

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta strojní – Ústav přístrojové a řídicí techniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ZAŘÍZENÍ PRO AUTOMATICKÉ MĚŘENÍ
CHARAKTERISTIK AKUMULÁTORŮ

DEVICE FOR AUTOMATED MEASUREMENT OF
BATTERY CHARACTERISTICS

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Gazizov** Jméno: **Eldar** Osobní číslo: **438307**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Informační a automatizační technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Zařízení pro automatické měření charakteristik akumulátorů

Název bakalářské práce anglicky:

Device for automated measurement of battery characteristics

Pokyny pro vypracování:

- 1) navrhnete zařízení automatické měření charakteristik akumulátorů, zejména vybíjecí charakteristiky, resp. kapacity
- 2) zařízení realizujete s mikroprocesorem
- 3) zařízení experimentálně ověřte. Výstupem budou zaznamenaná data charakteristik na SD kartě.

Seznam doporučené literatury:

Battery aging process. In: Battery Management Systems. Philips Research Book Series, vol 9. Springer, Dordrecht. (2008)
Pop, H.J. Bergveld, P.H.L. Notten, J.H.G. Op het Veld, P.P.L. Regtien, Accuracy analysis of the State-of-Charge and remaining run-time determination for lithium-ion batteries, Measurement, Volume 42, Issue 8, 2009, Pages 1131-1138, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2008.03.009>.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Martin Novák, Ph.D., odbor elektrotechniky FS


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

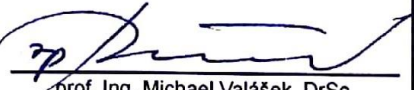
Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15.06.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


doc. Ing. Martin Novák, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

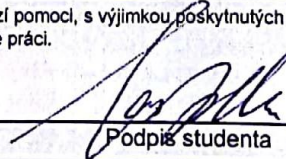

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

25.04.2018

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím literárních zdrojů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů.

Datum:

.....

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu doc. Ing. Martin Novákovi, Ph.D, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a jejich trpělivost během vypracování této práce.

Název bakalářské práce:

ZAŘÍZENÍ PRO AUTOMATICKÉ MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK AKUMULÁTORŮ

Anotace

Tato bakalářská práce je zaměřená na návrh a realizaci zařízení pro automatické měření charakteristik akumulátorů, zejména vybíjecí charakteristiky, resp. kapacity. Součástí práce bude realizace skutečného zařízení řízeného mikroprocesorem. Potřebné hodnoty budou získány ze snímačů napětí a proudu. Změřené charakteristiky se budou ukládat na SD kartu, do vnitřní paměti, případně odesílat po internetu. Zařízení bude určeno pro dlouhodobé opakované měření.

Klíčová slova

Snímač, Arduino, akumulátor, zařízení, charakteristiky, vybíjecí křivka, nabíjecí křivka, kapacita, napětí, zátěž.

Bachelor's Thesis title:

DEVICE FOR AUTOMATED MEASUREMENT OF BATTERY CHARACTERISTICS

Abstract

This bachelor thesis is focused on the design and realization of a device for automatic measurement of battery characteristics, especially discharging characteristics, resp. capacity. Part of the work will be the implementation of a real microprocessor-controlled device. Required values will be obtained from voltage and current sensors. The measured characteristics will be stored on the SD card, internal memory, or sent eventually over the Internet. The device will be used for long-term repeated measurements.

Key words

Sensor, Arduino, battery, equipment, characteristics, discharge curve, charging curve, capacity, voltage, load.

Obsah

Seznam zkratk	7
Úvod.....	8
1. Technická část.....	9
1.1. Akumulátory	9
1.1.1. Rozdělení akumulátorů	9
1.2. Metody určování stavu akumulátoru.....	10
1.2.1. Měření napětí.....	10
1.2.2. Měření proudu	10
1.2.3. Měření kapacity.....	11
1.2.4. Měření vnitřního odporu	11
2. Návrhová část.....	12
2.1. Stanovení dílčích bloku.....	12
2.2. Návrh zařízení pomoci Arduino a různých modulů	13
2.2.1. CPU Arduino nano	13
2.2.2. Modul pro měření proudu	13
2.2.3. Modul pro měření napětí.....	15
2.2.4. Modul SD-karta.....	16
2.2.5. Nabíječka akumulátorů	16
2.2.6. Zdrojový kód.....	17
2.2.7. Schéma zapojení.....	20
3. Praktická část	21
3.1. Postup přípravy a leptání:.....	21
3.2. Postup kontroly a pájení desky.....	22
3.3. EasyEDA.....	23
3.4. Základní deska.....	23
3.5. Návrh zátěži	24
4. Měřicí část.....	25
4.1. Bezpečnost využití akumulátorů	26
4.2. Technické charakteristiky.	26
5. Závěr	30
6. Seznam použité literatury a zdrojů.....	31
Seznam obrázků tabulek a grafu	32
Seznam použitého SW	33
Seznam příloh.....	33

Seznam zkratek

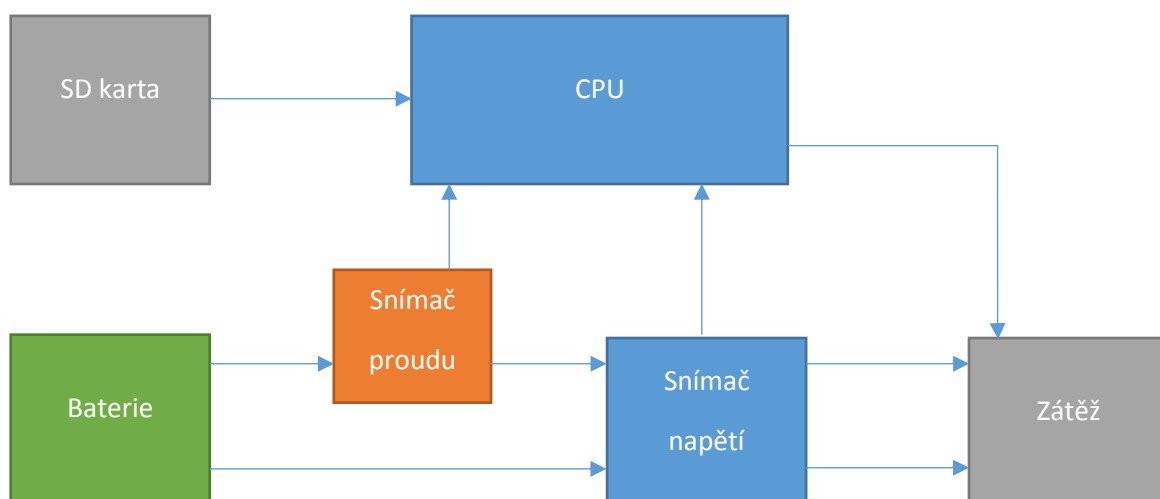
I	Current (Proud)
U	Voltage (Napětí)
R	Resistance (Odpor)
C	Capacity (Kapacita)
P, PWR	Power (Výkon, napájení)
GND	Ground (země)
VCC	Voltage at the Common Collector (Napájecí napětí)
CD	Compact Disk (kompaktní disk)
PWM	Pulse Width Modulation (Pulsně šířková modulace)
AN	Arduino NANO
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
SD	Secure Digital card (SD karta)
MSD	Modul of SD Card (Modul SD karty)
PCB	Printed Circuit Board (deska plošných spojů)

Úvod

Každé elektrické zařízení, může obsahovat akumulátor, který slouží k uchování a následnému čerpaní energie.

Obsahem této práce je návrh a realizace zařízení pro automatické měření charakteristik akumulátorů (napětí, proudu, kapacity, výkonu, odporu), které bude automaticky ukládat všechny naměřené hodnoty na SD kartu. Měření je pak realizované nabíjením a vybíjením akumulátoru nastaveným proudem a napětím. Navrhované zařízení umožňuje kromě lineárního vybíjení použití impulzního vybíjení.

Práce je rozdělená do čtyř částí, z nichž první část rozebírá obecné vlastnosti akumulátoru a metody pro určování stavu akumulátoru. Ve druhé části je podrobně rozebrán kompletní návrh obvodového řešení a napsání řídicího programu pro elektrické zařízení. Třetí část je pak orientovaná na korigování řídicího programu a vyrábění základní desky elektrického zařízení. Čtvrtá část je experimentální část, která je orientovaná na testování různých typu akumulátoru a určování jejich charakteristik. Závěrečné zhodnocení výsledků je uvedeno v páté části.



Obr 0- Konceptní blok schéma zařízení

1. Technická část

1.1. Akumulátory

Akumulátor je zařízení, které slouží pro uchování a následně čerpání elektrické energie, přičemž energie se může uchovat na různé druhy chemických článků.

Základem akumulátorů je galvanický článek, což je chemický zdroj elektrického napětí. Tvoří dvě elektrody, záporná a kladná. Elektrické napětí je dáno rozdílem elektrických potenciálů na elektrodách. Elektrický potenciál na elektrodách vzniká chemickou reakcí mezi elektrodou a elektrolytem. Pro elektrody a elektrolyty se používají kombinace chemických látek, aby potenciál vznikající na elektrodách měl dostatečnou velikost a zároveň aby měl článek další požadované vlastnosti.

Základní parametry akumulátoru jsou: kapacita, odpor, proud, napětí a životnost

1.1.1. Rozdělení akumulátorů

Rozdělení akumulátorů do několika skupin: [1]

a) Podle typu elektrolytu:

- Kyselé elektrolyt
- Zásaditý elektrolyt
- Bezvodný elektrolyt

b) Podle provedení:

- Otevřené
- Uzavřené

c) Podle principu:

- Olověný (Pb)
- Nikl-kadmiový (NiCd)
- Nikl-metal hydridový
- Lithium-iontový
- Lithium-polymerový
- Ostatní

d) Podle tvaru:

- Válcové
- Prizmatické
- Diskové (knoflíkové)
- Hranolovité

e) Podle technologie výroby:

- Stáčené desky
- Ploché desky

f) Podle použití:

- Průmyslové akumulátory
- Standardní aplikace
- Pro vysoké odběrové proudy
- Rychlo nabíjecí
- Pro trvalé dobíjení
- Pro vysoké teploty

Typy	Nominální napětí	Vnitřní odpor	Počet pracovních cyklů	Hustota energie [Wh/kg]
Nikl-kadmiový (NiCd)	1,25 V	100...200 mΩ	1500	40...60
Nikl-metal hydridový (NiMh)	1,25 V	200...300 mΩ	500	60...80
Lithium-iontový (Li-Ion)	3,6 V	150...250 mΩ	500...1000	100
Lithium-polymerový (Li-Pol)	2,7 V	100...200 mΩ	150	150...200

Tabulka 1 – Typy akumulátoru a jejich charakteristiky

Typy	Výhody	Nevýhody
Nikl-kadmiový (NiCd)	Levný, velká pracovní doba,	Paměťový efekt. Velké samovybíjení
Nikl-metal hydridový (NiMh)	Větší kapacita než u NiCd	Velké samovybíjení, nízká schopnost k přebíjení. Malá pracovní doba
Lithium-iontový (Li-Ion)	Vysoká poměrná kapacita. Nízké samovybíjení	Drahý. Omezena pracovní doba. Potřebné řízené nabíjení
Lithium-polymerový (Li-Pol)	Velmi lehký. Vysoká poměrná kapacita. Možnost přidat libovolný tvar	Drahý

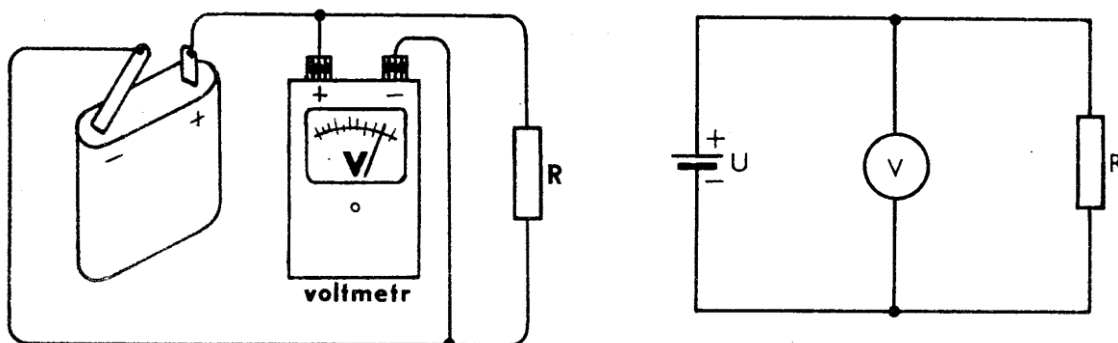
Tabulka 2 – Výhody a nevýhody druhů akumulátorů

1.2. Metody určování stavu akumulátoru

Každý typ akumulátoru je jiný, a také jejich vlastnosti jsou různé. Tato část je zaměřena na různé metody měření základních parametrů akumulátorů.

1.2.1. Měření napětí

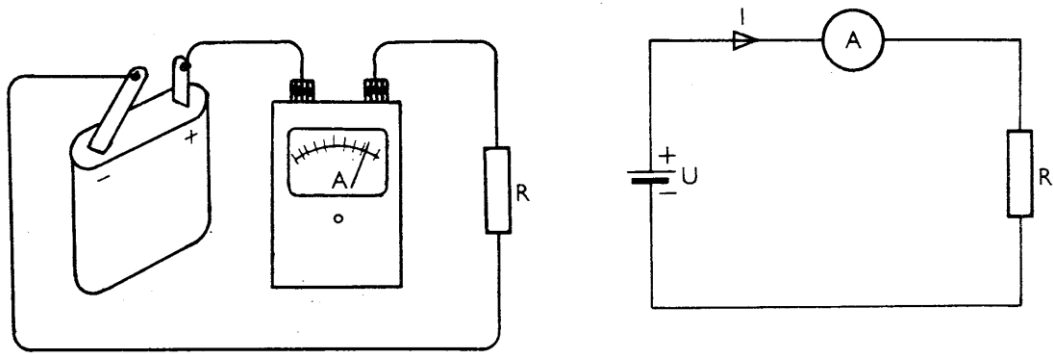
Pro měření napětí na akumulátoru se používá voltmetr. Voltmetr musí být zapojený paralelně k akumulátoru. Čím větší vnitřní odpor voltmetru, tím méně ovlivňuje měření. Aby měření mělo smysl, je nutno znát jmenovité napětí akumulátorů, a porovnat s naměřenou hodnotou. Abychom mohli odhadnout stav akumulátorů, potřebujeme znát jejich jmenovité napětí.



Obr 1- Schéma zapojení pro měření napětí (při zátěži R) [1]

1.2.2. Měření proudu

Pro měření elektrického proudu na akumulátoru se používá přístroj, který se nazývá ampérmetr. Ampérmetr vždy zapojujeme do série. Ampérmetr by neměl mít na obvod žádný vliv, úbytek napětí, který na něm při průchodu proudu vzniká by měl být velmi malý. Proto ampérmetr musí mít co nejmenší vnitřní odpor.



Obr 2 - Schéma zapojení ampérmetru [1]

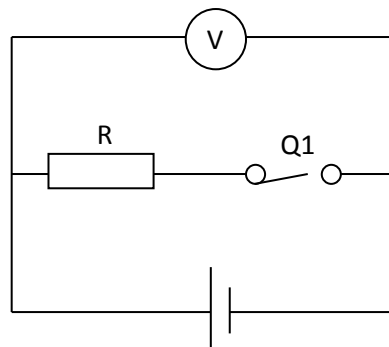
1.2.3. Měření kapacity

Pro měření kapacity akumulátoru potřebujeme připojit na akumulátor rezistor a měřit dobu, za kterou napětí na akumulátoru klesne do stavu vybití, pak akumulátor znovu nabijeme a provádíme měření několikrát, z těchto hodnot vypočteme průměrné napětí akumulátoru, a potom vypočteme kapacitu akumulátoru. Kapacita akumulátoru uvedená výrobcem se většinou liší a čím je akumulátor starší, tím kapacita akumulátoru klesá.

$$Q = \frac{U_p \cdot t}{R} [A \cdot h; V, h, \Omega] \quad (1.1)$$

1.2.4. Měření vnitřního odporu

Když bychom chtěli stanovit pokles napětí na akumulátoru při jeho zatížení, je třeba změřit jeho vnitřní odpor. Vnitřní odpor se udává v ohmech. Když by existoval ideální akumulátor, tak by měl nulový odpor, a proto byl by schopen dodávat proud bez poklesu jeho napětí. U skutečného akumulátoru dojde k určitému poklesu napětí, což je dáno jeho odporem. Čím větší odběr proudu, tím větší pokles napětí.



Obr 3 - Schéma zapojení měření vnitřního odporu [1]

Měření vnitřního odporu akumulátoru R_v se provádí následujícím způsobem, nejprve se provede měření napětí akumulátoru bez zátěže (U_0), poté se sepne spínač $Q1$ a odečte se hodnota napětí (U) při zatíženém akumulátoru, podle vztahu je pak možné snadno stanovit vnitřní odpor.

$$R_v = \frac{R \cdot (U_0 - U)}{U} [\Omega] \quad (1.2)$$

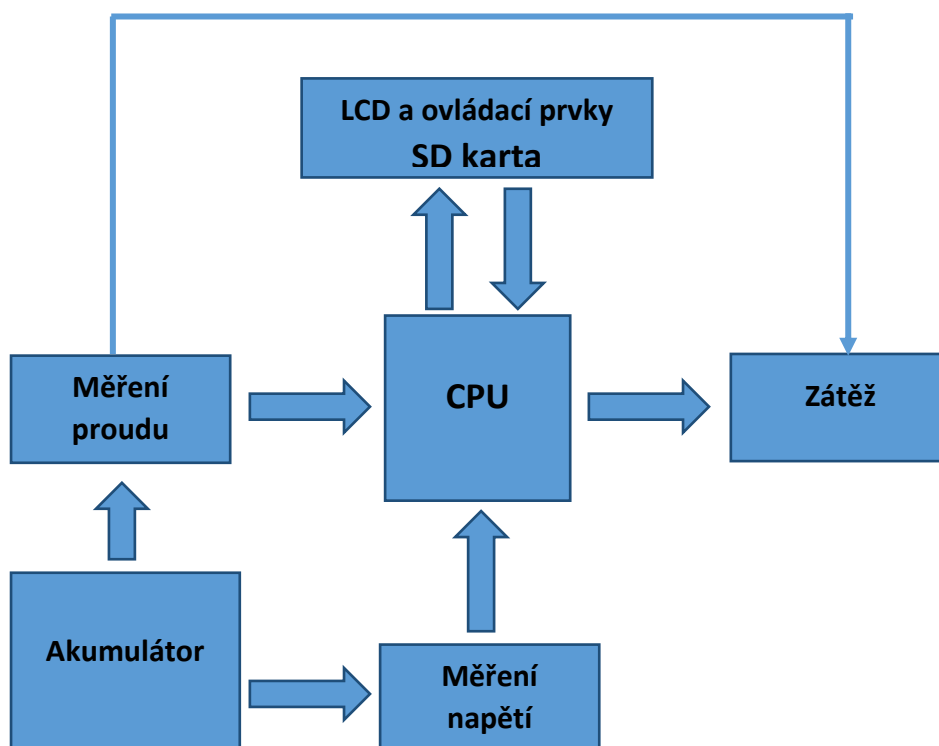
Vnitřní odpor akumulátoru se mění i v závislosti na úrovni vybití akumulátoru, proto je dobré stanovit hodnoty vnitřního odporu několika změřenými vzorky, od plného nabití až do vybití

akumulátoru. Tímto způsobem je možné sestavit křivku vnitřního odporu a následně stanovit do jaké úrovně vybití je měřený akumulátor schopen dosáhnout požadovaných parametrů. [1]

2. Návrhová část

Základní návrh zařízení je třeba rozdělit do několika kroků. Prvním krokem je stanovit jaké dílčí bloky jsou nutné k realizaci zařízení. V druhém kroku je nutno určit jaké moduly je třeba použít pro návrh a zapojení zařízení. Ve třetím kroku je nutno napsat řídicí program či zdrojový kód pro fungování zařízení.

2.1. Stanovení dílčích bloku



Obr 4 – Blok schéma

Stanovení dílčích bloků pro návrh zařízení, které by dokázalo samostatně změřit charakteristiky akumulátoru a schopno vybit a nabít akumulátor. Je třeba, aby zařízení dokázalo nastavovat vybíjecí proud, z toho prvním blokem bude řízena zátěž. Abychom mohli řídit proud tekoucí akumulátorem je nutno měřit proud. Dalším blokem bude měření napětí na akumulátoru, aby nedošlo k příliš hlubokému vybití a přebití. Dále je třeba nabíjet akumulátor, aby se mohlo provést několik měření, dalším blokem bude nabíječka. Ještě nutno umožnit uživateli kontrolovat průběh měření, a ukládat naměřená data do SD karty, a nastavovat jeho parametry, k tomu bude sloužit další blok, blok uživatelského rozhraní.

2.2. Návrh zařízení pomocí Arduino a různých modulů

2.2.1. CPU Arduino nano



Obr 5 – Základní deska Arduino nano [2]

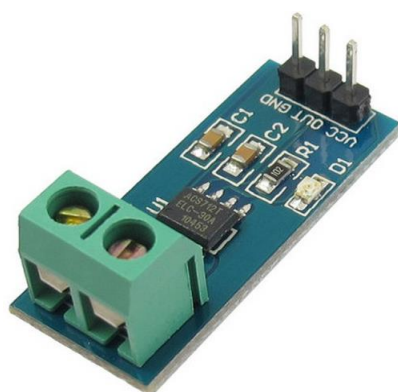
Arduino je počítač založený na mikrokontroleru Atmega od firmy Atmel. Pomocí arduino je možné realizovat jakýkoliv elektronický projekt, stačí připojit nějaký modul do arduino a naprogramovat. Mikroprocesor na desce Arduina se programuje pomocí speciálního Arduino programovacího jazyka ve vlastním Arduino vývojovém prostředí. Projekty založené na Arduinu mohou jednoduše komunikovat se softwarem na stolním počítači nebo notebooku.

Ve své práci jsem použil Arduino nano. Arduino nano je hlavní CPU modul, který vykoná uvedené úkoly a výpočty.

Základní úkoly vykonávané Arduinem:

- 1) Načíst data z analogových vstupů, ke kterým jsou připojené snímače napětí a proudu
- 2) Převést a vypočítat data z analogového vstupu do měřených hodnot
- 3) Schraňovat a ukládat vypočtená data na SD kartu
- 4) Generovat obdélníkový signál (PWM) pro řízení spínání a rozpínání MOSFET tranzistoru, který řídí zátěž.

2.2.2. Modul pro měření proudu

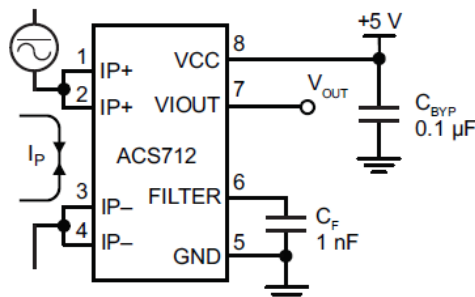


Obr 6 – Proudový senzor [3]

Proudový senzor ACS712 funguje na principu Hallova jevu, integrovaný obvod umístěný na modulu tedy generuje elektrické napětí na základě okolního magnetického pole, které vytváří elektrický proud procházející svorkami. Nám pak stačí změřit zmíněné napětí z modulu s proudovým senzorem ACS712 pomocí Arduino analogového vstupu a přepočítat ho na proud za pomoci konstanty, kterou udává výrobce proudového senzoru. Samotný senzor ACS712 lze zakoupit ve dvou variantách pro měření různých velikostí proudu, jedná se o $\pm 5\text{ A}$ a $\pm 20\text{ A}$. Další

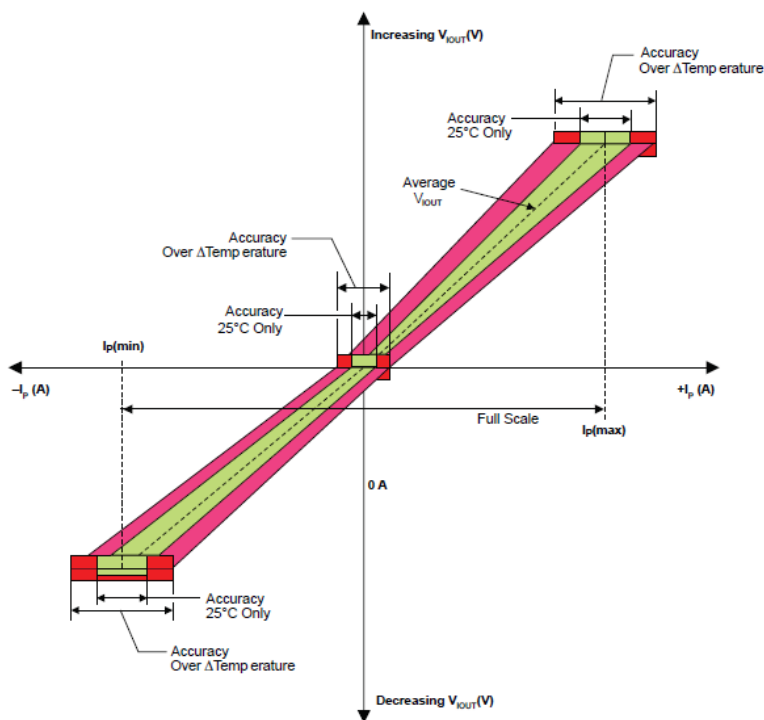
výhodou proudového senzoru ACS712 je možnost měřit proud v obou směrech, můžeme tedy dostat kladný i záporný výsledek. Při měření nulového proudu tím pádem dostaneme napětí rovné polovině napájecího napětí modulu, tedy $V_{cc}/2$. [3]

Typical Application



Obr 7 – Principiální obvod proudového senzoru [4]

Output Voltage versus Sampled Current Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current



Obr 8 – Graf výstupního napětí oproti vzorkového proudu [4]

Pro propojení proudového snímače s Arduinem je potřeba použít 3 propojovací piny. První pin VCC připojím do +5 V Arduina, druhý pin OUT na A1 a poslední pin GND na zem Arduina. Zátěž pak zapojíme mezi svorky na druhé straně.

Dále můžeme vidět část kódu pro měření stejnosměrného proudu (DC). Na začátku kódu nastavíme číslo pinu pro analogový vstup a dále deklarujeme proměnnou s konstantou pro přepočítání měřeného napětí na proud. V setup napíšeme zvolený analogový pin jako vstupní. V loop napíšeme proměnné pro měření a výpočet proudu, dále máme smyčku for která dělá 100 měření

včetně přepočtu napětí na proud. Pak 100 výsledků měření ukládáme do proměnné a vydělíme tuto proměnnou 100, abychom získali průměr. Pak výsledek ukládáme na SD kartu.

```

const int pinAmp = A1;
int konst = 185;
int offset = 2550;
void setup () {
  pinMode(pinAmp, INPUT);
}
void loop () {
double voltage = 0;
double amp = 0;
double count = 0;
int valueI = 0;
for (int i=0; i<100; i++)
{
  valueI = analogRead(pinAmp);
  voltage = (valueI * (Vcc*1000.00)) / 1023;
  amp = (voltage - offset) / konst;
  count += amp;
  delay (10);
}
amp = (count/100);

```

//deklaruju připojeny pin
//konstanta citlivosti snímačů
//konstanta offset snímačů

//nastavení pina na vstup

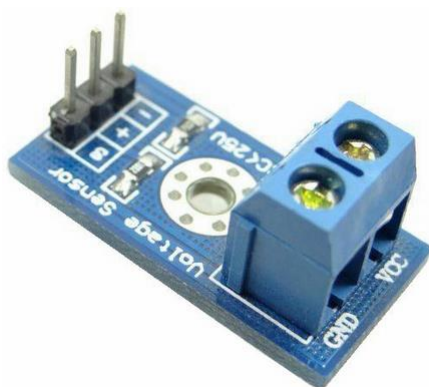
//konstanta napětí
//konstanta proudu
//konstanta počet měření

//cyklus for

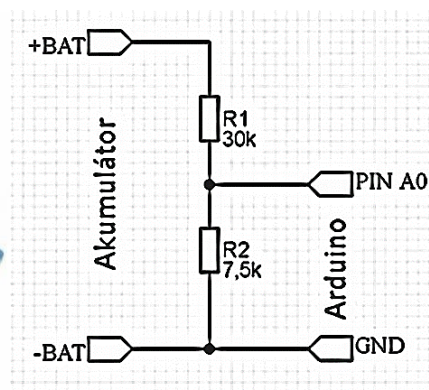
//odečtení napětí z pina
//přepočet hodnoty
//vypočet proudu
//počítá měření, aby zmenšit šum

//konečná hodnota proudu

2.2.3. Modul pro měření napětí



Obr 9 – Napěťový senzor [2]



Obr 10 – Schéma odporového děliče

$$V_{out} = V_{in} \frac{R2}{R1 + R2} \quad (2.1)$$

Napěťový senzor pro měření napětí funguje na principu odporového děliče napětí. Rozsah měřeného napětí až do 25 V. Napájecím napětím pro senzor jsou 3,3V nebo 5 V. Pro napájecí napětí 3,3V je maximální měřitelné napětí 16,5V, a při napájení 5 V je maximální měřitelné napětí 25 V.

Pro propojení napěťového snímače s Arduinem je potřeba použít 3 propojovací piny. První pin VCC připojím na +5 V Arduino, druhý pin OUT na A0 a poslední pin GND na zem Arduina. Akumulátor pak zapojíme mezi svorky na druhé straně.

Dále můžeme vidět část kódu pro měření stejnosměrného napětí (DC). Na začátku kódu nastavíme číslo pinů pro analogový vstup a dále deklaruje proměnnou s konstantou pro přepočet měřeného

napětí. V setup označíme zvolený analogový pin jako vstupní. V loop napíšeme proměnné pro měření napětí z analogového vstupu a pak vypočítáme koeficienty děliče a následně vypočítáme skutečné napětí na akumulátoru. Pak výsledek ukládáme na SD kartu.

```

const int pinVolt = A0;
float R1 = 30000.0;
float R2 = 7400.0;
void setup (){
  pinMode(pinAmp, INPUT);
}
void loop()
{
  float Vcc = readVcc();
  float voltRatio = 0;
  float vin = 0;
  int valueU = 0;
  const float dividerratio = (R1+R2)/R2;
  valueU = analogRead(pinVolt);
  voltRatio = Vcc / 1023.00;
  vin = valueU*voltRatio*dividerratio;
}

```

//deklaruju připojeny pin
//hodnota odporu rezistoru R1
//hodnota odporu rezistoru R2

//nastaveni pina na vstup

//odečítá skutečnou napájecí napětí
//deklaruju konstanty pro vypočet

//vypočet odporu děličů
//odečítám hodnotu z pina
//převádím napětí
//konečná hodnota napětí

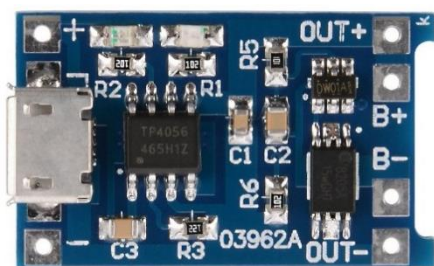
2.2.4. Modul SD-karta



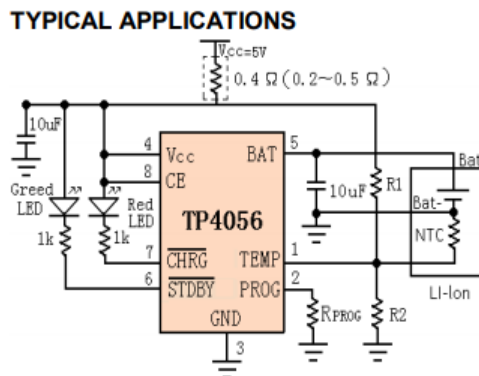
Obr 11 – Modul SD-karta [2]

Modul pro připojení SD karty potřebujeme v našem projektu, aby mohl ukládat naměřená data. Deska modulu podporuje napájení 5 V, na desce jsou piny: MOSI, MISO, SCK, CS, GND, +5 V. SD kartu můžeme použít kteroukoliv, která je formátovaná na FAT nebo FAT32.

2.2.5. Nabíječka akumulátorů



Obr 12 – Chytrá nabíječka [5]



Obr 13 – Principiální odvod nabíječky [6]

Pro nabíjení akumulátoru, byla použita chytrá nabíječka s ochranou. Tato nabíječka je určena pro nabíjení lithiových akumulátorů, s použitím konstantního proudu a napětí. Kromě toho, tento modul bezpečně lithiové akumulátory nabíjí. Tato nabíječka používá regulátor TP4056 se samostatnou ochranou. Funkce jsou řízení konstantního proudu a napětí, ochrana proti hlubokému vybíjení, ochrana proti přepětí, nadproudová a zkratová ochrana.

Výhody

- Malé rozměry
- Ochranný elektrický obvod
- Levná
- Kombinované napájení (microUSB, drátky)
- Můžeme regulovat proud nabíjení, odporem R3

Nevýhody

- Ohřívá při dlouhodobém použití
- Nemá signálový pin (nabit a vybit)

*Modul nabíječky baterií pro Li-Ion články
Konektor mikro USB
Piny IN+, IN-, BAT+, BAT-*

*Napájení 4.5–5.5 VDC
Proud až 1 A
LED status (nabíjení, nabito) [5]*

2.2.6. Zdrojový kód

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

//Konstanty pro korigování VCC
const float typVbg = 1.07;
float Voff = 2.75;

//Konstanty pro vypočet napětí
const int pinVolt = A0;
float R1 = 30000.0;
float R2 = 7400.0;

//Konstanty pro vypočet proudu
const int pinAmp = A1;
int konst = 185;
int offset = 2550;

//Vstupní piny pro řízení Relé
const int pinRelay = 3;
const int pinChrg = 8;
const int pinChrgG = 7;
boolean flag = true;

//Konstanty pro vypočet kapacity
float cap = 0;
unsigned long prevMillis;

//Konstanty pro řízení PWM generátorem
const int pinPWM = 5;
int valuePWM = 200;

//Konstanta pro kontrolu SD karty
const int pinCS = 10;
```

```

void setup()
{
  pinMode(pinVolt, INPUT);
  pinMode(pinAmp, INPUT);
  pinMode(pinCS, OUTPUT);
  pinMode(pinPWM, OUTPUT);
  pinMode(pinRelay, OUTPUT);
  pinMode(pinChrg, INPUT);
  pinMode(pinChrgG, INPUT);
  digitalWrite(pinRelay, LOW);
  analogReference(DEFAULT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Initial Card");
  if(!SD.begin(pinCS))
  {
    Serial.println("Card Fail");
    return;
  }
  Serial.println("Card Ready");
  File logFile = SD.open("log.csv", FILE_WRITE);
  if (logFile)
  {
    logFile.println(" , ");
    String header = " Vcc, Napeti, Proud, Cap ";
    logFile.println(header);
    logFile.close();
    Serial.println(header);
  }
  else{ Serial.println("Couldn't open log file");}
  prevMillis = millis();
}
void loop()
{
  //Vypočet napětí
  float Vcc = readVcc();
  float voltRatio = 0;
  float vin = 0;
  int valueU = 0;
  const float dividerratio = (R1+R2)/R2;
  valueU = analogRead(pinVolt);
  voltRatio = Vcc / 1023.00;
  vin = valueU*voltRatio*dividerratio;
  //Vypočet proudu
  double voltage = 0;
  double amp = 0;
  double count = 0;
  int valueI = 0;
  for (int i=0; i<100; i++)

```

```

{
  valueI = analogRead(pinAmp);
  voltage = (valueI * (Vcc*1000.00)) / 1023;
  amp = (voltage - offset) / konst;
  count += amp;
  delay(10);
}
amp = (count/100);

//Vypočet kapacity
cap += amp*(millis()-prevMillis)/3600000*1000;
prevMillis = millis();
delay(10000);

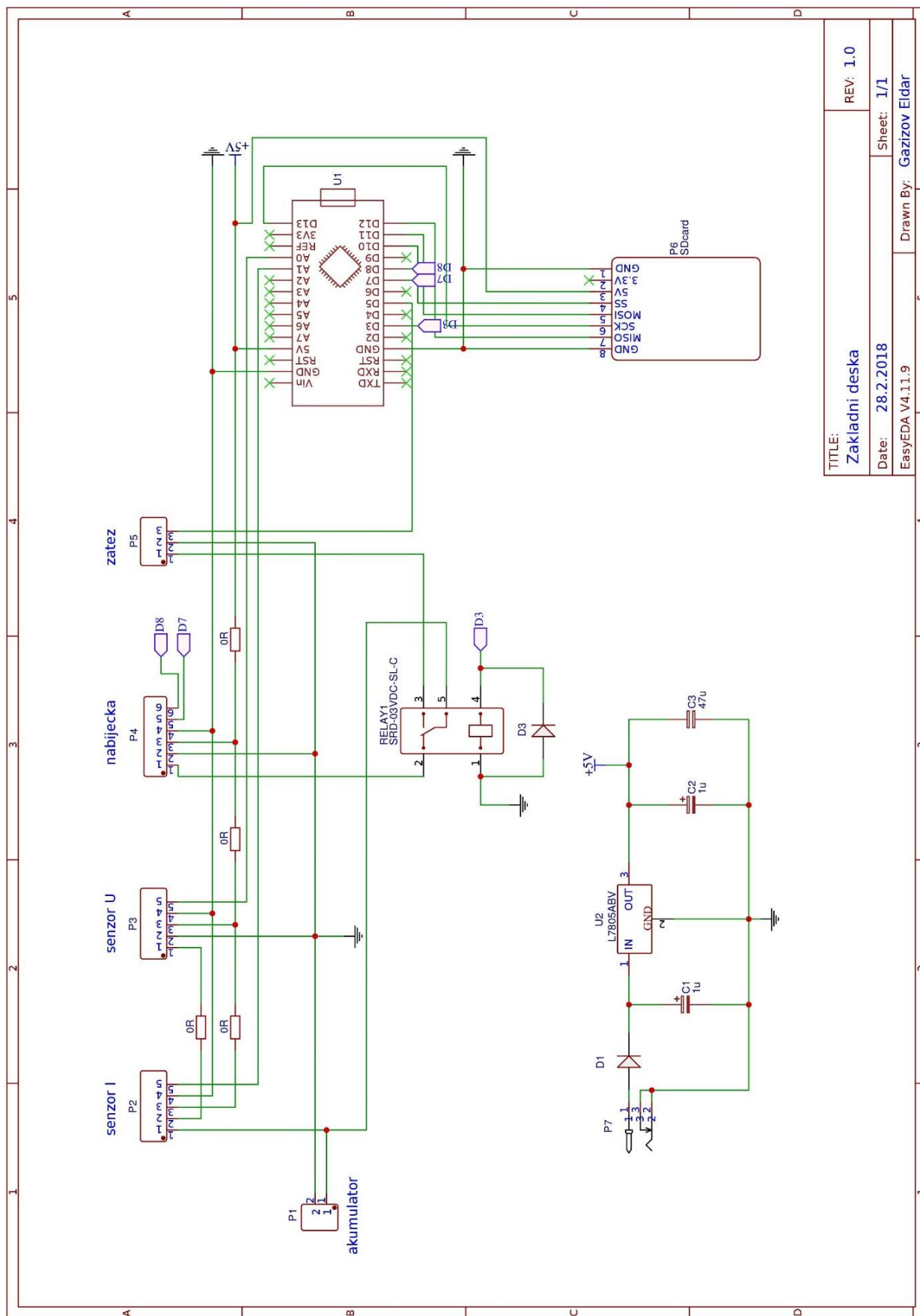
//Ukládání data do souboru LOG a pak do SD karty
String dataString = String(Vcc) + ", " + String(vin) + ", " + String(amp) + ", " + String(cap,0);
File logFile = SD.open("log.csv", FILE_WRITE);
if (logFile)
{
  logFile.println(dataString);
  logFile.close();
  Serial.println(dataString);
}
else {Serial.println("Couldn't open log file");}

//Funkce pro zapínání PWM generátoru
analogWrite(pinPWM, valuePWM);

// Řízení Relé
if (digitalRead(pinChrg)==LOW){
  digitalWrite(pinRelay, HIGH);
  if (vin <= 2.5) {
    digitalWrite(pinRelay, LOW);
  }
}
}

```

2.2.7. Schéma zapojení



TITLE:	Zakladni deska	REV:	1.0
Date:	28.2.2018	Sheet:	1/1
EasyEDA V4.11.9		Drawn By:	Gazizov Eldar

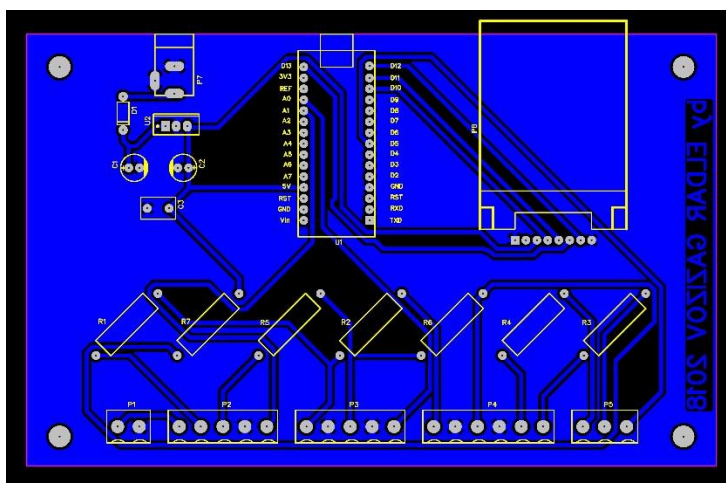
Obr 14 – Schéma zapojení externích modulů

3. Praktická část

Na začátku praktické části jsem navrhl schéma zapojení modulů a PCB. Nejprve jsem pomocí webové aplikace "easyeda", nakreslil principiální obvod, pak jsem z něj udělal PCB. Po vytisknutí předlohy desky jsme spolu s vedoucím udělali leptání základní desky. Když jsme vyrobili základní desku, začal jsem provádět kontrolu kvality leptání, někde jsem potřeboval opravit cesty na plošném spoji. Po opravě desky jsem začal připojovat moduly a testovat a korigovat zdrojový kód.

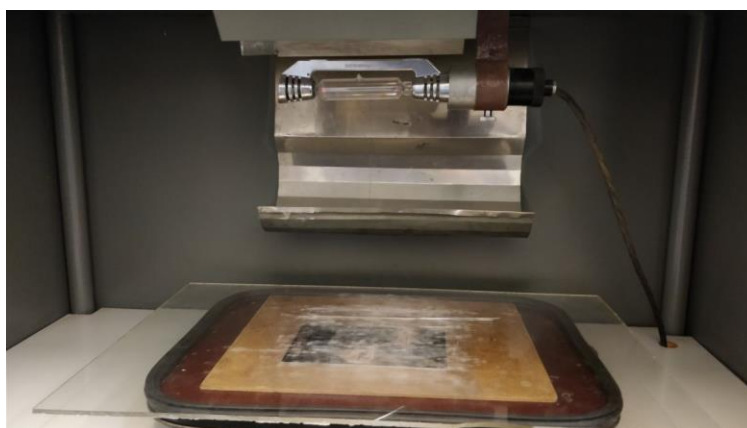
3.1. Postup přípravy a leptání:

- Na začátku potřebujeme fotocuprexit. To je deska, která má dvě vrstvy, jedna měď, a druhá fotocitlivá vrstva.
- Pak potřebujeme exportovat PCB soubor do PDF a vytisknout ho na fólii pomocí laserové tiskárny.



Obr 15 – PCB vrstva (top layer)

- Před osvětlením ultrafialovým zářením je nutno vycentrovat fólie na desce, a pak osvicovat přibližně 5 minut.



Obr 16 – UV zařízení

- Po ukončení osvitu jsme vložili desku do nádoby s roztokem hydroxidu sodného, pro vyvolání.

- Po vyvolání následuje leptání v roztoku chloridu železa a nechali jsme cca 45 minut.



Obr 17 – Proces leptání

- Na konec potřebujeme umýt desku obyčejnou vodou a nechat uschnout.



Obr 18 – Základní deska

3.2. Postup kontroly a pájení desky

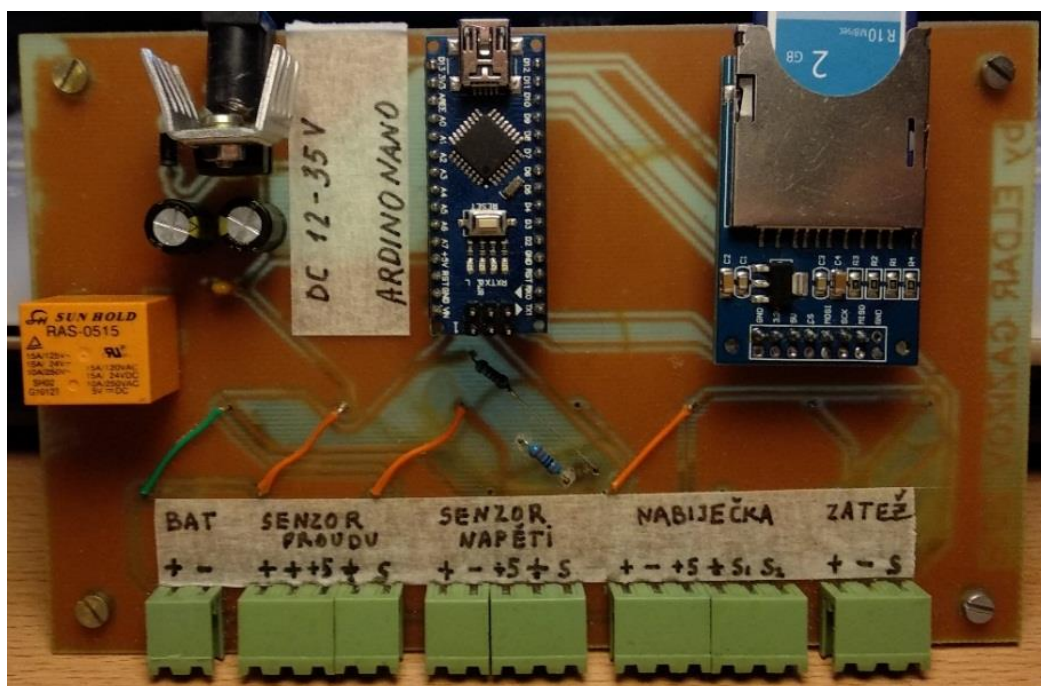
- Po leptání desky, jsem začal provádět kontrolu cest plošných spojů a opravoval jsem v některých místech, aby nebyl zkrat mezi cestami.
- Pak jsem vyvrtal díry do základní desky pro montáž jednotlivých prvků.
- Pocínování je proces pokovování desky, cest plošných spojů. K ručnímu cínování jsem používal páječku, pájku, a pájecí kapalinu.
- Poté jsem vložil jednotlivé prvky (rezistor, kondenzátor, elektrolytické kondenzátory, různé konektory, stabilizátor pevného napětí, dioda, a napájecí Jack pro 12 V. A všechno zapájel do základní desky.

3.3. EasyEDA

Projekt byl realizován pomocí webové aplikace, která se nazývá EasyEDA. EasyEDA je webový nástroj určený pro návrh elektronických schémat, návrh DPS a obvodovou simulaci. Tato aplikace běží ve webovém prohlížeči v cloudu. Není nutné si cokoli instalovat na počítač a odpadá nutnost přenášení projektů.

3.4. Základní deska.

Základní deska se skládá z čtyř částí, kde první část je napájecí, která slouží pro přetvoření napětí z 12 V do 5 V, pomocí stabilizátoru pevného napětí L7805CV. Druhá část je modul SD karty, který slouží pro ukládání naměřených dat, pomocí snímačů napětí a proudu. Ve třetí části je pět bloků svorek, ke kterým se připojí akumulátor, snímač proudu, snímač napětí, chytrá nabíječka a zátěž. Poslední čtvrtá část obsahuje hlavní mozek Arduino nano, který pomocí mikrokontroleru ATmega328P a program vše řídí.



Obr 19 – Celkové zařízení

Seznam součástek

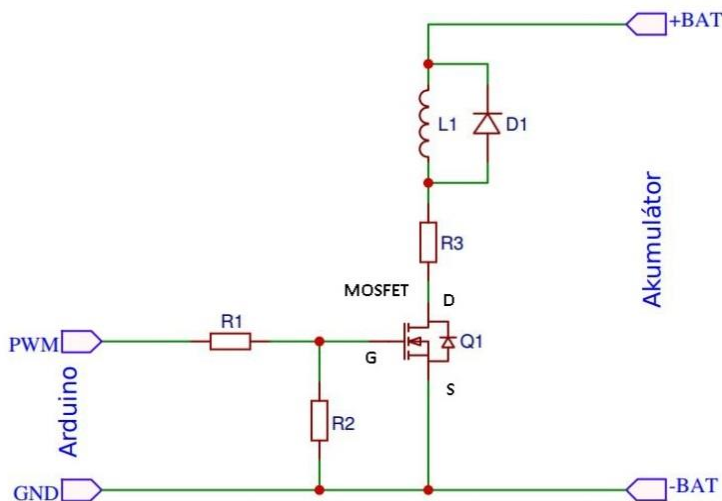
Součástka	Název	Hodnota	Pouzdro	Počet
P7	DC Jack	-	DC005-2.5 mm	1
U2	Stabilizátor pevného napětí L7805CV	5 V/1.5 A	TO-220	1
D1	Dioda 1N4007	700 V/30 A	DO-41	1
C1	Elektrolytické kondenzátory	47 u/63 V	47 u RAD-0.2/63 V	1
C2	Elektrolytické kondenzátory	47 u/63 V	47 u RAD-0.2/63 V	1

C3	Keramický kondenzátor	1 u	1 u CAP-D6.3x2.5	1
P1	Svorka 2P	2P	WJ2EDGVC-5.08-2P	1
P2, P3	Svorka 5P	5P	WJ2EDGVC-5.08-5P	2
P4	Svorka 6P	6P	WJ2EDGVC-5.08-6P	1
P5	Svorka 3P	3P	WJ2EDGVC-5.08-3P	1
RELAY1	Relé Sun Hold	24 V/15ADC	RAS-0515	1
U1	Arduino nano	-	-	1
P6	Modul SD karty	-	-	1

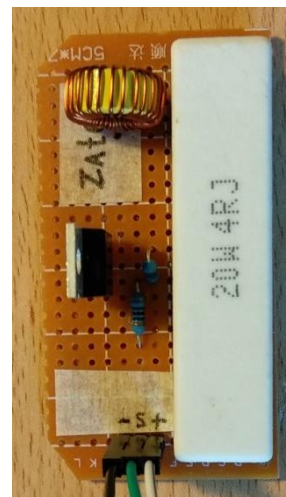
Tabulka 3 – Seznam součástek zařízení

3.5. Návrh zátěže

Elektronická zátěž je jedním ze základních zařízení pro testování napájecích zdrojů. Zde popisují konstrukci elektronické zátěže s digitálním nastavením, možností regulace proudu a práce v režimu konstantního proudu, odporu či napětí.



Obr 20 – Principiální obvod zátěže



Obr 21 – Modul zátěže

Seznam součástek

Součástka	Název	Hodnota	Pouzdro	Počet
R1	Rezistor 100 Ω	100 Ω	AXIAL-0.8	1
R2	Rezistor 10 kΩ	10 Ω	AXIAL-0.8	1
D1	Dioda 1n4007	700 V/30 A	DO-41	1
R3	Drátový rezistor 4 Ω	4Ω	RD 4R 10W 5%	1
L1	Tlumivka toroidní vertikální 5μH	5μH/2 A	DPO5000A2	1
Q1	Tranzistor IRFZ48N	55 V/64 A DC	TO-220	1

Tabulka 4 – Seznam součástek zátěží

Koncepce

Elektronická zátěž je navržena tak, aby umožnila testování různých typů akumulátorů, v různých režimech regulace proudu. Obvod zátěže má tranzistor, cívku, rezistor.

Jedním ze způsobů, jak regulovat proces vybíjení akumulátoru je použití mosfet tranzistorů, pomocí kterého řídím protékající proud.

IRFZ48N

International
Rectifier

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

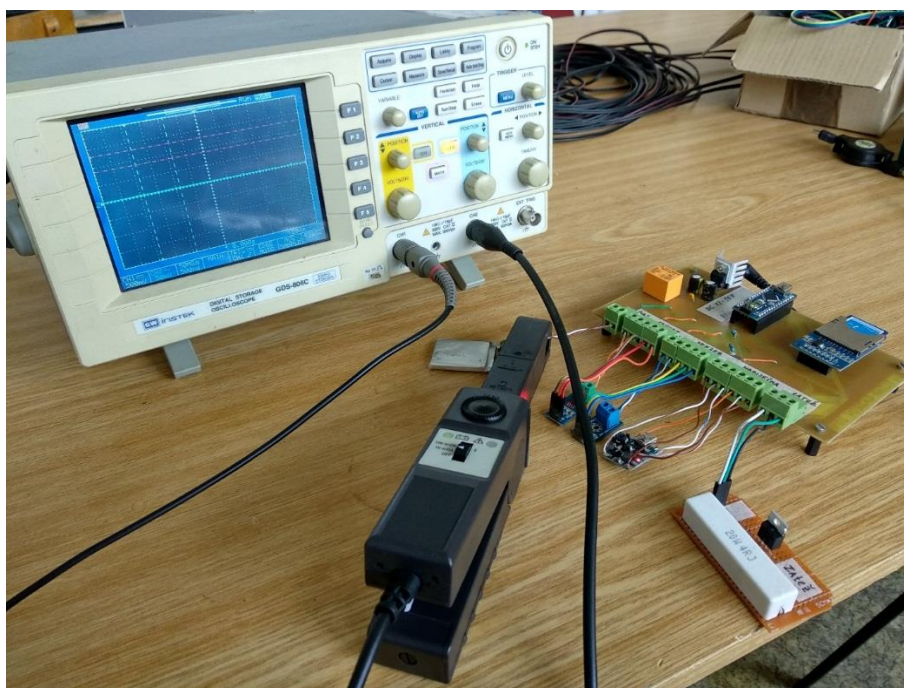
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.058	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	14	m Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 32A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	24	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 32A$ ②
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250	μA	$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	64	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	45	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	210	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.83	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ①	32	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	13	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Obr 22 – Parametry IRFZ48N MOSFET tranzistoru [7]

4. Měřicí část



Obr 23 – Provádění a kontrola měření

4.1. Bezpečnost využití akumulátorů

Pro bezpečné využití akumulátorů je nutné se přidržovat následujících pravidel:

- Nevytvářejte krátké spojení mezi svorkami akumulátorů, protože zkratový proud nabitého akumulátoru je schopen roztavit kontakty a zničit akumulátor.
- Neuchovávat akumulátor ve vybitém stavu, protože se sníží vlastní kapacita.
- Dodržovat správné zapojení akumulátorů, to znamená správnou polaritu. Nabitá baterie má energii a je schopná zničit zařízení při nesprávném zapojení.
- Neotevírejte kryt baterií. Uvnitř obsahují elektrolyt schopný způsobit chemické popálení kůže.
- Používat baterie v souladu se návodem k obsluze.

4.2. Technické charakteristiky.

Nejdůležitější charakteristiky akumulátorů jsou kapacita, napětí, rozměr, váha, cena, životnost, rozsah pracovních teplot, přípustný proud nabíjení a vybíjení, účinnost.

Lithium-polymerový akumulátor je nový typ akumulátoru, který se používá v různých elektronických zařízeních. Rozdíl mezi Li-Pol a Li-ion je ve využití polymerového elektrolytu, což znamená, že zvětšuje bezpečnost využití a snižují uniknutí elektrolytu. Má větší kapacitu a menší rozměr akumulátoru.

Nominální hodnoty napětí a kapacity se obecně udávají v názvu modelu akumulátorů nebo v datasheetu. Mám Polymer Lithium-Ion Battery model: CELLEVIA BATTERIES LP503040/550mAh, kde nominální napětí 3.7 V a kapacita 550mAh. To je znamená, že baterie může vydávat na zátěž energii $3.7 \times 0.550 = 2.035$ Wh při 5 hodinách vybíjení proudem 1/10 od nominální kapacity. Při větším proudu a rychlém vybíjení, se kapacita baterie snižuje. Při malém proudu se obecně zvětšuje. Je to možné vidět na grafu vybíjecích charakteristik. Občas výrobce uvádí přehnané kapacity akumulátorů.

Pro zvětšení životnosti akumulátoru je žádoucí používat ochranný obvod, který ochraňuje od zkratu proudu, od přebíjení a hlubokého vybíjení akumulátoru.

2. Model : CELLEVIA BATTERIES LP503040

3. Cell parameters Index:

3.1 Single cell parameters

No.	Item	Spec	Note
1	Model Number	503040 / 550mAh	
2	Charge Limited Voltage	4.2V	
3	Nominal Voltage	3.7V	Cell Voltage between 3.6V ~3.9V before shipping
4	Nominal Capacity	550mAh@ 0.2C Discharge	Nominal Capacity refer to the capacity of 0.2C discharge with 2.75V cut-off voltage, after charging with standard method.
5	Cycle Life	300 Times	One cycle refer to one charge period and then one discharge period. Test condition: Charge: 0.2C to 4.2V Discharge: 0.2C to 2.75V The cycle life is the cycle times when the discharge capacity is about 80% of the rated capacity.
6	Self-discharge	Residual Capacity>90%	After standard charging, stored at 25°C±0.5°C for 30 days, then measure the capacity as item 4.
7	Impedance	Typical: 67mΩ	After standard charging, measure the internal resistance with AC1KHz
8	Max. Charge Current	1C	
9	Max. Discharge Current	1C	
10	Discharge Cut-off Voltage	2.75V	
11	Operating Temperature	Discharge: -10°C ~ +55°C Charge: 0 °C ~ +43°C	Cells must be stored at 3.6V-3.9V. During long period storage, cells should be maintained every 90 days. The method is to do a charge-discharge cycle with standard method, then charge to 3.7—3.9V.
12	Storage Temperature	-20 °C ~+45°C	
13	Cell Weight	Approx: 11g	
14	Cell Dimension	Length: 40.5mm Max Width: 30.5mm Max Thickness: 5.5mm Max	Measured with weighting 300gf at 25°C±0.5°C Not including Tabs
15	Connector type	JST SYP-02T-1 + socket	2.54mm*2pins

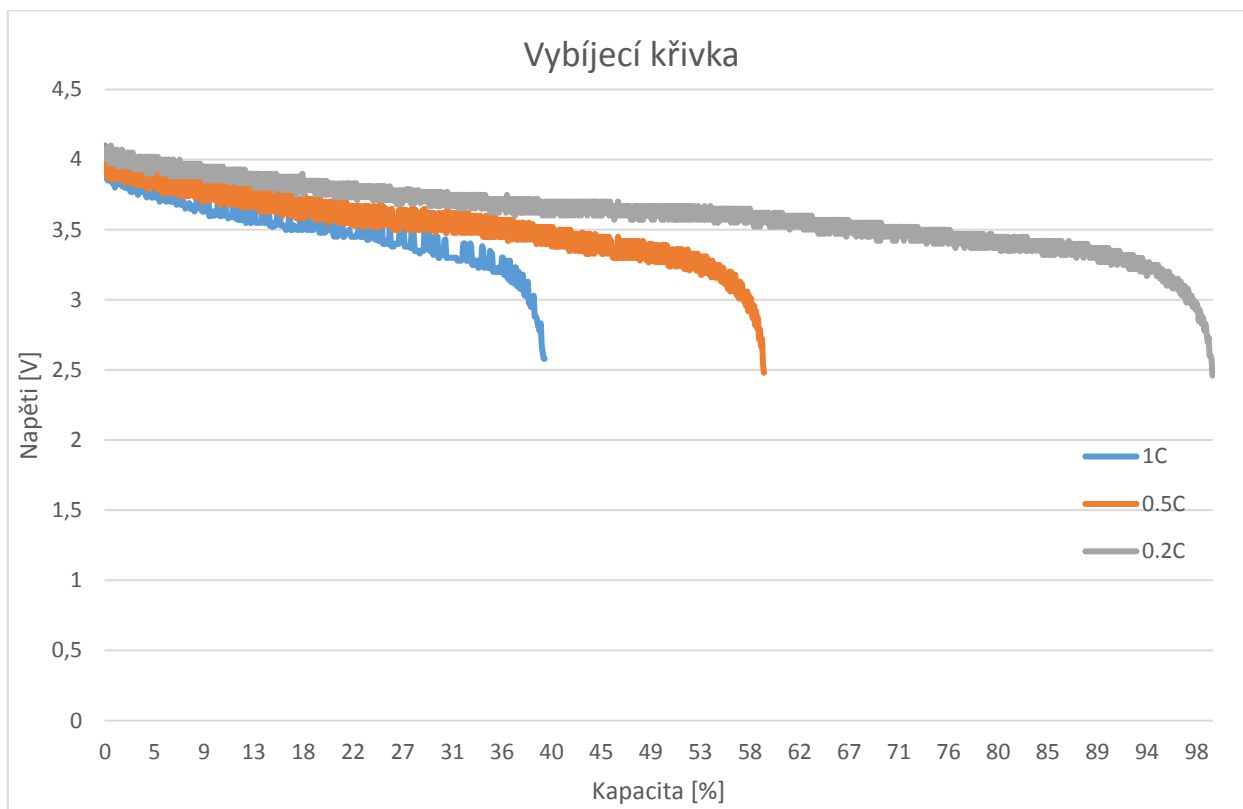
Obr 24 – Parametry použitého akumulátoru [8]

Vybíjení akumulátoru

Kapacita se vyjadřuje jako celkový náboj, který je při plném nabití schopen pojmout galvanický článek nebo akumulátor.

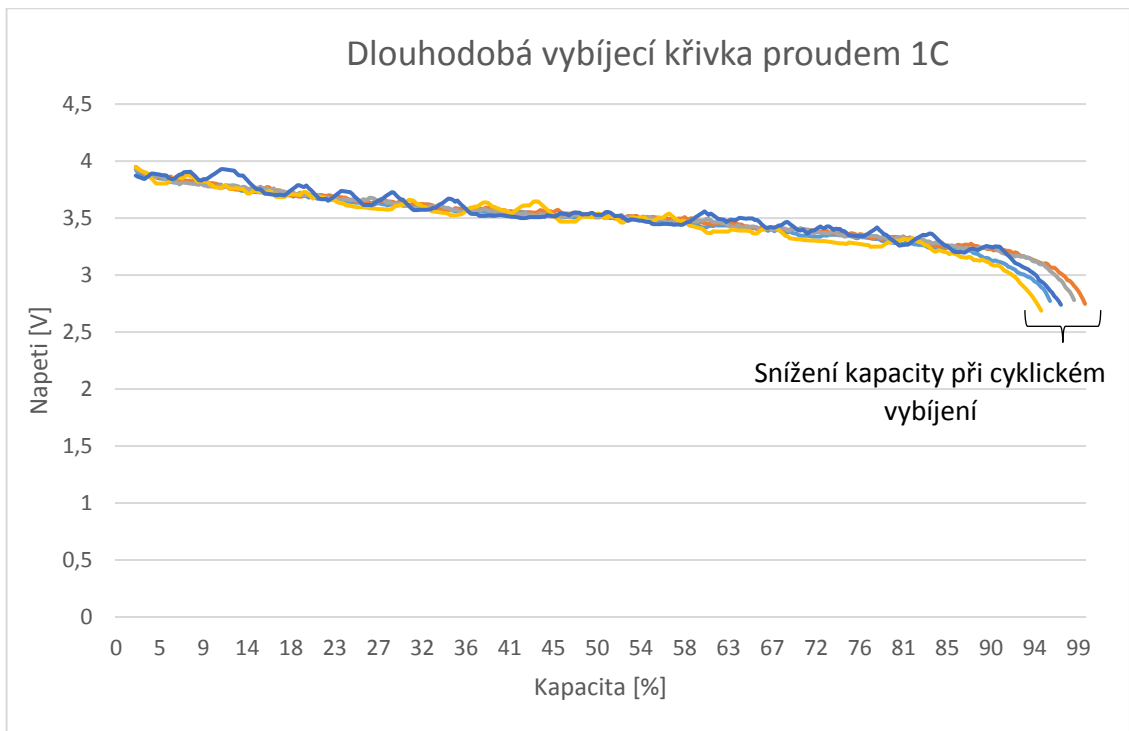
1 Ah (Ampérhodina) je definována jako náboj, který akumulátor dodá do obvodu při konstantním proudu 1 ampér za dobu 1 hodiny. V mém akumulátoru je kapacita uvedená v miliampérhodinách.

Při vybíjení proudem v 0.2 C je pracovní doba přibližně 5 hodin a baterie úplně odevzdá v zátěž akumulovanou energii. Při vybíjení proudem 1 C (což je 5krát větším) pracovní doba bude přibližně 25 minut, přičemž odevzdá do zátěže půlku akumulované energie.

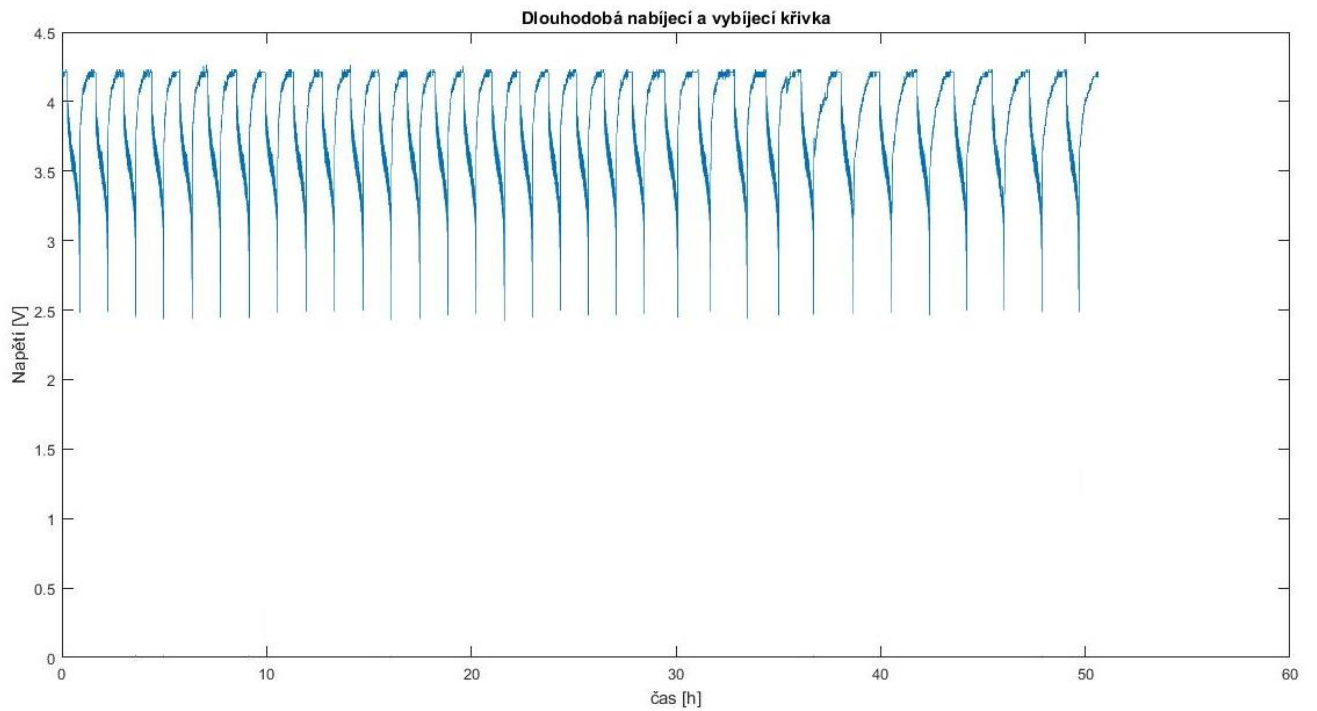


Graf 1 – Vybijecí křivka

Při dlouhodobém vybíjení akumulátoru konstantním proudem 1 C, vidím z grafů, jak klesá kapacita Li-Pol akumulátoru. To znamená že při každém následujícím vybíjení se kapacita akumulátoru bude snižovat. Graf nám ukazuje závislost napětí na kapacitě, a z toho grafů můžeme dokázat, že opakovaním testování akumulátoru při vybíjení se jeho charakteristiky začnou zhoršovat a klesat. Každý akumulátor má svou pracovní dobu a počet cyklu nabíjení a vybíjení. Navrženým zařízením můžeme testovat libovolné akumulátory a zjistit jejich charakteristiky, a zkontrolovat charakteristiky které jsou uvedené v technické dokumentaci.



Graf 2 – Dlouhodobá opakovací křivka vybíjení

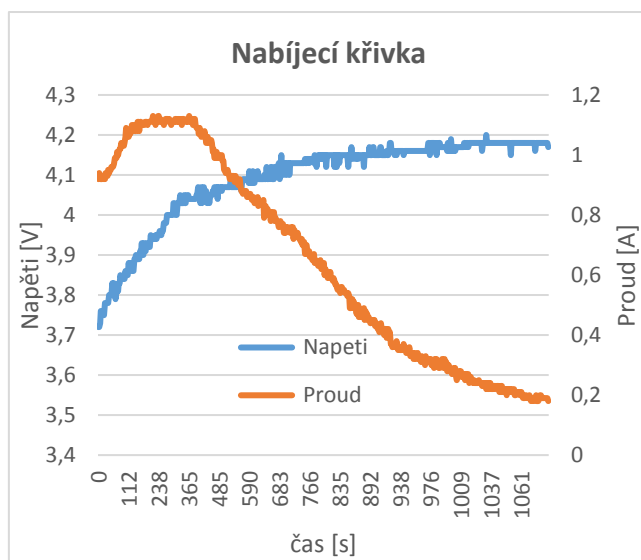


Graf 3 – Dlouhodobá opakovací křivka vybíjení a nabíjení

Nabíjení Li-Pol akumulátorů

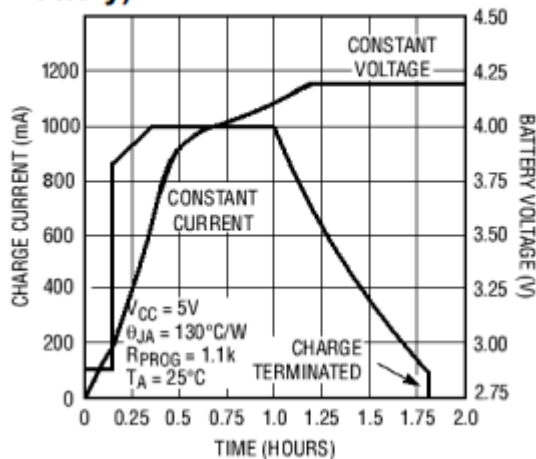
Nabíjení akumulátoru probíhá v kombinovaném režimu: na začátku při konstantním proudu (od 0,2C do 1 C) do napětí 4,1-4,2V, dále při konstantním napětí. Při nabíjení proudem 1 C doba nabíjení trvá přibližně 1-2 hodiny. Akumulátor se dostává do nabitého stavu, až napětí je rovné 4,1-4,2V, a proud je nulový.

Dole vidíme srovnání dvou grafů, jeden příklad uvedený výrobcem, a druhý naměřeny



Graf 4 – Naměřena nabíjecí křivka

Complete Charge Cycle (1000mAh Battery)



Obr 25 – Příklad nabíjecí křivky [6]

5. Závěr

V první části práce byly rozvedeny parametry akumulátorů, jejich základní dělení, vlastnosti a způsoby určování parametrů akumulátorů. V druhé části pak byl proveden samotný návrh zařízení, které by mělo být schopno měřit charakteristiky libovolného akumulátoru se jmenovitým napětím do 12 V.

V rámci druhé části byly stanoveny základní dílčí bloky zařízení, včetně předpokládaných požadavků. Dále bylo navrženo takové řešení těchto bloků. Z těchto návrhů lze vyvodit předpokládané provozní parametry celého zařízení.

V praktické části bylo řešeno zařízení z externích modulů, aby toto zařízení bylo multifunkční pro různé typy akumulátoru. Po výrobě zařízení následovala jeho kontrola a tvorba zdrojového kódu.

Další kapitola je zaměřena na testování Li-Pol akumulátoru a zjištění jeho charakteristik. V této části projektu jsem naměřil data a pak je zpracoval do grafů, aby bylo vidět, jak probíhá proces nabíjení a vybíjení.

6. Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] КАШКАРОВ, Антон. *Аккумуляторы (справочник)*. ИП РадиоСофт. Россия, 2014. ISBN 978-5-93037-261-8.
- [2] Arduino. *Arduino* [online]. Italia: Arduino Software, 2018 Arduino [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <<https://www.arduino.cc/>>
- [3] Návod Arduino [online]. 2016 [cit. 2018-05-4]. Dostupné z: <<http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/proudovy-senzor-ac712.html>>
- [4] Datasheet senzoru proudu ACS 712. *Allegro - Distributor Elektronických součástek* [online]. Allegro MicroSystems, 2013 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>>
- [5] ARENDÁŠ, Miroslav, RUČKA, Milan. *Nabíječky a nabíjení*. 3. upr. vyd. Praha: Ben, 1999.
- [6] Datasheet TP4056 Linear battery charger. NanJing - *Distributor Elektronických součástek* [online]. NanJing Top Power ASIC Corp, 2013 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <<https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>>
- [7] Datasheet IRFZ48N. Rectifier - *Distributor Elektronických součástek* [online]. California: International Rectifier Corp, 1999 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <<https://www.infineon.com/dgdl/irfz48n.pdf?fileId=5546d462533600a40153563ea45a222a>>
- [8] Datasheet Cellevia batteries LP503040. Specification approval sheet [online]. California: International Corp, [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <<http://panda-bg.com/datasheet/2544-363229-Battery-Cell-37V-550-mAh-Li-Po-503040.pdf>>
- [9] SIMÍČEK, Petr. *Li-Ion* [online]. 2006 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <<http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2005/xsimicek.htm>>.

Seznam obrázků tabulek a grafu

Seznam obrázků

Obrázek 0 – Koncepční blok schéma zařízení.....	8
Obrázek 1 – Schéma zapojení voltmetru	10
Obrázek 2 – Schéma zapojení ampérmetru	11
Obrázek 3 – Schéma zapojení měření vnitřního odporu	11
Obrázek 4 – Blok schéma	12
Obrázek 5 – Základní deska Arduino nano.....	13
Obrázek 6 – Proudový senzor	13
Obrázek 7 – Principiální obvod proudového senzoru	14
Obrázek 8 – Graf výstupního napětí oproti vzorkového proudu	14
Obrázek 9 – Napěťový senzor	15
Obrázek 10 – Schéma odporového děliče	15
Obrázek 11 – Modul SD-karta	16
Obrázek 12 – Chytrá nabíječka	16
Obrázek 13 – Principiální obvod nabíječky	16
Obrázek 14 – Schéma zapojení externích modulu	20
Obrázek 15 – PCB vrstva (top layer)	21
Obrázek 16 – UV zařízení	21
Obrázek 17 – Proces leptání	22
Obrázek 18 – Základní deska	22
Obrázek 19 – Celkové zařízení	23
Obrázek 20 – Principiální obvod zátěže	24
Obrázek 21 – Modul zátěže	24
Obrázek 22 – Parametry IRFZ48N MOSFET tranzistoru	24
Obrázek 23 – Provádění a kontrola měření	25
Obrázek 24 – Parametry použitého akumulátoru	26
Obrázek 25 – Příklad nabíjecí křivky	28

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Typy akumulátoru a jejich charakteristiky	9
Tabulka 2 – Výhody a nevýhody druhů akumulátoru	10

Tabulka 3 – Seznam součástí zařízení	23
Tabulka 4 – Seznam součástí zátěží.....	24
Seznam grafů	
Graf 1 – Vybíjecí křivka	28
Graf 2 – Dlouhodobá opakovací křivka vybíjení	29
Graf 3 – Dlouhodobá opakovací křivka vybíjení a nabíjení.....	29
Graf 4 – Naměřena nabíjecí křivka	30

Seznam použitého SW

- Arduino IDE
- EasyEDA
- Paint.NET
- FLProg
- MATLAB R2017a

Seznam příloh

- Příloha 1: CD