

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh přenosného záložního zdroje

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vojtěch KNÍŽEK**
Osobní číslo: **E17B0016K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Téma práce: **Návrh přenosného záložního zdroje**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování

1. Proveďte rešerši možností záložních zdrojů pro malé spotřebiče s Pb a Li bateriemi.
2. Představte aspekty využití recyklovaných Li akumulátorů.
3. Navrhněte přenosný záložní zdroj a možnosti jeho dobíjení.
4. Porovnejte komerčně nabízené zdroje s Vámi navrženým záložním zdrojem.



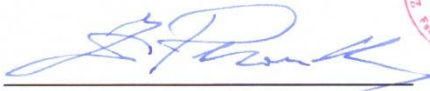
Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Mužík**
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. června 2020**


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce pojednává o záložních napájecích zdrojích. V úvodní části popisuje různé typy záložních zdrojů pro malé spotřebiče, jejich vnitřní zapojení a použité baterie. V další části se zaměřuje na možnost využití recyklovaných Li-Ion baterií v přenosných záložních zdrojích. Poslední část této bakalářské práce je věnována návrhu a výrobě přenosného záložního zdroje.

Klíčová slova

Přenosný záložní zdroj, Li-Ion, UPS, Měnič, Akumulátor, 3D tisk

Abstract

This bachelor thesis deals with backup power supplies. The introductory part describes various types of backup power supplies for small appliances, their internal connection and used batteries. The next part focuses on the possibility of using recycled Li-Ion batteries in portable power supplies. The last part of this thesis is devoted to the design and production of portable backup power supply.

Key words

Portable Power Supply, Li-Ion, UPS, Converter, Accumulator, 3D print

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 15.6.2020

Vojtěch Knížek

Poděkování

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

Obsah

ÚVOD.....	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
1. TEORETICKÁ ČÁST	12
1.1. TYPY ZÁLOŽNÍCH ZDROJŮ	12
1.2. MOŽNOSTI DOBÍJENÍ PŘENOSNÝCH ZÁLOŽNÍCH ZDROJŮ	14
1.3. DRUHY VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ A JEJICH PARAMETRY	15
1.3.1. Stejnoseměrný výstup napětí.....	16
1.3.2. Střídavý výstup napětí.....	21
1.4. TYPY POUŽÍVANÝCH AKUMULÁTORŮ.....	23
1.4.1. Olověný akumulátor	23
1.4.2. Li-Ion akumulátor.....	24
1.5. VYUŽITÍ VYŘAZENÝCH BATERÍ.....	26
2. PRAKTICKÁ ČÁST	29
2.1. VÝROBA AKUPACKU.....	29
2.1.1. Měření napětí akumulátorů	29
2.1.2. Měření kapacity akumulátorů.....	31
2.1.3. Opětovné použití akumulátorů.....	33
2.1.4. Výroba držáku na akumulátory.....	33
2.1.5. Ochranný a balanční obvod.....	36
2.1.6. Indikátor nabití akumulátoru.....	38
2.2. APLIKACE DC/DC MĚNIČŮ	39
2.2.1. Výroba step-down DC/DC měniče.....	40
2.2.2. Výroba step-up DC/DC měniče	43
2.2.3. Výroba step-up/step-down DC/DC měniče	47
2.3. VNITŘNÍ ZAPOJENÍ PŘENOSNÉHO ZÁLOŽNÍHO ZDROJE	50
2.4. NÁVRH A VÝROBA SKŘÍNĚ PŘENOSNÉHO ZÁLOŽNÍHO ZDROJE	52
2.4.1. Návrh a výroba těla skříně	52
2.4.2. Návrh a výroba bočnic skříně a madla skříně	54
2.4.3. Návrh a výroba ovládacího panelu a panelu s výstupy a vstupy	55
2.4.4. Výroba boxu na příslušenství.....	55
2.5. KOMPLETACE PŘENOSNÉHO ZÁLOŽNÍHO ZDROJE.....	55
2.6. POROVNÁNÍ PŘENOSNÉHO ZÁLOŽNÍHO ZDROJE S KOMERČNĚ DOSTUPNÝMI ZDROJI.....	58
ZÁVĚR	61
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	63
PŘÍLOHY	65

Úvod

Ještě před 20 lety se dalo jen těžko představit, že se do našich životů začlení elektronické přístroje tak, jak to dnes vidíme, a to jak v podobě mobilních telefonů, tabletů, chytrých hodinek nebo počítačů. Mobilní telefony nebo notebooky se staly našimi dennodenními společníky.

Tyto malé elektronické přístroje se velmi rychle rozvíjí a dříve platilo, že se každý rok zdvojnásobí počet tranzistorů obsažených v jednom čipu podle takzvaného „Moorova zákona“. Dnes už se nehledí jen na výkon, ale také na spotřebu, a proto se tento nárůst zpomalil. Ke zdvojnásobení tranzistorů dochází přibližně jednou za dva roky.

Kvůli takto rychlému vývoji má dnešní malá elektronika opravdu velký výpočetní výkon. To má za následek, že stačí mít jeden malý přístroj, který zvládne veškeré naše potřeby. Ale tento výkon má také značnou spotřebu energie a prostor pro její uložení je značně omezený celkovými rozměry přístroje. I přes velký pokrok ve výrobě baterií má dnešní moderní elektronika výdrž bez dobíjení jeden až dva dny, což není moc dobré ve srovnání třeba se staršími telefony, které stačilo dobít jednou za týden. Nutno podotknout, že starší mobilní telefony sloužily výhradně k telefonování nebo posílání zpráv a jejich používání bylo proto výrazně menší. Nicméně potřeba častého dobíjení je nevýhodou, která se dostává do popředí právě tehdy, když nemáme po delší dobu přístup ke zdroji energie. V takové chvíli jsou vyhledávána zařízení, která umožní elektrickou energii uložit. Proto se v současné době dostávají do popředí malé záložní zdroje energie. Na trhu je jich nepřeberné množství o různých kapacitách a velikostech.

Tato bakalářská práce je věnovaná návrhu a výrobě přenosného záložního zdroje pro napájení běžných malých elektronických zařízení s dostatečnou kapacitou pro více jak týdenní pobyt bez přístupu k jinému zdroji energie. Aby bylo dosaženo potřebné kapacity a přitom byly zachovány malé rozměry a poměrně nízká hmotnost, budou použity jako zdroj energie Lithium iontové akumulátory, které mají velkou proudovou hustotu. Tyto akumulátory budou získány z vyřazených akupacků z elektrokol. Díky tomu bude celý zdroj podstatně levnější a budou využity akumulátory, které by byly jinak předčasně vyřazeny.

Seznam symbolů a zkratek

A	Ampér
AC.....	Střídavé napětí (alternating current)
AGM.....	Technologie, při níž není v člancích mezi elektrodami elektrolyt v tekuté formě, ale je nasáklý ve skelné tkanině (absorbed Glass Mat)
Ah	Ampérhodina
C	Kondenzátor
C _{IN}	Vstupní kondenzátor
COMP.....	Komparátor (comparator)
C _{OUT}	Výstupní kondenzátor
C _t	Kondenzátor pro nastavení spínací frekvence
D	Dioda
DC.....	Stejnoseměrné napětí (direct current)
DCM.....	Režim přerušovaných proudů (discontinuous current mode)
DPS.....	Deska plošných spojů
EA.....	Operační zesilovač (oscillator)
f.....	Frekvence [Hz]
FB	Řídící pin pro nastavení výstupního napětí
f _{IN}	Vstupní frekvence
f _{SV}	Spínací frekvence [Hz]
FV	Fotovoltaický
GND	Nulový potenciál, zem (Ground)
Hz	Hertz
I.....	Proud [A]
I _L	Proud tekoucí cívkou
I _{sense}	Proud tekoucí bočником
I _Z	Proud protékající zátěží
Kč	Koruna česká
kg	Kilogram
L.....	Cívka
LED	Elektroluminiscenční dioda (light emitting diode)
Li-Ion.....	Lithium-iontový

MOSFET	Polem řízený tranzistor
MPPT.....	Sledování bodu maximálního výkonu (Maximum Power Point Tracking)
OSC	Oscilátor
P.....	Výkon [W]
PET	Polyethylentereftalát
P _{MAX}	Maximální výkon [W]
PTEG	Polyethylentereftalát s modifikovaným glykolem
PWM.....	Pulzně šířková modulace (Pulse-width Modulation)
Q	Kapacita
R _{IN}	Vstupní rezistor
R _S	Bočník
R _{sense}	Bočník
R _t	Rezistor pro nastavení spínací frekvence
R _Z	Odporová zátěž
s.....	Sekunda
S.....	Spínač
SW	Výkonový spínací výstupní pin (Power Switch Output Pin)
t.....	Čas [s]
U	Napětí [V]
UPS.....	Nepřerušitelný zdroj energie
USB	Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
U _Z	Napětí na zátěži
V	Volt
V _{CC}	Napájecí napětí
V _{IN}	Vstupní napětí
V _{OUT}	Výstupní napětí
V _{REF}	Referenční napětí
W	Watt
Wh	Watthodina
°C.....	Stupně Celsia
η _{stab}	Účinnost stabilizátoru

1. Teoretická část

1.1. Typy záložních zdrojů

Existuje mnoho typů záložních zdrojů, ale vzhledem k tomu, že se tato práce zaměřuje především na přenosné záložní zdroje, bude uvedeno jen obecné rozdělení. Jeden z hlavních parametrů je druh výstupního napětí. Jako další je způsob a druh přeměny elektrické energie.

Rozdělení podle druhu výstupního napětí:

- **Stejnoseměrné**
- **Střídavé**
- **Kombinované**

Záložní zdroje se stejnosměrným výstupním napětím se nejčastěji používají tam, kde je potřeba okamžitý přechod z normálního režimu do záložního režimu. Takovéto zdroje mají na výstupu zařazenou baterii, která v případě výpadku napájení okamžitě nahrazuje napájecí zdroj. V dnešní době přicházejí do popředí malé přenosné záložní zdroje se stejnosměrným výstupem, takzvané powerbanky. Tyto zdroje slouží k dočasnému napájení přenosných zařízení, jako jsou například mobilní telefony nebo tablety. Mají obvykle řešený výstup pomocí konektoru USB. Záložní zdroje se střídavým výstupem docilují příslušného průběhu buď vlastní konstrukcí jako synchronní generátor, nebo mají na výstupu příslušný střídač a také transformátor pro docílení požadovaného napětí, které nejčastěji odpovídá napětí sítě, tedy 230 V / 50 Hz. [1]

Rozdělení podle druhu a způsobu přeměny:

- **Rotační zdroje**
- **Chemické zdroje**
- **Statické zdroje**
- **Přenosné záložní zdroje**

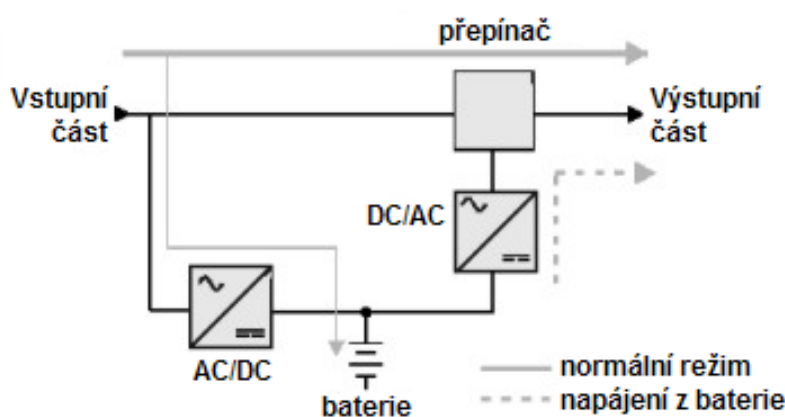
Za nejběžnějšího představitele rotačních záložních zdrojů je považován motorgenerátor, ve kterém dochází k přeměně paliva na kinetickou energii a následně na energii elektrickou.

Motorgenerátor je tvořen ze dvou hlavních částí, generátoru a spalovacího motoru. Dále mezi ně patří setrvačnickové systémy, kde se k uložení energie využívá kinetická energie setrvačnicku, která je přeměňována na energii elektrickou. [1, 3]

Palivové články představují čistou technologii výroby elektrické energie s vysokou účinností. V současné době existuje několik základních typů palivových článků, které se liší především druhem elektrolytu a provozní teplotou. [4]

Jako nejčastější statický záložní zdroj je považován takzvaný zdroj nepřerušovaného napájení. Blokové schéma zdroje nepřerušovaného napětí je uvedeno na *Obr. 1*. Tento zdroj se používá jako zdroj energie při výpadku elektrického napájení ze sítě. A to především k napájení menších elektrospotřebičů, mezi které patří telekomunikační zařízení, počítače, nemocniční přístroje a mnoho dalších. Záložní zdroj nepřerušovaného napětí se dobíjí ze síťového napětí a v případě výpadku tohoto napětí zdroj automaticky nahrazuje síťové napětí. Jako zdroj elektrické energie slouží jeden nebo více akumulátorů, které jsou součástí záložního zdroje. Tyto zdroje se nazývají UPS (z anglického Uninterruptible Power Supply/Source), takovéto záložní zdroje zajišťují souvislou dodávku elektrické energie pro spotřebiče, které nesmějí být neočekávaně vypnuty.

Nejběžnější typem akumulátoru, který se u takovýchto zdrojů používá, je standardní olověný akumulátor o jmenovitém napětí 12 V. U modernějších zdrojů se přechází na Li-Ion baterie.



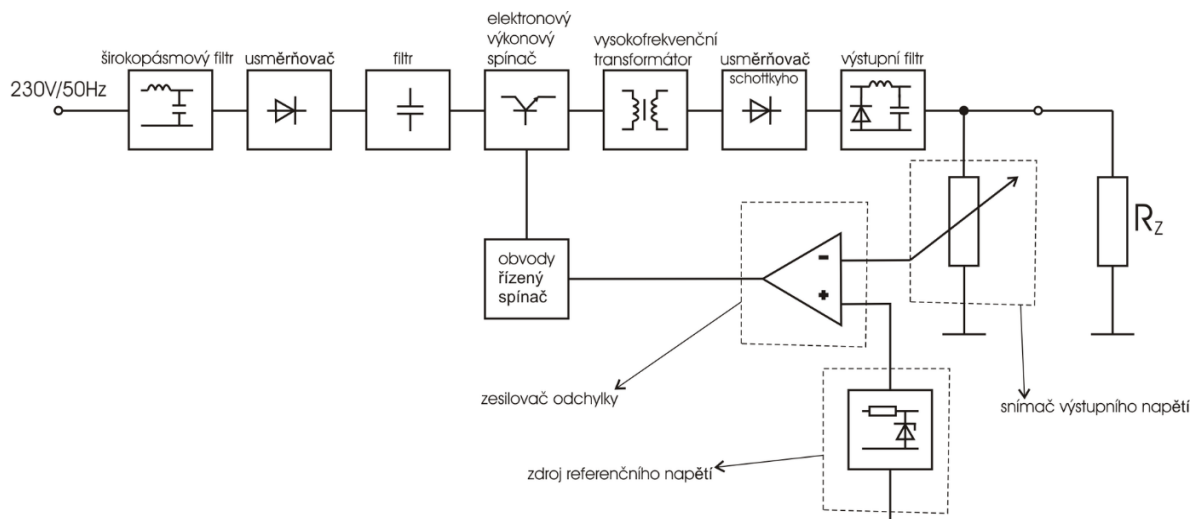
Obr. 1: Blokové schéma záložního zdroje nepřerušovaného napětí (převzato z [3])

Přenosné záložní zdroje jsou takové zdroje, které ke své funkci nepotřebují žádné přídatné zařízení ani jiný zdroj energie, než je jejich vlastní zdroj. Také jsou uzpůsobeny pro snadnou manipulaci, čemuž odpovídá jejich velikost a hmotnost. Obvykle mají stejnosměrný výstup, ale u větších zdrojů lze nalézt kombinaci jak stejnosměrného, tak střídavého výstupu napětí. U zdrojů se provádí nabíjení stejnosměrným napětím, a to buď pomocí přímého napájení nebo za použití příslušného adaptéru, který nám umožní nabíjet zdroj pomocí síťového napětí. [3]

1.2. Možnosti dobíjení přenosných záložních zdrojů

U přenosných záložních zdrojů je důležitou vlastností možnost snadného dobíjení z různých druhů zdrojů. Za základní zdroj, který slouží k nabíjení, je považováno síťové napětí, dále je možné použít napětí stejnosměrné, a to buď z rozvodu v automobilu 12/24 V, nebo ve speciálních případech pomocí přídatného fotovoltaického panelu.

Dobíjení pomocí střídavého napětí je prováděno za pomoci spínaného zdroje. Blokované schéma spínaného zdroje je znázorněné na *Obr. 2*. Vstupní síťové napětí 230 V / 50 Hz je usměrněno a následně roztřídáno pomocí spínaných polovodičových prvků, nejčastěji tranzistorů. Je získán obdélníkový průběh napětí o frekvenci desítky kHz, který je následně transformován za pomoci vysokofrekvenčního transformátoru na požadovanou hodnotu napětí. Toto napětí je usměrněno a dále využíváno na dobíjení baterií. Hlavní výhodou tohoto zdroje je jeho vysoká účinnost a malá hmotnost. Malé hmotnosti lze docílit použitím vysokofrekvenčního transformátoru, který má při stejném výkonu menší hmotnost než transformátor, který pracuje na standardní frekvenci 50 Hz.



Obr. 2: Blokové schéma spínaného zdroje napětí (převzato z [2])

Dobíjení pomocí fotovoltaického panelu se může provádět pomocí dvou variant. Základní variantou je použití PWM regulátoru. Tento regulátor využívá pulzně šířkovou modulaci. Regulátor umí omezit napětí z fotovoltaických panelů na velikost potřebnou k dobíjení příslušné baterie. Ovšem tento druh regulátoru nedokáže využít plný potenciál fotovoltaických panelů. V tomto ohledu je výrazně lepší druhá varianta, a to MPPT („Maximum power point tracking“), neboli sledování maximálního bodu výkonu. Každý solární panel má vlastní zatěžovací charakteristiku, tuto charakteristiku bere regulátor v potaz a jeho cílem je dosažení maximálního zisku energie. Regulátor se snaží o nalezení bodu v zatěžovací charakteristice, jehož pozice se v průběhu doby mění v závislosti na několika aspektech, jako jsou například teplota panelu, denní doba, intenzita ozáření nebo stáří FV panelu. Regulátor sleduje, jaký výkon dodává fotovoltaický panel a snaží se udržet výkon na co největší úrovni s přihlédnutím ke všem zmíněným parametrům. [5]

1.3. Druhy výstupního napětí a jejich parametry

Výstupní druhy napětí lze rozdělit do dvou kategorií, a to na stejnosměrný a střídavý výstup napětí. Větší pozornost je věnována výstupu stejnosměrnému, vzhledem k tomu, že naprostá většina zařízení, která budou připojována k přenosnému záložnímu zdroji, využívá právě napětí stejnosměrné.

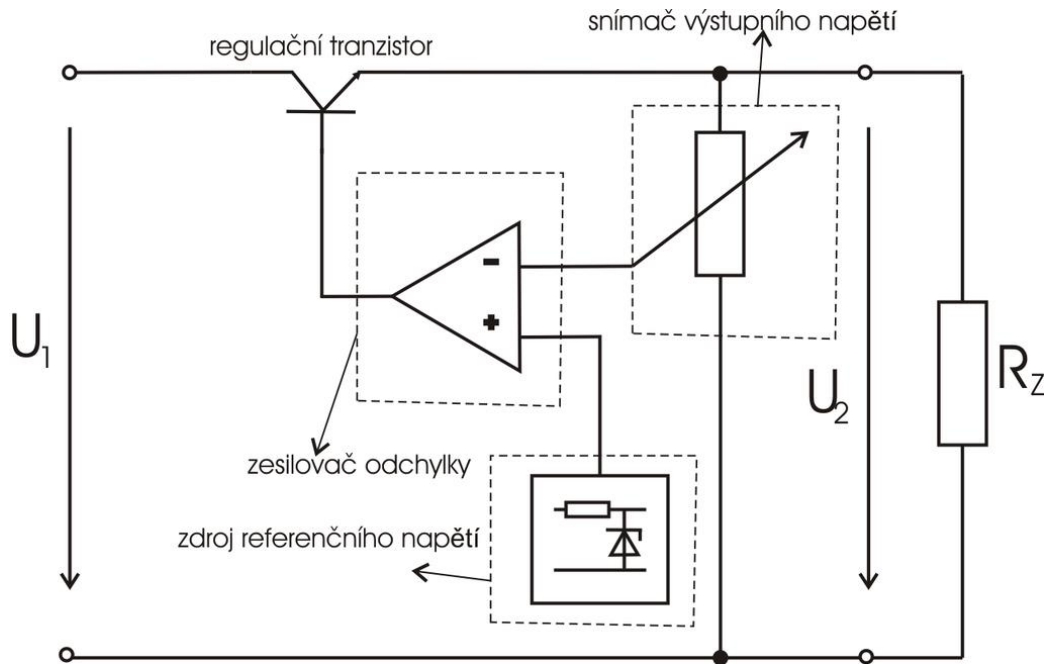
1.3.1. Stejnoseměrný výstup napětí

U stejnosměrného výstupu napětí jsou nejčastějšími hodnotami 5 V a 12 V. Výstup s hodnotou 5 V slouží k napájení malé spotřební elektroniky, a to přes konektor USB. Proudová zatížitelnost takového výstupu se pohybuje od 0,5 A do 3 A. Výstupní napětí 12 V se využívá k nahrazení napájení spotřebičů, které využívají síťové napětí v užitkových a osobních automobilech. Proudová zatížitelnost takového výstupu u automobilů se pohybuje okolo 10 A, tedy výkon, který je zdroj schopen poskytnout, je až 120 W.

Ovšem ne všechna zařízení pracují s tímto napětím. Především notebooky mají nepřeborné množství vstupních napětí, a to v rozmezí od 10,5 V až do 21 V. Napájení je u notebooků vyřešeno přídatným adaptérem, který mění síťové napětí na požadovanou hodnotu. Při potřebě napájení notebooku z přenosného záložního zdroje není jiná možnost než využít, pokud je k dispozici, střídavý výstup o hodnotách síťového napětí. V takovém případě by docházelo k tomu, že napětí z baterií prochází dvěma měniči. Nejprve měničem DC/AC, kde by bylo rozstředáno a zvětšeno na síťové hodnoty 230 V/ 50 Hz, a následně by procházelo napájecím adaptérem, tedy měničem AC/DC, kde by naopak bylo usměrněno a sníženo na požadovanou hodnotu. I když dnešní napájecí zdroje dosahují vysoké účinnosti, celková účinnost by byla snížena použitím dvou měničů. Proto bude naším cílem vytvořit přenosný záložní zdroj, který bude co nejvíce univerzální a jeho výstupní napětí bude plynule nastavitelné pro použití s co největším množstvím zařízení. Pro plynulé nastavení napětí můžou být použity tyto měniče:

- **Lineární DC/DC měnič**
- **Impulzní DC/DC měnič**

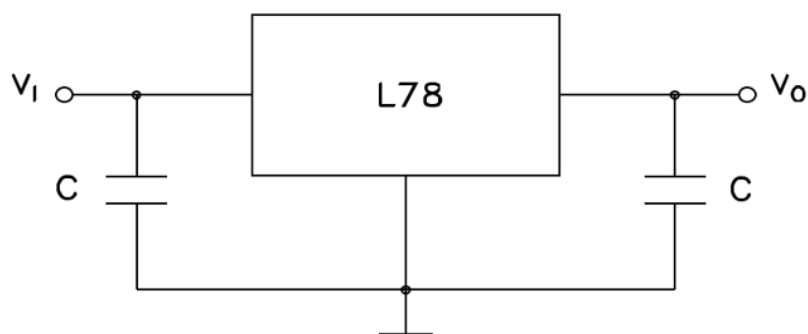
Lineární DC/DC měniče využívají ke snížení a stabilizaci napětí lineární prvek, nejčastěji tranzistor využívaný v jeho lineární části. Na tomto prvku vzniká přesně definovaný úbytek napětí. Na *Obr. 3* je znázorněné blokové schéma lineárního stabilizátoru napětí. [6]



Obr. 3: Blokové schéma lineárního stabilizátoru (převzato z [8])

Takovýto stabilizátor má zdroj referenčního napětí, který je realizován pomocí zapojení se Zenerovo diodou. Toto referenční napětí se porovnává v komparátoru s napětím výstupním a podle velikosti rozdílu je následně řízen regulační tranzistor. Zapojení je výhodné kvůli jednoduché konstrukci, nízké ceně a hladkému výstupnímu napětí. [8]

Mezi velmi oblíbené lineární stabilizátory patří řady 78XX s nenastavitelným kladným napětím.

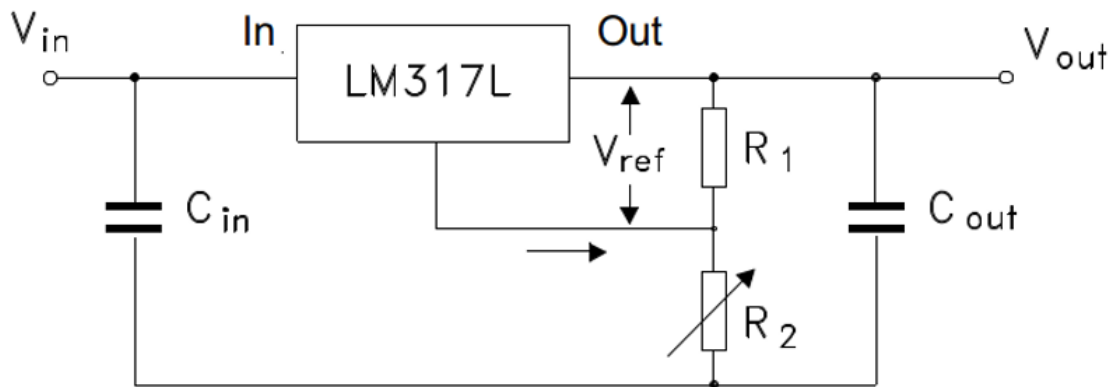


Obr. 4: Schéma zapojení integrovaného lineárního stabilizátoru s nenastavitelným výstupním napětím (převzato z [9])

Tyto stabilizátory obsahují interní proudové omezení, tepelnou ochranu a ochranu

bezpečné oblasti, jsou tedy velice odolné. Pokud je poskytnuto adekvátní chlazení, mohou dodat až 1 A výstupní proud.

Dalším z řady integrovaných stabilizátorů je LM317. Tento regulátor na rozdíl od předchozího umožňuje plynule nastavitelné kladné napětí.



Obr. 5: Schéma zapojení integrovaného lineárního stabilizátoru s nastavitelným výstupním napětím (převzato z [10])

Pomocí rezistoru R1 a R2 je vytvořen napěťový dělič, který zajišťuje referenční napětí pro řízení lineárního stabilizátoru. Tento stabilizátor má stejné ochrany jako předchozí typ. Nutno podotknout, že výstupní napětí je vždy nižší než napětí vstupní. Velká nevýhoda těchto stabilizátorů je, že značná část přivedeného výkonu se za určitých podmínek mění na teplo. Účinnost lineárního stabilizátoru je vyjádřena pomocí vztahů uvedených níže.

Ztrátový výkon na regulačním tranzistoru lze vyjádřit pomocí vztahu (1.1):

$$\Delta P_{ztrátový} = (U_{vst} - U_{výst}) \times I_{vst} = U_{ce} \times I_{vst} \quad (1.1)$$

Účinnost lineárního stabilizátoru je přibližně vyjádřena vztahem (1.2):

$$\eta_{stab} = \frac{P_{výst}}{P_{výst} + \Delta P_{ztrát}} = \frac{U_{výst} \times I_{vst}}{U_{výst} \times I_{vst} + (U_{vst} - U_{výst}) \times I_{vst}} = \frac{U_{výstupní}}{U_{vstupní}} \quad (1.2)$$

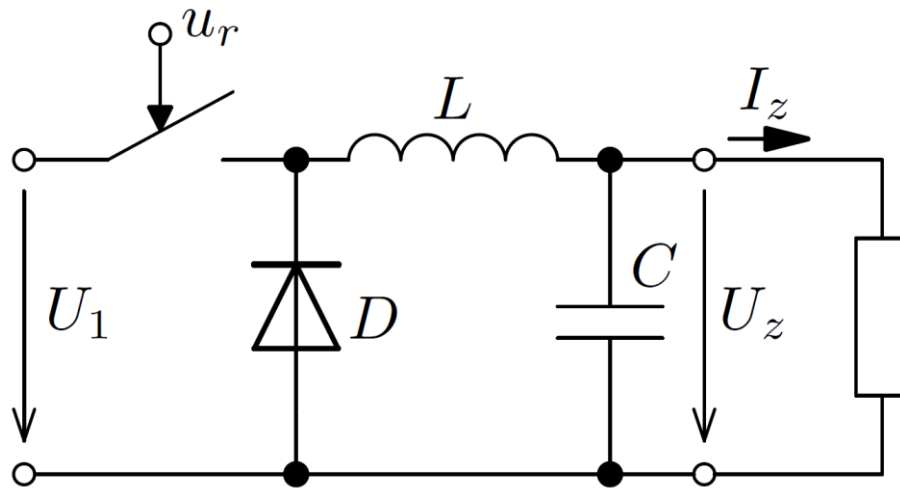
Z rovnice (1.2) vyplývá, že účinnost závisí na rozdílu mezi vstupním a výstupním

napětím. Například při vstupním napětí 18 V a výstupním napětí 12 V je účinnost stabilizátoru přibližně 67 %. Takováto účinnost je pro naše použití v přenosných záložních zdrojích nevyhovující. Proto měnič napětí založený na tomto principu nebude v této práci využit. [7]

Dalším typem měniče je impulzní DC/DC měnič. Stejně jako u lineárního měniče i zde může být nalezen tranzistor, ovšem tentokrát nebude využita jeho lineární oblast, ale bude použitý jako spínač. Při tomto zapojení funguje tranzistor pouze ve dvou stavech, a to buď v plně otevřeném nebo v plně zavřeném stavu. Díky tomu na tranzistoru nevzniká tak velký úbytek napětí a lze docílit podstatně vyšší účinnosti. Tranzistor je periodicky spínáný, a to v řádu desítek až stovek kilohertz. Kvůli tomu vzniká rušení, které negativně ovlivňuje jak samotný měnič, tak i jeho okolí. Také výstupní napětí není tak hladké jako u měniče lineárního, může dosahovat zvlnění v řádu několika mV. Tyto měniče dokáží dodávat výstupní napětí nižší, stejné anebo vyšší, než je napětí vstupní. Hlavní výhodou spočívá ve vysoké účinnosti, která může za ideálních podmínek dosahovat až 98,5 %. Nevýhodou je složitější zapojení a větší počet externích součástek, což má za následek i vyšší pořizovací cenu. [6, 8]

Zaměříme se na impulzní DC/DC měniče, které využívají k transformaci napětí cívku. Tyto měniče jsou schopné dodávat velké proudy. Velikost dodávaného proudu je závislá na použitých tranzistorech a na velikosti použité cívky. V závislosti na poměru mezi vstupem a výstupem jsou rozlišovány měniče na buck, boost a buck-boost.

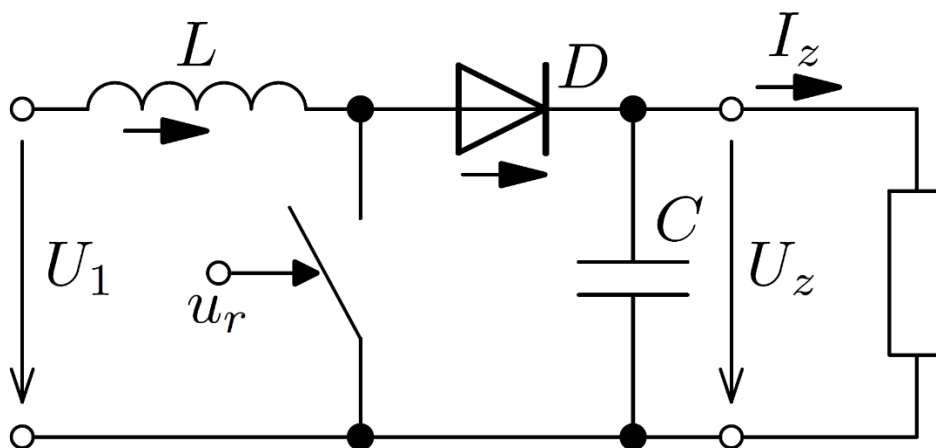
Snižující měnič – STEP DOWN (BUCK), znázorněný na *Obr. 6*, slouží ke snížení napětí.



Obr. 6: Schéma zapojení step-down DC/DC měniče (převzato z [8])

Princip činnosti: Při sepnutém spínači prochází proud skrz cívku L do zátěže. Zároveň dochází k akumulaci energie v cívce a také k nabíjení kondenzátoru C . Po rozpojení spínače se cívka stává zdrojem energie a snaží se udržet stejnou velikost a směr proudu. Proud teče přes diodu D a zároveň dochází k vybíjení kondenzátoru C , což přispívá ke zmenšení zvlnění výstupního napětí. Poté se spínač znovu sepne a celý proces se opakuje. [6, 8]

Zvyšující měnič – STEP UP (BOOST), znázorněný na Obr. 7, slouží ke zvýšení napětí.

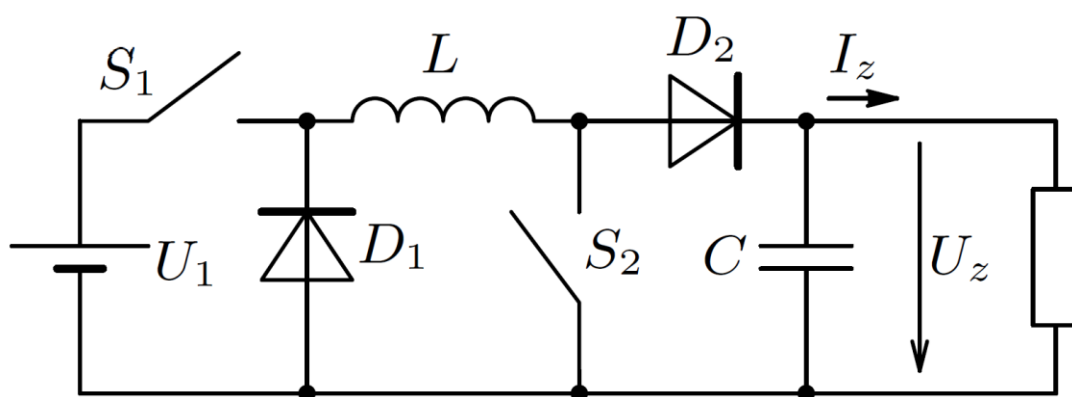


Obr. 7: Schéma zapojení step-up DC/DC měniče (převzato z [8])

Princip činnosti: Opět se začíná ve stavu, kdy je spínač sepnutý. V té době prochází skrze cívku L velmi vysoký proud. Po tuto dobu dochází k vybíjení kondenzátoru do zátěže. Aby nedocházelo k vybíjení přes sepnutý spínač, musí být v obvodu zapojena dioda D .

Dioda je připojena v závěrném směru, tedy neprotéká žádný proud. Proud v cívce narůstá po celou dobu sepnutí spínače. Při rozpojení spínače vytvoří cívka druhý zdroj napětí, který je v sérii se vstupním napětím. Výsledné napětí je dáno součtem těchto dvou napětí a je vždy vyšší než napětí vstupní. Napětí na cívce závisí na velikosti indukčnosti a délce sepnutí spínače.

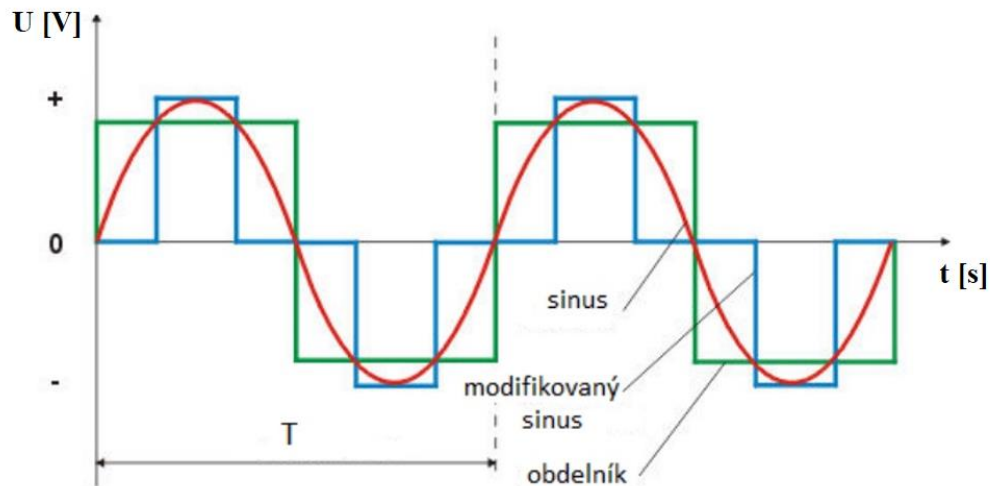
BUCK – BOOST měniče jsou kombinací obou předchozích zapojení. Tyto měniče dokáží pracovat s širokou škálou výstupních napětí. Díky svému zapojení dokáží výstupní napětí zvyšovat i snižovat. Schéma zapojení je znázorněné na Obr. 8. [6, 8]



Obr. 8: Schéma zapojení BUCK – BOOST DC/DC měniče (převzato z [8])

1.3.2. Střídavý výstup napětí

Výstup střídavého napětí je realizován za pomoci střídače. Střídač má za úkol rozstřídat stejnosměrné napětí z baterií na příslušnou frekvenci, tedy 50 Hz, a změnit velikost amplitudy na 230 V nebo 110 V. Podle složitosti zapojení střídače lze rozdělit výstupní napětí na tři používané průběhy. Jednotlivé průběhy jsou znázorněné na Obr. 9.



Obr. 9: Jednotlivé tvary výstupních napětí měničů (převzato z [3])

Druhy průběhu napětí:

- **obdélníkový průběh**
- **modifikovaný sinusový průběh**
- **čistý sinusový průběh**

Střídače s obdélníkovým průběhem jsou konstrukčně velmi jednoduché, a proto taky levné. Tyto střídače se v praxi využívají jen velmi zřídka.

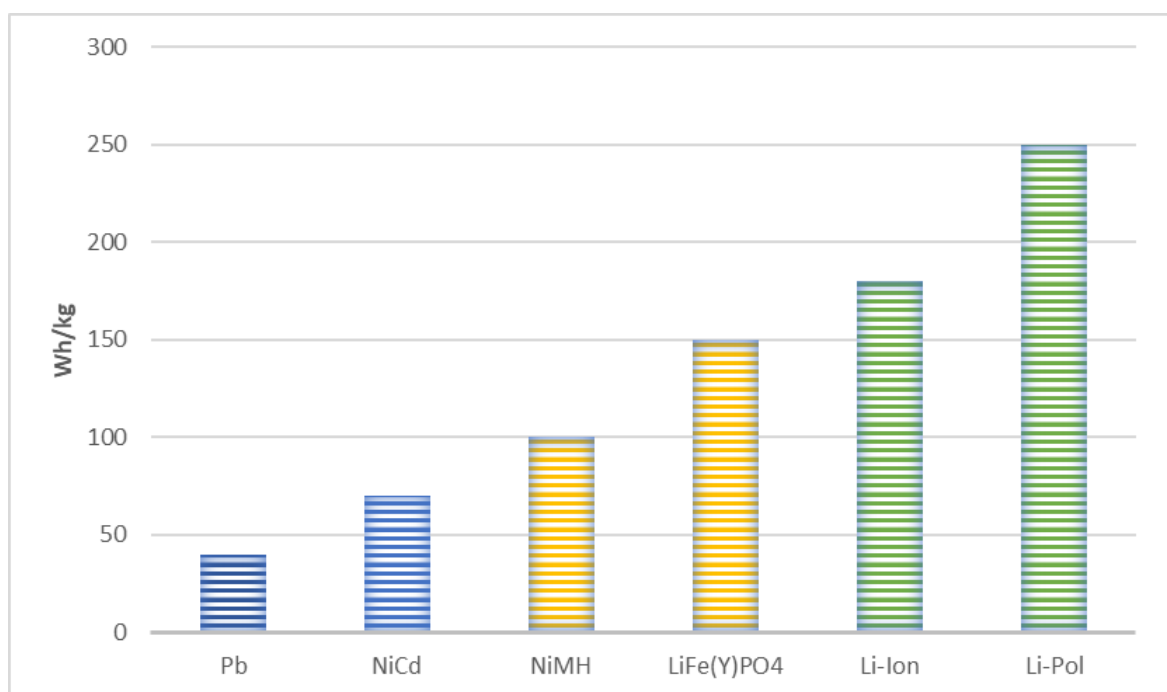
Střídače s modifikovaným sinusovým průběhem napětí lze použít u naprosté většiny běžných spotřebičů. I přesto se však mohou najít výjimky, u kterých se tento průběh nehodí, a to u citlivých měřicích nebo lékařských přístrojů kvůli obsahu velkého množství vyšších harmonických. Nicméně je tento průběh velmi podobný sinusovému průběhu. Konstrukce takového střídače je poměrně jednoduchá a levná. Problém u těchto střídačů nastává v případě, kdy je na výstup zapojena citlivá indukčnost, a to buď v podobě transformátoru nebo motoru, kde je možné narazit na problém s vysokou hlučností díky rychlým změnám napětí.

U střídače s čistým sinusovým průběhem všechny výše zmíněné problémy odpadají. Lze ho použít ve všech případech, kde je nahrazováno napájení ze sítě. Tento střídač je konstrukčně nejsložitější a tomu odpovídá také cena, které dosahuje několika násobku oproti střídači s modifikovaným sinusovým průběhem. Také má tento měnič nejmenší účinnost.

[12]

1.4. Typy používaných akumulátorů

Akumulátory jsou chemické zdroje elektrické energie. V průběhu napájení přijímají energii z vnějšího zdroje, kterou do sebe akumulují. Tento proces je možný díky přeměně chemického složení elektrochemicky aktivních složek elektrod. Když se proces obrátí, dochází k přeměně chemického složení aktivních složek elektrod a chemická energie, která byla v akumulátoru uložena, se mění na energii elektrickou. Při výběru baterie do přenosného záložního zdroje je hlavním parametrem energetická hustota baterie. Jednotlivé energetické hustoty baterií jsou uvedeny na *Obr. 10*. U přenosných záložních zdrojů se nejčastěji používají olověné a lithium iontové akumulátory. [12]



Obr. 10: Přehled energetické hustoty baterií [16]

1.4.1. Olověný akumulátor

Historie olověného akumulátoru sahá až do roku 1859. V tomto roce byl vynalezen francouzským lékařem Gastonem Planté. Jednalo se o první opakovaně se nabíjející baterii pro komerční využití. Tohoto principu se využívá dodnes, k čemuž jsou dobré důvody. Olověný akumulátor je spolehlivý a má nejlepší poměr mezi cenou a kapacitou. Proto se tento akumulátor nalézá v naprosté většině záložních zdrojů nepřetržitého napájení.

Životnost olověného akumulátoru se uvádí na 200 až 300 cyklů při plném vybití. U olověných akumulátorů obecně platí, že čím jsou vybíjecí cykly hlubší, tím je pak životnost baterie kratší. Tato vlastnost ale nevadí, protože akumulátor se vybíjí pouze v případě výpadku elektrické energie, který nastává sporadicky. Ovšem tato vlastnost není výhodná z pohledu záložních přenosných zdrojů, u kterých se předpokládá časté hluboké vybíjení. Další nevýhodnou vlastností této baterie je poměr mezi váhou a kapacitou. Proto se olověné akumulátory nemohou měřit s novějšími typy baterií obsahující alkalický nebo jiný nekyselý elektrolyt. Podobných nevýhod by se dalo nalézt ještě několik. Proto se klasické olověné akumulátory v přenosných záložních zdrojích objevují jen zřídka, přesto se i navzdory těmto nevýhodám mohou v přenosných záložních zdrojích objevit. Používají se výhradně akumulátory vyrobené za pomoci technologie AGM (absorbed glass mat). Je to technologie, při níž není v článcích mezi elektrodami elektrolyt v tekuté formě, ale je nasáklý ve skelné tkanině. Tyto akumulátory jsou odolnější proti mechanickým nárazům a také lépe odolávají cyklické zátěži. [14]

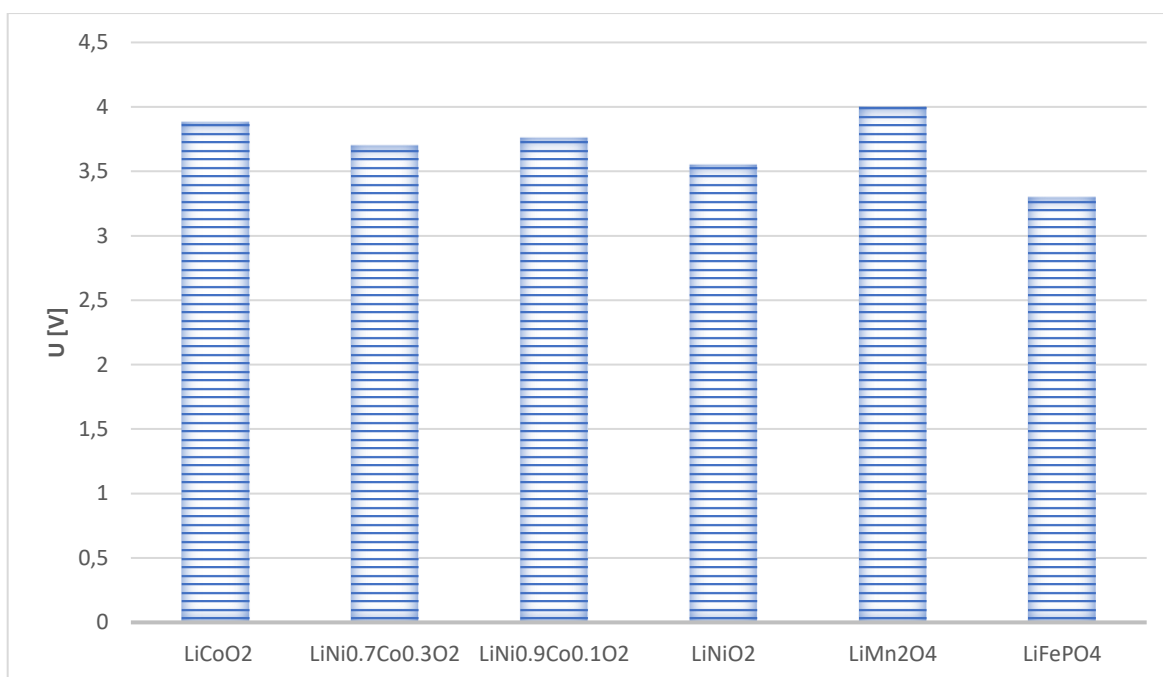
1.4.2. Li-Ion akumulátor

Li-Ion akumulátor je poměrně mladý typ akumulátoru. V této době se neustále pracuje na jeho zlepšování. Moderní Li-Ionové akumulátory nabízejí velkou proudovou hustotu, možnost rychlého dobíjení a proudovou zatížitelnost v rámci desítek ampér. Je třeba si uvědomit, že existuje mnoho druhů Li-Ion akumulátorů, které se od sebe liší použitými druhy materiálů na elektrodách, různými typy separátorů i elektrolytů. Na první pohled vypadají tyto baterie shodně, mají stejnou velikost i jmenovité napětí. Tyto akumulátory ovšem nemají shodné parametry, jako je konečné nabíjecí napětí, které se pohybuje od 4,0 V do 4,3 V. Dokonce lze nalézt i akumulátory, které potřebují k plnému nabití 4,5 V. Dalším rozdílným parametrem je konečné vybíjecí napětí. Hodnoty tohoto napětí se pohybují od 2,5 V do 3,0 V. Při překročení těchto předepsaných mezních hodnot může dojít k rozpadu elektrod akumulátoru a jeho trvalému poškození. Z toho plyne, že při použití starších Li-Ion akumulátorů je třeba znát katalogové údaje výrobce daného typu akumulátoru. Jednotlivé typy akumulátorů je možné rozdělit podle typu použitých materiálů, použitého elektrolytu a podle vlastností a použití. [13]

1) Rozdělení podle použitého materiálu na kladné elektrodě:

- LiCoO_2
- $\text{LiNi}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_2$
- $\text{LiNi}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$
- LiNiO_2
- LiMn_2O_4
- LiFePO_4

Typ použitého materiálu ovlivňuje jak nabíjecí, tak jmenovité napětí akumulátoru, jeho kapacitu, toxicitu, bezpečnost a cenu. V příloženém grafu na *Obr. 11* jsou znázorněná jednotlivá pracovní napětí pro různé typy použitého materiálu na kladné elektrodě.



Obr. 11: Jmenovitá napětí pro různé materiály použitých na kladné elektrodě [16]

2) Rozdělení podle použitého materiálu na záporné elektrodě:

- kovové lithium
- uhlík

Kovové lithium bylo používáno u prvních typů akumulátorů. Tyto akumulátory měly vysokou kapacitu, ale nízkou bezpečnost.

Dalším materiálem je uhlík, který je využíván v současné době. Známe mnoho typů uhlíku, který se používá na záporných elektrodách. Například v podobě přírodního grafitu, tvrdého grafitu nebo koksu.

3) Rozdělení podle typu elektrolytu a jeho složení:

- kapalný
- gelový
- polymerový

4) Rozdělení podle povahy a konstrukce:

- základní výrobní řady
- řady se zvýšenou kapacitou
- řady pro velké vybíjecí proudy
- speciální řady pro extrémní výkonové zatížení
- řady pro extrémní teploty
- řady pro trvalé dobíjení

Tato rozdělení se provádí na základě jmenovité kapacity, jmenovitého napětí a životnosti. Tyto hodnoty jsou deklarovány. Dále je pak možné je dělit podle povahy a konstrukce zabudovaných bezpečnostních prvků, jako jsou proudové pojistky, ventily, termistory a elektronické obvody. [14, 16]

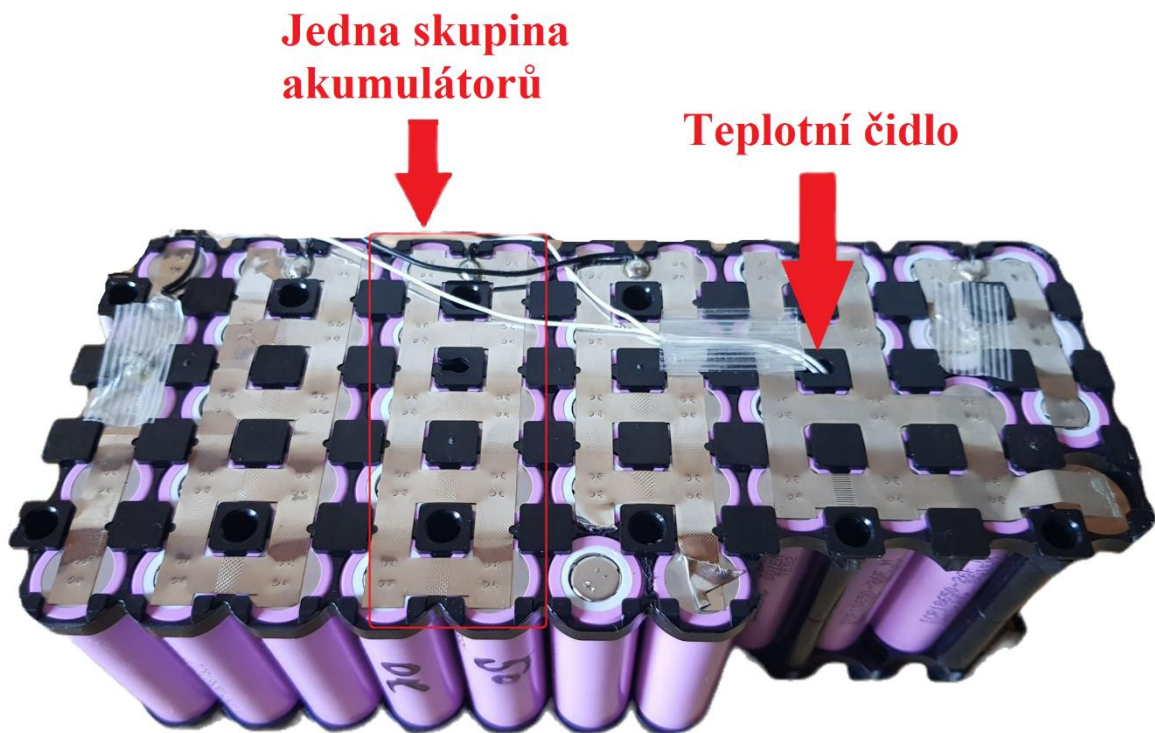
1.5. Využití vyřazených baterií

V dnešní době dochází k masivnímu rozšíření Li-Ion akumulátorů. Tyto akumulátory mají nepřeberné množství uplatnění. Například se nacházejí u přenosného elektrického nářadí nebo u různých elektrických dopravních prostředků. Také nelze zapomenout na přenosné záložní zdroje. Dokonce si nacházejí cestu i k záložním zdrojům nepřetržitého napájení, u kterých především kvůli neustále klesající ceně vytlačují akumulátory olověné. Nejběžnějším typem používaného akumulátoru je článek s typovým označením 18650. Pro představu je na *Obr. 12* vyfocený akumulátor 18650 společně s klasickými bateriemi typu AA a AAA.



Obr. 12: Akumulátoru 18650 společně s klasickými bateriemi typu AA a AAA

Článek 18650 má válcovitý tvar, který má průměr 18 mm a výšku 650 mm. Jeho jmenovité napětí udává výrobce, ale ve většině případů se udává 3,7 V. Jednotlivé články se skládají do takzvaných akupacků, ve kterých dochází k propojení článků jak sériovou, tak paralelní vazbou, aby bylo dosaženo požadovaného výstupního napětí. Baterie typu Li-Ion jsou oproti běžným olověným akumulátorům náročnější na dobíjecí napětí, přičemž toto napětí nesmí překročit maximální hodnotu, kterou udává výrobce. Proto u většiny aplikací doprovází akumulátor elektronika. Její úkol spočívá ve vyrovnávání napětí jednotlivých skupin lithiových akumulátorů, obvod ve většině případech obsahuje také proudovou pojistku a teplotní čidlo. Jednotlivé paralelní skupiny, kde je napětí 3,7 V, se připojují k tomuto obvodu zvanému balancer, který hlídá napětí jednotlivých skupin a zabraňuje přebití nebo podbití jednotlivých skupin článků. Tento obvod je velice důležitý pro bezpečnou funkci baterie a také zajišťuje její dlouhou životnost. Na druhé straně dochází díky tomuto obvodu také k vyřazení akupacků, kde je vadná jen jedna skupina článků nebo dokonce jen jeden akumulátor. Těto vlastnosti lze využít tak, že se naše pozornost zaměří na akupacky, u kterých došlo k náhlé neschopnosti dobíjení. Takovýto akupack lze rozebrat a změřit, jaká je kapacita jednotlivých akumulátorů. [14] Ukázka takového akupacku je znázorněna na Obr. 13.



Obr. 13: Vyřazený akupack z elektrokola

Určení kapacity akumulátoru vychází ze základního vzorce pro výpočet kapacity:

$$Q = I \cdot t \quad (1.3)$$

Kde Q – kapacita [Ah], I – proud [A], t – čas [h]

Energie akumulátoru se určí následovně:

$$E = Q \cdot U \quad (1.4)$$

Kde E – el. energie [Wh], Q – kapacita [Ah], U – napětí [V]

Pro určení kapacity baterie je zapotřebí měřit vybíjecí proud, který musí být konstantní, a čas dle rovnice (1.3), za kterého dojde k poklesu napětí baterie na předem nastavenou hodnotu. Takovéto měření je provedeno u všech akumulátorů, které budou znovu použity. Po změření všech akumulátorů jsou zjištěny jednotlivé kapacity a je nutné rozhodnout, jaké

akumulátory lze opětovně použít. Takto je výrazně prodloužena životnost jednotlivých akumulátorů.

2. Praktická část

2.1. Výroba akupacku

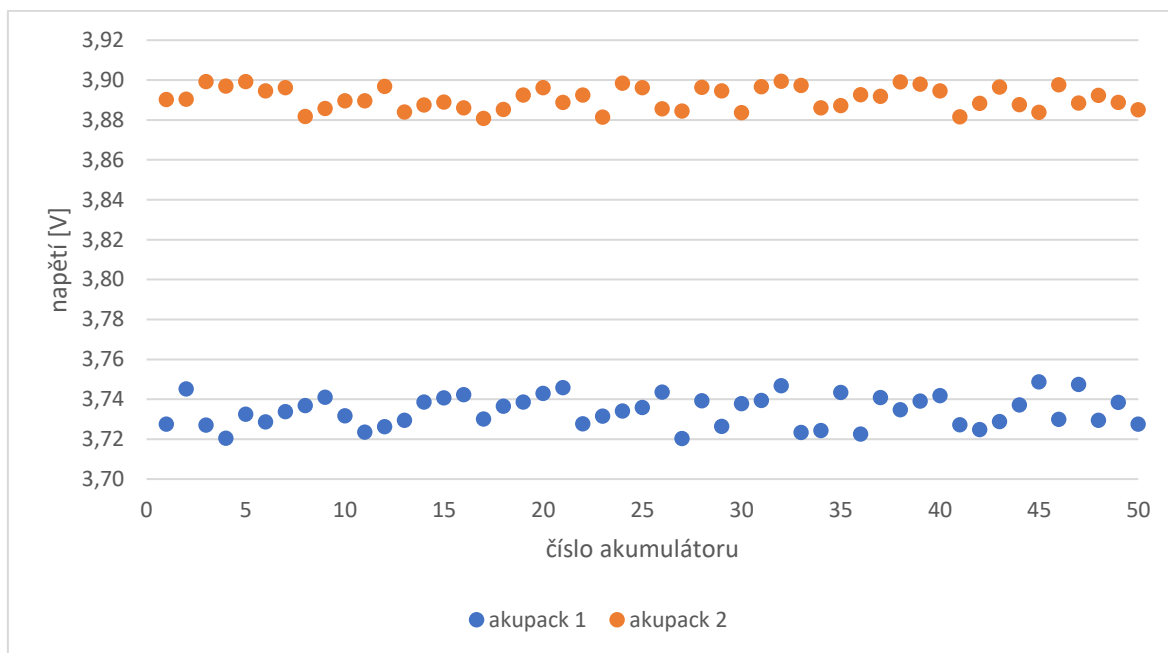
Jako zdroj energie jsou použity výše zmíněné akumulátory typu 18650, konkrétně Samsung ICR18650-26F o udávané kapacitě 2600 mAh. Tyto akumulátory jsou k dispozici z dvou vyřazených akupacků, které byly použity v elektrokolech. Tyto akupacky měly udaný stejný důvod vyřazení, kterým byla nemožnost dobití, přestože byly do poslední chvíle funkční. Z toho lze odvodit, že velká část akumulátorů bude nejspíše funkční a budou se moci znovu použít.

2.1.1. Měření napětí akumulátorů

Nejdříve se změří napětí na jednotlivých člancích pro hrubé rozřazení. Akumulátory, které mají na výstupních konektorech nulové napětí, budou rovnou vyřazeny, protože u takto vybitých akumulátorů dochází k trvalému poškození. Zbývající akumulátory budou nabity na hodnotu uváděnou výrobcem. Poté se změří jejich kapacita.

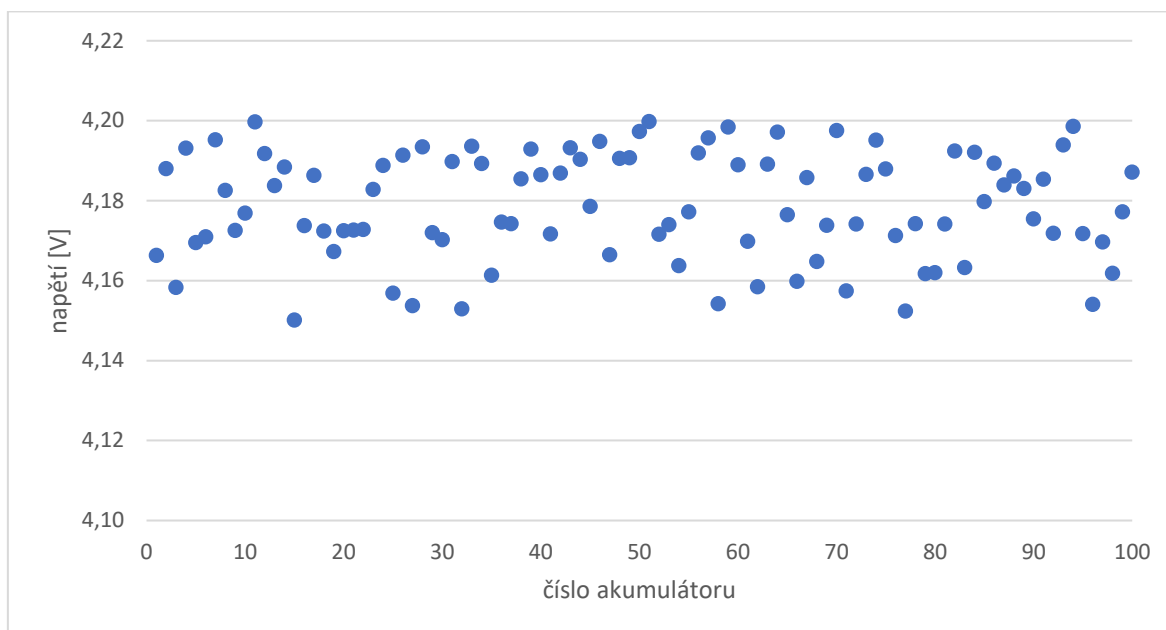
Aby bylo možné změřit napětí a kapacitu jednotlivých akumulátorů, muselo dojít k jejich oddělení. To znamenalo rozebrání akupacků. Při tomto rozebírání došlo k oddělení jednotlivých propojovacích plechů a následnému vyjmutí akumulátoru z plastového držáku. Propojovací plechy se přidělávají k akumulátoru bodovým svařováním. Tato metoda se využívá u většiny aplikací, a to zejména z důvodu kvalitního propojení a také malého tepelného zatížení elektrod. Bohužel se ale také touto metodou trvale elektrody poškodí. Kvůli tomu se musí kontaktní plochy začistit od zbylých kousků propojovacích plechů. Následně byly akumulátory popsány číslem. Jak již bylo zmiňováno výše, k dispozici byly dva akupacky a každý z nich obsahoval 50 kusů akumulátorů 18650. Proto bylo číslování zvolené tak, že akumulátory 1-50 byly vytaženy z prvního akupacku a akumulátory 51-100 byly z akupacku druhého. Jednotlivé akumulátory byly nechané 2 dny volně stát, aby jejich napětí nebylo ovlivněno od akumulátorů, které s nimi byly v paralelní vazbě. Následně došlo

k měření jednotlivých napětí. Na *Obr. 14* je dobře patrné, že každý akupack byl nabitý na jinou úroveň. Podle výsledků měření žádný akumulátor výrazně nevybočoval z naměřených hodnot. Jednotlivá napětí akumulátorů použitých v tomtéž akupacku se lišila pouze o 0,03 V. To bylo překvapivé zjištění, protože se očekávalo, že u nějakých akumulátorů bude napětí výrazně nižší.



Obr. 14: Jednotlivá napětí na nenabitých akumulátorech

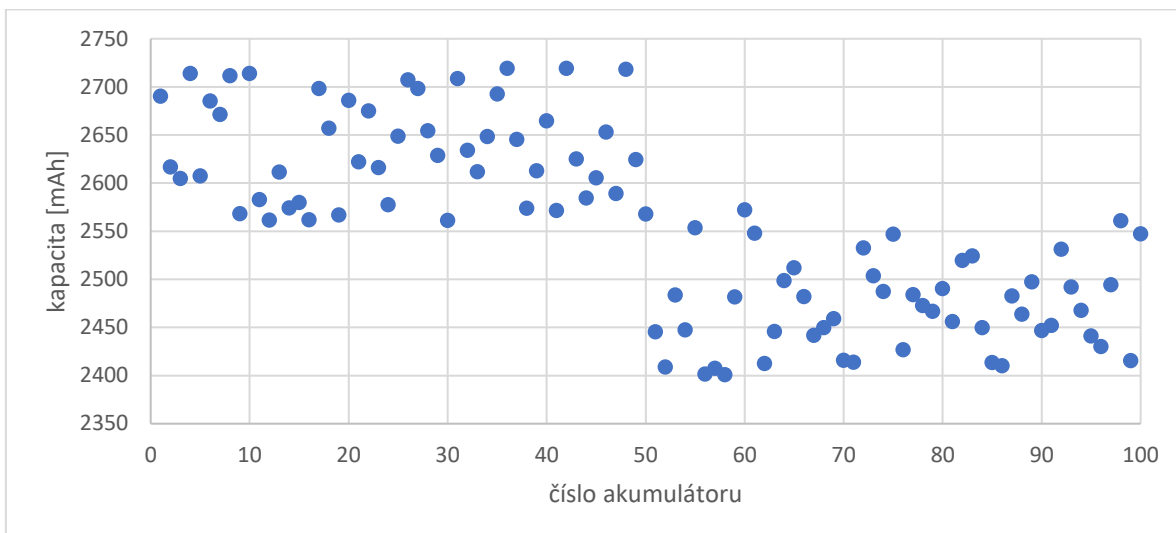
Díky tomu nemusí být žádné akumulátory vyřazeny a může se přistoupit k jejich nabití. Nabíjení bude prováděno pomocí stabilizovaného zdroje napětí. Nabíjecí napětí bude 4,2 V a proud bude nastaven na hodnotu 1,0C, tedy 2,6 A. Po nabití všech akumulátorů bylo přistoupeno k druhému měření napětí. Akumulátory se před měřením nechaly opět dva dny volně stát. Po následném změření všech akumulátorů bylo zjištěno, že se jednotlivá napětí liší pouze o 0,05 V bez ohledu na to, z jakého akupacku byli vytaženi, jak je možné vidět na *Obr. 15*. Jednotlivá napětí se pohybovala od 4,15 V do 4,2 V.



Obr. 15: Jednotlivá napětí na nabitých akumulátorech

2.1.2. Měření kapacity akumulátorů

Poté bylo přistoupeno k měření kapacity. Kapacita byla určena pomocí testeru HW-586. Na tomto testeru byl nastaven vybíjecí proud na hodnotu 1,0C, tedy 2,6 A. Tento vybíjecí proud byl dán dvěma paralelně zapojenými odpory o hodnotě 2,7 Ω , které sloužilo jako vybíjecí zátěž. Tester měřil napětí, čas a vybíjecí proud do doby, než pokleslo napětí na námi stanovenou mez 2,75 V. Hodnota 2,75 V byla nalezena v datasheetu akumulátoru jako hraniční hodnota, pod kterou se akumulátor nedoporučuje vybíjet. Poté se pomocí vzorce (1.3) určila kapacita akumulátoru. Měření bylo provedeno u všech zbývajících akumulátorů a byly tak zjištěny jednotlivé kapacity.



Obr. 16: Jednotlivé kapacity akumulátorů

Po tomto měření bylo zjištěno, že je jasná souvislost mezi kapacitou akumulátoru a tím, z jakého akupacku byl akumulátor vytažen. Historie ani stáří jednotlivých akupacků není známa, ale lze předpokládat, že druhý akupack byl buď starší anebo u něj bylo provedeno více cyklů nabití. Jak je z Obr. 16 možné vidět, akumulátory z druhého akupacku mají průměrně o 220 mAh menší kapacitu. Také je překvapivé, že některé akumulátory mají větší kapacitu než udávanou, tedy 2600 mAh, a to více jak o 100 mAh. Také je možné říct, že žádný z měřených akumulátorů nevykazuje výrazně nižší kapacitu oproti ostatním. Na Obr. 17 je možné vidět měření kapacity pomocí testeru HW-586.



Obr. 17: Měření kapacity pomocí testeru HW-586

2.1.3. Opětovné použití akumulátorů

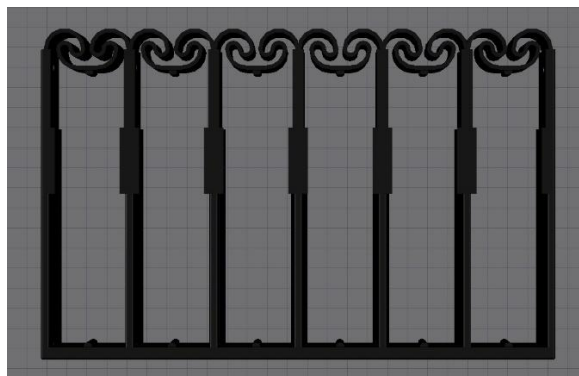
Po změření kapacity akumulátorů se mohlo přistoupit k jejich opětovné aplikaci. Bylo zjištěno, že všech sto měřených akumulátorů je možné znovu použít. Akumulátory vytažené z prvního akupacku měly průměrnou kapacitu 2651 mAh. Akumulátory z druhého akupacku měly průměrnou kapacitu 2488 mAh. Zapojení bylo realizované tak, že se vytvořily skupiny dvanácti článků, které byly spojeny paralelní vazbou. Následně se spojily tyto čtyři skupiny sériovou vazbou. Vznikla skupina čtyřiceti osmi akumulátorů a jejich výsledné výstupní napětí mělo hodnotu 14,8 V. Výsledné napětí bylo zvoleno s ohledem na další použití v přenosném záložním zdroji. Takovéto skupiny byly použity dvě. Každá z těchto skupin měla vlastní ochranný a balanční obvod a skupiny byly spojeny paralelní vazbou.

V jedné skupině o 48 člancích byly použity akumulátory s průměrnou kapacitou 2651 mAh, ve druhé skupině akumulátory o průměrné kapacitě 2488 mAh. Zachovaly se tedy původní skupiny akumulátorů. Rozdílná kapacita byla kompenzována paralelním zapojením těchto skupin.

2.1.4. Výroba držáku na akumulátory

Původní záměr byl takový, že se akumulátory poskládají do univerzálních držáků určených pro akumulátory 18650. Takovéto držáky jsou levné a dají se poskládat do libovolného tvaru. Dále by se akumulátory zapojily do výše zmíněných skupin a k jejich propojení by se provádělo opět za pomoci propojovacích plechů. Takovéto zapojení je výhodné z mnoha důvodů. Jedná se především o bezproblémový, stálý a pevný kontakt a také vysokou proudovou zatížitelnost takového propojení. Ale nese to také velkou nevýhodu, a to takovou, že nelze vyměnit nebo změřit jednotlivé akumulátory bez toho, aniž by byl spoj nenávratně zničen. Vzhledem k tomu, že u tohoto použití bude proudová zátěž na jednotlivé akumulátory velice malá, akumulátory jsou starší a nelze přesně určit jejich další životnost, tak se nabízí možnost použít držáky, z kterých lze akumulátory vyjmout a bez poškození vrátit. Takovéto držáky jsou na trhu k dispozici, ale vzhledem k velkému počtu použitých článků by to celou stavbu zdroje výrazně prodražilo. Proto bylo přistoupeno k výrobě vlastního držáku za pomoci 3D tisku. Držák je navržený tak, aby z něj bylo možné vyjmout jednotlivé akumulátory a zajišťoval dostatečně dobrý kontakt pro naše potřeby.

Na *Obr. 18* je zobrazený návrh držáku za pomoci programu AutoCAD.



Obr. 18: Návrh držáku na 6 kusů akumulátorů 18650

Držák byl vytištěn na 3D tiskárně z materiálu PLA. Tento materiál je velice dobře tisknutelný a má dostatečnou pružnost na to, aby byl zajištěn správný kontakt. Pro propojování sloužil měděný vodič, který byl přitlačován na kontaktní plochu akumulátoru. Na *Obr. 19* je vytištěný držák s vloženými akumulátory.



Obr. 19: Vytištěný držák na 6 kusů akumulátorů 18650

Jelikož měl plánovaný akupack obsahovat 96 akumulátorů, bylo potřeba 16 kusů těchto držáků. Po vytisknutí a osazení držáků bylo potřeba navrhnout rám, do kterého by se jednotlivé držáky osadily tak, aby vzniknul jeden celek. Rám se skládal ze dvou částí. Do spodní části byly vloženy jednotlivé držáky. Horní část rámu byla spojena se spodní pomocí osmi závitových tyčí o průměru 5 mm. Díky tomu bylo zajištěno pevné spojení všech držáků a také byl zvýšen tlak na jednotlivé kontakty akumulátorů. Jelikož byly akumulátory v těsné blízkosti, bylo potřeba zajistit jejich chlazení kvůli případnému zvýšení teploty při nabíjení. To bylo zajištěno pomocí větracích drážek v obou rámech. Tím se zajistil průtok vzduchu mezi akumulátory pro případné chlazení. Takovýto celek už byl hotový akupack, se kterým se dále pracovalo. Na *Obr. 20* je zobrazen návrh rámu, do kterého byly jednotlivé držáky osazeny. Na *Obr. 21* je zobrazen hotový akupack.



Obr. 20: Návrh rámu

Parametry akupacku:

- **výstupní napětí 11 V až 16,8 V**
- **kapacita 256 950 mAh při 3,7 V tedy 950 Wh**
- **maximální poskytovaný proud 60 A**
- **vestavěná funkce omezení nabíjecího a vybíjecího proudu**
- **hmotnost 4,6 kg**
- **rozměry (v x š x d) 105 x 140 x 265 mm**



Obr. 21: Hotový akupack

2.1.5. Ochranný a balanční obvod

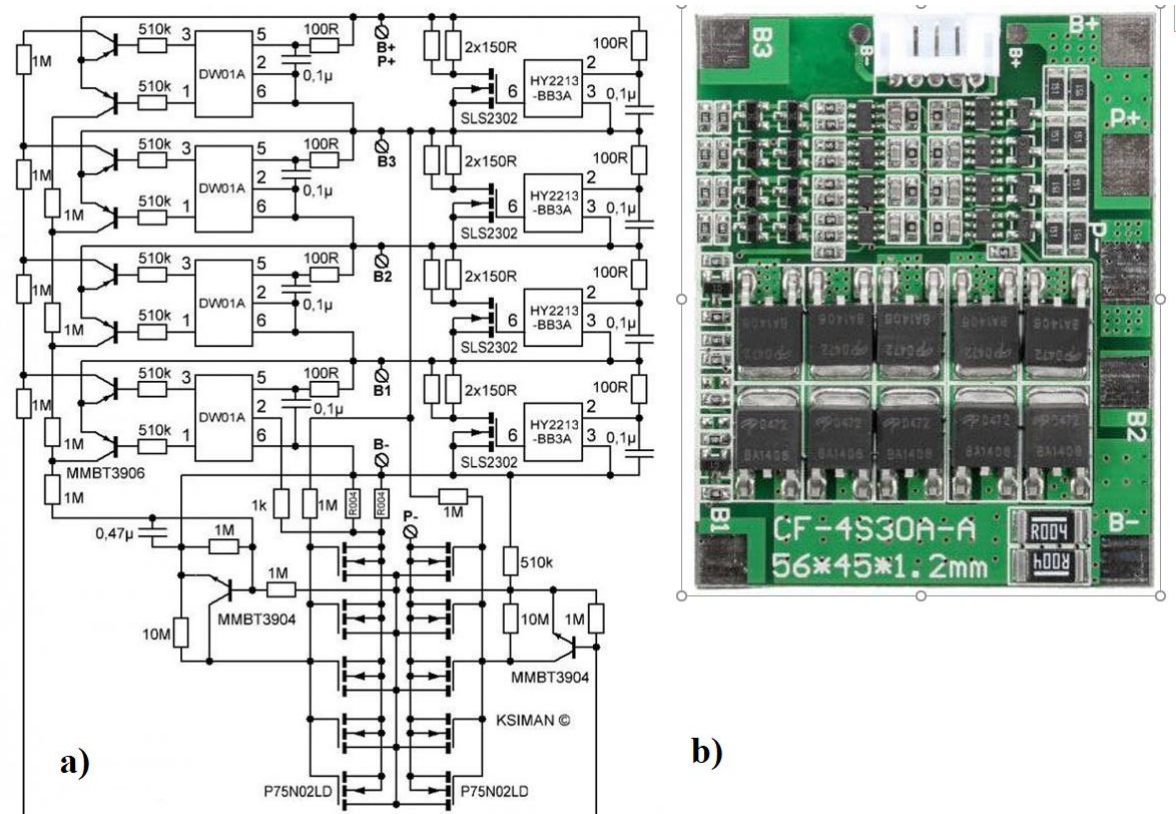
Pro zajištění dlouhé životnosti akumulátorů bylo potřeba zajistit, aby se jejich pracovní napětí pohybovalo v rozmezí, které udává výrobce. Toto napětí je k nalezení v datasheetu. Akumulátory použité v této práci mají spodní hranici pro vybití 2,75 V a horní hranici pro nabití 4,2 V. Úkolem balančního obvodu je vybalancovat hodnotu elektrického napětí jednotlivých článků a také zajistit, aby nebyla překročena hraniční napětí. Takovéto balancování se uplatňuje u článků, které jsou spojeny sériovou vazbou. Zároveň bude použitý obvod sloužit jako proudová pojistka jak pro vybíjecí proud, tak pro nabíjecí proud, jelikož je v této aplikaci zásadní, aby z jednotlivých akumulátorů nebyl odebírán příliš velký proud. Odběr příliš vysokého proudu by mohl mít za následek zahřátí kontaktu akumulátoru a následné zničení držáku.

V této aplikaci tvořilo základní skupinu dvanáct akumulátorů, které byly spojeny

paralelní vazbou. Takovéto čtyři vzniklé skupiny byly k sobě připojeny sériově. Bylo potřeba zajistit, aby všechny akumulátory pracovaly se správným pracovním napětím. Proto bylo nutné kontrolovat napětí vždy na základní skupině dvanácti akumulátorů. Kvůli tomu byl zvolen balanční obvod, který umožňoval monitorovat čtyři různá napětí, tedy napětí na každé základní skupině. Zvolený ochranný a balanční obvod má označení CF-4S30A. V balančním obvodu jsou použity dva typy integrovaných obvodů.

Prvním obvodem je obvod s typovým označením HY2213 od firmy HYCON Technology. Jedná se o pasivní balancér, který monitoruje napětí na jednotlivých skupinách a v případě vyššího napětí na jedné ze skupin zapojí do obvodu k dané skupině paralelně vybíjecí rezistor, kde se část přebytečné energie přemění na teplo. Takovýto balancér snižuje celkovou účinnost, ale jeho zapojení je výrazně jednodušší než u balancéru aktivního.

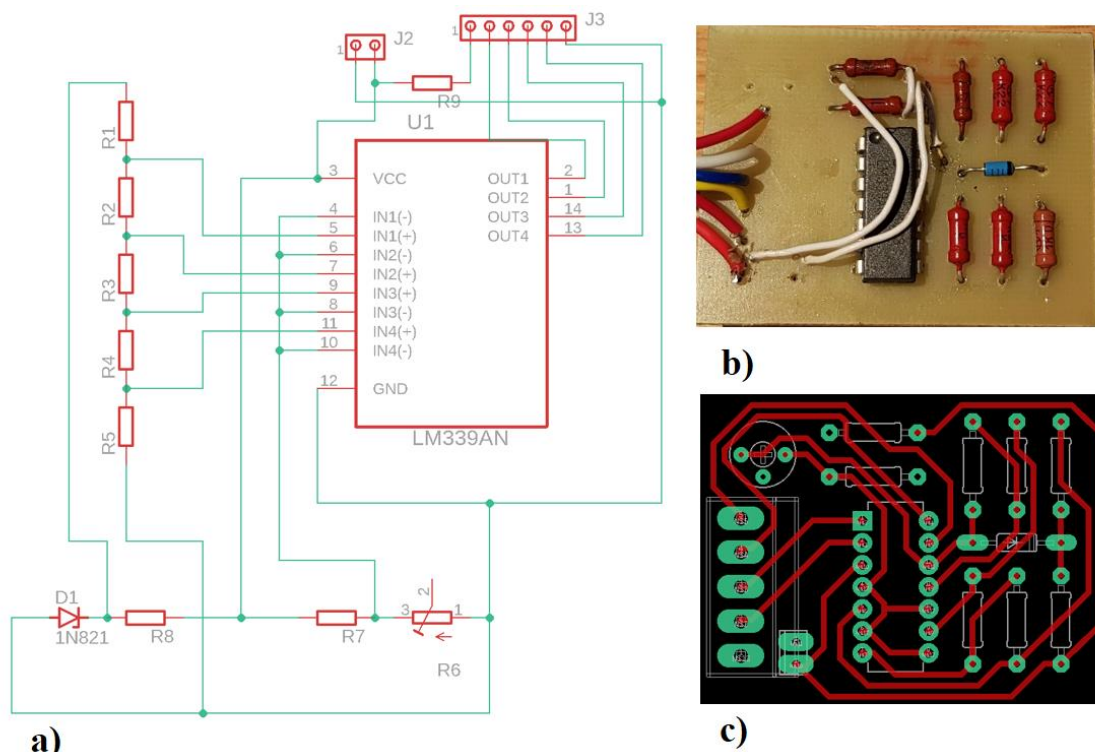
Druhý integrovaný obvod má typové označení DW01A a je vyroben firmou H&M Semiconductor. Tento obvod sleduje, jaké je na jednotlivých skupinách napětí a protékající proud. Po překročení mezních hodnot obvod zajišťuje odpojení od zátěže nebo zdroje dobíjení. Maximální hodnota zatížení všech čtyř skupin je 30 A. Jako elektronický spínač slouží osm MOSFET tranzistorů. Schéma použitého ochranného a balančního obvodu je uvedeno na *Obr. 22*. Tento ochranný a balanční obvod se vyskytuje v akupacku dvakrát, každý z obvodů byl použitý vždy na skupinu čtyřiceti osmi akumulátorů. Tyto dvě skupiny jsou k sobě připojeny paralelně. Jelikož má jedna skupina větší kapacitu než druhá, může nastat situace, že při vybíjení nebo nabíjení se odpojí skupina s menší kapacitou od zdroje nebo od zátěže dříve než skupina s kapacitou větší. Tato vlastnost není ke škodě, protože odebíraný proud z jednotlivých skupin bude maximálně 8 A a proud, který dokážou poskytnout akumulátory, bude několikanásobně vyšší. Z toho důvodu nedojde v případě odpojení jedné skupiny při vybíjení k výraznému poklesu napětí na skupině druhé a umožní pozvolné vybití skupiny s kapacitou vyšší. [18, 19]



Obr. 22: a) Schéma ochranného a balančního obvodu, b) deska ochranného a balančního obvodu (převzato z [17])

2.1.6. Indikátor nabití akumulátoru

Dalším potřebným obvodem byl indikátor nabití. Na přenosném záložním zdroji byla použita pětistupňová indikace. Tento obvod byl realizován pomocí integrovaného obvodu LM339AN, jednalo se o čtyři přesné komparátory ve společném pouzdře PDIP14. Jako zdroj referenčního napětí byla použita Zenerova dioda, stabilizované napětí bylo přivedeno na odporový dělič R1 až R5. Tento dělič generoval řadu referenčních napětí, která byla přivedena na neinvertující vstupy čtyř komparátorů. Napájecí napětí za děličem R6, R7 bylo přivedeno na invertující vstupy. Když napětí na invertujícím vstupu překročilo napětí na neinvertujícím vstupu, tranzistor na výstupu se otevřel a rozsvítil odpovídající LED diodu. Rezistor R9 sloužil k omezení napájecího proudu pro LED diody. Jako poslední stupeň indikace byla použita stále svítící LED dioda. Tím se zvýšil počet úrovní indikace na pět. Schéma uvedeného indikátoru je znázorněné společně s návrhem DPS a osazenou deskou na Obr. 23.



Obr. 23: a) Schéma indikátoru nabití, b) Osazené deska, c) Návrh DPS

2.2. Aplikace DC/DC měničů

Pro napájení malých přenosných zařízení se využívají DC/DC měniče. Tyto měniče umožňují změnu napětí z původní hodnoty, která kolísá od 11 V do 16,8 V podle aktuálního stavu nabití akumulátorů.

Prvním druhem měniče je step-down DC/DC měnič. Takovýto měnič má za úkol snižovat napětí na požadovanou hodnotu oproti napětí napájecímu. U přenosného záložního zdroje byl využit na napájení zařízení, která se připojují ke zdroji přes konektor USB. Hodnota napájecího napětí pro takovéto zařízení je 5 V. Tato hodnota napětí byla pevně nastavena.

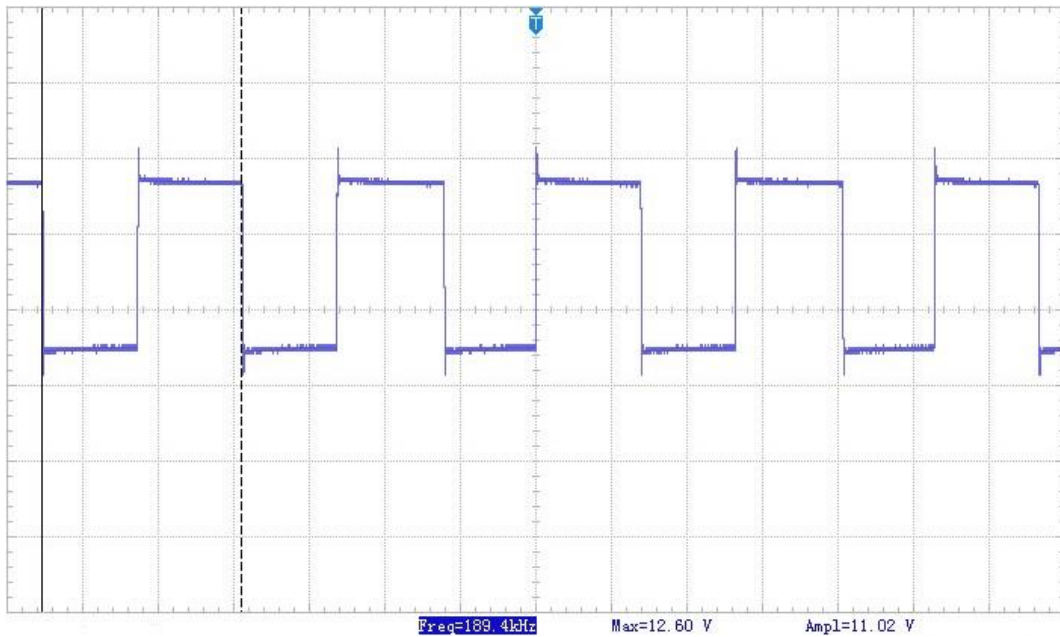
Druhým druhem měniče je step-up DC/DC měnič. Jako jediný z DC/DC měničů neslouží pro výstupní napětí, ale naopak zvyšuje napětí vstupní, a to napětí 12 V z palubní sítě automobilů, které bude zvyšovat na 17 V. Toto napětí umožní dobíjení akumulátoru v přenosném záložním zdroji. Také u tohoto měniče byla hodnota výstupního napětí neměnná. Zároveň tento měnič umožňuje použít pro nabíjení fotovoltaický panel, který bude

mít maximální dodávané napětí 17 V.

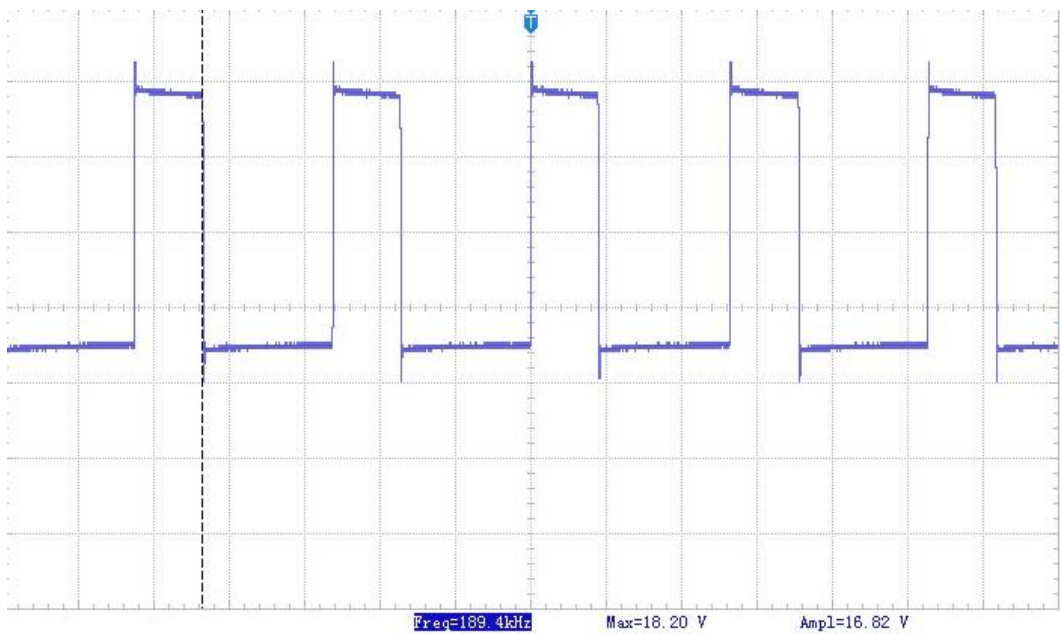
Dalším druhem použitého měniče je step-down/step up DC/DC měnič. Tento měnič umožňuje jak snižování, tak i zvyšování výstupního napětí oproti napětí napájecímu. Takovéto napětí je plně nastavitelné a v přenosném záložním zdroji je využíváno k napájení notebooků, které používají pro své nabíjení velkou škálu různých napětí.

2.2.1. Výroba step-down DC/DC měniče

Základem step-down DC/DC měniče je řídicí obvod XL4015 od výrobce XLSEMI. Při návrhu se vycházelo z doporučeného zapojení, které udává výrobce v datasheetu. Obvod XL4015 je typickým zástupcem obvodů pro DC/DC měniče. Princip řízení je založený na PWM regulaci. Řídicí obvod PWM je schopen upravit pracovní poměr lineárně od 0 do 100 %. Řízení probíhá tak, že obvod vytváří referenční napětí, pro které platí, že U_{REF} je menší než U_{IN} . Referenční napětí mělo v našem případě hodnotu 1,25 V, proto výstupní napětí nemohlo mít nižší hodnotu než toto napětí. Pomocí odporového děliče bylo přivedeno napětí na invertující vstup operačního zesilovače. Operačním zesilovačem bylo napětí odečteno od U_{REF} . Vzniklou odchylku operační zesilovač zesílil. Zesílená odchylka byla přivedena na invertující vstup komparátoru. Komparátor porovnal pilový signál, který měl danou frekvenci 180 kHz z oscilátoru se zesílenou odchylkou. Takto komparátor generoval PWM signál pro ovládání výkonových tranzistorů. Tento signál dále putoval přes ovládací obvod proudového omezení, který v případě přetížení snížil frekvenci na 48 kHz. Na *Obr. 24* je blokové schéma vnitřního zapojení obvodu XL4015. [20]



Obr. 25: PWM modulace, vstupní napětí 11 V

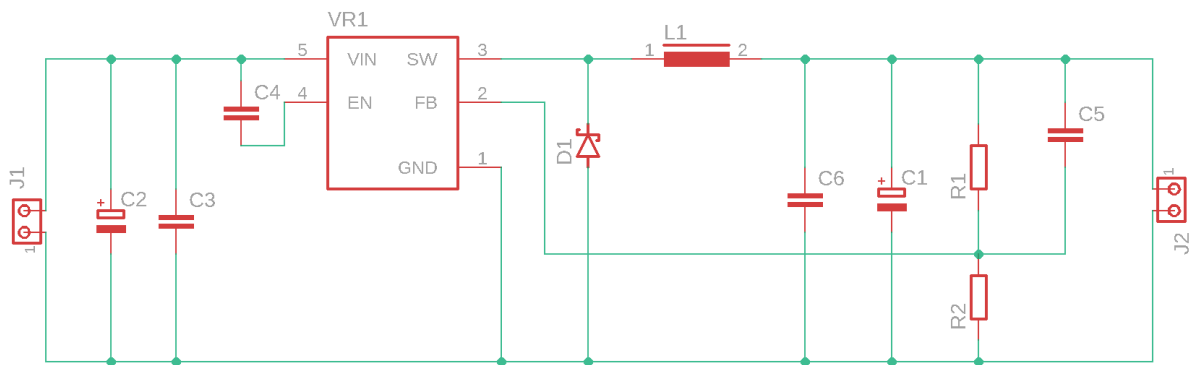


Obr. 26: PWM modulace, vstupní napětí 16,8 V

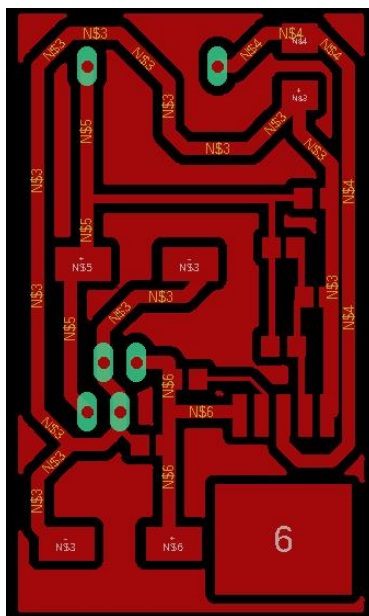
Parametry obvodu:

- vstupní napětí 8 V až 36 V
- výstupní napětí 5 V
- spínací frekvence 180 kHz / 48 kHz
- maximální poskytovaný proud 5 A

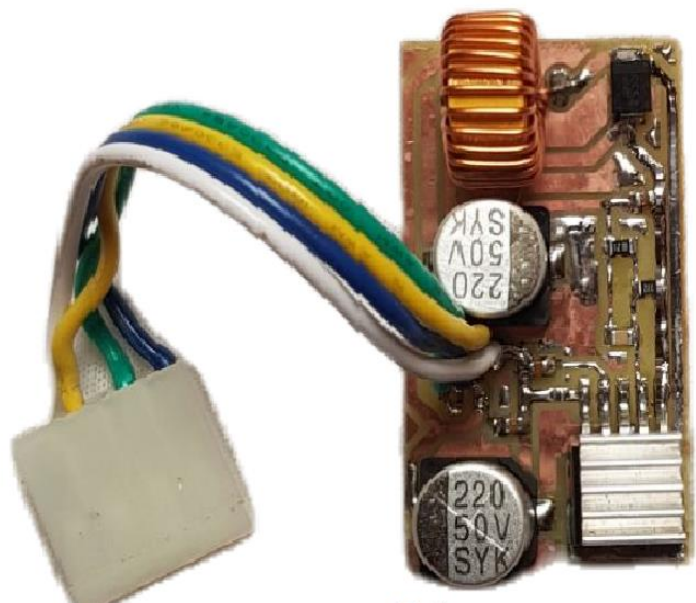
- účinnost 96 %
- vestavěná tepelná ochrana
- vestavěná funkce omezení proudu
- pouzdro TO263-5L



Obr. 27: Schéma step-down DC/DC měniče



a)



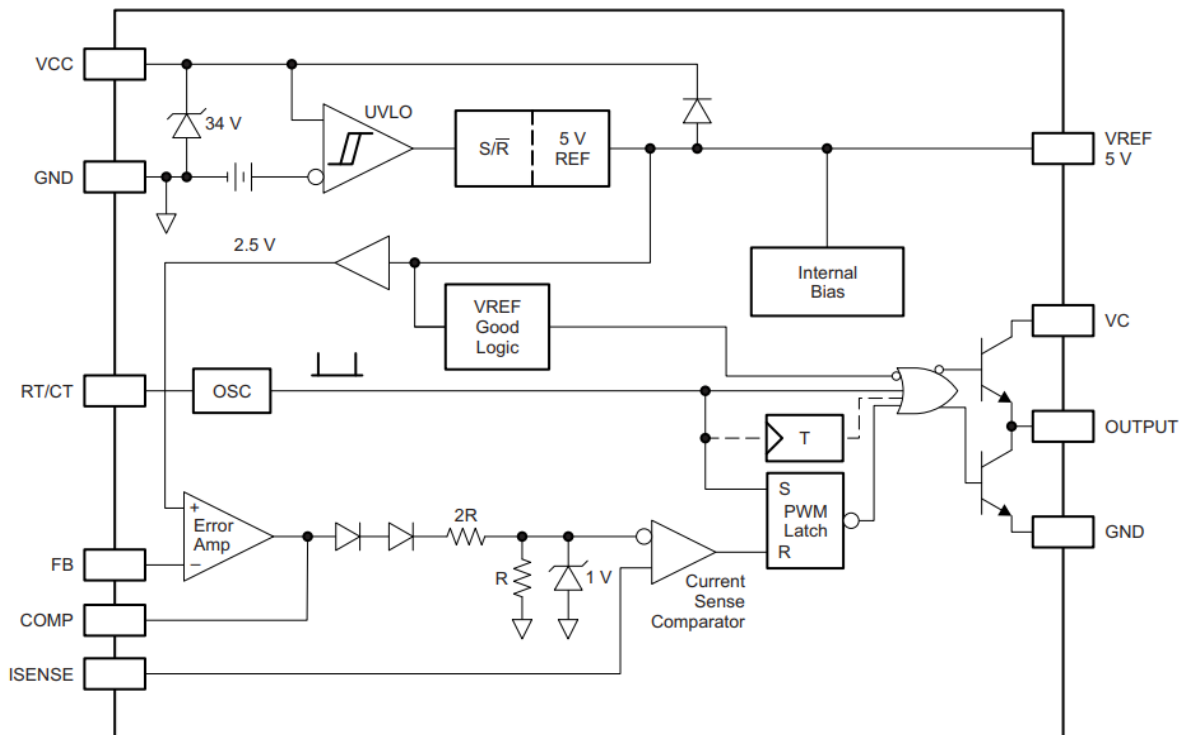
b)

Obr. 28: a) Návrh DPS step-down DC/DC měniče, b) Hotový step-down DC/DC měnič

2.2.2. Výroba step-up DC/DC měniče

V tomto měniči byl použit jako řídicí obvod UC3843AN od firmy Texas Instruments. Narozdíl od předchozího obvodu je řízení založené na metodě snímání špičkového proudu

protékajícího cívkou. Dále nemá pevně danou spínací frekvenci, ale tuto frekvenci je možné nastavit pomocí externích součástek. Na Obr. 29 je znázorněné blokové schéma obvodu UC3843AN. Proud cívkou je snímán pomocí pinu INSENCE. Tento vstup vede na proudový snímací komparátor, který detekuje nadproud měřením napětí na bočníku a porovnává toto napětí se vstupní úrovní prahového napětí. Stejně jako u předchozího obvodu je nastaveno výstupní napětí pomocí pinu FB. Princip řízení je shodný s popisem, který je zmíněn u předchozího obvodu.



Obr. 29: Blokové schéma vnitřního zapojení obvodu UC3843AN (převzato z [21])

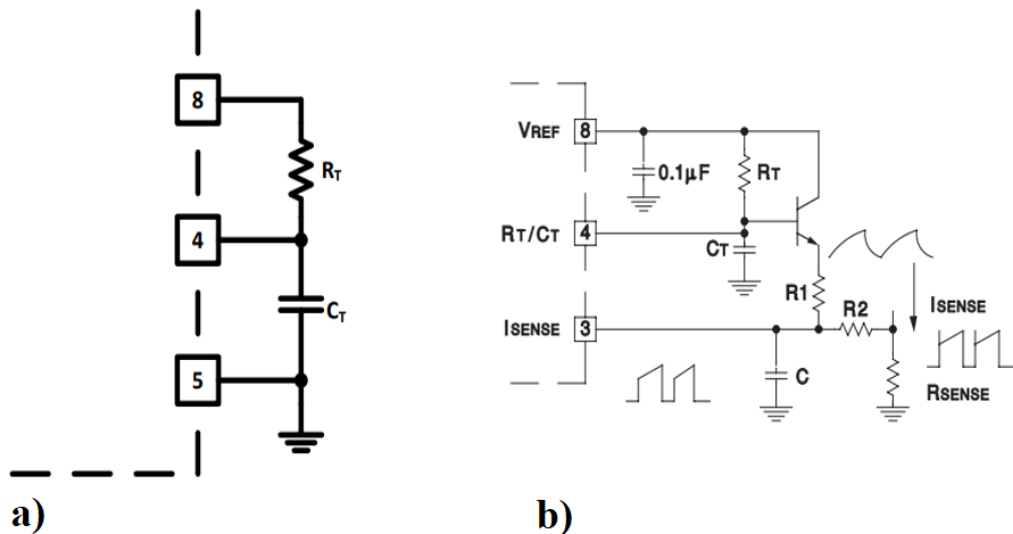
Frekvence vnitřního oscilátoru byla nastavena pomocí zapojení rezistoru R_T a kondenzátoru C_T mezi piny 8, 4 a 5. Rezistor R_T musí mít hodnotu větší než $5 \text{ k}\Omega$. Pro výslednou frekvenci platí následující vztah.

$$f_{SV} = \frac{1,72}{R_T * C_T} \quad (2.2)$$

Pro danou aplikaci je použita frekvence $f_{SV} = 120 \text{ kHz}$. Tato frekvence byla zvolena jako rozumný kompromis mezi účinností a malými rozměry. Pro dosažení této frekvence byly použity hodnoty $R_T = 15 \text{ k}\Omega$ a $C_T = 2 \text{ nF}$. Po dosazení do vzorce (2.2) byla získána

výsledná frekvence 114667 Hz.

Pro zvýšení citlivosti proudové ochrany a snížení ztrát napětí na proudovém senzoru byl přidán sledovač emitoru na tranzistoru, který kompenzoval signál z proudového senzoru. Kondenzátor C společně s rezistorem R2 tvořil filtr potlačení špiček, které vznikaly při spínání výkonových tranzistorů. Na Obr. 30 je schéma zapojení R_t a C_t pro nastavení frekvence vnitřního oscilátoru a řídicího vstupu.



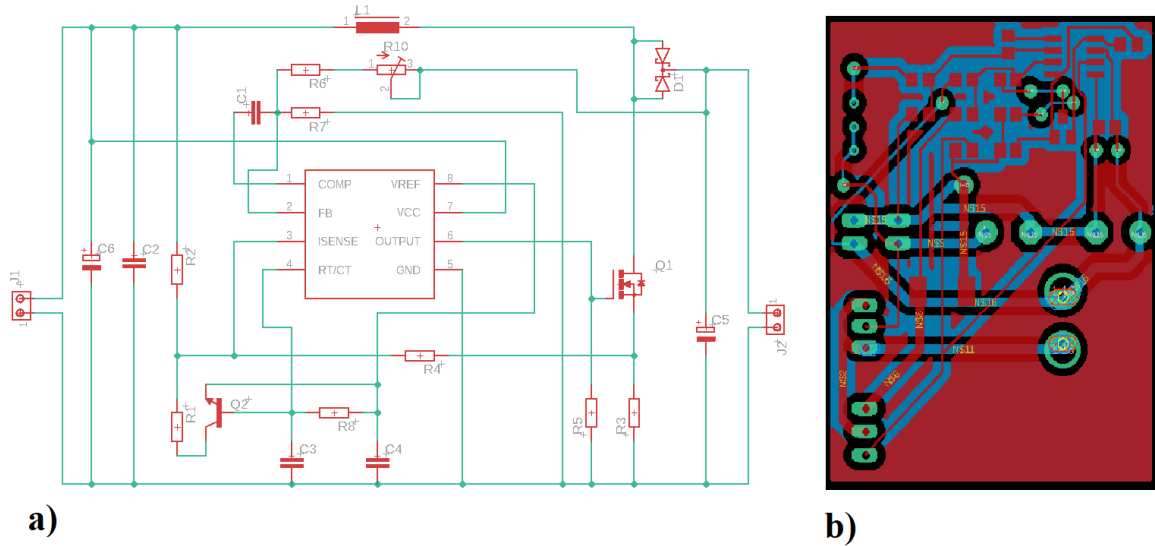
Obr. 30: a) Schéma zapojení řídicího obvodu pro oscilátor, b) Zdokonalené schéma zapojení řídicího obvodu pro oscilátor společně s řídicím vstupem (převzato z [21])

Hodnoty použitých součástek byly vypočítány pomocí návrhového systému od firmy Texas Instruments. Tento návrhový systém vychází z doporučeného zapojení pro obvod UC3843AN a výchozích hodnot pro vstupní napětí, výstupní napětí a maximální dodávaný proud. Schéma a návrh DPS byl opět vytvořen v programu EAGLE 9.5.2. Návrh DPS a schéma jsou zobrazeny na Obr. 31. Na Obr. 32 je možné vidět hotový DC/DC měnič.

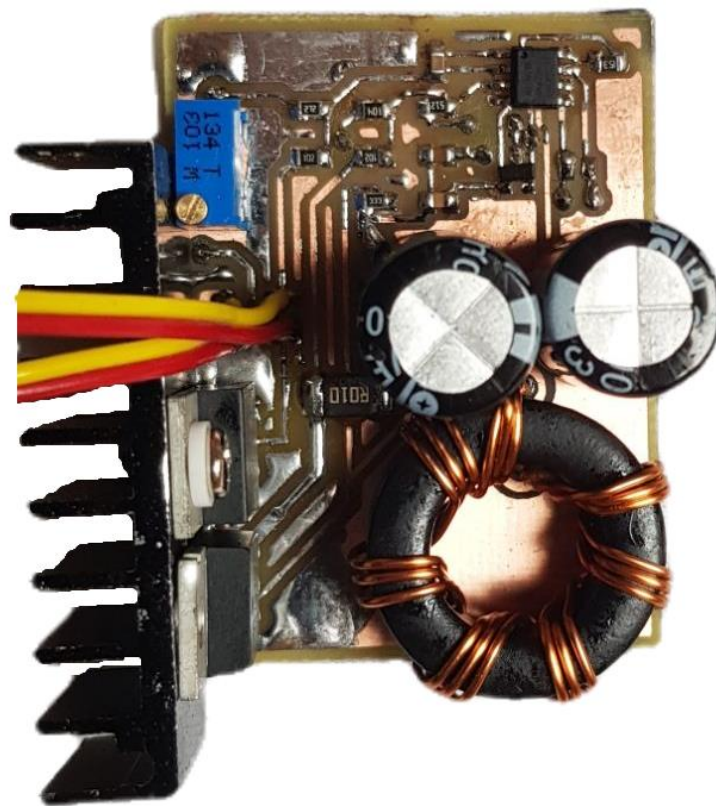
Parametry obvodu:

- vstupní napětí 10 V až 15 V
- výstupní napětí 17 V
- spínací frekvence 120 kHz
- maximální poskytovaný proud 4 A
- účinnost 88 %

- vestavěná tepelná ochrana
- vestavěná funkce omezení proudu
- pouzdro SOIC8



Obr. 31: a) Schéma zapojení DC/DC měniče s obvodem UC3843AN, b) Návrh oboustranné DPS

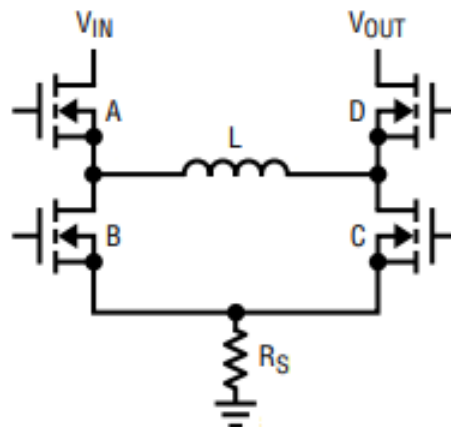


Obr. 32: Hotový step-up DC/DC měnič

2.2.3. Výroba step-up/step-down DC/DC měniče

Jako poslední měnič byl zvolen hotový modul s typovým označením HT201605045J s řídicím obvodem LTC3870 od firmy ANALOG DEVICES. Plošný spoj byl vyroben firmou TENSTAR Robot. Hotový modul se použil kvůli ceně samostatného řídicího obvodu. Cena tohoto obvodu byla stejná jako cena kompletně osazeného modulu. Tento modul je opět navržený podle doporučeného zapojení výrobce. Navíc obsahoval regulaci výstupního proudu a je u něj možné nastavit minimální hodnotu napájecího napětí, při které se automaticky odpojí od zátěže.

Obvod LTC3870 je dalším zástupcem řídicích obvodů, které jsou řízeny pomocí metody snímání špičkového proudu protékajícího cívkou. Princip řízení tedy zůstává stejný jako v předchozím případě. Ovšem tento obvod kombinuje funkci jak snižujícího, tak zvyšujícího DC/DC měniče. Toto zapojení je výhodné pro svoji univerzálnost vstupních a výstupních napětí. Realizace spínání je řešena pomocí čtyř výkonových tranzistorů. Díky tomu mohl měnič plynule přecházet mezi režimy buck, boost a buck/boost. Při provozu měniče s malou zátěží je obvod vybaven třemi režimy provozu popsány níže. Na *Obr. 33* je schéma zapojení výkonových tranzistorů v zapojení s cívkou. [22]

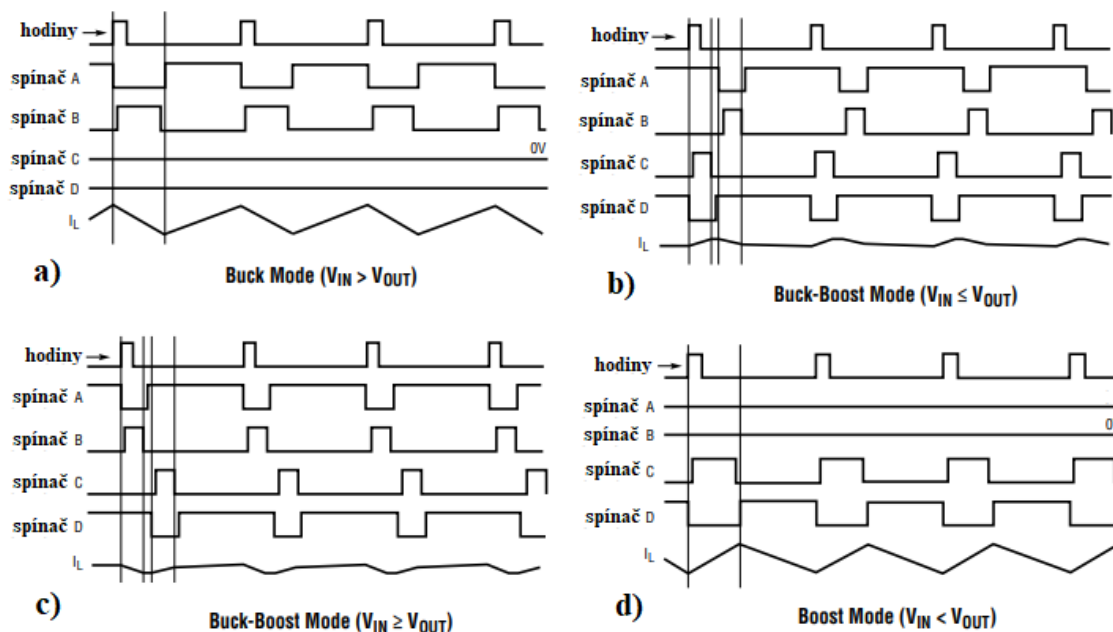


Obr. 33: Schéma zapojení spínačů (převzato z [22])

Toto zapojení umožňuje přecházet mezi režimy vhodným sepnutím spínačů. Pomocí bočnicku R_S je měřen proud, který protéká cívkou.

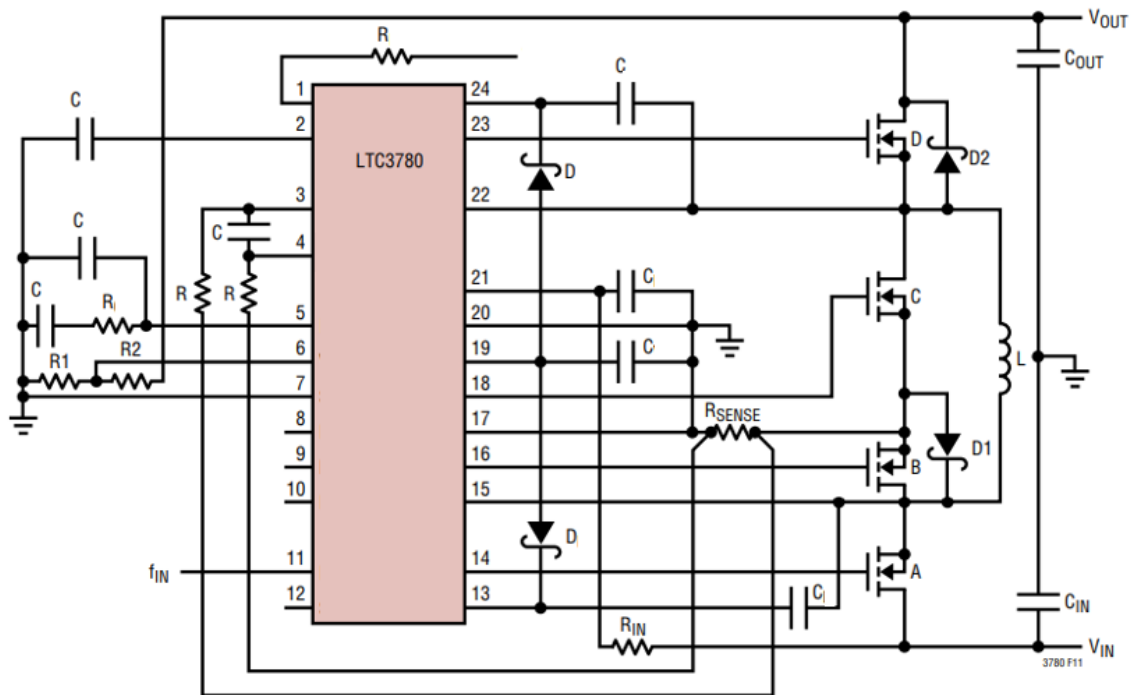
Obvod porovnává napětí, které je na vstupu a výstupu a podle poměru volí spínací

sekvence jednotlivých spínačů. Na *Obr. 34* lze vidět jednotlivé módy spínání pro různé poměry napětí.



Obr. 34: Jednotlivé módy spínání (převzato z [22])

V zakoupeném obvodu, který byl použit v této práci, vycházelo zapojení z doporučeného zapojení výrobce. Schéma doporučeného zapojení je uvedené na *Obr. 35*.



Obr. 35: Schéma doporučeného zapojení výrobcem (převzato z [22])

Řídicí obvod nabízí 4 možné režimy provozu:

1) Vynucený nepřetržitý režim

Pokud je napětí na pinu FCB nižší než 0,75 V, je zapnutý nepřetržitý PWM režim. V režimu boost je spínač A stále zapnutý. Spínač C a synchronní spínač D jsou střídavě spínány pro udržení výstupního napětí. Každých deset cyklů je spínač A vypnut na přibližně 300 ns, aby bylo umožněno dobití kondenzátoru C_A .

Tento režim se uplatňuje u spojitých odebíraných proudů. Měnič pracuje za pomoci PWM regulace. Pracuje tedy ve stejném režimu jako předcházející měniče. Nevýhodou tohoto režimu je vyšší spotřeba odebíraného proudu naprázdno. V režimu buck je naopak stále sepnutý spínač D. Spínač A a synchronní spínač B jsou střídavě zapínány pro udržení výstupního napětí. Každých deset cyklů je synchronní spínač D vypnut asi na 300 ns, aby umožnil dobití C_B . Toto je nejméně efektivní provozní režim na malé zatížení, ale v některých aplikacích může být žádoucí. [22]

2) Režim přeskokování cyklů

Tento režim se používá v případě odběru malých proudů. Toho se dosahuje za pomoci

snížení spínaných ztrát. [22]

3) Režim DCM

Režim DCM je režimem nespojitého proudu. Stejně jako u předchozího režimu se používá pouze v případě odběru malých proudů. V tomto režimu je proud cívky nespojitý. V části periody proudu, který teče přes cívku, bude proud nulový.

V zakoupeném obvodu nebyl vývod FCB pro ovládání režimů zapojen. To znamená, že měnič fungoval pouze v prvním režimu. Choval se tedy stejně jako předchozí dva měniče. Jelikož záložní zdroj využíval měnič pouze v případě nabíjení, při kterém byl proudový odběr velký a řídicí obvod by tedy stejně pracoval v prvním režimu, byla ztráta funkce, kterou řídicí obvod nabízel pro nižší spotřebu v nezatíženém nebo jen málo zatíženém stavu, na škodu. Daný obvod fungoval bez potíží na první zapojení. Na obvodu byla udělaná jen malá úprava v podobě odstranění původního víceotáčkového trimru na ovládání výstupního napětí, který byl nahrazen potenciometrem. Tento potenciometr byl připojen k desce pomocí vícežilového kabelu a je umístěn na čelním panelu záložního zdroje. [22]

Parametry obvodu:

- vstupní napětí 5 V až 32 V
- výstupní napětí 1 V až 30 V
- spínací frekvence 250 kHz
- maximální poskytovaný proud 8 A
- účinnost až 98 %
- vestavěná funkce omezení proudu
- pouzdro SOIC24

2.3. Vnitřní zapojení přenosného záložního zdroje

Poté, co byly k dispozici všechny potřebné komponenty a obvody, mohlo být přistoupeno k návrhu vnitřního zapojení. Přenosný záložní zdroj bude obsahovat:

1) Zobrazovací prvky

- Voltmetr
- Ampérmetr
- LED diodu pro indikaci zapnutí

- LED diodu pro indikaci nabíjení
- Deset LED diod pro indikaci stavu nabití

2) Ovládací prvky

- Hlavní vypínač
- Potenciometr s vypínačem
- Spínač pro zapnutí indikace nabíjení

3) Výstupní a vstupní konektory

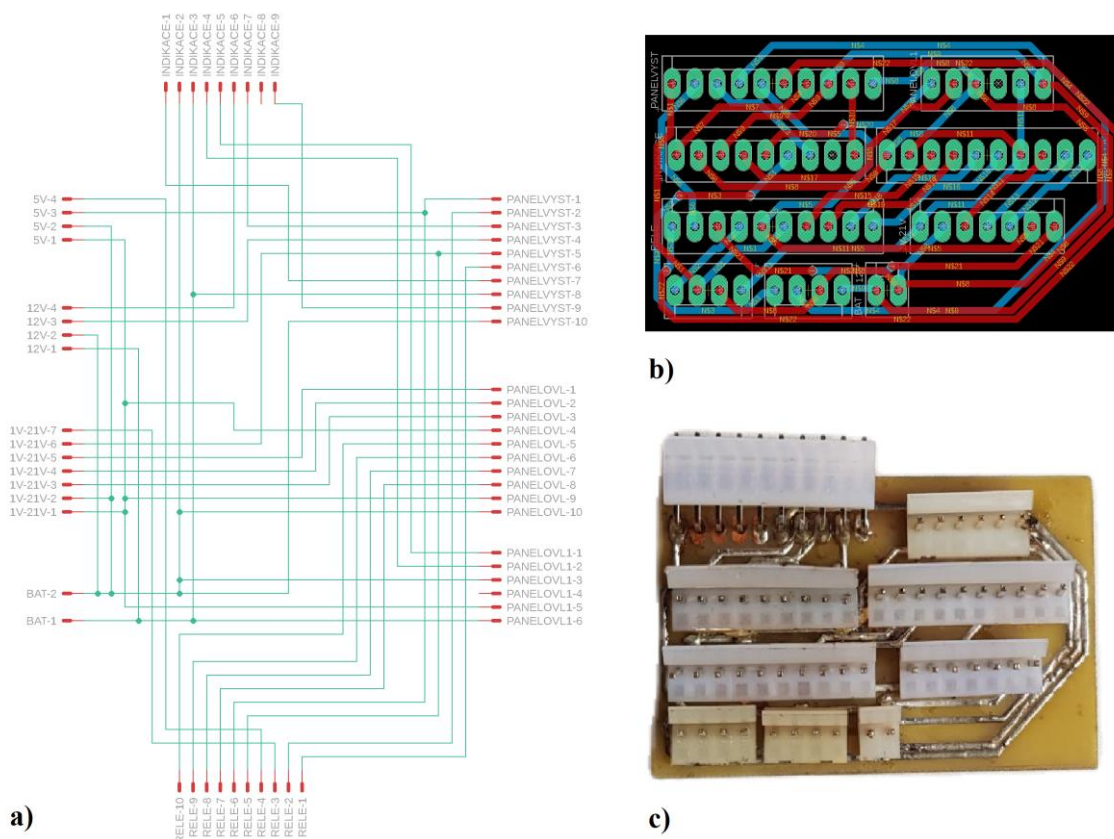
- Konektor pro výstup regulovaného napětí 0 V-21 V
- Čtyři USB konektory
- Konektor pro vstup 12 V a vstup pro napájení pomocí FV panelu
- Napájecí konektor

4) Obvody

- DC/DC měnič
- DC/DC měnič
- DC/DC měnič
- Obvod pro indikaci nabití
- Dva balanční a ochranné obvody
- Relé deska pro přepínání měření výstupu

O propojení všech částí se měla postarat propojovací deska. Schéma této desky je uvedeno na *Obr. 36*. Tato deska byla realizována pomocí oboustranného plošného spoje s měděnou vrstvou o tloušťce 35 mikronů. Na této desce byl převáděn proud z akumulátoru do dalších DC/DC měničů, proto bylo třeba myslet na dostatečnou šířku nejvíce zatěžovaných cest. Hodnota zatížení propojovací cesty je uvedena v tabulce zatížitelnosti DPS v Příloze A.

Maximální zatěžovací proud byl v tomto případě 8 A, proto byla zvolena šířka spoje 2,5 mm. Navíc byla hotová DPS pocínována a tím bylo maximální zatížení propojovací cesty navýšeno. Výstupní kontakty byly řešeny pomocí konektorů PSH04 od firmy Molex. Na *Obr. 36* je uvedeno schéma a návrh plošného spoje propojovací desky.



Obr. 36: a) Schéma propojovací desky, b) Návrh DPS, c) Hotová propojovací deska

2.4. Návrh a výroba skříně přenosného záložního zdroje

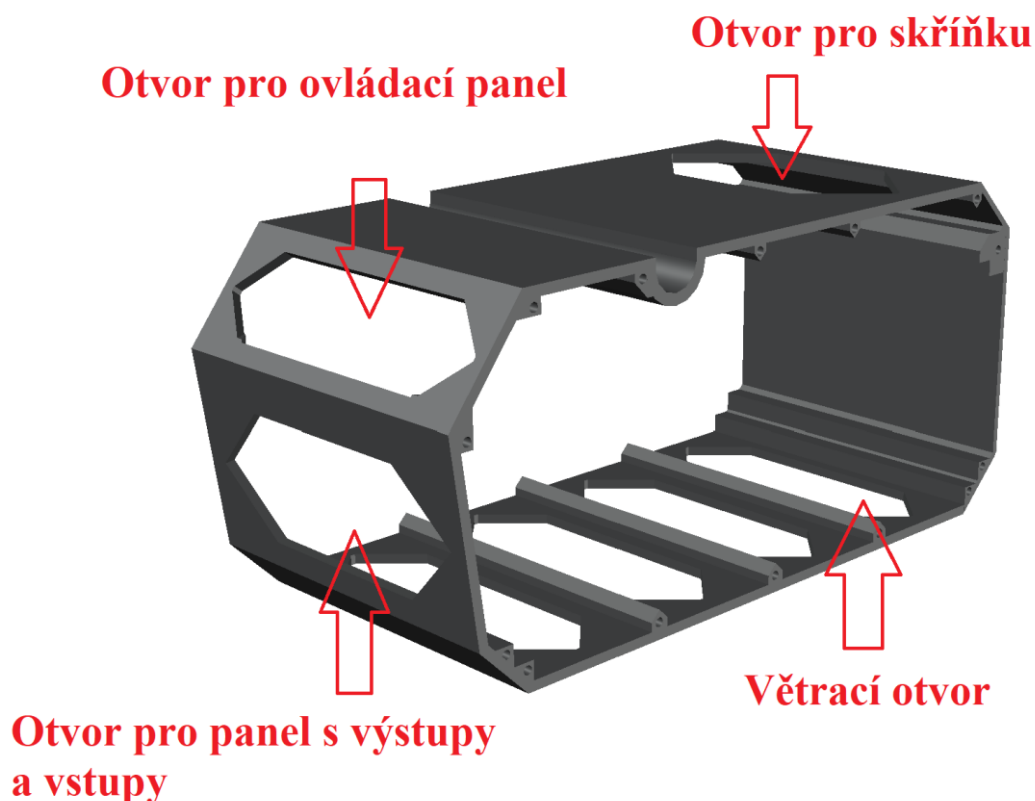
Posledním a neméně důležitým úkolem bylo navrhnout skříň přenosného záložního zdroje. V první řadě byly definovány parametry, které by měla tato skříň splňovat. Těmito parametry byly co největší kompaktnost a možnost snadného přenášení celého zařízení, dobře přístupné a viditelné ovládací a zobrazovací prvky, možnost vytisknutí všech částí za pomoci 3D tisku, dostatečná pevnost a tuhost celé konstrukce a jako poslední atraktivní vzhled. Jelikož se jedná o přenosné zařízení, jeho velikost by měla být co nejmenší, proto byla skříň navržena tak, aby po osazení všech částí bylo ve skříně opravdu jen málo volného místa.

2.4.1. Návrh a výroba těla skříně

Hlavní a největší součástí byl akupack, od kterého se odvíjely velikost a tvar celé skříně. Akupack měl tvar kvádra, který měl 265 mm na délku, 140 mm na šířku a 105 mm na výšku.

Jako první se tedy navrhlo tělo skříně, do které bylo možné tento akupack vložit. Zároveň bylo vytvořeno v těle několik otvorů. V přední části byl umístěn otvor pro panel s výstupy a vstupy záložního zdroje a otvor pro panel s ovládacími a zobrazovacími prvky. Na spodní části bylo několik větracích otvorů. V horní části byl otvor pro schránku na příslušenství a výřez pro madlo. Na *Obr. 37* je vidět návrh těla skříně, které už je připravené na tisk. Tělo má rozměry 300 mm na délku, 140 mm na šířku a 140 mm na výšku. Dále bylo po obvodu těla vytvořeno dvacet osm otvorů, z každé strany čtrnáct, pro přidělení bočnic skříně. Tyto otvory měly průměr 3 mm. Do těchto otvorů byly šroubovány vruty, které měly zajišťovat pevný spoj těla skříně a bočnic.

Tisk takhle velkého objektu sebou nesl značné komplikace, především nastávalo ve výtisku velké pnutí kvůli tepelné roztažnosti materiálu, a to mělo za následek prohýbání, které mohlo způsobit odlepení výtisku od podložky tiskárny ještě před samotným dokončením tisku. Proto byl zvolen materiál PETG, který je pro větší výtisky vhodnější než PET, navíc je více pružný a lépe odolává nárazům. Samotný tisk těla trval třicet jedna hodin. Hotový výtisk zobrazený na *Obr. 38* má malé povrchové vady, které byly později zabroušeny.



Obr. 37: Návrh těla skříně

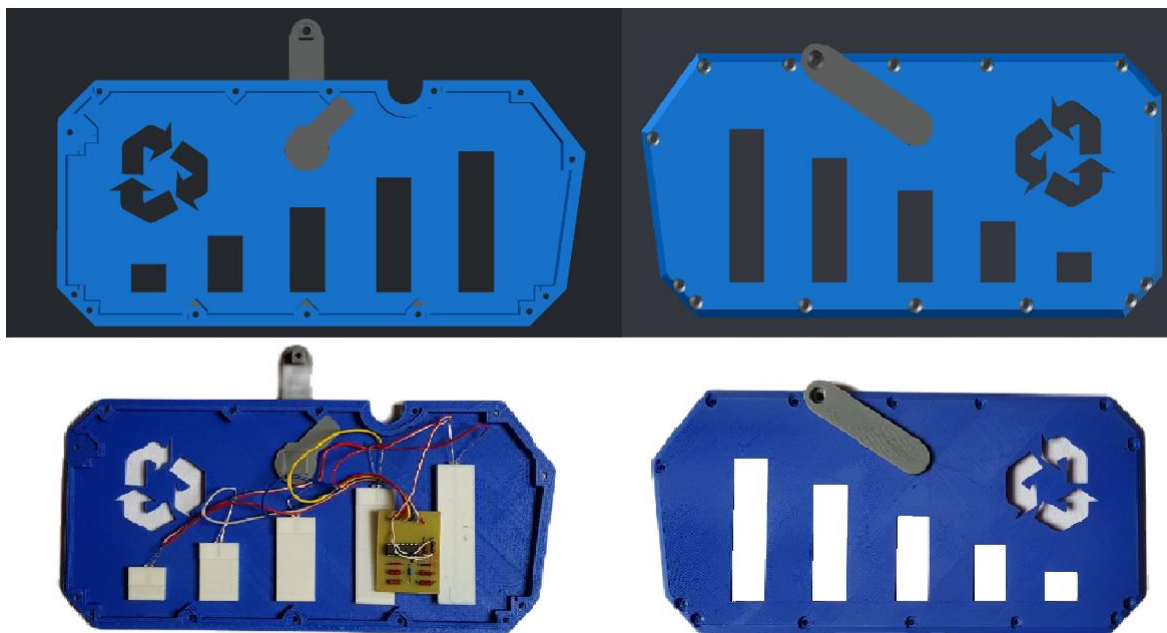


Obr. 38: Vytisknuté tělo skříně

2.4.2. Návrh a výroba bočnic skříně a madla skříně

Bočnice měly za úkol celou skříň zpevnit a zajistit akupack ve své pozici v těle skříně. V každé bočnici bylo pět obdélníkových otvorů, které byly velikostně odstupňované. Do těchto otvorů se vložily speciální výplně, které sloužily jako indikátor nabití. Dále byl v každé bočnici kruhový otvor o průměru 20 mm určený pro madlo. Bočnice byly druhou největší částí vyrobené skříně. Použitým materiálem pro tisk byl opět PTEG.

Madlo bylo navrženo tak, aby co nejméně zvětšovalo celkové rozměry záložního zdroje. Z toho důvodu bylo sklopné. Problém u takto volně se pohybujícího madla nastával v případě chůze. Při chůzi měl zdroj tendenci se rozhoupávat z důvodu, že madlo nebylo dostatečně dlouhé a těžiště zdroje bylo příliš blízko madla. Takovéto chování nebylo žádoucí. Z toho důvodu mělo madlo v kolmé pozici aretaci, která zabraňovalo rozhoupávání a zajišťovalo příjemnější držení při chůzi. Na Obr. 39 je možné vidět návrh, hotový výtisk bočnic s madlem a indikací nabití integrovanou do bočnic.



Obr. 39: Návrh a hotový výtisk bočnice s madlem

2.4.3. Návrh a výroba ovládacího panelu a panelu s výstupy a vstupy

Ovládací panel obsahoval hlavní vypínač, voltmetr s ampérmetrem, potenciometr pro nastavení výstupního napětí a kontrolku pro indikaci nabíjení.

Panel s výstupy a vstupy obsahoval čtyři USB konektory, výstup s regulovatelným napětím, vstup pro nabíjení 12 V a nabíjení pomocí FV panelu, vstup pro nabíjení pomocí adaptéru a spínač indikace nabití.

2.4.4. Výroba boxu na příslušenství

Jako doplněk byla do přenosného záložního zdroje zakomponována malá uzavíratelná skříňka, která by měla sloužit pro uložení příslušenství. Příslušenství se skládá z napájecího kabelu pro nabíjení notebooků s různými adaptéry pro co největší univerzálnost záložního zdroje. Dále je k dispozici napájecí přechodka pro nabíjení pomocí autozásuvky.

2.5. Kompletace přenosného záložního zdroje

Poslední část je věnována kompletaci přenosného záložního zdroje. Vnitřní díly jsou uchyceny tak, aby se zabránilo nežádoucímu pohybu dílů uvnitř zdroje. Ovládací panel

společně s panelem výstupů a vstupů má připojení realizováno pomocí vícežilového kabelu s konektorem. Stejným způsobem jsou propojeny i jednotlivé obvody a akupack. Všechny konektory od jednotlivých prvků jsou zapojeny do propojovací desky. Tato deska má za úkol správné propojení všech prvků do funkčního celku. Tímto zapojením se dosáhlo snazšího řešení oprav nebo dodatečných úprav, jelikož každý prvek je možné ze zdroje vyjmout samostatně. Na *Obr. 40* jsou znázorněny všechny použité díly. Na *Obr. 41* je vidět kompletně sestavený zdroj.



Obr. 40: Jednotlivé díly přenosného záložního zdroje



Obr. 41: Sestrojený přenosný záložní zdroj

Zdroj byl v takovémto stavu připravený k testu. Jako první se vyzkoušely všechny ovládací a zobrazovací prvky. Po úspěšném odzkoušení těchto prvků přišel na řadu výkonový test. Jednotlivé napájecí větve byly zatěžovány maximálním poskytovaným proudem po dobu dvou hodin. Zatížení se provádělo za pomoci reostatu, který umožňoval potřebnou výkonovou ztrátu. V této době se sledovalo, na jaké teplotě se ustálí vnitřní teplota zdroje a také teploty příslušných DC/DC měničů. Maximální provozní teploty jsou u každého prvku uvedeny v datasheetu. Dále se sledovalo, jestli se nehřejí propojovací vodiče nebo kontaktní místa na jednotlivých deskách. Měření se provádělo pomocí laserového teploměru.

Tento test proběhl úspěšně. Vnitřní teplota také závisela na okolní teplotě. Teplota okolí byla při měření 21 °C. Při této okolní teplotě se vnitřní teplota ustálila na 40 °C. Nejvyšší teplota byla naměřena na snižujícím měniči, který dodává 5 V, a to na chladiči integrovaného obvodu, ve kterém je umístěn spínací MOSFET tranzistor. Teplota na tomto chladiči

se ustálila na hodnotě 45 °C. Tato vyšší teplota byla způsobená menší účinností měniče kvůli velkému napěťovému rozdílu mezi vstupním a výstupním napětím a také kvůli použití menšího chladiče. Všechny ostatní prvky dosahovaly teploty nižší. Po takovémto testu byl zdroj připravený k použití.

2.6. Porovnání přenosného záložního zdroje s komerčně dostupnými zdroji

Porovnávání bylo prováděno pomocí předem zvolených parametrů, které jsou vyneseny v *Tab. 1* a *Tab. 2*. Pomocí těchto parametrů je možné přenosný záložní zdroj porovnat s komerčně dostupnými zdroji. Jednotlivé parametry byly čerpány z webové stránky Heureka.cz. Tato stránka je největší porovnávač zboží na českém internetu. Záložní zdroje pro porovnávání byly vybírány tak, aby se pohybovala jejich kapacita na podobné úrovni jako u zdroje námi vyrobeného. Nejde jednoznačně stanovit, jaký zdroj je lepší nebo horší, jednotlivé zdroje mají své klady i zápory. Ve všech zdrojích jsou použité Li-ion akumulátory.

Zvolené parametry jsou:

- **Kapacita**
- **Hmotnost**
- **Poměr mezi kapacitou a objemem**
- **Poměr mezi kapacitou a hmotností**
- **Přítomnost regulovatelného DC výstupu**
- **Přítomnost AC výstupu**
- **Maximální výkon**
- **Cena**
- **Rozměry**

Tab. 1: Porovnání přenosných záložních zdrojů s komerčně dostupnými zdroji

Název zdroje	Kapacita [Wh]	Poměr mezi kapacitou a objemem ^a	Poměr mezi kapacitou a váhou ^b	Hmotnost [kg]
Námi vyrobený zdroj	950	61,9	6	5,7
Viking SA250W	220	18,5	11	2,5
Viking BRAVO 400W	400	20,4	13	5,3
Jackery Explorer 500	518	35,1	11	5,5
Viking Titan1200	1200	9,6	8	10
Nanosolar NS Compactor 1200	1200	10,5	10	12,5
Goal Zero Yeti 1000	1045	22,5	17	18,1
NS COMPACTOR 1500	1500	15,5	10	15

^a Toto číslo je bezrozměrné a vyjadřuje poměr čím větší hodnota, tím lepší poměr mezi objemem a kapacitou zdroje

^b Toto číslo je bezrozměrné a vyjadřuje poměr čím menší hodnota, tím lepší poměr mezi váhou a kapacitou zdroje

Tab. 2: Porovnání přenosných záložních zdrojů s komerčně dostupnými zdroji

Název zdroje	Regulovatelný DC výstup	AC výstup	P _{MAX} [W]	Cena [Kč]	Rozměry (dxvxš)[mm]
Námi vyrobený zdroj	ANO	NE	175	5500,-	300x140x140
Viking SA250W	NE	ANO	390	6086,-	255x100x160
Viking BRAVO 400W	NE	ANO	600	13990,-	148x233x237
Jackery Explorer 500	NE	ANO	300	12990,-	301x242x193
Viking Titan1200	NE	ANO	1000	34999,-	135x280x306
Nanosolar NS Compactor 1200	NE	ANO	1000	31999,-	280x150x300
Goal Zero Yeti 1000	ANO	ANO	1500	40491,-	257x389x236
NS COMPACTOR 1500	NE	ANO	1000	34990,-	370x170x370

Při porovnání jednotlivých parametrů se zjistilo, že námi vyrobený záložní zdroj jako jediný nedisponuje výstupem se síťovým napětím. Také maximální výstupní výkon má ze všech zdrojů nejmenší. Poměr mezi kapacitou a objemem zdroje je u námi vyrobeného zdroje téměř dvakrát lepší než u druhého nejlepšího zdroje v této kategorii. Poměr mezi kapacitou a váhou je také nejlepší, ale nijak výrazně.

Regulovaný DC výstup mají pouze dva zdroje, a to zdroj Goal Zero Yeti 1000 a námi vyrobený zdroj. Cena u námi vyrobeného zdroje je nejnižší i přesto, že druhý nejlevnější zdroj má pouze čtvrtinovou kapacitu. To je dáno použitím vyřazených akumulátorů. Akumulátory jsou nejdražší součástí přenosných záložních zdrojů.

Závěr

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku záložních zdrojů a akumulátorů v nich používaných. V literární části jsou shrnuty základní informace o záložních zdrojích, používaných akumulátorech a možnostech využití vyřazených akumulátorů. Dále je v ní řešena problematika dobíjení zdrojů a je zde popsán princip lineárních a impulzních DC/DC měničů.

Praktická část je věnována samotné výrobě přenosného záložního zdroje. V první části je řešena výroba akupacku z dvou vyřazených akupacků používaných v elektrokolech. Provedlo se měření všech článků a vyhodnotilo se, jestli je možné akumulátory znovu použít. Při tomto měření bylo zjištěno, že jsou všechny akumulátory funkční a mohou se znovu použít. Dokonce polovina článků byla ve výborném stavu a měla 100 % udávané kapacity. Druhá polovina měla 95 % původní kapacity. To bylo překvapivé zjištění, protože akumulátory byly prodávány jako vyřazené. Cena takto vyřazených akumulátorů byla pouze třetinová oproti akumulátorům novým. Bohužel uvedený důvod vyřazení byl velmi obecný a to takový, že zakoupené akupacky nebylo možné nabít. Proto se lze pouze domnívat, jaký byl skutečný důvod vyřazení. Jednou z možných příčin mohl být vadný balanční a ochranný obvod, tento obvod nebyl součástí zakoupených akupacků.

Dále byla pozornost věnována ochraně akumulátorů a obvodům, které tuto ochranu zajišťují. Na závěr byla navrhována a vyrobena indikace nabití. Kapacita tohoto akupacku je 950 Wh. Tato kapacita je dostatečná pro zajištění nabíjení běžné elektroniky na týdenní pobyt dvou osob mimo zdroj elektrické energie. Tento cíl byl stanoven v úvodní části.

Další část byla věnována vnitřní elektronice, která se skládá z impulzních DC/DC měničů, ovládacích a zobrazovacích prvků a dalších potřebných komponent. U návrhu DC/DC měničů se vycházelo z doporučených zapojení, které udává výrobce použitých řídicích obvodů.

Jako poslední byla pozornost zaměřena na samotný návrh skříně pro přenosný záložní zdroj. Celá skřín byla vyrobena pomocí 3D tisku. Díky této metodě výroby mohla být celá skřín navržena přesně na míru k vyrobenému akupacku. To značně zmenšilo rozměry celého

zdroje. Také to nese výhodu, že je možné celou skříň vytisknout opakovaně nebo vytisknout jen určité části v případě jejich poškození. Nevýhodou bylo časově náročné navrhování a tištění všech částí přenosného zdroje.

Při porovnání námi navrženého zdroje se zdroji komerčními se projevila snaha o zachování co nejmenších rozměrů při co největší kapacitě. Proto u zdroje nelze nalézt výstup se síťovým napětím 230 V a zdroj je nutné nabíjet pomocí přídavného adaptéru. Ovšem poměr mezi kapacitou a rozměry zdroje vyšel jako nejlepší ze všech porovnávaných zdrojů.

Na závěr lze výrobu hodnotit pozitivně. Vyrobený zdroj je plně funkční a jeho funkčnost byla vyzkoušena v praxi. Při výrobě byly použity relativně nové technologie a využity vyřazené akumulátory. Díky tomu bylo možné výrobu realizovat za podstatně nižší cenu oproti komerčně dostupným zdrojům s podobnou kapacitou.

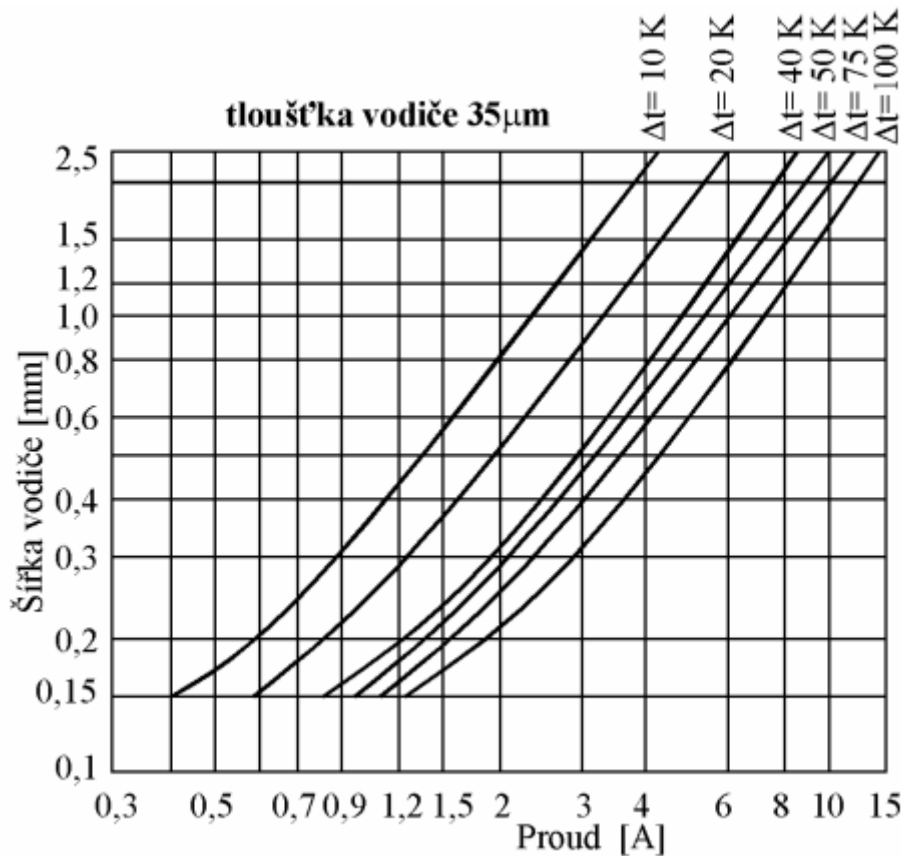
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] VRÁNA, V., KOČMAN, S. Náhradní zdroje elektrické energie [online]. [cit. 17.3.2020]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC_FBI/Prednasky/nahradni%20zdroje.pdf
- [2] HAVLÁTOVÁ, Eva. SPÍNANÝ ZDROJ, [Online]. Poslední změna 2000. [cit. 17.3.2020] Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/06_Elektrotechnika_15-17/15_IUT/038_Spinany-zdroj---Havlatova---P1.pdf
- [3] PALIČKA, Robin. Technologie UPS, [Online]. Poslední změna 2016. [cit. 14.3.2020] Dostupné z: http://www.dmp.spsei.cz/zdroje/zal_z_technologie.html
- [4] PORŠ, Zdeněk. Palivové články. ČEZ, 2005. [online]. [cit. 19.3.2020] Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>
- [5] SVOZIL, PRÁCE Bc MAREK. "RACIONALIZACE KONCEPTU PŘIPOJENÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY." [online]. [cit. 19.3.2020] Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30299940.pdf>
- [6] KREJČIŘÍK, Alexandr. DC/DC měniče. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001. ISBN 80-7300-045-8.
- [7] J.ZHANG, Henry. Basic Concepts of Linear Regulator and Switching Mode Power Supplies [online]. 2013 [cit. 10.4.2020]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/application-note/AN140fa.pdf>
- [8] KOČÍ, Michal. Stabilizátory napětí. [Online]. Poslední změna 2018. [cit. 10.4.2020]. Dostupné z: <https://www.kondik.cz/stabilizator>
- [9] STMicroelectronics. Positive voltage regulator, L78 [Online]. Poslední změna 2018. [cit. 12.4.2020]. Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l78.pdf>
- [10] STMicroelectronics, 1.2 V to 37 V adjustable voltage regulators, LM317 [Online]. Poslední změna 2019. [cit. 12.4.2020]. Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lm317.pdf>
- [11] RUFFER, Josef. Návrh a realizace střídače napětí s harmonickým průběhem na výstupu. BS thesis. České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum., 2017. [online]. [cit. 22.3.2020] Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/69499/F3-BP-2017-Ruffer-Josef-ruffejos_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [12] Abeceda baterií a akumulátorů [online]. [cit. 22.3.2020]. Dostupné z: <http://www.battex.info/elektrochemicke-zdroje-proudu-obecne/definice>

- [13] How does the Lead Acid Battery Work? [online]. [cit. 24.3.2020]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries 2017.
- [14] Lithium_iron_phosphate_battery. [online]. [cit. 25.3.2020]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery
- [15] JANDURA, Pavel. "Přehled a vlastnosti současných akumulátorů používaných v elektromobilech." Studentská konference Fakulty mechatroniky, informatiky a mezioborových studií 2010, 15. Červen 2010, Liberec, Česká republika. 2010. [online]. [cit. 25.3.2020]. Dostupné z: http://skfm2010.tul.cz/postery/Jandura_Pavel.pdf
- [16] LINDEN, D.; REDDY, T.B. Handbook Of Batteries. New York : 2001. 1453 s. ISBN 0-07-135978-8
- [17] Hadex, spol. s r.o. Ochranný obvod a balancér pro 4 Li-Ion články 18650, proud do 30A [Online]. Poslední změna 2020. [cit. 28.5.2020]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/m402b-ochranny-obvod-a-balancer-pro-4-li-ion-clanky-18650-proud-do-30a/>
- [18] HYCON Technology Corp. Li-ion/Polymer Battery Charge Balance IC, HY2213 [Online]. Poslední změna 2015. [cit. 28.5.2020]. Dostupné z: https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/HYCON-Tech-HY2213-BB3A_C113632.pdf
- [19] H&M Semiconductor. Battery protection IC, DW01A [Online]. Poslední změna 2017. [cit. 28.5.2020]. Dostupné z: <http://hmsemi.com/download/DW01A.PDF>
- [20] XLSEMI, 5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter, XL4015. [Online]. Poslední změna 2020. [cit. 28.5.2020]. Dostupné z: <http://www.xlsemi.com/datasheet/XL4015%20datasheet.pdf>
- [21] Texas Instruments. Current-Mode PWM Controller. UC3843AN. [Online]. Poslední změna 2020. [cit. 5.6.2020]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/uc3843a.pdf?ts=1591534747012&ref_url=https://www.ti.com/store/ti/en/p/product/?p%3DUC3843AN&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=app-null-null-OPN_EN-cpc-store-google-ww&utm_content=Device&ds_k=UC3843AN&DCM=yes&gclid=Cj0KCQjwoPL2BRDxARIsAEMm9y9Va744V6nzm_uqO447zl08MmbHMX_B37xdbO_BxXUx7HWKgwWkccYaAkmcEALw_wcB&gclid=aw.ds
- [22] LINEAR Technology. ANALOG DEVICES, High Efficiency, Synchronous, 4-Switch Buck-Boost Controller. LTC3870. [Online]. Poslední změna 2019. [cit.5.6.2020]. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/3870fb.pdf>

Přílohy

Příloha A – Graf zatížitelnosti DPS



Příloha B – Kusovník obvodu step-down DC/DC měniče

Označení	Součástka	Obal	Hodnota
C1	Kondenzátor elektrolytický	153CLV-1014	220 μ F
C2	Kondenzátor elektrolytický	153CLV-1014	220 μ F
C3	Kondenzátor keramický	C0805K	1 nF
C4	Kondenzátor keramický	C0805K	1 nF
C5	Kondenzátor keramický	C0805K	1 nF
C6	Kondenzátor keramický	C0805K	33 nF
D1	SCHOTTKY	DO-214AA	28 V / 5 A
J1	Konektor	10X02MTA	
J2	Konektor	10X02MTA	

L1	Cívka	SFT830D	47 μ H / 5 A
R1	Rezistor	R0805	10 k Ω
R2	Rezistor	R0805	3,3 k Ω
VR1	XL4015	TO263-5L	

Příloha C– Kusovník obvodu step-up DC/DC měniče

Označení	Součástka	Obal	Hodnota
C1	Kondenzátor keramický	C0805	100 nF
C2	Kondenzátor keramický	C0805	15 μ F
C3	Kondenzátor keramický	C0805	1 nF
C4	Kondenzátor keramický	C0805	100 nF
C5	Kondenzátor elektrolytický	E5-10,5	1000 μ F / 35 V
C6	Kondenzátor elektrolytický	E5-10,5	1000 μ F / 3 5 V
D1	2SCHOTTKY	SOT82S	250 V / 30 A
J1	Konektor	10X02MTA	
J2	Konektor	10X02MTA	
L1	Cívka	ED22	15 μ H / 8 A
Q1	Tranzistor MOSFET-P	TO262-V	55 V / 74 A
Q2	Tranzistor NPN	SOT23-BEC	40 V / 0,2 A
R1	Rezistor	R0805	5,1 k Ω
R2	Rezistor	R0805	100 k Ω
R3	Rezistor	R2512	0.01 Ω
R4	Rezistor	R0805	1 k Ω
R5	Rezistor	R0805	33 k Ω
R6	Rezistor	R0805	3,3 k Ω
R7	Rezistor	R0805	1 k Ω
R8	Rezistor	R0805	15 k Ω
R10	Trimr	R0805	10 k Ω
UC3842AN	Integrovaný obvod	SOIC8	

Příloha D – Kusovník obvodu indikace nabití

Označení	Součástka	Obal	Hodnota
R1	Rezistor	0207/10	330 Ω
R2	Rezistor	0207/10	330 Ω
R3	Rezistor	0207/10	330 Ω
R4	Rezistor	0207/10	330 Ω
R5	Rezistor	0207/10	330 Ω
R6	Rezistor	0207/10	10 k Ω
R7	Rezistor	0207/10	4 k Ω
R8	Rezistor	0207/10	3 k Ω
R9	Rezistor	0207/10	12 Ω
J1	Konektor	MTA05-156	
J2	Konektor	MTA02-100	
D1	Zenerova dioda	DO35Z10	5V1
U1	LM339AN	DIP254	4 x komparátor