

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Analyzátor baterií
Jakub Polák

Bakalářská práce
2019

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub Polák**
Osobní číslo: **I14017**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Analyzátor baterií**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Cílem práce je navrhnout zařízení pro měření kapacity převážně jednorázových baterií. Vzhledem k tomu, že jednotlivé typy baterií jsou schopny využít svou kapacitu různě při odlišných zátěžích, je potřeba tester připravit na několik režimů činnosti. V první variantě je vybíjení konstantním proudem do poklesu pod stanovenou mez, kdy proud bude možné nastavit od jednotek mA do 2A, v druhém režimu se budou baterie vybíjet do konstantní zátěže do poklesu napětí pod stanovenou mez. Dalším režimem bude vybíjení impulzní zátěží, kdy se bude střídát 0 odběr s nastaveným odběrem, střída mezi těmito intervaly bude nastavitelná. Zařízení změří čas, za který se baterie vybijí v daném režimu, kapacitu v Ah a celkovou vydanou energii v J. Zařízení bude plně autonomní, ale umožní připojení počítače pro vykreslení vybíjecích charakteristik. V zadání uvažujte pouze monočlánky od 1,2 do 3,7V nominálního napětí.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesoru a instrukční soubor. Praha: BEN technická literatura, 2003.336 s. ISBN 978-80-7300-083-0.
- [2] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.
- [3] VLACH, J. Řízení a vizualizace technologických procesů. Praha: BEN technická literatura, 2002. 160 s. ISBN 978-80-86056-66-X.
- [4] BRTNÍK, B. Základní elektronické obvody. Praha: BEN technická literatura, 2011. 156s. ISBN 978-80-7300-408-8
- [5] RIPKA, P.; TIPEK, A. Master Book of Sensors. Praha : BEN, 2003. ISBN 0-12-752184

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Rozsival
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

31. října 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

11. května 2018



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Jan Pidanič, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. prosince 2017

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 17. 5. 2019

Jakub Polák

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Pavlu Rozsivalovi za klidný a vlídný přístup. Chci také poděkovat rodině za poskytnutí zázemí a pomoci při koupi součástek. V ne-poslední řadě chci také poděkovat několika kamarádům, kteří mi velmi pomohli s prací začít a pokračovat v ní.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá návrhem a výrobou obvodu pro vybíjení baterií ve třech různých režimech a následném výpočtu jejich základních parametrů kapacity a energie. Obvod je možné připojit k PC a pomocí speciální aplikace je vykreslit vybíjecí charakteristiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Baterie, analyzátor, vybíjení, mikrokontrolér

TITLE

Battery analyzer

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with developing of electronic circuit for battery discharging in three different modes and then calculating their basic parameters capacity and energy. It is possible to connect this circuit to PC and show discharging characteristics with the help of special application.

KEYWORDS

Battery, analyzer, discharging, microcontroller

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Seznam zkratk a značek	11
Úvod	12
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	13
1.1 Vlastnosti baterií	13
1.1.1 Označení baterie/monočlánek.....	13
1.1.2 Primární, sekundární.....	13
1.1.3 Standardy velikostí	13
1.1.4 Kapacita	14
1.1.5 Energie	15
1.1.6 Výhody, nevýhody.....	15
1.2 Galvanický článek.....	15
1.3 Primární články.....	15
1.3.1 Zinko-uhlíkový článek	15
1.3.2 Alkalické baterie	16
1.3.3 Lithiová baterie	17
1.4 Hlavní obvod.....	17
1.5 Metody měření kapacity baterií	18
1.5.1 Měření kapacity pomocí vybíjení konstantním proudem	19
1.5.2 Měření kapacity pomocí vybíjení do konstantní zátěže.....	19
1.5.3 Měření kapacity pomocí pulzního vybíjení	19
1.6 Komerční analyzátoři	20
1.7 Bloky schématu, součástky.....	20
1.7.1 Blokované schéma	20
1.7.2 Napájení	20
1.7.3 Operační zesilovače	21
1.7.4 Tranzistory	23
1.7.5 Displej.....	24
1.7.6 Řízení.....	25

1.7.7	Uchování dat	26
2	PRAKTICKÁ ČÁST	27
2.1	Návrh schématu	27
2.1.1	Napájecí část	27
2.1.2	Řídící mikrokontrolér	28
2.1.3	Zapojení LCD displeje	29
2.1.4	Zapojení EEPROM	29
2.1.5	Zapojení DAC	30
2.1.6	Zapojení obvodu aktivní zátěže	31
2.2	Deska plošného spoje.....	33
2.3	Oživená deska plošného spoje	34
2.4	Programování Arduina.....	35
2.4.1	Souhrnný průběh funkce programu	35
2.4.2	Použité knihovny	36
2.4.3	UART komunikace	36
2.4.4	Komunikace SPI	36
2.4.5	Čítač/časovač 1	37
2.4.6	Tlačítko externího přerušení	39
2.5	Počítačový program pro vykreslování charakteristik	40
2.6	Zapouzdření	41
2.7	Výsledek měření	42
2.7.1	Test Zn-C baterie	43
2.7.2	Test alkalické baterie	44
2.7.3	Zhodnocení výsledků	45
	Závěr	47
	POUŽITÁ LITERATURA.....	48

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Uvnitř zinko-uhlíkového článku [3].....	16
Obrázek 2 - Uvnitř alkalické baterie [4]	17
Obrázek 3 - Nejjednodušší zapojení obvodu aktivní zátěže	18
Obrázek 4 - Blokové schéma obvodu	20
Obrázek 5 - Neinvertující zapojení OZ.....	23
Obrázek 6 - LCD displej [7]	25
Obrázek 7 - Schéma zapojení napájecí části	28
Obrázek 8 - Schéma hrubého zapojení Arduina	29
Obrázek 9 - Schéma zapojení pinové lišty pro LCD displej.....	29
Obrázek 10 - Schéma zapojení EEPROM 25AA1024.....	30
Obrázek 11 - Schéma zapojení DA převodníku MCP4921	31
Obrázek 12 - Schéma zapojení elektronické zátěže.....	32
Obrázek 13 - Vrchní vrstva desky plošného spoje.....	33
Obrázek 14 - Spodní vrstva desky plošného spoje.....	34
Obrázek 15 - Osazená deska plošného spoje	34
Obrázek 16 - Prostředí programu pro vykreslování charakteristik	41
Obrázek 17 - Výsledný vzhled analyzátoru baterií	42
Obrázek 18 - Výsledné hodnoty C, E pro Zn-C TESCO BASICS baterii.....	44
Obrázek 19 - Průběh napětí při vybíjení Zn-C TESCO BASICS baterie	44
Obrázek 20 - Výsledné hodnoty C, E pro VARTA HIGH ENERGY baterii	45
Obrázek 21 - Průběh napětí při vybíjení alkalické VARTA HIGH ENERGY baterie.....	45

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Označení standardních velikostí primárních a sekundárních baterií	14
---	----

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

A/D	Analogově digitální
D/A	Digitálně analogový
EEPROM	Electrically erasable programmable read-only memory
OZ	Operační zesilovač
PC	Personal computer
PWM	Pulse width modulation
SPI	Serial peripheral interface
TTL	Transistor-transistor-logic
UART	Universal asynchronous receiver transmitter

ÚVOD

Baterie jsou dnes hojně používané zdroje elektrické energie, které najdou uplatnění téměř kdekoliv v každodenním životě. Existuje jich mnoho druhů, velikostí, pro mnoho různých účelů, s různými vlastnostmi. Do běžné domácí slaboproudé elektrotechniky se nejčastěji používají monočlánky o nominálním napětí 1,5 V, které jsou často zapojené do série, kdy se jejich napětí sčítá. Napětí je vlastně jediná hodnota, co obyčejného spotřebitele většinou zajímá. Existuje však spousta dalších významných vlastností, jako například kapacita a energie měřené v této práci.

Cílem této práce je návrh a realizace obvodu pro testování převážně primárních (jednorázových) monočlánků nominálního napětí 1,2 až 3,7 V ve třech způsobech vybíjení: konstantním proudem, do konstantní zátěže a pulzním vybíjením při konstantním proudu. Průběžné hodnoty proudu, napětí a času by měly být pro přehlednost zobrazeny na LCD segmentovém displeji. Obvod by mělo být možné připojit do počítače pomocí rozhraní USB. Systém počká, než se baterie vybijí a vyzve uživatele k vykreslení její vybíjecí charakteristiky do speciálního programu v počítači pomocí tlačítka.

Teoretická část se zabývá základními vlastnostmi baterií, jako je jejich nominální napětí, chemické složení, kapacita, energie či velikost a použití. Dále se zabývá hlavním vybíjecím obvodem, režimy vybíjení a rozbořem použitých součástí obvodu.

Praktická část se zabývá tvorbou jednotlivých částí schématu popsaných v teoretické části a tvorbou desky plošného spoje. Dále popisuje základní části programu pro řídicí mikrokontrolér a rozhraní počítačového programu navrženém v programovacím jazyce C#.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Tato kapitola se zabývá stručným popisem základních vlastností baterií, popisem vybíjecího obvodu a rozbohem základních stavebních prvků a součástek použitých v praktické části.

1.1 Vlastnosti baterií

Pro malou spotřební elektroniku běžně stačí koupit jednorázové baterie správné velikosti o napětí 1,5 V. Těch je v obchodech velké množství s různými cenami, a to jsou u klasických spotřebitelů jediné vlastnosti, které potřebují. Baterie se však dají popsat více vlastnostmi.

1.1.1 Označení baterie/monočlánek

V dnešní době je naprosto běžným zvykem používat slovo baterie jako označení všech jejích typů. Správné označení pro 1,5 V AA baterii je monočlánek, protože obsahuje pouze jeden článek o velikosti tohoto napětí. Označení baterie by se mělo využívat až při sériovém či paralelním spojení těchto článků. Například 9 V baterie už je správné označení, jelikož se jedná o 6 článků v sérii uvnitř jednoho obalu.

Označení baterie se běžně používá i pro akumulátory neboli sekundární články s možností jejich opětovného nabíjení. Když se však například řekne autobaterie, baterie v do notebooku či do mobilního telefonu, tak každý hned ví, že se jedná o akumulátory. Nebo naopak, pokud se mluví o alkalické baterii, tak je jasné, že se jedná o 1,5 V monočlánek.

V této práci se dál používá pojem baterie, není-li je nutné specifikovat jinak.

1.1.2 Primární, sekundární

Primární baterie slouží k jednorázovému použití vzhledem k jejich nevratným chemickým reakcím. Opětovné nabití umožňují sekundární baterie, častěji označované jako akumulátory. S časem a počtem cyklů vybíjení/nabíjení však ztrácí svoji původní kapacitu.

1.1.3 Standardy velikostí

Jednorázové baterie se vyrábí v různých tvarech, které jsou k dostání ve všech obchodech se smíšeným zbožím. Začátkem minulého století byla potřeba standardizovat tvary baterií, a tudíž

jich vzniklo hned několik. V dnešní době je nejrozšířenější standard od mezinárodní elektrotechnické komise (IEC – International Electrotechnical Commission). Hlavním cílem tohoto procesu byla možnost vyměnitelnosti monočlánků různých výrobců [1].

Tyto standardy jsou pojmenovány dle IEC, avšak většinou jsou známé pod označeními ukázanými v tabulce:

Tabulka 1 - Označení standardních velikostí primárních a sekundárních baterií

Klasifikační označení	IEC označení primárních baterií	IEC označení sekundárních baterií
AAA	LR03	HR03
AA	LR6	HR6
C	LR14	HR14
D	LR20	HR20
N	LR1	HR1
9V	6LR61	6HR61

V České republice pak existují lidové označení pro výše uvedené tvary. Baterie AAA jsou často označovány jako mikrotužkové, AA jako tužkové. Označení velký/malý buřt pro se používá baterie typu C/D.

1.1.4 Kapacita

Kapacita vyjadřuje náboj, který dokáže baterie dodat. Jinými slovy proud po určitý čas, který dokáže dodat. Vyjadřuje se v Ah nebo mAh a spočítá se jako integrál proudu po čas vybíjení. Podle teoretické úvahy, baterie s kapacitou 1200 mAh by měla být schopna dodávat právě 1,2 A po dobu jedné hodiny, nebo 0,6 A po dobu dvou hodin a podobně.

Tato hodnota však v praxi vůbec nebere v potaz, jaký proud je schopna dodávat, aniž by na ní výrazně nekleslo napětí pod úroveň použitelnosti, kvůli svému velkému vnitřnímu odporu. Navíc každá baterie je schopna dodávat pouze nějaký maximální proud s ohledem na svoji stavbu. Právě v případě jednorázových monočlánků tyto proudy nebývají nijak velké. Monočlánek tedy dokáže dodat například 1 A, je však možné, že v závislosti na vnitřním odporu a použitém typu jeho napětí klesne například na 0,9 V téměř okamžitě.

Jednorázové baterie však mají největší využití ve slaboproudé elektronice, kde je pro správnou funkci potřeba hlavně dostatečné napětí.

1.1.5 Energie

Výše zmíněná kapacita nepočítá s jedním ze základních vlastností baterií, a to napětím. Dvě baterie různých druhů se mohou shodovat kapacitou, nicméně mít různá napětí. Tuto vlastnost zahrnuje energie. Vyjadřuje hodnotu výkonu, který je baterie schopná dodávat. Tudíž dvě baterie o stejné kapacitě mohou mít různý výkon právě z důvodu jejich odlišného napětí. Vyjadřuje se ve Wh.

1.1.6 Výhody, nevýhody

Mezi největší výhodu jednorázových baterií nezpochybnitelně patří jejich nízké samovybíjení. Zakoupené baterie se tak nemusí použít hned, i ty nejlevnější zinko-uhlíkové vydrží několik let nepoužité v šuplíku.

Nevýhod je však podstatně více. Jednorázové použití je ekologicky neefektivní, jejich recyklace není dokonalá. Ve slaboproudé elektrotechnice však vydrží i několik let při občasném používání. Další nevýhodou je velký vnitřní odpor. Žádná z jednorázových baterií není vhodná pro větší odběry proudu, protože ten způsobí velký úbytek na vnitřním odporu. Baterii tak výrazně klesne napětí na výstupu. V neposlední řadě může být problém ve vytékání elektrolytu [2].

1.2 Galvanický článek

Galvanický článek je zdroj elektrické energie, která vzniká díky jeho vnitřním chemickým reakcím. Tyto reakce se nazývají redoxní, což je současný průběh redukčních a oxidačních reakcí. Při zapojení do obvodu dochází k přesouvání elektronů z jednoho materiálu do druhého, dle použitého článku. V případě, že jsou tyto reakce vratné, jsou tyto články tzv. sekundární, v opačném případě primární.

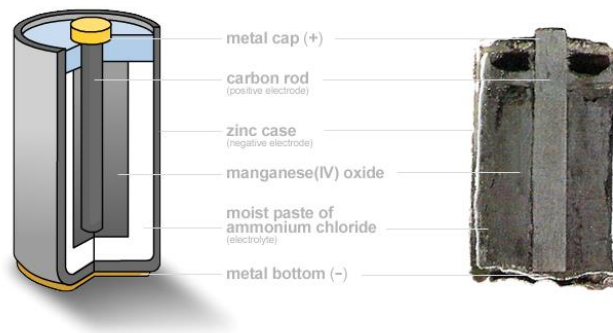
1.3 Primární články

Tato kapitola pojednává o třech základních typech jednorázových článků, se kterými se spotřebitel setká.

1.3.1 Zinko-uhlíkový článek

Jedná se o úpravu tzv. Leclanchého článku, který používal tekutý elektrolyt NH_4Cl . V tomto uhlíkovém článku je však elektrolyt vsáknut do kladné elektrody a z toho důvodu se mu říká

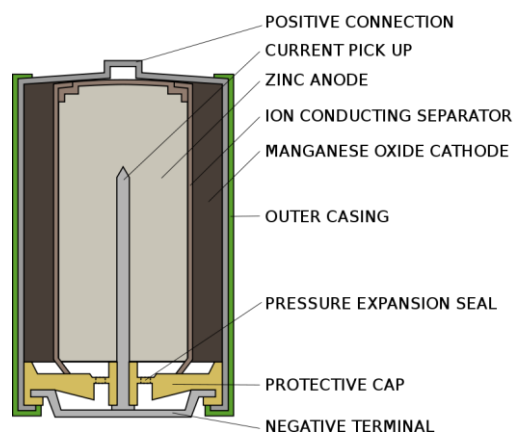
také suchý článek. Je znám pod označením „general purpose“. Známa jsou i verze s označením heavy duty nebo extra heavy duty, která používá zinko-chloridový článek. Jako záporná elektroda zde slouží zinek a jako kladná oxid manganičitý. Do středu této sloučeniny je ještě přidána uhlíková tyčinka za účelem sbírat vzniklý proud. Má nominální napětí 1,5 V a v dnešní době je najdeme jako baterie v různých běžných velikostech a hodnot napětí do 12 V. Pro svoji nižší kapacitu a odebíraný proud se hodí spíše do zařízení s malým odběrem, například hodiny nebo dálkové ovladače [1].



Obrázek 1 - Uvnitř zinko-uhlíkového článku [3]

1.3.2 Alkalické baterie

Po svém příchodu v 70. letech minulého století zaznamenaly tyto baterie veliký úspěch díky lepším vlastnostem oproti Zn-C bateriím a jsou nejpoužívanějšími primárními články. Mají stejné napětí 1,5V, ale několikrát větší kapacitu, dokáží dodávat větší proud, mají nižší vnitřní odpor a vydrží déle nepoužívané díky menšímu samovybíjení. Pro tyto lepší vlastnosti jsou o pár korun až desítek korun dražší, nicméně se vyplatí jim dát přednost. Stejně jako Zn-C baterie se vyrábí v běžných standardizovaných velikostech. Článek opět využívá chemické reakce mezi zinkem a oxidem manganičitým. Jako elektrolyt je zde však použit alkalický (zásaditý, odtud název) hydroxid draselný. Jejich nevýhodou je, stejně jako u Zn-C článků, nižší kapacita při vybíjení vysokými proudy [1].



Obrázek 2 - Uvnitř alkalické baterie [4]

1.3.3 Lithiová baterie

Pojem lithiová baterie označuje mnoho kombinací anody, katody a elektrolytu, přičemž jako anoda je vždy použito lithium. Stejně jako ostatní jednorázové články vynikají nízkým samo-vybíjením.

Nejčastěji se s nimi setkáme v „mincovém“ tvaru s označením CR2032 o napětí 3 V, která pro svou velikost najde uplatnění v malých energeticky nenáročných spotřebičích, jako například v kalkulačkách, v počítačích pro napájení hodin, v kuchyňských či osobních vahách. Tento typ má opět katodu z oxidu manganičitého a jako elektroda mu slouží lithiová sůl.

Lithiové baterie se však dají pořídit i jako typ AA v napětích 1,5 V a 3,6 V.

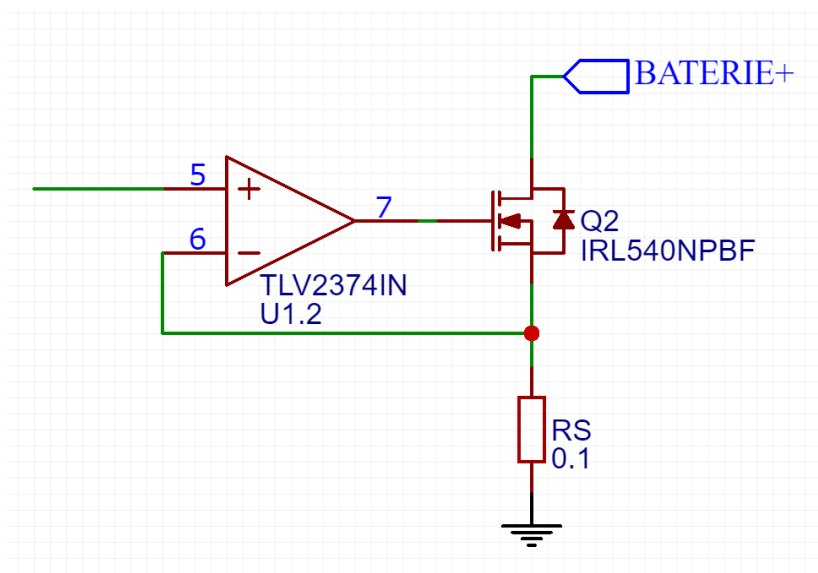
1.4 Hlavní obvod

Nyní je nutno se blíže seznámit s elektronickou zátěží, která je ovládána různými způsoby v závislosti na používaném módu. Využívá se zde komparačních a zpětnovazebních vlastností operačních zesilovačů.

Samotná zátěž se skládá z tranzistoru, nejčastěji typu MOSFET, operačního zesilovače a měřicího rezistoru RS. Tyto tři součástky jsou základem každé elektronické zátěže. Ostatní součástky se pouze starají o nastavování a přizpůsobení její funkce. Obvod využívá zpětné vazby operačního zesilovače, kdy se snaží mít na svých vstupech stejné napětí. Toho docílí změnou napětí na výstupu.

Úlohu zobrazuje obrázek níže. Přivedení napětí na neinvertující pin 5 operačního zesilovače způsobí, že toto samé napětí bude chtít i na svém invertujícím vstupu 6. Toho docílí překlopením svého výstupního napětí na své kladné napájecí. Toto napětí, které vede na elektrodu G tranzistoru, způsobí jeho otevření a průtok proudem rezistorem RS. Proud tímto rezistorem na něm vyvolá napětí přivedené zpět na invertující vstup OZ. V momentě, kdy toto napětí překročí napětí na vstupní svorce, se výstup OZ překlopí do záporného napájecího napětí. To zavře tranzistor, tedy proud přestane téct.

Napětí na rezistoru RS poté klesne pod napětí neinvertujícího vstupu, a výstup OZ je překlopen zpět do kladného napájecího napětí. Tento děj se pak neustále opakuje, a jeho výsledkem je konstantní napětí na RS o hodnotě na neinvertujícím vstupu. Toto napětí způsobí proud, který se vypočítá Ohmovým zákonem.



Obrázek 3 - Nejjednodušší zapojení obvodu aktivní zátěže

1.5 Metody měření kapacity baterií

Srdcem této práce je výše popsany obvod aktivní zátěže. Ovládním napětí na neinvertujícím vstupu OZ, společně s měřením napětí v různých částech obvodu, poskytuje tři možné způsoby, jak baterii vybíjet [5].

1.5.1 Měření kapacity pomocí vybíjení konstantním proudem

Jak bylo dříve zmíněno, kapacita baterií se určuje v Ah. Již tato jednotka přímo napovídá o možnosti způsobu měření této veličiny. Jedná se o nejjednodušší metodu měření kapacity, která je použita v této práci: vybíjení konstantním proudem I po dobu t .

V první řadě je potřeba, stejně jako u každé jiné metody, začínat s plně nabitou baterií. Pomocí aktivní zátěže je nutno zajistit konstantní proud I v Ampérech, který je měřen po dobu t počtu hodin, dokud se baterie nevybíje. Jako vybitá se považuje tehdy, když její napětí klesne pod hraniční hodnotu. U 1,5 V článků je toto napětí kolem 1 V, u 3,7 V článků se jedná o napětí 3 V. Po vybití je kapacita spočítána jako vynásobení proudu a času.

1.5.2 Měření kapacity pomocí vybíjení do konstantní zátěže

Při vybíjení v tomto režimu aktivní zátěž simuluje vybíjení do konstantní ohmické zátěže. Po připojení baterie na konstantní zátěž jí protéká proud a napětí se postupně snižuje. Proud, který je přímo úměrný napětí, se musí snižovat také.

Zde je již potřeba zasahovat do aktivní zátěže. Z údaje o napětí baterie a nastavené hodnotě konstantního odporu je nutné počítat proud a nastavovat ho.

Výpočet kapacity není stejně prostý jako u předchozí metody, stačí však pravidelně zaznamenávat proud a integrovat ho.

1.5.3 Měření kapacity pomocí pulzního vybíjení

Primární baterie se nepoužívají příliš pro větší odběry proudu vzhledem ke své nízké kapacitě, a tudíž výsledné neefektivitě kvůli jejich nemožnosti nabití. Existuje ale například velké množství dětských hraček, kam se ani nevyplatí kupovat drahé sekundární baterie. Takové hračky, mající například motory nebo servomotory, spotřebují větší množství proudu a často jsou k nim přiloženy ty nejlevnější baterie na trhu. Časové využití je v řádek desítek sekund nebo minut.

Aktivní zátěž v tomto režimu tedy pracuje na stejném principu jako při vybíjení konstantním proudem. Jediným rozdílem zde je střídání nastaveného proudu s nulovým odběrem v různých časových intervalech.

1.6 Komerční analyzátory

Aktivní zátěž je běžně používaný obvod používaný na testování zdrojů napětí. Spousta uživatelů si chce ověřit vlastnosti svého zdroje. Proto se na trhu nachází mnoho takových zátěží v cenové relaci od několika stovek, do několika tisíc. Více než na baterie se tyto zátěže používají hlavně na testování klasických síťových zdrojů napětí, ale jejich podstata zůstává stejná. Různé zátěže se liší pouze použitými součástkami a přesností.

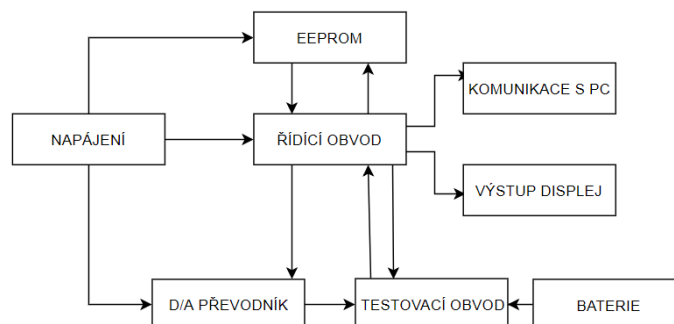
Obvod aktivní zátěže je tranzistor ovládaný operačním zesilovačem, napojený na chladič, nad kterým se nachází aktivní chlazení a displej. V závislosti na použitých součástkách mají zátěže různá maximální napětí, proud a tedy i výkon. Ty propracovanější, tedy dražší, jsou pak navrženy na větší výkony.

1.7 Bloky schématu, součástky

Tato kapitola se zabývá rozбором jednotlivých součástí blokového schématu, popisem významných součástí této práce a jejich funkcí.

1.7.1 Blokové schéma

Hlavní část obvodu tvoří vývojová deska Arduino Nano společně s testovacím obvodem aktivní zátěže.



Obrázek 4 - Blokové schéma obvodu

1.7.2 Napájení

Napájení celého obvodu může být zajištěno několika způsoby dle požadavků. Ve slaboproudé elektrotechnice jsou běžně používané monočlánky nominálního napětí 1,5 V, přičemž ve vět-

šíně případů jsou potřeba dva zapojené sériově. Hojně využívané jsou dnes i lithium-polymerné akumulátory o základním nominálním napětí 3,7 V, které jsou dnes v mobilních telefonech, notebookech ale hlavně RC modelech, kde najdou uplatnění pro svou velice nízkou hmotnost a schopnost dodávat vysoký proud. Vzhledem ke standardnímu napájecímu napětí 5 V by se dala použít i malá 9 V baterie napojená na regulátor napětí.

Použití baterií či akumulátorů je velice výhodné vzhledem k přenosnosti celého napájeného zařízení. Celkový odebíraný proud je samozřejmě závislý na použitých součástkách, nicméně dnes se mnoho integrovaných obvodů může chlubit svými nízkými odběry. Tím pádem by i primární baterie vydržely delší dobu.

Aby nebylo nutné dělat si starost s vybitými bateriemi, bylo by výhodnější použít síťové adaptéry, jelikož výpadek elektřiny je v dnešní době velice neobvyklý jev. Ty mají obvykle 9 nebo 12 V. Toto napětí se poté často redukuje napěťovými regulátory na standardizované napájecí napětí 3,3 či 5 V.

Stabilizátory napětí řady 78XX, kde XX označuje výsledné napětí (např. 7805, 7806, 7812), jsou lineární integrované obvody pro udržení konstantních kladných napětí na svém výstupu. Jsou velice rozšířené pro své jednoduché použití a řádově korunovou cenu. Jejich správná funkce vyžaduje vyšší vstupní napětí než požadované výstupní, a to zhruba o 2,5 V. Dle datasheetů [6] tyto obvody snesou napětí 25 až 30 V a většinou dodávají 1 A. Jsou však energeticky neefektivní, protože se chovají jako rezistor a tím plýtvají velké množství výkonu v tepelné formě. Proto je pokud možno výhodné na jejich vstup přivést napětí co nejvíce blízké se jejich výstupnímu. Při větších odběrech a napětí je často nutné stabilizátor přidělat na chladič.

1.7.3 Operační zesilovače

Operační zesilovače (dále OZ) jsou hojně používané součástky využívané často pro svoje zesilující vlastnosti. Pro zjednodušení se často mluví o ideálním OZ, který má nekonečně velký vstupní odpor, nulový výstupní odpor a nekonečné zesílení. Kvůli vysokému vstupnímu odporu se dá použít i jako tzv. impedanční oddělovač. Svými vlastnostmi připomíná ideální zdroj napětí.

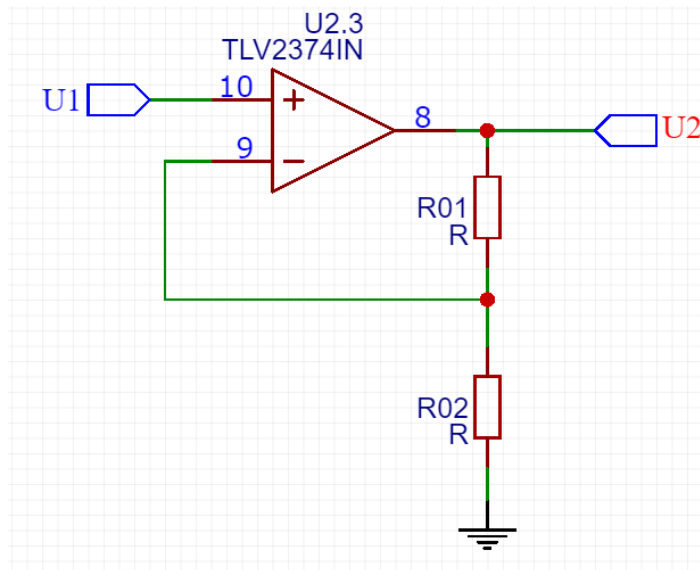
Při návrhu obvodů je však často nutné myslet na jeho reálné vlastnosti. Žádná z výše uvedených vlastností není ideální. U OZ se často udává hodnota tzv. Slew Rate (SR) udávaná v jednotkách V/ μ s, tedy se jedná o rychlost přeběhu výstupního napětí. OZ je také dělaný pouze na určité frekvenční rozsahy.

U obvodu aktivní zátěže je potřeba dávat pozor převážně na dva nedostatky OZ vycházejícího ze stejného problému: v tomto obvodu je nutno často nastavit proud blízký se nule, či dokonce nulový.

První nedostatek je nemožnost dostat celé jedno ze svých napájecích napětí na výstup. Je tedy nutné použít OZ s označením rail-to-rail, který se výstupním napětím dokáže alespoň téměř přiblížit napájecímu napětí. Tento nedostatek je problémem pro OZ napájené pouze jednou polaritou napětí vůči zemi, které jsou použity v obvodu, kde je potřeba se co nejvíce přiblížit zemi. Tento problém se dá odstranit například použitím OZ se symetrickým napájením, tedy stejné napětí opačné polarity.

Druhým nedostatkem je offsetové napětí. Základní princip OZ pracuje na funkci zesílení rozdílu napětí mezi svými dvěma vstupními svorkami. Avšak i v případě, že jsou obě vstupní napětí stejná, má OZ na svém výstupu nenulové napětí. Často jsou to řádově mV, u lepších dokonce pouze μV . V případě naprosto přesných obvodů je nutno tento offset kompenzovat.

V kapitole 1.4 je uvedeno zpětnovazební zapojení operačního zesilovače společně s vysvětlením základní funkce zpětnovazebního zapojení OZ. Vzhledem k nízkým napětím baterií je však nutné použít nižší hodnoty, například $0,1 \Omega$ či $0,25 \Omega$. Napětí na vstup aktivní zátěže je možné zmenšit jednoduše pomocí rezistorového děliče. Napětí na měřicím rezistoru by však bylo malé a špatně čitelné. Proto se musí zesílit pomocí tzv. neinvertujícího zapojení OZ:



Obrázek 5 - Neinvertující zapojení OZ

Toto zapojení má zesílení vždy větší než 1 v případě nenulových hodnot obou rezistorů. Poměr $R01/R02$ určuje, jak velké toto zesílení bude. Výsledná hodnota pro $U2$ je určena dle tohoto

$$\text{vzorce: } U2 = U1 * \left(1 + \frac{R01}{R02}\right)$$

1.7.4 Tranzistory

Obvod aktivní zátěže nejčastěji využívá výkonové tranzistory typu MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) ke spínání proudu. Jedná se unipolární tranzistory, tedy na vedení proudu se podílí pouze jeden typ polovodiče. Obvykle se používá typ N, který se ovládá kladným napětím na své řídicí elektrodě. Toto napětí často otevírá tranzistor až na napětí vyšších než 5 V. Pro potřeby této práce se však hodí ovládání například pomocí D/A převodníku, tedy integrovaného obvodu často napájeného standardním napětím 5 V. Pro takovéto účely slouží MOSFETy ovládané logickými úrovněmi napětí. Takové otevírají tranzistory pomocí napětí na řídicí elektrodě menšími napětími než 5 V.

Výkonové tranzistory MOSFET jsou v obvodu aktivní zátěže využívány pro svůj nízký odpor v sepnutém stavu a možnosti vedení velkých proudů. Nejčastěji jdou v pouzdře TO-220, protože se v naprosté většině případů musí kvůli vysokým proudům připojit na velký chladič, aby byla zajištěna jejich správná funkce.

1.7.5 Displej

Měřená data je potřeba pravidelně zobrazovat. Při rozhodování o displeji se musí brát v potaz počet znaků, které dokáže zobrazit. Na běžné zobrazování se nejvíce využívá alfanumerických displejů s radičem HD44780, které se vyrábějí ve variantách 16x2 (sloupce x řádky) a 20x4. První zmíněná verze se často používá i v komerční elektronice, nicméně žádané informace k zobrazení se na ně musí často namáčknout co nejvíce. To vede k přílišnému zkracování slov a tedy celkové nepřehlednosti zobrazení. Tyto displeje se ovládají pomocí třech bitů a data jsou posílána přes čtyři nebo osm bitů, v závislosti na použité knihovně [7].

Výše zmíněné displeje většinou disponují těmito 16 piny, či 14 v případě, že nemají podsvícení.

Napájení – napájecí napětí je obvyklých 5 V, a slouží k němu první – GND a druhý – VCC vývod.

Kontrast – téměř vždy je potřeba přizpůsobit kontrast, aby byly znaky dostatečně vidět. Toho se docílí například pomocí potenciometru.

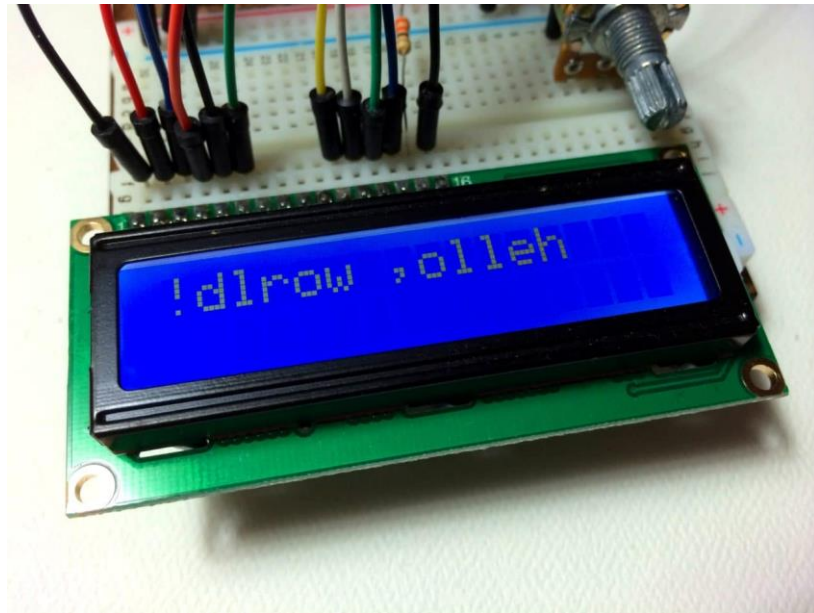
R/S – v logické nule se pracuje s ovládacími registry, v jedničce pracuje s daty.

R/W – v logické se zapisuje do displeje, v jedničce se z něho čte. Tento pin bývá často napojený přímo na zem pro potřebu pouhého zápisu.

E – povolovací signál, při logické jedničce se nic neděje, až při sestupné hraně na nulu se posílají data

Data – označeny D0 až D7, v případě výše zmíněné čtyřbitové funkce se data posílají přes D4 až D7.

Podsvícení – poslední dva piny slouží jako anoda a katoda pro podsvícení displeje. Některé verze tyto dva vývody nemají a vystačí si pouze s napájecím napětím.



Obrázek 6 - LCD displej [7]

1.7.6 Řízení

Na řízení této práce je dále třeba vybrat řídicí jednotku, tzv. mikrokontrolér. Jedná se o jednočipový počítač určený pro jednoduchou komunikaci s ostatními integrovanými obvody, výpočetní a logické operace. Mezi populární mikrokontroléry patří například dnes již zastaralá 8051, PIC, AVR nebo ARM. Těch je na dnešním trhu veliké množství s různými vlastnostmi – velikost, rychlost, počet pinů, převodníky A/D a D/A, počet bitů, komunikační protokoly, cena. Nejpopulárnější je rodina AVR a její řada osmibitových mikrokontrolérů ATmega, původně od firmy Atmel. Do jejich popularity přispívá jejich jednoduchost programování, nízká cena v řádu desítek korun a veliká podpora mnoha internetových komunit či YouTube kanálů. Hodí se především pro začátečníky.

Velkou popularitu si mikrokontroléry ATmega získaly také díky projektu Arduino. Jedná se o plně open-source vývojové desky využívající tyto mikrokontroléry. Mají svoje vývojové prostředí Arduino IDE a s velkým počtem knihoven výrazně usnadňující programování a samotné nahrávání na mikrokontrolér pomocí USB z počítače. Několik řádků nastavení pro holý mikrokontrolér často nahradí jeden řádek z knihovny, kterou stačí naimportovat. A pro svou popularitu často není potřeba hledat tyto knihovny dlouho. Uživatelé však zůstane skryto programování na nejnižší úrovni, tedy nastavování jednotlivých bitů v osmibitových registrech. To za

normálních okolností nevádí, jen někdy se může stát, že se požadované funkce programu mohou ovlivňovat. Tento projekt zažil tak velký úspěch, že je dnes používán jako úvod do mikroprocesorů na mnohých školách.

1.7.7 Uchování dat

Data pro vybíjecí charakteristiky je potřeba někam ukládat. První typ paměti je volatilní neboli dočasný, a ztrácí svůj obsah po vypnutí napájení. Takto se dají ukládat data například do velkého pole v programu, které se po vypnutí napájení vymaže. Tento způsob však rychle zaplňuje nepříliš velkou datovou paměť mikrokontroléru, a tak se takové způsoby hodí až třeba pro velké paměti v počítačích.

Druhý typ paměti je nevolatilní. Data se na ní i po vypnutí napájení nadále uchovávají. Jednou z takových pamětí je třeba EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). Arduino disponuje knihovnou pro ovládání EEPROM svého vlastního použitého mikrokontroléru. Tato paměť má však malou velikost, a tak se dá sáhnout po integrovaných obvodech s několikrát větší velikostí pamětí. Jejich životnost se většinou udává na 100 000 zapisovacích cyklů.

Své použití najde například v ukládání firmwaru nebo při obecné nutnosti odkládání dat, která jsou potřeba uchovat i po vypnutí napájení.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část se zabývá návrhem schématu zapojení a desky plošného spoje v programu EasyEDA. Dále se věnuje programovací části mikrokontroléru a programu na vykreslování vybějecích charakteristik pro počítač.

2.1 Návrh schématu

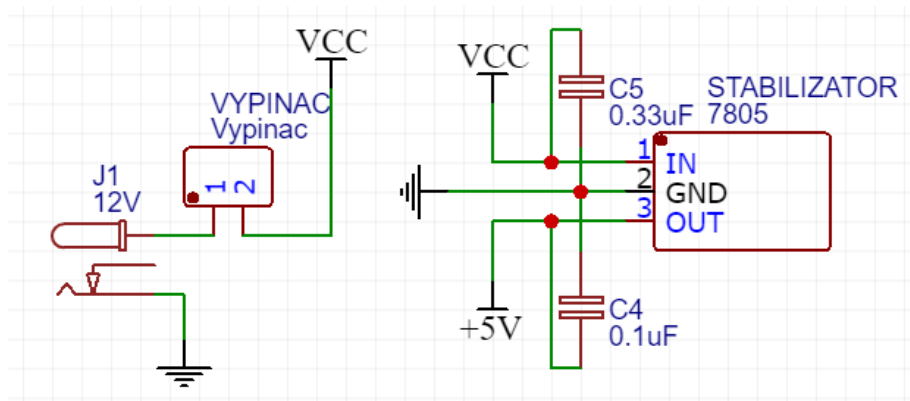
Tato kapitola popisuje tvorbu schématu různých funkčních celků obvodu.

2.1.1 Napájecí část

Pro celkové napájení je nutno zvážit dostatečně velké výstupní napětí pro napojení na 5 V stabilizátor. Jako hlavní napájení je tedy zvolen běžně používaný síťový napájecí adaptér 12 V/1 A.

Pro napájení všech částí obvodu kromě vývojové desky Arduino byl zvolen stabilizátor napětí LM7805, na jehož vstup je přivedeno 12 V. Pro spolehlivou funkci je dle datasheetu [6] ošetřen kondenzátory o velikosti 0,33 μF na vstupu a 0,1 μF na výstupu. I přes nízkou spotřebu použitých součástek je stabilizátor pro jistotu ošetřen chladičem z důvodů uvedeném v kapitole 1.7.2.

Arduino si své napájecí napětí 5 V zajišťuje samo pomocí vstupního pinu, na který se dá přivést až 12 V a proto je na tento pin přivedeno přímo napětí z napájecího adaptéru. To pak vede na integrovaný 5 V regulátor. Napájet ho je také možné přímo pomocí zapojení do USB počítače. Arduino má svůj vývod napětí 5 V, ten by měl pouze sloužit jako výstupní pin zdroje 5 V, jinak může dojít k poškození [8].



Obrázek 7 - Schéma zapojení napájecí části

2.1.2 Řídící mikrokontrolér

Pro řízení celého projektu je použita vývojová deska Arduino Nano využívajícího mikrokontrolér ATmega328 nastavený na frekvenci 16 MHz. Ten byl zvolen pro jeho jednoduché použití a aplikaci. Z jeho funkcí je zde hlavně využito možnosti komunikací SPI, UART a časovačů.

Napájení je zajištěno jednoduše připojením 12 V napětí na pin VIN Arduina. To obsahuje vlastní regulátor napětí na 5 V, kterým si samo zajišťuje napájení. Na pin 5 V se běžně nepřipojuje napětí 5 V.

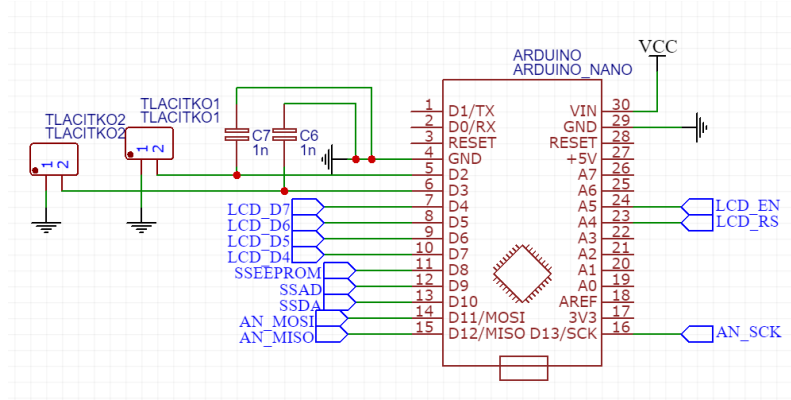
Ovládání LCD displeje – Vývody displeje byly popsány v kapitole 1.7.5. Pro komunikaci s displejem jsou využity digitální piny D4 až D7 a analogové piny A4, A5. Displej je používán pouze v režimu zápisu, čímž je ušetřen jeden pin navíc.

UART komunikace – Pro UART komunikaci stačí pouze dva piny, Tx pro posílání a Rx pro přijímání. Tyto piny Arduino obsahuje i samotně vyvedené, nicméně tato práce využívá faktu, že Arduino je programováno pomocí této komunikace přímo přes USB konektor z počítače. To zajišťuje integrovaný převodník USB na TTL, tudíž není nutno použití externích převodníků. O odesílání dat se tak stará jedna ze základních funkcí.

SPI komunikace – Arduino je zde použito pouze v režimu master. Přenos dat je zprostředkovan pomocí hodinového pinu SCK(D13), přijímací MISO(D12), a odesílací MOSI(D11). Pro funkci výběru integrovaných obvodů – SS, jsou určeny tyto piny:

- EEPROM: D8
- A/D převodník: D9
- D/A převodník: D10

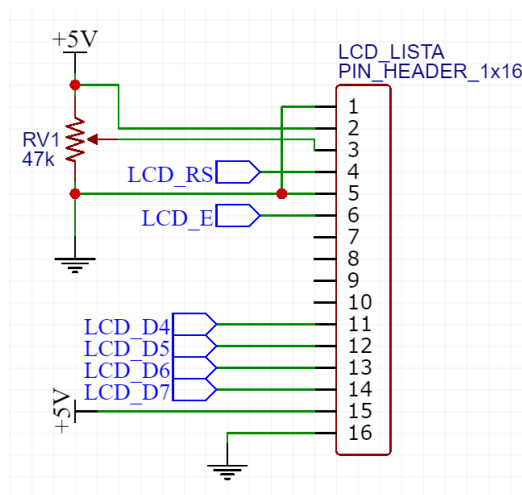
Ovládací tlačítka externího přerušení – Arduino Nano má dva piny s externím přerušením. Jedná se o digitální piny D2 a D3. Přerušení je vyvoláno sestupnou hranu signálu. Jejich možné zátkmity jsou ošetřeny kondenzátory o velikosti 1 nF.



Obrázek 8 - Schéma hrubého zapojení Arduina

2.1.3 Zapojení LCD displeje

Význam jednotlivých pinů byl vysvětlen v kapitole 1.7.5, jejich následovné propojení s Arduinem pak v předchozí kapitole. Displej je připojen přes pinovou lištu. Vzhledem k použití čtyřvodičového zapojení pro data jsou piny 7 až 10 nepřipojeny.



Obrázek 9 - Schéma zapojení pinové lišty pro LCD displej

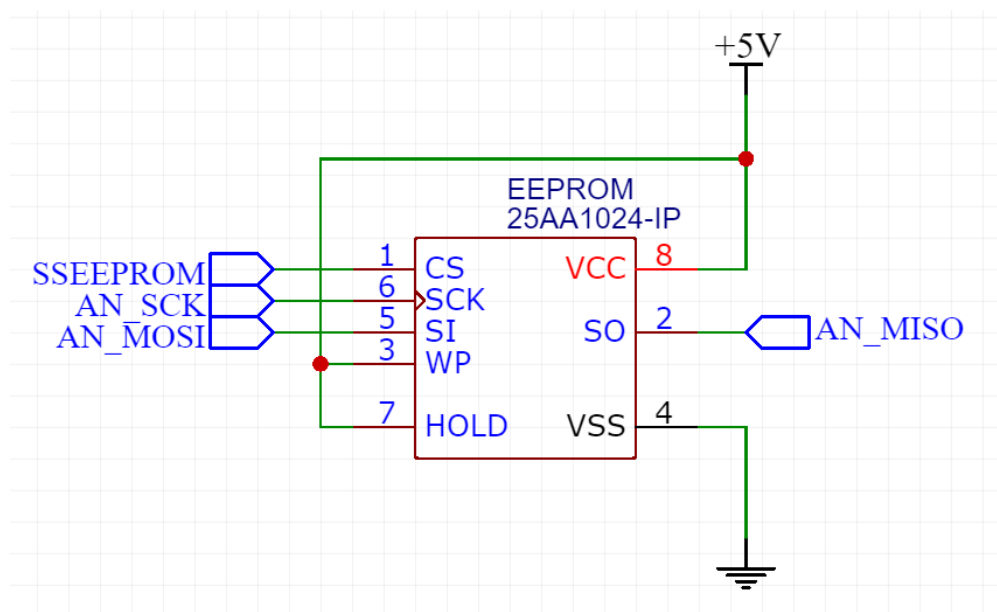
2.1.4 Zapojení EEPROM

Pro účely této práce je zvolena EEPROM 25AA1024 ve verzi DIP8, která obsahuje 131 072 bytů k zápisu. Ke komunikaci s Arduinem využívá SPI. Pin /HOLD slouží k udržení vstupního

signálu a /WP k ochraně před zápisem [9]. Vzhledem k jejich negovaným stavům a toho, že žádnou z jejich funkcí není potřeba, jsou připojeny na napájení tohoto integrovaného obvodu.

Na začátku každého spuštění je programem celá paměť vymazána, aby nedošlo k nepřesnosti vykreslení grafu. Do paměti jsou poté v pravidelných intervalech ukládány informace napětí monočlánku a času v minutách od začátku vybíjení. Hodnoty se řadí za sebe a jsou oddělené středníkem. Jedná se tak o variaci systému CSV (Comma-separated values).

Bylo nutné zvolit dostatečně velkou paměť pro případ pomalého vybíjení, a tedy ukládání velkého množství dat. Jak bude vysvětleno blíže v programové části, ukládání páru dat o napětí a čase zabírá i s oddělovacím znakem 7 bytů a více v závislosti na uplynulém čase.



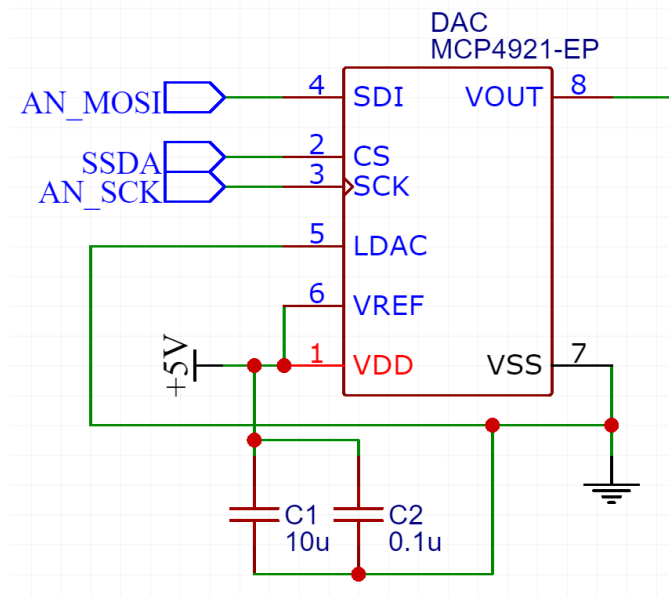
Obrázek 10 - Schéma zapojení EEPROM 25AA1024

2.1.5 Zapojení DAC

Výběr digitálně-analogového převodníku je běžně podmíněn velikostí rozlišení neboli počtem bitů, na který dokáže převodník hodnotu na vstupu rozdělit. Pro náročnější je další významná vlastnost rychlost převodu. Tato práce však nijak nezávisí na druhé zmíněné vlastnosti. Běžné rozlišovací schopnosti jsou 8, 10, 12 a 14 bitů. Arduino poskytuje maximálně pouze 10 bitové rozlišení, což je poměrně nedostačující. Proto byl zvolen 12bitový převodník MCP4921 v pouzdře DIP8. Při napájecím a zároveň referenčním napětí 5 V se jeho kvantizační krok pohybuje v postačujících jednotkách mV.

Disponuje piny pro SPI komunikaci. Pin /LDAC slouží pro obnovování výstupu v závislosti na vstupním nastavení. Vzhledem k jeho neustále žádané funkci je tento pin trvale připojen na zemnicí signál. Na doporučení datasheetu [10] jsou přidány dva paralelně zapojené kondenzátory ke vstupnímu napětí.

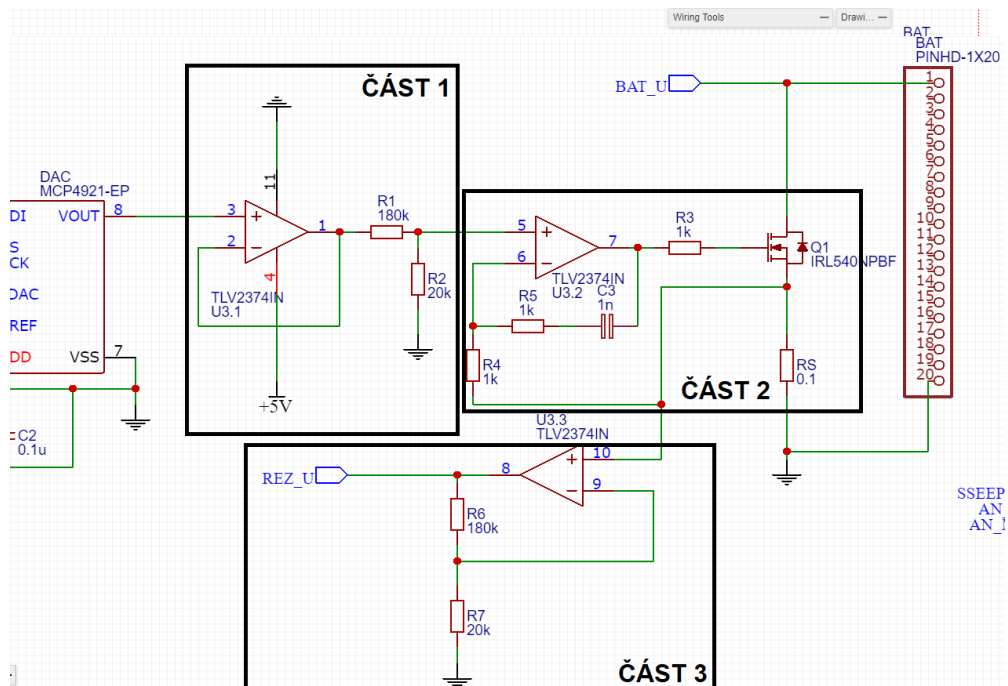
Tento převodník se stará o nastavování proudu obvodu.



Obrázek 11 - Schéma zapojení DA převodníku MCP4921

2.1.6 Zapojení obvodu aktivní zátěže

V kapitole 1.4 byl popsán základní princip aktivní zátěže. Toto základní zapojení však funguje s oscilacemi výstupu operačního zesilovače a zároveň se musí počítat i se skutečností, že vstupní elektroda tranzistoru NMOSFET se chová jako kapacita. Proto se obvod často doplňuje rezistory a kondenzátory, která výstup více stabilizují. Následující schéma je výsledné zapojení pro použití aktivní zátěže.



Obrázek 12 - Schéma zapojení elektronické zátěže

Vstupní napětí nastavuje D/A převodník MCP4921 řízený Arduinoem.

Část 1 se chová pouze jako sledovač napětí, poté dojde k jeho desetinásobnému zmenšení pomocí napěťového děliče. Tato hodnota zeslabení je nutná kvůli velikosti použitého měřicího rezistoru v části 2.

Část 2 je elektronická zátěž doplněna o rezistory a kondenzátor ve zpětné vazbě zajišťující stabilizaci oscilací. Rezistor R3 slouží jako proudové omezení kvůli kapacitní povaze řídicí elektrody tranzistoru. Z důvodu nízkého nominálního napětí monočlánků je použit rezistor o malé hodnotě 100 mΩ, který umožní průtok většího proudu i při nízkém napětí baterií.

Část 3 obsahuje operační zesilovač v neinvertujícím zapojení, které zesiluje napětí na RS desetkrát. Napětí na rezistoru je nutno zvětšit kvůli rozlišení převodníku.

Specifické ovládání napětí v části 1 určuje, jaký ze tří provozních módů je použit. Toto napětí je nastavováno pomocí snímání napětí na potenciometru, které se pak nastavuje do D/A převodníku.

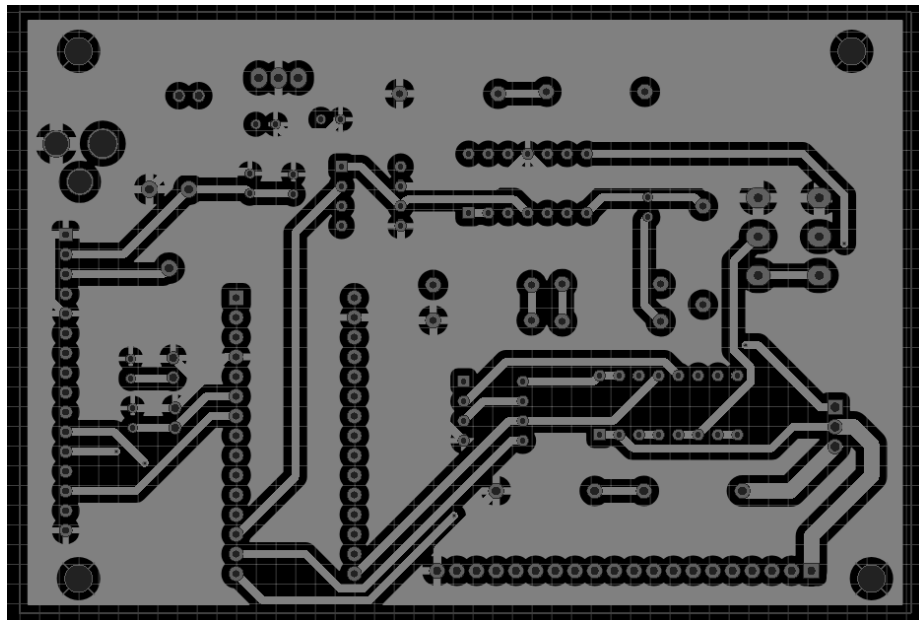
Mód konstantního proudu funguje na principu výše popsané funkce elektronické zátěže. Uživatel si pomocí potenciometru může nastavit proud, který se poté nastavuje jako napětí na výstupu D/A převodníku. Toto konstantní napětí se poté udržuje na rezistoru RS i při poklesu napětí baterie a tím se udržuje konstantní proud.

V módu konstantní zátěže se pomocí potenciometru nastavuje velikost zátěže, do které se baterie bude vybíjet. Hodnotu této zátěže je možno nastavit mezi 10 až 40 Ω . Při vybíjení baterie dochází ke klesání napětí, a tím musí docházet i ke snižování proudu. Toto je zařízeno pomocí snižování výstupního napětí D/A převodník automaticky.

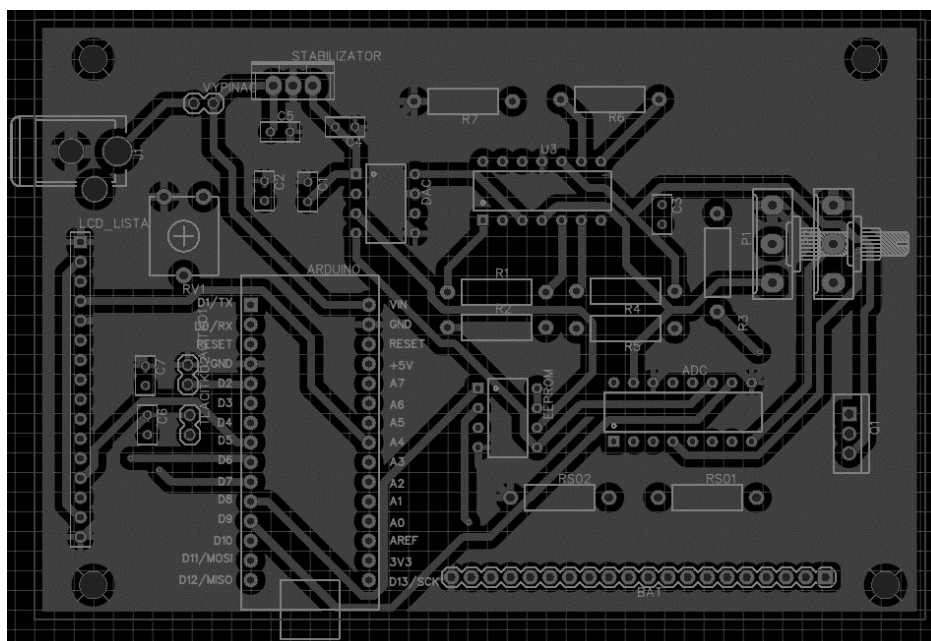
Mód pulzní zátěže pracuje na stejném principu jako vybíjení konstantním proudem, uživatel si nastavuje vybíjecí proud, baterie je však vybíjena v časových intervalech o délce 30 s.

2.2 Deska plošného spoje

Při návrhu desek plošného spoje byly blokovací kondenzátory byly umístěny co nejbližší jejich určeným součástkám a všechny vývodové konektory umístěny na kraje desky.

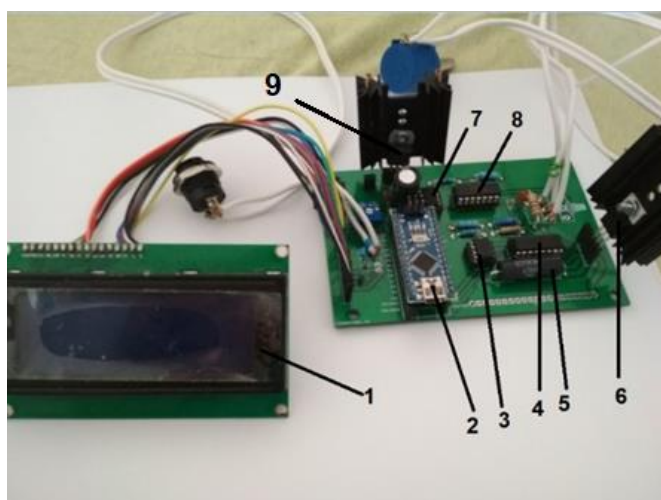


Obrázek 13 - Vrchní vrstva desky plošného spoje



Obrázek 14 - Spodní vrstva desky plošného spoje

2.3 Oživená deska plošného spoje



Obrázek 15 - Osazená deska plošného spoje

Výsledná deska má rozměry 115x77 mm. Na obrázku výše je očíslováno rozestavení základních součástek:

1. 20x4 LCD
2. Arduino Nano
3. EEPROM

4. A/D převodník
5. Snímací rezistor
6. MOSFET IRL540N přidělaný na chladič
7. D/A převodník
8. Operační zesilovač
9. Stabilizátor napětí LM7805 přidělaný na chladič

2.4 Programování Arduina

Zde je popsán program pro vývojovou desku Arduino Nano. S ohledem na jeho obsáhlost jsou uvedeny pouze nejdůležitější části.

2.4.1 Souhrnný průběh funkce programu

Program začíná vložením knihoven a definicí jednotlivých pinů a instrukcí. Následuje inicializace programu, kde probíhá nastavování sériové a SPI komunikace, LCD displeje a externího přerušení.

Poté program přechází do smyčky, ve které neustále kontroluje napětí baterie a proud jí dodávaný v závislosti na zvoleném módu. Jednou za minutu dochází k odeslání hodnoty aktuálního času a napětí do EEPROM.

Režimy se přepínají pomocí tlačítka. První je režim konstantního proudu, druhý je režim konstantní zátěže a třetí je pulzní režim. Před druhým se nachází tzv. vyrovnávací mód. Ten zajišťuje, že baterie je připravena na vybíjení pomocí zobrazení OK na displeji. Program vyhodnocuje aktuální odpor zapojení. Je pro ujištění, že aktuální odpor nezpůsobuje napětí baterie menší než 0,9 V.

O měření času se stará 16bitový čítač/časovač 1 Arduina. O hodinový signál se stará 16 MHz krystalový oscilátor, tudíž přesnost měření času je dostatečně zajištěna a nevyžaduje žádný další integrovaný obvod speciálně pro tento účel.

Ke stisku je k dispozici jedno tlačítko napojené na pin externího přerušení. Tlačítko mění módy a v případě vybití baterie odešle data do PC. Po vybití baterie nastává konec programu a je potřeba vypnout a zapnout zařízení.

2.4.2 Použité knihovny

Knihovny slouží pro zpřehlednění a jednoduchého použití jejich kódu. Skládají se ze dvou souborů stejného názvu, které se liší pouze příponami .c a .h. Soubor s příponou .h obsahuje definice použitých funkcí souboru s příponou .c. Práce však obsahuje hned několik takových knihoven již od firmy Arduino, a poté více knihoven ve formě jednoduchých funkcí pod hlavním programem. Pro potřeby této aplikace je jich potřeba hned několik:

- Knihovny pro SPI a LCD a UART jsou oficiální od firmy Arduino
- Pro komunikaci s EEPROM a D/A převodníkem je využito knihoven vlastní výroby
- Knihovna pro A/D převodník je převzata z fóra GitHub od uživatele oksbwn [11]

2.4.3 UART komunikace

Komunikace přes UART probíhá přes odesílací pin Tx a přijímací pin Rx. Obě strany si musí zajistit stejný hodinový signál. Kromě toho je dále nutné nastavit počet stop bitů a paritní bit. Často nastavení pro tuto komunikaci, které je použito i v tomto programu je jeden stopbit a žádný paritní bit.

Arduino poskytuje nespornou výhodu nastavení tohoto přenosu. Další výhodou je to, že pro jeho programování je právě tohoto rozhraní využíváno přes USB, tudíž odpadá nutnost použití externího převodníku UART pro komunikaci s PC.

Inicializace UART popisuje následující řádek programu:

```
Serial.begin(9600); //9600 bitů za sekundu
```

2.4.4 Komunikace SPI

Přes komunikaci pomocí SPI se Arduino dorozumívá s A/D převodníkem, D/A převodníkem a EEPROM. V tomto programu pracuje Arduino výhradně jako master, tudíž je nutné definovat piny vybraní zařízení slave, tedy piny pro výběr zařízení, se kterým chce aktuálně komunikovat.

Principiální definice digitálních pinů pro SPI a instrukcí pro EEPROM:

```
//SPI PINY  
#define _CS_PIN_ 9  
#define CS_1024 8 //CS EEPROM  
#define DATAOUT 11//MOSI  
#define DATAIN 12//MISO  
#define SPICLOCK 13//Arduino SPI hodiny
```

Dále jsou definovány instrukční byty pro komunikaci s EEPROM

```
//EEPROM instrukce
#define EEPROM_WREN      6 //Povolit zápis
#define EEPROM_READ     3 //Čti
#define EEPROM_WRITE    2 //Zapiš
#define EEPROM_CHIP_ERASE 7 //Vymaž celý čip
```

Principiální inicializace chip select pinů:

```
pinMode(CS_1024, OUTPUT); //pin jako výstup
digitalWrite(CS_1024, HIGH); //pin do logické 1
```

O samotný přenos dat se pak stará funkce SPI.transfer(). Při SPI komunikaci vždy dochází k vzájemnému odesílání a přijímání dat. Funkci je tedy možno využít pro obě tyto akce. V případě odeslání dat se jako parametr použije hodnota k odeslání. Pokud je žádaný příjem dat, stačí tuto funkci uložit do proměnné a jako parametr k odeslání použít jakoukoliv hodnotu.

Následující blok programu ukazuje jednu z použitých funkcí pro SPI komunikaci, konkrétně pro zápis a čtení z EEPROM. Kód názorně ukazuje použití výše zmíněné funkce SPI.transfer(). Samotné nastavovací bity a postup jejich zápisu je pak unikátní pro každé zařízení, popsané v datasheetu [9]:

```
void SPI_EEPROM_ZAPIS(uint32_t adresaByte, char data){
    SPI.begin(); //začni
    SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV2); //zpomal hodinový signál, není nutné
    digitalWrite(CS_1024, LOW); //Chip select logická 0

    SPI.transfer(EEPROM_WREN); //Umožni mi zápis instrukce

    digitalWrite(CS_1024, HIGH); //Chip select logická 1

    digitalWrite(CS_1024, LOW); //Chip select logická 0
    SPI.transfer(EEPROM_WRITE); //Chci zapsat
    //Pošli adresu 24 bitů od nejvíce významného
    SPI.transfer((adresaByte>>16) & 0xFF);
    SPI.transfer((adresaByte>>8) & 0xFF);
    SPI.transfer((adresaByte) & 0xFF);

    SPI.transfer(data); //Zapiš byte

    digitalWrite(CS_1024, HIGH); //Ukonči komunikaci

    delay(30); //Nechat povinný čas na zapsání
    SPI.end(); //Vypni SPI
    adresaEEPROM++;
}
```

2.4.5 Čítač/časovač 1

Pro počítání času slouží šestnáctibitový čítač 1, jehož rychlost inkrementování je stejná jako hodinový signál Arduina, tedy 16 milionkrát za vteřinu. To je pro 16bitovou hodnotu o maximu 65535 příliš a časovač za vteřinu mnohokrát přeteče. Proto se musí hodinový signál pro časovač

vydělit. K tomu je použita dělička frekvence 1024, a čítač se tedy dokáže inkrementovat pouze 15625krát za vteřinu. Aktuální hodnotu čítače uchovává registr TCNT1. Zvolen byl mód CTC (Clear Timer on Compare), neboli vyčištění hodnoty čítače na porovnání výše zmíněnou hodnotou, která se zapisuje do registru OCR1A. Tento mód se pro daný úkol hodí nejlépe [12].

```
void spustCasovacl(){
  cli(); //Zakaž přerušeni
  //Pro jistotu vynulovat oba nastavovací registry
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;

  TCNT1 = 0; //Vynulovat aktuální hodnotu časovače
  OCR1A = 15624; //Stropní hodnota
  //WGM určuje mód CTC, CSxx určují děličku
  TCCR1B |= (1<<WGM12) | (1<<CS12) | (1<<CS10); //CTC, 1024 dělička
  TIMSK1 |= (1<<OCIE1A); //Vyvolej přerušeni na porovnání s hodnotou OCR1A
  //16MHz, takže dělička 1024, nastavení stropu
  OCR1A = 15624; //přerušeni nastává každou vteřinu
  sei(); //Zapni přerušeni
  //Vynuluj čas
  sekundy = 0;
  minuty = 0;
  hodiny = 0;
  dny = 0;
}

```

V přerušeni od tohoto časovače pak dochází k inkrementaci sekund a dalších časových jednotek. Jednou za minutu jsou odeslána data o aktuálním napětí baterie a času do EEPROM. Ty jsou do paměti odesílána po jejich převedení z číselných hodnot na pole proměnných typu char. Hodnota napětí ve formě X.YZ vždy zabírá pouze 4 byty. Velikost hodnoty minut pak záleží na uplynulém času, který uběhl od začátku vybíjení.

```
ISR(TIMER1_COMPA_vect)
{
  sekundy++;
  if(sekundy == 60 && jeNabita == 1){
    minuty++;
    celkoveMinutyGraf++;
    flag = 1;
    sekundy = 0;
  }
  if(minuty == 60){
    hodiny++;
    minuty = 0;
  }
  if(hodiny == 24){
    dny++;
    hodiny = 0;
  }
  //MĚŘ CELKOVÝ PROUD
  kapacita = kapacita + rezistor;
  //MĚŘ CELKOVÉ NAPĚTÍ
  napetiEnergie = napetiEnergie + baterie;

  celkoveSekundy++;
}

```

Odesílání dat do EEPROM, které probíhá jednou za minutu:

```
String celkoveMinutyS, baterkas;
char celkoveMinutyString[10] = "\0";
char baterieString[10] = "\0";
//Na Stringy
baterkas = String(baterie); //Hodnota napětí
celkoveMinutyS = String(celkoveMinutyGraf); //Čas v minutách
//Na pole znaků char
baterkas.toCharArray(baterieString, 10);
celkoveMinutyS.toCharArray(celkoveMinutyString, 10);

SPI_EEPROM_ZAPIS_STRING(adresaEEPROM, celkoveMinutyString); //Zapiš minuty
SPI_EEPROM_ZAPIS(adresaEEPROM, ','); //Zapiš oddělovací znak
SPI_EEPROM_ZAPIS_STRING(adresaEEPROM, baterieString); //Zapiš hodnotu napětí baterie
SPI_EEPROM_ZAPIS(adresaEEPROM, ','); //Zapiš oddělovací znak
```

2.4.6 Tlačítko externího přerušeni

Uživatel si tlačítkem přepíná módy. V případě vybití baterie program vyzve ke stisku tohoto samého tlačítka pro přečtení všech hodnot z EEPROM a jejich odeslání po UART do PC. Toto tlačítko je napojeno na pin externího přerušeni Arduina:

```
//EXTERNÍ PŘERUŠENÍ PINY
#define prvniTlacitko 2 //Digitální pin 2
//#define druheTlacitko 3 //Digitální pin 3 - nevyužito
//NASTAVENÍ EXTERNÍHO PŘERUŠENÍ
pinMode(prvniTlacitko, INPUT_PULLUP);
//pinMode(druheTlacitko, INPUT_PULLUP); //nevyužito
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prvniTlacitko), ISR_prvniTlacitko, FALLING);
//attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(druheTlacitko), ISR_druheTlacitko, FALLING);
//nevyužito
```

Obsluha přerušeni pro přepínací tlačítko pak vypadá následovně:

```
void ISR_prvniTlacitko(){
  if(grafPripraven == 1){
    mod = 10; //Neznámý mód
    //NUTNO ZASTAVIT ČASOVAČ
    flagGraf = 1;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Data odeslana");
    lcd.print("Vypni/Zapni");
    mod = 7; //Program pak skočí do dokovacího modu 7
    grafPripraven = 0;
  }
  else{
    sekundy = 0;
    minuty = 0;
    hodiny = 0;
    dny = 0;
    celkoveSekundy = 0;

    napetiEnergie = 0;
    kapacita = 0;
    ZastavCasovac1();
  }
}
```

```

    spustCasovac1();

    mod++;
    if(mod >=8) mod = 1;
    if(mod >= 6 && jeNabita == 1){
        mod = 2;
    }
}
}

```

Platí obecné pravidlo, že v přerušení by měla být co nejkratší. Nejlépe by se tak učinilo například nastavením signalizačních proměnných, které by ovlivňovaly chod programu až ve smyčce while(). Z tohoto důvodu se odesílání dat z EEPROM do PC neprovádí v přerušení prvního tlačítka. Čtení, ale hlavně i zápis mnoha dat je zdlouhavý proces, který zdržuje program a dochází k následné nefunkčnosti programu.

```

if(mod == 7){
    if(flagGraf == 1){
        flagGraf = 0;
        char prijataData;
        for(int i = 0; i<=adresaEEPROM-1; i++){
            prijataData = SPI_EEPROM_CTENI(i); //Přečti z adresy
            Serial.print(prijataData); //Odešli to, co je přijato do UART
        }
    }
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Data odeslana");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C: ");
    lcd.print(celkovaKapacita);
    lcd.print(" mAh");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("E: ");
    lcd.print(energie,3);
    lcd.print(" Wh");
    lcd.setCursor(0,3);
    mod = 7; //Program pak skočí do dokovacího modu 7
    delay(250);
}

```

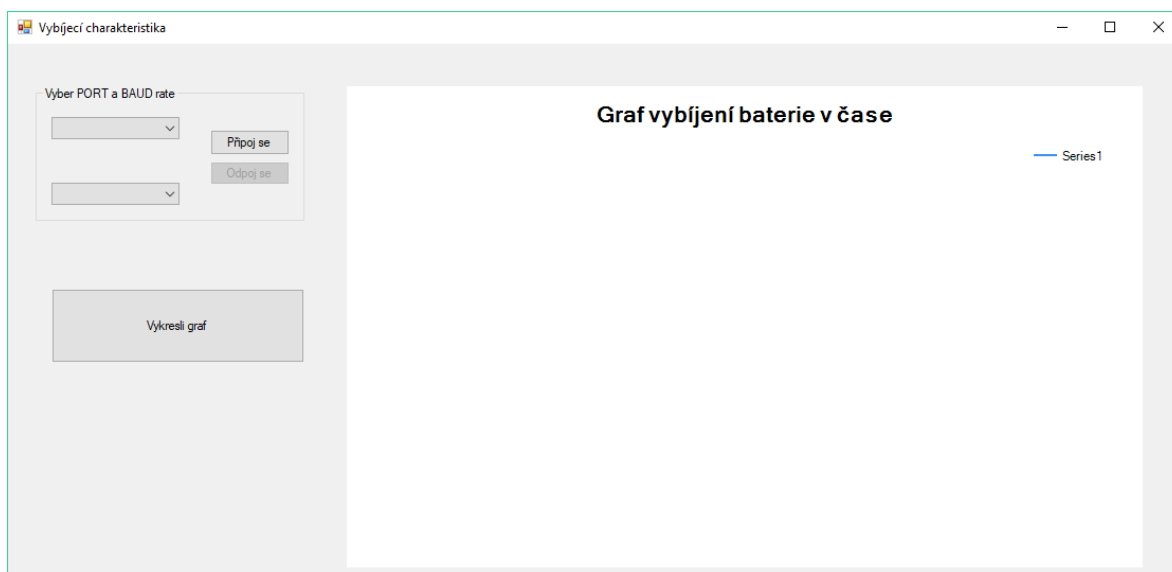
2.5 Počítačový program pro vykreslování charakteristik

Uživatelská aplikace pro vykreslení průběhu vybíjení baterie je navržena pomocí vývojového prostředí Visual Studio v jazyce C#. Umožňuje jednoduše zobrazit charakteristiky po přijetí dat z Arduina. To stačí napojit pouze pomocí USB kabelu do PC.

Po zapnutí aplikace se v případě připojení objeví možnost zvolit port, na který je převodník připojen, v prvním combo boxu. V druhém si uživatel vybírá rychlost přenosu neboli tzv. baudrate. Program pro mikrokontrolér má baudrate nastavený na hodnotu 9600, tu lze však v mnoha případech sledovat pomalou a upravit. Obě hodnoty musí být vybrány, jinak nedojde

ke spojení. Po výběru portu a hodnoty baudrate se tlačítkem „Připojit se“ zahájí komunikace mezi Arduinem a PC.

Uživatel musí po připojení k Arduino stisknout na výrobku tlačítko pro odeslání dat, dojde k přečtení všech dat z EEPROM a pošle je po UARTu. Po dlouhém vybíjení je v EEPROM uloženo hodně dat, a proto může přečtení a odeslání všech dat trvat víc jak deset sekund. Počítačový program čte všechna přijatá data a sám si je rozděljuje do hodnot pro osy času a napětí. Poté čeká na stisk tlačítka „Vykresli graf“ pro zobrazení přijatých dat ve formě grafu.



Obrázek 16 - Prostředí programu pro vykreslování charakteristik

2.6 Zapouzdření

Desku plošného spoje bylo možno navrhnout co nejmenšími s SMD součástkami, miniaturním spínačem a tlačítkem, a mít ji tak nezapouzdřenou, jako to má třeba právě Arduino. Ve výsledku bylo ale stále třeba vyřešit umístění velkého 20x4 LCD displeje. Pro Arduino je také možné přikoupit tzv. shield, který se chová jako expanzní deska plošného spoje, která se nasazuje buď na Arduino nebo Arduino do ní, obvykle podle účelu, na který je navržena. Jedním z takových je například i jeden z mnoha shieldů pro LCD displej, určený většinou pro Arduina větší, než je verze Nano. Protože se však na desce vyskytují dvě součástky s poměrně velkými chladiči vzhledem k jejím rozměrům – tranzistor a stabilizátor, bylo rozhodnuto o zapouzdření do konstrukční plastové krabičky z estetických důvodů. Další důvod byla ochrana těchto součástek hlavně před nechtěným jednoduchým ohnutím. Výsledkem je tak umístění do čtyřdílné plastové

krabičky o rozměrech 150x179x70 mm, kde se našlo místo pro rozmístění všech venkovních součástek.



Obrázek 17 - Výsledný vzhled analyzátoru baterií

2.7 Výsledek měření

Ověření funkce obvodu je provedeno testováním dvou baterií v režimu konstantního proudu. Ze všech režimů se jedná o ten nejrychlejší a hlavně základní. Ostatní pracují na stejném principu, a to nastavování proudu v obvodu. Jediná jejich úprava je jeho zmenšování při vybíjení do konstantní zátěže či přerušování konstantního proudu v pulzním vybíjení.

První z měřených baterií je Zinko-Uhlíková baterie značky TESCO BASICS. V balení po osmi kusech jsou k dostání za 25 Kč. V přepočtu na jednu po zaokrouhlení to dělá 3 Kč. Baterie tohoto typu jsou velice levné. Kdejaký obchod se smíšeným zbožím jich nabízí mnoho různých neznámých značek s doslova korunovými cenami.

Druhá z měřených baterií je alkalická baterie značky VARTA s produktovým označením HIGH ENERGY. Zakoupeny byly v balení po čtyřech kusech za cenu 72 Kč, což dělá po přepočtu na jednu 18 Kč. Stejně jako další alkalické baterie jsou tak řádově dražší než typ Zn-C.

Na první pohled se potvrzuje nízké samovybíjení primárních článků. TESCO BASICS baterie má datum použití do března roku 2022, kdežto VARTA HIGH ENERGY má toto datum až do prosince roku 2027. Sama firma VARTA se na obalu pyšní 10 lety výdrže při skladování. Obě baterie tak mají nízké samovybíjení, alkalická baterie je však na tom o poznání lépe.

Důvod jejich zvolení byl, vzhledem k cíli stanovenému v této práci, velice prostý. V teoretické části byly popsány vlastnosti Zn-C a alkalických baterií. Očekávat se tedy dá mnohem vyšší kapacita a energie alkalické baterie.

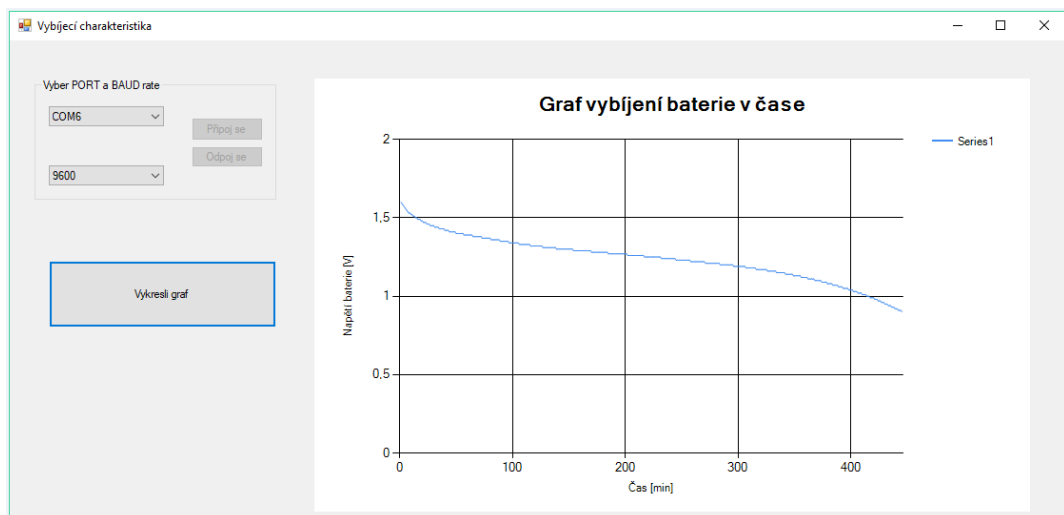
S ohledem na dobu vybíjení je nutno stanovit vybíjecí proud. Pro potřeby této práce je zvolen konstantní vybíjecí proud 100 mA.

2.7.1 Test Zn-C baterie

Vybíjení Zinko-uhlíkové baterie proběhlo podle očekávání. Po nastavení vybíjecího proudu bylo možné bez dlouhého čekání sledovat pozvolné klesání napětí. Celkový čas vybíjení byl téměř 7 hodin a 30 minut. Výsledná kapacita při vybíjení konstantním proudem 100 mA je 750 mAh a výsledná energie 0,927 Wh, viz obrázky.



Obrázek 18 - Výsledné hodnoty C, E pro Zn-C TESCO BASICS baterii

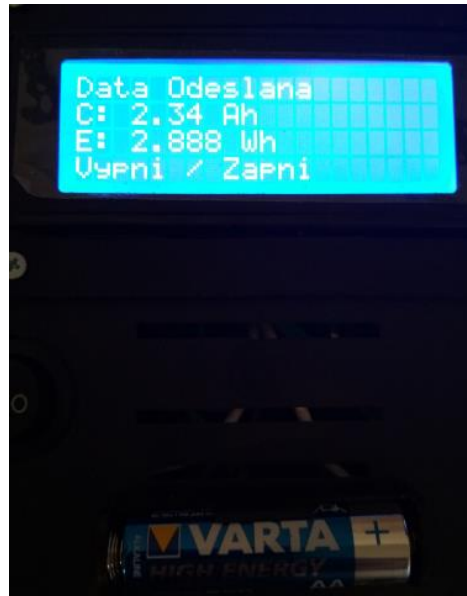


Obrázek 19 - Průběh napětí při vybíjení Zn-C TESCO BASICS baterie

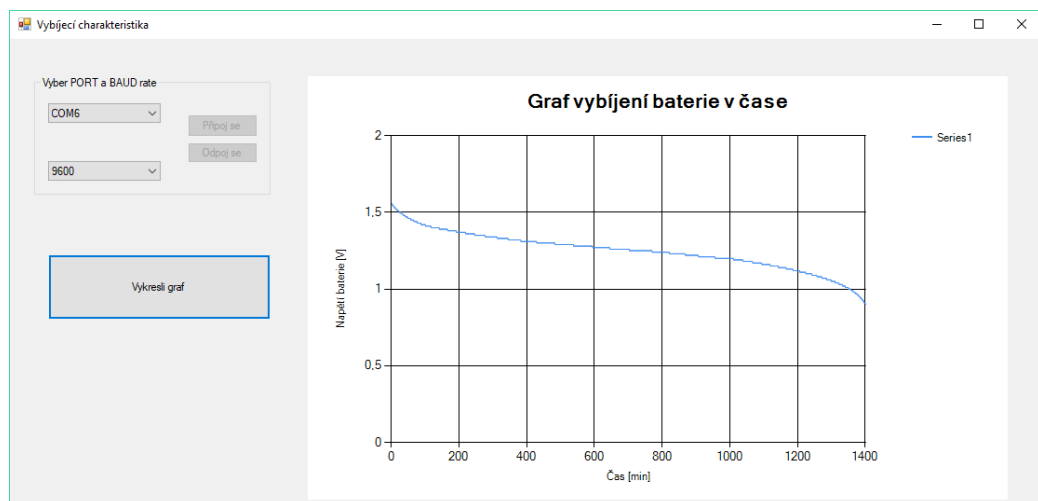
2.7.2 Test alkalické baterie

Po připojení alkalické baterie VARTA HIGH ENERGY bylo ihned možné pozorovat velice pomalé klesání napětí. I po osmi hodinách, kdy už dávno ve vybíjecí době překonala Zn-C baterii měla stále kolem 1,3 V. Výraznější pokles napětí zaznamenala až po dvaceti hodinách, po kterých její napětí klesalo nejvíce. I tak vydržela téměř další 4 hodiny. Celkový čas vybíjení

při zátěži 100 mA byl 23 hodin a 30 minut. Výsledná kapacita byla spočítána na hodnotu 2340 mAh a její energie je 2,89 Wh.



Obrázek 20 - Výsledné hodnoty C, E pro VARTA HIGH ENERGY baterii



Obrázek 21 - Průběh napětí při vybijení alkalické VARTA HIGH ENERGY baterie

2.7.3 Zhodnocení výsledků

Z grafů a výsledků v předchozích kapitolách se potvrdilo očekávané. Alkalické baterie jsou ve všech ohledech lepší. Za tyto kvality si je ale nutno připlatit pár korun, což je jediná nevýhoda. Na první pohled se však u obou může zdát jejich kapacita poněkud malá. Je totiž třeba si uvědomit, že kapacita primárních baterií závisí na vybíjecím proudu. Hodnota 100 mA a více je

pro primární monočlánky poměrně velký proud, který je dodáván například do hraček či kamer. V takových případech se nikdy nepočítá, že by zařízení mělo vydržet zapnuté dlouho. Lepší je pak zvolit použití akumulátoru, aby nedošlo ke zbytečnému plýtvání. Primární baterie se spíše hodí pro velmi malé proudové odběry, tedy do osobních vah, kalkulaček, dálkových ovladačů nebo třeba budíků pro maximální využití jejich kapacity po dobu mnoha let.

Grafy obou baterií opisují stejnou známou vybíjecí křivku [13]. V prvních minutách dochází k prudkému poklesu napětí. Po této době dojde ke zmírnění poklesu a zhruba uprostřed grafu je k vidění inflexní bod. Vybíjení pokračuje až do jisté kritické hranice kolem 1,1 V, kde dochází opět k prudkému poklesu až do vybití baterie.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření analyzátoru baterií, pomocí kterého lze testovat baterie ve třech režimech. Zařízení nemá vyžadovat uživatelský zásah po celou dobu vybíjení a po vybití baterie má spočítat kapacitu a energii. Proud má jít nastavit od jednotek mA. V neposlední řadě má umožnit vykreslit vybíjecí charakteristiky na počítači.

Zadání bylo splněno. Do obvodu stačí vložit baterii a pomocí tlačítka si vybrat mód vybíjení. Řídící obvod Arduino Nano se pak pomocí SPI komunikace dozvídá z ADC o hodnotách napětí baterie, měřicího rezistoru a potenciometru a podle toho nastavuje napětí do DAC, čímž určuje proud zátěží. Všechny důležité informace jsou uživateli zobrazeny na 20x4 alfanumerickém LCD displeji. Po vybití baterie dojde k výpočtu kapacity a energie a jejich následovnému vypsání na displej. Po celou dobu měření jsou pravidelně ukládány hodnoty času a napětí do EEPROM, které si na konci vybíjení uživatel může stiskem tlačítka poslat přes UART do PC.

Aplikace pro vykreslení grafů je jednoduchá na obsluhu. Vybíjecí křivky odpovídají těm skutečným. Nutné je vybrat pouze port, který je ve většině případů pouze jeden možný. Rychlost komunikace je v této práci uvedena a je možné ji změnit pomocí naprogramování Arduina.

V průběhu práce vyskytlo několik problémů. Práce byla původně plánována se samotným mikrokontrolérem ATmega32, ve kterém již byl program téměř hotov. Z důvodu velkého zdržení na některých částech programu a časté nepřehlednosti v jeho programování při dokončování bylo nakonec zvoleno Arduino Nano se svojí ještě větší komunitní podporou a práce pokračovala dle předpokladů.

Další problém nastal při měření hodnot napětí baterie a měřicího rezistoru. Při bližším prozkoumání bylo zjištěno rušení mezi různými body zemnicího signálu. To se nakonec ukázalo jako neodstranitelné. Důvodem k tomu je nedokonalé rozmístění součástek a neoddělení digitální a analogové země. Přesnost měření je tak narušena, i když se dá lehce kompenzovat.

Při navrhování bylo počítáno s nepřesností součástek. Rezistory byly vybrány s tolerancí 0,1 % a operační zesilovač byl použit typu rail-to-rail s větším frekvenčním rozsahem. Problém se nakonec ukázal v jeho offsetu a nesymetrickém zapojení, kde je jedna napájecí svorka připojena na zem. To způsobuje, že vybíjecí proud nelze nikdy nastavit na 0 mA. Zadání je však splněno, proud lze nastavovat od jednotek mA. Obvod je tedy otevřený několika vylepšením.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Pistoia, Gianfranco. *Batteries for Portable Devices*. Amsterdam : Elsevier Science , 2005. stránky 29-31. 9780444516725.
- [2] Hruška, Pavel. Primární články (baterie) - dělení, vlastnosti a jak správně koupit. *mrpear.net*. [Online] [Citace: 14. 4. 2019.] <http://www.mrpear.net/cz/blog/947/primarni-clanky-baterie-deleni-vlastnosti-a-jak-spravne-koupit>.
- [3] Wikipedia - Zinc-carbon battery. *Wikimedia Foundation*. [Online] 2018. [Citace: 14. 4. 2019.] https://en.wikipedia.org/wiki/Zinc%E2%80%93carbon_battery.
- [4] Wikipedia - Alkaline battery. *Wikimedia Foundation*. [Online] 2011. [Citace: 14. 4. 2019.] https://en.wikipedia.org/wiki/Alkaline_battery.
- [5] Zollo, Bob. Measuring Cell Capacity. *ElectronicDesign*. [Online] 2017. [Citace: 14. Duben 2019.] <https://www.electronicdesign.com/test-measurement/measuring-cell-capacity>.
- [6] STMicroelectronics. L78 - Positive voltage regulator ICs. *STMicroelectronics*. [Online] 2004. [Citace: 14. Květen 2018.] <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l78.pdf>.
- [7] Circuit Basics. ARDUINO LCD SET UP AND PROGRAMMING GUIDE. *Circuit Basics*. [Online] [Citace: 9. 4. 2019.] <http://www.circuitbasics.com/how-to-set-up-an-lcd-display-on-an-arduino/>.
- [8] Arduino. Introduction to the Arduino Board. *Arduino*. [Online] [Citace: 7. 5 2019.]
- [9] Microchip Technology Inc. 25AA1024 - 1 Mbit SPI Bus Serial EEPROM. [Online] 2007. [Citace: 12. 4. 2019.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001836J.pdf>.
- [10] 8/10/12-Bit Voltage Output Digital-to-Analog Converter with SPI Interface. *Microchip*. [Online] 2010. [Citace: 12. 4. 2019.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22248a.pdf>.
- [11] oksbwn. MCP3208_Arduino. *GitHub*. [Online] 2016. [Citace: 14. 4 2019.] https://github.com/oksbwn/MCP3208_Arduino/blob/master/MCP3208_With_Arduino.ino.
- [12] Liang, Oscar. ARDUINO TIMER AND INTERRUPT TUTORIAL. *OscarLiang*. [Online] [Citace: 15. 4. 2019.] <https://oscarliang.com/arduino-timer-and-interrupt-tutorial/>.

- [13] Rightbattery. 1.5V AA Varta High Energy Alkaline Battery Tests. *Rightbattery*. [Online] 2013. [Citace: 1. 5. 2019.] <https://rightbattery.com/219-1-5v-aa-varta-high-energy-alkaline-battery-tests/>.