

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nabíječka olověných akumulátorů

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub HOUDEK**
Osobní číslo: **E12B0218P**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Nabíječka olověných akumulátorů**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Vypracujte stručný souhrn vlastností olověných akumulátorů a způsobů jejich nabíjení.
2. Vyhledejte obvodová zapojení nabíječek a prostudujte jejich vlastnosti. Mimo jiné se zaměřte také na ochranné obvody, které řeší zkrat na výstupních svorkách či jiné očekávatelné situace nastávající při praktickém použití.
3. Navrhněte a realizujte nabíječku olověných akumulátorů zvolených parametrů.
4. Diskutujte dosažené výsledky a celou práci podrobně popište.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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


Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Pajer

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015



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



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá vlastnostmi olověných akumulátorů určených do osobních automobilů, možnostmi jejich nabíjení, návrhem a realizací nabíječky těchto akumulátorů. Práce je rozdělena do 4 částí. V první části jsou rozděleny olověné akumulátory dle údržby. Ve druhé jsou shrnuty jejich základní vlastnosti. Třetí kapitola je věnována nabíjení olověných akumulátorů. Čtvrtá kapitola je nejrozsáhlejší a dílčím rozdělením do podkapitol postupně popisuje návrh, realizaci a diskuzi dosažených výsledků při konstrukci vlastní nabíječky. Pro realizaci byl zvolen jako řídicí prvek integrovaný obvod UC3906N od firmy Texas Instruments. Nabíječka byla navržena tak, aby byla schopna nabíjet 12 V olověné akumulátory plynule volitelnou hodnotou proudu v rozsahu 2 A až 7 A.

Klíčová slova

Nabíječka, Olověný akumulátor, Ochrana proti přepólování, UC3906N

Abstract

Submitted bachelor thesis deals with properties of the leaden accumulators designated for cars, possibilities of their charging, design and realization of these accumulator's chargers. The paper is divided into 4 parts. In the first part, leaden accumulators are classified under the way of their maintenance. Their basic characteristics are summarized in the second part. The third chapter is dedicated to the leaden accumulators charging. The fourth chapter is the most extensive one and using partial separation into subchapters, it describes proposal, realization and discussion of the results achieved during construction of the charger itself. Integrated circuit UC3906N of the Texas Instruments company was used as the control element for the realization. The charger was designed so that it was capable of charging 12V leaden accumulators with fluently optional current value in the range between 2A and 7A.

Key words

Charger, Lead accumulator, Polarity protection ,UC3906N

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 práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 8.6.2015

Jakub Houdek

Poděkování

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

Obsah

| | |
|--|-----------|
| OBSAH | 8 |
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 9 |
| ÚVOD | 10 |
| 1 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY A JEJICH ROZDĚLENÍ | 11 |
| 1.1 ROZDĚLENÍ AKUMULÁTORŮ | 12 |
| 1.1.1 Akumulátory vyžadující údržbu | 12 |
| 1.1.2 Akumulátory nevyžadující údržbu | 12 |
| 2 VLASTNOSTI OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ | 14 |
| 2.1 NAPĚTÍ OLOVĚNÉHO AKUMULÁTORU | 14 |
| 2.2 KAPACITA OLOVĚNÉHO AKUMULÁTORU | 15 |
| 2.3 MAXIMÁLNÍ VYBÍJECÍ PROUD | 15 |
| 2.4 VNITŘNÍ ODPOR OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ | 15 |
| 3 ZPŮSOBY NABÍJENÍ OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ | 16 |
| 3.1 NABÍJENÍ KONSTANTNÍM NAPĚTÍM | 16 |
| 3.2 NABÍJENÍ KONSTANTNÍM PROUDEM | 17 |
| 3.3 NABÍJENÍ SE ZVYŠUJÍCÍM SE VÝSTUPNÍM NAPĚTÍM | 17 |
| 4 REALIZACE VLASTNÍ NABÍJEČKY | 18 |
| 4.1 VÝBĚR ŘEŠENÍ | 19 |
| 4.2 BLOKOVÉ SCHÉMA | 19 |
| 4.3 ŘÍDÍCÍ OBVOD A VÝPOČET SNÍMACÍCH REZISTORŮ | 20 |
| 4.4 SCHÉMA NABÍJEČKY A DIMENZOVÁNÍ SOUČÁSTEK | 25 |
| 4.4.1 Úprava vstupního napětí | 26 |
| 4.4.2 Signalizace a řídicí část | 28 |
| 4.4.3 Ochrany | 32 |
| 4.5 VÝPOČET CHLADIČŮ | 36 |
| 4.6 TVORBA DPS | 38 |
| 4.7 OSAZOVÁNÍ DPS | 40 |
| 4.8 VÝROBA BOXU | 41 |
| 4.9 MĚŘENÍ A TESTOVÁNÍ | 43 |
| 4.9.1 Chování při neměnné hodnotě proudu | 43 |
| 4.9.2 Chování při proměnné hodnotě proudu | 43 |
| 4.9.3 Naměřené hodnoty | 44 |
| 4.9.4 Testování očekávatelných nežádoucích stavů | 44 |
| ZÁVĚR | 45 |
| SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ | 46 |
| SEZNAM PŘÍLOH | 47 |
| PŘÍLOHY | 1 |

Seznam symbolů a zkratek

AGM – Absorbed Glass Mat – Absorbováno skleněným vláknem

DPS – Deska Plošných Spojů

CHARGE CURRENT – Nabíjecí proud

CHARGE VOLTAGE – Nabíjecí napětí

INPUT SUPPLY VOLTAGE – Vstupní napájecí napětí

IO – Integrovaný Obvod

OC INDICATE OUTPUT – Výstup indikující přebíjení

OC TERMINATE INPUT – Vstup znemožňující přebíjení

RPM – Revolutions Per Minute – Otáčky za minutu

STATE LEVEL OUTPUT – Výstupu indikující stav (pin 10 u IO UC3906)

THT – Trough Hole Technology – Technologie součástek s vývody

UPS – Uninterruptible Power Source – Zdroj nepřerušovaného napájení

VRLA – Valve Regulated Lead Acid – Ventilem řízené olověné s kyselinou

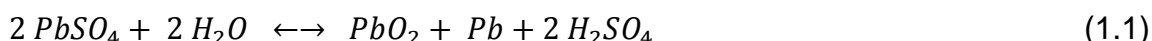
Úvod

Olověné akumulátory jsou dnes stále velice rozšířeným typem akumulátorů, a to i přes značné stáří této technologie. Dominují především v automobilovém průmyslu a ve zdrojích nepřerušovaného napájení neboli UPS. Pro maximalizaci životnosti takového akumulátoru je potřeba věnovat mu dostatečnou péči a vyvarovat se nežádoucích stavů jako je hluboké vybití či sulfatace elektrod. K prevenci či napravení těchto nežádoucích stavů lze využít nabíječky. Pracovních režimů, ve kterých může nabíječka fungovat je více a také je možné je kombinovat. Vhodnou kombinací a pořadím jednotlivých režimů lze docílit delší životnosti akumulátoru, odstranění nebo zredukování sulfatace elektrod či opět zvýšit napětí akumulátoru ze stavu hlubokého vybití, než kdyby byl použit pouze jeden z režimů.

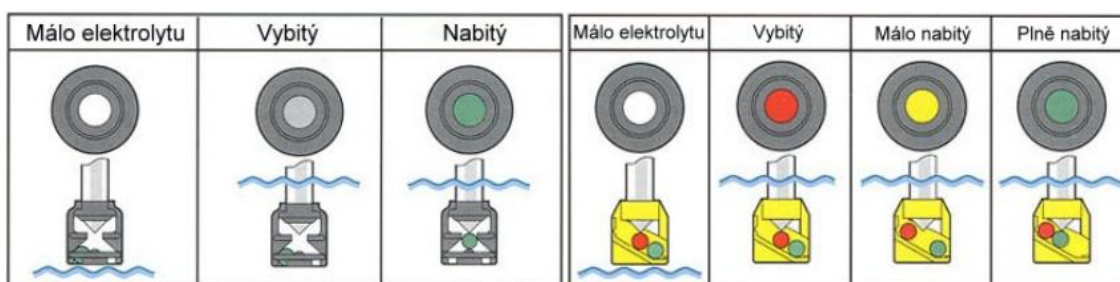
Tato práce je zaměřena především na akumulátory určené do osobních automobilů. Není zde tedy podrobněji rozváděna např. problematika akumulátorů určených pro UPS, protože jsou u nich prioritní jiné parametry, než je tomu v případě akumulátorů určených pro automobilový průmysl. Zatímco nejdůležitějším parametrem u akumulátorů určených do automobilů bývá například maximální možný dodaný špičkový proud, který se pohybuje v řádu až několika stovek ampér, u záložních akumulátorů používaných v UPS je prioritní jeho stálá kondice a v případě potřeby i dodávání potřebné elektrické energie, jejíž hodnota bývá zpravidla téměř konstantní nebo jen s malými výkyvy.

1 Olověné akumulátory a jejich rozdělení

Olověné akumulátory se řadí mezi tzv. sekundární elektrochemické zdroje proudu. To znamená, že při vybíjení se vlivem chemické reakce uvolňuje energie ve formě stejnosměrného elektrického proudu a při nabíjení má akumulátor schopnost zpětným chemickým pochodem energii stejnosměrného elektrického proudu hromadit. Chemický proces je opakovatelný oběma směry a lze vyjádřit vztahem (1.1). Směr šipky vpravo vyjadřuje změnu chemického vzorce při nabíjení a směr šipky vlevo změnu při vybíjení. [1]



Při nabíjení se ze síranu olovnatého a vody vytváří oxid olovičitý, olovo a především kyselina sírová. Zároveň dochází k houstnutí elektrolytu. Při procesu vybíjení je postup opačný a je spotřebovávána kyselina sírová, elektrolyt řídne. Hustota elektrolytu je velice přesným ukazatelem stavu nabití akumulátoru a lze její pomocí určit, zda je akumulátor vybitý či nabitý. U některých akumulátorů se zaplavenými elektrodami lze nalézt indikátor nabití, který funguje právě na bázi měření hustoty elektrolytu. Obsahuje jednu nebo dvě kuličky, které jsou vyrobené z materiálu o různé hustotě a v závislosti na hustotě elektrolytu mají kuličky tendenci plavat vzhůru k hladině nebo klesat dolů ke dnu (obr. 1.1) [1] [2].



Obr. 1.1: Vlevo hustoměr s jednou kuličkou a vpravo se dvěma kuličkami [2]

Každý akumulátor neboli akumulátorová baterie se skládá z libovolného počtu akumulátorových článků. Akumulátorový článek je nejmenší jednotkou akumulátoru a je složený z jedné anody a jedné katody. V dnešní době je standardem olověný akumulátor složený ze tří nebo šesti akumulátorových článků. Tři článkové akumulátory bývají zdrojem elektrického proudu především u motocyklů, šesti článkové pak v osobních automobilech. [1]

1.1 Rozdělení akumulátorů

Nejdůležitější rozdělení olověných akumulátorů je, kromě počtu článků, patrně ve způsobu vázání elektrolytu a to především kvůli rozdílným vlastnostem chování celého akumulátoru. Je například nutné rozlišovat mezi nabíjením akumulátoru se zaplavenými elektrodami, kde může elektrolyt lépe proudit a je omezen pouze tvarem nádoby a jednotlivých elektrod a mezi akumulátorem, který má elektrolyt vázaný například v tixotropním křemičitém gelu. Rozlišování ve vázání elektrolytu je důležité, jelikož akumulátory s pevně vázaným elektrolytem jsou citlivější na přebíjení, a proto musí být při jejich nabíjení odlišná maximální hodnota napětí, než u akumulátorů se zaplavenými elektrodami.

1.1.1 Akumulátory vyžadující údržbu

Tyto akumulátory jsou nejstarším typem a dnes se již v automobilové technice téměř nepoužívají, nicméně z nich vychází novější bezúdržbová koncepce. Je zde využíván systém zaplavených elektrod, elektrolyt tedy není vázán ani v separátoru, ani v žádné suspenzi. Tyto akumulátory nejsou hermeticky uzavřené a hrozí tedy nebezpečí úniku kyseliny sírové, například při jejich naklonění či otočení. Dalším neduhem je odpařování vody z elektrolytu a plynování akumulátoru, ke kterému dochází vlivem chemické reakce při jeho dobíjení, ať už nabíječkou nebo alternátorem automobilu. U této technologie není použita žádná aditivní látka v elektrodách, která by zlepšovala rekuperaci vznikajících plynů. Je tedy nutné průběžně udržovat stálou hladinu elektrolytu a dolévat destilovanou vodu, jinak by došlo ke změně jeho hustoty, zvýšení koncentrace kyseliny sírové, snížení hladiny elektrolytu pod úroveň elektrod a tím ke snížení kapacity akumulátoru. Dále by hrozilo i jeho nevratné poškození. [2]

1.1.2 Akumulátory nevyžadující údržbu

Momentálně jsou na trhu téměř výhradně olověné akumulátory nevyžadující údržbu, tedy bezúdržbové. Jejich konstrukce je taková, že jsou téměř hermeticky uzavřené. Při manipulaci u nich tedy nehrozí únik elektrolytu ani při větších náklonech nebo otočení dnem vzhůru, gelové a AGM akumulátory mohou v těchto polohách i trvale pracovat. Největší výhodou bezúdržbových akumulátorů je absence nutnosti dolévat destilovanou vodu. Bezúdržbového systému se dosahuje několika způsoby.

1.1.2.1 Bezúdržbové akumulátory se zaplavenými elektrodami

Tento typ akumulátorů vychází z koncepce akumulátorů se zaplavenými elektrodami, které vyžadovaly údržbu. Bezúdržbového stavu je u toho modernějšího typu dosaženo především materiálem elektrod. Často používanou koncepcí je dnes tzv. kalcium-kalcium, kde je obsažen vápník v anodě i katodě. Materiál elektrod je kompozit, jehož základem je olovo s přidávkem antimonu v koncentraci 1,5 % až 3 % a vápníku v koncentraci 0,08 % až 0,12 %. Toto chemické složení se významně projevilo na snížení odparu vody a plyny vznikající při nabíjení mohou být díky němu zpětně absorbovány. Tím je docíleno toho, že hladina elektrolytu klesá jen velice nepatrně a za předpokladu správného zacházení, neklesne pod úroveň elektrod po celou dobu životnosti. Proto nejsou bezúdržbové akumulátory se zaplavenými elektrodami vybaveny šroubovací zátkou, která by umožňovala jednoduché doplnění elektrolytu. Jsou zde pouze speciální zátky či víka, která jsou utěsněna gumovým či teflonovým těsněním, jež eliminují možnost úniku elektrolytu, ale zároveň umožňují odvětrávání zbytkových par při dobíjení akumulátoru. Při přebíjení může v akumulátoru vznikat zvýšené množství plynů a vyvíjet tak zvýšený tlak na vnitřní stěny jeho obalu. Z bezpečnostních důvodů je tedy každý článek akumulátoru vybaven přetlakovým ventilem, který se při tlaku 15 kPa až 20 kPa otevře a přebytečné plyny vypustí. Ventily jsou jednosměrné, tudíž se kyslík z okolního vzduchu, který by mohl reakcí s elektrodami způsobit vnitřní vybíjení, do akumulátoru nedostane. [1][2]

1.1.2.2 Bezúdržbové akumulátory gelové

Tyto akumulátory dostaly název podle tixotropního křemičitého gelu, ve kterém je vázán elektrolyt. Svou konstrukcí je gelový akumulátor velice podobný bezúdržbovému akumulátoru se zaplavenými elektrodami. Největším rozdílem je právě vázání elektrolytu v křemičité suspenzi, které má oproti akumulátorům se zaplavenými elektrodami několik výhod. Kromě toho, že zde též nehrozí jakýkoli únik elektrolytu při naklonění či převržení akumulátoru, je zde i velice potlačena stratifikace kyseliny sírové. Navíc dosahují lepšího poměru kapacita/hmotnost, lépe snášejí provoz za zvýšených teplot a hlubší vybíjení. Stejně jako u bezúdržbových akumulátorů se zaplavenými elektrodami se zde používá koncepce kalcium-kalcium, která společně se speciálním tvarem elektrod snižuje množství plynů vznikajících při nabíjení a napomáhá jejich rekombinaci. Je zde využit princip kyslíkové rekombinace, kdy kyslík uvolňovaný při nabíjení prochází póry separátoru od anody ke

katodě a za vznikajícího tepla je zde redukován na vodu. Z těchto důvodů je za běžných podmínek dosaženo téměř úplné hermetičnosti tohoto typu akumulátorů a nejsou zde žádné šroubovací zátky nebo víka. Gelové akumulátory jsou výhradně koncepce VRLA neboli ventilem řízené. Ventil slouží k regulaci pracovního tlaku v akumulátoru a zároveň funguje jako bezpečnostní přetlakový ventil, jehož princip je totožný jako u bezúdržbových akumulátorů se zaplavenými elektrodami. Tlak, při kterém dojde k otevření bezpečnostního ventilu, se pohybuje v rozmezí 10 kPa až 40 kPa v závislosti na výrobcí a typu akumulátoru. [2]

1.1.2.3 Bezúdržbové akumulátory AGM

Akumulátory AGM využívají odlišné konstrukce separátoru i elektrod, než je tomu u ostatních technologií. Separátor je zde tvořen skelnými vlákny, která jsou dotována bórem, a je v něm přímo vázán elektrolyt. Separátor a elektrody jsou zde v těsném kontaktu. Tento separátor disponuje výbornou iontovou vodivostí, což umožňuje rychlý průnik plynů separátorem a jejich snadnou rekombinaci. Typ konstrukce také redukuje drolení aktivní hmoty, což omezuje zkraty mezi elektrodami a tím snižuje samovybíjení, dále stejně jako u gelových akumulátorů zmírňuje stratifikaci kyseliny sírové, vylučuje únik elektrolytu při manipulaci s akumulátorem, zvyšuje odolnost proti otřesům a má ještě lepší poměr kapacita/hmotnost, než je tomu u akumulátorů gelových. Je také vybaven systémem VRLA. [2]

2 Vlastnosti olověných akumulátorů

2.1 Napětí olověného akumulátoru

Jmenovité napětí jednoho článku olověného akumulátoru je přibližně 2 V. Pro šesti článkový akumulátor v automobilech je to tedy 12 V. [4]

Napětí naprázdno neboli napětí v bezproudém stavu se u nabitého akumulátoru pohybuje mezi 2,06 V až 2,15 V na článek, to znamená 12,36 V až 12,9 V u šesti článkového akumulátoru. Pro plně vybitý akumulátor je to pak napětí 1,75 V na článek, tedy 10,5 V pro šesti článkový akumulátor. [1][2]

Nabíjecí napětí se mění v průběhu nabíjení v závislosti na zvolené nabíjecí charakteristice a daném typu akumulátoru. Obecně lze však říci, že nabíjecí napětí je vyšší než napětí naprázdno a nemělo by překročit maximální hodnotu 2,45 V na článek (především u hermeticky uzavřených akumulátorů), protože při této hodnotě začíná elektrolýza vody v elektrolytu, a tím se zvyšuje generace plynů vodíku a kyslíku. [1]

Všechny hodnoty napětí článků v této podkapitole jsou uvedeny pro teplotu 25 °C.

2.2 Kapacita olověného akumulátoru

Jmenovitá kapacita akumulátoru je schopnost dodávat určitou elektrickou energii v požadované době při poklesu napětí na přípustnou hodnotu. U automobilových akumulátorů je zpravidla udávána v ampérhodinách [Ah] pro zatížení jmenovitým proudem po dobu deseti nebo dvaceti hodin při 25 °C (měřeno při vybití plně nabitého akumulátoru, až po pokles napětí 1,5 V na článek). Při špatném nabíjení, vysokých vybíjecích proudcích, stratifikaci kyseliny sírové, sulfataci elektrod, nízké hustotě či hladině elektrolytu může dojít k významnému snížení kapacity akumulátoru. [2]

2.3 Maximální vybíjecí proud

Maximální vybíjecí proud, který dokáže olověný akumulátor špičkově dodat, je pro nasazení v automobilech důležitá hodnota. Startér motoru totiž při rozběhu odebírá velmi vysoké proudy v řádu až stovek ampér. Zejména u automobilů s naftovým motorem o vysokém zdvihovém objemu může být maximální hodnota vybíjecího proudu rozhodující podmínkou, zda dokáže motor nastartovat. U menších benzinových motorů může být startovací proud třeba i o polovinu menší, a proto se dnes vyrábějí akumulátory v širokém rozsahu maximálních vybíjecích proudů. Běžně dostupné jsou hodnoty mezi 300 A až 950 A. [5]

2.4 Vnitřní odpor olověných akumulátorů

Vnitřní odpor akumulátoru je udáván v ohmech [Ω]. Čím nižší je hodnota odporu, tím tvrdší zdroj akumulátor je. Nízký vnitřní odpor se požaduje ze dvou důvodů. Zaprvé, čím nižší vnitřní odpor, tím lze, při stejné konstrukci akumulátoru dosáhnout vyšších maximálních vybíjecích proudů a zadruhé, čím nižší je vnitřní odpor, tím menší bude pokles napětí při

odběru proudu z akumulátoru. Hodnota vnitřního odporu akumulátoru je tedy velmi malá, přibližně $0,001 \Omega$. [1]

3 Způsoby nabíjení olověných akumulátorů

Při nabíjení olověných akumulátorů lze rozlišovat tři základní charakteristiky. [2]

- Charakteristika U – nabíjení konstantním napětím
- Charakteristika I – nabíjení konstantním proudem
- Charakteristika W – nabíjení se zvyšujícím se výstupním napětím

Nabíjení pouze jednou z výše uvedených charakteristik však není pro životnost akumulátoru vhodné. Proto jsou tyto charakteristiky u dnešních nabíječek kombinovány. V převážné většině případů se jedná o kombinaci nabíjení konstantním proudem a napětím. Nejprve se začíná nabíjet konstantním proudem a po dosažení určitého stupně nabití akumulátoru přechází nabíječka do režimu konstantního napětí. Rozdíl mezi jednotlivými nabíječkami tkví v rozpoznávání stavu nabití akumulátoru, nutného k včasnému přepnutí nabíjecího režimu.

3.1 Nabíjení konstantním napětím

Po připojení vybitého akumulátoru ke zdroji konstantního napětí, začne akumulátorem protékat velký počáteční proud. Postupně jak se napětí akumulátoru zvyšuje a snižuje se rozdíl potenciálů zdroje a akumulátoru, dochází ke snižování procházejícího proudu. Velikost konstantního napětí se volí taková, kdy u akumulátorů začíná generovat zvýšené množství plynů, což u akumulátorů se zaplavenými elektrodami odpovídá 2,4 V až 2,45 V na článek. Počáteční nabíjecí proud v ampérech je vhodné omezit na maximálně 0,5 až 1 násobek jmenovité kapacity akumulátoru. Ke konci nabíjecího cyklu je rozdíl mezi potenciály napětí zdroje a akumulátoru minimální, tudíž konečný nabíjecí proud dosahuje pouze 0,002 násobek jmenovité kapacity akumulátoru. Jelikož konečný nabíjecí proud je takto malý umožňuje dlouhodobé přebíjení akumulátoru, a to asi až 48 hodin. Úplné nabití z počátku vybitého akumulátoru trvá touto metodou mezi 10 až 15 hodinami v závislosti na počátečním proudu. Výhodou tohoto typu nabíjení je, že už přibližně za 2 hodiny (v závislosti na zvoleném maximálním počátečním proudu) je akumulátor dobit z cca 80 %. Nevýhodou je velký

počáteční proud, který by i v případě omezení na 0,5 násobek jmenovité kapacity, znamenal u akumulátoru s kapacitou např. 70 Ah, proud až 35 A a tím i nebezpečné zvýšení teploty elektrolytu.

3.2 Nabíjení konstantním proudem

Při nabíjení konstantním proudem protéká nabíjeným akumulátorem stálý proud v jakékoli fázi jeho nabíjení. Hodnota toho proudu se nastavuje na 0,08 až 0,1 násobek jmenovité kapacity akumulátoru. Lze tedy snadno zjistit dodaný náboj do akumulátoru, hodnotu procházejícího proudu pouze vynásobíme dobou nabíjení. Celková doba nabíjení je velice závislá na počáteční úrovni nabití akumulátoru. V případě vybitého akumulátoru se doba nabíjení touto metodou pohybuje v závislosti na hodnotě zvoleného proudu. V případě 0,1 násobku jmenovité kapacity bude doba nabíjení přibližně 10 hodin. Výhodou nabíječek pracujících v tomto režimu bývá odolnost proti zkratu na výstupních svorkách, protože maximální proud protékající obvodem je limitován na hodnotu proudu nabíjecího. Nevýhoda této metody je, že ve chvíli, kdy je akumulátor dobit do 100 % své jmenovité kapacity, musí být nabíjení ukončeno. Přebíjení akumulátoru hodnotou proudu desetiny své jmenovité kapacity může akumulátor vážně poškodit či úplně zničit.

3.3 Nabíjení se zvyšujícím se výstupním napětím

U tohoto typu charakteristiky se při procesu nabíjení zvyšuje napětí na výstupních svorkách. Nezvyšuje se ovšem tak rychle jako napětí na svorkách akumulátoru. Rozdíl potenciálů se tedy v průběhu nabíjení snižuje a s ním i protékající proud. Snižování hodnoty proudu neprobíhá tak rychle jako u metody konstantního napětí. Výhodou tohoto režimu je tedy možnost rychlého nabíjení, díky poměrně velkým proudům v průběhu celého nabíjení, nevýhodou pak nešetrnost velkých proudů pro akumulátor. Dalším problémem může být obtížnost nastavení univerzálních hodnot napětí a strmosti jejich charakteristik v průběhu nabíjení. Z těchto důvodů se nabíjení se zvyšujícím se výstupním napětím využívá jen zřídka.

4 Realizace vlastní nabíječky

Před návrhem vlastní nabíječky olověných akumulátorů, byla prostudována různá obvodová zapojení nabíječek a jejich vlastnosti při nabíjení akumulátorů, včetně možností aplikace ochran. Bylo nalezeno mnoho typů nabíječek, které se daly rozdělit do skupin podle toho, zda obsahovaly či neobsahovaly nějaký řídicí integrovaný obvod nebo mikroprocesor.

Ty nejjednodušší obsahovaly pouze malé množství součástek s maximálním důrazem na nízké náklady a jednoduchost konstrukce. Využívaly většinou pouze jednoho typu nabíjecí charakteristiky a většinou ani neumožňovaly jakoukoli kontrolu stavu nabití akumulátoru, což může vést k nežádoucímu přebíjení.

Další skupinou byly nabíječky, které obsahovaly integrované obvody a velice často byly tyto obvody přímo vyvinuty pro aplikaci v nabíječkách olověných akumulátorů (často využívanými byly např. obvody UC2906N a UC3906N od firmy Texas Instruments). Tyto obvody už obsahovaly jistou logiku a umožňovaly využít kombinace různých nabíjecích charakteristik a jejich výhod. Dokázaly mezi jednotlivými charakteristikami automaticky přepínat, dle aktuálního stavu nabití akumulátoru. Při nasazení těchto integrovaných obvodů bylo možné se vyhnout i nechtěnému přebíjení akumulátoru, jelikož napětí na jeho svorkách bylo neustále sledováno jejich vnitřní logikou. Nevýhodou oproti nejjednodušším nabíječkám byla mírně vyšší složitost konstrukce a vyšší pořizovací náklady na integrovaný obvod. Protože byla vnitřní logika těchto integrovaných obvodů pevně dána zapojením, odpadla nutnost programování.

Nejdokonalejší nabíječky, které umožňovaly kombinaci různých nabíjecích charakteristik, hlídání stavu nabití akumulátoru, impulzní nabíjení, detekci poškozených akumulátorů a rozlišování typu olověného akumulátoru, byly zpravidla řízeny mikroprocesorem. Použití mikroprocesoru mělo výhodu v množství vlastností a možnostech jejich modifikace, kterými výsledná nabíječka disponovala. Avšak toto řešení sebou neslo zvýšené náklady na pořízení mikroprocesoru a případně i programátoru. Nepřehlédnutelná byla i zvýšená náročnost na konstrukci nabíječky z důvodu nutnosti vytvoření vlastního kódu pro mikroprocesor.

4.1 Výběr řešení

Pro tuto práci byl jako řídicí člen nabíječky vybrán specializovaný integrovaný obvod UC3906N, který byl vyvinut firmou Texas Instruments. Tento IO umožňuje optimální kontrolu pro maximální kapacitu a životnost akumulátoru, jednoduchou konstrukci v případě typického zapojení a teplotní kompenzaci při různé teplotě okolí ve stavu nabíjení. Toto řešení bylo vybráno, protože IO UC3906N je schopen kombinovat více nabíjecích charakteristik, není nutné jej programovat, jako by tomu bylo v případě využití mikroprocesoru a je cenově přijatelný. UC3906N byl primárně vyvinut pro nabíjení olověných akumulátorů se zaplavenými elektrodami a tomu odpovídá i nastavení průběhů nabíjecích charakteristik. Bylo by patrně možné, volbou jiných rozhodovacích napěťových úrovní a přepočítáním hodnot snímacích odporů, upravit zapojení i pro nabíjení např. gelových akumulátorů, ale protože autor práce využívá v osobním automobilu akumulátor se zaplavenými elektrodami, byla nabíječka sestrojena právě pro nabíjení těchto akumulátorů.

Princip zvolené ochrany je popsán v kapitole 4.4.3.

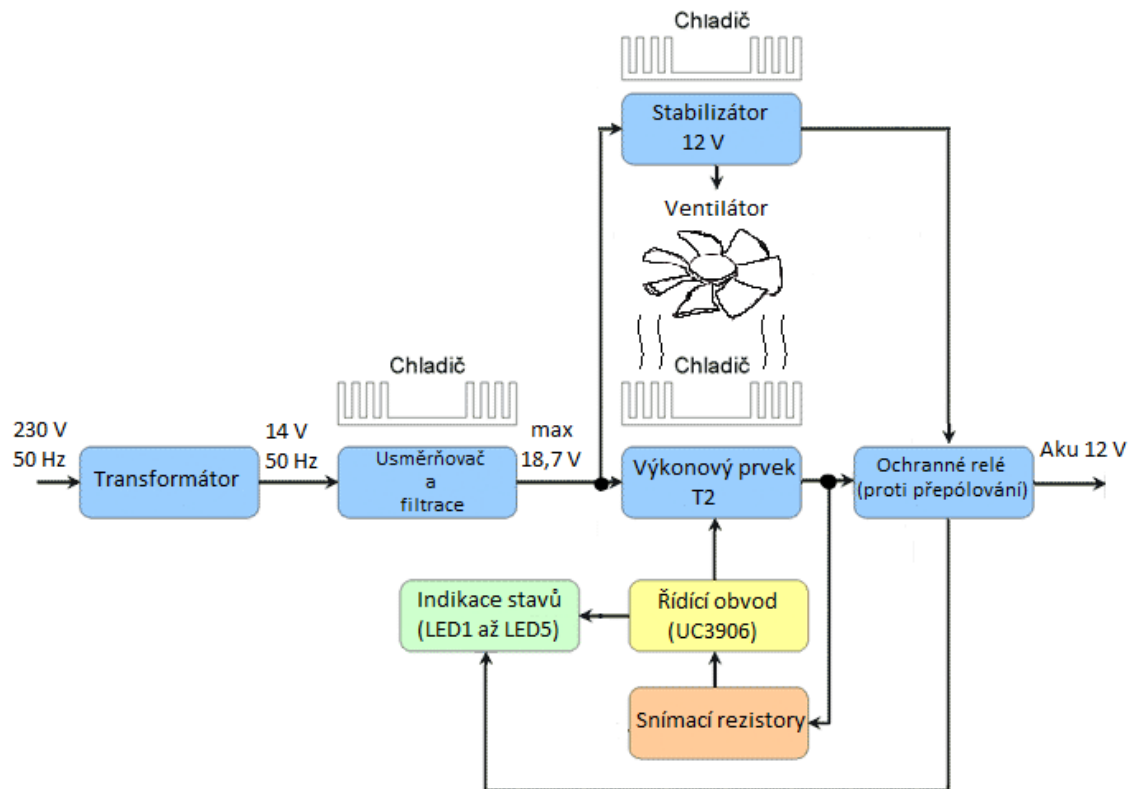
4.2 Blokové schéma

Blokové schéma nabíječky je uvedeno na obr. 4.1. Nabíječka byla navržena tak, že umožňuje napájení z běžné elektrické sítě o efektivní hodnotě napětí 230 V a frekvenci 50 Hz. Poté je napětí pomocí transformátoru transformováno na efektivní hodnotu 14 V o stejné frekvenci jako napětí síťové.

Následuje můstkový diodový usměrňovač a filtrační kondenzátory, u kterých byla vypočtena maximální hodnota napětí 18,7 V. Zvlnění napětí závisí na zvoleném maximálním nabíjecím proudu. Nejvýše však dosahuje 1,6 V a to při proudu 7 A.

Takto upravené napětí je přiváděno na stabilizátor a výkonový tranzistor T2. Stabilizátor sníží a stabilizuje napětí na 12 V. Je z něj napájen ventilátor, který chladí výkonový prvek T2, a ochranné relé, sloužící k znemožnění přepólování akumulátoru.

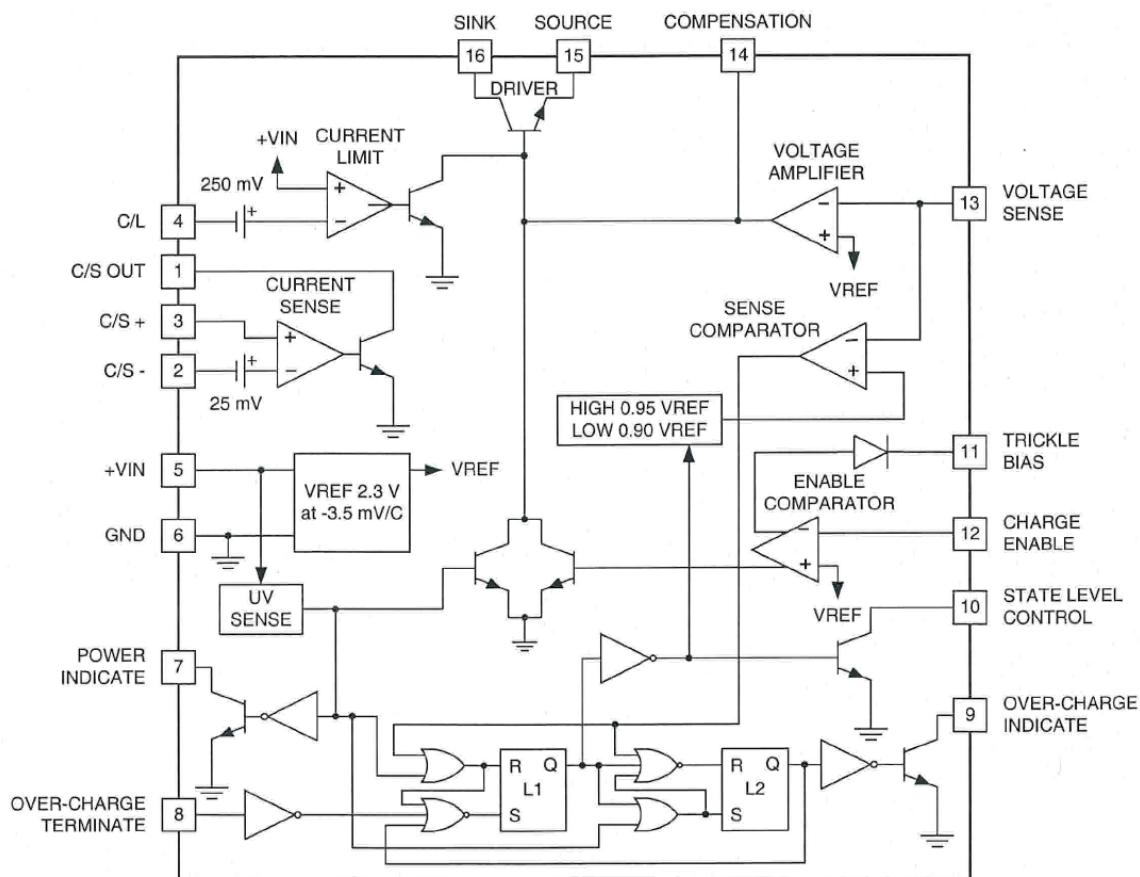
Pomocí snímacích rezistorů vyhodnocuje řídicí obvod UC3906N stav nabíjení akumulátoru a řídí výkonový prvek T2 a luminiscenční diody LED1 až LED5.



Obr. 4.1 Blokové schéma nabíječky olověných akumulátorů, upraveno z [6]

4.3 Řídicí obvod a výpočet snímacích rezistorů

Na Obr. 4.2 je zobrazeno blokové schéma IO UC3906N, které znázorňuje obvody potřebné ke správnému vyhodnocení stavu nabíjení, signalizaci a řízení výstupního proudu a napětí.



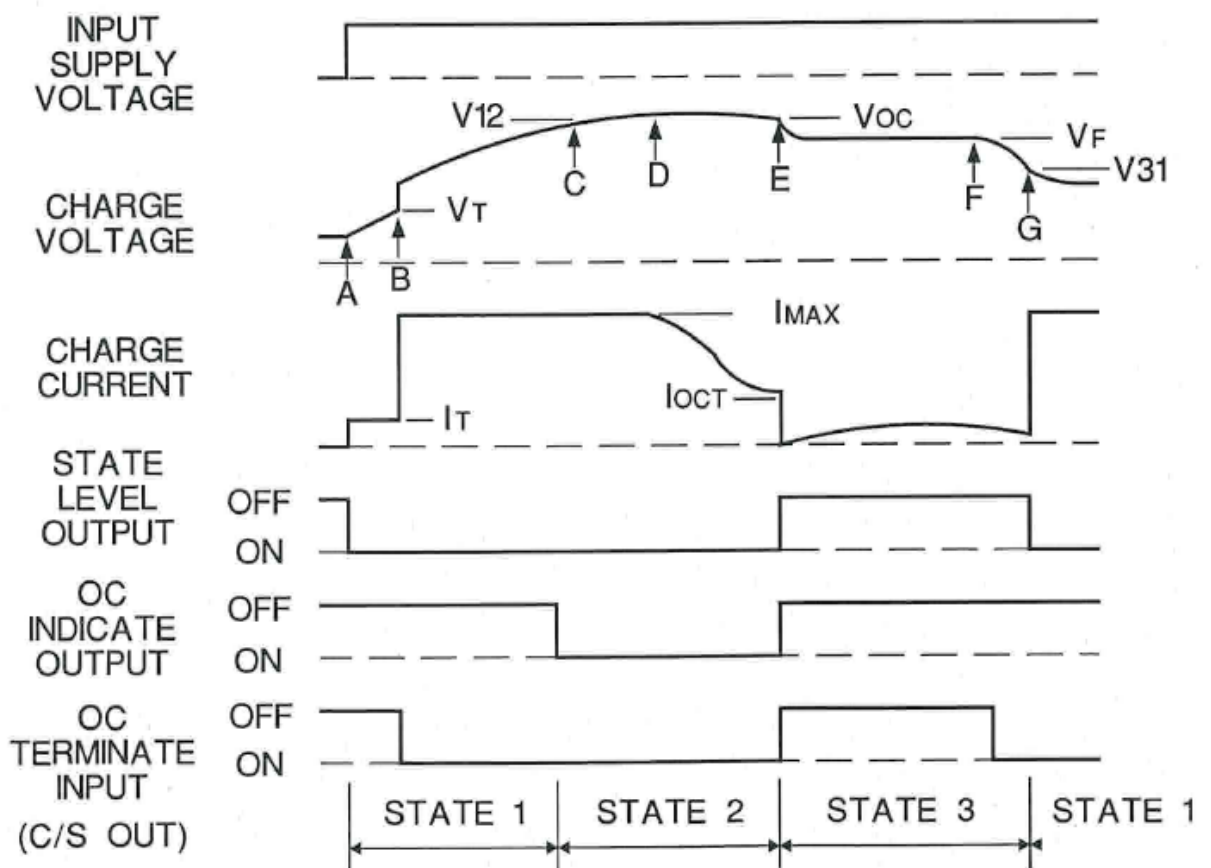
Obr. 4.2 Blokové schéma IO UC3906N [3]

Řídící integrovaný obvod UC3906 dokáže pracovat ve třech fázích nabíjení, ty jsou zobrazeny na obr. 4.3 a označeny jako STATE 1, STATE 2 a STATE 3. Hodnoty zvolených napětí jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Fáze I – V této fázi nabíječka pracuje, jestliže je k ní připojen vybitý akumulátor a je zapnuté napájení. Pokud se jedná o hluboce vybitý akumulátor, který má v nezátíženém stavu hodnotu svorkového napětí menší než $V_T = 10,5 V$, začíná nabíjení v bodě A, sníženým konstantním proudem, jehož hodnota byla zvolena $I_T = 30 mA$. Tím je zabráněno potenciálnímu poškození akumulátoru (pokud by byl hluboce vybitý akumulátor ihned nabíjen maximálním konstantním proudem, snižovala by se tím jeho životnost). Jakmile hodnota napětí akumulátoru vzroste nebo je-li již připojen akumulátor s hodnotou napětí na svorkách vyšší než zvolená hodnota $V_T = 10,5 V$ (bod B), dojde ke zvýšení konstantního proudu na hodnotu I_{MAX} , kterou volí obsluha (volitelný rozsah je 2 A až 7 A). Procházejícím proudem se zvyšuje napětí akumulátoru do bodu C.

Fáze II – V bodě C je dosaženo napětí $V_{12} = 13,68 V$ (vztah 4.1) a nabíječka přechází na nabíjení zvyšujícím se výstupním napětím. Napětí se zvyšuje až do bodu D, kde dosáhne zvolené hodnoty $V_{OC} = 14,4 V$. Dále již není napětí zvyšováno a dochází k poklesu procházejícího proudu, a to až do bodu E, kde je hodnota proudu $I_{OCT} = \frac{I_{MAX}}{10} [A]$. Akumulátor je plně nabit.

Fáze III – V případě, že necháme nabitý akumulátor stále připojen, dostává se nabíječka do udržovací fáze (mezi body E a F). Zde je kompenzováno samovybitení nebo velmi malý odběr. Hodnota udržovacího napětí byla zvolena $V_F = 13,8 V$, aby nedocházelo k nadměrnému generování plynů v akumulátoru. Hodnota udržovacího napětí je konstantní, dokud není zvýšen odběr proudu z akumulátoru (bod F). Při delším zatížení dojde k poklesu napětí pod úroveň $V_{31} = 12,42 V$ (vztah 4.2), což na grafu představuje bod G, a nabíječka se opět vrátí do fáze I a začne nabíjet konstantním proudem I_{MAX} .



Obr. 4.3 Časové průběhy proudů, napětí a indikačních vstupů/výstupů při nabíjení. [3]

Tab. 4.1 Zvolené hodnoty proudů a napětí

| Volené proměnné | Hodnoty | Jednotky |
|-----------------|---------|----------|
| I_D | 75 | μA |
| V_F | 13,8 | V |
| V_{OC} | 14,4 | V |
| I_{MAX} | 7 | A |
| V_T | 10,5 | V |
| I_T | 30 | mA |
| V_{IN} | 16,8 | V |

V tabulce 4.1 jsou uvedené hodnoty proudů a napěťových úrovní zvolených jako rozhodovací.

Doporučovaná hodnota proudu I_D v katalogovém listu je mezi $50 \mu A$ a $100 \mu A$. Byla tedy zvolena hodnota $I_D = 75 \mu A$.

Hodnota proudu $I_T = 30 mA$ udává, jakým proudem se bude akumulátor nabíjet ve stavu hlubokého vybití, tedy než dosáhne napětí V_T . Tento proud byl zvolen malý, kvůli maximální šetrnosti k akumulátoru.

Proud $I_{MAX} = 7 A$ byl zvolen, jako maximální možný nabíjecí proud ve fázi nabíjení konstantním proudem. Vyšší maximální nabíjecí proud by vyžadoval jiné dimenzování součástek a vzrostly by náklady na výrobu nabíječky.

Napětí $V_T = 10,5 V$ bylo zvoleno jako napětí, kdy nabíječka přejde z nabíjení sníženým konstantním proudem I_T na nabíjení maximálním konstantním proudem I_{MAX} .

Velikost napětí $V_F = 13,8 V$ odpovídá udržovacímu konstantnímu napětí, které vyrovnává samovybití, případně malou zátěž. Tato hodnota byla zvolena tak, aby udržovala akumulátor stále plně nabitý, ale nedocházelo přitom k nadměrné generaci plynů.

Hodnota napětí $V_{OC} = 14,4 V$ udává maximální napětí, které bude dosaženo na svorkách akumulátoru při nabíjení, než dojde k přechodu z druhé fáze nabíjení do třetí. Tato hodnota byla zvolena tak, aby nedošlo k překročení napětí $2,4 V$ na článek a zamezilo se zvýšené generaci plynů.

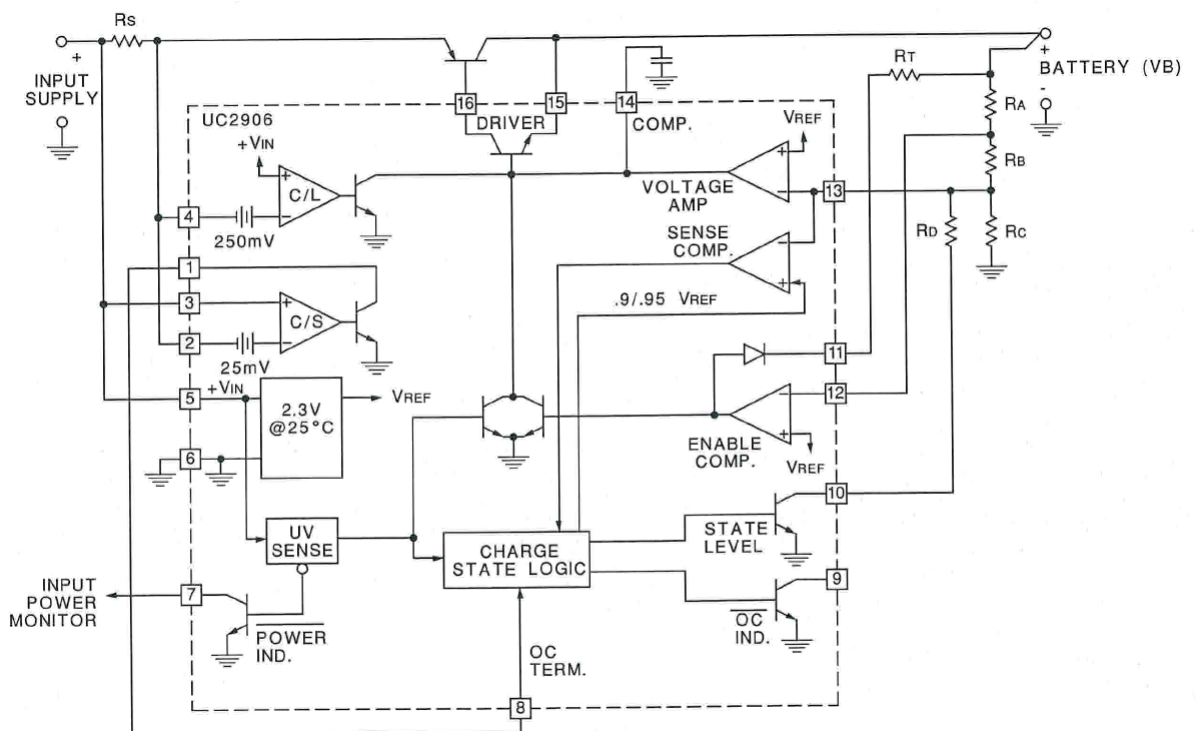
Hodnota napětí $V_{IN} = 16,8 \text{ V}$ je hodnota napájecího napětí IO UC3906N.

$$V_{12} = 0,95 \cdot V_{OC} = 0,95 \cdot 14,4 = 13,68 \text{ V} \quad (4.1)$$

$$V_{31} = 0,9 \cdot V_F = 0,9 \cdot 13,8 = 12,42 \text{ V} \quad (4.2)$$

K rozeznávání napěťových stavů akumulátoru a vyhodnocování přechodů mezi jednotlivými režimy slouží integrovanému obvodu snímací rezistory $R_A, R_B, R_C, R_D, R_S, R_T$, jejichž hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.2. Tyto hodnoty byly vypočítány podle vztahů uvedených výrobcem v katalogovém listu IO UC3906N (rovnice 4.3 až 4.10). Snímací rezistory byly zapojeny dle schématu, které též uvádí výrobce v katalogovém listu (obr. 4.4).

[3]



Obr. 4.4 Zapojení snímacích rezistorů, dle výrobce. [3]

Tab. 4.2 Vypočtené hodnoty snímacích rezistorů

| Snímací rezistory | Hodnoty | Jednotky |
|-------------------|---------|----------|
| Ra | 142 508 | Ω |
| Rb | 10 826 | Ω |
| Rc | 30 667 | Ω |
| Rd | 587 778 | Ω |
| Rs | 0,036 | Ω |
| Rt | 127 | Ω |

$$R_C = \frac{2,3}{I_D} = \frac{2,3}{75 \cdot 10^{-6}} = 30\,667 \text{ } [\Omega] \quad (4.3)$$

$$R_{SUM} = R_A + R_B = \frac{V_F - 2,3}{I_D} = \frac{13,8 - 2,3}{75 \cdot 10^{-6}} = 153\,333 \text{ } [\Omega] \quad (4.4)$$

$$R_D = \frac{2,3 \cdot R_{SUM}}{(V_{OC} - V_F)} = \frac{2,3 \cdot 153\,333}{14,4 - 13,8} = 587\,778 \text{ } [\Omega] \quad (4.5)$$

$$R_X = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{30\,667 \cdot 587\,778}{30\,667 + 587\,778} = 29\,146 \text{ } [\Omega] \quad (4.6)$$

$$R_A = (R_{SUM} + R_X) \cdot \left(1 - \frac{2,3}{V_T}\right) = (153\,333 + 29\,146) \cdot \left(1 - \frac{2,3}{10,5}\right) = 142\,508 \text{ } [\Omega] \quad (4.7)$$

$$R_B = R_{SUM} - R_A = 153\,333 - 142\,508 = 10\,826 \text{ } [\Omega] \quad (4.8)$$

$$R_S = \frac{0,25}{I_{MAX}} = \frac{0,25}{7} = 0,036 \text{ } [\Omega] \quad (4.9)$$

$$R_T = \frac{V_{IN} - V_T - 2,5}{I_T} = \frac{17,1 - 10,5 - 2,5}{30 \cdot 10^{-3}} = 127 \text{ } [\Omega] \quad (4.10)$$

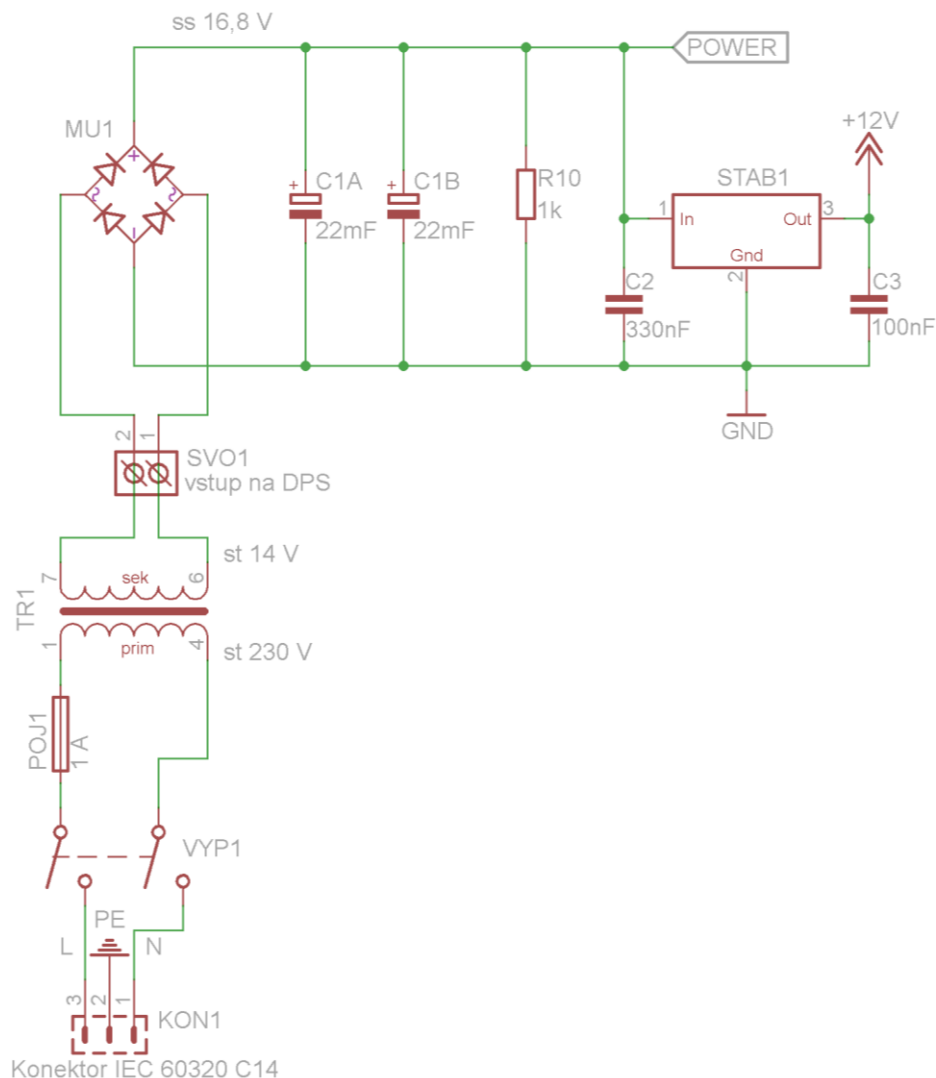
$$I_{OCT} = \frac{I_{MAX}}{10} = \frac{7}{10} = 0,7 \text{ } [A] \quad (4.11)$$

4.4 Schéma nabíječky a dimenzování součástek

Návrh schématu nabíječky byl proveden tak, aby bylo možno regulovat výstupní nabíjecí proud od 2 A do 7 A. Pro větší přehlednost bylo schéma rozděleno do tří částí (kompletní schéma je možno najít v příloze B1). První část se zabývá úpravou vstupního napětí, druhá signalizací a řídicím obvodem s přílehlými součástkami a ve třetí části jsou zobrazeny ochrany.

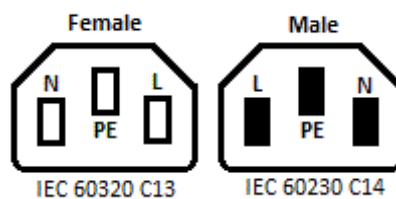
4.4.1 Úprava vstupního napětí

První část schématu je zobrazena na obr. 4.5. Popisek POWER odkazuje na pokračování výkonové cesty v příloze A1.



Obr. 4.5 První část schématu zobrazující úpravu vstupního napětí

Napájecím síťovým kabelem splňující standard IEC 60320 C13 je přivedeno napětí na konektor KON1 splňující stejný standard, ovšem typu C14 (obr. 4.6).



Obr. 4.6 Jednoduché znázornění tvaru konektorů standardu IEC 60320 C13/C14, pohled na vodiče - nárys

Z konektoru je napětí přivedeno na vypínač VYP₁, který dokáže odpínat fázový vodič L i vodič střední N. Po vypínači následuje primární vinutí transformátoru TR₁. Před primárním vinutím je ještě sériově zařazena tavná pojistka, která má jmenovitý proud 1 A a jmenovité napětí 250 V. Tato pojistka byla zvolena na základě rovnice 4.12, ze které vyplývá, že maximální proud primárním vinutím bude 0,43 A, a to při maximálním výstupním nabíjecím proudu 7 A.

$$I_{PRIM} = \frac{U_{SEK} \cdot I_{MAX}}{U_{PRIM}} = \frac{14 \cdot 7}{230} = 0,43 [A] \quad (4.12)$$

Transformátor mění efektivní hodnotu napětí 230 V u primárního vinutí na 14 V na vinutí sekundárním. Požadovaný výkon, byl pomocí rovnic 4.13 a 4.14 vypočten na 139 VA, zakoupený byl však toroidní transformátor s výkonem 200 VA a to z důvodu absence bližší vyšší kapacity na trhu.

$$S = U_{MAX} \cdot I_{MAX} = 19,8 \cdot 7 = 139 [VA] \quad (4.13)$$

$$U_{MAX} = U_{PRIM} \cdot \sqrt{2} = 19,8 [V] \quad (4.14)$$

Svorky sekundárního vinutí jsou vedeny na šroubovací svorkovnici SVO₁, která je totožná se SVO₂ a SVO₃ (zapojení SVO₂ a SVO₃ zobrazeno v kap. 4.4.2 a 4.4.3) a dále pak na usměrňovací můstek MU₁. Svorkovnice dokážou přenášet proud až 17,5 A. K můstku přiléhají dva, vzájemně paralelně zapojené, elektrolytické kondenzátory C_{1A} a C_{1B}, každý o kapacitě 22 mF. Jejich kapacita vyplývá z rovnice 4.15, kde $dt = 10 \text{ ms}$ je doba periody napětí za můstkovým usměrňovačem a du je hodnota zvlnění napětí, která byla zvolena 1,6 V (UC3906N toleruje zvlnění až 4,5 V).

$$C_1 = \frac{I_{MAX} \cdot dt}{du} = \frac{7 \cdot 0,01}{1,6} = 43,8 [mF] \quad (4.15)$$

Díky kondenzátorům vzniká za můstkem napětí přibližně $V_{IN} = 16,8 \text{ V}$ (vztahy 4.16 a 4.17, kde dU_{MU1} symbolizuje maximální úbytek na usměrňovacím můstku udávaný výrobcem a du zvolené maximální zvlnění napětí).

$$V_{INMAX} = U_{SEK} \cdot \sqrt{2} - dU_{MU1} = 14 \cdot \sqrt{2} - 2,2 = 17,6 [V] \quad (4.16)$$

$$V_{INMIN} = U_{SEK} \cdot \sqrt{2} - dU_{MU1} - du = 14 \cdot \sqrt{2} - 2,2 - 1,6 = 16 \text{ [V]} \quad (4.17)$$

Ke kondenzátorům je paralelně zařazen rezistor R_{10} s odporem 1 k Ω . Tato hodnota byla zvolena tak, aby při nabíjení přes rezistor tekla pouze zanedbatelný proud a zároveň dokázal co nejrychleji vybit nabitě kondenzátory, při vypnutí zařízení. Jmenovité zatížení rezistoru bylo zvoleno 1 W (viz. rovnice 4.18).

$$P = \frac{V_{INmax}^2}{R_{10}} = \frac{17,6^2}{1\,000} = 0,31 \text{ [W]} \quad (4.18)$$

Napětím V_{IN} je přímo napájen stabilizátor STAB₁ i IO UC3906N. Stabilizátor má na výstupu napětí 12 V a je z něj napájen ventilátor VE₁ a relé RE₁ (viz. kapitoly 4.4.2 a 4.4.3). Stabilizátor má pro svou správnou funkci na vstupu i výstupu připojeny keramické kondenzátory, jejichž hodnoty byly zvoleny dle katalogového listu výrobce, a to 330 nF a 100 nF.

4.4.2 Signalizace a řídicí část

Signalizace a řídicí část obvodu je znázorněna ve druhé části schématu a vzhledem k dobré čitelnosti je zobrazena v příloze A1. Navazuje na první část popiskem POWER a s třetí částí je propojena popiskem POWER2.

Pro indikaci stavů nabíjení slouží luminiscenční diody LED₁, LED₂, LED₃ a LED₄. Jejich zapojení bylo odvozeno ze zapojení podobné nabíječky [6]. Diody jsou připojené ke kolektorům bipolárních tranzistorů uvnitř IO UC3906N a pomocí vnitřní logiky, která tranzistory v daném stádiu nabíjení otvírá, jsou připojeny k GND. Proto byl výpočet rezistorů R_1 , R_2 , R_3 a R_4 , sloužící k omezení proudu diodou, realizován dle vztahů 4.19, 4.20, 4.21.

$$R_1 = R_4 = \frac{V_{IN} - U_{fLED1}}{I_{fLED1}} = \frac{16,8 - 2,2}{0,02} = 730 \text{ [\Omega]} \quad (4.19)$$

$$R_2 = \frac{V_{IN} - U_{fLED2}}{I_{fLED2}} = \frac{16,8 - 1,9}{0,02} = 745 \text{ [\Omega]} \quad (4.20)$$

$$R_3 = \frac{V_{IN} - U_{fLED_3}}{I_{fLED_3}} = \frac{16,8 - 3,1}{0,03} = 457 [\Omega] \quad (4.21)$$

Různé hodnoty proudů a napětí v propustném směru jsou dány jinou barvou LED a byly zjištěny z katalogových listů výrobce. Odpor R_1 a R_4 jsou totožné, jelikož je v obou případech použita zelená LED. LED_2 je žluté barvy a LED_3 bílé. Protože se na trhu nevyskytují rezistory shodující se s vypočtenými hodnotami odporů, byly zvoleny hodnoty nejbližší vyšší. V případě R_1 , R_2 a R_4 byla zvolena hodnota 820Ω s jmenovitým zatížením 1 W. Rezistor R_3 byl rozdělen na dva dílčí odpory $R_{3A} = 100 \Omega$ a $R_{3B} = 390 \Omega$ s jmenovitým zatížením 0,6 W zapojené do série, čímž bylo dosaženo celkové hodnoty odporu 490Ω .

Rozdělení odporu na dva dílčí bylo provedeno z důvodu zvolené signalizace. Jak je vidět z obrázku 4.3 pin 8 Over-Charge Terminate Input, na který je připojena bílá LED_3 , je otevřen v době nabíjení konstantním proudem i konstantním napětím. Pin 9 Overcharge Indicate Output, na který je připojena žlutá LED_2 otevírá pouze při nabíjení konstantním napětím. Pomocí tranzistoru T_4 bylo docíleno toho, že když se nabíječka dostane ze stavu nabíjení konstantním proudem do stavu konstantního napětí, malá část proudu protékajícího přes LED_2 se uzavře přes bázi tranzistoru T_4 , čímž dojde k jeho otevření a proud, který předtím tekla přes LED_3 a R_{3A} nyní poteče pouze přes T_4 . Tím je zajištěno, že LED_3 svítí pouze při nabíjení konstantním proudem a LED_2 při konstantním napětí. K bázi tranzistoru musel být sériově umístěn rezistor R_{13} , aby se přes ni neuzavírala velká část proud z LED_2 . Hodnota odporu rezistoru byla vypočtena dle vztahu 4.22 vycházejícího z proudového děliče.

$$R_{13} = \frac{I_{R_2} \cdot R_2}{I_{R_{13}}} - R_2 - R_{3B} = \frac{0,018 \cdot 820}{0,002} - 820 - 390 = 6\,170 [\Omega] \quad (4.22)$$

Hodnota proudu $I_{R_{13}} = 2 \text{ mA}$ byla dopředu zvolena, protože dle výstupních charakteristik uvedených v katalogovém listu výrobce vyhovovala úplnému otevření tranzistoru T_4 .

LED_4 je rozsvícena vždy, když je obvod UC3906N napájen a signalizuje tedy, že je zařízení zapnuto.

LED₁ je spínána pomocí tranzistorů v Darlingtonově zapojení DA₁ a signalizuje stav plného nabití akumulátoru. Jak je možno vidět na obr. 4.3, je pin 10 State Level Output otevřen po celou dobu nabíjení, vyjma části mezi body E až G, kdy je akumulátor dobit a nabíječka se snaží pouze udržovat jeho maximální náboj. Když dojde k uzavření pinu 10, proud tekoucí přes rezistory R_B se rozdělí mezi rezistory R_C a R_D. Aby bylo zabráněno ovlivňování napětí na snímacích rezistorech, byl přidán před bází prvního tranzistoru v Darlingtonově zapojení rezistor R₆. Jeho hodnota byla vypočtena podle vztahu 4.24, rovnice 4.23 slouží jako pomocný výpočet. Nízká hodnota proudu I_{R7} = 4 μA do báze DA₁ mohla být zvolena díky vysokému proudovému zesilovacímu činiteli h_(21E) = 30 000.

$$I_{RB} = \frac{V_F}{R_A + R_B} = \frac{13,8}{142\,508 + 10\,826} = 90 \text{ } [\mu A] \quad (4.23)$$

$$R_6 = \frac{I_{RB} \cdot R_C}{I_{R7}} - R_C - R_D = \frac{90 \cdot 10^{-6} \cdot 30\,667}{4 \cdot 10^{-6}} - 30\,667 - 587\,778 = 71\,563 \text{ } [\Omega] \quad (4.24)$$

Jako reálný R₆ byl vybrán rezistor s hodnotou odporu 100 kΩ, se jmenovitým zatížením 0,6 W.

Hodnota snímacích rezistorů R_S určuje velikost proudu I_{MAX} a vychází ze vztahu 4.9. Pro I_{MAX} = 7 A bylo vypočteno R_S = 36 mΩ. Pro vytvoření této hodnoty byla zvolena paralelní kombinace rezistorů R_{S1} a R_{S2} o hodnotě odporů 50 mΩ a 130 mΩ, což dává výslednou hodnotu 36,11 mΩ. Rezistory R_{S1} a R_{S2} se vyrábějí pouze se jmenovitým zatížením 5 W a více, tudíž byla zvolena hodnota 5 W, která je plně dostačující.

Potenciometr POT₁ je společně se snímacími rezistory R_S zapojen mezi piny 3 a 2 (4) IO, které slouží ke snímání úbytku napětí, a podle toho IO vyhodnocuje velikost proudu I_{MAX}. Při zvyšování odporu mezi vývody potenciometru 3 a 2 dojde ke zvýšení úbytku napětí a IO vyhodnotí tento stav jako dosažení I_{MAX} = 7 A, nicméně ve skutečnosti bude protékat proud nižší, a to v rozsahu přibližně 2 A až 7 A. Regulace v daném rozsahu je možná díky vnitřní logice IO, která je ovládána dvojicí komparátorů, která hlídá, zda bylo na rezistorech R_S dosaženo minimálního či maximálního úbytku napětí, a tím řídí T₂ (více viz. obr. 4.4). Na vstupy komparátoru rozhodujícího o dosažení maximálního nabíjecího proudu je přivedeno napájecí napětí a napětí snížené o úbytek na R_S, ke kterému je přičtena hodnota 250 mV

pomocí vnitřních obvodů IO. Pomocí POT_1 je zvýšen úbytek napětí nad 250 mV, tím dojde překlopení komparátoru C/L, ten přivře DRIVER na pinu 16 a výsledný nabíjecí proud je nižší, než hodnota proudu I_{MAX} , pro kterou je vypočten R_S . V případě, že bude přes R_S protékat proud pouze 2 A bude úbytek napětí pouze 70 mV namísto 250 mV, jako by tomu bylo v případě 7 A. Pro zvýšení úbytku napětí ze 70 mV na 250 mV, byly zvoleny hodnoty odporového děliče $POT_1 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R_{11} = 1 \text{ M}\Omega$. Tím bylo dosaženo toho, že každé 2 k Ω na POT_1 odpovídají přibližně úbytku napětí, způsobujícího změnu proudu o 1 A. Díky tomuto poznatku byla později cejchována stupnice kolem POT_1 , který má úhel rotace 300°. Na každých 60° otočení tedy připadá 1 A.

Zapojení tranzistorů T_1 a T_2 vychází z aplikačního listu výrobce IO UC3906N a mělo by umožňovat konstrukci nabíječek schopných dodávat proud od 600 mA do 15 A [7]. Zapojení dvou tranzistorů je nutné, protože přes pin 16 integrovaného obvodu může téci maximálně proud 40 mA. Takto malým proudem by IO nedokázal správně otevírat např. výkonový bipolární tranzistor. Proto byl zvolen T_1 tak, že při daném zapojení je již při proudu bázi $I_B = -10 \text{ mA}$ tranzistor plně otevřen. Napětí V_{IN} je tak s úbytkem přibližně 0,7 V přivedeno na elektrodu G unipolárního tranzistoru T_2 , který je typu NMOS. Řízením T_1 je tedy možné řídit i T_2 . Maximální hodnota napětí U_{GS} u tranzistoru T_2 by dle výpočtu 4.25 v žádném případě (spíše teoreticky např. v případě špatně připojeného D, prakticky nikdy nepřesáhne ani hodnotu 5 V, protože při ní je již tranzistor dostatečně otevřen) neměla přesáhnout 16,9 V.

$$U_{GS} = V_{INMAX} - \Delta U_{T_2} = 17,6 - 0,7 = 16,9 \text{ [V]} \quad (4.25)$$

Maximální výkon na T_2 by neměl přesáhnout hodnotu přibližně 50 W, získanou z rovnice 4.26.

$$P_{MAX} = I_{MAX} \cdot (V_{INMAX} - V_T) = 7 \cdot (17,6 - 10,5) = 50 \text{ [W]} \quad (4.26)$$

Dle vypočtených parametrů byl vybrán T_2 s maximálním výkonem až 300 W, $U_{GS} = 20 \text{ V}$, maximálním proudem drainu až 120 A a odporem mezi elektrodami D a S v sepnutém stavu pouze 4,1 m Ω . Protože jde o prvek s vysokým výkonem je osazen v pouzdře TO220AB, které je připevněno na hliníkový chladič (více kap. 4.5).

Hliníkový chladič je dále ochlazován ventilátorem VE_1 (více kap. 4.5), který je přes svorky SVO_3 napájen ze stabilizátoru $STAB_1$ (kap. 4.4.1).

Tranzistor T_2 je doplněn o rezistor R_7 s hodnotou $10\text{ k}\Omega$ a jmenovitým zatížením $0,4\text{ W}$, který je zapojen mezi elektrody G a S. Rezistor slouží k odčerpání náboje po uzavření tranzistoru T_1 . Ohmická hodnota byla zvolena takto vysoká, jelikož přes R_7 protéká proud i když jsou tranzistory T_1 a T_2 otevřeny.

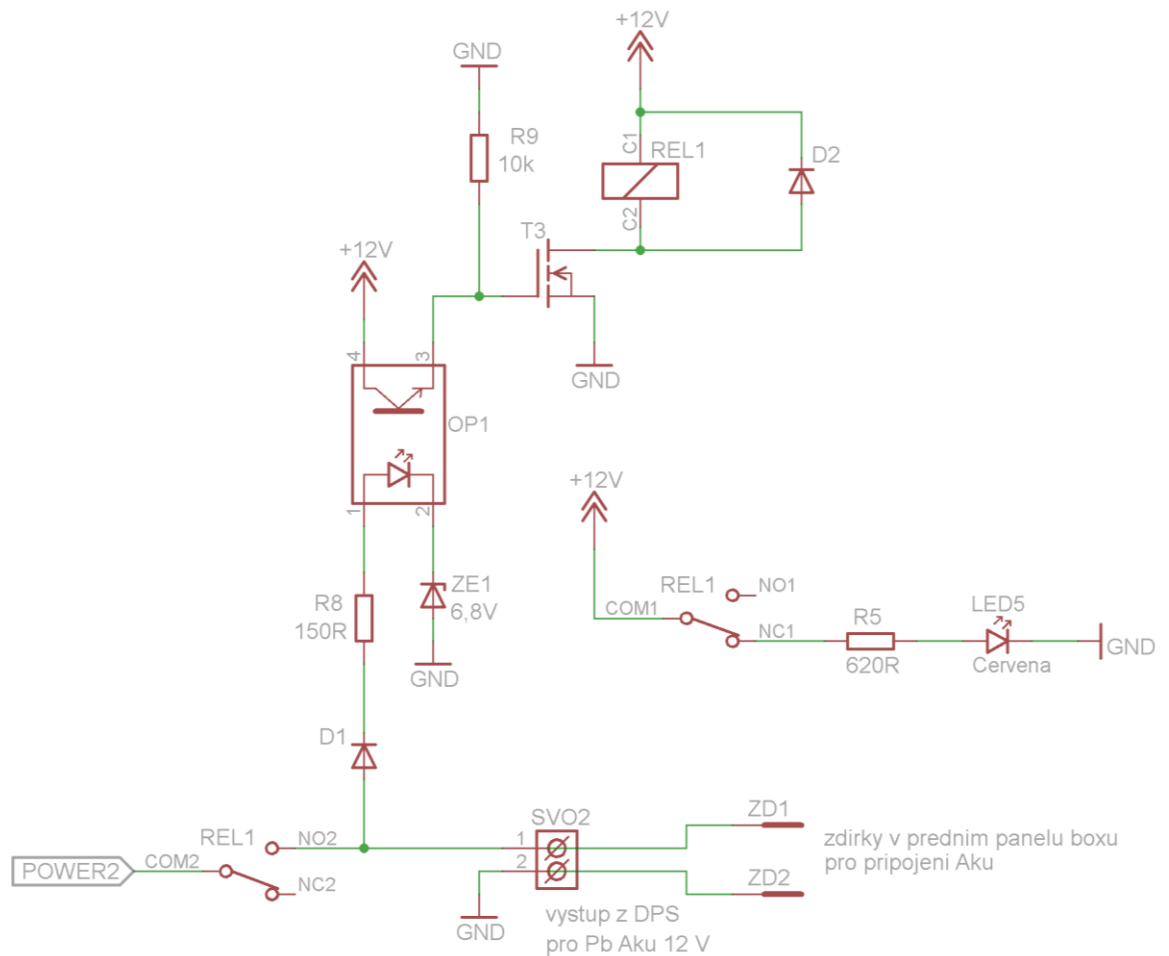
Kompenzační kondenzátor C_5 je keramický s kapacitou 100 nF . Jeho zapojení i hodnota je uvedena v katalogovém listu výrobce IO UC3906N. [3]

Kondenzátor C_4 byl zvolen elektrolytický s kapacitou $47\text{ }\mu\text{F}$ a funguje jako poslední filtrace před svorkami k akumulátoru.

Rezistory R_A , R_B , R_C , R_D a R_T jsou zapojeny dle (obr. 4.4) a vypočteny (tab. 4.2 a s ní související rovnice v kap. 4.3) podle katalogového listu výrobce IO UC3906N. Vypočtené hodnoty odporů rezistorů se běžně neprodávají, proto bylo přistoupeno k sériovému spojení vždy dvou rezistorů (viz. příloha A₁), které se dohromady nejvíce přibližují vypočtené hodnotě, vyjma rezistoru R_T , zde byl vybrán pouze jeden rezistor s blízkou hodnotou odporu. Rezistor R_A je tedy fyzicky tvořen dílčími rezistory R_{A1} a R_{A2} o hodnotách $130\text{ k}\Omega$ a $12\text{ k}\Omega$. R_B se skládá z R_{B1} a R_{B2} , které mají hodnoty $910\text{ }\Omega$ a $10\text{ k}\Omega$. R_C je složen z R_{C1} a R_{C2} , jenž mají odpor $27\text{ k}\Omega$ a $3,6\text{ k}\Omega$. R_D je složen z rezistorů R_{D1} a R_{D2} o hodnotách $330\text{ k}\Omega$ a $270\text{ k}\Omega$. Rezistory R_A až R_D byli díky vysokým odporům a tedy nízkým protékajícím proudům vybrány se jmenovitým zatížením jen $0,6\text{ W}$. Rezistor R_T byl realizován pouze jedním prvkem, a to rezistorem s odporem $130\text{ }\Omega$, a protože přes něj díky nižšímu odporu protékají větší proudy, bylo zvoleno jmenovité zatížení až 5 W .

4.4.3 Ochrany

Třetí část schématu se zabývá ochranami proti zkratu a přepólování akumulátoru. Jak je možno vidět na obr. 4.7 výkonová cesta označená popiskem POWER2 je ve výchozím stavu odpojena. Pro začátek nabíjení je tedy nejprve nutné sepnout relé RE_1 , aby došlo k přepnutí přepínače z polohy NC2 na polohu NO2.



Obr. 4.7 Třetí část schématu znázorňující ochrany

Sepnutí relé je realizováno pomocí optočlenu s tranzistorovým výstupem OP₁. Pokud dojde k připojení akumulátoru, a zároveň jeho správné polarizaci, na svorky SVO₂, luminiscenční dioda uvnitř optočlenu nabudí tranzistor, který je umístěn ve stejném pouzdře a tím dojde k jeho otevření. Poté je přivedeno napětí na elektrodu G tranzistoru T₃ a dojde i k jeho otevření. Tím sepne relé RE₁ a začne nabíjení akumulátoru.

Dioda D₁ brání průchodu proudu při špatné polarizaci připojeného akumulátoru na SVO₂. LED v optočlenu má totiž maximální závěrné napětí $U_r = 6\text{ V}$ a při připojení 12 V akumulátoru by došlo k jejímu průrazu. D₁, která byla vybrána má závěrné napětí $U_r = 200\text{ V}$ a napětí v propustném směru $U_f = 0,95\text{ V}$. Totožné parametry má i dioda D₂, která slouží k ochraně tranzistoru T₃. Ten pokud se uzavře, neměl by proud, který je u induktoru obsaženého v relé stavovou veličinou, jinou možnost, než projít přes uzavřený T₃ a došlo by k jeho zničení. D₂ tento stav napravuje a při uzavření T₃ dojde k uzavření proudu, procházejícího cívkou relé, přes diodu D₂.

Zenerova dioda ZE_1 slouží pro případ, kdy by došlo k připojení akumulátoru, který by byl správně polarizován, avšak nedošlo k zapnutí nabíječky nebo došlo k výpadku v elektrické síti. LED v optočlenu by stále odebírala pro svou činnost proud až 50 mA a mohlo by tak dojít k nechtěnému hlubokému vybití akumulátoru a případně i jeho poškození. Hodnota Zenerova napětí $U_{ZE} = 6,35 V$ u ZE_1 byla vypočtena ze vztahu 4.27, díky předem přibližně zvolenému odporu rezistoru $R_8 = 150 \Omega$.

$$U_{ZE} = U_{AKUmin} - U_{fD_1} - R_8 \cdot I_{fOP_{1min}} - U_{fOP_1} = 10 - 0,95 - 150 \cdot 0,007 - 1,2 = 6,8 [V] \quad (4.27)$$

Minimální napětí akumulátoru, pod které je nežádoucí se dostat, bylo zvoleno na 10 V. V případě, že by tedy byl připojen správně polarizovaný akumulátor a nedošlo by k zapnutí nabíječky, nedojde k vybití akumulátoru, pod hodnotu 10 V. Proud $I_{fOP_{1min}} = 7 mA$ je minimální proud luminiscenční diodou v optočlenu, aby dokázala otevřít tranzistor na výstupu pro proud kolektoru $I_C = 10 mA$ a docházelo tak ke spolehlivému spínání T_3 . Hodnota $U_{fOP_1} = 1,2 V$ je napětí na LED optočlenu v propustném směru a je dána v katalogovém listu výrobce. $U_{fD_1} = 0,95 V$ je napětí na diodě D_1 v propustném směru. Za reálnou součástku ZE_1 byla zvolena dioda se Zenerovým napětím 6,8 V a výkonem až 1,3 W. Zvolená hodnota rezistoru $R_9 = 150 \Omega$ se ukázala jako vhodná i pro případ nabíjení nejvyšším možným napětím a byla tedy vybrána i pro fyzickou součástku. Maximální proud LED v optočlenu totiž dle katalogového listu výrobce nesmí v propustném směru přesáhnout 50 mA, jinak dojde k jejímu zničení. Tato podmínka byla díky R_8 splněna (viz. rovnice 4.28). Její jmenovité zatížení R_8 bylo zvoleno 3 W (především z důvodu vyprodaných nižších hodnot).

$$I_{fOP_{1max}} = \frac{V_{OC} - U_{fD_1} - U_{fOP_1} - U_{ZE}}{R_8} = \frac{14,4 - 0,95 - 1,2 - 6,8}{150} = 36,3 [mA] \quad (4.28)$$

Rezistor R_9 má stejnou funkci i hodnotu odporu 10 k Ω jako R_7 (kap. 4.4.2). Odčerpává náboj při zavření tranzistorového výstupu v optočlenu.

Relé RE_1 bylo zvoleno tak, aby bylo možno jej napájet napětím 12 V přímo ze stabilizátoru $STAB_1$. Má dva separátní přepínače a každý z nich se může přepínat mezi dvěma stavy. Druhý přepínač $COM2$ je ve výchozím stavu odpojen a při sepnutí relé, spíná

výkonovou cestu mezi nabíječkou a svorkami SVO₂, které jsou určené pro připojení akumulátoru. První přepínač COM1 je ve výchozím stavu sepnutý a při zapnutém napájení svítí červená LED₅, která signalizuje špatně připojený akumulátor (ať už je špatně polarizován či není vůbec připojen). Při správném připojení akumulátoru tedy dojde k přepnutí prvního přepínače z polohy NC1 do polohy NO1 a LED₅ přestane svítit. Hodnota rezistoru R₅ byla vypočtena ze vztahu 4.29.

$$R_5 = \frac{U_{STAB} - U_{fLED_5}}{I_{fLED_5}} = \frac{12 - 1,9}{0,02} = 505 [\Omega] \quad (4.29)$$

Hodnota reálného rezistoru byla vybrána 620 Ω o jmenovitém zatížení 0,4 W.

Výše popsaný systém ochrany zaručuje bezpečnost zařízení v očekávatelných nežádoucích stavech při procesu připojování akumulátoru a jeho nabíjení. Očekávatelné stavy jsou shrnuty v tab. mm.

Tab. 4.3 Ošetření očekávatelných nežádoucích stavů

| | Očekávatelné stavy | Chování obvodu |
|----|--|---|
| 1) | Správně polarizovaný akumulátor připojený před zapnutím nabíječky. | Proud z aku rozsvítí LED v optočlenu, ale k sepnutí relé (a tím připojení akumulátoru k nabíječce) dochází, až po připojení napájení. Díky Zenerově diodě je vyloučeno vybití akumulátoru pod napětí 10 V, pokud by nedošlo k zapnutí nabíječky. Nabíjení začne v okamžiku zapnutí nabíječky. |
| 2) | Špatně polarizovaný akumulátor připojený před zapnutím nabíječky. | Přepínač COM1 je rozepnut, nemůže tedy dojít k uzavření obvodu a poškození nabíječky vlivem akumulátoru. Po zapnutí nabíječky začne svítit LED ₅ indikující špatně připojený akumulátor. |
| 3) | Zkrat na svorkách připojeného akumulátoru bez zapnuté nabíječky. | Relé je rozepnuté tudíž nemůže dojít k poškození nabíječky. Předmět, který zkrat na svorkách akumulátoru způsobil, se pravděpodobně rychle odpaří, vlivem vysokého proudu v řádu stovek ampér, který je akumulátor schopný dodat. |
| 5) | Správně polarizovaný akumulátor připojený po zapnutí nabíječky. | K sepnutí relé dojde až po připojení akumulátoru. Poté přestane svítit LED ₅ a začne nabíjení akumulátoru. |
| 6) | Špatně polarizovaný akumulátor připojený po zapnutí nabíječky. | Nedojde k sepnutí relé. Svítí LED ₅ (špatně připojený akumulátor). |

| | | |
|----|--|---|
| 7) | Zkrat na svorkách připojeného akumulátoru ve stavu nabíjení. | Řídící logika IO UC3906N nedovolí, aby přes řízený výkonový prvek T_2 , tekl větší proud než $I_{MAX} = 7$ A. Veškerý proud z nabíječky i akumulátoru poteče do místa zkratu. Přestane být buzen optočlen a dojde k rozepnutí COM2, pokud ovšem dříve nedojde k odstranění předmětu způsobujícího zkrat vlivem vysokých teplot, zapříčiněných obrovským proudem. Nabíječka by měla být ochráněna. |
| 7) | Krátký výpadek v elektrické síti ve stavu nabíjení. | Pokud dojde pouze ke krátkému výpadku, setrvačnost některých součástí (především kondenzátorů) zajistí fungování i krátkého výpadku. |
| 8) | Delší výpadek v elektrické síti ve stavu nabíjení. | Pokud dojde k delšímu výpadku v elektrické síti, přestane být napájeno relé a dojde k rozepnutí obvodu přepínačem COM2. Po náběhu napájení je COM2 opět sepnut a nabíjení pokračuje. |

4.5 Výpočet chladičů

U tranzistoru T_2 je uvedena v katalogovém listu maximální výkonová ztráta 300 W. Pouzdro tranzistoru dokáže samovolně uchladiť maximálně desetinu této hodnoty. Z rovnice 4.26 však plyne, že při nabíjení může vzrůst výkonová ztráta až na 50 W. Proto je potřeba umístit T_2 na chladič. Podobně je tomu u stabilizátoru STAB₁.

Při výpočtu chladičů bylo čerpáno z [9].

Teplota pouzdra ϑ_C byla vypočtena jako maximální teplota pouzdra (udávaná v katalogovém listu) minus násobek vnitřního odporu K_1 (též uvedeno v katalogu) a požadovaného výkonu. Výpočet potřebné plochy chladiče pro T_2 znázorňují vztahy 4.30, 4.31 a 4.32.

$$\vartheta_{CT_2} = \vartheta_{JT_2} - (K_{1T_2} \cdot P_{maxT_2}) = 175 - (0,5 \cdot 50) = 150 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.30)$$

Vnější tepelný odpor K_2 byl vypočten odečtením teploty okolí ϑ_A od teploty pouzdra a vydělením požadovaným výkonem.

$$K_{2T_2} = \frac{\vartheta_{CT_2} - \vartheta_A}{P_{maxT_2}} = \frac{150 - 30}{50} = 2,4 \text{ [}^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}\text{]} \quad (4.31)$$

Při výpočtu plochy chladiče S byla brána v úvahu materiálová konstanta C_1 , která má pro hliník hodnotu 0,75 a vyzařovací konstanta C_2 s hodnotou 0,43 pro svisle postavený chladič. Číselné konstanty byly brány z [9].

$$S_{T_2} = \frac{C_1 \cdot 7,6 \cdot 10^2 \cdot C_2}{K_{2T_2} - C_1 \cdot 1,73} = \frac{0,75 \cdot 7,6 \cdot 10^2 \cdot 0,43}{2,4 - 0,75 \cdot 1,73} = 222 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (4.32)$$

Chladič, který byl při realizaci nabíječky zdarma dostupný, má ovšem plochu přibližně pouze 130 cm². Bylo tedy nutné použít ventilátor, který nuceným prouděním vzduchu dokáže výrazně zlepšit odvod tepla z chladiče.

Výpočet plochy chladiče nutné pro stabilizátor STAB₁ je analogický a ukazují ho rovnice 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 a 4.37. I_{OUT} symbolizuje proud dodávaný stabilizátorem STAB₁ a $P_{maxSTAB_1}$ je pak ztrátový výkon na něm.

$$I_{OUT} = I_{RE_1} + I_{VE_1} = 75 + 370 = 445 \text{ [mA]} \quad (4.33)$$

$$P_{maxSTAB_1} = (V_{INmax} - U_{OUT}) \cdot I_{OUT} = (16,8 - 12) \cdot 0,445 = 2,14 \text{ [W]} \quad (4.34)$$

$$\vartheta_{CSTAB_1} = \vartheta_{jSTAB_1} - (K_{1STAB_1} \cdot P_{maxSTAB_1}) = 150 - (3 \cdot 2,14) = 144 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.35)$$

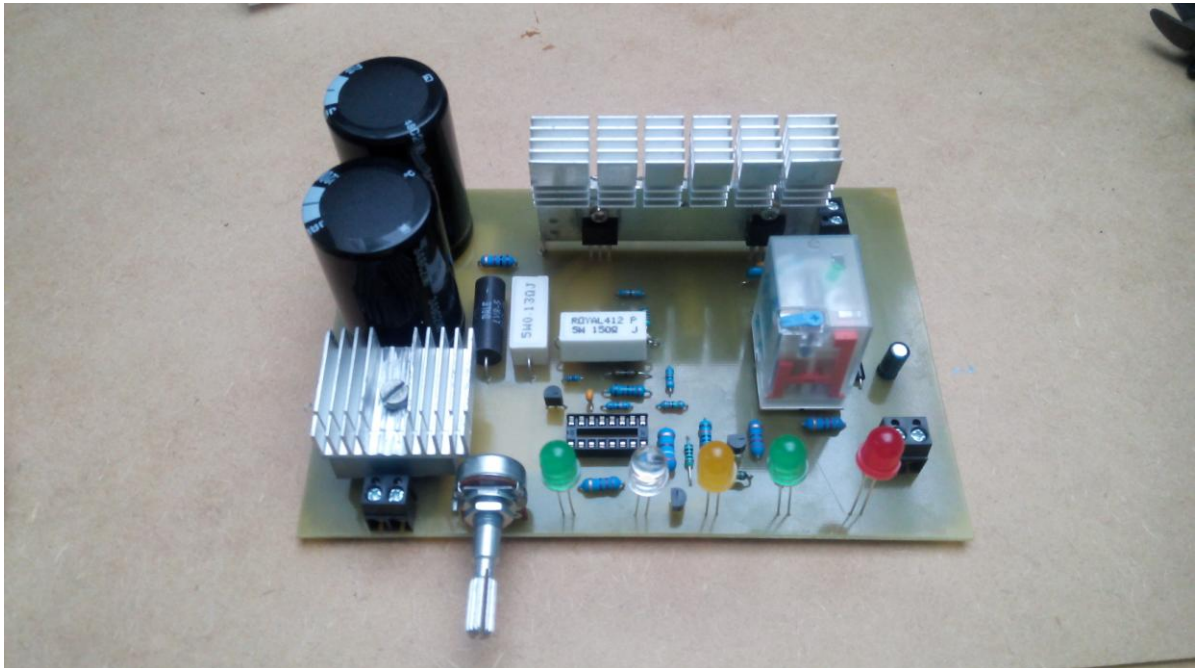
$$K_{2T_2} = \frac{\vartheta_{CSTAB_1} - \vartheta_A}{P_{maxSTAB_1}} = \frac{144 - 30}{2,14} = 53,3 \text{ [}^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}\text{]} \quad (4.36)$$

$$S_{STAB_1} = \frac{C_1 \cdot 7,6 \cdot 10^2 \cdot C_2}{K_{2STAB_1} - C_1 \cdot 1,73} = \frac{0,75 \cdot 7,6 \cdot 10^2 \cdot 0,43}{53,3 - 0,75 \cdot 1,73} = 4,7 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (4.37)$$

Celková plocha chladiče pro spolehlivé chlazení součástek bez ventilátoru je součtem ploch, které potřebuje T₂ a STAB₁ a musela by mít hodnotu $S = 226,7 \text{ cm}^2$. Takto velký chladič by byl příliš veliký, proto byl vybrán ventilátor VE₁ s 7600 RPM a průtokem vzduchu téměř 68 m³/h, který dokáže lépe odvádět teplo z chladiče a jeho velikost tak kompenzovat.

Můstek MU_1 je využíván s takovou výkonovou rezervou, že by k chlazení stačilo samotné pouzdro součástky. Malý chladič o ploše přibližně 51 cm^2 pro něj však byl již předpřipraven, tudíž byl taky použit.

Umístění chladičů na DPS je možné vidět na obr. 4.8.

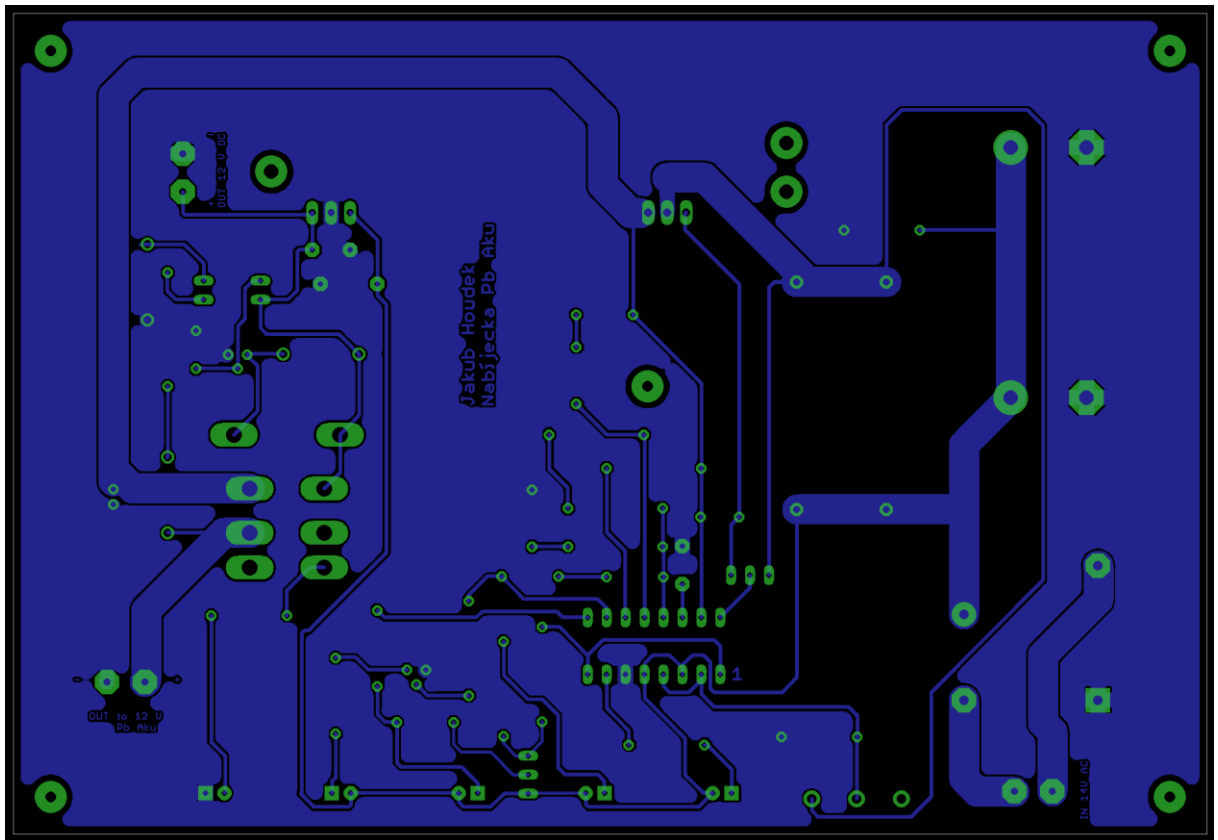


Obr. 4.8 Umístění chladičů na DPS

4.6 Tvorba DPS

Pro desku plošných spojů byla vybrána technologie THT a to především z důvodu vyšší jednoduchosti při manuálním osazování. Vytvořená DPS je zobrazena na obr. 4.8. Měřítko je 1:1 a rozměry desky jsou $160 \text{ mm} \times 110 \text{ mm}$. Pohled ze strany mědi.

Tloušťka měděné vrstvy byla zvolena $70 \mu\text{m}$ kvůli menšímu proudovému zatížení proudových drah na plošném spoji a zároveň větší mechanické pevnosti při pájení. Šířka silové cesty byla zvolena 4 mm , což při dané tloušťce mědi a maximálním proudu 7 A vede k ohřátí proudové dráhy o méně než $10 \text{ }^\circ\text{C}$ (viz. příloha C1). Šířka ostatních signálových spojů byla zvolena $0,5 \text{ mm}$.



Obr. 4.8 Navržená deska plošného spoje

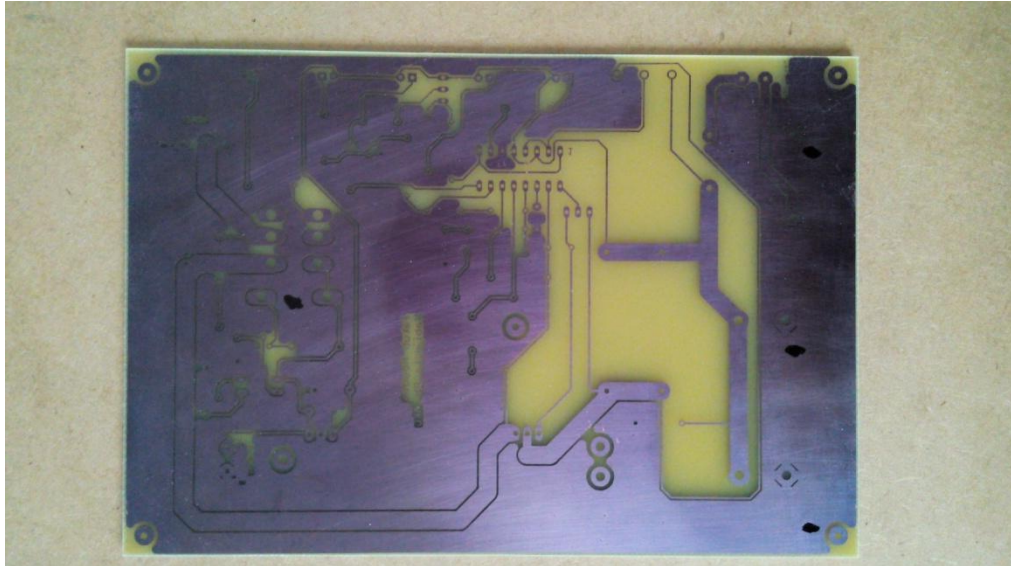
Při návrhu DPS muselo být bráno v úvahu rozmístění součástek vzhledem k umístění desky v boxu. To znamená, že luminiscenční diody LED_1 až LED_5 musely být pro dobře viditelnou signalizace umístěny na přední straně desky, stejně tak potenciometr POT_1 pro volbu nabíjecího proudu. Vstupní svorky SVO_1 musely být situovány blízko usměrňovacího můstku MU_1 , aby byla silová cesta co nejkratší, kondenzátory C_{1A} a C_{1B} pokud možno co nejdál od chladiče, který bude vyzařovat teplo, jenž by mohlo zkrátit jejich životnost. Tranzistor T_2 a stabilizátor $STAB_1$ byly umístěny do jedné roviny, aby mohly být umístěny na společný chladič. Svorky SVO_3 pro napájení ventilátoru VE_1 byly umístěny blízko chladiče a výstupní svorky SVO_2 poblíž předního panelu, pro vyvedení vodičů k akumulátoru.

Pájecí plošky o průměru 4 mm poblíž T_2 a $STAB_1$ slouží k upevnění společného chladiče, který je možno připájet přímo na DPS. Pájecí plošky v rozích a uprostřed DPS slouží k vymezení přesné polohy šroubů, které fixují desku v boxu.

U svorek SVO_1 , SVO_2 a SVO_3 byla poznamenána hodnota vstupních i výstupních napětí, případně i jejich polarita. Dále byl označen první pin IO UC3906N číslicí 1. Na desku byl umístěn i popisek se jménem autora a názvem práce.

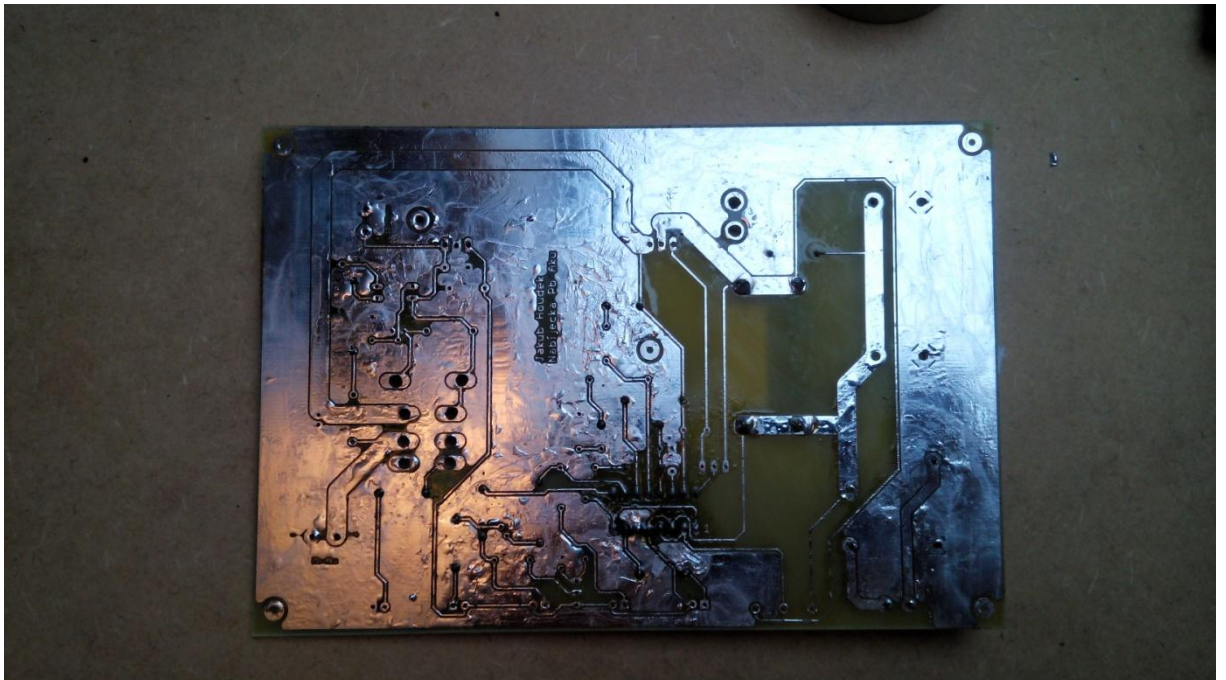
4.7 Osazování DPS

Navržená DPS byla zadána na výrobu firmě Elektrosound sídlící v Plzni, která využívá zhotovení desek technologií fotolitografie. Vyrobena deska je vyfocena na obr. 4.9.



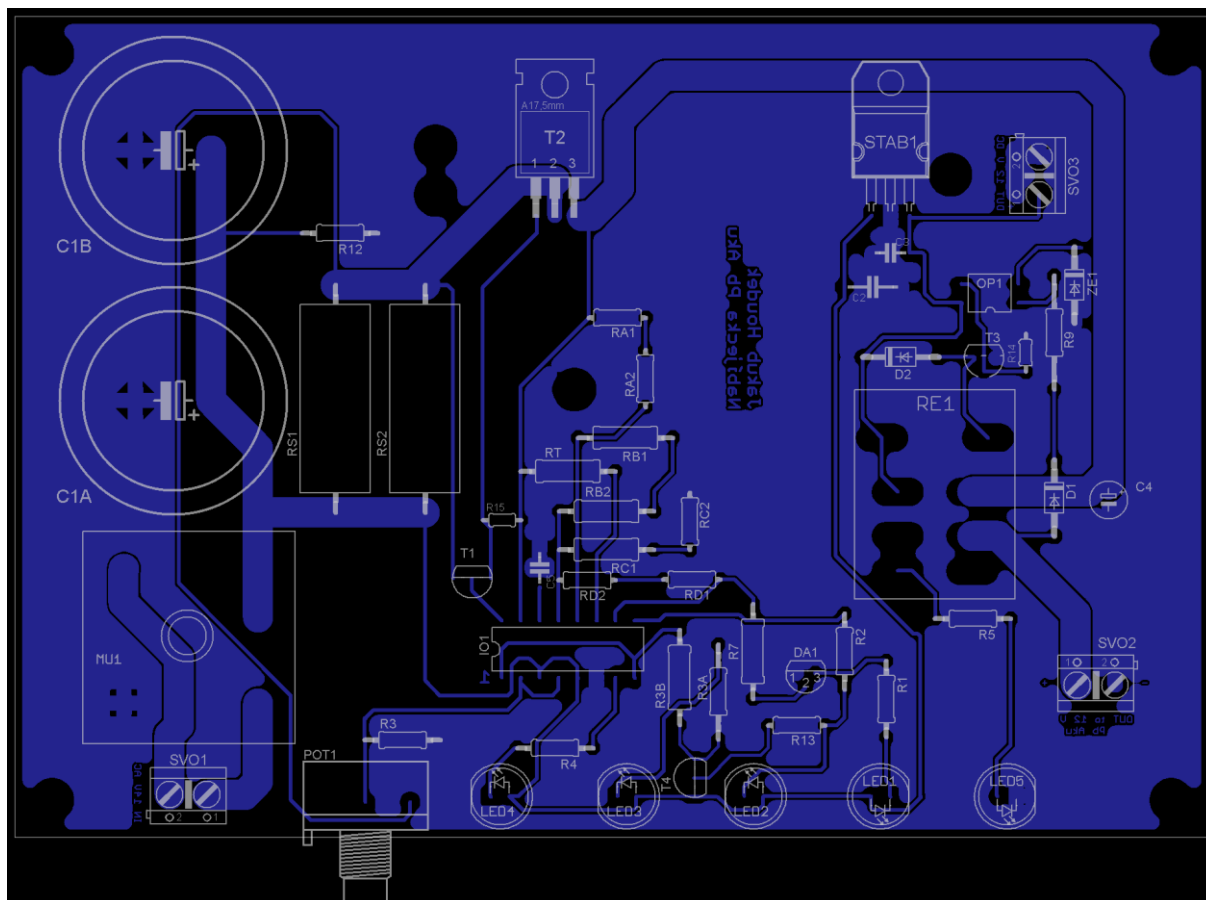
Obr. 4.9 DPS vyrobená dle návrhu

Pomocí nitroředidla byl odstraněn přebytečný fotorezist a následně bylo z důvodu lepší chemické odolnosti přistoupeno k pocínování měděných cest (obr. 4.10).



Obr. 4.10 Pocínovaná DPS

Následovalo osazování a pájení součástek dle osazovacího plánu, který je zobrazen na obr. 4.11.



Obr. 4.11 Osazovací plán

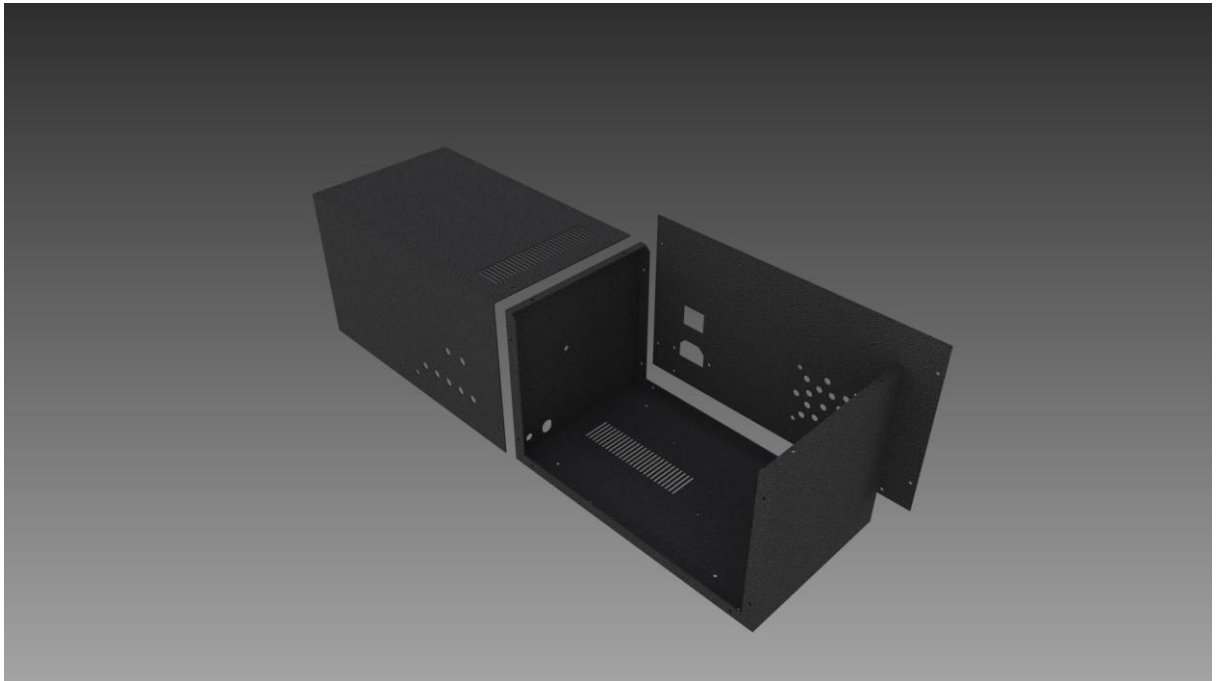
Při osazování T_2 a $STAB_1$ bylo nutné použít slídovou podložku mezi pouzdro a tělo chladiče, protože T_2 má na tělo pouzdra vyvedenou elektrodu D, kdežto $STAB_1$ má na pouzdro vyvedeno GND. Mohlo by tak dojít ke zkratu. Stejně tak bylo nutné použít plastové podložky pod hlavičky šroubů, kterým jsou součástky k chladiči připevněny.

Protože je veškerá logika nabíječky pevně dána, nebylo nutno nabíječku po osazení nijak oživovat. Seznam použitých součástek na DPS i mimo ni, lze nalézt v příloze D1 a D2. Značení součástek odpovídá katalogům výrobců GME a TME.

4.8 Výroba boxu

Polotovar boxu byl zakoupen u firmy EZK. Typové označení produktu je KK15-151. Polotovar musel být patřičně upraven, aby do něj mohla být umístěna DPS, vstupní a výstupní konektory, vypínač, pojistkové pouzdro a otvor pro šroub držící transformátor. Dále byla

rozdělena vrchní část na dvě dílčí, aby bylo umožněno snadnější rozebrání boxu. Model boxu je zobrazen na obr. 4.12.



Obr. 4.12 Model boxu nabíječky

Výrobní výkres zadní strany boxu je uveden v příloze E1. V levé části výkresu jsou zobrazeny sací a upevňovací otvory pro ventilátor VE_1 , který byl umístěn uvnitř boxu. V pravém dolním rohu výkresu se nachází otvor pro napájecí konektor KON_1 . Nad ním je vytvořen otvor pro vypínač VYP_1 .

Výkresy přední a horní části boxu jsou zobrazeny v příloze E2 a E3. Na prvním výkresu je vidět pět totožných otvorů, které jsou od sebe stejně vzdáleny. Ty slouží pro indikační LED_1 až LED_5 . Nad otvory pro LED se nachází díry pro výstupní zdířky ZD_1 a ZD_2 , naopak pod nimi je otvor pro umístění otočného běžce potenciometru POT_1 . Na druhém výkresu je vidět mřížkování, sloužící k odvětrávání horkého vzduchu z chladiče.

Výrobní výkresy dna a boků boxu jsou uvedeny v příloze E4 a E5. V příloze E4 je vidět levý bok boxu, na kterém se nachází otvor pro umístění šroubu upevňující transformátor TR_1 , s průměrem pět milimetrů. V pravém dolním rohu se nachází větší otvor pro pojistkové pouzdro s pojistkou POJ_1 . Menší otvor není nijak využit a byl zhotoven výrobcem polotovaru. V příloze E5 je zobrazen výkres dna boxu. Je zde vidět mřížkování sloužící k nasávání vzduchu a stejně jako na horní straně boxu ho vytvořil výrobce. Dále jsou zde otvory pro umístění gumových nožiček ze spodu boxu a také otvory pro umístění DPS.

Pro spojení boxu byly do otvorů o průměru 3 mm použity samořezné šrouby. V případě upevnění součástí byly použity šrouby s maticemi. Některé součástky jako například POT_1 jsou k připevnění na panel přímo vybaveny závitem s maticí. Fotografie výsledného výrobku je možno nalézt v přílohách F1 a F2.

Součástky osazené v otvorech boxu byly s DPS propojeny pomocí kabeláže.

4.9 Měření a testování

Po zhotovení nabíječky byl výrobek testován a bylo prováděno měření při zvolení různých hodnot nabíjecího proudu i při ponechání stejné hodnoty proudu po celou dobu nabíjení.

4.9.1 Chování při neměnné hodnotě proudu

Pokud byl POT_1 před zapnutím nastaven na danou hodnotu proudu došlo po zapnutí nabíječky ke správnému rozsvícení zelené LED_4 indikující, že je zařízení napájeno. Zároveň došlo k rozsvícení i LED_5 , která indikovala, že není připojen akumulátor. Po připojení vybitého akumulátoru se svorkovým napětím 10,5 V, došlo k sepnutí RE_1 , zhasnutí LED_5 a rozsvícení bílé LED_3 indikující nabíjení konstantním proudem. Nabíjení trvalo, až do chvíle dosažení napětí 13,61 V, kdy se rozsvítila i žlutá LED_2 indikující přechod do stavu nabíjení konstantním proudem, nedošlo však k zhasnutí LED_3 . Nabíjení pokračovalo až do doby dosažení napětí 14,33 V, kdy zhasnuly LED_2 i LED_3 a rozsvítila se LED_1 indikující plně nabitý akumulátor.

4.9.2 Chování při proměnné hodnotě proudu

Pokud byla hodnota proudu během nabíjení měněna, docházelo k chybné indikaci u LED_2 a LED_3 . Při rychlých změnách proudu docházelo k jejich blikání či trvalému rozsvícení nebo zhasnutí. U LED_1 , LED_4 a LED_5 byla zachována správná funkčnost i během regulace proudu. Problém se signalizací stavů konstantního proudu a napětí při změně hodnoty POT_1 patrně pramení z možného ovlivňování operačních zesilovačů na pinech 2, 3 a 4 integrovaného obvodu či pomalé reakce řídicí logiky na změny odporu potenciometru. Rezistor R_{11} o hodnotě 1 M Ω může svou velikostí zapříčinit ovlivnění proudového offsetu operačních zesilovačů a zmást tak řídicí logiku obvodu.

Dalším parametrem neshodujícím se s návrhem byla možnost regulace nabíjecího proudu pouze v rozsahu 1,5 A až 4,5 A.

4.9.3 Naměřené hodnoty

Při měření rozhodovacích napěťových úrovní vytvořené nabíječky bylo zjištěno, že se nijak zásadně neliší od napěťových úrovní, které byly zvolené v tab. 4.1, tedy za předpokladu, že nabíjecí proud byl potenciometrem nastaven ještě před zapnutím nabíječky. Reálně naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 4.4.

Tab. 4.4 Naměřené hodnoty rozhodovacích napětí

| Volené proměnné | Hodnoty | Jednotky |
|-----------------|---------|----------|
| V_F | 13,72 | V |
| V_{OC} | 14,33 | V |
| V_T | 10,7 | V |
| V_{12} | 13.61 | V |

Rozdílnost zvolených hodnot mohla být způsobena tolerancí snímacích rezistorů i chybou měřících přístrojů.

V případě, že byl měněn odpor POT_1 během nabíjení, nebylo možné vlivem špatně fungující indikace stavů určit, v jaké fázi nabíjení se nabíječka nachází, a tedy ani změřit přesnou hladinu napětí při přechodu mezi jednotlivými fázemi.

4.9.4 Testování očekávatelných nežádoucích stavů

Testování všech očekávatelných nežádoucích stavů uvedených v tab. 4.3 proběhlo dle očekávání, vyjma stavů zkratu na svorkách akumulátoru, které nebyly z důvodu absence potřebných ochranných pomůcek a dostatečného počtu náhradních akumulátorů testovány.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat stručný souhrn vlastností olověných akumulátorů a jejich nabíjení, získat potřebné znalosti o konstrukci nabíječek pro tyto akumulátory a později je i využít k realizaci vlastní nabíječky.

První kapitola se zabývá obecným rozdělením olověných akumulátorů dle jejich údržby. Ve druhé kapitole jsou vyjmenovány a vysvětleny základní vlastnosti olověných akumulátorů. Třetí kapitola je věnována jejich nabíjení a jsou v ní rozlišeny základní nabíjecí charakteristiky. Tyto tři kapitoly společně splňují první bod zadání práce.

Ve čtvrté kapitole, která se zabývá realizací vlastní nabíječky, je mimo jiné zdůvodněno, proč byl pro realizaci vybrán integrovaný obvod UC3906N a na jakém principu pracuje zvolená ochrana proti zkratu či přepólování akumulátoru. Tím byl splněn druhý bod zadání. Dále zde podrobně popsán celý proces návrhu a výroby konečného zařízení, čímž byl splněn třetí bod zadání. V závěru kapitoly jsou uvedeny výsledky testování a měření při nabíjení akumulátoru realizovanou nabíječkou a tímto je splněn i poslední bod zadání.

Z výsledků testování vyplývá, že nabíječka dokáže spolehlivě nabít akumulátor, za předpokladu, že hodnota nabíjecího proudu je zvolena ještě před zapnutím nabíječky a v průběhu nabíjení není měněna. Testování ochrany proběhlo úspěšně, tudíž je vyloučena možnost zničení nabíječky či akumulátoru nepozorností obsluhy, samozřejmě vyjímaje stav zkratu na svorkách akumulátoru, kterému nelze vnitřní konstrukcí nabíječky nijak zabránit.

Práci by bylo možno ještě po mnoha stránkách vylepšit například výměnou transformátoru za spínaný zdroj nebo doplněním ventilátoru o regulátor otáček v závislosti na aktuální hodnotě nabíjecího proudu, ale tím by byl přesáhnut rozsah stanovený pro tuto bakalářskou práci.

Seznam literatury a informačních zdrojů

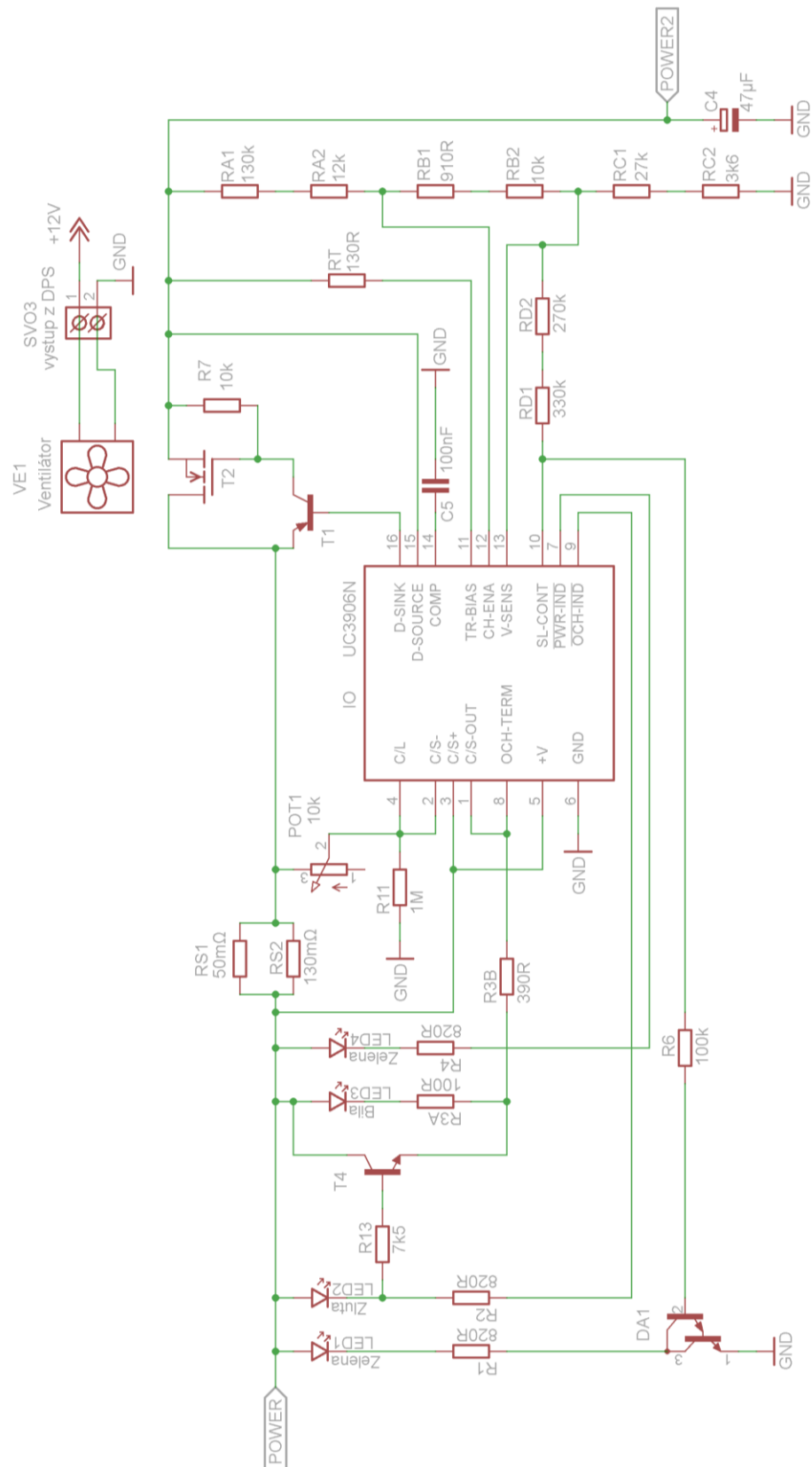
- [1] HAMMERBAUER, Jiří. *ELEKTRONICKÉ NAPÁJECÍ ZDROJE A AKUMULÁTORY*. 2. vyd. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity, 1998. ISBN 80-7082-411-5
- [2] Marconi. Akumulátory. In: *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení: aneb letem světem startovacích olověných akumulátorů* [online]. 2008 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf
- [3] TEXAS INSTRUMENTS. *Sealed Lead-Acid Battery Charger* [online]. C. 2014 [cit. 2015-05-27]. Dostupné také z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uc3906.pdf>
- [4] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003, 248 s. ISBN 80-865-3403-0
- [5] VARTA: Automobily | Produkty. VARTA [online]. 2015 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.varta-automotive.cz/cs-cz/products/automotive/>
- [6] HW.cz. SLÁNSKÝ, Michal. *Inteligentní nabíječka Pb akumulátorů* [online]. 2006 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/konstrukce/inteligentni-nabijacka-pb-akumulatoru-konstrukce.html>
- [7] TEXAS INSTRUMENTS. *IMPROVED CHARGING METHODS FOR LEAD-ACID BATTERIES USING THE UC3906* [online]. 1999 [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slua115/slua115.pdf>
- [8] Proudová zatížitelnost vodiče. *PragoBoard s.r.o* [online]. 2012 [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: http://www.pragoboard.cz/proudova_zatizitelnost
- [9] Výpočet chladiče. *Pandatron.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-06-07]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?219&vypocet_chladice

Seznam příloh

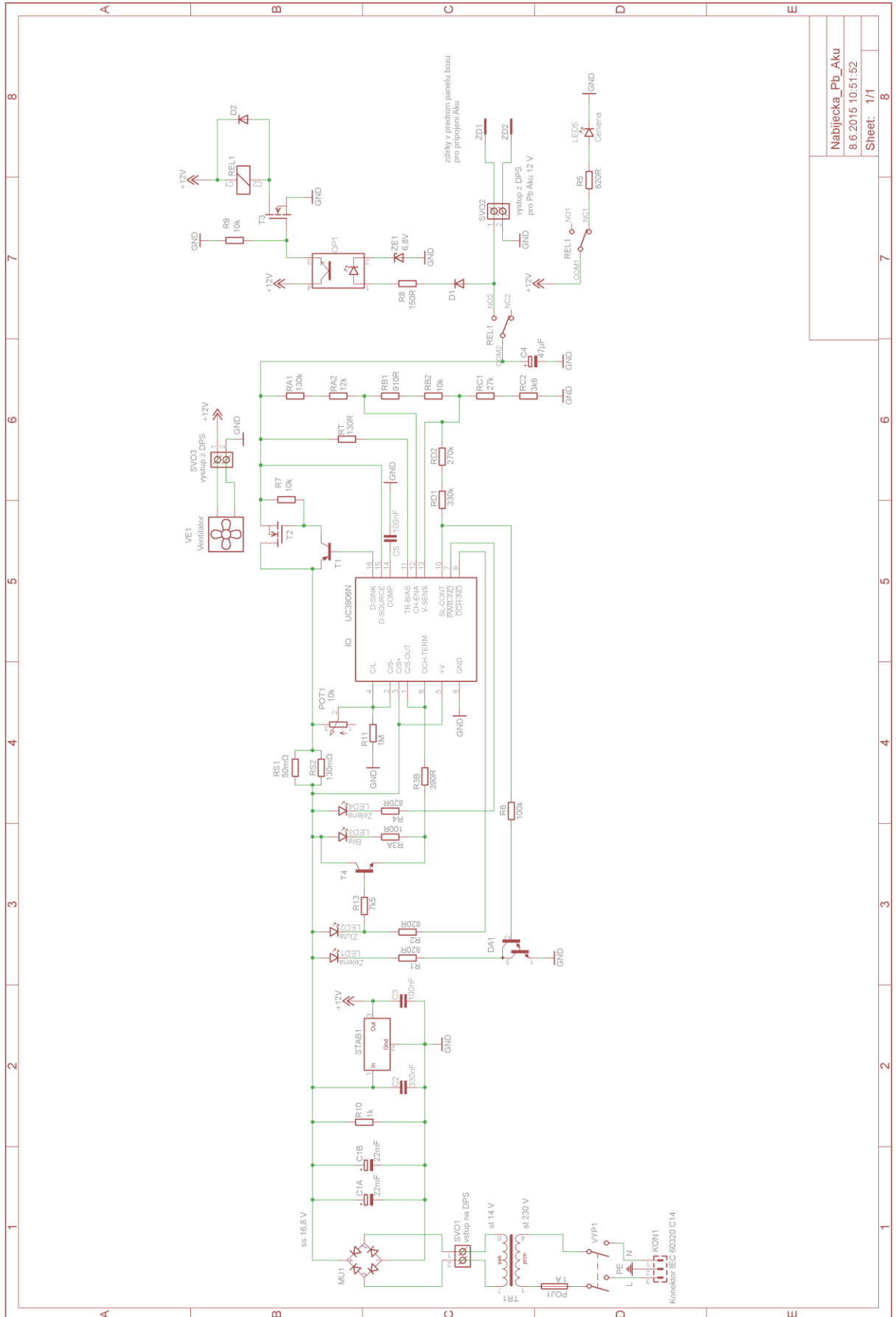
| | |
|---|----|
| Příloha A1 : Druhá část schématu, zobrazující indikaci a řídicí obvod..... | 1 |
| Příloha B1: Kompletní schéma nabíječky..... | 2 |
| Příloha C1: Graf proudové zatížitelnosti vodičů na DPS | 3 |
| Příloha D1: Seznam použitých součástek na DPS..... | 4 |
| Příloha D2: Seznam použitých součástek mimo DPS..... | 5 |
| Příloha E1: Výrobní výkres zadní strany boxu..... | 6 |
| Příloha E2: Výrobní výkres přední strany boxu..... | 7 |
| Příloha E3: Výrobní výkres přední strany boxu – pohled shora..... | 8 |
| Příloha E4: Výrobní výkres spodní strany boxu – pohled z boku..... | 9 |
| Příloha E5: Výrobní výkres spodní strany boxu – pohled shora..... | 10 |
| Příloha F1: Fotografie realizované nabíječky – přední strana..... | 11 |
| Příloha F2: Fotografie realizované nabíječky – zadní strana..... | 11 |

Přílohy

Příloha A1 : Druhá část schématu, zobrazující indikaci a řídicí obvod

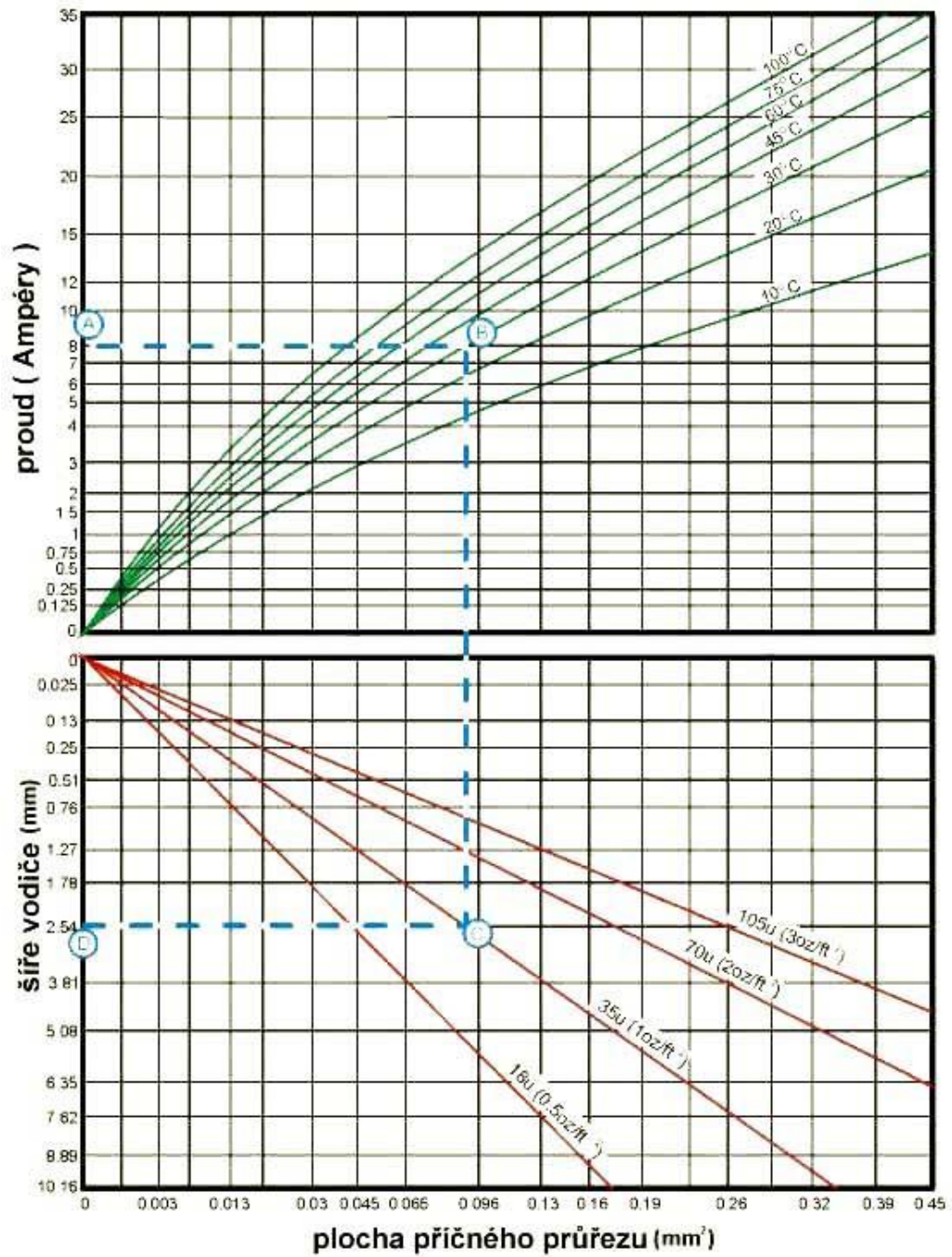


Příloha B1: Kompletní schéma nabíječky



| | |
|-------------------|-----|
| Nabíječka_Pb_Aku | |
| 8.6.2015 10:51:52 | |
| Sheet: | 1/1 |

Příloha C1: Graf proudové zatžitelnosti vodivých cest na DPS [8]



Příloha D1: Seznam použitých součástek na DPS

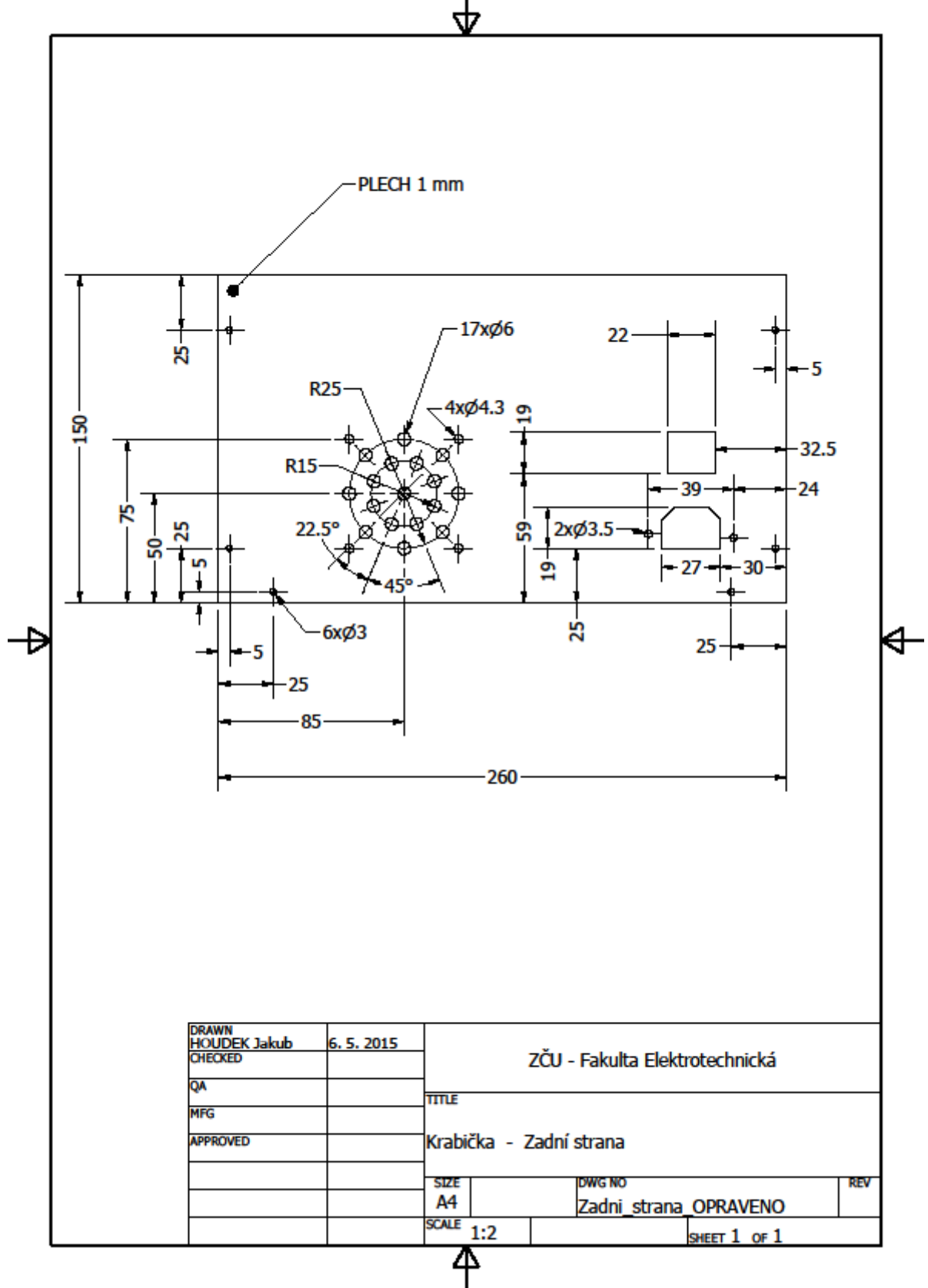
| Součástky | Parametry |
|--|---|
| | R ; P |
| R ₁ ,R ₂ ,R ₃ | 820 Ω ; 1 W |
| R _{3A} | 100 Ω ; 0,6 W |
| R _{3B} | 390 Ω ; 0,6 W |
| R ₅ | 620 Ω ; 0,4 W |
| R ₆ | 100 kΩ ; 0,6 W |
| R ₇ ,R ₉ | 10 kΩ ; 0,4 W |
| R ₈ | 150 Ω ; 3 W |
| R ₁₀ | 1 kΩ ; 1 W |
| R ₁₁ | 1 MΩ ; 0,6 W |
| R _{A1} | 130 kΩ ; 0,6 W |
| R _{A2} | 12 kΩ ; 0,6 W |
| R _{B1} | 910 Ω ; 0,6 W |
| R _{B2} | 10 kΩ ; 0,6 W |
| R _{C1} | 27 kΩ ; 0,6 W |
| R _{C2} | 3,6 kΩ ; 0,6 W |
| R _{D1} | 330 kΩ ; 0,6 W |
| R _{D2} | 270 kΩ ; 0,6 W |
| R _{S1} | 50 mΩ ; 5 W |
| R _{S2} | 130 mΩ ; 5 W |
| POT ₁ | 10 kΩ ; 0,125 W |
| | |
| | C/U _{max} ; materiál |
| C _{1A} ,C _{1B} | 22 mF/25 V ; elektrolytický |
| C ₂ | 330 nF/50 V ; keramický |
| C ₃ ,C ₅ | 100 nF/63 V ; keramický |
| C ₄ | 47 μF/35 V ; elektrolytický |
| | |
| | U _f ; I _f ; U _r ; I _r |
| D ₁ ,D ₂ | 0,95 V ; 1 A ; 200 V ; -- |
| LED ₁ ,LED ₄ | 2,2 V ; 20 mA ; -- ; -- |
| LED ₂ | 2,2 V ; 20 mA ; -- ; -- |
| LED ₃ | 3,1 V ; 30 mA ; -- ; -- |
| LED ₅ | 1,9 V ; 20 mA ; -- ; -- |
| ZE ₁ | -- ; -- ; 6,8 V ; 191 mA |
| | |
| | I _C ; U _{CE} ; h _(21E) ; pouzdro |
| T ₁ – MPSA56 | 0,5 A ; 60 V ; 100 ; TO92 |
| T ₄ – 2N5551 | 0,6 A ; 160 V ; 200 ; TO92 |
| DA ₁ – BC517 | 1 A ; 30 V ; 30 000 ; TO92 |
| | |
| | I _D ; U _{DS} ; U _{GS} ; P _d ; pouzdro |

| | |
|--|---|
| T ₂ – IRFB3207ZPBF | 120 A ; 75 V ; 20 V ; 300 W ; TO220AB |
| T ₃ – VN2106N3 | 600 mA ; 60 V ; 20 V ; 1 W ; TO92 |
| | U _{max} ; I _{max} ; typ |
| SVO ₁ , SVO ₂ , SVO ₃ | 250 V ; 17,5 A ; ARK210/2EX |
| | U _r ; I _f ; pouzdro |
| MU ₁ – KBPC50008W | 800 V ; 50 A ; MB-25W |
| | U _{out} ; I _{out} ; pouzdro |
| STAB ₁ – L7812ACV | 12 V ; 1,5 A ; TO220AB |
| | U _{in} ; pouzdro |
| IO UC3906N | 40 V ; DIP16 |
| | I _f ; U _f ; U _r ; I _C ; U _{CE} ; pouzdro |
| OP ₁ – PC817D | 50 mA ; 1,2 V ; 50 mA ; 60 V ; DIP4 |
| | U _{in} ; U _{kontaktů} ; I _{kontaktů} ; řada |
| RE ₁ – LB2N-12DTP | 12 V ; 24 V ; 10 A ; LB2 |

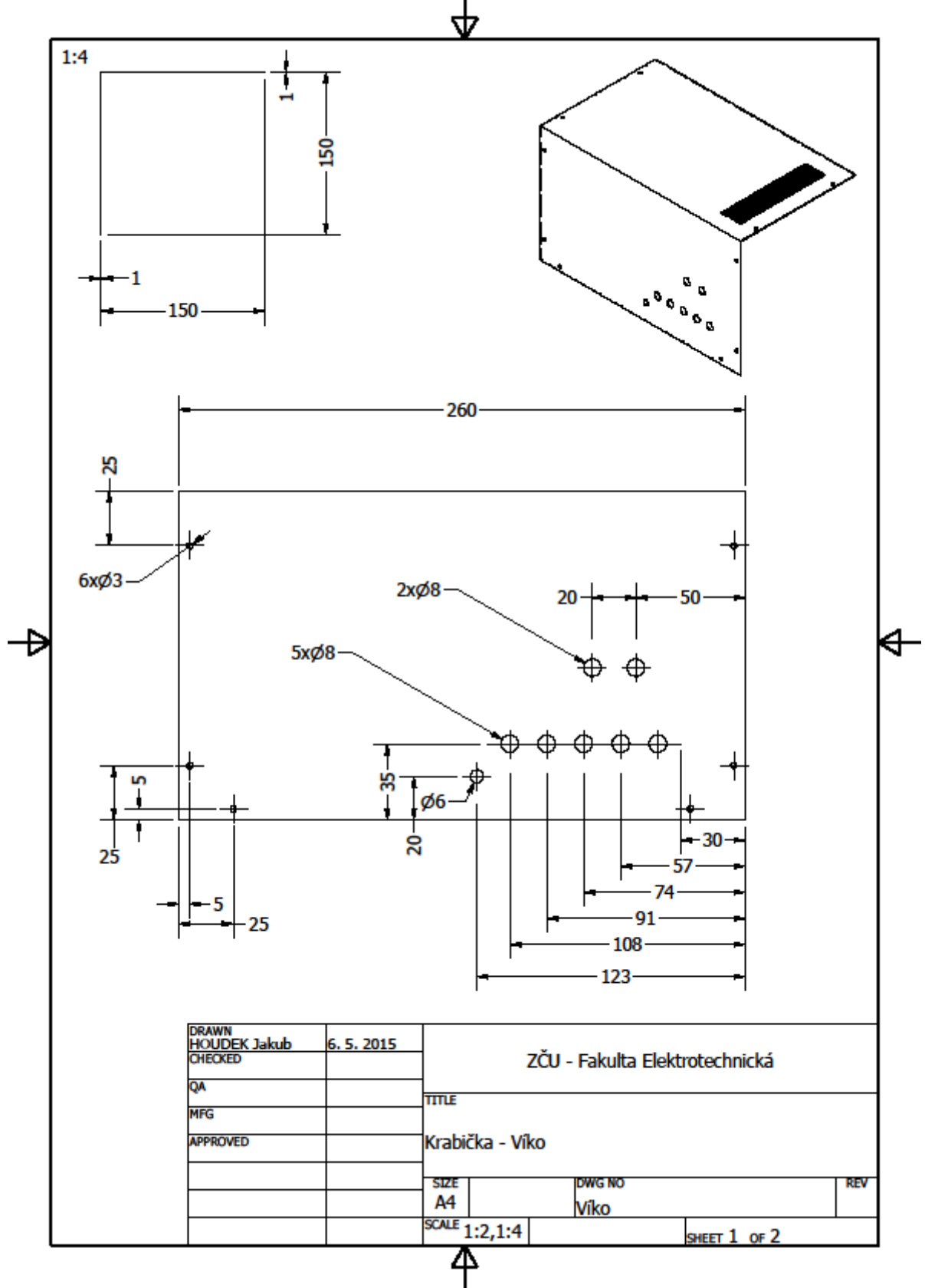
Příloha D2: Seznam použitých součástek mimo DPS

| |
|--|
| Součástky |
| KON ₁ – IEC-A-1 |
| VYP ₁ – H8650VBBB01 |
| POJ ₁ – FSF01 H |
| TR ₁ – TST200/005 |
| ZD ₁ , ZD ₂ - 24.241.2 |
| Box – KK15-151 |
| VE ₁ – PE60251BX-A99 |

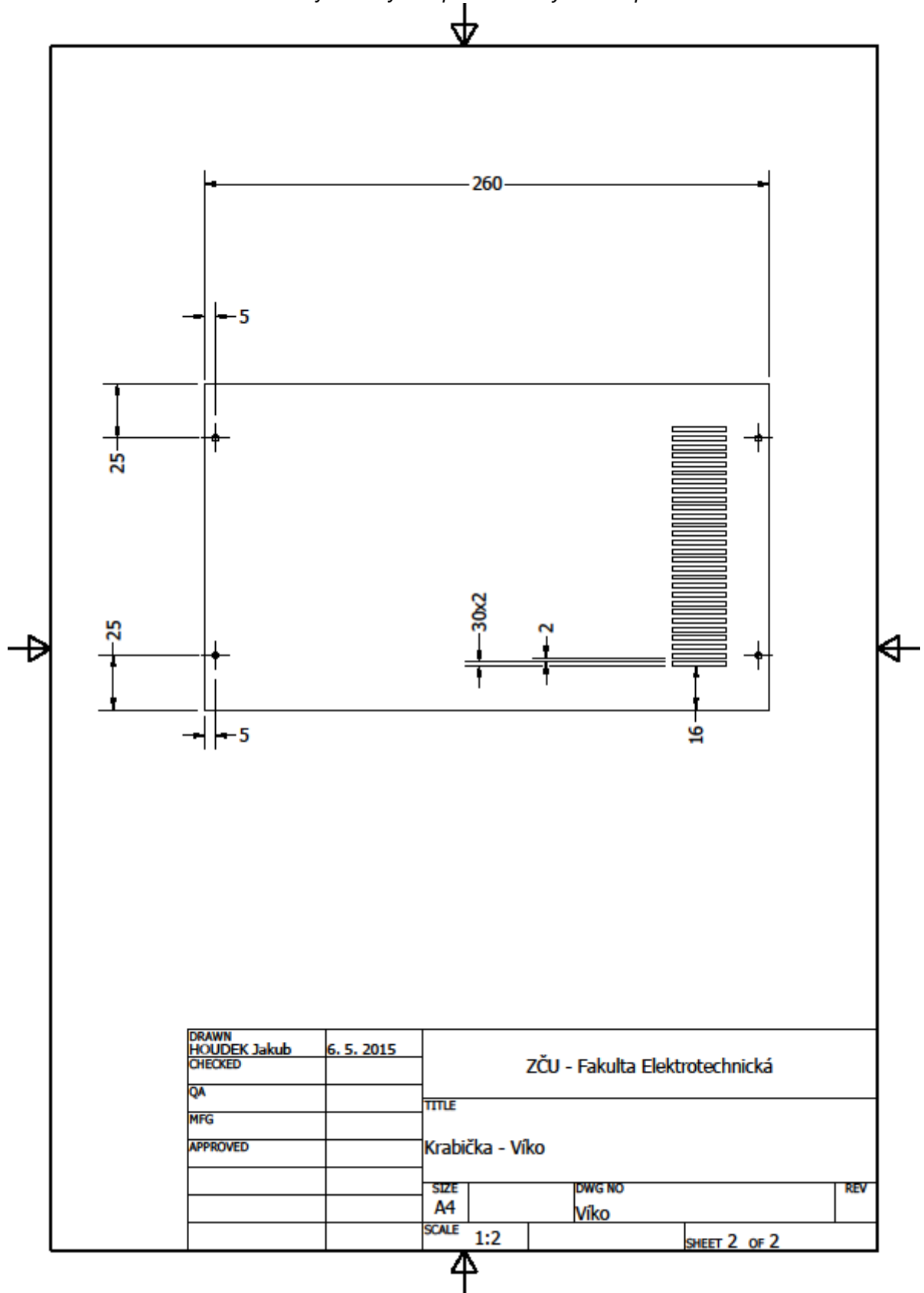
Příloha E1: Výrobní výkres zadní strany boxu



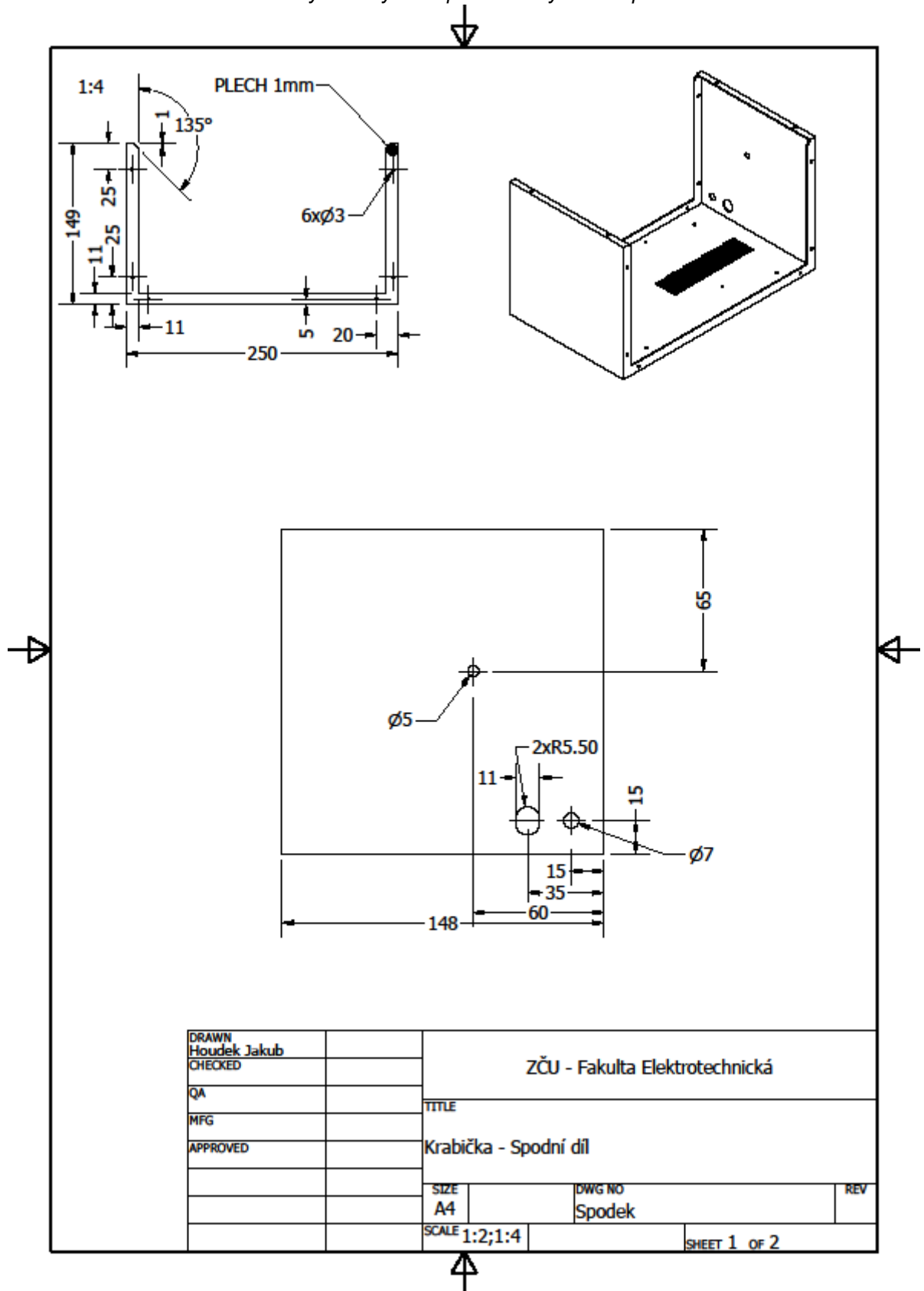
Příloha E2: Výrobní výkres přední strany boxu



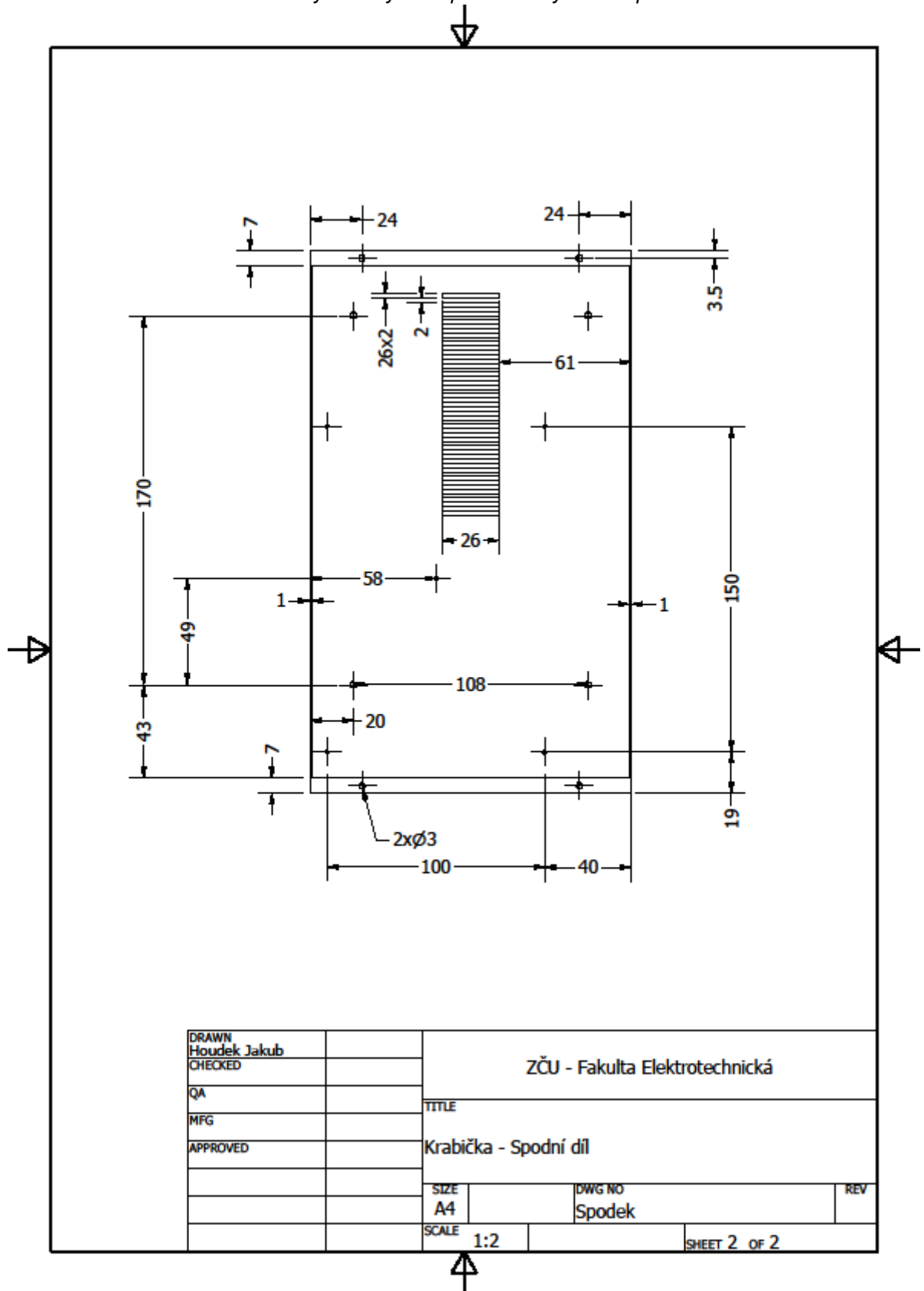
Příloha E3: Výrobní výkres přední strany boxu – pohled shora



Příloha E4: Výrobní výkres spodní strany boxu – pohled z boku



Příloha E5: Výrobní výkres spodní strany boxu – pohled shora



Příloha F1: Fotografie realizované nabíječky – přední strana**Příloha F2: Fotografie realizované nabíječky – zadní strana**