



F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra mikroelektroniky

Bakalářská práce

Dobíjení záložní 12 V baterie z 12 V palubní sítě automobilu

Tomáš Do

Vedoucí: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
Studijní program: Elektronika a Komunikace
Květen 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Do** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **492012**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Dobíjení záložní 12V baterie z 12V palubní sítě automobilu

Název bakalářské práce anglicky:

Charging a Backup 12 V Battery from the 12 V Car's On-board Network

Pokyny pro vypracování:

1. Analyzujte současný stav řešení dobíjení záložních baterií z 12V palubní sítě osobního automobilu.
2. Navrhněte a realizujte laboratorní vzorek elektronického zapojení pro dobíjení záložní baterie 12 V z palubní sítě automobilu 12 V s regulovatelným dobíjecím proudem (max 4 A). K návrhu zapojení využijte integrované obvody dostupné na trhu.
3. Po realizaci změřte parametry zařízení, tj. zejména rozsah napětí záložní baterie při dobíjení a dobíjecí proud a vyhodnotte dosažené výsledky.

Seznam doporučené literatury:

1. Neumann, P., Uhlíř, J.: Elektronické obvody a funkční bloky I, II, ČVUT.
2. PATEL, Mukund R. Introduction to electrical power and power electronics. Boca Raton: CRC Press, 2013. ISBN 9781466556607; 1466556609.
3. HOSPODKA, J. Spínané zdroje – principy DC-DC měničů [přednáška]. Praha: Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. 2018 [cit. 09.12.2021] Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/148893/mod_resource/content/4/zdroje_sp_EO2.pdf
4. Vselektro.eu Nabíjení akumulátorů - charakteristiky, 01.02.2021, cit. [06.12.2021]. Dostupné na: <https://www.vselektro.eu/nabijeni-akumulatoru-charakteristiky>.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc. katedra mikroelektroniky FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **01.02.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2023**

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
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.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil upřímné poděkování všem, kteří mi při psaní této bakalářské práce poskytli podporu, inspiraci a cenné rady.

Prohlášení

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

V Praze, 25. května 2023

Abstrakt

Práce se zabývá analýzou a návrhem elektronického zapojení pro dobíjení záložních baterií z 12 V palubní sítě osobního automobilu. Cílem práce bylo navrhnout a realizovat laboratorní vzorek zapojení s možností regulace dobíjecího proudu a provést měření jeho parametrů. V úvodní části práce byl proveden rozbor současného stavu dobíjení záložních baterií z 12 V palubní sítě. Byl proveden teoretický rozbor potřebný pro realizaci laboratorního vzorku. Pro návrh zapojení byly využity integrované obvody dostupné na trhu. Navržený přípravek je schopen regulovat dobíjecí proud pomocí přepínače. Po úspěšné realizaci byla provedena měření parametrů zapojení, zejména rozsahu napětí záložní baterie při dobíjení a dobíjecího proudu. Výsledky měření potvrdily správnou funkčnost a nabíjení baterie s 47 % účinností.

Klíčová slova: dobíjení záložních baterií, palubní síť, měnič, nabíjecí obvod, regulace dobíjecího proudu

Vedoucí: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

Abstract

This thesis focuses on the analysis and design of an electronic circuit for charging backup batteries from the 12 V onboard power system of a personal vehicle. The objective of this work was to design and implement a laboratory prototype circuit with adjustable charging current and perform measurements of its parameters. In the introductory part of the thesis, an analysis of the current state of charging backup batteries from the 12 V onboard power system was conducted. Theoretical considerations necessary for the implementation of the laboratory prototype were presented. The design utilized integrated circuits available on the market. The designed device is capable of regulating the charging current using a switch. After successful implementation, measurements of the circuit's parameters were performed, focusing on the voltage range of the backup battery during charging and the charging current. The measurement results confirmed the proper functionality of the circuit and battery charging with 47 % efficiency.

Keywords: charging backup batteries, onboard power system, converter, charging circuit, charging current regulation

Title translation: Charging a Backup 12 V Battery from the 12 V Car's On-board Network

Obsah

1 Úvod	1	6 Závěr	35
2 Analýza trhu	3	Seznam použitých zkratk a symbolů	37
2.1 Segmentace trhu	3	Literatura	39
2.2 Analýza konkurence	3	A Naměřené hodnoty	43
2.3 Řešení na trhu	4		
3 Teoretický úvod	7		
3.1 Spínací zdroj	7		
3.1.1 Snižující měnič	7		
3.1.2 Zvyšující měnič	9		
3.1.3 Snižující/zvyšující měnič	10		
3.2 Různé nabíjecí techniky olověných baterií	11		
3.2.1 Metoda konstantního napětí	11		
3.2.2 Metoda konstantního proudu	12		
3.2.3 Metoda vícecestavového nabíjení	12		
3.2.4 Pulzní metoda	13		
3.2.5 Metoda přerušovaného nabíjení	13		
3.2.6 Interrupted Charge Control	14		
3.3 Záložní baterie	14		
3.3.1 Standardní baterie	14		
3.3.2 Bezúdržbové baterie	14		
3.3.3 Trakční baterie	15		
3.4 Rozdělení baterií podle technologie	15		
3.4.1 Zaplavené baterie	15		
3.4.2 AGM baterie	15		
3.4.3 Gelové akumulátory	15		
4 Realizace návrhu	17		
4.1 Návrh řešení	17		
4.2 Použité součástky	17		
4.2.1 Měnič	17		
4.2.2 Nabíječka	18		
4.2.3 Voltmetr	20		
4.2.4 Akumulátor	20		
4.3 Přípravek	20		
4.3.1 Finální přípravek	20		
4.3.2 Možné vylepšení	23		
5 Měření	25		
5.1 Kontrola funkce	25		
5.2 Nabíjení baterie	27		
5.2.1 Postup měření	27		
5.2.2 Naměřené hodnoty	28		
5.3 Nabití baterie s vyšším proudem	31		
5.3.1 Postup měření	31		
5.3.2 Naměřené hodnoty	31		

Obrázky

2.1 Příklad měniče do auta [8]	4
2.2 Příklad inteligentní nabíječky olověného akumulátoru [7]	5
3.1 Ukázkové schéma snižujícího měniče [1]	8
3.2 Průběhy u snižujícího měniče [1]	8
3.3 Ukázkové schéma zvyšujícího měniče [1]	9
3.4 Snižující/zvyšující měnič [1]	11
3.5 Nabíjecí charakteristika vícecestavového nabíjení	13
4.1 Blokové schéma řešení	17
4.2 Step-up měnič použitý v přípravku [6]	18
4.3 Schéma nabíjecí desky NBX 3906 [5]	19
4.4 Zapojení voltmetru/ampérmetru [11]	20
4.5 Přípravek pohled ze shora na desku	21
4.6 Přípravek pohled desku zespoda	22
4.7 Přípravek pohled zepředu	22
5.1 Měřicí stanoviště pro kontrolu funkce	26
5.2 Měřicí stanoviště pro nabíjení baterie	27
5.3 Napětí při měření nabíjení	29
5.4 Proudů při měření nabíjení	30
5.5 Teplota při měření nabíjení	30
5.6 Napětí při měření nabíjení s vyšším proudem	33
5.7 Proudů při měření nabíjení s vyšším proudem	33
5.8 Teplota při měření nabíjení s vyšším proudem	34
A.1 Naměřené hodnoty nabíjení baterie s vyšším proudem - první část	43
A.2 Naměřené hodnoty nabíjení baterie s vyšším proudem - druhá část	44
A.3 Naměřené hodnoty nabíjení baterie - první část	45
A.4 Naměřené hodnoty nabíjení baterie - druhá část	46

Tabulky

4.1 Jednotlivé nabíjecí režimy [5]	19
5.1 Naměřené hodnoty při kontrole funkce	26
5.2 Naměřené hodnoty nabíjení baterie (Zkrácená verze)	28
5.3 Naměřené hodnoty nabíjení baterie (Zkrácená verze)	32



Kapitola 1

Úvod

Dobíjení záložních baterií z palubní sítě osobního automobilu je důležitým aspektem pro zajištění spolehlivého provozu elektronických zařízení v vozidle. V současné době existuje několik řešení pro dobíjení záložních baterií, avšak je třeba provést analýzu současného stavu těchto řešení a identifikovat případné nedostatky a možnosti jejich vylepšení.

Cílem této práce je navrhnout a realizovat laboratorní vzorek elektronického zapojení pro dobíjení záložní baterie 12 V z palubní sítě osobního automobilu s možností regulace dobíjecího proudu. K tomuto účelu budou využity integrované obvody, které jsou volně dostupné na trhu.

Po úspěšné realizaci vzorku zapojení bude provedena měření a vyhodnocení jeho parametrů. Zvláštní pozornost bude věnována rozsahu napětí záložní baterie během dobíjení a dobíjecímu proudu. Tato měření a vyhodnocení umožní posoudit dosažené výsledky a zhodnotit, zda navržený vzorek elektronického zapojení splňuje požadované parametry a funkčnost.

Kapitola 2

Analýza trhu

Trh s nabíječkami olověných baterií s napětím 12 V z 12 V zásuvek je používán k nabíjení olověných baterií v vozidlech, motocyklech, lodích a jiných aplikacích, které využívají 12 V DC napájení. Tyto nabíječky jsou oblíbené, protože je lze zapojit do 12 V zásuvky, jako je například zapalovač cigaret v automobilu, a jsou snadno použitelné na cestách. Celosvětový trh s olověnými bateriemi by měl podle odhadů vzrůst z 22,7 miliardy USD v roce 2020 na 30,7 miliard USD do roku 2027, s CAGR 6,3 %. Tento růst má podporovat poptávku po nabíječkách olověných baterií ze 12 V zásuvek. [2]

2.1 Segmentace trhu

Trh nabíječek olověných akumulátorů s napájením ze 12 V zásuvek lze rozdělit na různé segmenty v závislosti na několika faktorech. Jedním z těchto faktorů je určení koncového uživatele, který nabíječku potřebuje. Mezi tyto uživatele patří například automobilový průmysl, lodní průmysl, komerční sektor nebo obytné domácnosti. Dalším faktorem je rychlost nabíjení, přičemž se zohledňuje, zda preferuje koncový uživatel nákup nabíječky online nebo v kamenném obchodě [22]. Rozpočet koncového uživatele také hraje důležitou roli při výběru nabíječky, protože se liší dostupnost a cena nabíječek na trhu.

2.2 Analýza konkurence

Na trhu s 12 V nabíječkami olověných baterií je hned několik hráčů. Mezi největší z nich patří Battery Tender, NOCO Genius, Schumacher Electric, Black&Decker, CTEK, Deltran Battery Tender, Energizer a mnoho dalších. Obě značky nabízejí širokou škálu produktů, včetně rychlo nabíječek, udržovacích nabíječek a multibankovních nabíječek. Schumacher Electric je dalším známým hráčem na trhu, který nabízí vysoce kvalitní produkty za konkurenceschopnou cenu.

2.3 Řešení na trhu

Na trhu existuje široká nabídka řešení pro dobíjení 12 V olověných baterií, avšak přímé napájení z 12 V zásuvky nebylo nalezeno. Přesto lze však identifikovat jednu alternativu, která se nejvíce blíží našim požadavkům a dosáhla by stejného výsledku.

Pro domácího koncového uživatele se nejjednodušším řešením stane využití měniče. Měnič přijímá vstupní napětí 12 V a transformuje ho na požadované napětí, které je kompatibilní s nabíječkou. Přestože měnič provádí změnu napětí, je nutné brát v úvahu, že tato operace je spojena s určitými účinnostními ztrátami. Účinnost měniče se pohybuje mezi 70-95 % v závislosti na konkrétním typu. Dalším nevýhodou použití měniče je samotná potřeba tohoto zařízení. Přidání dalšího zařízení k nabíječce může být z hlediska praktičnosti nežádoucí.

Jednou z alternativ je využití měniče. Drtivá většina nabíječek požaduje napájení 230 V. Jednoduchým řešením by bylo tedy použít měnič napětí před nabíječku (2.1).



Obrázek 2.1: Příklad měniče do auta [8]

Použití měniče zajistí dostatečných 230 V pro nabíječku a potom může úspěšně nabíjet baterii. Jednou z hlavních nevýhod této metody je potřeba měnit napětí ze DC 12 V zástrčky na AC 230 V zásuvky a poté zase zpět na DC napětí pro nabíjení baterie. To může znamenat sníženou účinnost celkového setu měnič-nabíječka. Tyto druhy měničů jsou velice dostupné a začínají na relativně nízké ceně. Dále by se daly využívat i na jiné věci než jen nabíječky baterií. Měniče mají v sobě klasickou 230 V zásuvku do které se zapojí nabíječka. Nabíječek do klasických 230 V zásuvek je spousta.

Základní rozdělení nabíječek je na jednoduché nabíječky, které nabíjejí baterie s menší kapacitou a jsou vhodné pro méně náročné použití, a na profesionální nabíječky, které nabízejí vyšší výkon a jsou vhodné pro náročnější použití. Existují také inteligentní nabíječky, které dokáží detekovat typ baterie a přizpůsobit se jeho nabití, a nabíječky s funkcí obnovy baterie, které dokáží

obnovit baterii s hlubokým výbojem.

Ceny nabíječek se v dnešní době pohybují v širokém cenovém rozpětí, které závisí na jejich funkčnosti, výkonu a dalších přidaných hodnotách. Existují jednoduché nabíječky, které lze pořídit za relativně nízkou cenu, obvykle v řádu několika set korun. Tyto nabíječky jsou často určeny pro běžné domácí použití a nabízejí základní funkce pro dobíjení baterií.

Na druhém konci cenového spektra se nacházejí profesionální a inteligentní nabíječky, které nabízejí vyšší výkon a širokou škálu funkcí. Tyto nabíječky jsou často určeny pro profesionální použití, jako například v automobilovém průmyslu, a jejich cena může dosahovat až tisíců korun. Mají pokročilé možnosti nastavení, různé režimy nabíjení, ochranu proti přepětí a přepólování, a další pokročilé funkce, které umožňují precizní a efektivní dobíjení baterií.

Při hodnocení nabíječek je klíčové mít na paměti, že cena často koresponduje s kvalitou, spolehlivostí a výkonem nabíječky. Při výběru správné nabíječky je důležité pečlivě zvážit vlastní potřeby a požadavky. A rozhodnout se mezi nabíječkou s jednoduššími funkcemi a nižší cenou a možností investovat do profesionální nabíječky s rozšířenými funkcemi a vyšší cenou.



Obrázek 2.2: Příklad inteligentní nabíječky olověného akumulátoru [7]

Kapitola 3

Teoretický úvod

V této kapitole se podrobněji prostudují teoretické znalosti nezbytné k úspěšnému vyřešení této práce. Bude se zaměřovat na analýzu měničů, různé techniky dobíjení olověných baterií a také rozdělení olověných baterií podle použité technologie. Tyto informace jsou klíčové pro správné navržení nabíječky a dosažení požadovaných výsledků.

3.1 Spínací zdroj

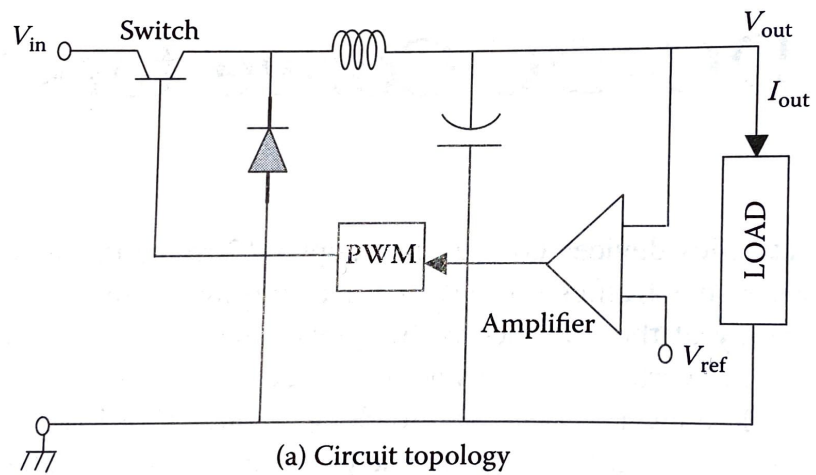
Cílem spínacího zdroje je zvýšit nebo snížit potřebné napětí pro zatěžovací zařízení nebo pro nabíjení a dobíjení baterie v stejnosměrném obvodu. Docílíme toho pomocí akumulačních vlastností cívky a kondenzátoru [4]. Zdroj dosahuje potřebné funkce přepínáním sepnutého a rozepnutého stavu při vysoké frekvenci. Sepnutí a rozepnutí je nejčastěji provedeno tranzistorem v zapojení jako spínač [24].

Existuje mnoho typů měničů v elektrotechnice, tato část se zaměří na tři základní kategorie: snižující měnič, zvyšující měnič a snižující/zvyšující měnič [24]. Tyto měniče mají specifické vlastnosti a slouží k různým účelům, provádějí transformaci elektrického proudu nebo napětí.

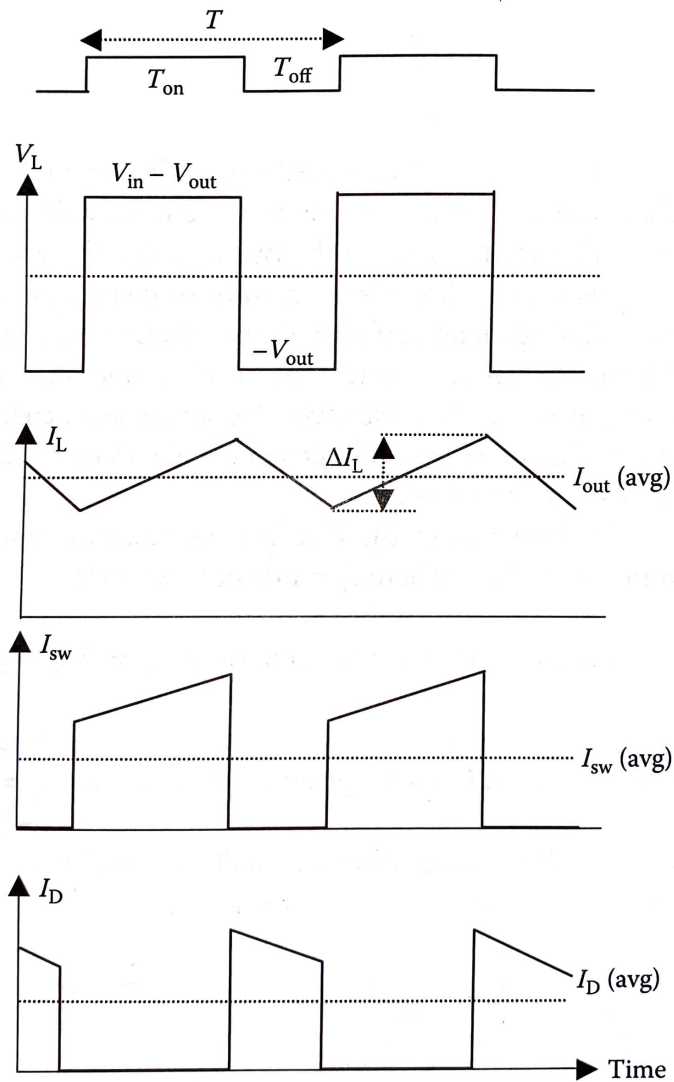
3.1.1 Snižující měnič

Měnič, který je známý také jako step-down converter nebo buck converter, slouží k snížení výstupního napětí. Tento typ měniče je využíván v situacích, kdy je potřeba napájet zařízení s nižším napětím, například při nabíjení baterie, která má nižší nabíjecí napětí než zdroj. Princip snižujícího měniče je názorně popsán na následujícím obrázku (3.1).

Během sepnutého stavu je obvod uzavřen a dioda je polarizovaná záporně, tedy skrz ni nic neteče. Zdroj napětí nabíjí cívku, kondenzátor a U_{in} je rovno U_{out} . V momentě, kdy se tranzistor rozepne, tak U_{in} klesá k nule. Jakmile napětí U_{in} dostatečně poklesne, změní se polarita diody a začne jí protékat proud. Cívka změní svojí polaritu napětí ve snaze udržet spojitý proud. Tedy cívka a kondenzátor se stanou krátkodobým zdrojem napětí, který lineárně klesá. Než se stihne náhradní zdroj napětí vybit, už se tranzistor zase sepne. Tím ve výsledku bude na U_{out} nižší napětí než na U_{in} .



Obrázek 3.1: Ukázkové schéma snižujícího měniče [1]



Obrázek 3.2: Průběhy u snižujícího měniče [1]

Jak uvádí [4], napětí na cívce má obdélníkový tvar a je roven $U_{in} - U_{out}$, resp. $-U_{out}$. Tak pro ustálený stav platí

$$\Delta i_L \cdot L = (U_{in} - U_{out}) \cdot T_{on} = U_{out} \cdot T_{off} \quad (3.1)$$

po úpravě rovnice (3.1) je v [1] ukázán poměr vstupního a výstupního napětí, kde D je poměr střídy:

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T} = D. \quad (3.2)$$

Pokud se vezme v potaz 100% účinnost, rovnost výkonů umožní odvodit poměr mezi vstupním a výstupním proudem

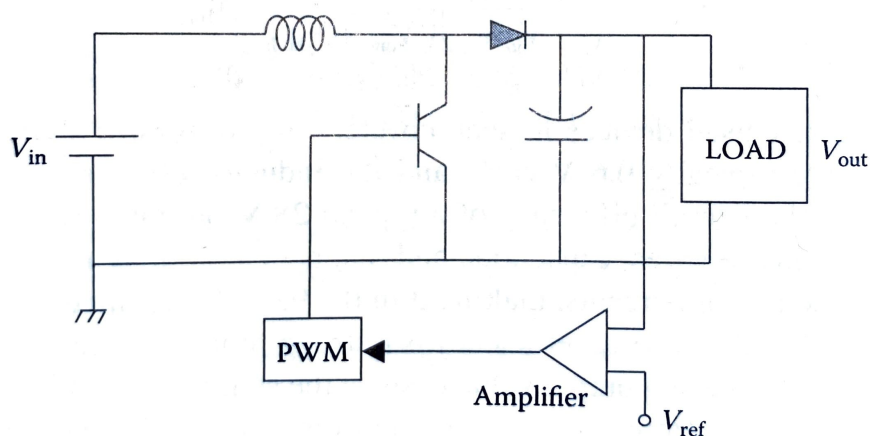
$$U_{in} \cdot I_{in} = U_{out} \cdot I_{out} \rightarrow \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{U_{in}}{U_{out}} = \frac{1}{D}. \quad (3.3)$$

Vzhledem k tomu, že střída D je vždy kladná a zároveň menší než 1, výstupní napětí bude menší než vstupní napětí [1]. Zároveň je možné pozorovat, že výstupní proud může být vyšší než vstupní proud. Nicméně, je třeba poznamenat, že při výpočtu poměru proudů byla předpokládána 100 % účinnost, což je v reálných podmínkách téměř nemožné. Proto stále existuje možnost, že výstupní proud nemusí vždy být vyšší než vstupní proud.

3.1.2 Zvyšující měnič

Zvyšující měnič, známý také jako boost měnič, je elektronické zařízení používané k zvýšení vstupního napětí na vyšší výstupní napětí. Jeho hlavním účelem je poskytnout stabilní a regulované napětí pro různé aplikace, jako je například dobíjení baterií, napájení elektronických zařízení nebo pohon motorů [24].

Zapojení spínaného zdroje je ukázáno následujícím obrázkem (3.3).



Obrázek 3.3: Ukázkové schéma zvyšujícího měniče [1]

Když je tranzistor sepnutý, proud na cívce lineárně stoupá. Zátěž je zásobována proudem kondenzátoru a dioda je záporně polarizovaná.

Když se tranzistor rozepne. Dioda se polarizuje kladně a proud cívkou proteče diodou, kde se pak rozdělí na dvě části. Jedna část proudu jde do zátěže, kde druhá nabíjí kondenzátor. Vyšší výstupní napětí máme díky napětí na cívce, které se sériově přidá na vstupnímu napětí [1].

Poměr vstupního a výstupního napětí jde podobným směrem jako u snižujícího měniče. Napětí na cívce má obdélníkový průběh a dosahuje hodnot U_{in} , resp. $U_{out} - U_{in}$. Pro ustálený stav potom platí [4]

$$\Delta i_L \cdot L = U_{in} \cdot T_{on} = (U_{out} - U_{in}) \cdot T_{on}. \quad (3.4)$$

Podobným jako u předchozího měniče získáme úpravou následující poměry napětí a proudů:

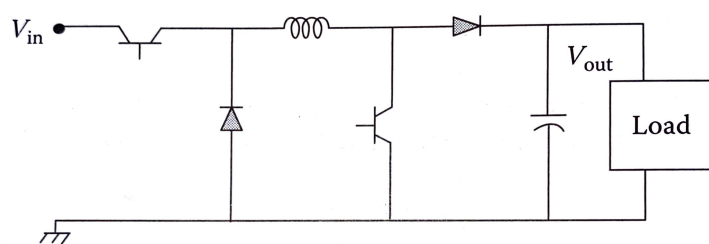
$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{T_{off} + T_{on}}{T_{off}} = \frac{1}{1 - D} \quad (3.5)$$

$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = 1 - D. \quad (3.6)$$

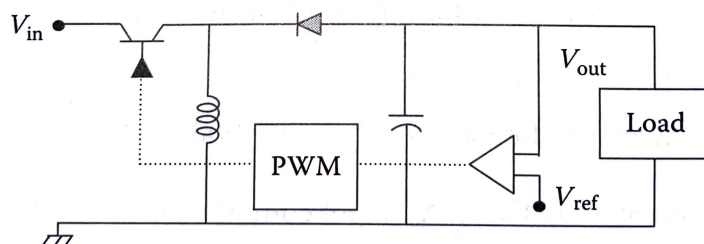
Podle [1] bude D vždycky kladná hodnota menší jak 1. Tady výstupní napětí bude vždycky vyšší než vstupní napětí. Je často využíván pro rychlejší vybíjení baterií. Jelikož s vybíjením baterie klesá i napětí, je třeba zvyšovací měnič, který konstantně bude zvyšovat napětí na výstupu pro určenou zátěž [1].

■ 3.1.3 Snižující/zvyšující měnič

Když se zkombinuje snižující a zvyšující měnič, dostane ve výsledku měnič, který je schopen napětí jak zvyšovat, tak i snižovat. Je známý pod jménem buck-boost converter [24]. Podle [1] poměry napětí a proudů jsou získány kaskádováním snižujícím a zvyšujícím měničem viz. obrázek (3.4) (a), zároveň si ukážeme i upravený měnič se komparátorem a PWM viz. obrázek (3.4) (b)



(a) Cascade buck and boost converters



(b) Direct buck–boost topology

Obrázek 3.4: Snižující/zvyšující měnič [1]

Poměry vstupních a výstupních napětí/proudů jsou:

$$\frac{U_{in}}{U_{out}} = \frac{D}{1 - D} \quad (3.7)$$

$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{1 - D}{D}. \quad (3.8)$$

Rovnice (3.7) dokazuje, že U_{out} může být jak vyšší, tak i nižší než U_{in} . Záleží podle nastavování poměru střídy D , kde pro poměr U_{in} a U_{out} roven 1 je třeba

$$D = 0,5. \quad (3.9)$$

3.2 Různé nabíjecí techniky olověných baterií

V této části bude rozbor různých způsobů nabíjení olověné baterie. Rozeberou se tu nabíjecí metody jako nabíjení konstantním proudem (CC), nabíjení konstantním napětím (CV), metoda více stavového nabíjení (CCCV), pulzní metodu a metodu přerušovaného nabíjení. Dále také vylepšená metoda přerušovaného nabíjení zvaná Interrupted Charge Control (ICC).

3.2.1 Metoda konstantního napětí

Při nabíjení baterie metodou konstantního napětí se používá konstantní napětí na elektrodách baterie [13]. Baterie se nabíjí až do dosažení plného nabití, při kterém se napětí udržuje na konstantní úrovni. V průběhu nabíjení stoupá v akumulátoru napětí a tím klesá proud tekoucí do akumulátoru [12]. Pokud je napětí udržováno na konstantní úrovni, dochází k minimalizaci

rizika přepětí, což může vést ke zvýšení životnosti baterie. Konečný nabíjecí proud dosahuje zhruba dvě tisíciný jmenovité kapacity akumulátoru [3].

Tento typ nabíjení má několik výhod, mezi které patří rychlost nabíjení a jednoduchost použití. Metoda konstantního napětí nabíjení je také poměrně efektivní a může být použita pro různé typy baterií. Nicméně, metoda konstantního napětí má také několik nevýhod. Jednou z hlavních nevýhod je riziko přepětí, které může vést k poškození baterie a zkrácení její životnosti [12]. Navíc, při nabíjení baterií metodou konstantního napětí se mohou vyskytnout tepelné ztráty a ztráty na účinnosti, což může vést k vysokým nákladům na elektřinu. [3]

3.2.2 Metoda konstantního proudu

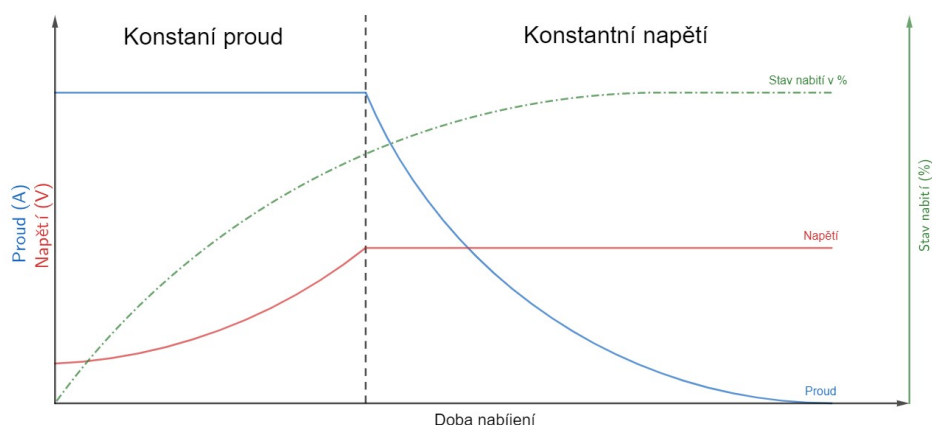
Tato metoda nabíjí baterii konstantním proudem [13]. Dosažení nabíjecího proudu je podmíněno zvyšováním nabíjecího napětí, které je omezeno konstrukcí nabíječky. Obvykle se stává, že není dosaženo uvedeného konstantního proudu [3]. Stav akumulátoru totiž nedovolí při max. nabíjecím napětí protečení maximálního proudu. V průběhu nabíjení pak proud dále klesá. Tato metoda se nijak výrazně nemění v závislosti na napětí nebo teplotě baterie [12]. Tady je nutné hlídat odpojení nabíječky po určitém čase nebo dosažení určitého napětí, aby se předešlo poškození přebíjením .

Metoda konstantního proudu nabíjení má několik výhod, jako jsou vysoké rychlosti nabíjení a snadná použitelnost. Tato metoda také umožňuje úplné nabití baterie bez rizika přepětí, což může vést ke zvýšení životnosti baterie [14]. Metoda konstantního proudu má ale také několik nevýhod. Jednou z nevýhod je to, že může být obtížné dosáhnout požadovaného napětí, pokud baterie již dosáhla své maximální kapacity. Navíc, pokud je použit příliš vysoký proud, může dojít k přehřátí baterie a poškození jejích elektrod [14].

3.2.3 Metoda vícestavového nabíjení

Při použití metody vícestavového nabíjení se bere to nejlepší z obou předchozích metod. Známa jako metoda Constant Current, Constant Voltage (CCCV). Tato metoda kombinuje metody nabíjení konstantním proudem a nabíjení konstantním napětím. Nabíjení je rozděleno na dva kroky [12]. Nejprve pomocí metody konstantního proudu se nabíjí baterie dokud nedosáhne přednastaveného napětí [13]. Druhým krokem je nabíjení konstantním napětím, tím se baterie nabije úplně a minimalizuje riziko přepětí baterie. Na následujícím obrázku jsou vyobrazeny kroky nabíjení 3.5:

Metoda vícestavového nabíjení má několik výhod, jako je vysoká účinnost nabíjení, rychlost nabíjení a snížení rizika přepětí baterie. Tato metoda také snižuje riziko poškození baterie a prodlužuje její životnost [23]. Ale má také několik nevýhod. Jednou z nevýhod je to, že vyžaduje složitější nabíjecí řídicí obvody než jiné metody nabíjení. Navíc, pokud není řízena správně, může být tato metoda škodlivá pro baterie a vést ke ztrátě kapacity [3].



Obrázek 3.5: Nabíjecí charakteristika víceetapového nabíjení

3.2.4 Pulzní metoda

Tato technika nabíjení využívá pulzních signálů pro dobíjení baterie [13]. Tato metoda spočívá v tom, že baterie je nabíjena krátkými, vysokonapěťovými impulsy, které jsou odděleny pauzami [15]. Tyto impulsy mají napětí vyšší než napětí baterie a jsou dostatečně krátké, aby nedošlo k přehřátí baterie. Tento proces se opakuje s určitou frekvencí a až do dosažení plného nabití baterie.

Pulzní metoda nabíjení má několik výhod oproti tradičním nabíjecím technikám. Jednou z hlavních výhod je zlepšení životnosti baterie. Při použití pulzní metody se snižuje riziko nadměrného zahřátí baterie, což vede ke snížení rizika poškození baterie a prodloužení její životnosti. Pulzní nabíjení může pomoci odstranit sulfataci baterie, která se často vyskytuje u starých a nedostatečně nabíjených baterií [16]. Další výhodou je nižší spotřeba energie a nižší náklady na elektřinu.

3.2.5 Metoda přerušovaného nabíjení

Tato technika spočívá v pravidelném přerušování nabíjení baterie, aby se minimalizovalo riziko poškození baterie a zvýšila se její životnost [12]. Metoda přerušovaného nabíjení se liší od tradičních nabíjecích technik, jako je konstantní napětí nebo konstantní proud, které mohou vést k nadměrnému zahřívání baterie a zkrácení její životnosti [17]. Během nabíjecího cyklu se nabíjení pravidelně přerušuje na krátkou dobu, aby se baterie mohla ochladit a regenerovat. Tento cyklus se opakuje až do dosažení plného nabití baterie.

Metoda přerušovaného nabíjení má několik výhod. Jednou z hlavních výhod je zvýšení životnosti baterie. Díky pravidelnému přerušování nabíjení se minimalizuje riziko nadměrného zahřátí a poškození baterie, což vede ke zvýšení její životnosti. Další výhodou je efektivnější využití energie, což může vést k nižším nákladům na elektřinu. Další výhodou této metody je, že umožňuje úplné nabití hluboce vybitých baterií bez rizika přehřátí [17]. Na druhé straně

je však časově náročná a může vyžadovat speciální nabíjecí zařízení, které dokáže tuto metodu realizovat.

■ 3.2.6 Interrupted Charge Control

Metoda přerušovaného nabíjení je technika nabíjení olovených akumulátorů, která spočívá v pravidelném přerušování nabíjecího procesu s cílem zabránit přebíjení a zlepšit výkon baterie [12]. Tato technika je také známá jako "pulsní nabíjení" a byla vyvinuta jako alternativa k tradičním metodám nabíjení, jako jsou konstantní proudové nebo konstantní napěťové nabíjení. Tato technika vychází z pozorování, že olovené akumulátory mohou při přebíjení vylučovat plyn, což vede k ztrátě elektrolytu a snížení životnosti baterie [18]. Nabíjení probíhá tak, že při nabíjení se baterie krátce přeruší (obvykle na několik minut) po dosažení určité úrovně napětí, která je stanovena konkrétním algoritmem nabíjení. Toto přerušení umožňuje baterii odpočinout si a plynu se rozplynout, čímž se zabrání poškození baterie alepší se její celkový výkon.

Při Interrupted Charge Control se nabíjení baterie pravidelně přerušuje, aby se baterie mohla ochladit a regenerovat [18]. Tento cyklus nabíjení a přerušení nabíjení se opakuje až do dosažení plného nabití baterie. Tato metoda může být implementována pomocí různých algoritmů nabíjení, včetně konstantního napětí, konstantního proudu a pulzního nabíjení. Je zvláště užitečná pro hlubinné cyklové olovené akumulátory, které se často používají v aplikacích jako jsou obnovitelné zdroje energie, elektromobily a záložní napájení [12].

■ 3.3 Záložní baterie

Na téma záložní baterie existuje mnoho různých typů a technologií výroby, které se liší nejen svým druhem, ale i svými charakteristikami. Před výběrem vhodného typu je tedy důležité se seznámit s jednotlivými druhy baterií.

■ 3.3.1 Standardní baterie

Standardní baterie jsou jedním z nejstarších a zároveň nejpoužívanějších typů baterií. Tyto baterie vyžadují pravidelné doplňování elektrolytu, což se obvykle provádí pomocí destilované vody [20]. Kromě toho je nutné pravidelně kontrolovat jejich napětí a dobíjet je. Tyto baterie mají specifickou vlastnost, že je nutné dbát na to, aby byly doplňovány elektrolytem v dostatečné míře, aby se zabránilo poškození jejich výkonu a životnosti.

■ 3.3.2 Bezúdržbové baterie

Bezúdržbové baterie mají uzavřený obal a nepotřebují doplňování elektrolytu, což zvyšuje jejich životnost a startovací proud. Tyto baterie jsou vhodné pro energeticky náročnější vozidla, jako jsou například elektromobily. Nicméně, i když jsou bezúdržbové baterie v mnoha ohledech výhodné, mají své limity.

Nemají rády úplné vybití, což může být problémem v případě, kdy je baterie využívána jako záložní zdroj energie pro kritická zařízení [20].

■ 3.3.3 Trakční baterie

Posledním druhem jsou trakční baterie, které jsou určeny pro napájení stabilním stejnosměrným proudem různých zařízení [20]. Tyto baterie se často vyskytují na lodích a v karavanech a charakterizují se zesílenými mřížkami, které umožňují snášet hluboké vybití bez poškození. Avšak vysoký nabíjecí nebo vybíjecí proud může baterie poškodit a dolévání elektrolytu je stále nutností.

■ 3.4 Rozdělení baterií podle technologie

Při výrobě akumulátorů existuje několik technologií, z nichž jsou nejčastěji používané tři druhy: zaplavené, AGM a gelové. Tyto druhy se od sebe odlišují typem elektrolytu.

■ 3.4.1 Zaplavené baterie

Zaplavené akumulátory jsou nejstarší a nejlevnější technologií. Elektrolyt v nich musí být ve správné poloze, aby nedošlo ke zkratu elektrod. Při nabíjení dochází k stratifikaci [25], což urychluje sulfataci článků. Díky rozvrstvení elektrolytu podle hustoty dochází k přebíjení spodních částí a nadměrnému vybíjení horních částí elektrod [21]. Tyto akumulátory mohou být v provedení údržbovém i bezúdržbovém.

■ 3.4.2 AGM baterie

AGM akumulátory se od zaplavených akumulátorů liší tím, že elektrolyt v nich není v tekuté formě, ale je nasáklý do tkaniny ze skelných vláken [19]. Elektrody jsou odděleny separátorem, což zabraňuje zkratu elektrod a umožňuje bezúdržbový provoz v jakékoli poloze. AGM akumulátory mají vyšší kapacitu při zachování stejné hmotnosti než zaplavené akumulátory [19]. K zvýšení pevnosti elektrod se používá olovo s dotací antimonu nebo s dotací vápníku. Akumulátor s dotací vápníku má nižší samovybíjení a vyšší životnost než akumulátor s dotací antimonu.

■ 3.4.3 Gelové akumulátory

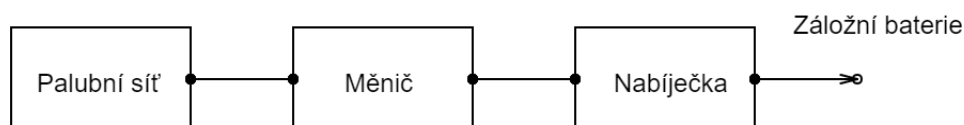
Gelové akumulátory jsou podobné akumulátorům AGM, ale elektrolyt je v gelové formě [21]. Gel je tvořen kyselinou sírovou s příměsí skelného prášku. Tyto akumulátory mají lepší parametry než AGM akumulátory, jako je nižší vnitřní odpor a menší samovybíjení. Jsou tak vhodné pro vozidla s vysokou energetickou náročností. Nevýhodou gelových akumulátorů je nízká odolnost proti přebití a špatná snášenlivost vysokého nabíjecího proudu [21].

Kapitola 4

Realizace návrhu

4.1 Návrh řešení

Systém palubní sítě vozidla pracuje s napětím 12 V, přičemž maximální odebíraný proud se liší v závislosti na typu vozidla a zásuvce a pohybuje se v rozmezí 5-10 A. Pro zajištění správného napájení je zapotřebí měnič, který převádí napětí z palubní sítě na hodnotu požadovanou pro nabíječku. Tato nabíječka se následně používá k nabíjení akumulátoru. Na níže uvedeném blokovém schématu (4.1) je znázorněno návrh řešení tohoto systému.



Obrázek 4.1: Blokové schéma řešení

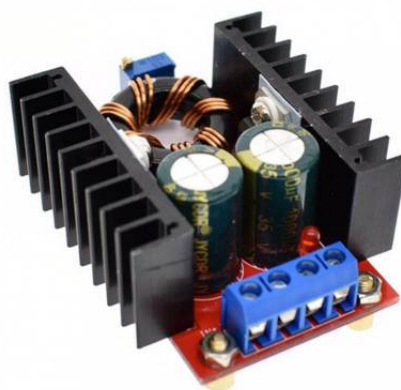
Baterie má za úkol být nabíjena během provozu z palubní sítě a zároveň sloužit jako zdroj energie pro ostatní zařízení. Během chodu palubní sítě dochází k nabíjení záložní baterie, která postupně ukládá energii a udržuje ji ve svém vnitřním systému. Tato energie pak může být využita pro napájení různých zařízení, jako jsou osvětlení, zvukový systém, palubní počítač atd. Tímto způsobem je zajištěna dostatečná energie pro provoz vozidla i ve chvílích, kdy není motor v provozu nebo kdy je odebrání energie vyšší než příkon z alternátoru.

4.2 Použité součástky

4.2.1 Měnič

Hlavní podmínkou pro výběr měniče byl dostatečný výstupní proud, aby měla nabíječka dostatek výkonu pro její nabíjení. Tedy, jestli chceme nabíjet baterii alespoň 5 A tak zvyšující měnič by měl mít výstupní proud vyšší než požadované 5 A. Jako měnič byl vybrán tento step-up měnič "150 W Boost Converter Module" pro jeho schopnost dodávat dostatečný vstupní proud. Dalšími rozhodujícími parametry byly dostupnost a cena. Vstupní napětí

měníče je 10-35 V a výstupní 12-35 V při maximálním výstupním proudu 10 A. Maximální výkon měniče je 150 W s chlazením, bez chlazení je 100 W. Trimrem na měniči se dá nastavit výstupní napětí. Efektivita se pohybuje kolem 90 %.



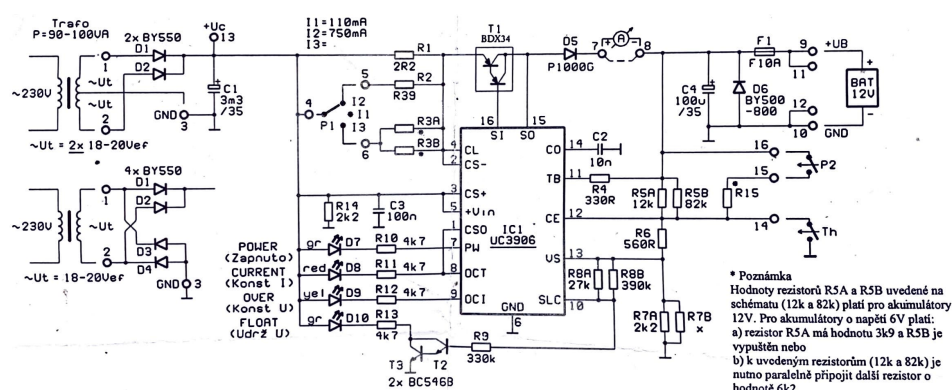
Obrázek 4.2: Step-up měnič použitý v přípravku [6]

■ 4.2.2 Nabíječka

Nabíjecí deska NBX3906 SX obsahuje obvod UC3906 řídicí tři režimy nabíjení. Ty jsou předvoleny pomocí přepínače P1 4.3. Ten je určen podle velikosti akumulátoru (1,3 Ah, 7,2 Ah a 40 Ah). Podle polohy přepínače P1 je také zvolen. Poloha 1 je určena pro akumulátory o kapacitě cca 1 až 1,5 Ah a nabíjí proudem zhruba 120 mA, v poloze 2 je proud zhruba 750 mA a poloha 3 má nabíjecí proud cca 5 A [5]. Změna proudů je možná změnou hodnot rezistorů.

Podle velikosti napětí nabíjeného akumulátoru pracuje nabíječka ve čtyřech režimech. Při počátečním (startovacím) jsou hluboce vybité akumulátory nejprve "šetrně" nabíjeny malým proudem. Po dosažení napětí asi 11,6 V (pro 12 V nebo 5,8 V pro 6 V) dochází k vlastnímu nabíjení. Nejprve je akumulátor nabíjen zvoleným konst. proudem. Dosáhne-li napětí na článku cca 14,1 V (7,1 V), začne být nabíjen konst. napětím. Při překročení 14,9 V (7,5 V) se nabíječka přepíná do udržovacího režimu - dobíjení malým proudem. Jednotlivé režimy jsou indikovány LED diodami.

Akumulátor i po nabití může zůstat trvale připojen k nabíječce, aniž by mu hrozilo nebezpečí poškození [5]. Ve schématu jsou obsaženy dva druhy transformátorů, ty jsou pro případ zapojení do 230 V sítě. My se napojíme našim měničem přímo na bod +U_c. Ten podle [5] vyžaduje vstupní napětí pro 12 V akumulátor 2x19 V nebo 1x19 V s 22-24 U_{ss}. V přípravku budou vynechány také vstupní usměrňovače z důvodu nepoužití transformátorů.



Obrázek 4.3: Schéma nabíjecí desky NBX 3906 [5]

Podle velikosti napětí nabíjeného akumulátoru pracuje nabíječka ve čtyřech režimech. Je-li napětí na akumulátoru nižší než 11,6 V je vybrán režim který šetrně dobíjí nízkým proudem cca 30 mA, aby došlo k opatrnému oživení akumulátoru[5]. Deska indikuje zapnutí nabíječky červenou LED (POWER). Jakmile napětí stoupne nad 11.6 V přepne se nabíječka do režimu nabíjení konstantním proudem a podle polohy P1 nabíjen zvoleným proudem. Rozsvítí se další červená LED (CURRENT). V momentě kdy napětí na akumulátoru dosáhne hodnoty 14.0 V rozsvítí se žlutá LED (OVER) a nabíječka pokračuje dál beze změny. Přesáhne-li napětí na akumulátoru 14,8 V přepíná se do režimu nabíjení pomocí konstantního napětí také jako udržovací režim. Nabíjecí proud klesá postupně na cca 1/10 zvoleného proudu. Červená (CURRENT) a žlutá (OVER) LED zhasnou a rozsvítí se zelená LED (FLOAT). Při poklesu napětí pod 12,4 V začíná nabíječka zase nabíjet konstantním proudem. Jednotlivé režimy jsou přehledně zobrazeny na následující tabulce:

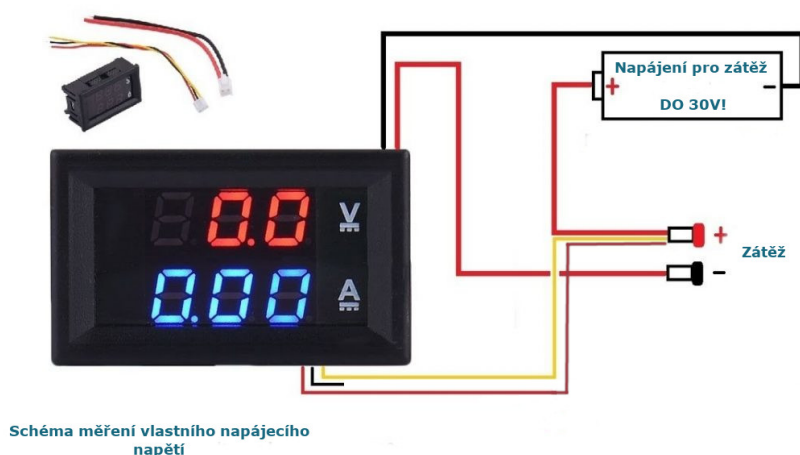
Tabulka 4.1: Jednotlivé nabíjecí režimy [5]

napětí baterie	režim	nabíjecí proud	indikace LED
do 11,6 V	startovací	cca 30 mA	POWER
11,6 - 14,0 V	konstantní proud	zvolený proud	POWER, CURRENT
14,0 - 14,8 V	konstantní proud/napětí	zvolený proud	POWER, CURRENT, OVER
14,8 V	konstantní napětí	klesající do 1/10	POWER, FLOAT, OVER
cca 13,8 V	udržovací	1/10 zvol. proudu	POWER, FLOAT

Nabíječka dále má možnost použití i tepelné ochrany. Spínací typ se připojuje na svorku 14. Podle potřeby se přidá na tranzistor T1 [5].

4.2.3 Voltmetr

Jedná se o kombinovaný měřicí přístroj napájení zdroje. Obsahuje v sobě voltmetr a ampérmetr zároveň, hodnoty ukazuje pomocí dvojitého digitálního panelového displeje. Rozsah měření napětí je 0 až 100 V s přesností 0,1 % a ukazuje se v horním řádku displeje červeně. Ve spodním řádku se zase ukazuje proud, který má rozsah 0 až 10 A s přesností 2 %. Napájení je 4-30 V/ 15-20 mA.[10] Měřicí přístroj má možnost i měření vlastního napájecího napětí. Zapojení pro voltmetr/ampérmetr proběhne následovně :



Obrázek 4.4: Zapojení voltmetru/ampérmetru [11]

4.2.4 Akumulátor

Jako akumulátor byl vybrán tento WESTINGHOUSE WA12100 akumulátor. Jedná se o olověný AGM akumulátor s kapacitou 10 Ah. Vybrán byl z důvodu dostupnosti a ceny. Maximální nabíjecí proud akumulátoru je doporučeno jako 3 A [9].

4.3 Přípravek

4.3.1 Finální přípravek

Všechny součástky se osadí na tuto vymodelovanou desku 4.5. Deska je 3D vytisknuta z materiálu PETG pro její vyšší teplotní odolnost. V přípravku se očekává vyšších teplot, materiál PLA se při teplotách nad 40 °C začal kroutit, byl tedy nahrazen za PETG.

Na vstup byl dán měnič, za něj nabíječka. Na měnič byl nastaven výstupní napětí 20 V a jeho výstup je připojen na bod +Uc měniče. Nabíječka přišla jako deska bez součástek, deska třeba osadit a napájet součástkami. Na desce byl vynechán dvoucestný můstkový usměrňovač, jelikož nebyl třeba

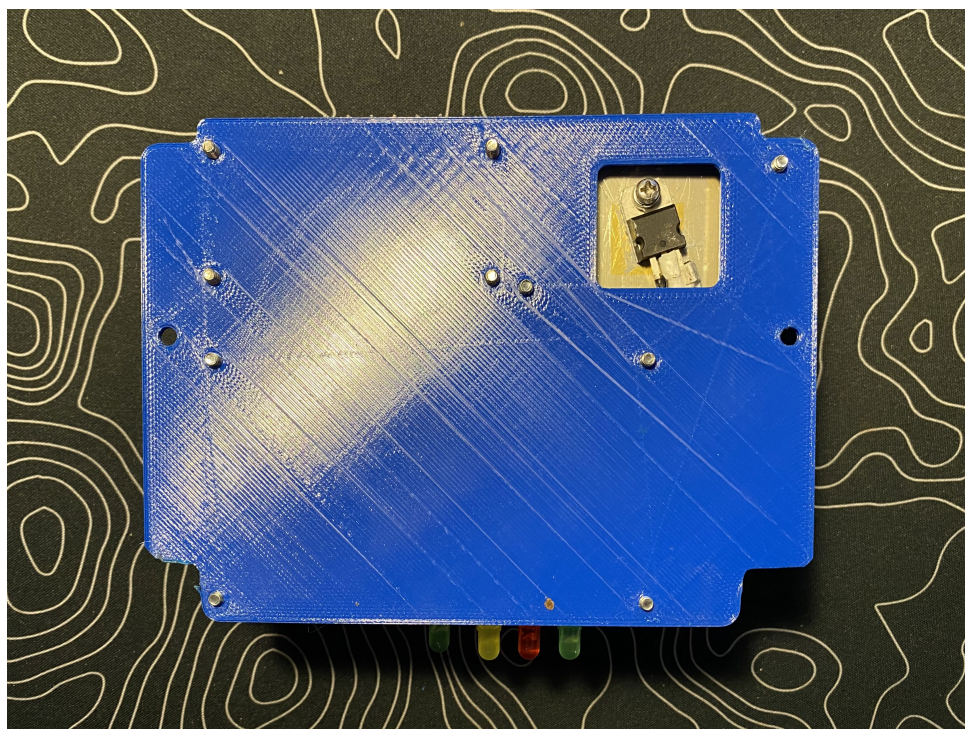
za měničem. Nabíječka byla původně určena pro připojení na transformátor a usměrňovač měl za účel usměrnit sekundární napětí transformátoru na stejnosměrné. Vzhledem k tomu, že přípravek pracuje jenom s jednosměrným napětím, není nutné používat usměrňovač, neboť by představoval zbytečné součástky bez konkrétního účelu. Během procesu nabíjení docházelo k přehřívání tranzistoru BDX34C. Pro řešení této situace byl přidán pasivní chladič na tranzistor. Tímto způsobem se snižuje teplota tranzistoru a zajišťuje se lepší termální stabilita během nabíjecího procesu.



Obrázek 4.5: Přípravek pohled ze shora na desku

Po dalších testech se tranzistor přesunut mimo desku a dal na něj větší chladič s dostatečným pasivním chlazením 4.6. Byla také vymodelována mezera pro tranzistor, jelikož by při pracovních teplotách zkroutil vytištěnou desku.

Dodatečně se přidal do přípravku pro lepší vzhled a možnost indikace nabíjení voltmetr a ampérmetr. Voltmetr ukazuje napětí na akumulátoru. Ampérmetr ukazuje proud kterým se nabíjí. Pro lepší uživatelskou přívětivost, jsou vstupní a výstupní konektory na laboratorní banánky. Čtyři LED indikují režim nabíjení viz 4.7. Pro lepší chlazení se do zadní strany vyvrtaly čtyři větrací otvory. Přepínač byl vyveden na levou stranu přípravku.



Obrázek 4.6: Přípravek pohled desku zesoda



Obrázek 4.7: Přípravek pohled zepředu

■ 4.3.2 Možné vylepšení

V tomto kontextu lze rozlišit dva hlavní směry, a to zlepšení účinnosti přístroje a zmenšení jeho velikosti. Pokud jde o zmenšení přístroje, existuje relativně jednoduchá možnost. Krabíčka a deska, na které jsou umístěny součástky, by mohly být přeuspořádány a lépe využity volný prostor s cílem zmenšit celkové rozměry zařízení.

Pro vylepšení chodu nabíječky existuje několik možností. Jednou z nich je implementace efektivnějšího měniče, který by snížil ztráty v přístroji. Avšak je důležité si uvědomit, že tato úprava by měla negativní dopad na velikost přístroje a také na jeho cenu. Zvýšení účinnosti měniče obvykle vyžaduje sofistikovanější a dražší komponenty, které mohou zvýšit náklady na výrobu a tím i konečnou cenu nabíječky.

Dalším aspektem, který by mohl být vylepšen, je chlazení nabíječky. Lepší chlazení by pomohlo předejít přehřívání zařízení a zajišťovalo by jeho spolehlivější provoz. Jednou z možností je využití větráku, který by odváděl přebytečné teplo a udržoval optimální teplotu v přístroji. Tím by se minimalizovalo riziko přehřátí, které by mohlo mít negativní dopad na výkon a životnost nabíječky. Nicméně tato úprava může mít negativní vliv na celkovou účinnost nabíječky. Větráček samotný může spotřebovávat přibližně 100 mA při 12 V, přičemž skutečná spotřeba závisí na konkrétním typu. Pro umístění větráčku je ideální místo přímo u chladiče tranzistoru, a to v provedení s rozměry 40x40x10 mm a napájením 12 V.

Dalším potenciálním vylepšením pro tento zařízení je možnost zpětného dodávání proudu do sítě. Bohužel, nabíječka sama o sobě není navržena pro tuto funkci, ale je možné ji případně upravit. Tím by se umožnilo vybíjení baterie a posílání proudu zpět do sítě na požadavek. Aby se zabránilo zpětnému proudu, nabíječka je již vybavena ochrannou diodou D5 [5]. Pro tento účel by bylo možné použít externí diodu a tranzistor jako spínač pro obejití této ochranné diody D5.

Kapitola 5

Měření

Nejprve se provede důkladná kontrola funkčnosti nabíječky, aby bylo ověřeno, zda pracuje správně a bez problémů. Tím se zajišťuje spolehlivost a bezpečnost celého procesu nabíjení. Následně se provádí prvotní test nabití baterie, při kterém se sleduje, jak efektivně nabíječka dobíjí baterii a zároveň se kontroluje stabilita teploty přípravku. Tento test je důležitý pro ověření správného fungování nabíječky a zajištění bezpečnosti baterie.

Poté se přistupuje k další fázi testování, kterou je zkouška nabíjení s vyšším nabíjecím proudem. Tento test slouží k posouzení schopnosti nabíječky dobíjet baterii rychleji a efektivněji při zvýšeném proudovém výstupu. Při tomto testu se sleduje výkon nabíječky a také se zohledňuje případný vliv vyššího nabíjecího proudu na teplotu a stabilitu celého přípravku.

Během průběhu pokusů došlo ke zničení tranzistoru BDX34C, který byl následně nahrazen výkonnějším tranzistorem BDW94C. Tento nový tranzistor se odlišuje od původního tím, že disponuje vyšším kolektorovým proudem a nižšími teplotními ztrátami. Tímto výměnným krokem byla zvýšena výkonost a spolehlivost přístroje.

Akumulátor se bude vybíjet pomocí komerčního měniče napětí do auta. Měnič má na výstupu zásuvku 230 V typu E, jeho špičkový výkon je 600 W. Na výstup měniče se připojila klasická domácí lampička s 60 W žárovkou. Tímto způsobem se dokázalo vybit 10 Ah akumulátor zhruba za dvě hodiny.

5.1 Kontrola funkce

Podle [5] se kontrola funkce provádí simulací akumulátoru pomocí rezistoru a regulovatelného zdroje. Nejdříve se na vstup přes rezistor 22R/2 W připojí 20-25 V DC. Provede se kontrola funkčnosti LED tím, že bude svítit první zelená LED POWER a druhá zelená LED FLOAT. Na výstup nabíječky se paralelně zapojí rezistor 47R/5 W a regulovatelný zdroj [5]. Změnou napětí na regulovatelném zdroji v rozmezí 9 V až 18 V můžeme otestovat funkčnost nabíječky.

Na vstup byla připojena baterie. Na výstup nabíječky se připojil rezistor 47R/5 W simulující zátěž a paralelně regulovatelný laboratorní zdroj viz obrázek 5.1. Jako laboratorní zdroj byl použit laboratorní zdroj Manson EP-603.

Na vstup se připojil olovený akumulátor využívaný na zkoušení nabíjení, ta byla v momentě měření jako jediný dostupný 12 V zdroj.



Obrázek 5.1: Měřicí stanoviště pro kontrolu funkce

Při zapojení baterie na vstup nabíječky se rozsvítí první zelená LED POWER a poslední LED FLOAT zelená. Odběr na baterii je 100 mA. Podle [5] měl být odběr na vstupu cca 50 až 70 mA. Vyšší odběr proudu může způsobovat i odběr měniče v přípravku, ten měříme pomocí dodatečného ampérmetru v sérii mezi akumulátorem a nabíječkou.

Při připojení rezistoru 47 R/5 W zhasne LED FLOAT a zároveň i voltmetr/ampérmetr. Napájení voltmetru je připojeno na svorky 9. Tedy připojením rezistoru všechen proud teče přes rezistor. Zapnutím regulovatelného se rozsvítí voltmetr/ampérmetr, který momentálně ukazuje 10,8 V a 0 A. Postupným zvedáním napětí se vyzkouší funkce nabíječky. Na následující tabulce je rozmezí napětí, odběr proudu a LED indikace režimů :

Tabulka 5.1: Naměřené hodnoty při kontrole funkce

napětí na zdroji	odběr proudu	indikace LED
do 11,4 V	100 mA	POWER
11,4 - 13,8 V	170 mA	POWER, CURRENT
13,8 - 14,5V	170 mA	POWER, CURRENT, OVER
nad 14,5V	60 mA	POWER, FLOAT

V porovnání s tabulkou z 4.1 se naměřené hodnoty liší o desetiny voltů. Prošly se všechny režimy až na jeden. Napětí na regulátoru se zvedalo až do hodnoty 18 V, nabíječka do režimu konstantního napětí 4.1 nepřepnula. Místo toho rovnou přepnula do udržovacího režimu. Jde vidět, že proud po překročení hodnoty 14,5 V klesl rovnou na 60 mA.

V průběhu testování se objevila situace, kdy režim konstantního napětí byl dokončen dříve, než se LED indikátory stihly přepnout a začít indikovat režim udržovací. Tím pádem docházelo k chybějící indikaci správného režimu. Nicméně, vypnutí zdroje na vstupu a současné ponechání připojeného akumulátoru ukázalo, že toto opatření bylo dostačující pro vyřešení tohoto problému, jak je uvedeno v návodu [5]. Tato situace však neměla žádný vliv na celkovou funkčnost přípravku. Kontrola funkčnosti přípravku byla úspěšná, protože přípravek správně indikuje režimy v souladu s uvedenými rozmezími, jak je zobrazeno v tabulce 5.1.

5.2 Nabíjení baterie

Cílem této části experimentu je provést nabíjení olovené baterie a zkoumat její chování během tohoto procesu, včetně měření teplotního zvýšení. Baterie, která je předmětem testování, má kapacitu 10 Ah. Pro nabíjení bude použit nabíjecí proud o přibližné hodnotě 750 mA, jak je uvedeno v návodu [5].

Pro provedení tohoto experimentu bude využit laboratorní zdroj s regulovatelnými parametry, konkrétně Nice-Power SPS3010. Tento zdroj poskytuje vyšší možnosti a výkonnost než předchozí zdroj použitý pro testování funkčnosti. Jeho maximální proudový výstup je až 10 A, což umožní provádět nabíjení baterie s vyšším nabíjecím proudem.

5.2.1 Postup měření

Během procesu nabíjení baterie budou monitorovány různé parametry, včetně napětí U_{vyst} a proudu I_{vyst} na baterii, stejně jako napětí U_{vst} a proud I_{vst} vstupním zdroji. Kromě toho se také bude sledovat teplota T , která hraje důležitou roli při nabíjení a může ovlivnit výkon a životnost baterie. Pro měření teploty bude využit domácí bezdotykový infračervený teploměr DEPAN model 01004011. Teploměr bude použit k identifikaci nejteplejšího bodu na vršku přípravku, kde je umístěna baterie během nabíjení.



Obrázek 5.2: Měřicí stanoviště pro nabíjení baterie

Laboratorní zdroj se zapojí na vstup přípravku, přepínač se přepne do polohy 1 [5]. Potom se zapojí baterie na výstup přípravku 5.2. Na zdroji se nastaví napětí U_{vst} na 12 V a bude se kontrolovat vstupní proud I_{vst} . Na přípravku se bude zaznamenávat napětí na baterii U_{vyst} a proud protékající baterii I_{vyst} , zároveň se bude měřit teplota na vršku přípravku. Zaznamenávat se bude taky i indikace režimu pomocí LED. Celé měření se bude taky odečítat v pravidelných časových rozmezích.

5.2.2 Naměřené hodnoty

Před samotným provedením měření měla baterie počáteční napětí 11,9 V. Pro minimalizaci případné chyby při zobrazování pomocí LED byla baterie nejprve připojena k testovacímu zařízení a přepínač byl přepnut do požadované polohy. Poté byl připojen napájecí zdroj a začalo se provádět měření. Následující tabulka zahrnuje zkrácenou verzi naměřených hodnot bez indikace pomocí LED. Kompletní tabulka s všemi naměřenými daty je k dispozici v příloze A.3 a A.4.

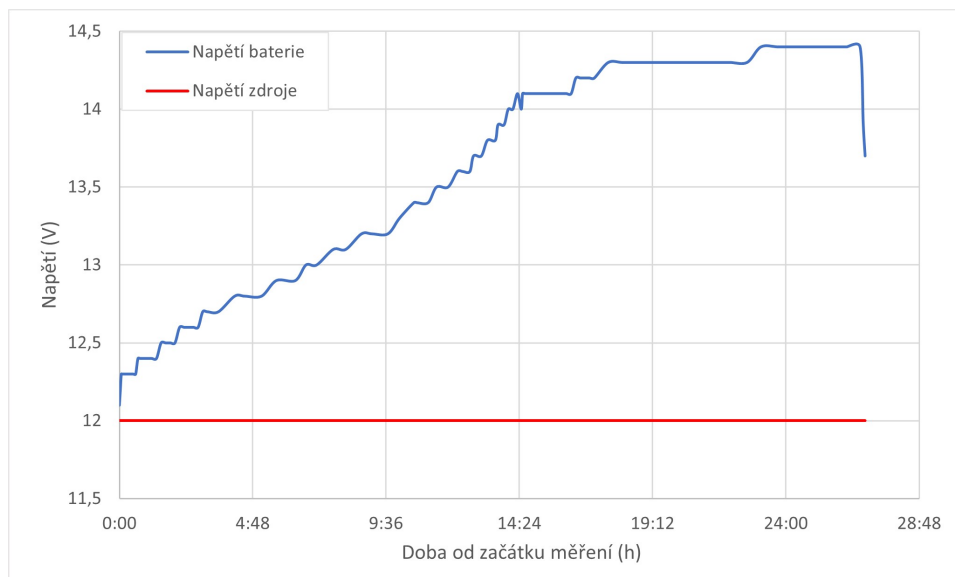
Tabulka 5.2: Naměřené hodnoty nabíjení baterie (Zkrácená verze)

doba od startu	U_{vyst} (V)	U_{vst} (V)	I_{vyst} (I)	I_{vst} (I)	T (°C)
0:00	12,1	12	0,62	1,353	28,8
0:15	12,3	12	0,62	1,366	44,5
0:30	12,3	12	0,62	1,367	50,5
1:00	12,4	12	0,63	1,368	54,3
2:00	12,5	12	0,62	1,369	55,4
4:09	12,8	12	0,62	1,366	54,1
6:20	12,9	12	0,62	1,347	52,8
8:09	13,1	12	0,62	1,345	52,1
10:05	13,3	12	0,62	1,341	52
10:43	13,4	12	0,61	1,350	51,7
11:07	13,4	12	0,62	1,350	52
12:10	13,6	12	0,61	1,348	51
13:15	13,8	12	0,61	1,341	50,9
14:10	14,0	12	0,62	1,358	50,5
15:01	14,1	12	0,54	1,209	49
16:16	14,1	12	0,41	0,958	44,9
17:36	14,3	12	0,28	0,725	40,5
18:33	14,3	12	0,23	0,612	38,6
19:31	14,3	12	0,21	0,570	36,9
21:00	14,3	12	0,16	0,487	35,8
22:36	14,3	12	0,12	0,419	34,1
25:10	14,4	12	0,08	0,346	32,4
26:40	14,4	12	0,06	0,311	31,6
26:47	13,9	12	0	0,062	31,7
26:51	13,7	12	0	0,063	30,7

Baterie byla nabita z 11,9 V na 13,7 V. Celkové nabití baterie trvalo zhruba 27 hodin. Na předchozí tabulce 5.2 jde ke konci vidět skok dolu v nabíjecím napětí a proudu, to bylo způsobeno výpadkem proudu ke konci měření. Po naskočení jističů nabíječka rovnou přešla do udržovacího režimu [5]. Tím klesl nabíjecí proud na 0 A a nabíjecí napětí baterie na hodnotu napětí baterie.

Z tabulky 5.2 byly zaznamenány i jednotlivé režimy kterými přípravek v ten moment nabíjel. Nejdříve přípravek nabíjel konstantním proudem. V době 10:43 od startu pak přepnul přípravek do režimu konstantní proud/napětí. V momentě kdy přípravek dosáhl napětí 14 V (zhruba 14:20 od startu měření) jde vidět začátek poklesu nabíjecího proudu 5.4. Proud pomalu klesal na hodnotu 0,06 A.

Pro lepší přehlednost se z tabulky udělaly tři grafy. První graf 5.3 porovnává napětí na vstupu a výstupu. Z grafu jde vidět postupné stoupání napětí na baterii U_{vyst} , napětí stoupalo zhruba do hodnoty 14 V kde potom se přepnul do režimu CCCV 4.1. Po dokončení nabíjení U_{vyst} klesl zpět na napětí nabití baterie.

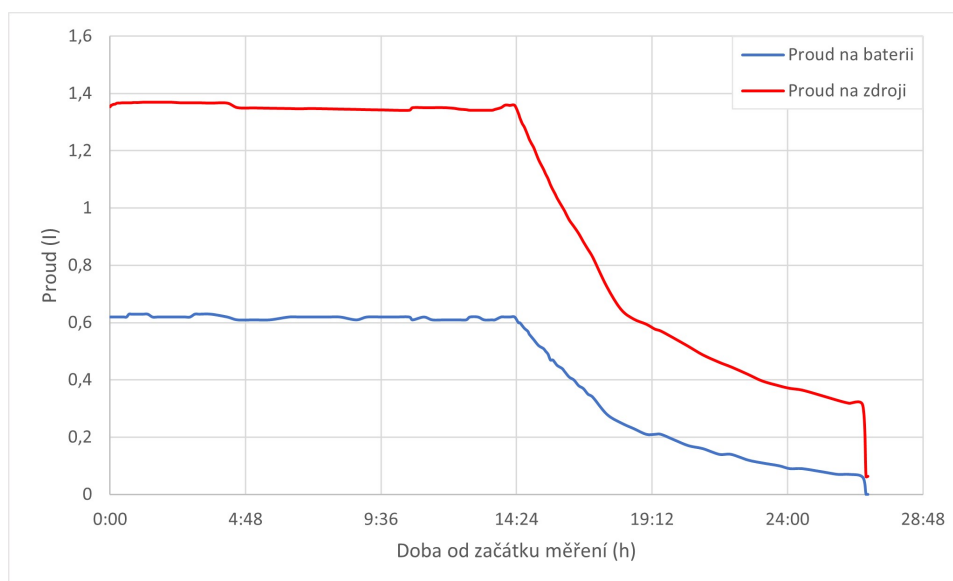


Obrázek 5.3: Napětí při měření nabíjení

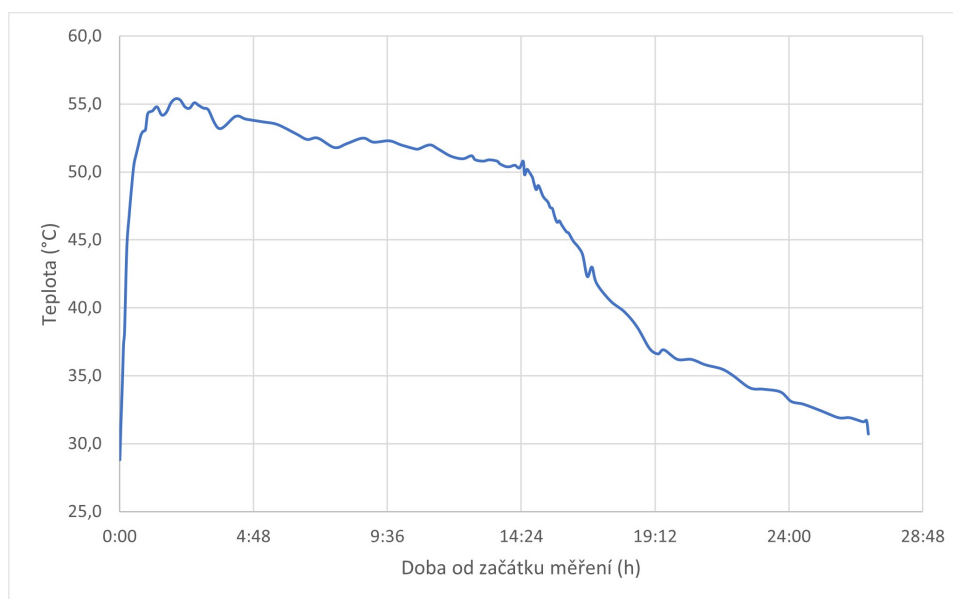
U dalšího grafu 5.4 je možnost odečíst efektivitu nabíjení, jedná se o poměr proudu na zdroji I_{vst} a proudu na baterii I_{vyst} . Efektivita se pohybovala zhruba kolem 45 %, s poklesem proudu začala efektivita pomalu taky klesat. Než se nabíjecí proud dostal na 0 A byla efektivita 20 %. Pro celé nabíjení byla efektivita zprůměrována na 42 %.

Nabíjecí proud se pohyboval přibližně kolem 0,62 A v režimu konstantního proudu. V souladu s návodem by měl být nabíjecí proud přibližně 750 mA, ačkoli návod uvádí možná chyba v rozmezí 10-15 % není považována za závadu [5]. I když chyba nabíjení ve výši 17 % překračuje hodnotu uvedenou v návodu, není to zásadní odchylka, která by naznačovala přítomnost jakéhokoli

problému s přípravkem. Případný úbytek proudu může být způsoben připojeným voltmetrem/ampérmetrem na baterii, který odebírá 20 mA.



Obrázek 5.4: Proudů při měření nabíjení



Obrázek 5.5: Teplota při měření nabíjení

Dále byla monitorována teplota přístroje. Na dalším grafu 5.5 lze pozorovat jak během první hodiny vystoupala teplota až na 54 °C. Teplota poté stále stoupala až na hodnotu 55,3 °C. Ta potom pomalu klesala 50 °C, kde se potom přípravek přepřel do režimu konstantního proudu/napětí. S přepnutím režimu začal klesat nabíjecí proud a zároveň i teplota na přípravku. Lze zpozorovat i korelaci teploty s nabíjecím proudem. Teplota nepřesáhla během měření

56 °C. Momentálně není třeba přidávat chlazení, deska z PETG by měla vydržet až 80 °C. Je třeba podotknout, že monitorovaná teplota je na vnějšku přípravku, vevnitř je teplota vyšší.

■ 5.3 Nabití baterie s vyšším proudem

V předchozí části měření byla baterie nabíjena pomocí nabíjecího proudu o velikosti 750 mA, jak je uvedeno v návodu pro zařízení [5]. V této části experimentu je cílem zrychlit nabíjecí proces zvýšením nabíjecího proudu. Na základě údajů ze specifikací baterie, je maximální přípustný nabíjecí proud pro baterii stanoven na hodnotu 3 A [9].

Pro zamezení poškození a přehřátí baterie je však zvolen nižší nabíjecí proud, konkrétně 2 A. Tímto omezením se zajistí, že baterie bude nabíjena rychleji, ale zároveň bude chráněna před příliš vysokým proudem, který by mohl baterii poškodit.

Zvýšením nabíjecího proudu na 2 A se tedy očekává zrychlení nabíjecího procesu, aniž by došlo k ohrožení integrity a životnosti baterie.

■ 5.3.1 Postup měření

Pro provedení tohoto měření je použita stejná měřicí stanice jako při předchozím měření nabíjení baterie. Nicméně tentokrát je přepínač přepnut do polohy 2, jak je uvedeno v návodu pro zařízení [5]. Tímto nastavením se umožní vyšší nabíjecí proud. Aby se zabránilo příliš vysokému nabíjecímu proudu, napětí na zdroji je nastaveno na hodnotu 12 V a poté se proud omezí. Je třeba dodržovat omezení proudu, protože nabíječka je určitě schopna dodávat proud vyšší než 3 A, což je vyšší než doporučený maximální proud baterie [9], tedy by mohla výrazně zkrátit životnost baterie o kapacitě 10 Ah.

Průběh měření je podobný jako u předchozího měření nabíjení baterie. Nejprve je proud omezen na minimální hodnotu a postupně se zvyšuje, dokud nabíjecí proud baterie nedosáhne hodnoty 2 A. Celý postup měření bude proveden identicky jako předchozí měření nabíjení baterie.

■ 5.3.2 Naměřené hodnoty

Než se začalo měřit, napětí na baterii bylo 11,8 V. Celkové nabití bylo rychlejší než v předchozím měření a trvalo zhruba 8:40. Oproti předchozích 27 hodin je to velký skok. Po zapnutí zdroje, zdroj rovnou přešel do režimu konstantního napětí. Snížení napětí na vstupním zdroji je způsobeno omezením vstupního proudu. Nižší napětí na vstupu také znamenalo nižší napětí vycházející z měniče. V 0:57 přešel přípravek do režimu konstantní proud/napětí a s tím i postupný pokles nabíjecího proudu. Udržovací režim nastal v čase 8:41 a tím i dokončení nabití baterie. Následující tabulka 5.3 je kompaktnější verze tabulek A.1 a A.2.

Nabíjecí proud omezený na 2 A způsobil omezení napětí v závislosti na proudu. Omezení na zdroji znamená i omezení na měniči. Napětí na měniči

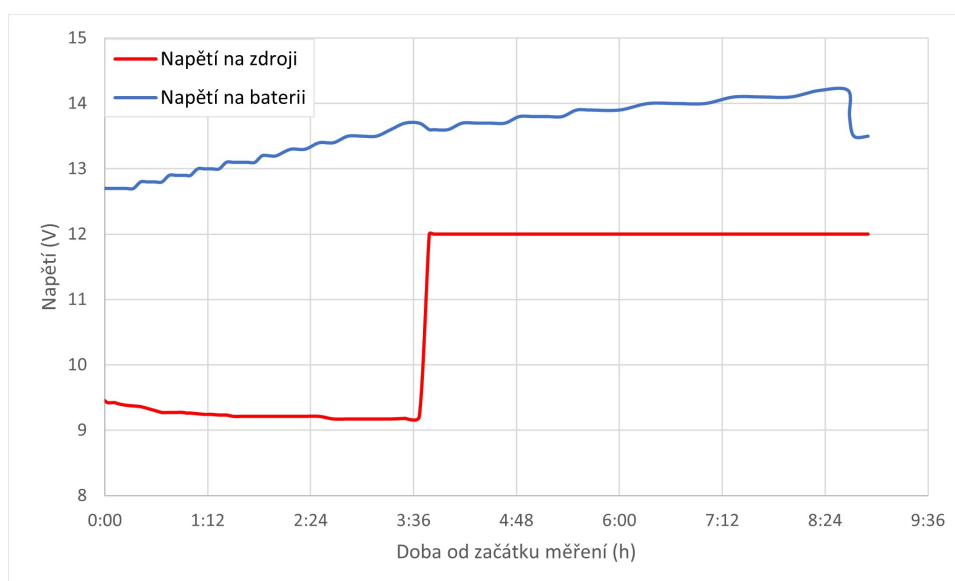
se pohybovalo kolem 16 V. Podle návodu [5] by mělo být na vstupu minimálně 20 V pro zajištění správné funkčnosti. I přes to, že napájecí napětí nabíječky bylo 16 V, přípravek byl schopen správně nabít baterii. Hned jak nabíjecí proud klesl pod hodnotu 1,5 A, napětí na zdroji stoupl na 12 V. Proud už nebyl omezen vstupním zdrojem, tedy zdroj už nebyl napětově omezen v závislosti na proudu.

Tabulka 5.3: Naměřené hodnoty nabíjení baterie (Zkrácená verze)

doba od startu	U_{vyst} (V)	U_{vst} (V)	I_{vyst} (I)	I_{vst} (I)	T (°C)
0:00	12,7	9,45	2,00	4,210	26,7
0:10	12,7	9,40	2,03	4,210	44,0
0:30	12,8	9,33	1,99	4,205	54,6
0:50	12,9	9,27	1,94	4,205	59,7
0:57	12,9	9,26	1,93	4,207	60,0
1:30	13,1	9,21	1,82	4,206	61,5
2:00	13,2	9,21	1,80	4,206	65,1
2:30	13,4	9,21	1,79	4,207	65,0
3:00	13,5	9,17	1,73	4,206	64,3
3:40	13,7	9,21	1,56	4,207	65,2
3:47	13,6	12,00	1,32	2,703	65,8
3:50	13,6	12,00	1,29	2,645	64,6
4:00	13,6	12,00	1,20	2,465	65,2
4:30	13,7	12,00	1,11	2,284	65,9
4:50	13,8	12,00	1,03	2,147	64,8
5:30	13,9	12,00	0,87	1,841	59,7
6:00	13,9	12,00	0,77	1,651	56,4
6:40	14,0	12,00	0,64	1,433	53,7
7:20	14,1	12,00	0,55	1,220	49,0
8:00	14,1	12,00	0,46	1,046	45,9
8:20	14,2	12,00	0,41	0,952	44,3
8:40	14,2	12,00	0,37	0,902	43,5
8:41	13,8	12,00	0,00	0,062	43,4
8:44	13,5	12,00	0,00	0,062	41,3
8:54	13,5	12,00	0,02	0,213	35,5

Následující graf 5.6 ukazuje napětí na baterii U_{vyst} a napětí na zdroji U_{vst} v závislosti na čase. Napětí U_{vyst} stoupl stabilně do doby kdy přestalo na zdroji být proudové omezení a U_{vst} stoupl na přednastavených 12 V. V ten moment napětí na baterii kleslo o 0,1 V. Napětí potom stoupl do 14,2 V. Kde se potom nabíječka přepnula do udržovacího režimu. A tím skončilo nabíjení. Napětí na baterii potom postupně klesalo na hodnotu napětí baterie dokud se neustálilo na 13,5 V.

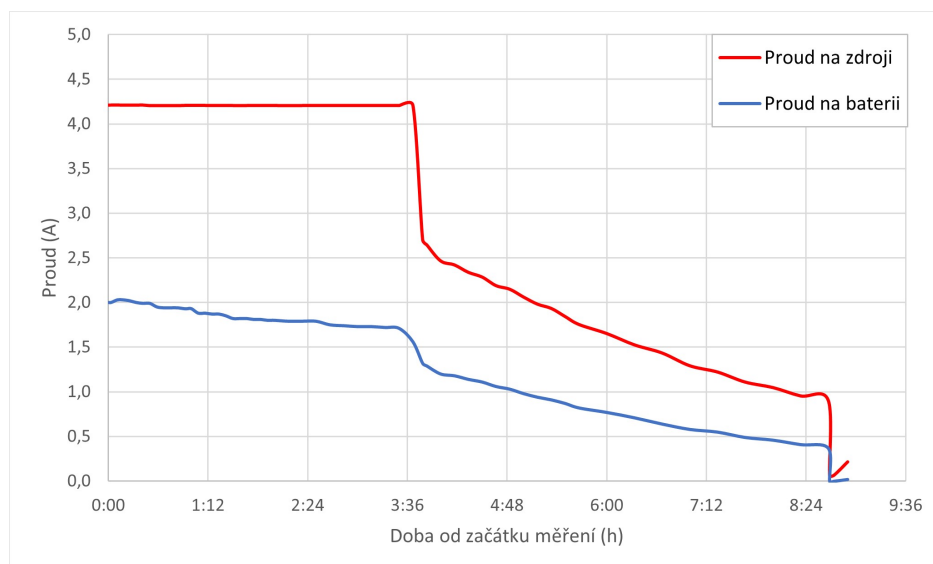
Další jsou graficky znázorněná data vstupního proudu I_{vst} a proudu na baterii I_{vyst} . Zde jde upozornovat jak do poklesu I_{vyst} pod hodnotu 1,57 A se proud na zdroji udržuje na hodnotě 4,2 A. Poté I_{vst} spadl na hodnotu 2,7 A a klesal spolu s proudem na baterii.



Obrázek 5.6: Napětí při měření nabíjení s vyšším proudem

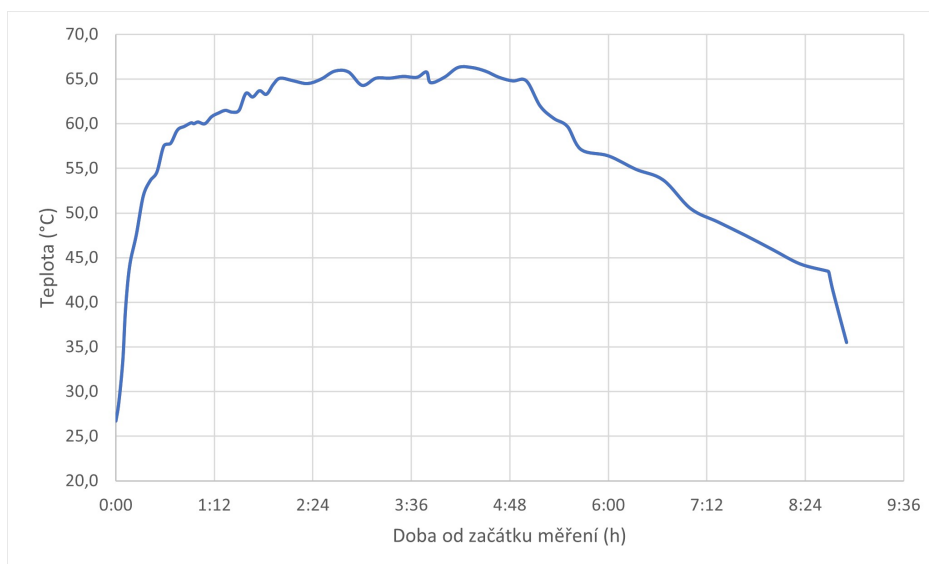
Po dokončení nabíjení klesl nabíjecí proud na 0 A a proud na zdroji na 65 mA. Po 10 minutách se ustálilo I_{vyst} na 2 mA a I_{vst} na 210 mA. Udržovací režim má nabíjecí proud cca 10 % zvoleného nabíjecího proudu [5]. Kdyby se delší zaznamenávaly hodnoty, nabíjecí proud pokračoval ve stoupání na zvolených 10 % nabíjecího proudu.

Efektivita nabíjení se během doby omezení proudem pohybuje kolem 44,5 %. Během klesání proudu na zdroji už si přípravek vedl o trochu lépe místy skoro 48 %, v průměru 46 %.



Obrázek 5.7: Proudů při měření nabíjení s vyšším proudem

S nabíjecím proudem na 2 A teplota narostla během první hodiny na 60 °C a dále pokračovala. Ta se potom ustálila na 65 °C kde chvílemi byla až na 66 °C. Teplota se začala snižovat až když I_{vyst} byl pod 1,1 A. Kdyby byl nabíjecí proud o něco vyšší, bylo by už třeba přidat zlepšit chlazení.



Obrázek 5.8: Teplota při měření nabíjení s vyšším proudem

Během měření nabíjení baterie bylo zjištěno, že omezení nabíjecího proudu na 2 A vedlo ke snížení napětí na vstupu a výstupu z nabíječky. Přestože napětí na zdroji bylo nižší než doporučená hodnota, baterie byla úspěšně nabita. Po poklesu nabíjecího proudu pod 1,5 A se napětí na zdroji zvýšilo na 12 V. Celkové nabití trvalo zhruba 8 hodin a 40 minut, což bylo rychlejší než předchozí měření. Efektivita nabíjení se pohybovala kolem 44,5 % až 48 %. Teplota nabíječky dosáhla až 66 °C, ale začala klesat po snížení nabíjecího proudu. Celkově lze konstatovat, že nabíjení baterie s vyšším nabíjecím proudem bylo efektivnější a rychlejší, přičemž přípravek se dokázal dobře vyrovnat s omezením napětí na vstupu.

Kapitola 6

Závěr

V rámci této práce byl proveden důkladný rozbor současného stavu řešení dobíjení záložních baterií z 12 V palubní sítě osobního automobilu. Na základě této analýzy byl navržen a realizován laboratorní vzorek elektronického zapojení pro dobíjení záložní baterie 12 V z palubní sítě s možností regulace dobíjecího proudu. Pro návrh zapojení byly využity dostupné integrované obvody, které poskytují široké spektrum funkcí a parametrů. Po úspěšné realizaci vzorku zapojení byla provedena měření jeho parametrů, zejména rozsahu napětí záložní baterie při dobíjení a dobíjecího proudu. Tyto parametry byly vyhodnoceny a zhodnoceny s cílem posoudit dosažené výsledky a funkčnost navrženého zapojení.

Na základě provedených měření a vyhodnocení lze konstatovat, že navržený vzorek elektronického zapojení je schopen správně nabít baterii testem funkčnosti. Dále byl proveden test nabíjení baterie doporučeným proudem 750 mA. Po měření a vyhodnocení výsledků přípravku nabíjel proudem 620 mA, což nebylo mimo uvedenou chybu nabíječky. Celkové nabíjení baterie z 11,9 V na 13,7 V trvalo skoro 27 hodin. Přípravek se během nabíjení se teplotně ustálil na 55 °C a nabíjel s účinností 45 %.

Dalším měřením bylo nabíjení s vyšším proudem za cílem zrychlit nabíjecí proces. Nabíjecí proud byl omezen na 2 A a dokázal nabíjet s účinností 46 %. Tento proces zvýšil teplotu přípravku během nabíjení na 66 °C ale zároveň snížil dobu nabíjení baterie z 27 hodin na pouhých 9 hodin. Dobíjecí proud byl úspěšně regulován a dosažený rozsah napětí záložní baterie byl v souladu s očekáváním. Tímto se potvrzuje správnost a efektivnost navrženého zapojení.

V dalším vývoji by se více zaměřilo na účinnost a chlazení přípravku. Kde v případě chlazení by se přidalo aktivní chlazení s vnitřním teplotním snímačem. Dále by se hodilo i vyzkoušet maximální možný nabíjecí proud nabíječky. Kde by se vyzkoušely limity přípravku. To by ale mohlo nastat až po vylepšení chlazení. Po předchozím měření s vyšším nabíjecím proudem už přípravek dosahoval přes 65 °C.



Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Význam
DC	direct current
AC	alternating current
CAGR	compound annual growth rate
PWM	pulse width modulation
CC	constant current
CV	constant voltage
CCCV	constant current constant voltage
ICC	interrupted charge control
AGM	absorbed glass mat
LED	light emitting diode
PETG	polyethylene terephthalate glycol
PLA	polylactic acid

Symbol	Význam
--------	--------

U_{in}	Vstupní napětí
U_{out}	Výstupní napětí
I_{in}	Vstupní proud
I_{out}	Výstupní proud
T	Perioda
T_{on}	Doba sepnutého tranzistoru
T_{off}	Doba rozepnutého tranzistoru
D	Poměr střídy
V_{in}	Vstupní napětí
V_{out}	Výstupní napětí
V_L	Napětí na zátěži
i_L	Proud na zátěži
I_{in}	Vstupní proud
I_{out}	Výstupní proud
I_{sw}	Proud na tranzistoru
I_D	Proud na diodě
U_C	Napájecí napětí
U_{ss}	Stejnoseměrné napětí
U_{vst}	Napětí na zdroji
U_{vyst}	Napětí na baterii
I_{in}	Proud na zdroji
I_{out}	Proud na baterii

Literatura

- [1] PATEL, Mukund R. *Introduction to electrical power and power electronics*. Boca Raton: CRC Press, 2013. ISBN 9781466556607;1466556609;.
- [2] Markets and Markets *Lead Acid Battery Market by Technology (Basic, Advanced Lead Acid), Type (Stationary, Motive), Construction Method (Flooded, VRLA), End-User (Utilities, Transportation, Industrial, Commercial), and Region - Global Forecast to 2026*, cit. [03.01.2023]. Dostupné na: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/advanced-lead-acid-battery-market-152918101.html>
- [3] Vselektro.eu *Nabíjení akumulátorů - charakteristiky*, 01.02.2021, cit. [06.12.2021]. Dostupné na: <https://www.vselektro.eu/nabijeni-akumulatoru-charakteristiky>
- [4] HOSPODKA, Jiří. *Spínané zdroje – principy DC-DC měničů* [přednáška]. Praha: Fakulta elektrotechnická ČVUT. 2018 cit. [09.12.2021] Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/148893/mod_resource/content/4/zdroje_sp_E02.pdf
- [5] KRČMÁŘ, Zdeněk. *NBX3906 inteligentní nabíječka olověných akumulátorů 12 V a 6V* [Návod produktu].
- [6] Step-up měnič In: Dratek.cz [online] Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/5463-step-up-menic-150w-z-10-32v-na-12-35v.html>
- [7] Nabíječka In: Alza.cz [online] Dostupné z: <https://www.alza.cz/auto/nabijecka-baterii-bosch-c1-12V-3-5a-d5150980.htm>
- [8] Měniče do auta In: Aukro.cz [online] Dostupné z: <https://aukro.cz/menic-napeti-do-auta-ac-dc-12V-230v-150w-6981338015>
- [9] *Westinghouse WA12100* [datasheet]. In: Gme.cz [online]. cit [02.05.2023]. Dostupné z: https://img.gme.cz/files/eshop_data/eshop_data/10/540-542/czn.540-542.10.pdf

- [10] Laskakit.cz *Panelový digitální voltmetr + ampérmetr 100V 10A DC*, LA240006, [produkt], cit. [03.05.2023] Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/panelovy-digitalni-voltmetr-ampmetr-100v-10a-dc/>
- [11] Zapojení voltmetru In: Laskakit.cz [online], cit. [03.05.2023] Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/panelovy-digitalni-voltmetr-ampmetr-100v-10a-dc/>
- [12] P. G. Horkos, E. Yammine and N. Karami, *Review on different charging techniques of lead-acid batteries*, 2015 Third International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE), Beirut, Lebanon, 2015, pp. 27-32, doi: 10.1109/TAECE.2015.7113595. citovano 10.05.2023
- [13] Hua, C. C., & Lin, M. Y. , *A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles*, in IEEE International Symp. on Proceedings of the 2000 Industrial Electronics, Cholula, Puebla, 2000, vol 1, pp. 135-140.
- [14] Peukert, Isidor. *Lead-Acid Battery Charging Basics and Chargers* Battery University [online]. [cit. 10.05.2023]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery
- [15] DONG, Zhibin et al. *Research on the pulsating charging technology of lead-acid batteries*. Applied Mechanics and Materials, 2014, vol. 687, pp. 77-80.
- [16] FRANCO, A.; MARTINEZ-SIBERIO, J. A. *Battery Charging Techniques*. In: Handbook of Batteries. 4th ed. McGraw-Hill, 2010, pp. 31-32.
- [17] HUANG, Jinwei, Yuezhe GONG a Fang ZHANG. *Research on a New Method of Interrupted Charging for Lead-acid Battery*. In: 2016 International Conference on Electrical, Electronics and Civil Engineering (ICEECE). Piscataway: IEEE, 2016. s. 303-307. ISBN 978-1-5090-2704-4.
- [18] Peukert, I. (2018). *Charging Lead Acid*. Battery University. [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-403-charging-lead-acid>.
- [19] Anon. *BU-201a: Absorbent Glass Mat (AGM)*. Battery University [online]. [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-201a-absorbent-glass-mat-agm>
- [20] BARNES, P.; GREENWOOD, P. *Lead-acid batteries*. In: LINDSAY, J. (ed.). Energy Storage. Cham: Springer, 2018. s. 121-146. ISBN 978-3-319-98618-5.

- [21] J. A. Wertz and T. J. Clough, *Development of advanced lead acid batteries for electric vehicles. The use of additives to increase performance and extend life. II. Gel cells*, Fifteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances (Cat. No.00TH8490), Long Beach, CA, USA, 2000, pp. 77-82, doi: 10.1109/BCAA.2000.838382.
- [22] Samuel, A. *Trh s nabíječkami olověných akumulátorů*. Elektro : odborný časopis pro elektrotechniku, energetiku, elektroinstalace a průmyslovou elektrotechniku. 2019, roč. 29, č. 9-10, s. 38-40. ISSN: 1210-0889.
- [23] BUCHMANN, Isidor, 2017. *Batteries in a Portable World*. 4th edition. Richmond: Cadex Electronics. ISBN 978-0968211847.
- [24] M. Y. Bote-Vazquez, E. S. Estevez-Encarnacion, J. Ramirez-Hernandez, L. Hernandez-Gonzalez and O. U. Juarez-Sandoval, *Predictive Current Control Design Methodology for DC-DC Basic Topologies: Buck, Boost and Buck-Boost Converters*, 2021 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), Ixtapa, Mexico, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ROPEC53248.2021.9668051.
- [25] M. Coleman, W. G. Hurley and C. K. Lee, *An Improved Battery Characterization Method Using a Two-Pulse Load Test*, in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 23, no. 2, pp. 708-713, June 2008, doi: 10.1109/TEC.2007.914329.

Příloha A

Naměřené hodnoty

test nabíjení s vyšším proudem										
doba od startu	čas	U_{vyst} (V)	U_{vst} (V)	I_{vyst} (V)	I_{vst} (V)	Teplota (°C)	LED 1	LED 2	LED 3	LED 4
0:00	10:09	12,7	9,45	2,00	4,210	26,7	x	x		
0:02	10:11	12,7	9,42	2,00	4,211	28,6	x	x		
0:05	10:14	12,7	9,42	2,02	4,211	33,3	x	x		
0:07	10:16	12,7	9,42	2,03	4,212	39,1	x	x		
0:10	10:19	12,7	9,40	2,03	4,210	44,0	x	x		
0:15	10:24	12,7	9,38	2,02	4,210	47,6	x	x		
0:20	10:29	12,7	9,37	2,00	4,210	51,9	x	x		
0:25	10:34	12,8	9,36	1,99	4,211	53,6	x	x		
0:30	10:39	12,8	9,33	1,99	4,205	54,6	x	x		
0:35	10:44	12,8	9,30	1,95	4,205	57,5	x	x		
0:40	10:49	12,8	9,27	1,94	4,205	57,8	x	x		
0:45	10:54	12,9	9,27	1,94	4,206	59,3	x	x		
0:50	10:59	12,9	9,27	1,94	4,205	59,7	x	x		
0:55	11:04	12,9	9,27	1,93	4,207	60,1	x	x		
0:57	11:06	12,9	9,26	1,93	4,207	60,0	x	x	x	
1:00	11:09	12,9	9,26	1,93	4,207	60,2	x	x	x	
1:05	11:14	13,0	9,25	1,88	4,207	60,0	x	x	x	
1:10	11:19	13,0	9,24	1,88	4,207	60,8	x	x	x	
1:15	11:24	13,0	9,24	1,87	4,206	61,2	x	x	x	
1:20	11:29	13,0	9,23	1,87	4,206	61,5	x	x	x	
1:25	11:34	13,1	9,23	1,85	4,206	61,3	x	x	x	
1:30	11:39	13,1	9,21	1,82	4,206	61,5	x	x	x	
1:35	11:44	13,1	9,21	1,82	4,205	63,4	x	x	x	
1:40	11:49	13,1	9,21	1,82	4,206	63,0	x	x	x	
1:45	11:54	13,1	9,21	1,81	4,206	63,7	x	x	x	
1:50	11:59	13,2	9,21	1,81	4,206	63,3	x	x	x	
1:55	12:04	13,2	9,21	1,80	4,206	64,4	x	x	x	
2:00	12:09	13,2	9,21	1,80	4,206	65,1	x	x	x	
2:10	12:19	13,3	9,21	1,79	4,205	64,8	x	x	x	
2:20	12:29	13,3	9,21	1,79	4,206	64,5	x	x	x	

Obrázek A.1: Naměřené hodnoty nabíjení baterie s vyšším proudem - první část

A. Naměřené hodnoty

test nabíjení s vyšším proudem										
doba od startu	čas	U_{vyst} (V)	U_{vst} (V)	I_{vyst} (V)	I_{vst} (V)	Teplota (°C)	LED 1	LED 2	LED 3	LED 4
2:30	12:39	13,4	9,21	1,79	4,207	65,0	x	x	x	
2:40	12:49	13,4	9,17	1,75	4,206	65,9	x	x	x	
2:50	12:59	13,5	9,17	1,74	4,206	65,8	x	x	x	
3:00	13:09	13,5	9,17	1,73	4,206	64,3	x	x	x	
3:10	13:19	13,5	9,17	1,73	4,206	65,1	x	x	x	
3:20	13:29	13,6	9,17	1,72	4,206	65,1	x	x	x	
3:30	13:39	13,7	9,18	1,71	4,206	65,3	x	x	x	
3:40	13:49	13,7	9,21	1,56	4,207	65,2	x	x	x	
3:47	13:56	13,6	12,00	1,32	2,703	65,8	x	x	x	
3:50	13:59	13,6	12,00	1,29	2,645	64,6	x	x	x	
4:00	14:09	13,6	12,00	1,20	2,465	65,2	x	x	x	
4:10	14:19	13,7	12,00	1,18	2,420	66,3	x	x	x	
4:20	14:29	13,7	12,00	1,14	2,337	66,3	x	x	x	
4:30	14:39	13,7	12,00	1,11	2,284	65,9	x	x	x	
4:40	14:49	13,7	12,00	1,06	2,188	65,2	x	x	x	
4:50	14:59	13,8	12,00	1,03	2,147	64,8	x	x	x	
5:00	15:09	13,8	12,00	0,98	2,059	64,8	x	x	x	
5:10	15:19	13,8	12,00	0,94	1,980	62,0	x	x	x	
5:20	15:29	13,8	12,00	0,91	1,932	60,6	x	x	x	
5:30	15:39	13,9	12,00	0,87	1,841	59,7	x	x	x	
5:40	15:49	13,9	12,00	0,82	1,752	57,1	x	x	x	
6:00	16:09	13,9	12,00	0,77	1,651	56,4	x	x	x	
6:20	16:29	14,0	12,00	0,71	1,524	54,9	x	x	x	
6:40	16:49	14,0	12,00	0,64	1,433	53,7	x	x	x	
7:00	17:09	14,0	12,00	0,58	1,290	50,5	x	x	x	
7:20	17:29	14,1	12,00	0,55	1,220	49,0	x	x	x	
7:40	17:49	14,1	12,00	0,49	1,107	47,5	x	x	x	
8:00	18:09	14,1	12,00	0,46	1,046	45,9	x	x	x	
8:20	18:29	14,2	12,00	0,41	0,952	44,3	x	x	x	
8:40	18:49	14,2	12,00	0,37	0,902	43,5	x	x	x	
8:41	18:50	13,8	12,00	0,00	0,062	43,4	x			x
8:44	18:53	13,5	12,00	0,00	0,062	41,3	x			x
8:54	19:03	13,5	12,00	0,02	0,213	35,5	x			x

Obrázek A.2: Naměřené hodnoty nabíjení baterie s vyšším proudem - druhá část

		test nabíjení								
doba od startu	čas	$U_{\text{vyst}} \text{ (V)}$	$U_{\text{vst}} \text{ (V)}$	$I_{\text{vyst}} \text{ (V)}$	$I_{\text{vst}} \text{ (V)}$	Teplota ($^{\circ}\text{C}$)	LED 1	LED 2	LED 3	LED 4
0:00	11:14	12,1	12	0,62	1,353	28,8	x	x		
0:02	11:16	12,2	12	0,62	1,358	31,2	x	x		
0:04	11:18	12,3	12	0,62	1,359	33,1	x	x		
0:06	11:20	12,3	12	0,62	1,361	35,2	x	x		
0:08	11:22	12,3	12	0,62	1,362	37,4	x	x		
0:10	11:24	12,3	12	0,62	1,362	38,2	x	x		
0:15	11:29	12,3	12	0,62	1,366	44,5	x	x		
0:20	11:34	12,3	12	0,62	1,366	46,8	x	x		
0:25	11:39	12,3	12	0,62	1,367	48,8	x	x		
0:30	11:44	12,3	12	0,62	1,367	50,5	x	x		
0:35	11:49	12,3	12	0,62	1,367	51,3	x	x		
0:40	11:54	12,4	12	0,63	1,367	52,0	x	x		
0:45	11:59	12,4	12	0,63	1,367	52,7	x	x		
0:50	12:04	12,4	12	0,63	1,368	53,0	x	x		
0:55	12:09	12,4	12	0,63	1,368	53,1	x	x		
1:00	12:14	12,4	12	0,63	1,368	54,3	x	x		
1:10	12:24	12,4	12	0,63	1,369	54,5	x	x		
1:20	12:34	12,4	12	0,63	1,369	54,8	x	x		
1:30	12:44	12,5	12	0,62	1,369	54,2	x	x		
1:40	12:54	12,5	12	0,62	1,369	54,4	x	x		
1:50	13:04	12,5	12	0,62	1,369	55,1	x	x		
2:00	13:14	12,5	12	0,62	1,369	55,4	x	x		
2:10	13:24	12,6	12	0,62	1,369	55,3	x	x		
2:20	13:34	12,6	12	0,62	1,368	54,8	x	x		
2:30	13:44	12,6	12	0,62	1,367	54,7	x	x		
2:40	13:54	12,6	12	0,62	1,367	55,1	x	x		
2:50	14:04	12,6	12	0,62	1,367	54,9	x	x		
3:00	14:14	12,7	12	0,63	1,367	54,7	x	x		
3:10	14:24	12,7	12	0,63	1,367	54,6	x	x		
3:34	14:48	12,7	12	0,63	1,366	53,2	x	x		
4:09	15:23	12,8	12	0,62	1,366	54,1	x	x		
4:31	15:45	12,8	12	0,61	1,35	53,9	x	x		
5:07	16:21	12,8	12	0,61	1,349	53,7	x	x		
5:39	16:53	12,9	12	0,61	1,348	53,5	x	x		
6:20	17:34	12,9	12	0,62	1,347	52,8	x	x		
6:43	17:57	13,0	12	0,62	1,346	52,4	x	x		
7:06	18:20	13,0	12	0,62	1,347	52,5	x	x		
7:42	18:56	13,1	12	0,62	1,346	51,8	x	x		
8:09	19:23	13,1	12	0,62	1,345	52,1	x	x		
8:43	19:57	13,2	12	0,61	1,344	52,5	x	x		
9:06	20:20	13,2	12	0,62	1,343	52,2	x	x		
9:40	20:54	13,2	12	0,62	1,342	52,3	x	x		
10:05	21:19	13,3	12	0,62	1,341	52,0	x	x		
10:36	21:50	13,4	12	0,62	1,341	51,7	x	x		
10:43	21:57	13,4	12	0,61	1,35	51,7	x	x	x	
11:07	22:21	13,4	12	0,62	1,35	52,0	x	x	x	
11:25	22:39	13,5	12	0,61	1,35	51,7	x	x	x	
11:50	23:04	13,5	12	0,61	1,35	51,2	x	x	x	
12:10	23:24	13,6	12	0,61	1,348	51,0	x	x	x	
12:22	23:36	13,6	12	0,61	1,345	51,0	x	x	x	
12:37	23:51	13,6	12	0,61	1,343	51,2	x	x	x	
12:45	23:59	13,7	12	0,62	1,341	50,9	x	x	x	
13:02	0:16	13,7	12	0,62	1,341	50,8	x	x	x	

Obrázek A.3: Naměřené hodnoty nabíjení baterie - první část

A. Naměřené hodnoty

		test nabíjení								
doba od startu	čas	U_{vyst} (V)	U_{vst} (V)	I_{vyst} (V)	I_{vst} (V)	Teplota (°C)	LED 1	LED 2	LED 3	LED 4
13:15	0:29	13,8	12	0,61	1,341	50,9	x	x	x	
13:32	0:46	13,8	12	0,61	1,341	50,8	x	x	x	
13:38	0:52	13,9	12	0,61	1,344	50,6	x	x	x	
13:51	1:05	13,9	12	0,62	1,350	50,4	x	x	x	
14:00	1:14	14,0	12	0,62	1,359	50,4	x	x	x	
14:10	1:24	14,0	12	0,62	1,358	50,5	x	x	x	
14:20	1:34	14,1	12	0,62	1,358	50,3	x	x	x	
14:28	1:42	14,0	12	0,60	1,330	50,8	x	x	x	
14:31	1:45	14,1	12	0,60	1,315	49,8	x	x	x	
14:36	1:50	14,1	12	0,59	1,295	50,2	x	x	x	
14:41	1:55	14,1	12	0,58	1,281	50,0	x	x	x	
14:48	2:02	14,1	12	0,57	1,253	49,6	x	x	x	
14:51	2:05	14,1	12	0,56	1,240	49,2	x	x	x	
14:56	2:10	14,1	12	0,55	1,224	48,7	x	x	x	
15:01	2:15	14,1	12	0,54	1,209	49,0	x	x	x	
15:11	2:25	14,1	12	0,52	1,168	48,2	x	x	x	
15:21	2:35	14,1	12	0,51	1,136	47,8	x	x	x	
15:26	2:40	14,1	12	0,50	1,118	47,4	x	x	x	
15:31	2:45	14,1	12	0,49	1,102	47,3	x	x	x	
15:36	2:50	14,1	12	0,47	1,081	46,7	x	x	x	
15:41	2:55	14,1	12	0,47	1,064	46,3	x	x	x	
15:46	3:00	14,1	12	0,46	1,049	46,4	x	x	x	
15:51	3:05	14,1	12	0,45	1,032	46,1	x	x	x	
16:01	3:15	14,1	12	0,44	1,004	45,6	x	x	x	
16:06	3:20	14,1	12	0,43	0,990	45,5	x	x	x	
16:16	3:30	14,1	12	0,41	0,958	44,9	x	x	x	
16:26	3:40	14,2	12	0,40	0,935	44,5	x	x	x	
16:36	3:50	14,2	12	0,38	0,911	43,9	x	x	x	
16:46	4:00	14,2	12	0,37	0,882	42,3	x	x	x	
16:56	4:10	14,2	12	0,35	0,855	43,0	x	x	x	
17:06	4:20	14,2	12	0,34	0,828	41,8	x	x	x	
17:36	4:50	14,3	12	0,28	0,725	40,5	x	x	x	
18:06	5:20	14,3	12	0,25	0,646	39,7	x	x	x	
18:33	5:47	14,3	12	0,23	0,612	38,6	x	x	x	
19:00	6:14	14,3	12	0,21	0,594	37,0	x	x	x	
19:18	6:32	14,3	12	0,21	0,577	36,6	x	x	x	
19:31	6:45	14,3	12	0,21	0,570	36,9	x	x	x	
20:00	7:14	14,3	12	0,19	0,544	36,2	x	x	x	
20:30	7:44	14,3	12	0,17	0,516	36,2	x	x	x	
21:00	8:14	14,3	12	0,16	0,487	35,8	x	x	x	
21:35	8:49	14,3	12	0,14	0,461	35,5	x	x	x	
22:00	9:14	14,3	12	0,14	0,445	35,0	x	x	x	
22:36	9:50	14,3	12	0,12	0,419	34,1	x	x	x	
23:06	10:20	14,4	12	0,11	0,396	34,0	x	x	x	
23:42	10:56	14,4	12	0,10	0,379	33,8	x	x	x	
24:05	11:19	14,4	12	0,09	0,370	33,1	x	x	x	
24:31	11:45	14,4	12	0,09	0,364	32,9	x	x	x	
25:10	12:24	14,4	12	0,08	0,346	32,4	x	x	x	
25:47	13:01	14,4	12	0,07	0,328	31,9	x	x	x	
26:11	13:25	14,4	12	0,07	0,318	31,9	x	x	x	
26:40	13:54	14,4	12	0,06	0,311	31,6	x	x	x	
26:47	14:01	13,9	12	0,00	0,062	31,7	x			x
26:51	14:05	13,7	12	0,00	0,063	30,7	x			x

Obrázek A.4: Naměřené hodnoty nabíjení baterie - druhá část