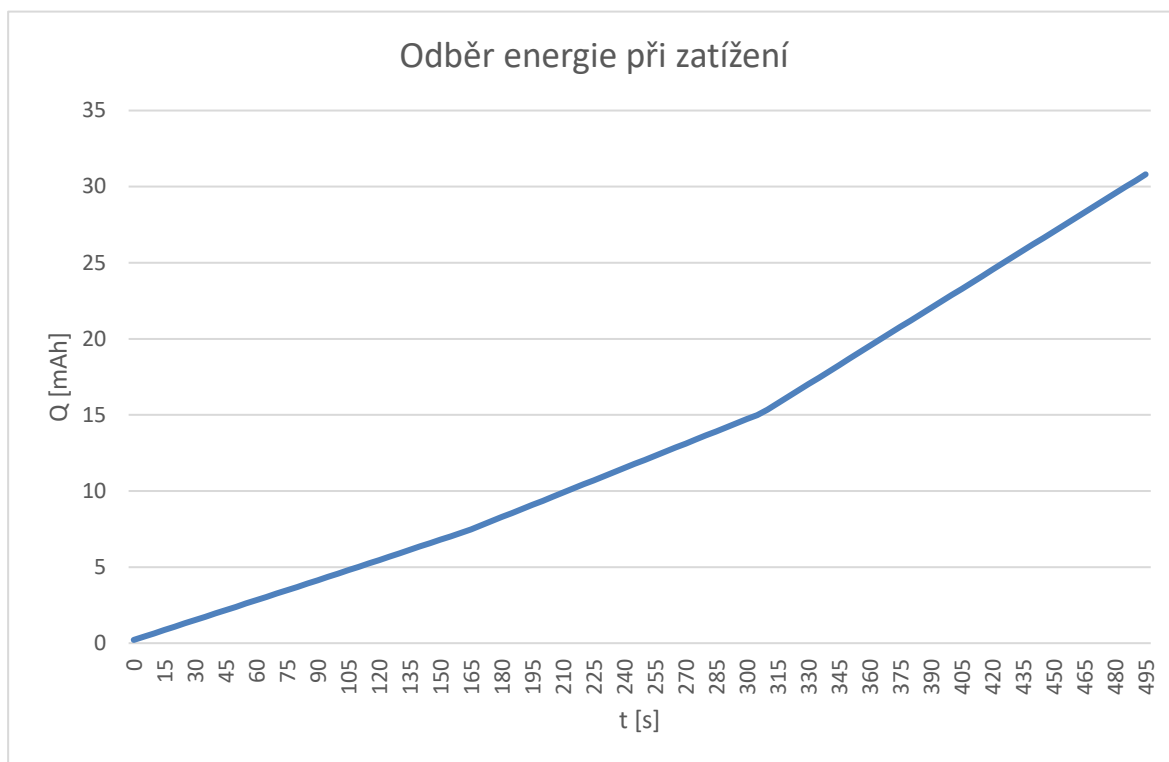
Druhé měření probíhalo za stejný časový úsek jako měření první (500 s), ale s připojenou zátěží (proměnný rezistor). Na kterém byla postupně snižována velikost odporu ( $100\Omega$ ,  $60\Omega$ ,  $30\Omega$ ). Jak je patrné z *Obr. 3.12*, *Obr. 3.13* a *Obr. 3.14* hodnota rezistoru byla změna v čase 165 s a v čase 310 s.



*Obr. 3.12* Graf napětí na akumulátoru v závislosti na čase, při zatížení.



*Obr. 3.13* Graf odběru proudu z akumulátoru v závislosti na čase, při zatížení.



Obr. 3.14 Graf odebrané energie z akumulátoru v závislosti na čase, při zatížení.

Procentuální pokles napětí je přibližně roven procentuálnímu poklesu kapacity baterie, touto jednoduchou metodou byla zkontrolována správnost měření odebrané energie z akumulátoru. Do budoucna by bylo dobré zařízení přesněji nakalibrovat. Ve stávajícím návrhu jsme omezeni přesností sondy a převodníků, dosáhli jsme nejvyšší možné přesnosti a to 30 mA/bit a 1,22 mV/bit. Jak je ale patrné z grafů, převážně z grafu vlastní spotřeby, není tato citlivost dostačující, chyba je až 30 %.

## **Závěr**

V bakalářské práci jsem se zabýval návrhem jednotky správy napájení pro čtyřkolového robota, která je založená na procesorové platformě od společnosti NXP. Při návrhu byl důraz kladen na ochranu Li-Pol akumulátorů, kterými robot disponuje, a na komunikaci s hlavní řídicí jednotkou pomocí sběrnice CAN.

Čtenář je seznámen s akumulátory Li-Pol a principem sběrnice CAN. Dále poté s návrhem desky plošných spojů, výběrem součástek, procesorovou platformou NXP, popisem jednotlivých bloků, popisem programu a chybami stávajícího návrhu. Poté je zde k nalezení ukázka z praktického měření a vizuální předvedení výsledků.

Aktuální stav řešení problému ke dni publikace práce je tedy hotový koncept správy napájení a ochrany Li-Pol akumulátorů, umožňující odpojit akumulátor, pokud by hrozilo jeho poškození vlivem velkého poklesu napětí. Zařízení je schopno měřit aktuálně odebíraný proud z akumulátoru, napětí dvou článkového akumulátoru (na každém článku zvlášť) a také odebranou energii z akumulátoru. Dále je zprovozněna funkce pro zasílání naměřených dat po sběrnici CAN.

Pro budoucí vylepšení návrhu doporučuji k Hallově sondě přidat teplotní čidlo, aby mohla být eliminována chyba vzniklá okolní teplotou a provést kalibraci celého měření. Případně použít sondy, která tímto defektem netrpí. Pro větší přesnost měření, a tím i spolehlivější funkčnost, by byla nutná přesnější sonda nebo mikrokontrolér s přesnějšími A/D převodníky.

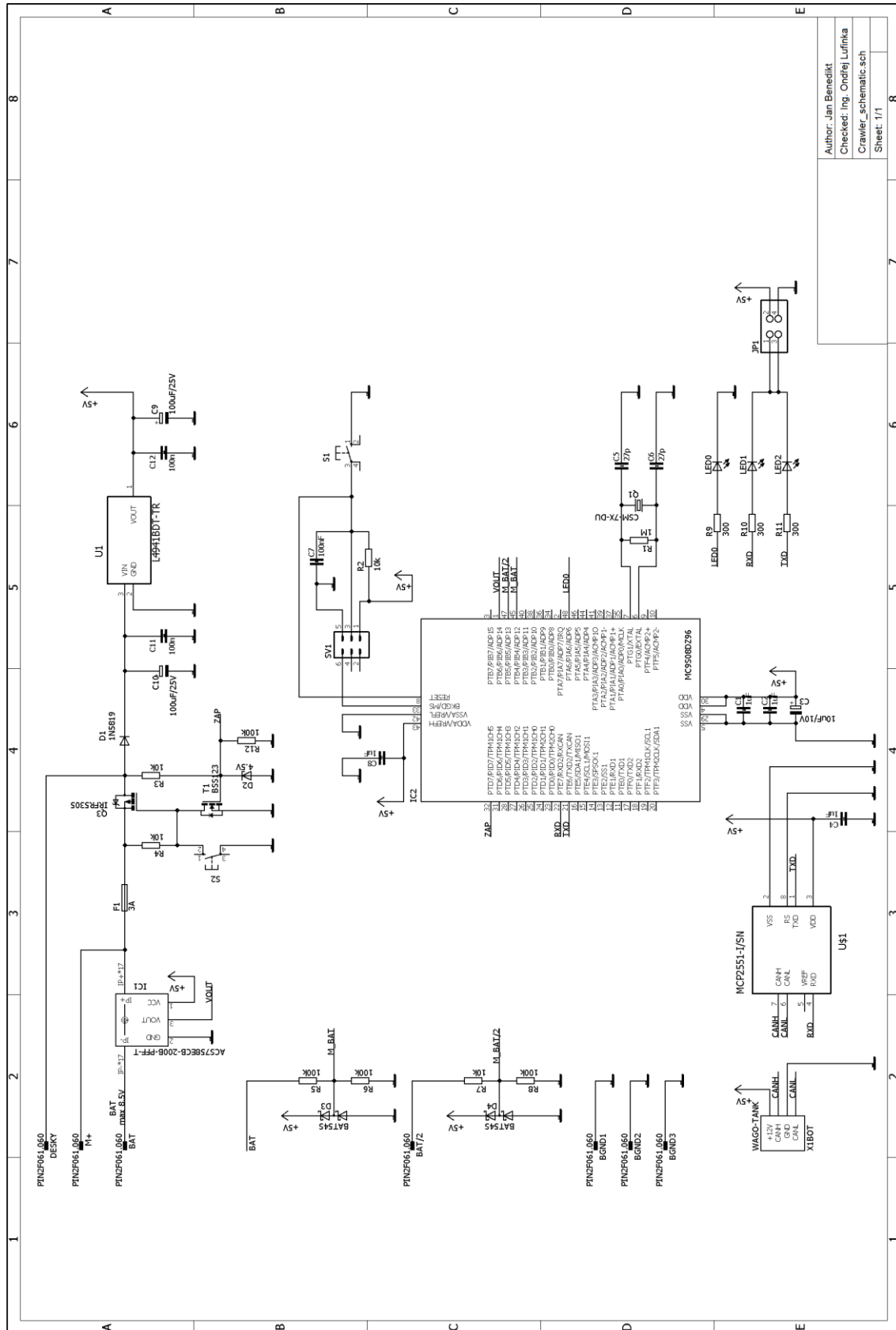


## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HAMMERBAUER, Jiří. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*. Vyd. 2. Plzeň: Západočeská univerzita, 1998. ISBN 80-7082-411-5.
- [2] Lithium Polymer. In: *RCGroups* [online]. 2004 [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <https://www.rcgroups.com/forums/showatt.php?attachmentid=1600721>
- [3] Lead Acid Batteries. *Integrated publishing* [online]. Florida [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://nuclearpowertraining.tpub.com/hdbk1084/>
- [4] KOSTURIK, Kamil. Controller Area Network. Plzeň, 2014. Přednáška KAE/RIS.ZČU.
- [5] PaJa - Eagle. *PaJa - Úvod* [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://paja-trb.cz/eagle/index.html>
- [6] MC9S08DZ128 Series Data Sheet with Addenda. In: *NXP Semiconductors / Automotive, Security, IoT* [online]. 2008 [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/data-sheets/MC9S08DZ128.pdf>
- [7] ACS758xCB: Datasheet. In: Allegro Microsystems [online]. Massachusetts, 2016 [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS758-Datasheet.ashx>
- [8] Very low drop 1A regulator. In: *STMicroelectronics* [online]. 2006 [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/95/0b/18/93/93/35/41/a1/CD00000443.pdf/files/CD00000443.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000443.pdf>
- [9] HAMMERBAUER, Jiří. Akumulátory Lithium-Polymer. Plzeň. Přednáška KAE/RIS. ZČU.
- [10] CodeWarrior Embedded Software Development Tools. *NXP Semiconductors* [online]. 2017 [cit. 2017-06-04]. Dostupné z: [http://www.nxp.com/products/software-and-tools/software-development-tools/codewarrior-development-tools:CW\\_HOME](http://www.nxp.com/products/software-and-tools/software-development-tools/codewarrior-development-tools:CW_HOME)
- [11] HCS08QRUG. *NXP Semiconductors* [online]. [cit. 2017-06-04]. Dostupné z: [nxp.com/assets/documents/data/en/user-guides/HCS08QRUG.pdf](http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/user-guides/HCS08QRUG.pdf)
- [12] USBDM Debugger interface for Freescale RS08, HCS08, HCS12, Coldfire and ARM-Kinetis Devices. *USBDM* [online]. 2015 [cit. 2017-06-04]. Dostupné z: [usbdm.sourceforge.net/index.html](http://usbdm.sourceforge.net/index.html)

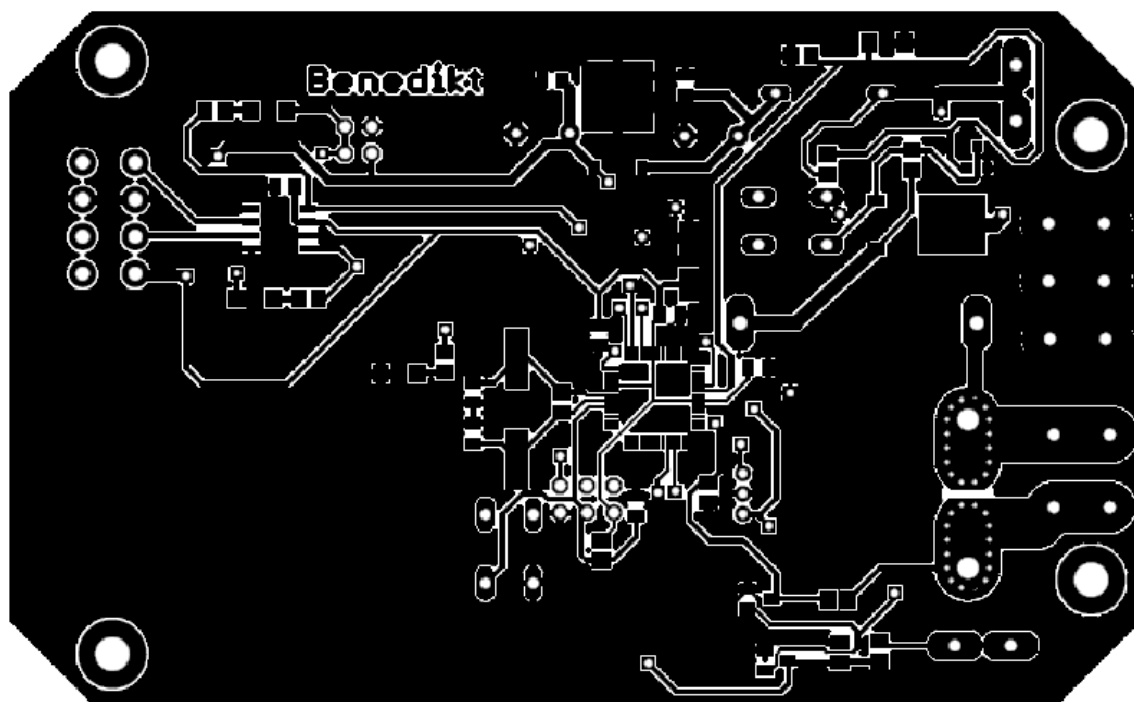
- [13] *PCB Design & Schematic Software: Eagle* [online]. 2017 [cit. 2017-06-04].  
Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>
- [14] LM7805. *SparkFun Electronics* [online]. 2003 [cit. 2017-06-04]. Dostupné z:  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>

# Příloha A Schéma a návrh plošného spoje

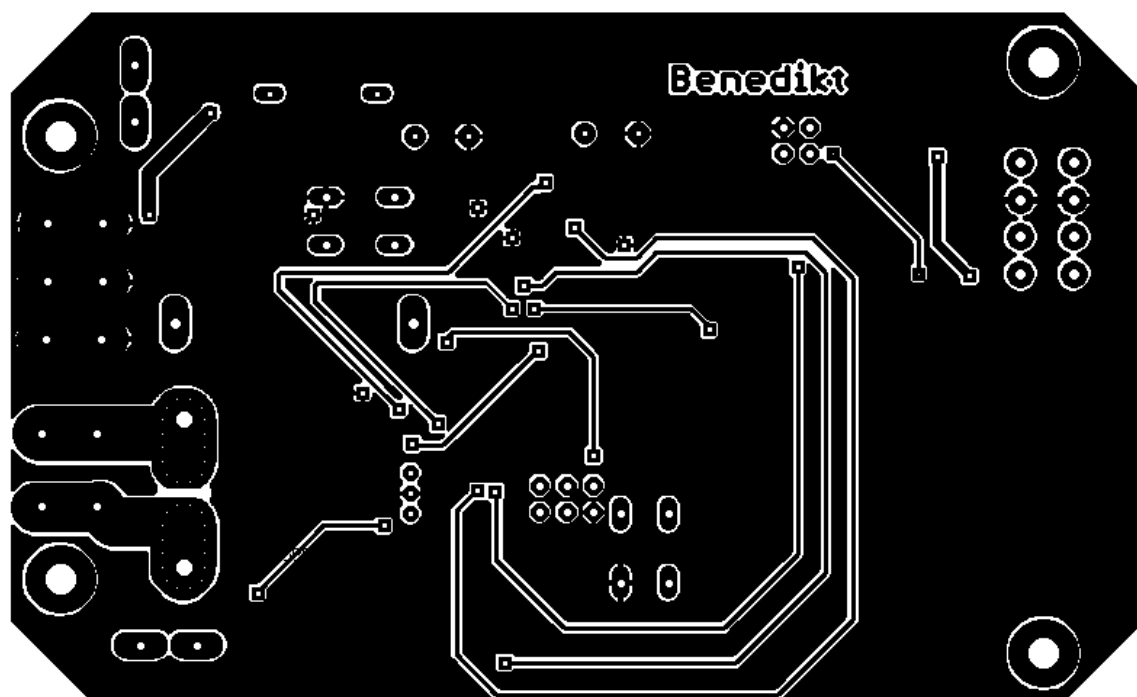


Author: Jan Benedikt  
 Checked: Ing. Ondřej Lufinka  
 Crawler\_schematic sch  
 Sheet: 1/1

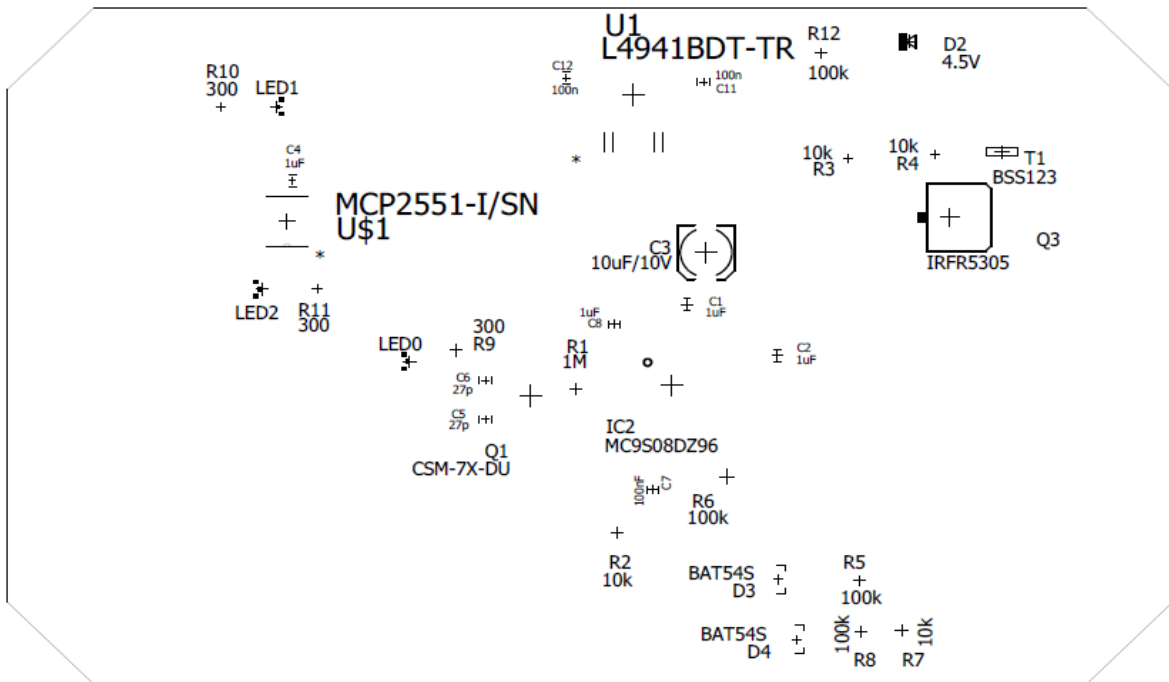
Obr. A.1 Schéma zapojení jednotky pro správu napájení



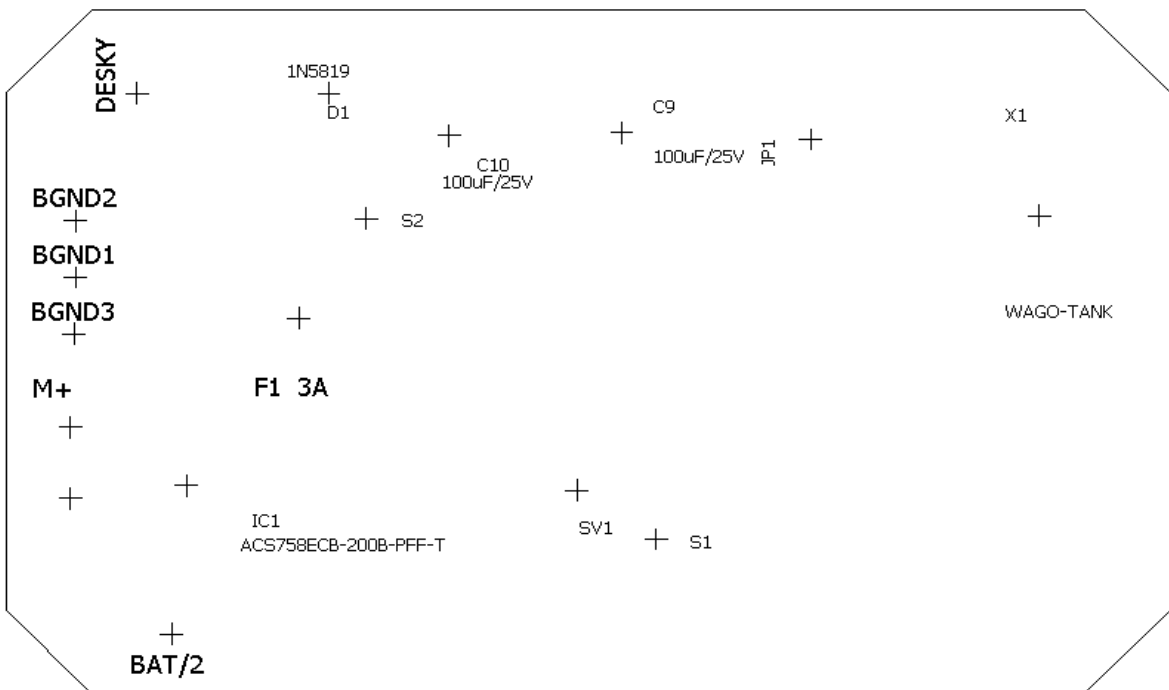
Obr. A.2 Dolní strana desky jednotky pro správu napájení.



Obr. A.3 Horní strana desky jednotky pro správu napájení.

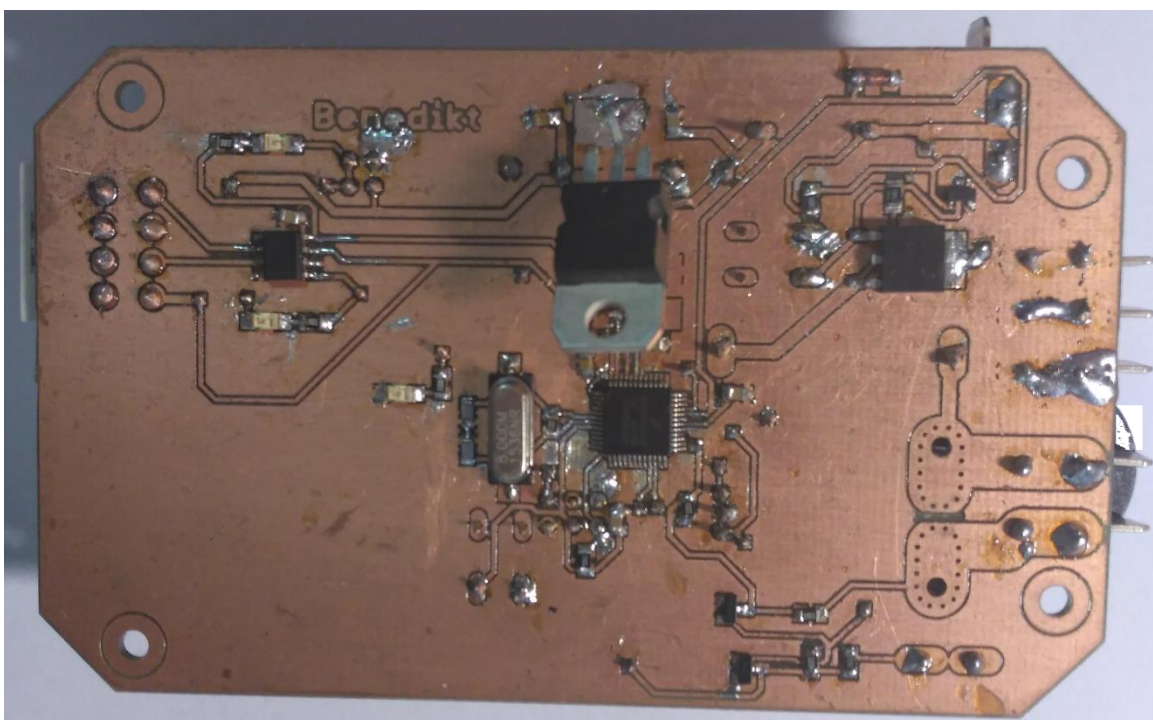


Obr. A.4 Potisk spodní strany desky

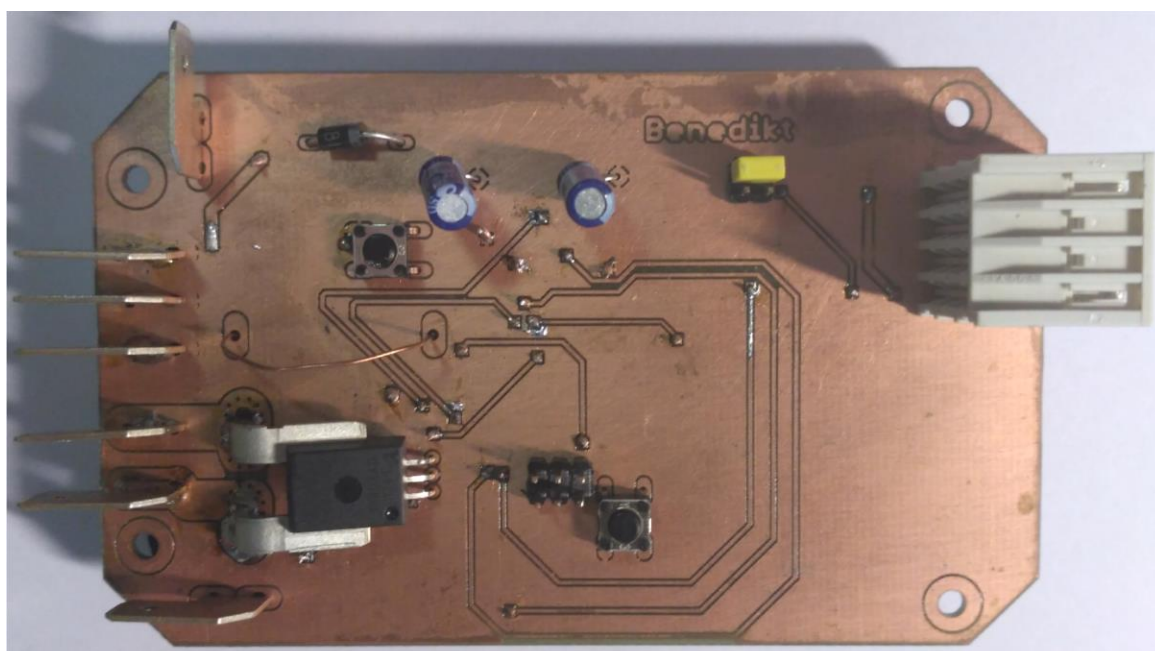


Obr. A.5 Potisk horní strany desky

## Příloha B Fotografie finálního výrobku



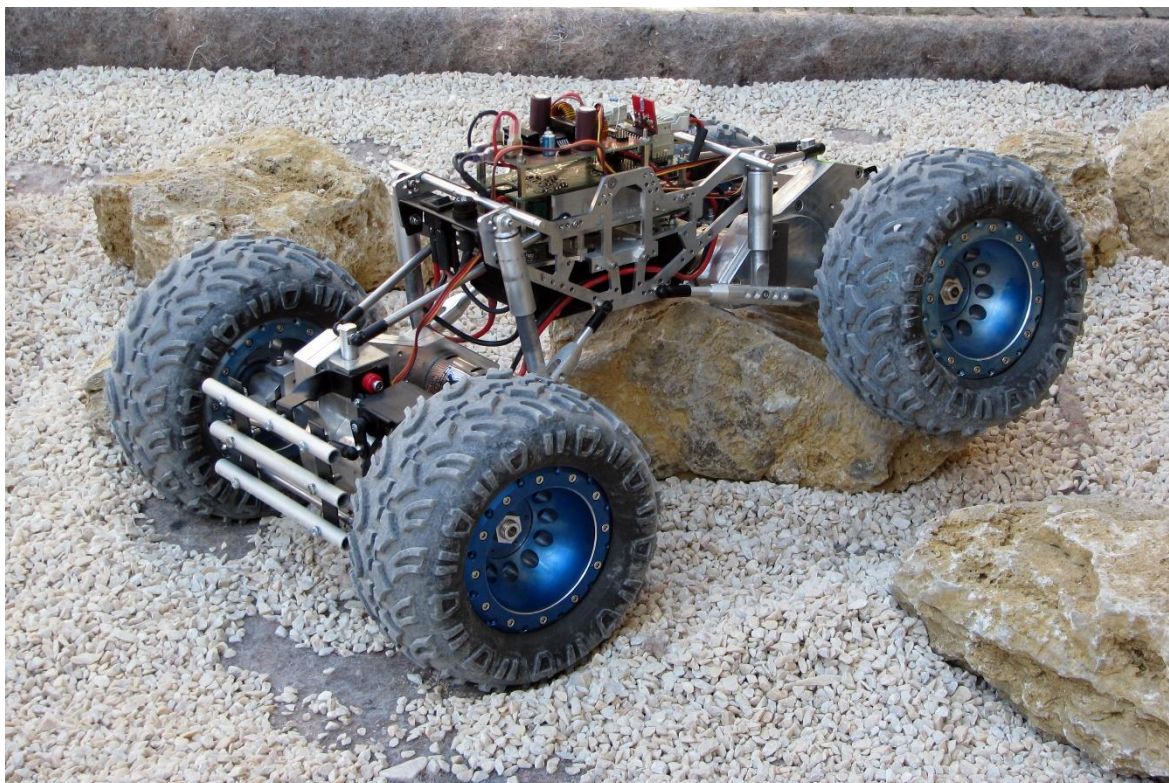
(a) Dolní deska s mikroprocesorem a dalším hardwarem.



(b) Horní deska s Hallovou sondou, konektory a ovládacími prvky..

Obr. B.1 Hotové a osazené desky plošných spojů.

## Příloha C Robot Crawler



*Obr. C.1 Fotografie čtyřkolového robota Crawler.*