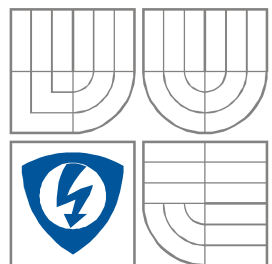




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

INTELIGENTNÍ NABÍJEČKA OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ

INTELLIGENT CHARGER FOR Pb ACCUMULATORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

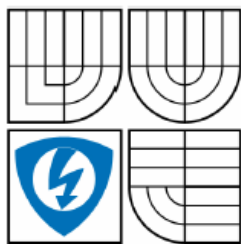
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Tomáš Hadwiger

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Tomáš Hadwiger
Ročník: 3

ID: 100275
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Inteligentní nabíječka olověných akumulátorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce proveďte podrobný obvodový návrh nabíječky olověných akumulátorů pro automobil nebo motocykl. Zapojení doplňte o indikaci stavu nabíjení, ochranu akumulátoru před přepólováním a přebíjením. Vytvořte kompletní konstrukční podklady pro realizaci (kompletní schéma zapojení, návrh desky plošného spoje, soupisku součástek, návrh mechanického uspořádání).

V praktické a experimentální části práce realizujte navrženou nabíječku formou funkčního prototypu a laboratorním a experimentálním měřením ověřte její správnou činnost. Výsledky měření zpracujte formou standardního protokolu o měření, včetně grafického znázornění výsledků.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ARENDÁŠ, M., RUČKA, M. Nabíječky a nabíjení. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

[2] FAKTOR, Z. Transformátory a cívky - vlastnosti materiálů a efektivní návrh transformátorů. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

[3] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje 1 - 3. BEN - technická literatura, 2002.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce pojednává o nabíjení olověných akumulátorů. Jsou zde popsány jejich vlastnosti, na jejichž základě byl zvolen nejlepší možný způsob nabíjení. Zohledňuje se kapacita akumulátorů, což znamená využití různých nabíjecích proudů. Nabíječka je sama schopna rozlišit 12-ti voltový a 6-ti voltový akumulátor. Zamezuje přebíjení akumulátorů a nenabíjí ty vadné. Obsahuje ochranu proti jejich přepólování. Práce obsahuje kompletní schémata zapojení, návrhy desek plošných spojů, soupisy součástek a jejich uspořádání na desce. Je zde uveden návrh transformátoru vhodného pro danou nabíječku. V poslední části se zobrazeno mechanické uspořádání všech částí v přístrojové krabici.

Klíčová slova:

nabíječka, olověný akumulátor, transformátor, stabilizátor, napětový komparátor

Abstract:

This bachelor project deals with lead accumulator charging. The properties of this accumulator charger are described here and the best possible way of charging has been based on these properties. The capacity of the accumulators has also been taken into account. The charger itself is able to distinguish between the twelve-volt and the six-volt accumulator. The charger prevents accumulators from overcharging and does not charge damaged ones. It also contains the protection against reversing polarity. The project contains complete scheme, DSP layout, lists of components and their placement on the DPS. The design of the transformer suitable for the charger is also included.

Keywords:

charger, lead accumulator, transformer, voltage regulator, voltage comparator

Bibliografická citace:

HADWIGER, T. *Inteligentní nabíječka olověných akumulátorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 62 s.

Prohlášení

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma „Inteligentní nabíječka olověných akumulátorů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 27. května 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu Ing. Tomáši Kratochvílovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

Dále děkuji pánům Aleši Vanžurovi a Jaroslavu Voráči z fakultní dílny za umožnění sestrojení transformátoru a pomoc při něm.

V Brně dne 27. května 2009

.....
podpis autora

Obsah:

1. Úvod.....	8
1.1. Olověné akumulátory	8
2. Popis nabíječky.....	10
2.1. Blokové schéma	10
2.2. Popis.....	10
3. Vlastní nabíječka.....	11
3.1. Popis činnosti	11
3.2. Popis konstrukce	12
3.3. Výpočet rezistorů	16
3.3.1. Výpočet řídicích rezistorů	16
3.3.2. Výpočet rezistorů určujících pracovní proudy LED diod a bazové proudy tranzistorů.....	17
3.4. Schéma vlastní nabíječky a výrobní podklady pro DPS	19
3.5. Sestavení vlastní nabíječky	21
4. Transformátor	23
4.1. Parametry transformátoru	23
4.2. Popis návrhu transformátoru	23
4.2.1. Síťové transformátory	23
4.2.2. EI transformátorové plechy.....	24
4.2.3. Vlastní výpočet transformátoru.....	24
5. Usměrňovače a úprava velikosti vstupního napětí nabíječky	29
5.1. Usměrňovače.....	29
5.2. Filtrace výstupního napětí usměrňovače	29
5.3. Stabilizátory napětí	30
5.3.1. Návrhy stabilizátorů.....	31
5.4. Kompletní blok usměrňovačů a stabilizátorů.....	35
6. Řízení funkcí nabíječky	39
6.1. Rozpoznání a zvolení nastavení pro nabíjení dvanácti voltových nebo šesti voltových akumulátorů	39
6.2. Reverzace polarity připojeného akumulátoru	41
6.3. Kompletní zapojení řízení.....	43
7. Přední panel.....	46
7.1. START tlačítko.....	51
7.2. Výběr nabíjecího proudu.....	51
8. Krabice zařízení.....	53
8.1. Návrh mechanického uspořádání	53
8.2. Přední a zadní panel	54
9. Fotografie prototypu	57
10. Závěr	60
11. Seznam symbolů, veličin a zkratk.....	61
12. Seznam literatury	62

Seznam obrázků:

Obr. 2.1 Blokové schéma nabíječky	10
Obr. 3.1 Průběhy U a I v jednotlivých fázích nabíjení	12
Obr. 3.2 Zapojení řídicích prvků UC3906N (převzato z [3])	15
Obr. 3.3 Blokové schéma UC3906N (převzato z [3])	15
Obr. 3.4 Schéma vlastní nabíječky	19
Obr. 3.5 Deska plošného spoje vlastní nabíječky, zobrazeno ze strany součástek (měřítko 1:1, rozměr 181 x 104 mm)	20
Obr. 3.6 Rozložení součástek na DPS vlastní nabíječky	20
Obr. 3.7 Umístění závitů pro přichycení chladiče na DPS	22
Obr. 4.1 Rozměry použitých EI plechů	24
Obr. 5.1 Dvoucestné můstkové Graetzovo zapojení	29
Obr. 5.2 Průběhy napětí a proudů na filtračním kondenzátoru (převzato z [4])	30
Obr. 5.3 Schéma stabilizátoru na 9V	31
Obr. 5.4 Schéma stabilizátoru na 18V	34
Obr. 5.5 Schéma kompletního bloku usměrňovačů a stabilizátorů	36
Obr. 5.6 Deska plošného spoje kompletního bloku usměrňovačů a stabilizátorů ze strany součástek (měřítko 1:1, rozměr 93 x 95 mm)	36
Obr. 5.7 Rozložení součástek na DPS kompletního bloku usměrňovačů a stabilizátorů	37
Obr. 6.1 Schéma rozpoznávání akumulátorů	39
Obr. 6.2 Schéma reverzace polarity připojeného akumulátoru	41
Obr. 6.3 Kompletní schéma řízení funkcí nabíječky	43
Obr. 6.4 Deska plošného spoje řízení funkcí nabíječky ze strany součástek (měřítko 1:1, rozměr 130 x 104 mm)	44
Obr. 6.5 Rozložení součástek na DPS řízení funkcí nabíječky	44
Obr. 7.1 Schéma kompletního předního panelu	46
Obr. 7.2 Deska plošného spoje přední panelu ze strany spojů (měřítko 1:1, rozměr 145 x 108 mm) ..	47
Obr. 7.3 Rozložení součástek na DPS předního panelu ze strany spojů	48
Obr. 7.4 Deska plošného spoje přední panelu ze strany součástek (měřítko 1:1, rozměr 145 x 108 mm)	49
Obr. 7.5 Rozložení součástek na DPS předního panelu ze strany součástek	49
Obr. 7.6 Schéma START tlačítka	51
Obr. 7.7 Schéma výběr nabíjecího proudu	52
Obr. 8.1 Mechanické uspořádání	53
Obr. 8.2 Prvky a jejich popisky na předním panelu	54
Obr. 8.3 Prvky a jejich popisky na předním panelu	55
Obr. 8.4 Vrtací plán předního panelu (rozměry v mm)	56
Obr. 8.5 Vrtací plán zadního panelu (rozměry v mm)	56
Obr. 9.1 Fotografie – pohled z pravého boku	57
Obr. 9.2 Fotografie – pohled z levého boku	57
Obr. 9.3 Fotografie – pohled shora	58
Obr. 9.4 Fotografie – pohled zepředu	58
Obr. 9.5 Fotografie – pohled zezadu	59
Obr. 9.6 Fotografie – celkový pohled	59

Seznam tabulek:

Tabulka. 3.2 Velikost rezistorů R_1 až R_6 v závislosti na kapacitě akumulátoru	13
Tabulka. 3.2 Velikosti jednotlivých řídicích napětí	14
Tabulka. 4.1 Parametry vinutí transformátoru	28

1 Úvod

V dnešní době vlastní značný počet lidí automobil či motocykl, jejichž nedílnou součástí je i olověný akumulátor. Při poruše dobíjení nebo v zimním období nedochází k jeho optimálnímu nabíjení, z toho důvodu se může snadno vybit, a tak je mu potřeba znovu dodat energii pomocí nabíječky. Novější typy akumulátorů, takzvané bez údržbové, jsou již hermeticky uzavřené, z toho důvodu je třeba tyto akumulátory nabíjet adekvátní velikostí proudu a nepřebíjet je. Tato problematika se stala předmětem mé bakalářské práce.

V první části bakalářské práce byl proveden podrobný obvodový návrh nabíječky olověných akumulátorů pro automobil nebo motocykl. V případě motocyklu jsem vzal v úvahu jak napětí baterie nynějších modelů (12V), tak i těch starších (6V). Zapojení obsahuje indikaci stavu nabíjení pomocí tří LED diod, tak i pomocí ampérmetru na němž můžeme odečíst aktuální nabíjecí proud. Zařízení obsahuje i základní ochrany akumulátoru, jako je ochrana před přepólováním či přebíjením. Dále je schopna v automatickém režimu rozpoznat, kolika voltový akumulátor (6V či 12V) je na nabíječku připojen, takže sama zvolí správné nabíjecí napětí.

Podstatnou část této práce tvoří kompletní konstrukční podklady pro realizaci nabíječky olověných akumulátorů. Jsou zde uvedena schémata jednotlivých částí konstrukce, taktéž z nich odvozený návrh desek plošných spojů, návrhy rozložení součástek na těchto deskách a jejich soupis. Z důvodu potřeby síťového transformátoru s parametry, jež se na trhu nevyskytují, jsem učinil jeho vlastní návrh sám. Díky tomuto kroku jsem získal transformátor s potřebnými hodnotami výstupních napětí, proudu a odpovídajícím výkonu.

Cílem mé práce bylo zkonstruovat nabíječku, nabíjející olověné akumulátory šetrným způsobem, což znamená použít pro nabíjení proud vhodný pro konkrétní ampér-hodinovou kapacitu akumulátoru, tak i rozpoznání poškozeného akumulátoru, kdy se v jeho nabíjení nepokračuje. Dále je nutné zajistit včasné ukončení nabíjecího procesu, z důvodu zamezení možnosti přebíjení akumulátoru.

1.1 Olověné akumulátory

Na úvod uvedu několik poznatků k olověným akumulátorům.

Jako předchůdce dnešních olověných akumulátorů můžeme považovat galvanický článek, objevený A. Voltem. První olověné akumulátory se objevily v polovině 19. století. Do popředí se dostaly především díky velkému rozvoji automobilismu.

Jako nejlepší zdroj energie v automobilismu se dají považovat tyto akumulátory díky jejich relativně nízké ceně a schopnosti dodávat krátkodobě velké proudy potřebné pro start automobilu či motocyklu. Díky alternátoru se tato energie opět při chodu motoru do akumulátoru vrací.

Vyrábí se v napětích 6V a 12V, každý akumulátor je složen dle jeho napětí z tří nebo šesti 2V článků. Jejich kapacity jsou také normované. Od 6Ah, pro motocykly, přes 40Ah a více pro automobily.

Akumulátor je tvořen plastovým obalem, v němž se nachází elektrody a elektrolyt, tím je kyselina sírová naředěná na hustotu $1,285\text{g/cm}^3$ destilovanou vodou (při dolévání se dolévá jen destilovaná voda). Kladné póly jsou vyrobeny z oxidu olovnatého (PbO_2) a ty záporné z olova Pb. Počet záporných elektrod je o jednu větší. Kladné a záporné elektrody se v článku střídají. Všechny elektrody stejného potenciálu jsou propojeny a vyvedeny na horní díl akumulátoru, kde jsou konektory pro připojení kabelů.

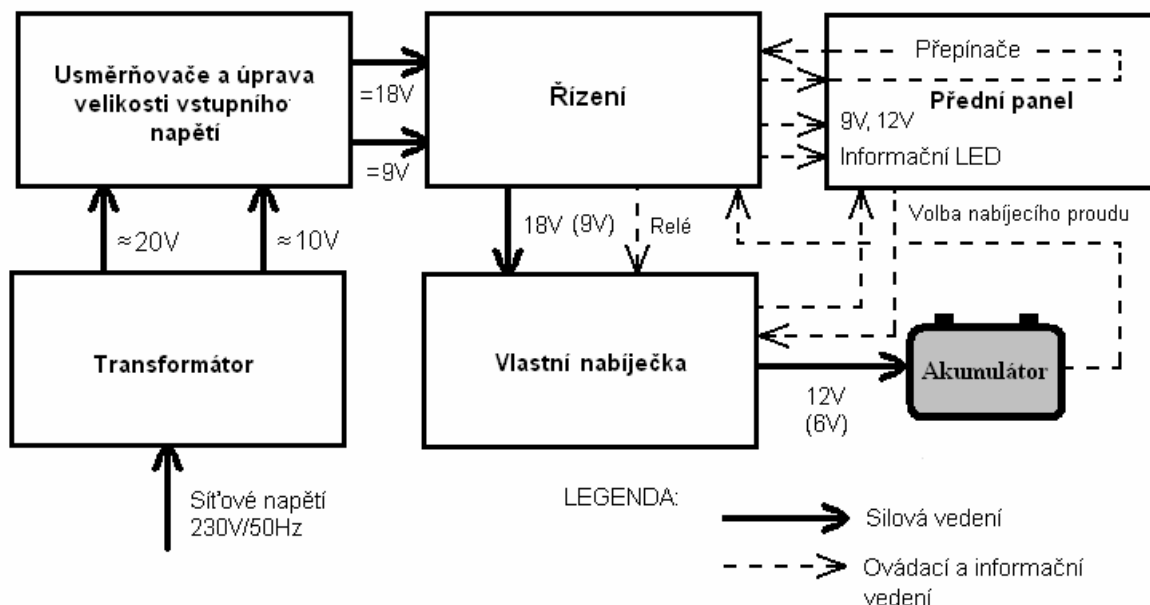
V případě nezatíženého článku se jeho napětí pohybuje v rozmezí 2,0 až 2,15V. Při odběru velkých proudů se jeho napětí ale zmenšuje. I na vybitém článku může naprázdno naměřit napětí 2,1V, proto nám napětí na něm neudává jak hodně je článek nabit. Při nabíjení může jeho napětí vzrůst až na 2,75V. Jako ukazatel nabití článku může sloužit elektrolyt obsažený v akumulátoru, jeho hustota se totiž při vybíjení zmenšuje.

Nabíjení se provádí jen malými proudy z důvodu chemické reakce, která při něm probíhá, tato reakce potřebuje delší čas. Při nabíjení velkými proudy by se značně ničily elektrody akumulátoru.

Akumulátor by se měl pravidelně dobíjet, jinak dochází k sulfaci, kdy se rychleji rozpadají elektrody, toto způsobuje i nedostatek elektrolytu, když elektrody již vystupují nad jeho hladinu. Měl by se proto nacházet vždy v plně nabitém stavu a po případném vybití by se měl opět plně nabít. Informace čerpány z [1] a [6].

2 Popis nabíječky

2.1 Blokové schéma



Obr. 2.1 Blokové schéma nabíječky

Kompletní nabíječka olověných akumulátorů se skládá z několika částí (bloků). Z nichž hlavní je blok vlastní nabíječky, ve kterém se nachází nabíjecí obvod. V další části (obr. 2.1 vlevo nahoře) se nachází dva usměrňovače napětí a stabilizátory. Blok řízení na stejném obr. rozezná, jaký akumulátor je na nabíječku připojen a připojí k vlastní nabíječce potřebné vstupní napětí. Dále pak je zde umístěna ochrana před přepólováním akumulátoru, při záměně jeho pólů se tyto automaticky vzájemně prohodí. Blok přední panel znázorňuje desku plošného spoje, jež bude umístěna za přední stěnou krabice zařízení. Na ni budou připevněny informační LED diody, přepínače a tlačítka pro obsluhu a další součástky. Je zde i zapojení umožňující obsluhu výběr maximálního nabíjecího proudu. Jednotlivé bloky budou popsány podrobněji dále v textu.

2.2 Popis

Na DPS vlastní nabíječky a usměrňovačů budou umístěny chladiče. Jednotlivé bloky budou mezi sebou propojeny vodiči. Silové části budou propojeny měděnými kabely o průměru 0,5 mm, kabely se připojí pomocí svorkovnic ARK110/2 se šroubky. Ovládací a informační vedení budou provedeny plochými několika žilovými vodiči a připojeny na konektory se zámkem.

3 Vlastní nabíječka

3.1 Popis činnosti

Jednou z možností jak efektivně a především šetrně nabíjet olověné akumulátory je použít integrované obvody navržené a specializované výhradně pro tuto činnost. Tyto obvody jsou schopny sledovat okamžitý stav nabíjecího procesu a díky tomu správně řídit velikost nabíjecího proudu a napětí, čímž zamezí přílišnému namáhání akumulátoru velkými proudy či jeho případnému přebíjení. Na přebíjení jsou dnešní hermeticky uzavřené akumulátory obzvláště náchylné. Plyny při tom vznikající nemohou z akumulátoru unikát a mohlo by dojít k jeho mechanickému zničení. Tomuto zničení by měl zamezit přípravek na způsob přetlakového ventilu, jež je do těchto akumulátorů montován [6].

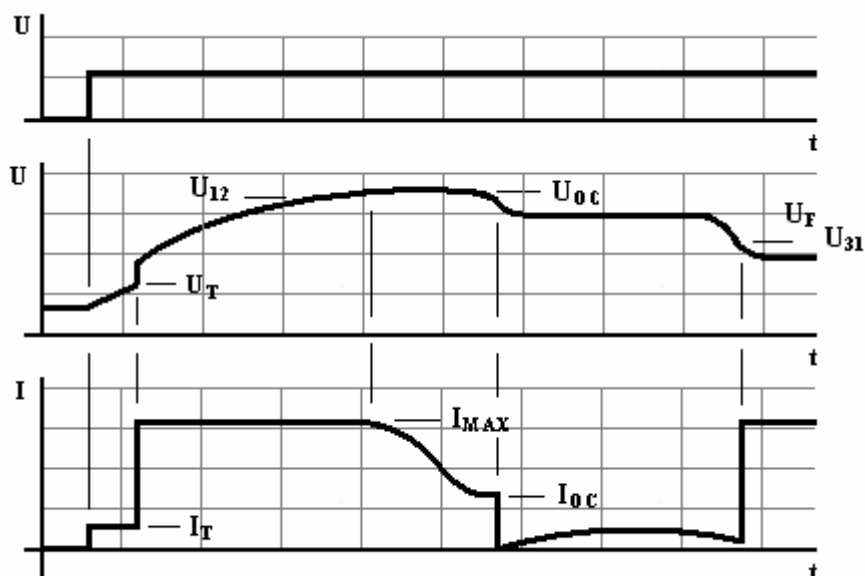
Pro realizaci této nabíječky jsem zvolil zapojení využívající integrovaný obvod firmy Texas Instruments s označením UC3906N. Jedná se o šestnácti-pinovou součástku usazenou v pouzdře s označením DIL16. Tento obvod dokáže měřit proud tekoucí při nabíjení do akumulátoru a na základě toho jej i přesně regulovat. Výrobce jej navrhl tak, že tento IO využívá třech fází nabíjení, jejichž podrobnější popis uvedu v následující podkapitole. O fázi v jaké se aktuálně obvod nachází obsluhu informují tři LED diody umístěné na předním panelu plechové krabičky, ve které bude kompletní nabíječka umístěna.

Přiblížení jednotlivých fází nabíjení:

- I. fáze** - v této fázi jsou malým proudem kolem 25mA nabíjeny hluboce vybité články a to tak dlouho, dokud napětí U_T není rovno 10,5V (v případě 12V akumulátorů). Toto je zároveň i testem nezávadnosti jednotlivých článků akumulátoru. V případě závady na nějakém z nich by se tohoto napětí nedosáhlo a v této chvíli by se nabíjení ukončilo. V případě bezzávadnosti akumulátoru je nadále nabíjen stálým proudem I_{max} , který je závislý na ampér-hodinové kapacitě konkrétního akumulátoru, jedná se o jednu desetinu velikosti jeho kapacity. Tento proces trvá až do okamžiku dosažení napětí U_{12} . Je možno nabíjet i menšími proudy, nabíjení sice trvá déle, ale je šetrnější k akumulátoru. V tuto chvíli pracuje nabíječka ve třídě A, což značí nabíjení konstantním proudem.
- II. fáze** - nyní se obvod nachází ve fázi nabíjení konstantním napětím, pracuje tedy ve třídě nabíjení B. Na počátku této fáze se napětí akumulátoru zvýší z hodnoty 2,3V na článek na hodnotu 2,5V (přechod z U_{12} na větší napětí U_{OC}). Po dosažení tohoto napětí, začne nabíječka pracovat jako zdroj konstantního napětí o velikosti U_{OC} . Nyní zaznamenáme postupné snižování nabíjecího proudu, jakmile dosáhne jeho hodnota jedné desetin I_{max} (hodnoty proudu I_{OC}), je nabíjení automaticky ukončeno. Nastává třetí fáze nabíjení.
- III. fáze** - časem dochází k postupnému samovolnému vybíjení olověného akumulátoru. Tento jev je ovlivněn především jeho konstrukcí a vlivem teploty okolí. V případě velmi nízkých teplot, nacházejících se již pod bodem mrazu, které značně zkracují životnost akumulátoru.

Napětí na akumulátoru klesá postupně k nulové hodnotě napětí. V okamžiku, kdy se jeho hodnota ocitne pod referenčním napětím U_{31} , začne nabíječka opět s nabíjením a to proudem rovnajícím se proudu vybíjecímu, tímto se zajistí na akumulátoru stálá velikost napětí U_F .

Pro zlepšení přehlednosti tohoto slovního popisu jednotlivých fází činnosti jsou průběhy napětí a proudu na výstupu nabíječky znázorněny graficky na obr. 3.1. Potřebné poznatky čerpány z [2], [3] a [6].



Obr. 3.1 Průběhy U a I v jednotlivých fázích nabíjení

3.2 Popis konstrukce

Hlavní prvek nabíječky tvoří obvod IO_1 s označením UC3906N (jeho blokové schéma je zobrazeno na obr. 3.3), jež je umístěn v precizní patici DIL16. Pracovní stavy tohoto integrovaného obvodu jsou řízeny rezistory které jsou umístěny na schématu (obr.3.2) v jeho pravé části, ty byly vypočítány s ohledem na správné hodnoty referenčních napětí. Tyto velikosti napětí jsou uvedeny v tabulce tab. 3.1, jak pro 12V, tak i pro 6 V akumulátory. Následující poznatky a vzorce jsou čerpány převážně z [3].

Pro akumulátory s napětím 6V a 12V je třeba změnit velikost rezistoru připojeného mezi kladný pól akumulátoru a relé RE_7 . Toto se provádí pomocí již zmiňovaného relé. Přepíná se mezi dvěma rezistory, přičemž každý z těchto rezistorů je tvořen, z důvodu jen omezené možnosti výběru vyráběných hodnot v řadě E12, paralelní kombinací dvou rezistorů. První z nich se skládá z rezistorů R_7 a R_9 a druhá z R_{12} a R_{13} . Při nabíjení 6V akumulátorů je navíc ještě z důvodu předcházení obrovským ztrátám na výkonových prvcích třeba snížit vstupní napětí nabíječky z 18V na 9V. Toto je zajištěno pomocí bloku řízení, který bude popsán podrobněji v šesté kapitole této práce.

Pomocí rezistoru R_1 až R_6 (vždy je vybrán jen jeden) měří obvod IO_1 velikost nabíjecího proudu. Vzhledem k tomu, že tyto proudy jsou pro větší akumulátory značné, je použit výkonový typ rezistoru na 5W. Regulaci nabíjecího napětí a proudu zajišťuje výkonový tranzistor T_1 , je typu FET s kanálem N. Tento typ tranzistoru má relativně nízké ztráty a tudíž se i snadněji chladí. Pro indikaci stavu nabíječky jsou využity tři LED diody umístěné na předním panelu krabičky zařízení, jsou s ním propojeny pomocí konektoru CON_5 . Pro lepší přehlednost jsou průměru 8mm. Z důvodu většího odběru proudu a možnému přetěžování výstupu IO_1 jsou spínány tranzistory. Tyto součástky a rezistory pro nastavení pracovních bodů tranzistorů jsou umístěny na DPS předního panelu, výjimkou jsou rezistory R_{14} , R_{16} a R_{17} , udávající proud do báze tranzistorů, které jsou přímo umístěny na DPS vlastní nabíječky. Toto je zobrazeno na schématu (viz. obr. 3.4).

Zapnutí vlastní nabíječky je signalizováno zelenou LED diodou, ta se rozsvítí i po připojení ne zcela vybitého akumulátoru. Rudá LED značí režim dobíjení konstantním proudem a žlutá dioda LED značí konstantní napětí.

Aby bylo zabráněno zpětnému toku proudu z nabíjeného akumulátoru do nabíječky, je za výkonový tranzistor T_1 zapojena dioda D_7 . Přes tuto diodu teče celý nabíjecí proud, proto musí být dimenzována na proudy do pěti ampér.

Olověné akumulátory se vyrábějí s nejrůznějšími ampér-hodinovými kapacitami a každá z nich se nabíjí jiným proudem, velikost tohoto proudu je jedna desetina hodnoty kapacity akumulátoru. Jak již bylo poznamenáno v textu výše, je nabíjecí proud snímán na jednom z rezistorů R_1 až R_6 (jsou umístěny mezi vývody 4 a 5 IO_1), každý z těchto rezistorů reprezentuje jeden z maximálních nabíjecích proudů. Ve většině případů není velikost rezistoru rovna velikostem, které se vyrábějí v řadě E12, proto jsou některé realizovány ve skutečnosti paralelní kombinací dvou rezistorů. Z důvodu úspory místa na DPS jsem tyto rezistory umístil hned nad sebe. Výběr jednoho z těchto rezistorů se uskutečňuje pomocí dvou tlačítek umístěných na předním panelu, kde si obsluha „listováním“ v seznamu těchto šesti rezistorů vybere ten požadovaný. Tento je potom do obvodu připojen pomocí relé (RE_1 až RE_6). Relé jsem zvolil z důvodu velkých nabíjecích proudů při nabíjení akumulátorů s větší kapacitou, kdy by bylo v případě spínání pomocí tranzistorů nutné použít další chladiče. Relé tedy musí být opět dimenzováno na požadovaný nabíjecí proud. Zvolil jsem u všech rezistorů stejné relé a to H200SD12.

Velikost R_1 (až R_6) vypočteme pomocí vztahu (3.1), tento vztah je převzat z [3]. Pro $I_{\max}$ pohybující se v rozmezí 0,1A až 5,5A jsou hodnoty odporu v rozsahu 2,5 Ω až 0,05 Ω . V tabulce Tab. 3.1 jsou předloženy hodnoty těchto rezistorů pro jednotlivé hodnoty kapacit akumulátorů.

$$R = 0,25 / I_{\max} [\Omega] \quad (3.1)$$

Tabulka. 3.1 Velikost rezistorů R_1 až R_6 v závislosti na kapacitě akumulátoru

Kapacita [Ah]	Proud $I_{\max}$ [A]	R [Ω]	Kapacita [Ah]	Proud $I_{\max}$ [A]	R [Ω]
1	0,1	2,50	16	1,6	0,156
2	0,2	1,25	18	1,8	0,139
4	0,4	0,63	20	2	0,125
6	0,6	0,42	25	2,5	0,100
8	0,8	0,31	36	3,6	0,069
10	1	0,25	40	4	0,063
12	1,2	0,21	45	4,5	0,056
14	1,4	0,18	55	5,5	0,045

Vlastním akumulátory o kapacitě 6Ah a 12Ah, proto se dále zaměřím na hodnoty rezistoru R rovny 0,42 Ω a 0,21 Ω . Výstupní proudy tedy budou 0,6A a 1,2A, musíme brát v úvahu 5% výrobní toleranci rezistorů, jež může ovlivnit velikost proudů. Rezistor s hodnotou 0,42 Ω se nevyrábí, proto jsem zvolil paralelní kombinaci rezistorů s hodnotami 0,56 Ω a 1,8 Ω , jejichž výsledný odpor je 0,427 Ω . Na místo 0,21 Ω jsem použil dostupný rezistor 0,22 Ω .

Konstrukce je navržena na maximální nabíjecí proud nepřesahující hodnotu 5,5A. V případě vyšších proudů by bylo nutno změnit některé součástky za výkonnější typy (především tranzistor T_1). Při návrhu desky plošných spojů byl značný nabíjecí proud respektován, cesty jsou široké a díky eventuálnímu pocínování není nutné desku pro případ větších proudů měnit.

Nyní se zaměříme na velikosti jednotlivých řídicích napětí, jejich hodnoty vycházejí z poznatků získaných z [3]. Pro přehlednost jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Tabulka. 3.2 Velikosti jednotlivých řídicích napětí

12V akumulátor		6V akumulátor	
Napětí	[V]	Napětí	[V]
U_{in}	18	U_{in}	9
U_{REF}	2,3	U_{REF}	2,3
U_T	10,5	U_T	5,25
U_{12}	13,78	U_{12}	6,89
U_{OC}	14,5	U_{OC}	7,25
U_F	14	U_F	7
U_{31}	12,6	U_{31}	6,3

U_T je 1,75V krát počet článků akumulátoru, pro 12V akumulátory je tedy šestkrát 1,75V a pro 6V třikrát 1,75V.

U_{OC} je 2,3 až 2,5V na článek.

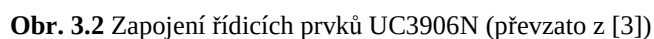
U_F je 2,33V na článek.

Výpočet napětí U_{12} a U_{31} :

$$U_{12} = 0,95 \cdot U_{OC} = 0,95 \cdot 14,5 = \underline{13,775V} \quad (3.2)$$

$$U_{31} = 0,9 \cdot U_F = 0,9 \cdot 14 = \underline{12,6V} , \quad (3.3)$$

kde U_T , U_{OC} , U_F , U_{12} a U_{31} jsou řídicí napětí integrovaného obvodu.



Obr. 3.3 Blokové schéma UC3906N (převzato z [3])

Všechny kabely jsou k desce plošných spojů (DPS) připojeny pomocí svorkovnic. Výkonová kabeláž je připojena pomocí svorkovnic typu ARK110/2 (do proudu 10A), ovládání relátek výběru nabíjecího proudu přes konektor PFH02-07P, indikační prvky pomocí konektoru PFH02-04P. Ovládání relé RE₇ je připojeno konektorem PFH02-02P.

3.3 Výpočet rezistorů

3.3.1 Výpočet řídicích rezistorů

Označení rezistorů odpovídá obr. 3.2. Výpočty vycházejí z [3].

Proud I_D , tekoucí přes R_C se volí v rozmezí 50 až 100μA, ve výpočtech jsem zvolil proud 70μA. Velikosti řídicích napětí používaných při výpočtech níže jsou uvedeny v tabulce 3.2.

$$R_C = \frac{U_{REF}}{I_D} = \frac{2,3}{70 \cdot 10^{-6}} = \underline{32,86k\Omega}, \quad (3.4)$$

kde R_C je jeden z řídicích rezistorů, U_{REF} je referenční napětí uvnitř IO₁.

$$R_{SUM} = \frac{U_F - U_{REF}}{I_D} = \frac{14 - 2,3}{70 \cdot 10^{-6}} = \underline{171,8k\Omega} \quad (3.5)$$

$$R_D = \frac{U_{REF} \cdot R_{SUM}}{U_{OC} - U_F} = \frac{2,3 \cdot 171,8 \cdot 10^3}{14,5 - 14} = \underline{801k\Omega}, \quad (3.6)$$

kde R_d je jeden z řídicích rezistorů.

$$R_X = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{32,86 \cdot 10^3 \cdot 801 \cdot 10^3}{32,86 \cdot 10^3 + 801 \cdot 10^3} = \underline{32k\Omega} \quad (3.7)$$

$$R_{A12} = \frac{R_{SUM} + R_X}{1 - \frac{U_{REF}}{U_T}} = \frac{171,8 \cdot 10^3 + 32 \cdot 10^3}{1 - \frac{2,3}{10,5}} = \underline{161k\Omega}, \quad (3.8)$$

kde R_{A12} je jeden z řídicích rezistorů pro 12V baterie.

$$R_B = R_{SUM} - R_A = 171,8 \cdot 10^3 - 161 \cdot 10^3 = \underline{10,8k\Omega}, \quad (3.9)$$

kde R_B je jeden z řídicích rezistorů.

$$R_T = \frac{U_{IN} - U_T - U_{REF}}{I_T} = \frac{18 - 10,5 - 2,3}{25 \cdot 10^{-3}} = \underline{208\Omega}, \quad (3.10)$$

kde R_T je jeden z řídicích rezistorů, U_{IN} je napájecí napětí vlastní nabíječky a I_T je proud rezistorem R_T , tento proud je 25mA.

$$R_{A6} = \frac{R_{SUM} + R_X}{1 - \frac{U_{REF}}{U_T}} = \frac{171,8 \cdot 10^3 + 32 \cdot 10^3}{1 - \frac{2,3}{5,25}} = \underline{50k\Omega}, \quad (3.11)$$

kde R_{A6} je jeden z řídících rezistorů pro 6V baterie.

Takovéto hodnoty rezistorů se v praxi nevyrábějí, proto je potřeba volit z řady E12 a pomocí jejich paralelního či sériového řazení dosáhnout vypočtených hodnot.

$R_C = 32,86k\Omega$ se skládá z paralelní kombinace rezistorů $R_{19} 39k\Omega$ a $R_{20} 330k\Omega$.

$R_D = 801k\Omega$ se skládá z paralelní kombinace rezistorů $R_{15} 1,5M\Omega$ a $R_{17} 1,8M\Omega$.

$R_{A12} = 161k\Omega$ se skládá z paralelní kombinace rezistorů $R_7 180k\Omega$ a $R_9 1,5M\Omega$.

$R_{A6} = 50k\Omega$ se skládá z paralelní kombinace rezistorů $R_{12} 47k\Omega$ a $R_{13} 270k\Omega$.

$R_B = 10,8k\Omega$ je zvolen přímo z řady a reprezentován rezistorem $R_{11} 15k\Omega$.

$R_T = 208\Omega$ je zvolen přímo z řady a reprezentován rezistorem $R_{10} 180\Omega$.

3.3.2 Výpočet rezistorů určujících pracovní proudy LED diod a báze proudy tranzistorů

Napětí a proudy LED diod dle katalogu:

LED₁ žlutá: $U_{LED1} = 2,2V, I = 20mA$

LED₂ rudá: $U_{LED2} = 1,8V, I = 20mA$

LED₃ zelená: $U_{LED3} = 2,0V, I = 20mA$

Napájecí napětí: $U_{NAP} = 9V$

Výpočet rezistorů určujících pracovní proudy LED diod, využity vztahy ze [7].

$$R_{LED1} = \frac{U_{NAP} - U_{LED1}}{I} = \frac{9 - 2,2}{20 \cdot 10^{-3}} = \underline{340\Omega} \quad (3.12)$$

Na schématu (viz. obr 7.1) sériová kombinace $R_8 330\Omega$ a $R_5 10\Omega$.

$$R_{LED2} = \frac{U_{NAP} - U_{LED2}}{I} = \frac{9 - 1,8}{20 \cdot 10^{-3}} = \underline{360\Omega} \quad (3.13)$$

Na schématu (viz. obr 7.1) sériová kombinace $R_9 330\Omega$ a $R_6 33\Omega$.

$$R_{LED3} = \frac{U_{NAP} - U_{LED3}}{I} = \frac{9 - 2,0}{20 \cdot 10^{-3}} = \underline{350\Omega} \quad (3.14)$$

Na schématu (viz. obr 7.1) sériová kombinace $R_{10} 330\Omega$ a $R_7 22\Omega$.

Výpočet rezistorů v budících obvodech tranzistorů:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{30} = \underline{666,66 \mu A}, \quad (3.15)$$

kde I_B je proud bázi tranzistoru a I_C proud jeho kolektorem, h_{21E} je proudový zesilovací činitel daného tranzistoru.

Zvolíme rezistor R_{BE} , nacházející se mezi báží a editorem tranzistoru tak, aby došlo k odsátí nosičů z báze.

$$I_{RBE} = \frac{U_{BE}}{R_{BE}} = \frac{0,6}{1 \cdot 10^3} = \underline{0,6 mA} \quad (3.16)$$

Budící proud tekoucím odporem v bázi tranzistoru:

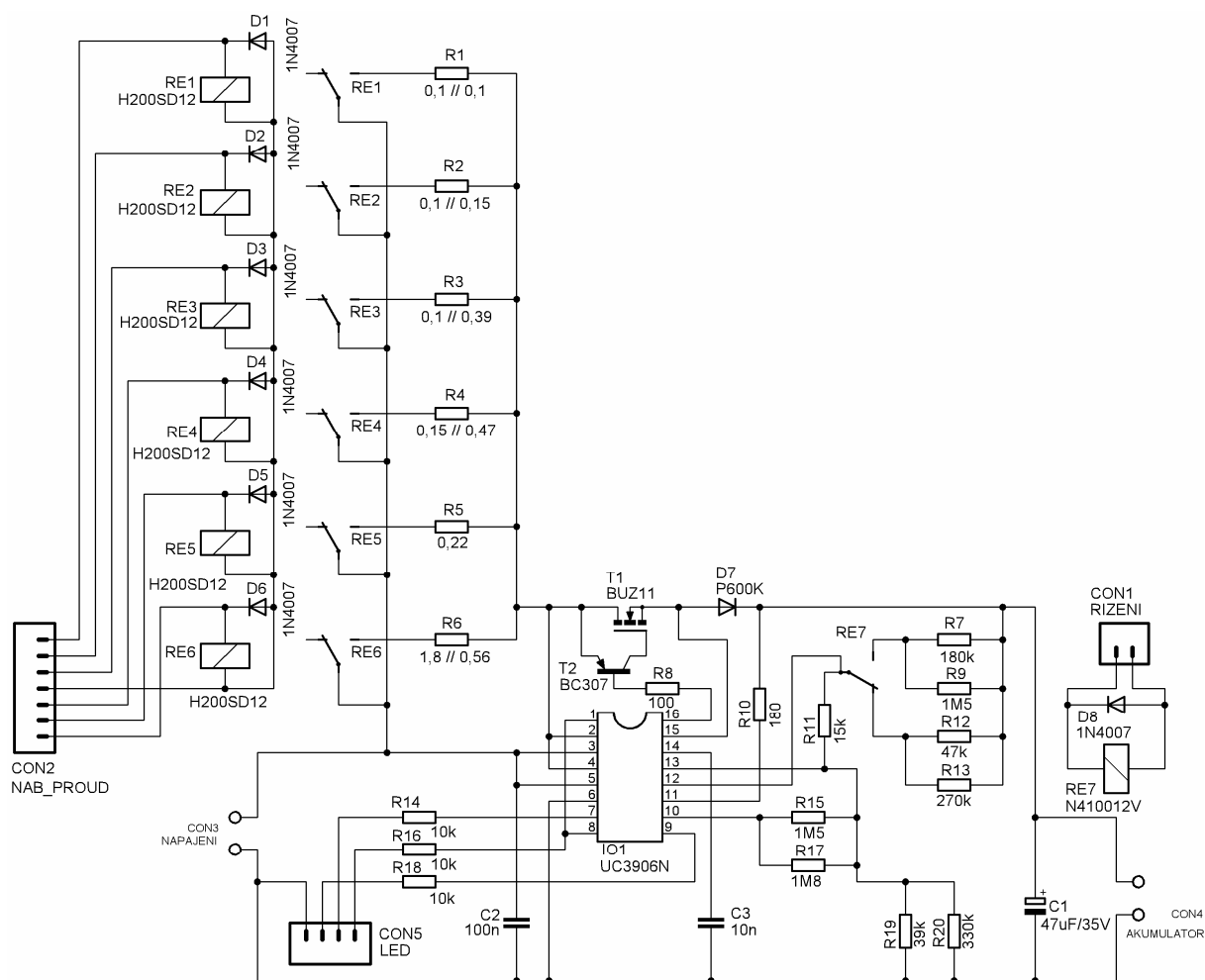
$$I_1 = I_B + I_{RBE} = 666,66 \cdot 10^{-6} + 0,6 \cdot 10^{-3} = \underline{1,27 mA} \quad (3.17)$$

Výpočet velikosti rezistoru v bázi tranzistoru:

$$R_B = \frac{U_{NAP} - U_{BE}}{I_1} = \frac{9 - 0,6}{1,27 \cdot 10^{-3}} = \underline{6,6 k\Omega} \quad (3.18)$$

Velikost rezistoru mezi báží a emitorem je $1 k\Omega$, tento rezistor se nachází na DPS předního panelu (schéma na obr. 7.1, rezistory R_{11} , R_1 a R_2). Rezistor umístěný mezi báží tranzistoru a výstupem IO_1 jsem zvolil o velikosti $10 k\Omega$ (schéma na obr. 3.4, rezistory R_{14} , R_{16} a R_{18}).

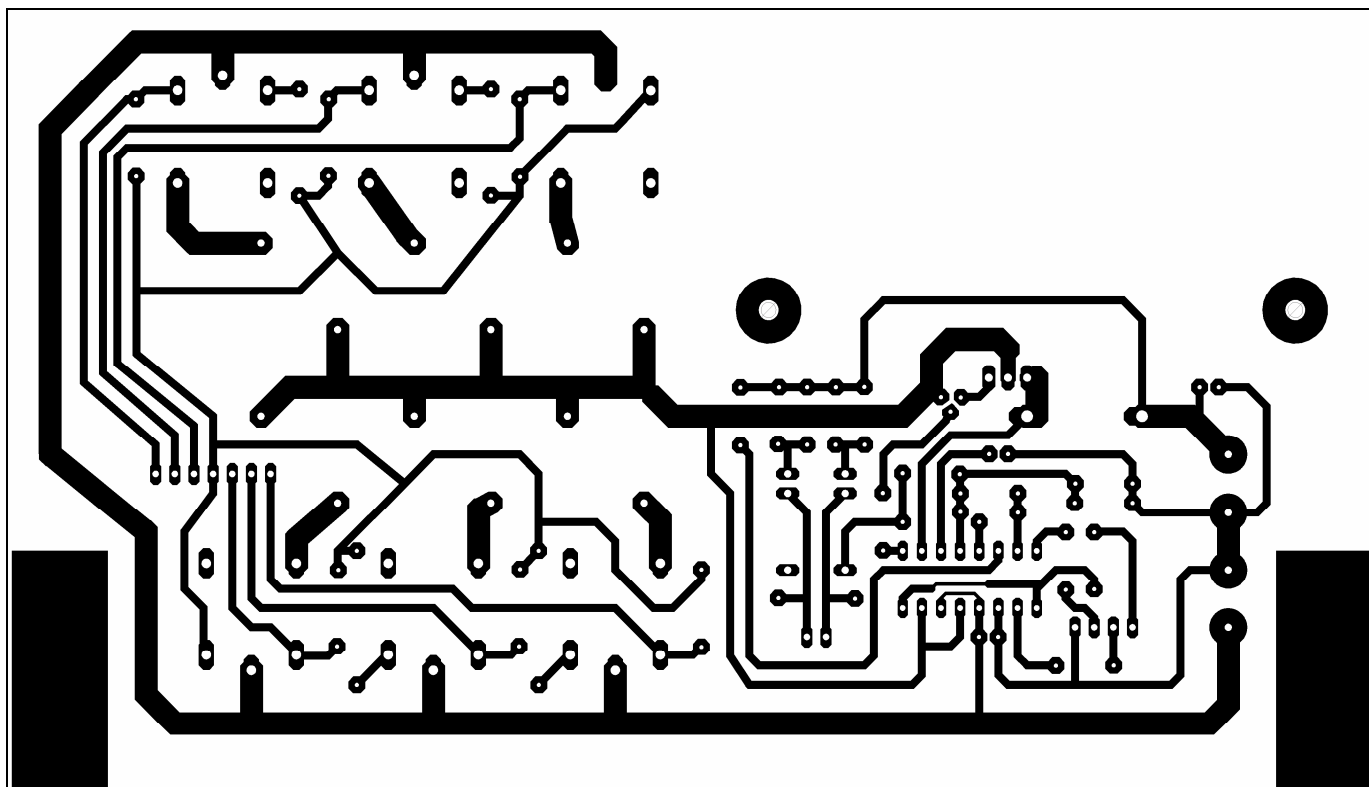
3.4 Schéma vlastní nabíječky a výrobní podklady pro DPS



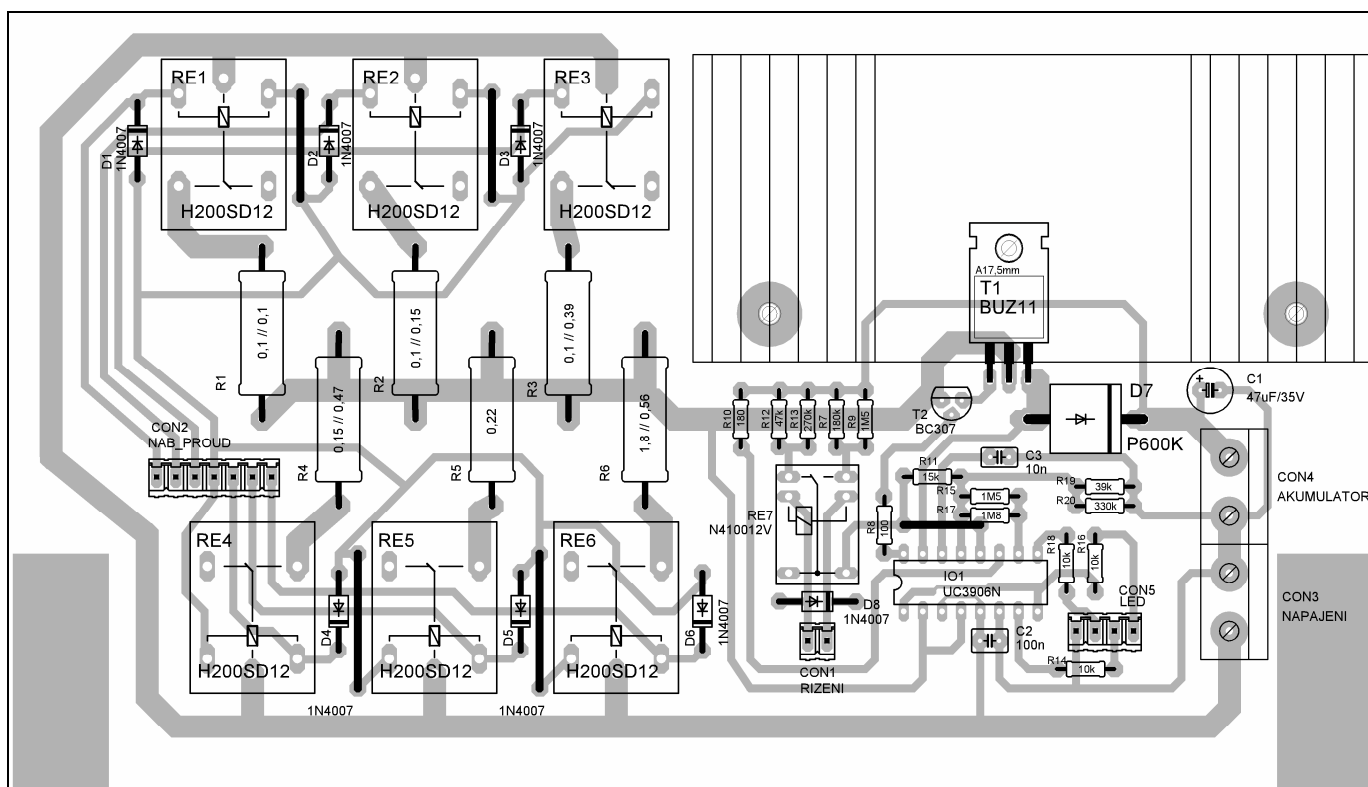
Obr. 3.4 Schéma vlastní nabíječky

Na obr. 3.4 je zobrazeno kompletní schéma vlastní nabíječky. V levém horním rohu se nacházejí výkonové rezistory R_1 až R_6 a relé RE_1 až RE_6 , které je připojují do obvodu. Ve středu schématu je obvod IO_1 řídící nabíjení a vpravo od něj jsou rezistory určující referenční napětí. Na obr. 3.5 se nachází návrh desky plošného spoje. Všechny jednostranné desky v této práci jsou zobrazeny ze strany součástek. V případě použití jiné metody výroby DPS, je nutno tuto předlohu zrcadlit.

Vlastní nabíječka se nachází na jednostranné desce. Její rozměry jsou 181mm na 104mm. V pravém horním rohu se nachází chladič tranzistoru T_1 , tento chladič je k desce přichycen dvěma šroubky M3. Plochu pod chladičem na které se nenachází žádné cestičky je vyříznuta, aby byl zajištěn dostatečný odvod tepla z něj.



Obr. 3.5 Deska plošného spoje vlastní nabíječky, zobrazeno ze strany součástek
(měřítko 1:1, rozměr 181 x 104 mm)



Obr. 3.6 Rozložení součástek na DPS vlastní nabíječky

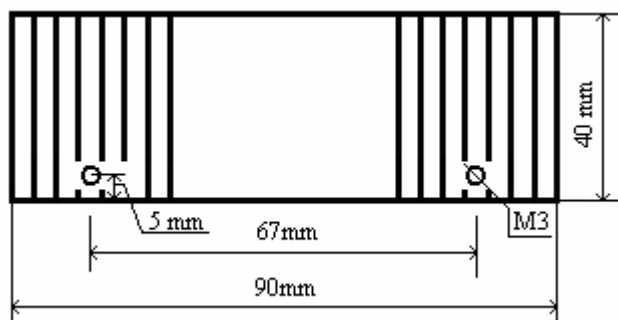
Soupis součástek:

R1	0,1 Ω // 0,1 Ω (5W)
R2	0,1 Ω // 0,15 Ω (5W)
R3	0,1 Ω // 0,39 Ω (5W)
R4	0,15 Ω // 0,47 Ω (5W)
R5	0,22 Ω (5W)
R6	1,8 Ω // 0,56 Ω (5W)
R7	180k Ω
R8	100 Ω
R9, R15.....	1,5M Ω
R10	180 Ω
R11	15k Ω
R12	47k Ω
R13	270k Ω
R14, R16, R18.....	10k Ω
R17	1,8M Ω
R19	39k Ω
R20	330k Ω
C1	47 μ F/35V (elektrolytický)
C2	100nF
C3	10nF
IO1.....	UC3906N
patice	DIL 16 (precizní)
T1	BUZ11
T2	BC307
D1- D6, D8.....	1N4007
D7	P600K
RE1 – RE6.....	H200SD12
RE7.....	N410012V
CON1	PFH02-02P
CON2	PFH02-07P
CON3, CON4.....	ARK110/2
CON1	PFH02-04P
chladič	CHL255Y

3.5 Sestavení vlastní nabíječky

Jako první osadíme patici DIL16, zprvu jen bez obvodu UC3906, aby nedošlo k jeho zničení, ten se osadí až na konci práce. Pokračuje se rezistory, kondenzátory, konektory až po největší součástky. Jako poslední se přimontují chladiče, abych předešel namáhání vývodů součástek připevněných na chladiče, navrtal jsem do jejich spodní části dva otvory a v nich vyřezal závit M3, v DPS jsou na odpovídajících místech provrtány otvory, takže za použití dvou šroubků M3 je možno chladiče snadno pevně k DPS přichytit (viz obr. 3.7). Stejným způsobem jsou upraveny i chladiče v bloku usměrňovačů a stabilizátorů. Pomocí šroubku je přichycena k chladiči i samotná součástka.

Na na této DPS je na chladiči jen jedna součástka, z toho důvodu není potřeba řešit její elektrickou izolaci od něj. Po osazení a zapájení všech součástek je lepší zkontrolovat desku, jestli se na ni nenacházejí někde zkratky či cínové můstky.



Obr. 3.7 Umístění závitů pro přichycení chladiče na DPS

4 Transformátor

4.1 Parametry transformátoru

Nabíječka má dvě vstupní napětí a to 9V a 18V. Pro nabíjení 6V akumulátorů je potřeba proudu až 1,5A a pro 12V je třeba proudů do 6A. Transformátor těchto parametrů jsem na trhu neobjevil, takže jsem jej v rámci bakalářské práce navrhl a zkonstruoval. Jako první byl proveden jeho výpočet a následně bylo přistoupeno k vlastní realizaci v prostorách fakultní dílny.

Jedná se o klasický síťový transformátor složený z jednostranně lakovaných IE plechů, v kterých je umístěna kostička s navinutými vinutími. Výkon, jež je schopen poskytnout je 120W. Jednotlivá vinutí jsou izolována. Mezi primárním a sekundárním vinutím na 8kV a mezi sekundárními na 4kV, taktéž i na posledním vinutí je izolace na 4kV, jež vinutí chrání i proti vnějším vlivům. Tyto parametry byly zkontrolovány přiložením zkušebního napětí 4kV mezi primární a sekundární vinutí a 2kV mezi jednotlivá vinutí a transformátorovými plechy.

Jednotlivé vrstvy vinutí jsou prokládána transformátorovým papírem, je tak zajištěno nepropadávání jednotlivých závitů mezi spodnější vrstvy. Vzdálenější závity mají již jiný elektrický potenciál a v případě že by se přiblížily k sobě, mohlo by dojít k průrazu smaltové izolace drátu a k následnému zničení transformátoru. Dráty jsou na výstupu z kostičky chráněny bužírkou a připájeny na nanýtované konektory. Základní princip funkce transformátoru jsou všeobecně známy, z toho důvodu jej zde nebudu dále rozvíjet. Podrobnější informace lze nalézt v literatuře [4], [5] a [6], z jichž jsem také čerpal, zvláště pak následující postup návrhu a především vzorce pro výpočet.

Jeho výsledné parametry jsou:

Jádro: plechy EI v normě IEC značené jako YEI-40 a v normě DIN jako EI 120.
Primární vinutí: Ø 0,6mm Cu zesílená izolace, 628 závitů.
Sekundární vinutí 1: Ø 1,6mm Cu zesílená izolace, 56 závitů
Sekundární vinutí 2: Ø 0,8mm Cu zesílená izolace, 28 závitů

4.2 Popis návrhu transformátoru

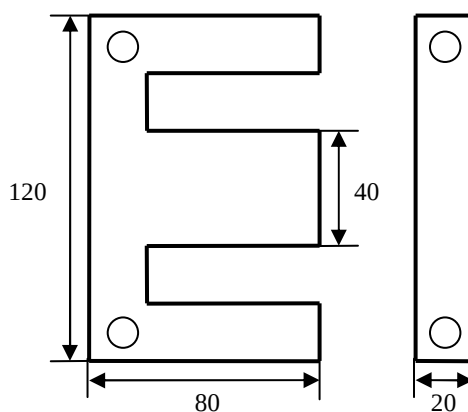
4.2.1 Síťové transformátory

Úkolem síťového transformátoru je přenášet co nejúčinněji i značné elektrické výkony. Magnetická indukce bývá vysoká, poněvadž s jejím zvyšováním se zmenšují rozměry transformátoru a vzrůstá přenášený výkon. S rostoucí magnetickou indukcí vzrůstají však i ztráty, které transformátory větších výkonů oteplují. Zdrojem tepla je i odpor vinutí. Tyto vlastnosti se musí při návrhu transformátoru zohlednit.

Po připojení nezátíženého transformátoru na síť prochází jeho vinutím magnetování proud I_m , jehož průběh není harmonický. V případě zde navrhovaného transformátoru je změřený proud $I_m = 163\text{mA}$. Síťový transformátor bývá zadán napětím a kmitočtem sítě, na kterou je připojen a zdánlivým výkonem, který transformátor má na sekundární straně odevzdat [5]. Zde navrhovaný transformátor má dvě výstupní vinutí, proto se sečtou oba sekundární výkony, a tak se dostane celkový výkon na sekundární straně, ten je $P_{\text{sek}} = 121,5\text{W}$.

4.2.2 EI transformátorové plechy

Při výrobě jader malých transformátorů se používají elektrotechnické plechy EI. Tyto plechy jsou magneticky izotropní, jejich vlastnosti měřené v různých směrech jsou prakticky stejné. Mají nízké ztráty, především ty hysterzní. Jedná se i o plechy s dobrými mechanickými vlastnostmi, jsou hladší a tak je možno dosáhnout lepšího činitele plnění při sestavování transformátorů [5]. Na následujícím obrázku obr. 4.1 jsou znázorněny rozměry použitých EI plechů.



Uvedené rozměry jsou v milimetrech

Obr. 4.1 Rozměry použitých EI plechů

4.2.3 Vlastní výpočet transformátoru

Je potřeba zkonstruovat transformátor těchto parametrů:

Sekundární vinutí 1:

$$U_{21ef} = 18V$$

$$I_{21ef} = 6A$$

Sekundární vinutí 2:

$$U_{22ef} = 9V$$

$$I_{22ef} = 1,5A$$

Při následujících výpočtech jsem čerpal z [4], [5] a [6].

Zdánlivý výkon určíme pomocí vzorce:

$$P_z = (U_{21ef} \cdot I_{21ef}) + (U_{22ef} \cdot I_{22ef}) = (18 \cdot 6) + (9 \cdot 1,5) = \underline{121,5VA}. \quad (4.1)$$

Je nutné navýšit zdánlivý výkon P_z vlivem provozní teploty okolí $> 40^\circ C$. Pro $60^\circ C$ je $\Delta P = \underline{-27\%}$.

$$P_{z1} = P_z + (\Delta P \cdot P_z) = 121,5 + (0,27 \cdot 121,5) = \underline{154,3VA} \quad (4.2)$$

Nyní se vybírá jádro s typovým výkonem větším jak 155VA. Dle tabulek by bylo vybráno jádro s typovým výkonem 200VA. Já jsem měl k dispozici jádro na výkon 256VA, přesto jeho okýnko

bylo po dokončení ručního vinutí skoro naplněno. Což značí, že při použití menšího jádra, by se na něj kompletní vinutí nemusela vejít.

Parametry jádra:

- počet závitů na volt: $N_t = \underline{2,8 \text{ z/V}}$ (vypočteno dle vztahu 4.3)
- plocha okna pro vinutí: $S_w = \underline{12 \text{ cm}^2}$ (změřeny transformátorové plechy)
- maximální proudová hustota pro $\Delta v = 60^\circ\text{C}$: $J = \underline{3,6 \text{ A/mm}^2}$
- uspořádání vinutí: z bezpečnostních důvodů bude nejbližší jádru umístěno primární vinutí, následně sekundární vinutí na 18V a jako poslední sekundární vinutí na 9V

Výpočet počtu závitů potřebných na získání napětí jednoho voltu:

$$N_t = \frac{45}{S_j} = \frac{45}{16} = \underline{2,8125 \text{ z/V}}, \quad (4.3)$$

kde S_j značí průřez středního sloupku transformátoru.

Proudové hustoty jednotlivých vinutí:

J_{N1} se sníží o 15%, na vině je horší odvod tepla z vnitřního vinutí:

$$J_{N1} = J \cdot 0,85 = 3,6 \cdot 0,85 = \underline{3,1 \text{ A/mm}^2}. \quad (4.4)$$

J_{N21} pro sekundární vinutí 18V:

$$J_{N21} = \underline{3,6 \text{ A/mm}^2}$$

J_{N22} pro sekundární vinutí 9V se zvýší o 10%, z vnějšího vinutí se snáz odvádí teplo.

$$J_{N22} = J \cdot 1,1 = 3,6 \cdot 1,1 = \underline{4 \text{ A/mm}^2} \quad (4.5)$$

Účinnost: $\eta = 88\%$

Úbytek napětí při oteplení o:

$\Delta v = 60^\circ\text{C}$ při $v = 25^\circ\text{C}$ je $\Delta U = 10\%$

$\Delta v = 60^\circ\text{C}$ při $v = 40^\circ\text{C}$ je $\Delta U = 10,5\%$

To je o +0,5% na 15°C teploty okolí.

Pro $v = 60^\circ\text{C}$ tedy se tedy aproximuje $\underline{\Delta U = 11,2\%}$.

Příkon transformátoru:

$$P_1 = \frac{P_z}{\eta} = \frac{121,5}{0,88} = \underline{138,1 \text{ VA}}, \quad (4.6)$$

kde P_z je zdánlivý výkon transformátoru vypočtený ze vzorce (4.1) a η je účinnost.

Celkové ztráty jsou:

$$P_{ztr} = P_1 - P_z = 138,1 - 121,5 = \underline{16,6 \text{ W}}. \quad (4.7)$$

Počet závitů primárního vinutí:

$$N_1 = U_{1ef} \cdot N_t = 230 \cdot 2,8125 = \underline{647 \text{ z}}. \quad (4.8)$$

Z důvodu ztrát v transformátoru odečteme 3% z počtu závitů:

$$N_1 = N_1 \cdot 0,97 = \underline{628z}. \quad (4.9)$$

Počet závitů sekundárních vinutí:

Potřeba připočítat úbytek ΔU vlivem oteplení.

$$U'_{21ef} = U_{21ef} + (\Delta U \cdot U_{21ef}) = 18 + (0,112 \cdot 18) = \underline{20,016V} \quad (4.10)$$

$$N_{21} = U'_{21ef} \cdot N_t = 20,016 \cdot 2,8125 = 56,295z \rightarrow \underline{56z} \quad (4.11)$$

$$U'_{22ef} = U_{22ef} + (\Delta U \cdot U_{22ef}) = 9 + (0,112 \cdot 9) = \underline{10V} \quad (4.12)$$

$$N_{22} = U'_{22ef} \cdot N_t = 10 \cdot 2,8125 = 28,125z \rightarrow \underline{28z} \quad (4.13)$$

Proud primárním vinutím:

$$I_{1ef} = \frac{P_1}{U_{1ef}} = \frac{138,1}{230} = \underline{0,6A}. \quad (4.14)$$

Průřez vodiče primárního vinutí pro $J_{N1} = 3,1 \text{ A/mm}^2$:

$$\text{Plocha vodiče: } S_{V1} = \frac{I_{1ef}}{J_{N1}} = \frac{0,6}{3,1} = \underline{0,194mm^2}. \quad (4.15)$$

Z tabulky byl zvolen průměr vodiče $d = 0,5 \text{ mm}$, vodič se zesílenou izolací je pak průměru $d = \underline{0,57 \text{ mm}}$.

Průřez vodiče prvního sekundárního vinutí pro $J_{N21} = 3,6 \text{ A/mm}^2$:

$$\text{Plocha vodiče: } S_{V21} = \frac{I_{21ef}}{J_{N21}} = \frac{6}{3,6} = \underline{1,67mm^2}. \quad (4.16)$$

Z tabulky byl zvolen průměr vodiče $d = 1,5 \text{ mm}$, vodič se zesílenou izolací je pak průměru $d = \underline{1,62 \text{ mm}}$.

Průřez vodiče druhého sekundárního vinutí pro $J_{N22} = 4 \text{ A/mm}^2$:

$$\text{Plocha vodiče: } S_{V22} = \frac{I_{22ef}}{J_{N22}} = \frac{1,5}{4} = \underline{0,375mm^2}. \quad (4.17)$$

Z tabulky byl zvolen průměr vodiče $d = 0,71 \text{ mm}$, vodič se zesílenou izolací je pak průměru $d = \underline{0,79 \text{ mm}}$.

Průřez vinutí N_1 :

Počet závitů na jednu vrstvu vinutí, plus snížení o 5% z důvodu ručního vinutí transformátoru:

$$n_1 = \frac{l}{d} \cdot 0,95 = \frac{55}{0,5} \cdot 0,95 = \underline{105z}. \quad (4.18)$$

Průřez primárního vinutí:

$$S_{N1} = \left(\frac{N_1}{n_1} \cdot d \right) \cdot l = \left(\frac{628}{105} \cdot 0,57 \right) \cdot 55 = 187,5mm^2 = \underline{1,87cm^2}. \quad (4.19)$$

Průřez vinutí N_{21} :

Počet závitů na jednu vrstvu vinutí, plus snížení o 5% z důvodu ručního vinutí transformátoru:

$$n_{21} = \frac{l}{d} \cdot 0,95 = \frac{55}{1,62} \cdot 0,95 = \underline{33z}. \quad (4.20)$$

Průřez prvního sekundárního vinutí:

$$S_{N21} = \left(\frac{N_{21}}{n_{21}} \cdot d \right) \cdot l = \left(\frac{56}{33} \cdot 1,62 \right) \cdot 55 = 151,2mm^2 = \underline{1,51cm^2}. \quad (4.21)$$

Průřez vinutí N_{22} :

Počet závitů na jednu vrstvu vinutí, plus snížení o 5% z důvodu ručního vinutí transformátoru:

$$n_{22} = \frac{l}{d} \cdot 0,95 = \frac{55}{0,79} \cdot 0,95 = \underline{66z}. \quad (4.22)$$

Průřez druhého sekundárního vinutí:

$$S_{N22} = \left(\frac{N_{22}}{n_{22}} \cdot d \right) \cdot l = \left(\frac{28}{66} \cdot 0,79 \right) \cdot 55 = 18,43mm^2 = \underline{0,18cm^2}. \quad (4.23)$$

Celkový průřez všech vinutí:

Je nutno připočítat šířku izolačních vrstev.

$$S_N = S_{N1} + S_{N21} + S_{N22} + 5,5 \cdot 55 = 1,87 + 1,51 + 0,18 + 3,02 = \underline{6,58cm^2} \quad (4.24)$$

Činitel plnění okna:

$$\frac{S_N}{S_w} = \frac{6,58}{12} = 0,55 \rightarrow \underline{55\%}. \quad (4.25)$$

Velikost činitele plnění informuje o 55% zaplnění okénka transformátoru, tato hodnota bude však ve skutečnosti o něco větší. Zvolená velikost jádra tedy vyhovuje a transformátor je tedy možno dle vypočtených parametrů vyrobit.

Shrnutí parametrů vinutí:

Tabulka. 4.1 Parametry vinutí transformátoru

Vinutí	Průměr vodiče [mm]	Počet závitů
Primární	0,57	628
První sekundární	1,62	56
Druhé sekundární	0,79	28

Vyrobený transformátor má obě sekundární napětí vyšší, než požadováno. Místo 18V je střídavé napětí 20V a místo 9V je střídavé napětí 10V. Po usměrnění a stabilizaci v bloku usměrňovačů a stabilizátorů popsaném v kapitole 5 této práce, byla získána požadovaná stejnosměrná napětí 18V a 9V.

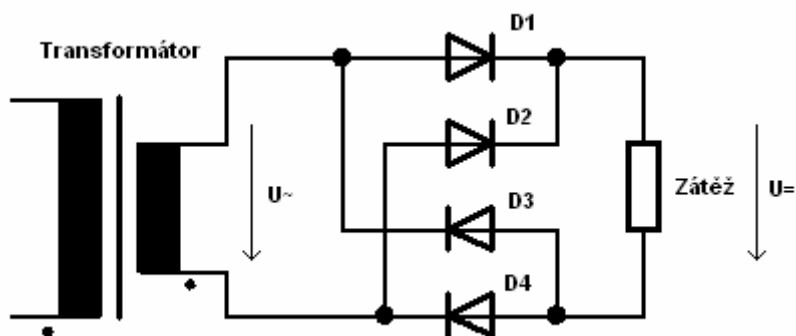
5 Usměrňovače a úprava velikosti vstupního napětí nabíječky

5.1 Usměrňovače

Usměrňovače jsou zařízení sloužící k získání stejnosměrného napětí ze střídavého, v tomto případě je nutno usměrnit střídavé napětí získané z transformátoru.

Nabíječka vyžaduje pro nabíjení 12V akumulátorů vstupní napětí 18V a proud až 5A. S ohledem na potřebu značného proudu je usměrňovací dvoucestné můstkové Graetzovo zapojení kompletně umístěno v jednom pouzdře, jedná se o součástku se schématickým značením BR₁ (značeno dle schématu na obr. 5.5), jež je dimenzována na 8A a umístěna na chladiči, který zabraňuje jejímu eventuelnímu přehřívání. Dalším potřebným napětím v nabíječce je napětí 9V pro nabíjení 6V akumulátorů. Zde nabíjecí proud nepřekročí 1A, opět je celý můstek v jednom pouzdře (BR₂).

U tohoto můstkového zapojení jsou v obou půlvlnách vstupního střídavého napětí vždy dvě diody zapojeny v sérii. V propustném směru tedy musíme počítat s dvakrát větším odporem a tudíž i s dvakrát tak velkými ztrátami (viz. obr. 5.1) [4].



Obr. 5.1 Dvoucestné můstkové Graetzovo zapojení

Tímto usměrněním však vznikají vyšší harmonické složky, jež mají mnohdy i velkou velikost především v případě malého počtu fází a cest (zde jen jedna fáze). Tento jev je příčinou toho, že na výstup zařazujeme filtry vyšších harmonických. Tyto obvody lze realizovat dvěma způsoby: 1) hornofrekvenční propust paralelně k zátěži a 2) hornofrekvenční zádrž v sérii se zátěží. Oba tyto způsoby musí být realizovány tak, aby nedošlo k výraznému zhoršení energetické bilance [4]. Podrobnější popis usměrňovače lze nalézt i v [8].

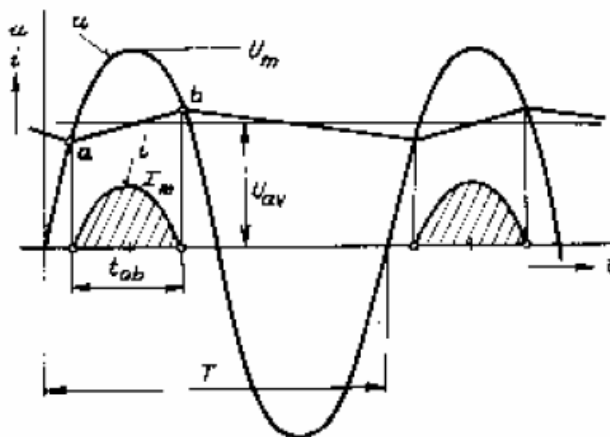
5.2 Filtrace výstupního napětí usměrňovače

Pro potřeby filtrace lze využít tzv. sběrný kondenzátor. Jedná se zde o případ 1) a to tedy o filtr hornofrekvenční propusti paralelně připojené k zátěži.

Využívá se zde jevu poklesu reaktance kondenzátoru (viz. obr. 5.2), tento pokles je roven podílu $1/\omega C$, klesá tedy hyperbolicky s kmitočtem. Proto i potlačení vyšších harmonických složek je lineární s kmitočtem [4].

Filtrační kondenzátory zvolené pro vyfiltrování vstupního napětí nabíječky jsou následující:

Pro napětí 18V jsou to kondenzátory C_1 a C_2 , přičemž první je elektrolytický kondenzátor o kapacitě $10000\mu\text{F}$ a druhý je keramický s kapacitou 100nF , jež rychleji než první kondenzátor reaguje na vyšší harmonické složky napětí. Paralelně k nim se nachází rezistor R_1 , přes který se po odpojení nabíječky kondenzátor C_1 vybíjí. Usměrňovač na 9V je filtrován kondenzátory C_6 a C_7 . Kondenzátor C_6 může mít menší kapacitu než C_1 , z důvodu menších proudů, jeho kapacita je tedy $3300\mu\text{F}$, kondenzátor C_7 je stejný jako C_2 .



Obr. 5.2 Průběhy napětí a proudů na filtračním kondenzátoru (převzato z [4])

5.3 Stabilizátory napětí

Tyto obvody slouží k stabilizaci vstupního napětí. Sekundární napětí vinutí transformátorů není přesně 18V a 9V, ale o něco vyšší, proto je nutno pomocí stabilizátorů po usměrnění jeho velikost snížit na požadovanou hodnotu. V klasických zařízeních s nízkým odběrem je možno využít stabilizátorů integrovaných v jednom pouzdře (např. TO220). Tyto se ale vyrábějí jen do proudu jedné ampéry, což nevyhovuje požadavku nabíjení dvanácti voltových akumulátorů s nabíjecími proudy až pěti ampér. V případě šesti voltových akumulátorů by proud jedné ampéry byl dostačující ale z důvodu malého rozdílu mezi požadovaným napětím 9V a necelým 11V, jež je na výstupu usměrňovače, nepracuje tento typ stabilizátoru správně. Požaduje totiž alespoň o 3V větší vstupní napětí, než je jeho výstupní. Z těchto důvodů jsem byl nucen použít stabilizátory navržené z několika součástek. Základem je tranzistor, řídící výstupní napětí. Tento tranzistor je řízen různými způsoby dle požadavků na přesnost velikosti výstupního napětí. Jedná se o řízení dalším tranzistorem až po velmi přesné řízení pomocí operačního zesilovače, jež srovnává výstupní napětí s napětím referenčním.

Pro mé potřeby vystačil stabilizátor navržený pomocí několika tranzistorů. A to hlavního výkonnějšího tranzistoru a dalších řídících tranzistorů.

V případě stabilizátoru na 18V je výkonový tranzistor řízen pomocí dvou tranzistorů. Na bázi T_3 je přivedeno napětí získané pomocí dvou zenerových diod o hodnotě 17,3V, napětí na rezistoru R_4 , pak otevírá nebo přivírá tranzistor T_3 , který ovlivňuje, jak moc je otevřen tranzistor T_2 , tento tranzistor pak řídí výkonový tranzistor T_1 . Na výstupu usměrňovače se nachází ještě jeden filtrační kondenzátor s označením C_5 .

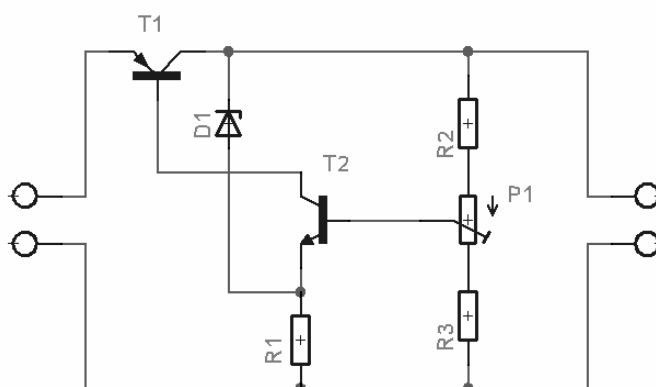
U stabilizátoru na 9V se na emitor druhého tranzistoru přivede přesné referenční napětí získané pomocí zenerovy diody D_4 a rezistorů R_5 a R_6 . A jeho báze je řízena napětím získaném pomocí napěťového děliče přímo na výstupu stabilizátoru. Báze tranzistoru T_5 je připojena

na odporový trimr R_{10} , díky kterému můžeme výstupní napětí v určitých malých mezích měnit, tyto meze se stanovují při návrhu stabilizátoru (viz obr. 5.3). Značení součástek odpovídá schématu na obr. 5.5.

Z důvodů větších proudů procházejících přes tranzistory řídící výstupní napětí jsem je umístil na jeden chladič. Při instalaci dvou součástek na jeden chladič je třeba tyto od sebe elektricky oddělit, oddělení se provede pomocí slídových podložek a jejich přichycení k chladiči se realizuje plastovými šroubky a maticemi. V případě typů výkonových tranzistorů, které jsou zde použity je v nich průchod pro šroubek pouzdrem proveden v plastu. Proto je možno použít i klasické kovové šroubky.

5.3.1 Návrhy stabilizátorů

Stabilizátor na 9V:



Obr. 5.3 Schéma stabilizátoru na 9V

Návrh stabilizátoru vychází z [8]. Následné značení součástek odpovídá schématu na obr. 5.3.

Parametry:

Vstupní napětí: $U_1 = (9,5;11,91)V$

Výstupní napětí: $U_2 = (8;9,5)V$

Maximální odebíraný proud: $I_{2\max} = 1A$

Návrh zenerovy diody:

$U_{D1} < U_{2\min} = 8V$ (na rezistoru R_1 , musí být úbytek několika málo voltů),

kde U_{D1} je napětí na zenerově diodě.

Byla tedy zvolena dioda s zenerovým napětím 5,1V s označením BZX83V005.1, její doporučený proud dle katalogu výrobce je $I_{D1} = 67mA$. Musíme počítat s tolerancí 10%, to znamená U_{D1} od 4,59V do 5,61V.

Návrh tranzistoru T_1 :

$$I_{C\max} = I_{D1} + I_{2\max} = 67 \cdot 10^{-3} + 1 = 1,067 A, \quad (5.1)$$

$$U_{CE1\min} = U_{1\min} - U_{2\max} = 9,32 - 9,32 = 0V, \quad (5.2)$$

$$U_{CE1\max} = U_{1\max} - U_{2\min} = 11,91 - 8 = 3,9V, \quad (5.3)$$

$$P_{C1\max} = I_{C1\max} \cdot U_{CE\max} = 1,067 \cdot 3,91 = 4,17W. \quad (5.4)$$

Byl tedy zvolen tranzistor 2SA1249 s těmito parametry:

$U_{CE} = 160V$, $I_C = 1,5A$, $P = 10W$, $h_{21E} = 100-400$ při $I_C = 100mA$.

Střední hodnota h_{21E0} je 250.

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{21E0}} = \frac{1,067}{250} = 4,27mA = I_{C2}, \quad (5.5)$$

kde I_{B1} je proud bázi prvního tranzistoru, I_{C1} a I_{C2} jsou kolektorové proudy obou tranzistorů.

Návrh rezistoru R_1 :

$$U_{R1} = U_{vyst} - U_{D1} = 9 - 5,1 = 3,9V, \quad (5.6)$$

kde U_{R1} je napětí na rezistoru R_1 , U_{vyst} je požadované výstupní napětí stabilizátoru.

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{D1} + I_{B1}} = \frac{3,9}{(67 + 4,27) \cdot 10^{-3}} = 51,72\Omega \quad (5.7)$$

Složen z rezistorů 33Ω a 22Ω , vybraných z řady E12.

Výpočet výkonu na rezistoru R_1 :

$$P_{R1} = \frac{U_{R1}^2}{R_1} = \frac{3,9^2}{51,72} = 0,29W. \quad (5.8)$$

Možno použít 0,5W rezistor.

Návrh tranzistoru T_2 :

$I_{C2} = 4,27mA$.

Výpočet maximálního napětí mezi kolektorem a emitorem:

$$U_{CE2\max} = U_{1\max} - (U_{2\min} - U_{D1}) = 11,91 - (8 - 5,1) = 9,01V. \quad (5.9)$$

Byl tedy zvolen tranzistor BC548B s parametry:

$U_{CE} = 30V$, $I_C = 0,1A$, $P = 0,5W$, $h_{21E} = 200-450$ při $I_C = 2mA$.

Střední hodnota h_{21E0} je 325.

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{21E0}} = \frac{4,27 \cdot 10^{-3}}{325} = 13,14\mu A. \quad (5.10)$$

Návrh výstupního děliče:

Proud děličem se volí o řád větší jak I_{B2} a zároveň o řád menší než proud do zátěže, zvolen byl tedy proud 1mA.

Celkový odpor děliče:

$$R_{CD} = R_2 + P_1 + R_3 = \frac{U_{výst}}{I_{CD}} = \frac{9}{1 \cdot 10^{-3}} = 9k\Omega, \quad (5.11)$$

kde I_{CD} je námi zvolený proud děliče.

Výpočet rezistoru R_3 pro U_{2min} :

$$U_{R1min} = U_{2min} - U_{D1} = 8 - 5,1 = 2,9V. \quad (5.12)$$

Běžec odporového trimru P_1 je na doraz u zemní svorky.

$$U_{0min} = U_{R1min} + U_{BE2} = 2,9 + 0,7 = 3,6V \quad (5.13)$$

Dělicí poměr:

$$p_{min} = \frac{U_{0min}}{U_{2min}} = \frac{3,6}{8} = 0,45, \quad (5.14)$$

$$R_3 = p_{min} \cdot R_{CD} = 0,45 \cdot 9 \cdot 10^3 = \underline{4,05k\Omega}. \quad (5.15)$$

R_3 volíme z řady E12 a to hodnotu 3,9kΩ.

Výpočet odporového trimru pro U_{2max} :

$$U_{R1max} = U_{2max} - U_{D1} = 9,31 - 5,1 = 4,22V. \quad (5.16)$$

Běžec odporového trimru P_1 je na doraz u kladné svorky.

$$U_{0max} = U_{R1max} + U_{BE2} = 4,22 + 0,7 = 4,92V \quad (5.17)$$

Dělicí poměr:

$$p_{max} = \frac{U_{0max}}{U_{2max}} = \frac{4,92}{9,32} = 0,528, \quad (5.18)$$

$$P_1 = p_{max} \cdot R_{CD} - R_3 = 0,528 \cdot 9 \cdot 10^3 - 3,9 \cdot 10^3 = \underline{752\Omega}. \quad (5.19)$$

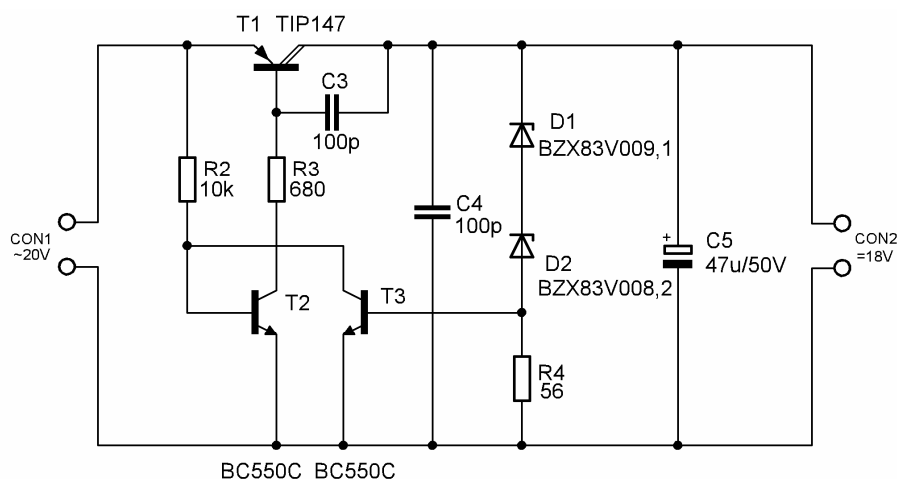
Volíme z řady E6 500Ω (jsou vyráběny jen v této řadě).

Výpočet rezistoru R_2 :

$$R_2 = R_{CD} - (R_3 + P_1) = 9 \cdot 10^3 - (3,9 \cdot 10^3 + 500) = \underline{4,6k\Omega} \quad (5.20)$$

Z důvodu předchozích voleb větších rezistorů, volíme nyní R_2 menší a to hodnotu 4kΩ. Tento odpor lze získat paralelní kombinací rezistorů 5,6kΩ a 15kΩ z řady E12.

Stabilizátor na 18V:



Obr. 5.4 Schéma stabilizátoru na 18V

Parametry:

Vstupní napětí: $U_1 = (19,8;20,2)V$
 Výstupní napětí: $U_2 = (18)V$
 Maximální odebíraný proud: $I_{2\max} = 5A$

Původní schéma stabilizátoru (na obr. 5.4) je převzato z [6]. Stabilizátor byl navržen na výstupní napětí 12V, z toho důvodu jsem musel změnit zenerovi diody D_1 a D_2 a velikost rezistoru R_4 . Na výstupu stabilizátoru je požadováno napětí 18V, toto napětí je součtem napětí na prvcích D_1 , D_2 a R_4 , přičemž na R_4 je napětí U_{BE} tranzistoru T_3 , což je 0,7V. Na diodách tedy musí být napětí U_D rovno:

$$U_D = U_{\text{výst}} - U_{R4} = 18 - 0,7 = \underline{17,3V} \quad (5.21)$$

Přičemž U_D je napětí na diodách a $U_{\text{výst}}$ je výstupní napětí stabilizátoru.

Zenerovi diody se vyrábějí jen v určitých hodnotách napětí, pro získání napětí blízké k U_D jsem zvolil diody s napětím 8,2V a 9,1V, jejichž součet je 17,3V, což odpovídá požadovanému napětí. Vlivem výrobních tolerancí diod se může velikost tohoto napětí ve skutečnosti trochu lišit. Je tedy třeba k dosažení přesnější velikosti napětí volit případně diody z různých výrobních šarží.

Velikost rezistoru R_4 určuje proud zenerovými diodami, čím menší je zenerovo napětí diody, tím větší proud jí má dle katalogu výrobce téct. Diodou se zen. napětím 8,2V má téct proud 40mA, výpočet rezistoru R_4 je tedy následující:

$$R_4 = \frac{U_{BE}}{I_{D2}} = \frac{0,7}{40 \cdot 10^{-3}} = \underline{18\Omega} \quad (5.22)$$

Při ožiování DPS jsem zjistil, že je lepší dát větší hodnotu tohoto rezistoru, proto jsem zvolil rezistor 56Ω.

Do báze tranzistoru T_3 teče jen zanedbatelný proud 3,11μA, poněvadž:

$$I_{CT3} = \frac{U_{nap} - U_{BET2}}{R_2} = \frac{20 - 0,7}{10 \cdot 10^3} = 1,9mA, \quad (5.23)$$

kde I_{CT3} je proud kolektoru tranzistoru T_3 , U_{nap} je napájecí napětí stabilizátoru a U_{BET2} je U_{BE} tranzistoru T_2 .

Tranzistor T_3 má proudový zesilovací činitel $h_{21E} = 420$ až 800 , střední hodnota je tedy $h_{21E0} = 610$. Proud I_{BT3} tohoto tranzistoru je tedy:

$$I_{BT3} = \frac{I_{CT3}}{h_{21E0}} = \frac{1,9 \cdot 10^{-3}}{610} = \underline{3,11\mu A}. \quad (5.24)$$

5.4 Kompletní blok usměrňovačů a stabilizátorů

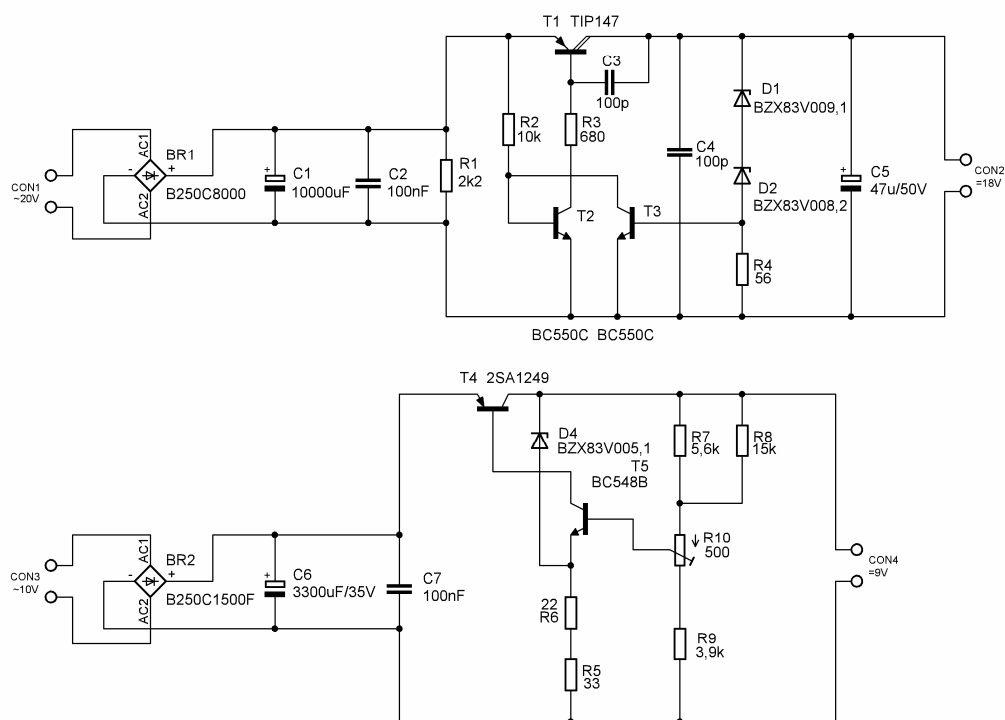
Oba usměrňovače a stabilizátory jsou umístěny na jedné jednostranné desce plošných spojů. Na tuto desku jsou pomocí vstupních svorek přivedeny obě sekundární napětí (CON_1 a CON_3). Na dvou výstupních svorkách (CON_2 a CON_4) se následně odebírají obě usměrněné a stabilizované výstupní napětí.

Na následujících obrázcích jsou znázorněny schéma (viz obr. 5.5), deska plošných spojů z pohledu ze strany součástek (viz obr. 5.6), a návrh rozložení součástek kompletního bloku (viz obr. 5.7).

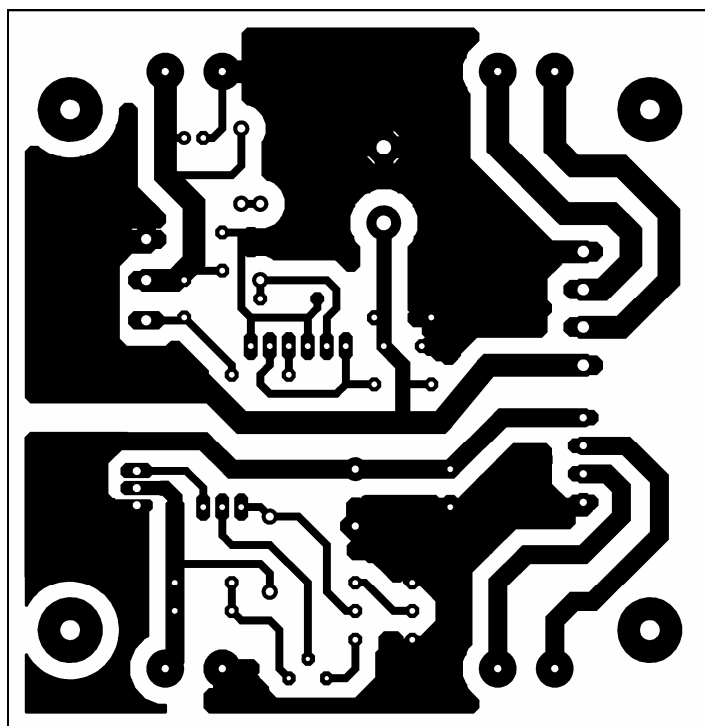
Na DPS jsou umístěny dva chladiče. Na prvním jsou umístěny usměrňovací můstky zmíněné výše v textu a na druhém jsou umístěny dva výkonové tranzistory stabilizátorů regulující napětí. Umístění vrtacích otvorů pro připevnění chladičů na DPS je zobrazeno na obr.3.5. Všechny součástky jsou k chladiči přichyceny pomocí šroubků M3. Usměrňovač BR_2 nemá ve svém pouzdře otvor pro šroubek, proto je třeba ohýbáním plíšku vyrobit přítlačný prvek, který se opět pomocí šroubku přitáhne spolu s usměrňovačem k chladiči.

Chladiče jsou umístěny co nejdál od sebe z důvodu lepšího odvodu tepla z nich. Chladiče jsou umístěny naležato (viz. obr.5.7).

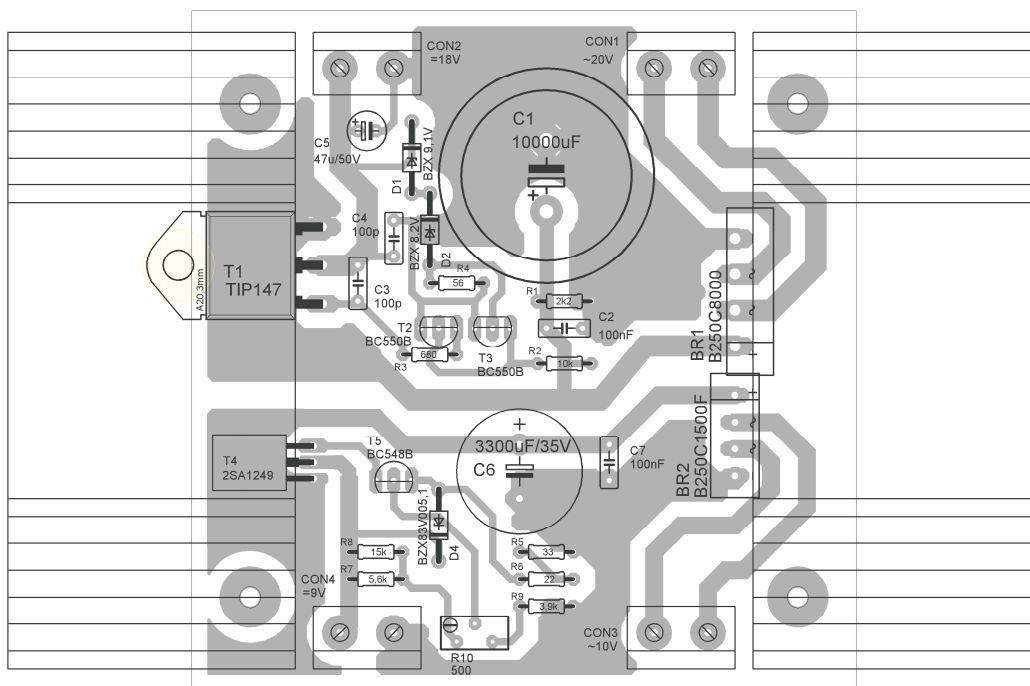
Popis jednotlivých částí obvodu je proveden v předchozím textu.



Obr. 5.5 Schéma kompletního bloku usměrňovačů a stabilizátorů



Obr. 5.6 Deska plošného spoje kompletního bloku usměrňovačů a stabilizátorů ze strany součástek (měřítko 1:1, rozměr 93 x 95 mm)



Obr. 5.7 Rozložení součástek na DPS kompletního bloku usměrňovačů a stabilizátorů

Soupis součástek:

R1	2,2kΩ
R2	10kΩ
R3	680Ω
R4	56Ω
R5	33Ω
R6	22Ω
R7	5,6kΩ
R8	15kΩ
R9	3,9kΩ
R10	500Ω trimr stojatý
C1	10000µF/50V (elektrolytický)
C2, C7	100nF
C3, C4	100pF
C5	47µF/50V (elektrolytický)
C6	3300µF/50V (elektrolytický)
T1	TIP147
T2, T3	BC550B
T4	2SA1249
T5	BC548B
D1	BZX83V009,1 (zenerova dioda)
D2	BZX83V008,2 (zenerova dioda)
D3	BZX83V005,1 (zenerova dioda)
BR1	B250C8000 (můstkový usměrňovač)

BR2..... B250C1500F (místkový usměrňovač)

CON1, CON2, CON3, NOC4 ARK11/2

chladič CHL255Y 2x

slídové podložky pouzdra SOT93 a TO126

6 Řízení funkcí nabíječky

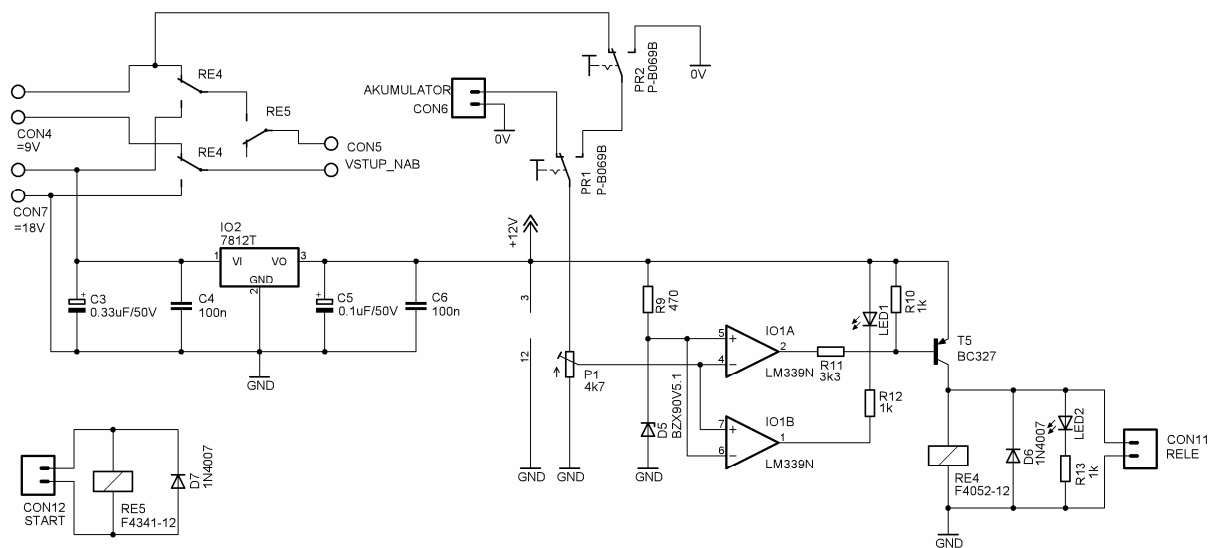
Na plošném spoji zajišťujícím řízení nabíječky se nacházejí dva základní bloky, které jsou vzájemně propojeny. Hlavní částí je rozpoznávání který typ akumulátoru je na nabíječku připojen (jestli 6V, nebo 12V) a následné přepnutí některých parametrů nabíjení. Další částí je realizace ochrany proti přepólování akumulátoru, při jeho obráceném připojení na nabíječku. Tyto bloky jsou popsány v následujících podkapitolách.

6.1 Rozpoznání a zvolení nastavení pro nabíjení dvanácti voltových nebo šesti voltových akumulátorů

Nabíječka dokáže nabíjet dvanácti voltové i šesti voltové olověné akumulátory. Aby se předešlo nadměrnému namáhání tranzistoru T_1 (nachází se na DPS vlastní nabíječky), pomocí jehož je regulováno nabíjení, je mimo jiné třeba změnit napájecí napětí na vlastní nabíječce. Na plošný spoj řízení nabíječky jsou přivedena napětí 9V (CON_4) a 18V (CON_7) z bloku usměrňovačů a stabilizátorů, po zjištění jakého napětí je nabíjený akumulátor se pomocí relé RE_4 přepne jedno z těchto napětí na výstupní konektor CON_5 a následně je vedeno dále do vlastní nabíječky. Dalším propojením s vlastní nabíječkou je řízení na ni umístěného relé, jež přepíná jednu sadu rezistorů řídících nabíjecí obvod IO_1 , toto je připojeno pomocí konektoru CON_{11} (viz. obr. 6.1)

Dále jsou na tuto desku připojeny dva přepínače (PR_1 a PR_2) umístěné na předním panelu zařízení, jejichž funkce je popsána níže. Na schématu (obr. 6.1) jsou tyto přepínače nakresleny pro větší názornost společně s ostatními součástkami na jedné desce, ale ve skutečnosti se nacházejí na DPS předního panelu a jsou připojeny na konektor CON_6 , jak je vidět na obr.6.3 reprezentujícím schéma kompletního bloku řízení.

Z DPS řízení jsou na přední panel zařízení vyvedeny dvě signalizační diody (LED_1 a LED_2), jež indikují jaké je napětí olověného akumulátoru, který je připojen na nabíječku (jedna svítí při napětí 6V a druhá při připojení 12V akumulátoru). Tyto slouží k možnosti kontroly zda byl akumulátor správně rozpoznán. Pokud automatické rozpoznávání selhalo (to může nastat při značně vybitém 12V akumulátoru, na němž by jsme naměřili nižší napětí, než je rozhodovací úroveň komparátoru).



Obr. 6.1 Schéma rozpoznávání akumulátorů

Zvolil jsem dvě možnosti rozhodování jaké napětí na vlastní nabíječku připojit, první je automatické zjištění napětí akumulátoru a druhá je manuální nastavení. Mezi těmito režimy se přepíná pomocí přepínače PR₁. Pokud zvolíme automatický režim, připojíme k dalšímu obvodu přímo akumulátor, když se jedná o manuální režim připojíme v případě 12V akumulátoru přímo k dalšímu obvodu 9V a pro 6V akumulátory zem. Tato napětí jsou přivedena na odporový trimr P₁, jež zde plní funkci odporového děliče. Z něj se přivádí napětí přímo na invertovaný vstup komparátoru IO₁. Jeho referenční napětí je snímáno na zenerově diodě D₁ s napětím 5,1V. Z důvodu její určité výrobní tolerance však není toto napětí přesné. Jako rozhodovací úroveň jsem zvolil napětí 8V. Toto napětí musí být větší jak maximální napětí při nabíjení 6V akumulátoru a menší než 12V, poněvadž při velkém vybití dvanácti voltového akumulátoru, by se tento mohl vyhodnotit jako šesti voltový.

Po sestavení obvodu je tedy nutno trimr P₁ nastavit. Jako první potočíme jezdcem trimru až na doraz k GND, tak aby na komparátoru bylo nulové napětí, dále přiložíme namísto akumulátoru napětí 8V např. z laboratorního zdroje. Po přiložení napětí otáčíme trimrem dokud komparátor nesepe, toto je signalizováno diodou LED₁ (indikuje 12V akumulátory) a zhasnutím diody LED₂ (indikuje 6V akumulátory), která doposud svítila. Tyto diody jsou umístěny na předním panelu a s DPS řízení jsou propojeny pomocí kabelu přes CON₈.

Komparátor spíná při připojení dvanácti voltového akumulátoru relé RE₄ a dalšího relé na DPS vlastní nabíječky. Cívky dvou relé a dioda by zatěžovaly jeho výstup, z toho důvodu komparátor připojí na GND jen bázi PNP tranzistoru T₅, který následně sepe obě relé a signalizační diodu LED₁. Rezistor R₁₁ slouží k stanovení proudu do báze tranzistoru a rezistor R₁₀ k odsání nosičů z báze tranzistoru v jeho vypnutém stavu [7].

Výpočet těchto rezistorů [7]:

Proud cívkami obou relé a diodou I_C je 90mA.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}} = \frac{90 \cdot 10^{-3}}{30} = \underline{3mA}, \quad (6.1)$$

kde I_B je proud bázi tranzistoru a I_C je proud jeho kolektorem. h_{21E} je proudový zesilovací činitel daného tranzistoru, zde byla z důvodu zaručené saturace tranzistoru a jeho spolehlivému sepnutí jeho velikost volena na 30.

Zvolíme R_{BE} tak, aby došlo k odsátí nosičů z báze.

$$I_{RBE} = \frac{U_{BE}}{R_{BE}} = \frac{0,6}{1 \cdot 10^3} = \underline{0,6mA}, \quad (6.2)$$

kde I_{RBE} je proud tekoucí rezistorem umístěným mezi bázi a emitorem daného tranzistoru.

Budící proud tekoucí odporem v bázi tranzistoru:

$$I_1 = I_B + I_{RBE} = 3 \cdot 10^{-3} + 0,6 \cdot 10^{-3} = \underline{3,6mA}. \quad (6.3)$$

Výpočet velikosti odporu v bázi tranzistoru:

$$R_B = \frac{U_{NAP} - U_{BE}}{I_1} = \frac{12 - 0,6}{3,6 \cdot 10^{-3}} = \underline{3166\Omega}, \quad (6.4)$$

kde U_{NAP} je napájecí napětí a U_{BE} je napětí mezi bázi a editorem.

Z řady E12 byla zvolena hodnota 3,3kΩ.

Hodnoty rezistorů:

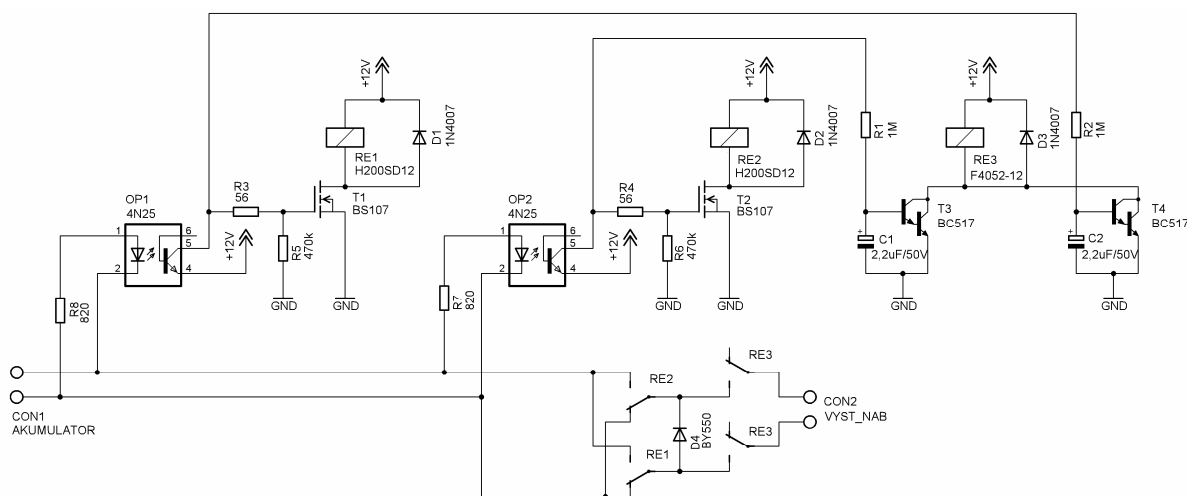
$$R_{11} = 3,3\text{k}\Omega,$$

$$R_{12} = 1\text{k}\Omega.$$

Napětí, které komparátor zvolil se připojí k vlastní nabíječce až po stisknutí tlačítka START na předním panelu pomocí relé RE_5 , toto je k přednímu panelu připojeno přes konektor CON_{12} .

Paralelně ke všem cívkám relé jsou připojeny diody v závěrném směru, tyto omezí proudové impulzy při vypínání relé, proudy se přes ně zkratují a nezničí tranzistory.

6.2 Reverzace polarity připojeného akumulátoru



Obr. 6.2 Schéma reverzace polarity připojeného akumulátoru

Při připojování akumulátoru k nabíječce může dojít, například vlivem nepozornosti obsluhy, k záměně pólů akumulátoru. Z tohoto důvodu jsem navrhl ochranu proti této chybě. Při návrhu jsem vycházel ze schématu automatického obrácení polarity uveřejněném v časopisu Elektor [9]. Zapojení bylo navrženo jen pro reverzaci pomocí 12V zdrojů tak, aby bylo možno jen pomocí usměrňovacích diod sepnout jednou ze dvou relé, u kterého byla v danou chvíli dioda polarizována v propustném směru. Nabíječka pracuje ale i s 6V akumulátory, proto jsem musel toto původně jednoduché zapojení přepracovat. Schéma je zobrazeno na obr. 6.2.

Po připojení akumulátoru dojde vždy k sepnutí jednoho z relé. RE_2 sepne, pokud je na horní svorce CON_1 připojen kladný pól a RE_1 sepne, pokud je na této svorce záporný pól akumulátoru. Tak je zaručeno, že na horní svorce konektoru CON_2 , na který je připojen výstup vlastní nabíječky je vždy kladný pól a na dolní vždy záporný pól akumulátoru.

Relé RE_1 a RE_2 jsou ovládány MOS-FET tranzistory T_1 a T_2 . Source těchto tranzistorů není možno připojit přímo na záporný pól akumulátoru, poněvadž nevíme, na které svorce konektoru CON_1 se nachází. Z tohoto důvodu není tedy možno jej přímo připojit na GND nabíječky, bez tohoto propojení obou zdrojů ale nejde tranzistory sepnout. Pokud připojíme jen gate na akumulátor, nedokáže tranzistor reagovat na kladný potenciál, poněvadž akumulátor je „plovoucím“ zdrojem. Z tohoto důvodu jsem byl nucen do zapojení implementovat optočleny.

Optočleny jsou k akumulátoru vůči sobě připojeny opačně (antiparalelně), takže pokud je vstupní dioda jednoho připojena v propustném směru, je druhý optočlen v závěrném, takže se sepne vždy jen jeden z optočlenů, tudíž i tranzistorů T_1 či T_2 . Rezistory R_7 a R_8 slouží k nastavení proudu diodou optočlenu, jeho optimální hodnotu uvádí výrobce jako 10mA. Maximální proud je 20mA. Při nabíjení se napětí akumulátoru může zvýšit na necelých 15V, proto se tedy hodnota R_7 a R_8 určí jako:

$$R_{7,8} = \frac{U_{AKUM}}{I_{optočtoč}} = \frac{15}{20 \cdot 10^{-3}} = \underline{750\Omega} . \quad (6.5)$$

Zvolil jsem raději větší rezistory a to 820 Ω .

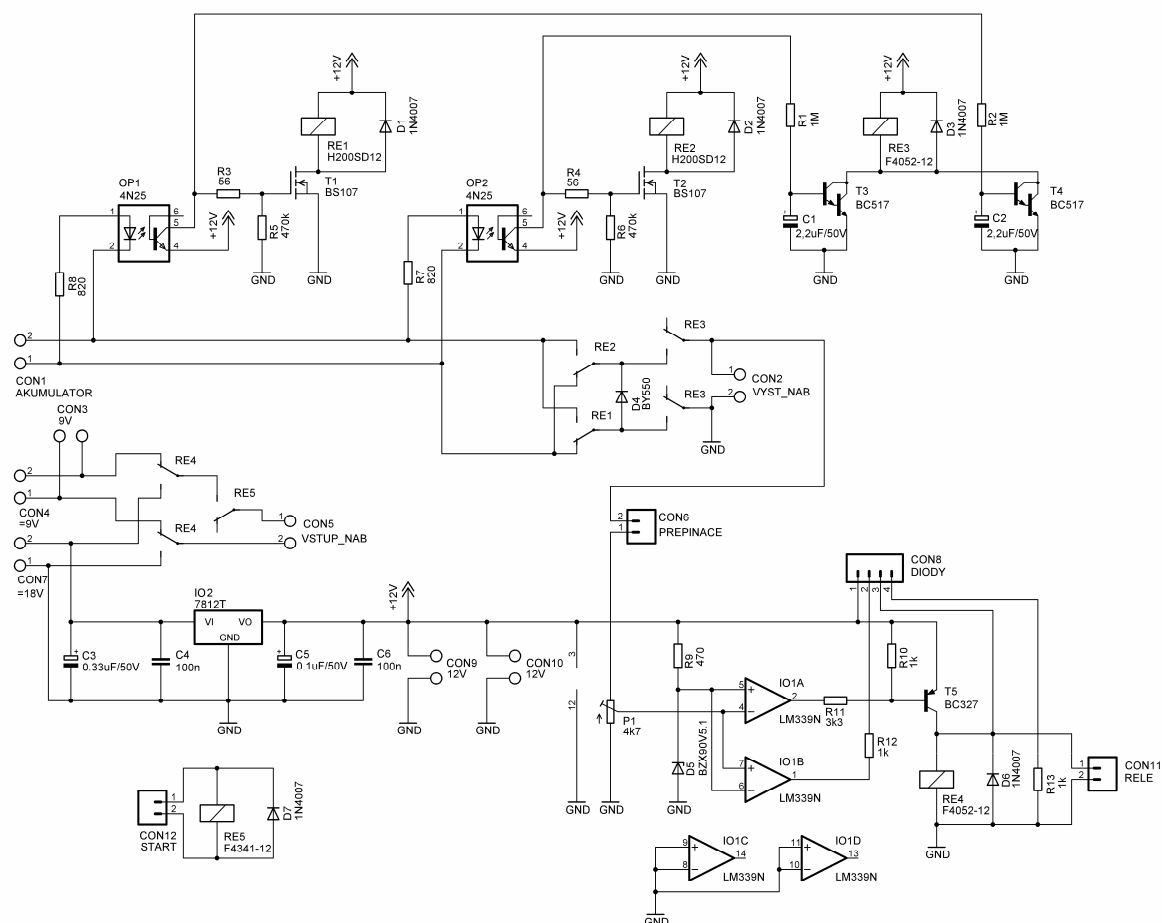
Velikost rezistorů R_3 a R_4 je dána výrobcem a omezují proud do gate. Rezistory R_5 a R_6 přivádějí, pokud není optočlen sepnut, na gate tranzistorů T_1 a T_2 GND a odvádějí tak zbylé nosiče náboje, aby nedošlo k lavinovému průrazu tranzistorů. U mosfet tranzistorů je jejich odpor volen velký a to 470k Ω .

Po připojení akumulátoru se na chvíli na diodě D_4 objeví na obou pólech stejný potenciál, proto je třeba připojit výstup vlastní nabíječky (CON₂) s určitým malým zpožděním, aby nebyl v případě stisknutí tlačítka START před připojením akumulátoru zkratován výstup nabíječky. Toto je realizováno pomocí relé RE₃. Relé je ovládáno transistory T_3 a T_4 . Sepnut je vždy jen jeden, dle toho který z optočlenů OP₁ či OP₂ je aktivní. Po sepnutí optočlenu se na RC článek v bázi tranzistoru T_3 , či T_4 připojí napětí, následně se nabíjí malým proudem jež je dán velkým odporem rezistoru R_1 (R_2) o hodnotě 1M Ω , tímto proudem se nabíjí kondenzátor C_1 (C_2) o kapacitě 2,2 μ F a při jeho nabití na požadované napětí se sepne tranzistor T_3 (T_4). Jedná se o tranzistory v darlingtonově zapojení s velkým zesílením. Jeden z těchto tranzistorů následně sepne relé RE₃. Časová konstanta RC článu je:

$$\tau = R \cdot C = 1 \cdot 10^6 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} = \underline{2,2s} . \quad (6.6)$$

Další přídatnou ochranou je v případě poruchy reverzace dioda D_4 , tato je k akumulátoru připojena antiparalelně, přes ni by se při opačné polarizaci uzavřel obvod a velký zkratový proud by přetavil pojistku na výstupu nabíječky.

6.3 Kompletní zapojení řízení

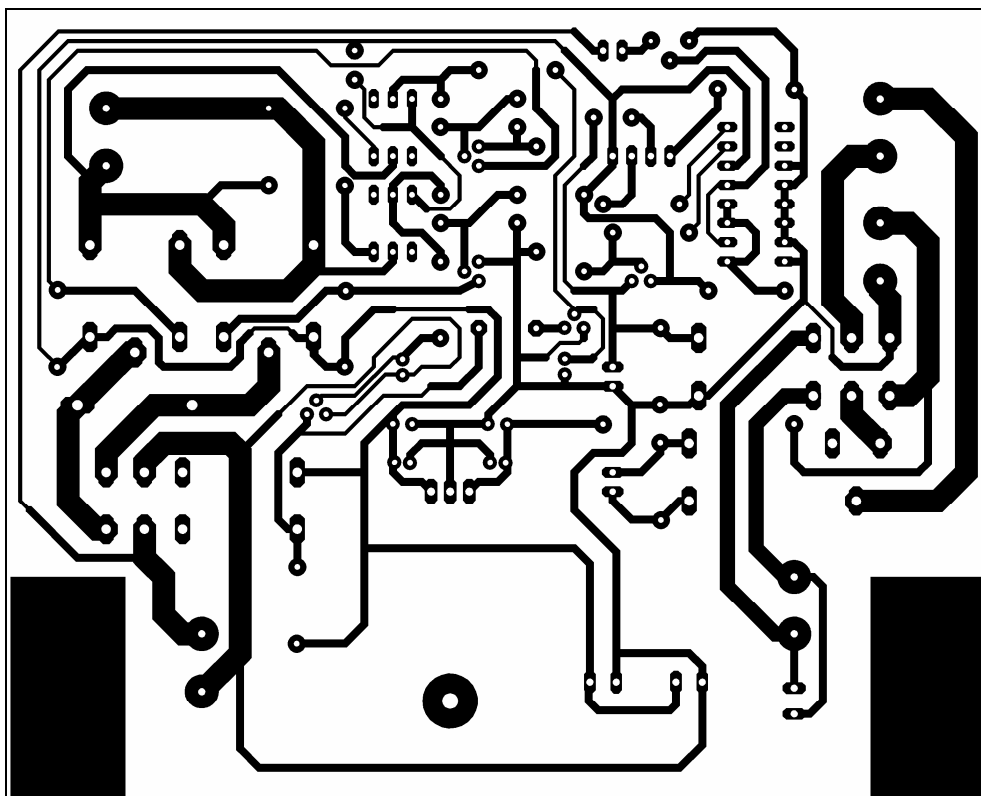


Obr. 6.3 Kompletní schéma řízení funkcí nabíječky

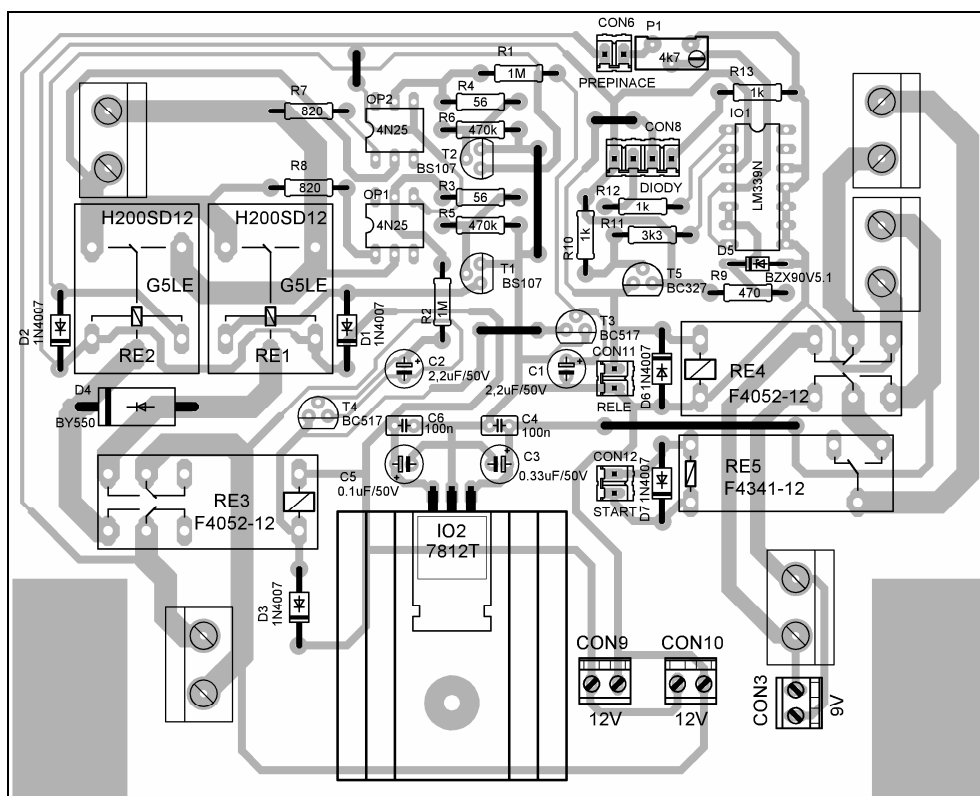
Tyto dva popsané bloky jsou na jedné DPS. Kompletní schéma je zobrazeno na obr. 6.3. Návrh desky plošného spoje se nachází na obr. 6.4 a rozložení součástek na této DPS je zobrazeno na obr. 6.5. Vodiče ke konektoru CON₆ na obr. 6.1 jsou na výsledné desce připojeny přímo před CON₂ na obr. 6.2. To znamená, že se ke komparátoru vždy připojí napětí o správné polaritě.

Všechny části jsou napájeny napětím 12V z důvodu použití relé spínaných tímto napětím. Toto napětí je získáno z napětí 18V pomocí integrovaného stabilizátoru IO₂. Na jeho vstup i výstup jsou připojeny kondenzátory C₃ až C₆ zabráňující jeho rozkmitání. Jejich kapacita je odvozena z doporučení výrobce v technické dokumentaci k obvodu.

Jsou zde navíc umístěny i dva konektory s napětím 12V a jeden s 9V, z kterých se odebírají napětí potřebné pro další části nabíječky, jako je například přední panel, popsaný v kapitole 7.



Obr. 6.4 Deska plošného spoje řízení funkcí nabíječky ze strany součástek
(měřítko 1:1, rozměr 130 x 104 mm)

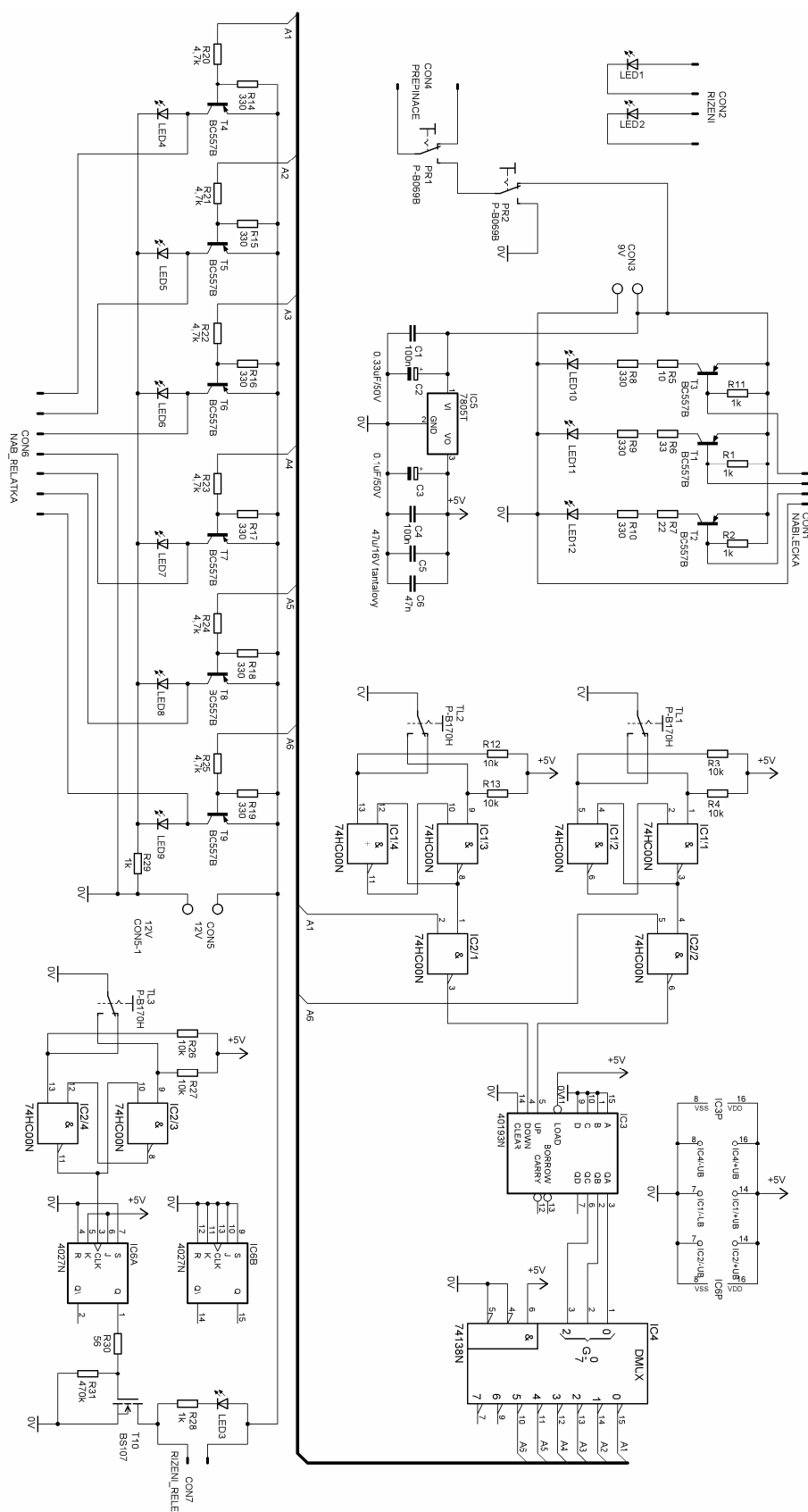


Obr. 6.5 Rozložení součástek na DPS řízení funkcí nabíječky

Soupis součástek:

R1, R2.....	1M Ω
R3, R4.....	56 Ω
R5, R6.....	470k Ω
R7, R8.....	820 Ω
R9	470 Ω
R10, R12, R13	1k Ω
R11	3K3 Ω
P1.....	4k7 Ω trimr
C1, C2.....	2,2 μ F/50V
C3	0.33 μ F/50V
C4, C6.....	100nF
C5	0.1 μ F/50V
D1, D2, D3, D6, D7	1N4007
D4.....	BY550
D5.....	BZX90V5.1
T1, T2	BS107
T3, T4.....	BC517
T5	BC327
IO1.....	LM339N
IO2.....	7812T
Patice	DIL 14
OP1, OP2.....	4N25
RE1, RE2.....	H200SD12
RE3, RE4.....	F4052-12
RE5.....	F4341-12
CON1, CON2, CON4, CON5, CON7	ARK110/2
CON3, CON9, CON10.....	AK550/2
CON6, CON11, CON12.....	PFH02-02P
CON8	PFH02-04P

7 Přední panel

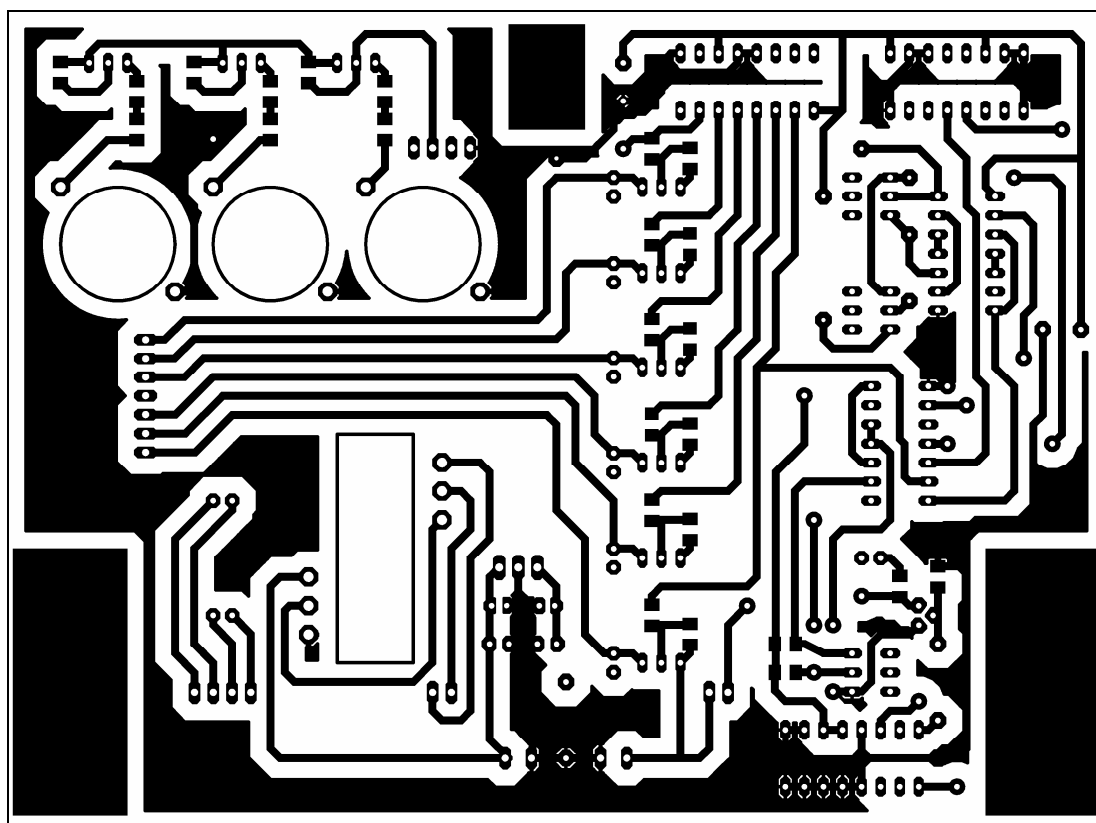


Obr. 7.1 Schéma kompletního předního panelu

Na předním panelu budou rozmístěny signalizační a informační LED diody, ovládací přepínače a tlačítka. Přímou za stěnou předního panelu bude kolmo umístěna deska plošných spojů, na kterou budou tyto LED diody, přepínače a tlačítka připájeny. Zajišťuje se tak jejich snadší propojení s ostatními DPS, které bude řešeno pomocí několika konektorů PFH02-xxP (na místo xx se uvádí počet pinů).

Na této desce jsou LED diody informující o aktuální fázi nabíjení a jejich spínací tranzistory. Je zde umístěno i kompletní ovládání přepínání nabíjecích proudů a START tlačítko.

Na desku jsou přivedena napájecí napětí 9V a 12V. Z devíti voltů se ještě získá pomocí integrovaného stabilizátoru 5V pro napájení integrovaných obvodů.



Obr. 7.2 Deska plošného spoje přední panelu ze strany spojů
(měřítko 1:1, rozměr 145 x 108 mm)

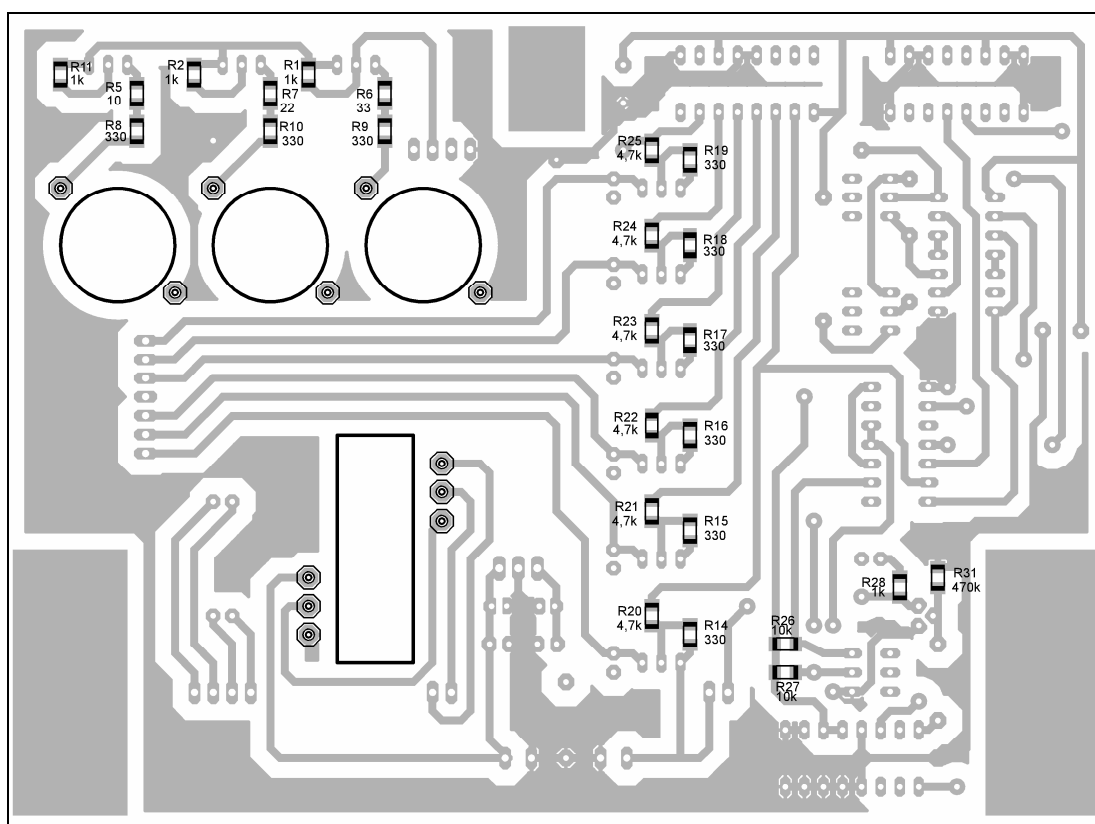
Na obr. 7.1 je vidět kompletní propojení těchto jednotlivých částí. Je zde umístěn integrovaný stabilizátor napětí IC₅, který slouží jako napájecí zdroj 5V pro integrované obvody na této DPS. Kondenzátory C₁ až C₄ jsou připojeny na desce hned vedle jeho vývodů a slouží k zamezení jeho rozkmitání. Jejich velikosti kapacit vycházejí z doporučení výrobce v katalogu. Kondenzátory C₅ a C₆ slouží k zablokování napájení u integrovaných obvodů C₅ je tantalový kondenzátor s malou indukčností a je umístěn před napájecími vstupy všech IO, kondenzátor C₆ je klasický keramický a je umístěn až za prvními třemi integrovanými obvody. Vše je zobrazeno na osazovacím plánu (obr. 7.4). Podrobnější informace k blokování napájecí vstupů jsou uvedeny ve skriptu konstrukce elektronických zařízení [11].

Přepínače PR_1 a PR_2 slouží k určení druhu akumulátoru a jejich funkce je popsána v kapitole 6.1.

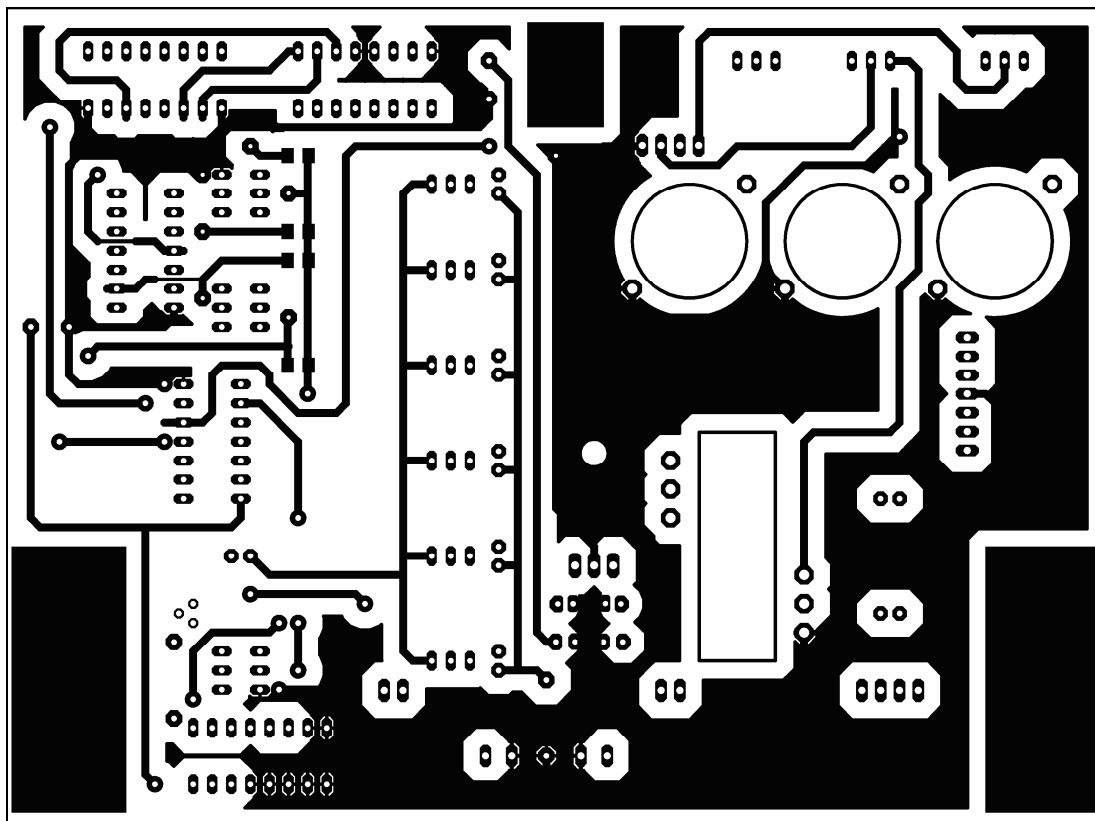
Podrobnější popis jednotlivých částí je uveden v následujících podkapitolách. Při realizaci funkcí pomocí hradel, klopných obvodů, čítače a demultiplexeru jsem vycházel z poznatků v [10].

V zapojení předního panelu se nenacházejí žádné výkonové prvky, z toho důvodu a i z hlediska úspory místa (rozměry desky a umístění některých součástek je zde pevně dáno) jsem využil možnosti kombinované montáže a většinu rezistorů jsem volil v pouzdře SMD provedení.

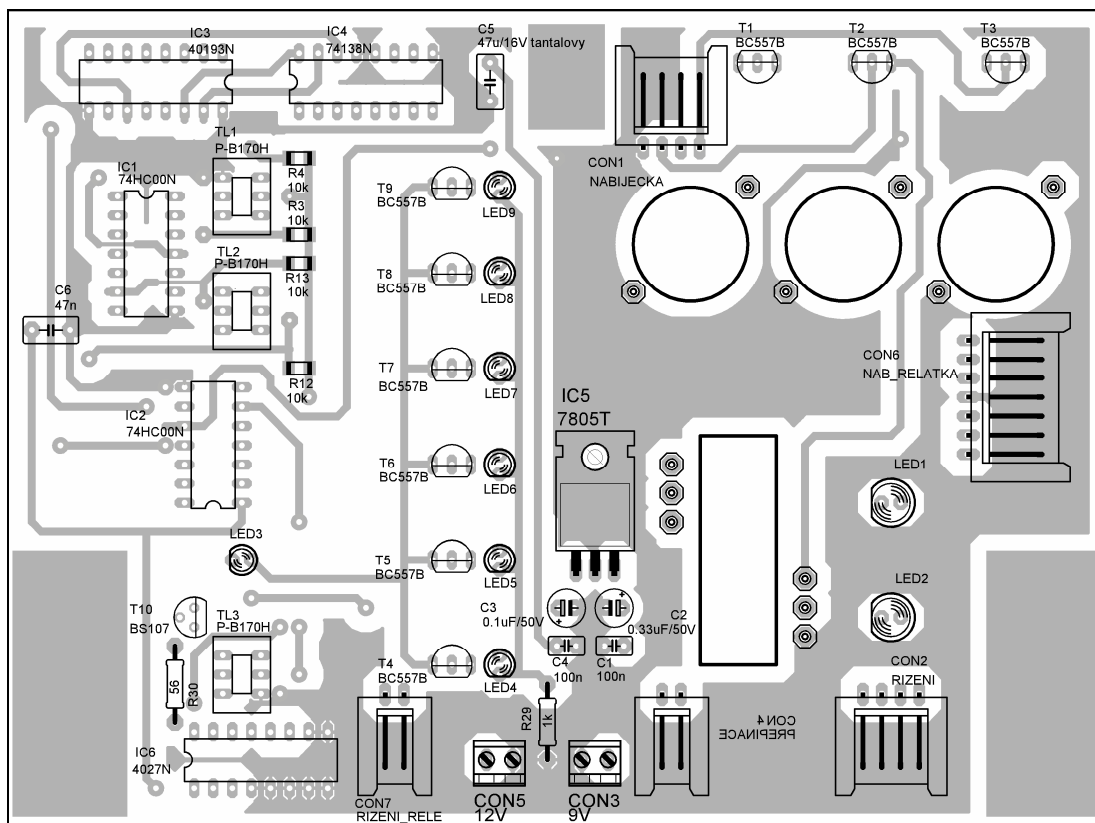
Deska plošného spoje tohoto bloku je z důvodu značného počtu cest mezi jednotlivými integrovanými obvody a dalšími prvky, které ovládají, vyrobena jako oboustranná. Na obr. 7.3 a obr. 7.5 jsou zobrazena rozložení součástek na této DPS. Obr. 7.2 a obr. 7.4 obsahují návrhy desky plošného spoje. Předlohy jsou navrženy pro způsob výroby DPS, při kterém se strana papíru, na které je předloha vytištěna, přikládá na stranu DPS s mědí.



Obr. 7.3 Rozložení součástek na DPS předního panelu ze strany spojů



Obr. 7.4 Deska plošného spoje přední panelu ze strany součástek (měřítko 1:1, rozměr 145 x 108 mm)

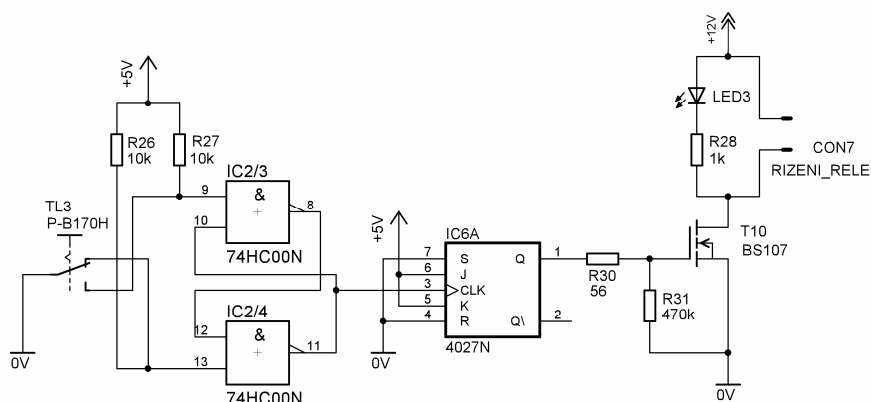


Obr. 7.5 Rozložení součástek na DPS předního panelu ze strany součástek

Soupis součástek:

R1, R2, R11, R28	1k Ω	SMD pouzdro 1206
R3, R4, R12, R13, R26, R27	10k Ω	SMD pouzdro 1206
R5	10 Ω	SMD pouzdro 1206
R6	33 Ω	SMD pouzdro 1206
R7	22 Ω	SMD pouzdro 1206
R8 - R10, R14 - R19	330 Ω	SMD pouzdro 1206
R20 - R25	4,7k Ω	SMD pouzdro 1206
R29	1k Ω	
R30	56 Ω	
R31	470k Ω	SMD pouzdro 1206
C1, C4	100nF	
C2	0,33 μ F/50V	
C3	0,1 μ F/50V	
C5	47 μ F/16V	tantalový
C6	47nF	
IC1, IC2	74HC00N	
IC3	40193N	
IC4	74138N	
IC5	7805T	
IC6	4027N	
Patice	DIL 14 precizní 2x	
Patice	DIL 16 precizní 3x	
T1 - T9	BC557B	
T10	BS107	
LED1, LED2	žlutá 5mm	
LED3	zelená 5mm	
LED4 - LED9	žlutá 3mm	
LED10	žlutá 8mm	
LED11	rudá 8mm	
LED12	zelená 8mm	
TL1 – TL3	P-B170H	
PR1, PR2	P-B069B	
CON1, CON2	PSH02-04WG	
CON3, CON5	AK550/2	
CON4, CON7	PSH02-02WG	
CON6	PSH02-07WG	

7.1 START tlačítko



Obr. 7.6 Schéma START tlačítko

Po nastavení všech potřebných náležitostí před nabíjením, jako je typ akumulátoru (12V nebo 6V) a nabíjecího proudu se pomocí tlačítka START spustí nabíjení.

Po stisku a uvolnění tlačítka TL₃, se na výstupu RS klopného obvodu (složeného ze dvou obvodů NAND 74HC00N) vytvoří impuls, který je přiveden jako hodinový signál na JK klopný obvod IC₆ (4027N). Tento pak na výstupu změní svou logickou úroveň na nulu, což sepne tranzistor T₁₀ a tento tranzistor sepne následně relé na DPS řízení přes konektor CON₇ a signalizační diodu LED₃, která bude svítit po celou dobu nabíjení.

RS klopný obvod slouží k odstranění zákmitů tlačítka. Je třeba použít tlačítko bez aretace, jak je vidět na obr. 7.6 je v klidové poloze tlačítka připojeno na resetovací vstup RS klopného obvodu logická nula. A na nastavovacím vstupu je přes rezistor R₂₇ přivedena logická jednička. Po stisku tlačítka se logická nula objeví na nastavovacím vstupu a na resetovacím vstupu je přes rezistor R₂₆ přivedena logická jednička. Toto způsobí na výstupu změnu úrovně na logickou nulu, která pak sepne tranzistor T₁₀.

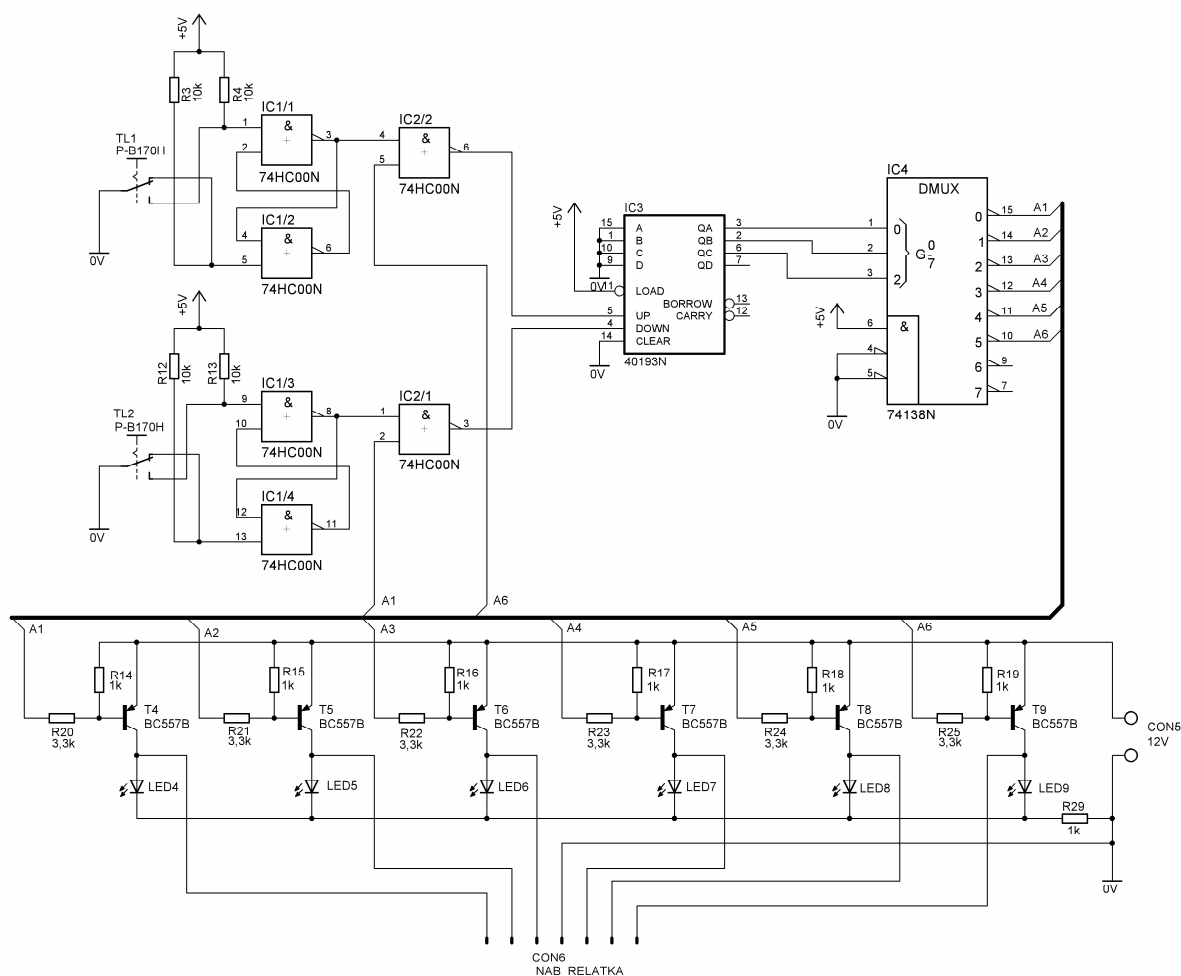
7.2 Výběr nabíjecího proudu

Různé ampér-hodinové kapacity akumulátorů je nutno nabíjet odlišnými proudy, nejvhodnější proud je jedna desetina hodnoty této kapacity. Tyto proudy se měří na výkonovém rezistoru, který je potřeba pro jednotlivé hodnoty proudů měnit. Toto je realizováno sadou 6 různých rezistorů na DPS vlastní nabíječky, které jsou postupně spínány pomocí šesti relé. V kapitole 3 je toto rozepsáno podrobněji i se schématem. Výběr těchto relé je uskutečněn pomocí dvou tlačítek na předním panelu.

Na obr. 7.7 vidíme tlačítka TL₁ a TL₂. Přičemž TL₁ slouží pro „listování“ v seznamu proudů nahoru a tlačítko TL₂ dolů. Zákmit těchto tlačítek je opět ošetřen pomocí RS klopného obvodu (popsáno podkapitole 7.1). Přídavný obvod NAND za každým z obou tlačítek slouží k jeho zablokování, pokud dojdeme při „listování“ na konec či začátek seznamu. Při logické nule na výstupu 0 či 5 demultiplexeru (IC₄) dojde k uzavření tohoto hradla NAND a následné opětovné stisknutí tlačítka již neprojde do čítače a nezmění jeho hodnotu.

Pokud listujeme seznamem dojde po stisku a uvolnění tlačítka k vytvoření impulsu, který je přiveden na vstup čítače IC₃. Horní tlačítko je přivedeno na vstup pro čítání nahoru a dolní tlačítko na vstup pro čítání dolů. Z čítače je následně aktuální hodnota v binární podobě přivedena na demultiplexer, kde dojde k jeho vyhodnocení a příslušný zvolený vstup se přepne na nulovou úroveň.

Výstupy demultiplexeru jsou na schématu svedeny do sběrnice a na ni je připojeno šest tranzistorů PNP, které spínají relátka a tím připojují do obvodu požadovaný výkonový rezistor určující nabíjecí proud. Tato relátka a rezistory jsou umístěny na DPS vlastní nabíječky a s DPS předního panelu jsou propojeny pomocí CON₆. Tranzistory zároveň s relátkami spínají i malé 3mm diody, které obsluhu informují o tom, jaký nabíjecí proud právě zvolila. Rezistory do báze tranzistorů, jež určují pracovní bod tranzistoru a odsávají přebytečné nosiče z gate kvůli zamezení průrazu, jsou napočítány stejným způsobem, jako ostatní spínací rezistory popsané v předchozích kapitolách této práce.



Obr. 7.7 Schéma výběr nabíjecího proudu

Z LED diod svítí vždy jen jedna, proto jsou všechny připojeny na GND přes jeden rezistor (R₂₉). Jeho hodnota je:

$$R_{29} = \frac{U_{nap}}{I_{LED}} = \frac{12}{10 \cdot 10^{-3}} = \underline{1200\Omega}, \quad (6.6)$$

Kde U_{nap} je napájecí napětí které je tranzistorem spínáno. Jeho velikost je 12V, spínají se totiž relátka s 12V ovládacími cívkami. Proud malou LED je dle katalogu 10mA

Do zapojení jsem zvolil z výrobní řady E12 rezistor 1kΩ.

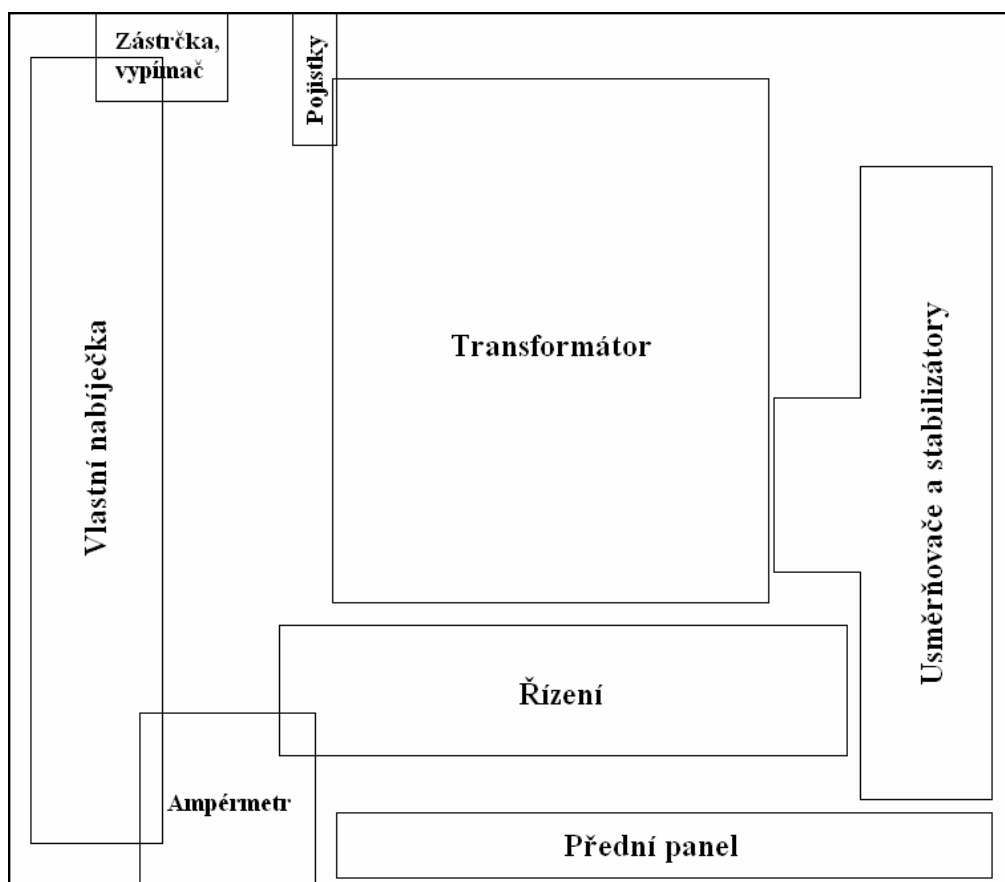
8 Krabíčka zařízení

8.1 Návrh mechanického uspořádání

Z důvodu poměrně rozměrného transformátoru, který dodává nabíječe potřebný výkon a umístění čtyř DPS, jsem zvolil větší krabíčku. Její půdorys má velikost 200 x 230mm. Aby byla zajištěna mechanická pevnost krabíčky, ve které je umístěn tak těžký transformátor, použil jsem krabíčku kovovou.

Nabíječka je složena ze čtyř DPS, které jsou v krabíčce umístěny svisle a jsou přichyceny pomocí malých L profilů k podlaze krabíčky. Na okrajích spodní části každé DPS je umístěn vždy jeden svislý obdélník mědi, ke kterému se z druhé strany desky přiloží použitý L profil. Tyto profily jsou k desce a podlaze přišroubovány pomocí dvou šroubků M3. DPS usměrňovačů a stabilizátorů mají závity pro přichycení L profilu přímo v chladičích.

Zhruba uprostřed krabíčky se nachází transformátor, po stranách krabíčky jsou dvě desky, vlevo se nachází vlastní nabíječka a vpravo deska usměrňovačů a stabilizátorů. V přední části jsou hned za sebou umístěny dvě DPS, přímo za stěnu je deska předního panelu, jejíž diody, prepínače a tlačítka jsou umístěny do děr v této stěně. Za ní je deska řízení. V levé přední části se nachází ampérmetr a pod ním zdířky na připojení kabelu vedoucího od akumulátoru. Vlevo vzadu je zástrčka pro síťový kabel, hlavní vypínač a dvě diodová pouzdra nad sebou. Toto rozmístění je názorně zobrazeno na obr. 8.1.



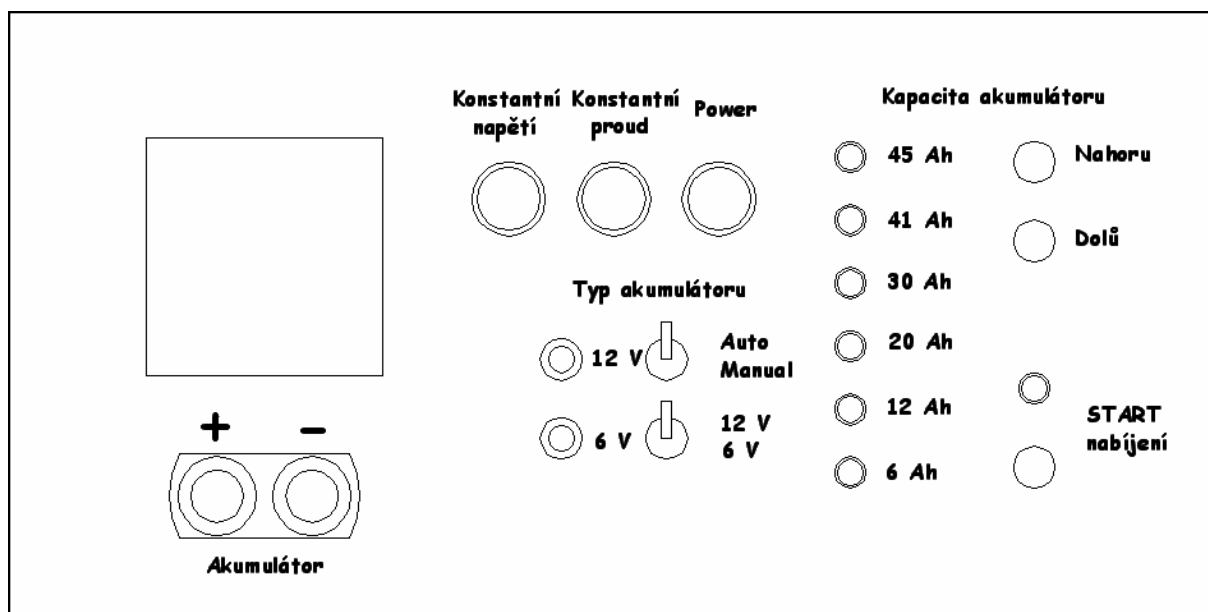
Obr. 8.1 Mechanické uspořádání

Některé části na tomto obrázku do sebe jakoby zasahují, při stanovení velikosti jednotlivých obdélníků znázorňujících desky jsem volil jejich šířku v závislosti na nejvyšší součástce, která je na nich umístěna. V místech překrývání se tyto součástky nenachází, z toho důvodu menší překrytí nevadí.

8.2 Přední a zadní panel

Rozmístění indikačních a ovládacích prvků předního panelu je zobrazeno na obr. 8.2. Dvojitě kružnice značí LED diody, tři jednoduché kruhy v levé části jsou tlačítka a uprostřed se nachází dva přepínače. Čtverec vlevo reprezentuje ampérmetr a pod ním se nachází konektor na připojení kabelu od akumulátoru. Při návrhu předního panelu a dalších záležitostí jsem vycházel z pravidel návrhů a předpisů uvedených v [11].

V pravé dolní části se nachází tlačítko START nabíjení a hned nad ním je zelená 5mm LED dioda, která po spuštění nabíjení svítí. Vpravo nahoře se nachází dvě tlačítka pro „listování“ v seznamu ampér-hodinových kapacit nabíjených akumulátorů, příslušné kapacity jsou uvedeny ve sloupci vlevo od tlačítek, při zvolení příslušné položky se rozsvítí daná žlutá 3mm LED dioda. Uprostřed nahoře jdou tři 8mm LED diody, které uživatele informují o aktuální fázi nabíjení. Pod nimi jsou dva přepínače pro volbu automatického, či manuálního rozpoznávání připojeného akumulátoru a v případě manuálního nastavení se pomocí spodního tlačítka zvolí požadované napětí. Zjištěné, či zvolené napětí je indikováno pomocí dvou žlutých 5mm LED diod vlevo vedle přepínačů.



Obr. 8.2 Prvky a jejich popisky na předním panelu

Obr. 8.3 ilustruje vzhled zadního panelu. Vpravo dole je umístěna zástrčka pro síťový kabel, je to stejný typ, jaký se používá v počítačových zdrojích. Nad ní je umístěn vypínač, který je schopen spínat dva vodiče, takže se zároveň vypne jak fáze, tak i pracovní vodič. Ochranný vodič prochází bez přerušení od zástrčky až po očko na jeho konci, které je přišroubováno zároveň s transformátorem k podlaze krabičky.

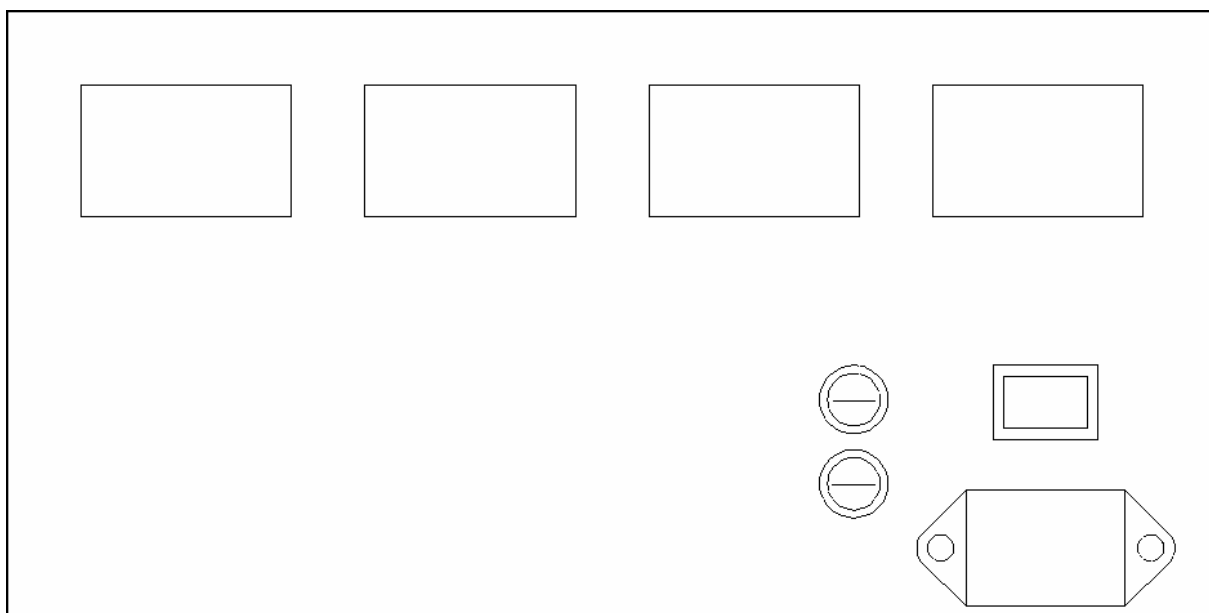
Ze zástrčky vede fázový vodič nejprve do držáku pojistek, ten je znázorněn větším kolečkem s čarou uprostřed vlevo od vypínače. Z něj je fáze vedena přes vypínač na primární vinutí transformátoru. Další pojistkové pouzdro je pro pojistku chránící akumulátor.

Zástrčka, vypínač a pojistková pouzdra mají konektory na 4,7 mm faston. Ty jsou připájeny na všechny konce silových vodičů, které jsou k těmto prvkům připojeny.

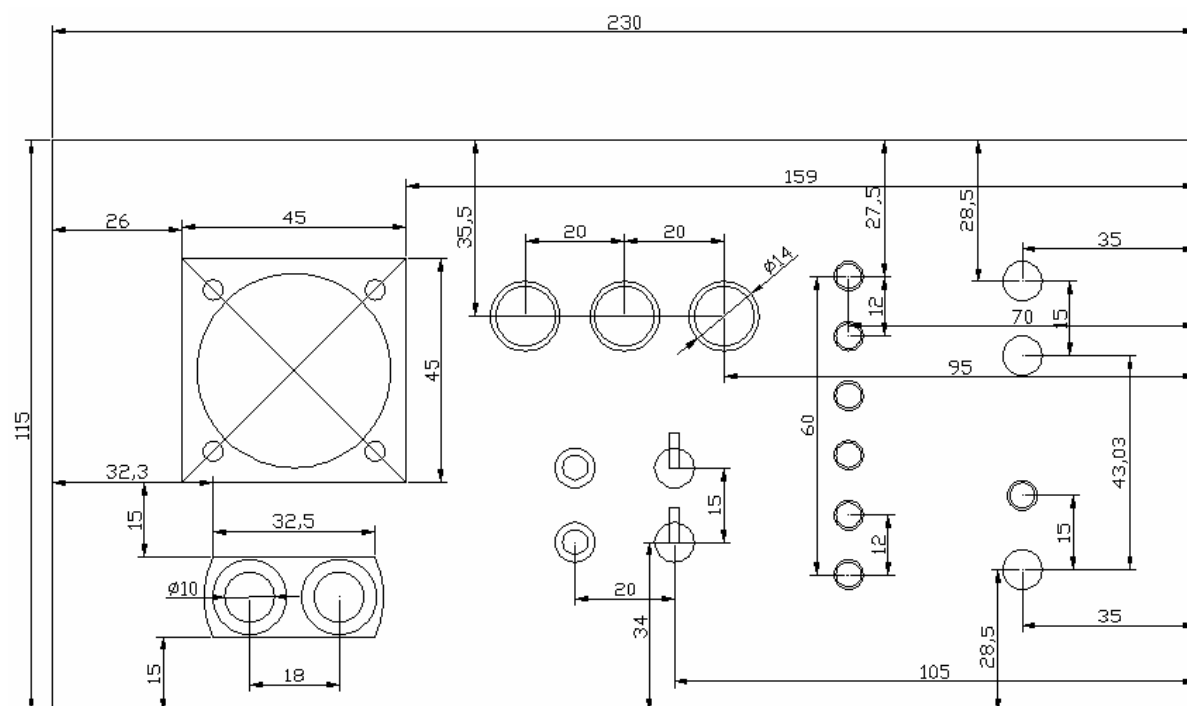
Obdélníčky v horní části obr. 8.3 znázorňují větrací mřížkované otvory v krabici, které jsou zde již od výroby.

Na obr. 8.4 je zobrazeno rozmístění a velikosti děr v předním panelu, rozměry u kót jsou uvedeny v milimetrech. Na obr. 8.5 jsou pak uvedeny rozměry pro zadní panel.

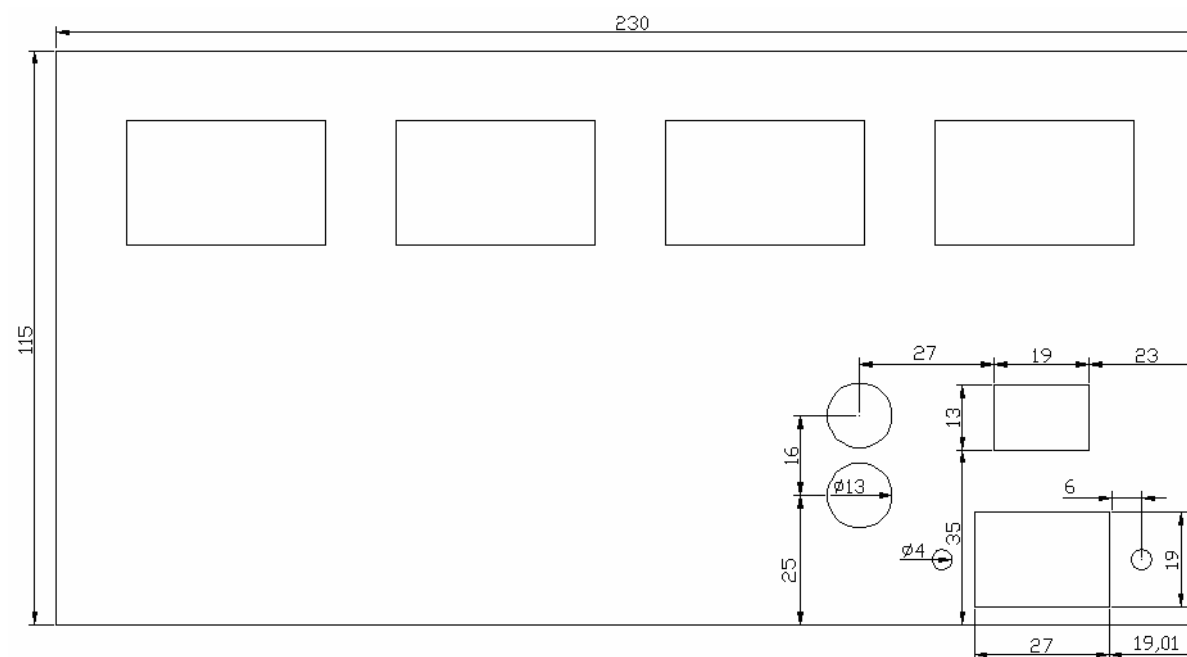
Železná přístrojová krabice se prodává pod označením KK12-230 (značení dle katalogu EZK) a její rozměry jsou 234 x 124 x 217 mm. Zástrčka se prodává pod označením GSD781, vypínač má označení P-C1350AB01T, jsou zde použity pojistková pouzdra FPG3-S1. Toto značení odpovídá katalogu GME.



Obr. 8.3 Prvky a jejich popisky na předním panelu



Obr. 8.4 Vrtací plán předního panelu (rozměry v mm)



Obr. 8.5 Vrtací plán zadního panelu (rozměry v mm)

9 Fotografie prototypu



Obr. 9.1 Fotografie - pohled z pravého boku



Obr. 9.2 Fotografie - pohled z levého boku



Obr. 9.3 Fotografie - pohled shora



Obr. 9.4 Fotografie – pohled zepředu



Obr. 9.5 Fotografie - pohled zezadu



Obr. 9.6 Fotografie - celkový pohled

10 Závěr

V teoretické části práce jsem vypracoval všechny body a požadavky zadání semestrálního projektu, jež je uvedeno na začátku této práce. Mým cílem bylo sestavit funkční prototyp, což se podařilo.

V průběhu návrhů a následné realizace některých částí nabíječky jsem se setkal s více možnostmi, jak danou problematiku řešit, úvahou a pokusy jsem zvolil dle mého hlediska tu nejvýhodnější.

Při návrhu nabíječky jsem do ní přidal i některé věci nad rámec zadání bakalářské práce, jako je automatické rozpoznávání kolika voltový akumulátor je připojen, reverzace pólů akumulátoru, pokud jej obsluha připojí obráceně a výběr nabíjecího proudu pomocí dvou tlačítek.

Po oživení a drobných úpravách jednotlivých DPS, jsem s prototypem nabíjel olověné akumulátory a vyzkoušel jeho schopnost reverzace pólů akumulátoru, automatického rozpoznávání a výběru nabíjecího proudu. Nabíjení akumulátorů trvá dle stupně vybití několik hodin, z toho důvodu v práci neuvádím žádné přesné naměřené hodnoty.

Značný čas zabrala výroba transformátoru, čtyřech DPS, jejich návrh v programu EAGLE a především práce na kovové krabici, ve které je kompletní zařízení umístěno.

Nabíječku je možno ještě dále zdokonalovat, o několika možnostech vylepšení vím, ale vzhledem k nedostatku času jsem je do bakalářské práce nestihl v potřebném navrhnout a implementovat.

11 Seznam symbolů, veličin a zkratek

I_{nab} [A]	- nabíjecí proud tekoucí do baterie [ampér]
I_{max} [A]	- maximální nabíjecí proud tekoucí do baterie [ampér]
I_{min} [A]	- minimální nabíjecí proud tekoucí do baterie [ampér]
DPS	- deska plošných spojů
EI	- označení pro určité transformátorové plechy
IEC	- typ EI plechů
YEI	- typ EI plechů
I_{m}	- magnetovací proud
P_{sek}	- celkový výkon sekundárních vinutí transformátoru
$U_{21\text{ef}}$	- napětí prvního sekundárního vinutí
$U'_{21\text{ef}}$	- přepočtené napětí prvního sekundárního vinutí (zohlednění oteplení při výpočtech)
$I_{21\text{ef}}$	- proud prvního sekundárního vinutí
$U_{22\text{ef}}$	- napětí druhého sekundárního vinutí
$U'_{22\text{ef}}$	- přepočtené napětí druhého sekundárního vinutí (zohlednění oteplení při výpočtech)
$I_{22\text{ef}}$	- proud druhého sekundárního vinutí
P_z	- zdánlivý výkon transformátoru
P_{z1}	- zdánlivý výkon transformátoru navýšený vlivem provozní teploty okolí
P_1	- příkon transformátoru
P_{ztr}	- celkové ztráty transformátoru
N_t	- počet závitů na volt
S_j	- plocha středního sloupku transformátoru
S_n	- plocha okna pro vinutí transformátoru
J	- proudová hustota
J_{N1}	- proudová hustota primárního vinutí transformátoru
J_{N21}	- proudová hustota prvního sekundárního vinutí transformátoru
J_{N22}	- proudová hustota druhého sekundárního vinutí transformátoru
N_1	- počet závitů primárního vinutí
N_{21}	- počet závitů prvního sekundárního vinutí
N_{22}	- počet závitů druhého sekundárního vinutí
$U_{1\text{ef}}$	- napětí na primárním vinutí transformátoru
S_{v1}	- plocha vodiče (v příčném řezu) primárního vinutí
S_{v21}	- plocha vodiče (v příčném řezu) prvního sekundárního vinutí
S_{v22}	- plocha vodiče (v příčném řezu) druhého sekundárního vinutí
l	- šířka kostřičky, na kterou se bude navíjet transformátor (v mm)
n_1	- počet závitů na jednu vrstvu primárního vinutí
n_{21}	- počet závitů na jednu vrstvu prvního sekundárního vinutí
n_{22}	- počet závitů na jednu vrstvu druhého sekundárního vinutí
S_{N1}	- průřez primárního vinutí
S_{N21}	- průřez prvního sekundárního vinutí
S_{N22}	- průřez druhého sekundárního vinutí
S_N	- celkový průřez všech vinutí
S_W	- průřez okýnka pro vinutí transformátoru
R_i	- vnitřní odpor střídavého zdroje (transformátoru)
R_{df}	- vnitřní odpor diod v propustném směru
n	- počet cest jednofázového usměrňovače
R_s	- odpor výstupního obvodu
I_M	- amplituda proudu v obvodu
U_M	- amplituda napětí v obvodu
I_{AV}	- střední AV hodnota proudu u jednofázového usměrňovače
U_{AV}	- stejnosměrné napětí na zátěži
U_{RM}	- napětí namáhající usměrňovací diody v závěrném směru

12 Seznam literatury

- [1] Čech J. Olověné akumulátory
Dostupné na WWW: http://fabia.joy.sweb.cz/strana_4.html
- [2] ARENDÁŠ, M., RUČKA, M. *Nabíječky a nabíjení*. Praha: Technická literatura BEN Praha, 2002, 112 stran. ISBN 80-86056-61-9
- [3] Datashet, *Improved charging methods for lead-acid batteries using the UC3906*. Texas Instruments Incorporated, 1999
Dostupné na WWW: <http://www-s.ti.com/sc/spheets/slue115/slue115.pdf>
- [4] NOVOTNÝ, V. PATOČKA, M., VOREL, P. *Napájení elektronických zařízení*. Skriptum. Brno. 139 s.
- [5] FAKTOR, Z. *Transformátory a cívky - vlastnosti materiálů a efektivní návrh transformátorů*. Praha: Technická literatura BEN Praha, 2002, 135 stran.
- [6] HAMMERBAUER, J. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*. Skriptum. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity, 1998, 181 stran.
- [7] PATOČKA, M., VOREL, P. *Řídicí elektronika – aktivní obvody 2. díl*. Skriptum. Brno, 2004, 154 stran.
- [8] KREJČÍŘÍK, A. *Lineární napájecí zdroje*. Praha: Technická literatura BEN Praha, 2001, 144 stran. ISBN 80-7300-002-4
- [9] ELEKTOR - časopis, ročník 1996, vydání 7, strana 8
- [10] KOLOUCH, J., BIOLKOVÁ, V. *Impulsová a číslicová technika*. Skriptum. VUT v Brně, 2003, 187 stran.
- [11] VRBA, K., HERMAN, I., KUBÁNEK, D. *Konstrukce elektronických zařízení*. Skriptum. VUT v Brně, 55 stran.