

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh stabilizovaného napájecího zdroje

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan JANDÍK**

Osobní číslo: **E15B0157P**

Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**

Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

Název tématu: **Návrh stabilizovaného napájecího zdroje**

Zadávací 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 :

Provedte návrh stabilizovaného zdroje 0-30V, s proudovým omezením 0-5A. Zdroj opatřete elektronickou pojistkou a ukazateli napětí a proudů.

1. Prostudujte dostupnou literaturu a navrhňte koncepci zařízení.
2. Provedte výpočty a realizaci zařízení.
3. Realizujte nadproudové, podpěťové, přepěťové a tepelné ochrany.
4. Odměřte důležité parametry zdroje.
5. Provedte zhodnocení dosažených výsledků a případně navrhňte další možnosti zlepšení.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

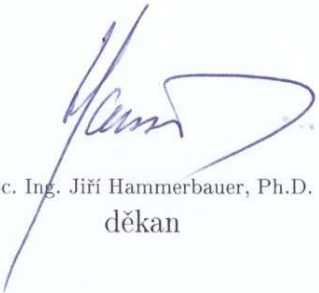
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Rubáš**


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na kompletní návrh a výrobu stabilizovaného napájecího zdroje pro domácí použití. První část práce je věnována kompletnímu elektrickému řešení celého stabilizovaného napájecího zdroje. Další popisuje kompletní mechanickému řešení. Poslední část práce poukazuje na měření a zhodnocení výsledných parametrů stabilizovaného napájecího zdroje. Součástí práce jsou schematická řešení, návrhy tištěných spojů, vygenerované 3D modely a konstrukční řešení.

Klíčová slova

Stabilizovaný napájecí zdroj, laboratorní zdroj

Abstract

Presented bachelor's thesis is focused to complete suggestion and production of stabilized power supply for homemade using. First part of the thesis, there are complete electrical solution whole stabilized power supply. Next part describes complete mechanical solution. Last part of the thesis shows measurement and evaluation resultant parameters stabilized power supply. This thesis includes schematic solution suggestions of printed circuits, generated 3D models and construction solution.

Key words

Stabilized power supply, laboratory power supply

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 30.5.2018

Jan Jandík

Poděkování

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

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
SEZNAM OBRÁZKŮ	12
ÚVOD	13
1. ZÁKLADNÍ POZNATKY O ZDROJI	14
1.1 BLOKOVÉ SCHÉMA ZDROJE.....	14
2. ELEKTRICKÉ ČÁSTI	15
3. SÍŤOVÉ NAPĚTÍ 230 V AC	16
4. HLAVNÍ TRANSFORMÁTOR	17
4.1 TEORIE TRANSFORMÁTORU.....	17
4.2 POUŽITÍ.....	17
4.3 ÚPRAVY TRANSFORMÁTORU.....	17
4.4 PROPOJENÍ TRANSFORMÁTORU.....	18
5. SOFTSTART	19
5.1 ÚVOD DO ZAŘÍZENÍ.....	19
5.2 POPIS ZAPOJENÍ.....	19
6. HLAVNÍ REGULAČNÍ ČÁST	22
6.1 ÚVOD DO ZAŘÍZENÍ.....	22
6.2 POPIS ZAŘÍZENÍ.....	22
6.3 POMOCNÉ OBVODY.....	26
6.3.1 <i>Hlavní napájecí část</i>	26
6.3.2 <i>Napájecí zdroj -3 V / +33 V</i>	27
6.3.3 <i>Napájecí zdroj +12 V / 1 A</i>	28
6.3.4 <i>Napájecí zdroj +24 V / 1 A</i>	29
6.3.5 <i>PWM regulátor pro ventilátory</i>	30
7. PŘEPÍNAČ ODBOČEK TRANSFORMÁTORU	31
7.1 ÚVOD DO ZAŘÍZENÍ.....	31
7.2 POPIS ZAŘÍZENÍ.....	31
8. STABILNÍ NEREGULOVATELNÉ ZDROJE	35
8.1 STABILNÍ ZDROJ 5 V / 2 A.....	35
8.1.1 <i>Úvod do zařízení</i>	35
8.1.2 <i>Popis zařízení</i>	36
8.1.3 <i>Výpočet teplotních ztrát</i>	37
8.2 STABILNÍ ZDROJ 12 V / 2 A.....	38

8.2.1	Úvod do zařízení.....	38
8.2.2	Popis zařízení	39
8.2.3	Výpočet teplotních ztrát.....	40
8.3	STABILNÍ ZDROJ 24 V / 2 A.....	40
8.3.1	Úvod do zařízení.....	40
8.3.2	Popis zařízení	41
9.	VÝSTUPY.....	42
9.1	VÝSTUP 1	42
9.2	VÝSTUP 2	44
10.	KONSTRUKCE	44
10.1	KRYT LABORATORNÍHO ZDROJE	45
10.2	MONTÁŽNÍ PRVKY LABORATORNÍHO ZDROJE	46
11.	MĚŘENÍ A VÝSLEDNÉ PARAMETRY	46
11.1	REGULOVATELNÝ ZDROJ	46
11.2	NEREGULOVATELNÝ ZDROJ 24 V / 2 A	48
11.3	NEREGULOVATELNÝ ZDROJ 12 V / 2 A	49
11.4	NEREGULOVATELNÝ ZDROJ 5 V / 2 A	50
ZÁVĚR		52
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ		54
PŘÍLOHY		1
Příloha A	Schéma softstart obvodu	1
Příloha B	Kusovník softstart obvodu	2
Příloha C	Schéma přepínače odboček	3
Příloha D	Kusovník přepínače odboček	4
Příloha E	Schéma obvodu Výstup 1	5
Příloha F	Kusovník obvodu Výstup 1	6
Příloha G	Schéma obvodu Výstup 2	7
Příloha H	Kusovník obvodu Výstup 2.....	8
Příloha I	Schéma hlavní regulační části – pomocné zdroje.....	9
Příloha J	Schéma hlavní regulační části - regulace	10
Příloha K	Schéma hlavní regulační části - ovládání ventilátorů	11
Příloha L	Kusovník hlavní regulační části	12
Příloha M	Schéma stabilizovaného neregulovatelného zdroje	14
Příloha N	Kusovník stabilizovaného neregulovatelného zdroje	15
Příloha O	Desky plošných spojů	16
Příloha P	3D návrh kompletní sestavy	18
Příloha Q	Náhledy zepředu, zezadu a shora.....	19
Příloha R	Náhledy z levé a z pravé strany	20
Příloha S	Obrázky funkčního vzorku	21
Příloha T	Kompaktní disk s dokumentací a elektronickou verzí práce.....	23
Příloha U	2 x vázaná příloha montážního výkresu	24

Seznam symbolů a zkratek

Symbol	Popis	Základní Jednotky
A_{U5}	Zesílení obvodu U_5	[-]
C_{MIN}	Minimální kapacita vyhlazovacího kondenzátoru	[F]
I	Proud	[A]
I_{DIMAX}	Maximální proud diody D_1	[A]
I_{LED1}	Proud led diodou LED_1	[A]
I_{MAX}	Maximální proud	[A]
I_{Q1MAX}	Maximální proud tranzistoru Q_1	[A]
I_{12VMAX}	Maximální proud 12V větve	[A]
R_{Pad}	Tepelný odpor izolační podložky	[K/W]
P_{MAX}	Maximální zatěžovací výkon	[W]
$P_{R1,R2}$	Zatěžovací výkon paralelní kombinace rezistorů R_1 a R_2	[W]
$P_{R11,R12}$	Zatěžovací výkon paralelní kombinace rezistorů R_{11} a R_{12}	[W]
P_{R10}	Zatěžovací výkon rezistoru R_{10}	[W]
P_{R12}	Zatěžovací výkon rezistoru R_{12}	[W]
P_{R35}	Zatěžovací výkon rezistoru R_{35}	[W]
P_{R4MAX}	Maximální zatěžovací výkon rezistoru R_4	[W]
$P_{R5,R7}$	Zatěžovací výkon paralelní kombinace rezistorů R_5 a R_7	[W]
P_{R6}	Zatěžovací výkon rezistoru R_6	[W]
P_{R9}	Zatěžovací výkon rezistoru R_9	[W]
P_{TOT}	Celkový ztrátový výkon	[W]
P_{Q1MAX}	Maximální zatěžovací výkon tranzistoru Q_1	[W]
P_{Q7}	Zatěžovací výkon tranzistoru Q_7	[W]
R_{TH}	Tepelný odpor	[K/W]
R_{THJC}	Tepelný odpor přechodu z čipu součástky na pouzdro	[K/W]
S	Zdánlivý výkon	[W]
U	Napětí	[V]
U_{CMAX}	Maximální napětí na kondenzátoru	[V]
U_{C1MAX}	Maximální napětí na kondenzátoru C_1	[V]
U_{DIMAX}	Maximální napětí na diodě D_1	[V]
U_{GQ1MAX}	Maximální napětí na gate tranzistoru Q_1	[V]

U_H	Napětí hysterezní	[V]
U_{K+}	Kladné komparační napětí	[V]
U_{K-}	Záporné komparační napětí	[V]
U_{K+}'	Pomocná konstanta výpočtu komparačního napětí	[V]
U_{K-}'	Pomocná konstanta výpočtu komparačního napětí	[V]
U_{UIREF}	Referenční napětí obvodu U_1	[V]
U_{UI}	Výstupní napětí obvodu U_1	[V]
Δt	Rozdíl teplot	[K]
ΔU	Rozdílové napětí	[V]
τ	Časová konstanta	[s]

Seznam obrázků

<i>Obr. 1.1</i>	<i>Blokové schéma zdroje</i>	15
<i>Obr. 4.1</i>	<i>Zapojení odboček transformátoru</i>	18
<i>Obr. 5.1</i>	<i>3D návrh softstart zařízení</i>	19
<i>Obr. 5.2</i>	<i>Schéma softstart obvodu</i>	22
<i>Obr. 6.1</i>	<i>3D návrh hlavní regulační deska</i>	22
<i>Obr. 6.2</i>	<i>Schéma napěťové regulace</i>	23
<i>Obr. 6.3</i>	<i>Schéma napěťové regulace</i>	23
<i>Obr. 6.4</i>	<i>Schéma nastavení výstupního napětí</i>	24
<i>Obr. 6.5</i>	<i>Schéma proudové regulace</i>	24
<i>Obr. 6.6</i>	<i>Schéma buzení a ochrany výstupu</i>	26
<i>Obr. 6.7</i>	<i>Schéma vyhlazovacího filtru pro hlavní zdroj</i>	27
<i>Obr. 6.8</i>	<i>Schéma zdroje pro operační zesilovače</i>	28
<i>Obr. 6.9</i>	<i>Schéma pomocného 12V zdroje</i>	29
<i>Obr. 6.10</i>	<i>Schéma pomocného 24V zdroje</i>	29
<i>Obr. 6.11</i>	<i>Schéma regulace ventilátoru</i>	30
<i>Obr. 7.1</i>	<i>3D návrh přepínání odboček</i>	31
<i>Obr. 7.2</i>	<i>Propojovací konektor</i>	31
<i>Obr. 7.3</i>	<i>Schéma přepínač odboček – komparátor</i>	32
<i>Obr. 7.4</i>	<i>Schéma přepínač odboček – spínání relé</i>	33
<i>Obr. 8.1</i>	<i>3D návrh neregulovatelného zdroje</i>	35
<i>Obr. 8.2</i>	<i>schéma stabilního 5V zdroje</i>	37
<i>Obr. 8.3</i>	<i>Schéma stabilního 12V zdroje</i>	40
<i>Obr. 8.4</i>	<i>Schéma stabilního 24V zdroje</i>	41
<i>Obr. 9.1</i>	<i>3D návrh výstupu 1</i>	42
<i>Obr. 9.2</i>	<i>Schéma výstup 1 - přepínač výstupu</i>	42
<i>Obr. 9.3</i>	<i>Schéma výstup 1 - diferenční zesilovač</i>	43
<i>Obr. 9.4</i>	<i>3D návrh výstupu 2</i>	44
<i>Obr. 9.5</i>	<i>Schéma výstup 2</i>	44
<i>Obr. 10.1</i>	<i>3D návrh konstrukce</i>	45
<i>Obr. 11.1</i>	<i>Regulovatelný zdroj - výstupní charakteristika</i>	47
<i>Obr. 11.2</i>	<i>Regulovatelný zdroj - proudová regulace</i>	47
<i>Obr. 11.3</i>	<i>Zatížený regulovatelný zdroj</i>	48
<i>Obr. 11.4</i>	<i>Zvlnění signálu při přepojení odbočky transformátoru</i>	48
<i>Obr. 11.5</i>	<i>Zatěžovací charakteristika 24 V zdroje</i>	49
<i>Obr. 11.6</i>	<i>Zvlnění neregulovatelného zdroje 24 V / 2 A</i>	49
<i>Obr. 11.7</i>	<i>Zatěžovací charakteristika 12 V zdroje</i>	50
<i>Obr. 11.8</i>	<i>Zvlnění neregulovatelného zdroje 12 V / 2 A</i>	50
<i>Obr. 11.9</i>	<i>Zatěžovací charakteristika 5 V zdroje</i>	51
<i>Obr. 11.10</i>	<i>Zvlnění neregulovatelného zdroje 5 V / 2 A</i>	51

Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na návrh a výrobu stabilizovaného napájecího zdroje pro domácí použití.

Obsah práce je rozdělen do několika dílčích částí. První části bakalářské práce je věnována prvotním informacím k zařízení a prvním teoretickým předpokladům. Další nedílnou součástí této práce je kompletní elektrické řešení celého stabilizovaného napájecího zdroje. Počínaje úvahou a návrhem jednotlivých zapojení přes různý výběr komponent a dimenzování součástek až po tepelné dimenzování celého zařízení včetně dimenzování chladiče a návrh hnacího ventilátoru. Následující a přesto nedílnou součástí této práce je návrh a kompletní řešení rozmístění jednotlivých komponent ve skříni. Poslední kapitola je věnována měření důležitých výstupních parametrů a vyhodnocení funkčnosti jednotlivých zařízení.

1. Základní poznatky o zdroji

Laboratorní zdroj, který umožňuje plynulou napěťovou regulaci, je nezbytnou součástí každé elektrotechnické laboratoře nebo elektrotechnické dílny. Tento zdroj ovšem obsahuje zároveň i plynulou regulaci proudu. Regulace proudu je velice praktická a důležitá vlastnost zdroje. Umožní omezit výstupní proud, který dodá laboratorní zdroj do napájeného elektrického zařízení. Tímto omezením lze podrobně zkoumat závady a chyby na připojeném zařízení, nebo zatěžování jednotlivých komponent.

Analogový zdroj má oproti spínanému zdroji kratší reakční dobu, reaguje tedy rychleji na změny v regulaci a při zkratu. Mezi další výhody patří omezené nároky na komponenty, menší vyzařování EMC a nižší hodnota zvlnění výstupu.

Spínaný zdroj je jednoznačně rozměrově menší. Obsahuje menší transformátor a filtrační kondenzátor. Má vyšší účinnost ve velkém rozsahu napětí.

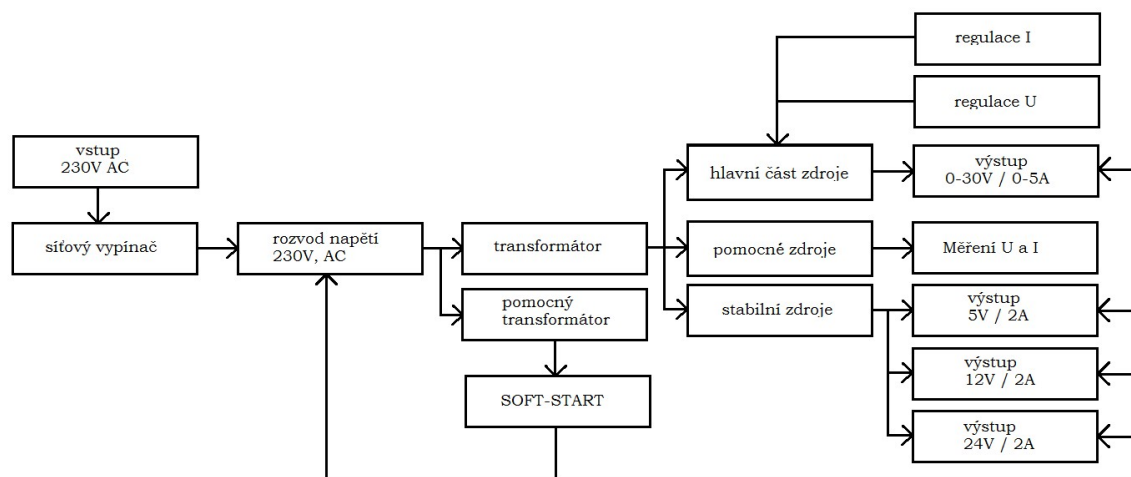
Byl zvolen analogový zdroj pro menší zvlnění a menší náročnosti na komponenty. Následujícími důvody byly snadné návrhové řešení a po menší úpravě i pohodlná funkčnost a nižší ztráty.

Kompletní zdroj je sestaven z několika na sobě nezávislých bloků. Rozdělení do bloků bylo zvoleno z důvodu přehlednosti a systematičnosti celého zařízení. Jednotlivé bloky jsou pospojovány přes navržené konektory pomocí vodičů určitých délek a průřezů. Jedná se o lineární zdroj, který je známý svým elektrickým provedením a elektrickými vlastnostmi. Elektronika je založena na operačních zesilovačích. Mezi pozitivní vlastnosti zdroje patří především jednoduchost zapojení elektroniky. Bohužel má zařízení i své negativní vlastnosti, které se značně projeví na ztrátovém výkonu výstupních výkonných tranzistorů. Tato skutečnost se negativně projeví na celé účinnosti zdroje.[1]

1.1 Blokové schéma zdroje

Blokové schéma zdroje je podrobně rozkresleno na Obr.1.1 Toto blokové schéma není zpracováno do detailu a proto je zřejmé, že slouží pouze pro orientaci a pro pochopení základních závislostí mezi jednotlivými bloky laboratorního zdroje. Z obrázku blokového schéma je patrné, že celý laboratorní zdroj obsahuje dva transformátory. První a zároveň hlavní transformátor je využit pro napájení hlavní části zdroje, pomocné zdroje a stabilní zdroje. Druhý neboli pomocný transformátor je využit pouze pro softstart obvod. Softstart obvod působí na všechny výstupy zařízení a ovlivňuje i vstupní část se sítovým napětím. Regulace tohoto laboratorního zdroje je tvořena dvěma sériově zapojenými potenciometry.

Tímto způsobem je zapojena jak regulace výstupního napětí, tak i omezení maximálního možného proudu dodaného do připojeného zařízení. Tento typ zapojení regulace jsem zvolil z důvodu možnosti hrubé a jemné regulace výstupních veličin laboratorního zdroje. Měřicí přístroje pro měření napětí a výstupního proudu jsem vyhledal a zakoupil jako kompletní hotové zařízení, jež se pouze osadí do panelu a zapojí podle schéma dodaného distributorem tohoto zařízení. Výstupy veškerých elektrických zdrojů, ať již zmiňovaných regulovatelných nebo stabilních, jsou vyvedeny na svorky taktéž do předního panelu zařízení.



Obr. 1.1 Blokové schéma zdroje

2. Elektrické části

Všechny desky plošných spojů jsou navrženy v návrhářském programu Altium Designer ve verzi 17.1. Tento návrhový software má integrovanou většinu činností spojených s návrhem elektroniky. Umožňuje vytvořit rozsáhlé knihovny s velkou možností výběru footprintů a pouzder jednotlivých komponent. Nedílnou součástí těchto knihoven může být taktéž 3D obrazec každé této komponenty. V návrhovém prostředí následně lze zobrazit naši navrženou desku plošného spoje ve 3D zobrazení včetně veškerých použitých součástek. Toto nám poskytne lepší rozhled nad kompletním návrhem, kde lze zkontrolovat veškeré rozmístění součástek, jak z důvodu délky a šířky spojů, tak z důvodu vhodného umístění kvůli proudění vzduchu. Altium Designer umožňuje mimo jiné také generovat spoustu výstupních dat pro následnou výrobu, zpracování, osazování apod.

Některé desky plošných spojů byly zadány do výroby u firmy ALLPCB. Tato firma byla zvolena na základě doporučení několika zkušených návrhářů elektronických obvodů. Ostatní desky plošných spojů byly vyrobeny v domácích podmínkách. Výroba desek plošných spojů v domácích podmínkách spočívala ve vygenerování výstupních výrobních dat. Následně byly vytištěny jednotlivé motivy na průsvitnou folii, přes kterou byly za

pomocí osvětlovacího zařízení promítnuty na měď. Takto upravená deska plošného spoje byla vyleptána za pomoci roztoku chloridu železitého. Chlorid železitý je tekutina, která leptá kovy, proto byla pro máčení zvolena plastová nádoba. Každá deska plošného spoje, která byla vyrobena touto metodou, musela být detailně prohlédnuta a proměřena, jestli nedošlo k zúžení, nebo dokonce přerušení některého měděného spoje. Dalším krokem při domácí výrobě bylo vyvrtání veškerých otvorů. Při vrtání jednotlivých otvorů byly použity vrtáky o průměru 0,8 mm a 1 mm pro signálové součástky, dále 1,5 mm a 2 mm pro propojovací konektory a relé, pro konstrukční umístění jednotlivých desek plošných spojů odpovídal vrták o průměru 3 mm a 4 mm. Kromě konstrukčních otvorů a otvorů pro THT součástky bylo též třeba vyvrtat otvory pro PADy, do kterých bylo třeba následně umístit dráty požadovaných rozměrů vzhledem k proudovému zatížení. Tento postup pro výrobu desek plošných spojů v domácích podmínkách je poněkud složitý a zdlouhavý, avšak plně funkční a ověřený.

Propojování jednotlivých desek plošných spojů mezi sebou a mezi ostatními konstrukčními součástmi bylo provedeno za pomoci vodičů různých barev. Barvy vodičů byly vybrány v souladu s normou ČSN EN 60446 ad. 2(33 0165). Tedy pro nulový vodič byla zvolena světlemodrá barva, pro fázový vodič byla zvolena hnědá barva a pro ochranný vodič byl zvolen zelenožlutý vodič. Pro nízká napětí byly zvoleny různě barevné vodiče odpovídajících průměrů.

3. Síťové napětí 230 V AC

Síťové napětí 230 V - AC je zařazeno mezi nízká napětí. Jedná se tedy o napětí od 50 V AC do 1 000 V AC, která se nachází mezi fázemi, nebo mezi fází a zemí. Toto tvrzení je podloženo normou ČSN IEC 449 (33 01 30). Obsluha elektrického zařízení tedy nesmí přijít do přímého styku s těmito napětími.

Propojení zařízení, které jsou připojené na této napěťové úrovni je následovné. Přívodní vodič, který je na druhé straně napájen ze sítě elektrického napětí, je připojen do zásuvky, která se nachází na zadní straně zařízení. Tato zásuvka obsahuje EMC filtr. Z tohoto EMC filtru vystupují tři vodiče. Prvním vodičem je zeleno-žlutý ochranný vodič, který je následovně připojen na konstrukci celého zařízení. Jedná se o ochranný zemnicí vodič, jenž je propojen s kompletní konstrukcí, kompletními dotykovými částmi a chladiči. Následující dvojici vodičů, které vystupují z EMC filtru, tvoří fázový vodič označovaný „L“ a nulový vodič označovaný „N“. Tyto dva vodiče vedou společně k zapínacímu přepínači. Způsob konstrukce tohoto přepínače je „OFF – ON“. Spínač tedy drží jak v sepnutém, tak

ve vypnutém stavu. Maximální proudové zatížení tohoto přepínače činí dle dodavatele komponenty 16 A. Je tedy zřejmé, že proudový limit přepínače je zvolen s dostatečnou rezervou. Fázový vodič vede z přepínače na pojistkové pouzdro. Pojistkové pouzdro je umístěno nad přepínačem v předním ovládacím panelu zařízení. Toto umístění bylo zvoleno pro snadnou výměnu pojistky. Maximální proud tímto pojistkovým pouzdem je 10 A. Pojistky, které jsou kompatibilní s tímto pojistkovým pouzdem mají rozměr 5x20 mm. Jedná se o běžně dostupné trubičkové pojistky. Fázový vodič, který vystupuje z pojistkového pouzdra, vede na softstart obvod. Nulový vodič, jenž vychází z kolíbkového zapínacího přepínače, vede přímo na softstart obvod, ale zároveň také na hlavní toroidní transformátor. Fázový vodič, který vychází ze softstartu, je připojen již pouze do hlavního toroidního transformátoru.[2] [3]

4. Hlavní transformátor

4.1 Teorie transformátoru

Transformátor je elektrický stroj, jenž pracuje na principu elektromagnetické indukce. Transformátor se používá ke změně elektrického střídavého napětí, při stálém kmitočtu. Při přenosu elektrické energie na velké vzdálenosti, je nutno z důvodu omezení ztrát energie velikost napětí zvýšit. U spotřebitele musíme velikost napětí z izolačních a bezpečnostních důvodů naopak snížit. V elektronice nám obvykle nevyhovuje ani typická napěťová hladina 400/230 V, proto napětí transformujeme na takzvané malé napětí. Ke splnění uvedených požadavků nám slouží transformátory.

Transformátor je netočivý elektrický stroj pracující na principu elektromagnetické indukce, který mění přivedená střídavá napětí na jiná střídavá napětí, při jejich nezměněném kmitočtu.[4]

4.2 Použití

Hlavním transformátorem je toroidní transformátor s označením TST450/010 od firmy INDEL. Jedná se o transformátor, který obsahuje dvě sekundární vinutí. Každé sekundární vinutí má napěťovou úroveň 30 V a maximální proudové zatížení 7,5 A. Distributorem stanovený celkový výkon transformátoru činí 450 VA.[5]

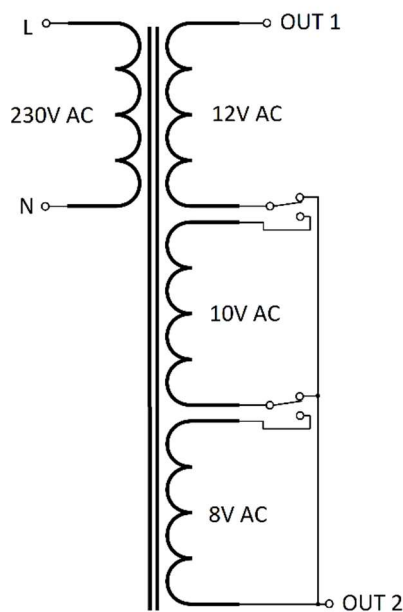
4.3 Úpravy transformátoru

Obě původní vinutí hlavního transformátoru byly rozděleny na 3 dílčí vinutí s napětími 12 V, 10 V a 8 V. Následující úpravou bylo dovinuto několik přídavných vinutí. Navinuty byly zejména vinutí pro stabilní neregulovatelné zdroje. Rozdělením hlavního

vinutí došlo ke ztrátě napájecího napětí pro operační zesilovače, které řídí hlavní regulační část a přepínání odboček. Bylo tedy navinuto vinutí s napětím 33 V. Z tohoto vinutí byly vyvedeny dvě odbočky na úrovni 12 V a 24 V. Tyto dvě napětí jsou využity pro vlastní funkci zdroje. 12V vinutí slouží pro pomocné 12 V zdroje a 24 V vinutí slouží pro pomocné 24V zdroje.

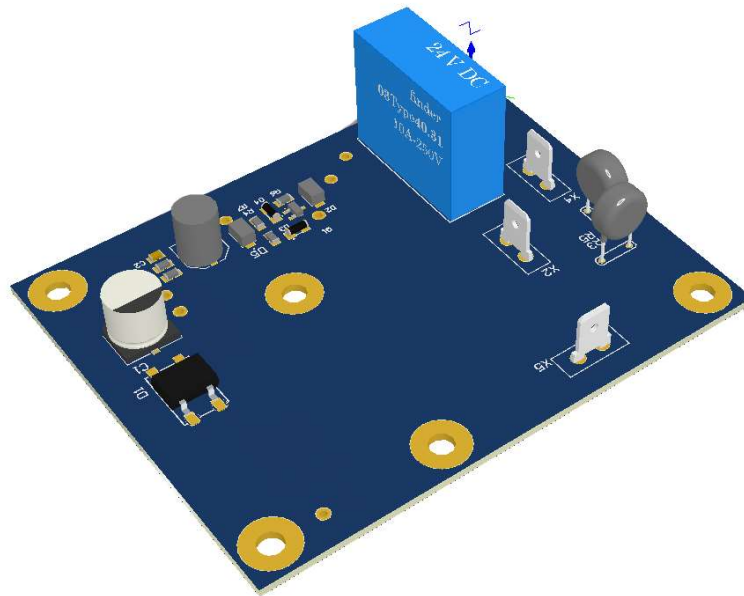
4.4 Propojení transformátoru

Primární vinutí je zapojeno do zařízení softstart. Před připojením do sítě je ještě předřazena skleněná pojistka a síťový vypínač. Sekundární vinutí, které jsou důsledkem rozdělení původních vinutí transformátoru, jsou připojeny do přepínače odboček transformátoru. Je třeba dodržet směr těchto vinutí. Navinutá silová vinutí pro stabilní neregulovatelné zdroje jsou připojeny přímo na vstupy konkrétních stabilizovaných zdrojů. Pomocná vinutí jsou připojena přímo do hlavní regulační části obou regulovatelných zdrojů.



Obr. 4.1 Zapojení odboček transformátoru

5. SOFTSTART



Obr. 5.1 3D návrh softstart zařízení

5.1 Úvod do zařízení

Jak již vyplývá z překladu názvu tohoto zařízení, jedná se o tzv. „měkký start“. Účelem tohoto zařízení je tedy zmenšit nárazový spínací proud hlavního toroidního transformátoru. Tento jev je nežádoucí pro přívodní vodiče, ale také pro bezpečnost a různé vybavovací ochrany. Tohoto jevu lze docílit mnoha způsoby a metodami. Byla zvolena jedna z jednodušších variant, kde se pro snížení rázového spínacího proudu využívá předřadné impedance.

5.2 Popis zapojení

Jako předřadná impedance byly zvoleny dva sériově řazené NTC termistory o hodnotě 15 R. Maximální udávaný zatěžovací proud termistoru je 3 A. Výkon sériově připojeného toroidního transformátoru je 450 VA. Pokud tedy tento výkon vydělíme efektivní hodnotou využitého napětí 230 V / 50 Hz:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{450}{230} = 1,957 \text{ A} \quad (5.1)$$

Dostaneme proud přibližně rovný 2 A. Je třeba ovšem brát v potaz, že tento výkon je při plném zatížení sekundárních vinutí transformátoru. Tedy se dá předpokládat, že zvolené termistory budou plně vyhovující tomuto zapojení. Obvod je navržený tím způsobem, že po uplynutí určitého času se tyto NTC termistory překlenují pomocí spínaného elektromagnetického miniaturního relé. NTC termistory, jak je již známo, se při průchodu proudem ohřívají, a tím klesá jejich ohmická hodnota. Diference napětí, které tedy bude relé

spínat, se při startu sníží. Celé softstart zařízení je napájeno z pomocného transformátoru, aby změkčení hlavního toroidního transformátoru nevkládalo do výpočtů a předpokladů chybu. Za pomocným transformátorem se nachází jednofázový usměrňovací můstek DB107S označen D₁. Maximální napětí v závěrném směru udává distributor 1000 V. Tato hodnota je plně vyhovující. Maximální napětí, které se může objevit na svorkách tohoto usměrňovače je:

$$U_{D1MAX} = \pm 10\%(U_{TR2}) = 1,1 \cdot 15,7 \cdot \sqrt{2} = 24,42 \text{ V} \quad (5.2)$$

Toto napětí bylo vyjádřeno, jako naměřená efektivní hodnota výstupního napětí transformátoru vynásobená hodnotou $\sqrt{2}$ pro získání maximální hodnoty tohoto střídavého napětí a také hodnotou 1,1. Tato hodnota je dána distributorem elektrické energie. Proudové zatížení tohoto usměrňovacího můstku je omezeno na 1 A. Maximální impulsní hodnota proudu je udána hodnota 50 A. Tuto hodnotu lze tedy použít jako maximální proudový pulz při zapínání zařízení. Za diodovým můstkem se nachází stabilizační Zenerova dioda D₃. Byla zvolena dioda pod označením BZV55C12. Tato dioda má udané Zenerovo napětí o hodnotě 12 V. Tato dioda má v pouzdře miniMELF udaný maximální ztrátový výkon 0,5 W, což je plně vyhovující požadavkům. Maximální potřebný ztrátový výkon je tedy:

$$P_{MAX} = U_Z \cdot P_Z = 12 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ W} \quad (5.3)$$

Diodě předchází předřadný rezistor v podobě dvou paralelně zapojených rezistorů R₁ a R₂, z důvodu vyšší výkonové ztráty a nižšího tepelného namáhání komponent. Pouzdra těchto rezistorů jsou 0805. Výkonová ztráta těchto rezistorů činí maximálně 0,125 W pro každý. Při paralelním zapojení je to tedy 0,25 W. Tato hodnota je plně vyhovující. Mezi těmito předřadnými rezistory a usměrňovacím můstkem se nachází vyhlazovací kondenzátory. Ve výpočtu kapacity vyhlazovacího kondenzátoru je třeba opět zohlednit možné výkyvy napájecího napětí. Tuto kapacitu tedy spočítáme jako:

$$C_{MIN} = \frac{\left(\frac{U_Z}{R_Z}\right) \Delta t}{\Delta U} = \frac{\left(\frac{12}{220}\right) \cdot 0,01}{7,98} = 6,84 \cdot 10^{-5} \text{ F} \quad (5.4)$$

Kde U_Z je rovno nejnižšímu možnému napětí, které činí 12 V. R_Z odpovídá odporu spínací cívky relé K1. Hodnota 220 Ω je udávaná distributorem. Za Δt je dosazena hodnota 0,01 s, protože je využita síť o frekvenci 50 Hz, a dále využít Graetzův můstek pro usměrnění střídavého napětí. Ve výpočtu je zanedbaný zanedbaný proud, který protéká přes rezistory R₇, R₄, a paralelní kombinaci R₁ a R₂. Tento proud je oproti proudu procházejícímu cívkou relé při sepnutém stavu zanedbatelný, stejně tak jako proud otevírající tranzistor Q₁. Výsledná kapacita kondenzátoru činí 68,4 μF . Tato hodnota byla z důvodu zaokrouhlování a zanedbávání jednotlivých zatěžovacích prvků zaokrouhlena na 100 μF . Do schématu byl

vložen kondenzátor o hodnotě 470 μF / 50 V v paralelní kombinaci s kondenzátorem C_2 , který odpovídá hodnotě 100 nF / 50 V. Hodnota kondenzátoru C_1 byla zvolena z důvodu velké zásoby. Kondenzátor C_2 je osazen z důvodu malého ESR a tím rychlé dodávky proudu při sepnutí cívky relé. Oba tyto kondenzátory byly také dimenzovány na určité napětí, které je rovno:

$$U_{C1MAX} = \pm 10\%(U_{TR2}) - U_{D1} = 1,1 \cdot 15,7 \cdot \sqrt{2} - 2 = 22,42 \text{ V} \quad (5.5)$$

Hodnota odpovídá maximálnímu možnému napětí dodané transformátorem, ovšem bez úbytku na usměrňovacím můstku. Časové zpoždění relé je navrženo pomocí nabíjení kondenzátoru C_3 . Tento nabíjecí proud kondenzátoru je omezen rezistorem R_4 . Maximální nabíjecí proud tedy může být:

$$I_{MAX} = \frac{U_Z}{R_4} = \frac{12}{20000} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ A} \quad (5.6)$$

Tato hodnota tedy odpovídá 0,6 mA. Časovou konstantu τ lze tedy vypočítat podle vzorce:

$$\tau = R \cdot C = 20 \cdot 10^3 \cdot 47 \cdot 10^{-6} = 0,94 \text{ s} \quad (5.7)$$

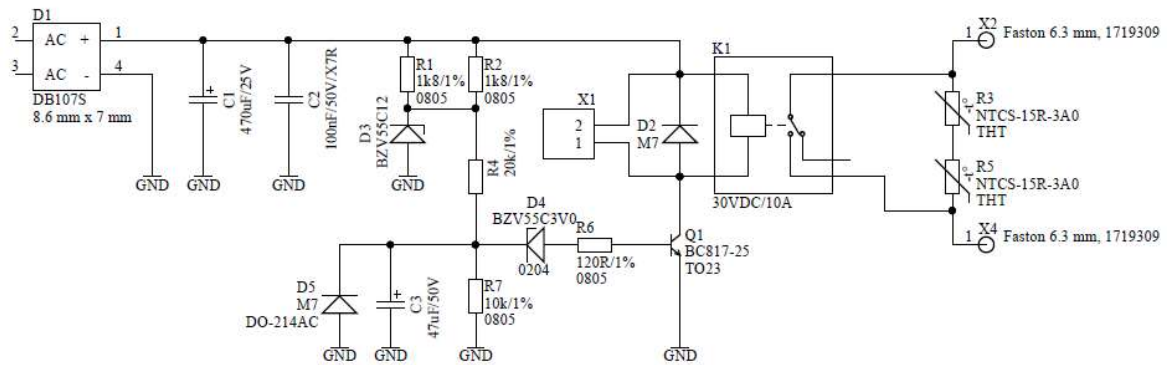
Tuto hodnotu je možné zaokrouhlit na 1 s. Napětí na kondenzátoru C_3 však vzroste maximálně na hodnotu omezenou napěťovým děličem tvořeným rezistory R_7 a R_4 . Neboli:

$$U_{C3MAX} = U_Z \cdot \frac{R_7}{R_7 + R_4} = 12 \cdot \frac{10^4}{2 \cdot 10^4 + 10^4} = 4 \text{ V} \quad (5.8)$$

Tranzistor BC817-25 označený jako Q_1 je použitý jako spínací tranzistor pro relé K_1 . Maximální proudové zatížení tohoto tranzistoru je 500 mA. Tranzistor bude zatěžovaný maximálním proudem:

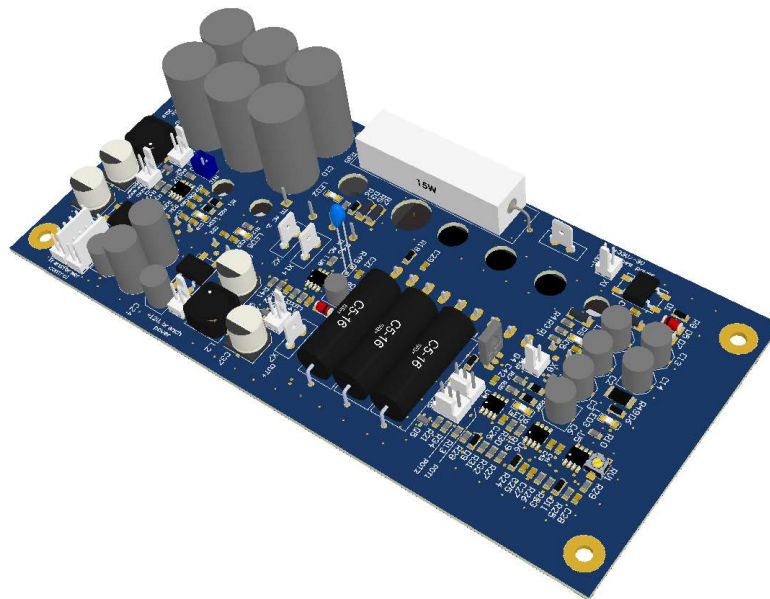
$$I_{Q1MAX} = \frac{U}{R_{REFL}} = \frac{24,42}{220} = 111 \cdot 10^{-3} \text{ A} \quad (5.9)$$

Tato hodnota bude tedy akceptovatelná s dostatečnou rezervou. Tento tranzistor je spouštěn za pomoci Zenerovy diody D_4 . Napětí, při kterém bude diodou protékat proud odpovídá hodnotě o něco málo vyšší než napětí 3 V, toto napětí je dáno Zenerovo napětím na Zenerově diodě D_4 . Tato hodnota odpovídá 75 – 80 % maximálního napětí na kondenzátoru C_3 . Je možné tedy přibližně konstatovat, že čas po kterém sepne cívka relé softstart zařízení bude přibližně odpovídat 1 - 1,5 s. Přesnou hodnotu tohoto času však není možné stanovit. Je závislá nejen na přesnosti parametrů jednotlivých součástí, ale také na parazitních elektrických odporech a indukčnostech jednotlivých spojů na desce plošného spoje.



Obr. 5.2 Schéma softstart obvodu

6. Hlavní regulační část



Obr. 6.1 3D návrh hlavní regulační deska

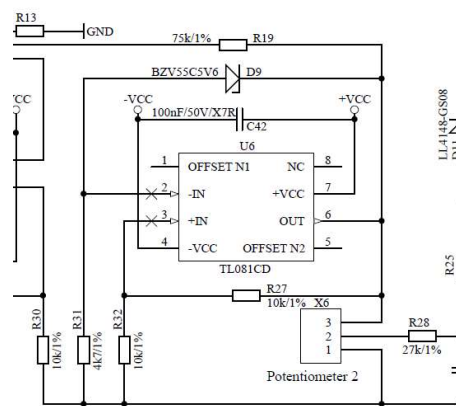
6.1 Úvod do zařízení

Toto zařízení je hlavní regulační částí zdroje. Obsah tohoto zařízení je regulovatelný zdroj s regulací napěťové úrovně stejnosměrného napětí 0 – 30 V a proud dodaný do zátěže s omezením na 0 – 5 A. Jedná se tedy o regulovatelný zdroj, který je nutné doplnit skupinou pomocných obvodů. Deska obsahuje kompletní analogovou regulaci, dále obsahuje spoustu pomocných zdrojů a obvody pro řízení ventilátorů. Napětí z pomocných zdrojů je využíváno v celém zařízení. Tyto zdroje jsou navrženy z důvodu galvanického oddělení od stabilních zdrojů, které budou připojeny na ovládací panel skříně.

6.2 Popis zařízení

Celá analogová regulace napětí a proudu je zkonstruována třemi základními zapojeními operačních zesilovačů.

Prvním zapojení je napět'ová stabilizace za pomoci referenčního napětí. Toto referenční napětí zajistí zenerova dioda D₉, která je zapojena do záporné zpětné vazby operačního zesilovače U₆. Napětí na výstupu U₆ se tedy bude zvyšovat až do sepnutí D₉. Po sepnutí D₉ bude obvod stabilizovaný a napětí zenerovy diody, které činí 5,6 V se objeví na rezistoru R₂₇. Rezistor R₂₇ je zapojen mezi výstupem a invertujícím vstupem. Tato skutečnost je dána tím, že operační zesilovač drží mezi svými vstupy virtuální nulu. Proud, který prochází přes neinvertující vstup operačního zesilovače U₆ je zanedbatelný, avšak stejný proud prochází přes rezistor R₂₇ a to znamená, že prochází zároveň přes rezistor R₃₂. Je tedy zřejmé, že napětí, které naměříme na výstupu operačního zesilovače U₆ bude rovno dvojnásobku napětí Zenerovo diody. Napětí, které tedy změříme bude 11,2 V. [6][1][7]

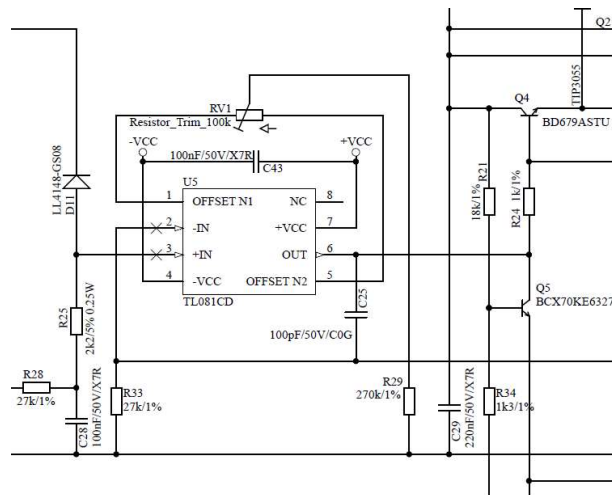


Obr. 6.3 Schéma napět'ové regulace

Dalším nepostradatelným integrovaným obvodem je také operační zesilovač, který má konstantní zesílení. Toto zesílení operačního zesilovače U₅ lze jednoduše vyjádřit podle vzorce:

$$A_{U5} = \frac{(R_{26} + R_{33})}{R_{33}} = \frac{(27 \cdot 10^3 + 56 \cdot 10^3)}{27 \cdot 10^3} = 3,07 \quad (6.1)$$

Toto zesílení lze tedy zaokrouhlit na $A_{U5} = 3$. Je tedy zřejmé, že referenční napětí bude přibližně rovno 33 V. Trimr RV₁ společně s rezistorem R₂₉ tvoří dělič, který zajistí upravení limitů výstupního napětí, které může být redukováno až na 0 V. Je nutné mít v tomto děliči volně nastavitelný trimr, z důvodu pokrytí různých odchylek parametrů součástek, které jsou dány tolerancí výroby. Pomocí diody D₁₁ je na neinvertující vstup operačního zesilovače U₅ přivedena informace o nastavení proudu. [6][1][7]

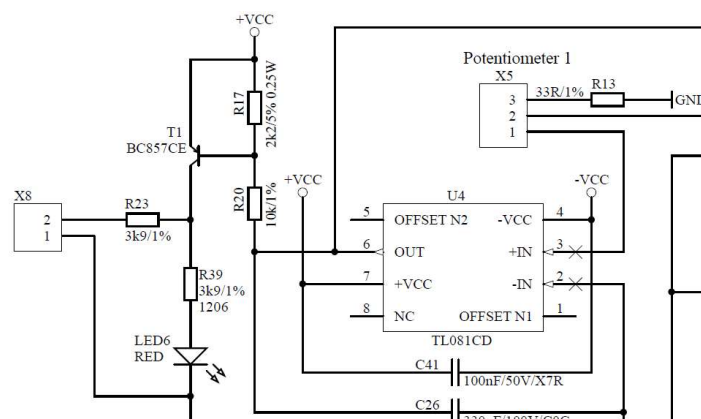


Obr. 6.4 Schéma nastavení výstupního napětí

Další důležitou vlastností tohoto zařízení je možnost regulace maximálního výstupního proudu. Tato skutečnost nám umožní v podstatě udělat ze zdroje napětí zdroj proudu. K tomu, aby mohl obvod reagovat na proud dodávaný do zátěže, je nutné tento proud měřit. Měření proudu dodávaného do zátěže je měřeno na rezistoru R35. Tento rezistor má hodnotu 270 mΩ. Hodnota tohoto měřicího rezistoru je zvolena záměrně nízká, aby při rostoucím proudu, který jím taktéž protéká na něm nevznikal velký úbytek napětí. Ovšem je nutné rezistor dostatečně výkonově dimenzovat, protože jak je již známo, rezistor je spojen sériově se zátěží. Znamená to tedy, že jím může protékat stejnosměrný proud o hodnotě až 5 A. Výkon tohoto rezistoru lze snadno vypočítat podle známého vzorce:

$$P_{R35} = R \cdot I^2 = 0,27 \cdot 5^2 = 6,75 \text{ W} \quad (6.2)$$

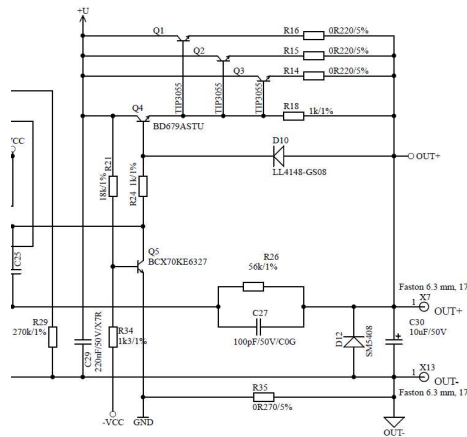
Z důvodu dostatečně velké výkonové rezervy byl zvolen rezistor o maximálním ztrátovém výkonu 15 W. Integrovaný obvod U4 je zodpovědný za funkčnost tohoto obvodu. Operační zesilovač TL081 s označením U4 tedy pracuje jako komparátor, který porovnává dvě napětí, jejichž rozdíl je úbytek napětí na výkonovém rezistoru R35. Úbytek napětí lze ovlivnit potenciometrem 1, jenž je připojen do invertujícího vstupu operačního zesilovače U4.



Obr. 6.5 Schéma proudové regulace

Potenciometr 1 je připojen do konektoru MOLEX z řady KK254, jenž je označen X₅. Rezistor R₁₃ udává hodnotu nejmenšího nastavitelného maximálního dodaného proudu do zátěže. Na výstup operačního zesilovače je připojený tranzistor T₁, který vytváří signalizační část proudové regulace. Pokud nastane proudové přetížení, tranzistor je sepnut a na jeho kolektoru se objeví napětí +VCC. Pro signalizaci proudového přetížení je na desku plošného spoje osazena červená LED dioda v SMD pouzdře 1206. Ovšem po osazení celého zařízení do vhodné skříně by byla tato signalizace bezpředmětná, pro tyto účely je zde osazen konektor MOLEX z řady KK254, který slouží pro připojení signalizační LED diody z předního panelu celého laboratorního zdroje. Kondenzátor C₂₆ zapojený mezi výstup a invertující vstup operačního zesilovače U₄ zvyšuje stabilitu obvodu. [6][1][7]

Koncovým stupněm jsou výstupní tranzistory. Jedná se o tranzistory Q₁, Q₂, Q₃. Byly zvoleny tranzistory typu TIP3055. Tyto tranzistory jsou zapojeny paralelně z důvodu rozdělení ztrátového tepla a lepšího přenesení tepla na chladič. Maximální proud procházející jedním tranzistorem je dle distributora 15 A. K těmto tranzistorům jsou připojeny sériově vyrovnávací rezistory. Vyrovnávací rezistory R₁₄, R₁₅ a R₁₆ slouží k rovnoměrnému rozložení proudového namáhání tranzistorů. Tyto tranzistory jsou buzeny z výstupu operačního zesilovače U₅ za pomoci budícího tranzistoru Q₄. Budící tranzistor BD679ASTU označený jako Q₄ obsahuje ve skutečnosti dva tranzistory v darlingtonově zapojení. Jedná se tedy o tranzistor s vysokým proudovým zesílením. Tranzistor Q₄ je zde nezbytně nutný, protože operační zesilovač TL081 označený jako U₅ není schopen dodat dostatečný proud k vybuzení trojice koncových tranzistorů. Dále se zde nachází tranzistor Q₅, který je součástí ochranného obvodu. Pokud zmizí záporné napětí, tak Q₅ napájení od výstupu obvodu, tím ochrání napájené zařízení. Tímto se eliminuje špička, která by za normálních okolností vznikla při vypínání zdroje. Za normálních okolností je tranzistor Q₅ vypnut, což zajistí rezistor R₃₄. Dioda D₁₂ slouží jako ochrana proti přepólování a výstupní kondenzátor C₃₀ jako konečné filtrování napětí. [6][1][7]



Obr. 6.6 Schéma buzení a ochrany výstupu

6.3 Pomocné obvody

6.3.1 Hlavní napájecí část

Hlavní zdrojová část je filtrem pro výstupní napětí zdroje. Výstup tohoto napájení je přímo přiveden na kolektory trojice výstupních regulačních tranzistorů. Vstupem tohoto zdroje jsou dva konektory FIX&FASTEN PCH250. Na tyto konektory je přivedeno střídavé napětí z hlavního transformátoru a regulováno přepínáním odboček pro různé napěťové úrovně. Usměrnovací můstek D_2 byl zvolen značně předdimenzovaný. Maximální souvislý proud je doporučený na hodnotu 20A. Tato hodnota je tedy dostatečně vysoká. Hodnota vyhlazovací kapacity lze stanovit dle vzorce:

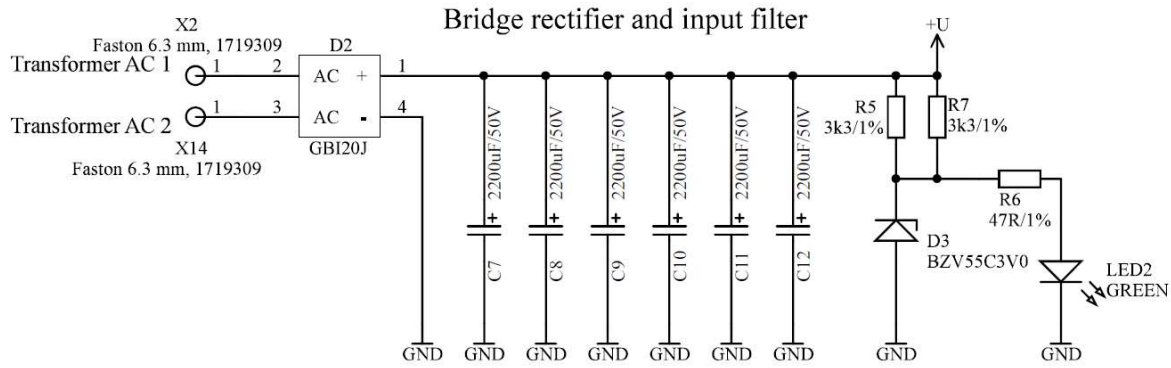
$$C_{MIN} \frac{I_{OUT} \cdot \Delta t}{\Delta U} = \frac{5 \cdot 0,01}{4,97} = 10,06 \cdot 10^{-3} F \quad (6.3)$$

Tato zdrojová část obsahuje také LED diodu pro indikaci přítomnosti napětí. Nesmíme opomenout, že napětí, které se bude nacházet na pozici „+U“ může narůstat do několika hodnot. Pro tuto skutečnost je zde vytvořeno napětí 3 V. Toto napětí je sníženo za pomoci dvojice rezistorů R_5 a R_7 . Výkon této dvojice rezistorů lze vypočítat podle vzorce:

$$P_{R5,R7} = R_{R5,R7} \cdot \left(\frac{U_{max} - U_{D3}}{R_{R5,R7}} \right)^2 = 1650 \cdot \left(\frac{46,7 - 3}{1650} \right)^2 = 1,16 W \quad (6.4)$$

Indikační dioda LED_2 je následně zapojena s předřadným rezistorem R_6 , jehož výkon lze vypočítat podle vzorce:

$$P_{R6} = R_{R6} \cdot \left(\frac{U_{D3} - \Delta U_{LED2}}{R_6} \right)^2 = 47 \cdot \left(\frac{3 - 2}{47} \right)^2 = 0,02 W \quad (6.5)$$



Obr. 6.7 Schéma vyhlazovacího filtru pro hlavní zdroj

6.3.2 Napájecí zdroj -3 V / +33 V

Napájení veškerých operačních zesilovačů je navrženo v maximálním možném napájecím rozsahu ± 18 V (tzn. -3 V / +33 V). Kladné napětí +33 V tohoto zdroje je vytvořeno za pomoci lineárního stabilizátoru LM317AHT, který je ve schématu označen jako U_1 . Výstupní napětí tohoto lineárního stabilizátoru je dáno rezistory R_1 , R_2 a R_3 . Napětí je tedy dáno vztahem:[8]

$$\begin{aligned}
 U_{U1} &= 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} \right) + I_{adj} \cdot \left(\frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} \right) = \\
 &= 1,25 \cdot \left(1 + \frac{10^4 \cdot 15 \cdot 10^3}{10^4 + 15 \cdot 10^3} \right) + 46 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{10^4 \cdot 15 \cdot 10^3}{10^4 + 15 \cdot 10^3} \right) = 32,776 \text{ V} \quad (6.6)
 \end{aligned}$$

Záporné napětí -3 V je vytvořeno za pomoci „nábojové pumpy“, která je tvořena dvojicí diod a dvojicí kondenzátorů a stabilizována za pomoci Zenerovy diody BZV55C3V0, která je ve schématu označena D_6 . Záporné napětí je vytvořeno, aby mohla hlavní regulační část pracovat od napětí 0 V. Obvod je napájen z usměrňovacího můstku DB107S, který je označen D_1 . Maximální možný dodaný proud tohoto můstku je dle distributora 1 A. Tato hodnota je vybraná s dostatečnou rezervou. Vlastní spotřeba operačních zesilovačů je velice nízká. Všechny kondenzátory, které obsahuje tato zdrojová část jsou dimenzovány na napětí 50 V. Nejvyšší napětí, které se může nacházet na svorkách vstupních vyhlazovacích kondenzátorů lze stanovit podle vzorce:

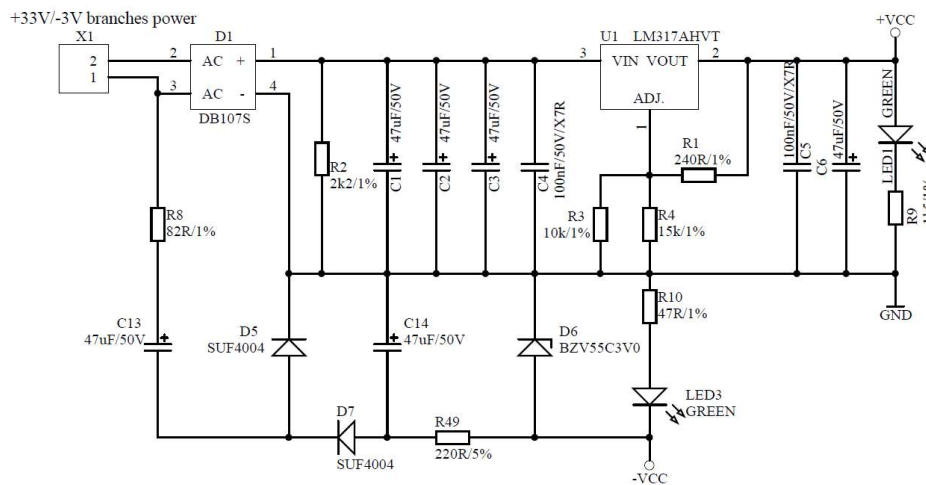
$$U_{CMAX} = 33 \cdot \sqrt{2} = 46,67 \text{ V} \quad (6.7)$$

Zdroj je doplněn o signalizační zelené LED diody v SMD provedení. Výkon předřadného rezistoru R_9 pro diodu LED_1 lze stanovit podle vzorce:

$$P_{R9} = R_9 \cdot \left(\frac{U_{U1} - \Delta U_{LED1}}{R_9} \right)^2 = 1500 \cdot \left(\frac{32,776 - 2}{1500} \right)^2 = 0,632 \text{ W} \quad (6.8)$$

Výkon předřadného rezistoru pro LED diodu LED3 lze stanovit podle vzorce:

$$P_{R10} = R_{10} \cdot \left(\frac{U_{D6} - \Delta U_{LED3}}{R_{10}} \right)^2 = 47 \cdot \left(\frac{3 - 2}{47} \right)^2 = 0,0213 \text{ W} \quad (6.9)$$



Obr. 6.8 Schéma zdroje pro operační zesilovače

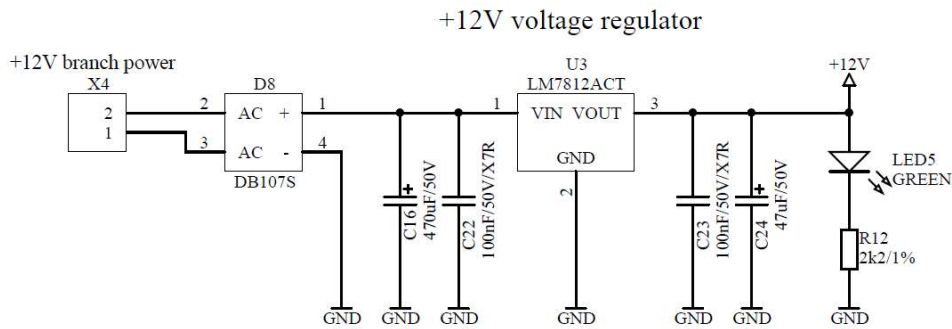
6.3.3 Napájecí zdroj +12 V / 1 A

Tento pomocný zdroj je připravený pro napájení externích desek, kde se jedná zejména o desku s přepínáním odboček transformátoru. Tato napěťová úroveň je využita na relé, které pracují s odbočkami transformátoru. Celková spotřeba na 12V větvi činí v součtu odběr maximálně 200 mA. Byl zvolen lineární stabilizátor LM7812ACT. Tento lineární stabilizátor je tedy dostatečně předdimenzovaný. Hlavní částí celého zapojení zdroje je distributorem doporučené zapojení integrovaného lineárního stabilizátoru. Toto zapojení ovšem bylo třeba doplnit o vyhlazovací kondenzátory. Výpočet minimální hodnoty vyhlazovacího kondenzátoru lze stanovit podle vzorce:

$$C_{MIN} = \frac{I_{U3MAX} \cdot \Delta t}{\Delta U} = \frac{0,2 \cdot 0,01}{4,97} = 0,402 \cdot 10^{-3} \text{ F} \quad (6.10)$$

Kapacita kondenzátoru však byla zvolena s ohledem na dostatečné zásoby tohoto typu kondenzátoru. Usměrnovací můstek byl zvolen DB107S, který jak je již známo má distributorem daný maximální dodávaný proud o hodnotě 1 A. Posledním nedílným doplněním bylo přidání indikační LED diody. Výkon předřadného rezistoru lze stanovit dle známého vztahu:

$$P_{R12} = R_{12} \cdot \left(\frac{U_{U3} - \Delta U_{LED5}}{R_{12}} \right)^2 = 2200 \cdot \left(\frac{12 - 2}{2200} \right)^2 = 0,045 \text{ W} \quad (6.11)$$



Obr. 6.9 Schéma pomocného 12V zdroje

6.3.4 Napájecí zdroj +24 V / 1 A

Napájecí zdroj s úrovní napětí 24 V je využit zejména pro napájení ventilátorů, které jsou nezbytnou součástí celého chladicího systému skříně. Zvolený stabilizátor LM7824CT má udaný maximální dodaný proud 1 A. Hodnota maximálního dodaného proudu je tedy dostatečně předdimenzovaná. Hlavním předpokladem je chlazení pouze jedním ventilátorem o příkonu 5 W. Maximální dodaný proud do tohoto ventilátoru lze vypočítat podle známého vzorce:

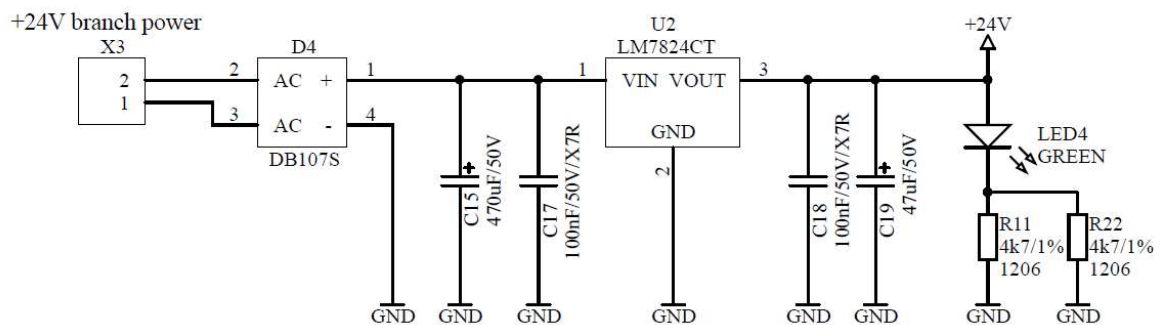
$$I_{MAX} = \frac{P_{fan}}{U} = \frac{5}{24} = 0,208 \text{ A} \quad (6.12)$$

Zapojení tohoto lineárního stabilizátoru bylo zvoleno s ohledem na doporučené zapojení výrobcem. Toto zapojení bylo doplněno o filtrační kondenzátor. Minimální kapacitu tohoto vyhlazovacího kondenzátoru lze stanovit podle známého vzorce:[9]

$$C_{MIN} = \frac{I_{U2MAX} \cdot \Delta t}{\Delta U} = \frac{0,3 \cdot 0,01}{9,94} = 0,302 \cdot 10^{-3} \text{ F} \quad (6.13)$$

Avšak hodnota vyhlazovací kapacity byla zvolena s ohledem na dostatečné zásoby této hodnoty. Dále byl zdroj doplněn o indikační LED diodu. Výpočet předřadného rezistoru lze taktéž stanovit dle známého vzorce:

$$P_{R11,R12} = R_{R11,R12} \cdot \left(\frac{U_{U2} - \Delta U_{LED4}}{R_{R11,R12}} \right)^2 = 2350 \cdot \left(\frac{24 - 2}{2350} \right)^2 = 0,206 \text{ W} \quad (6.14)$$



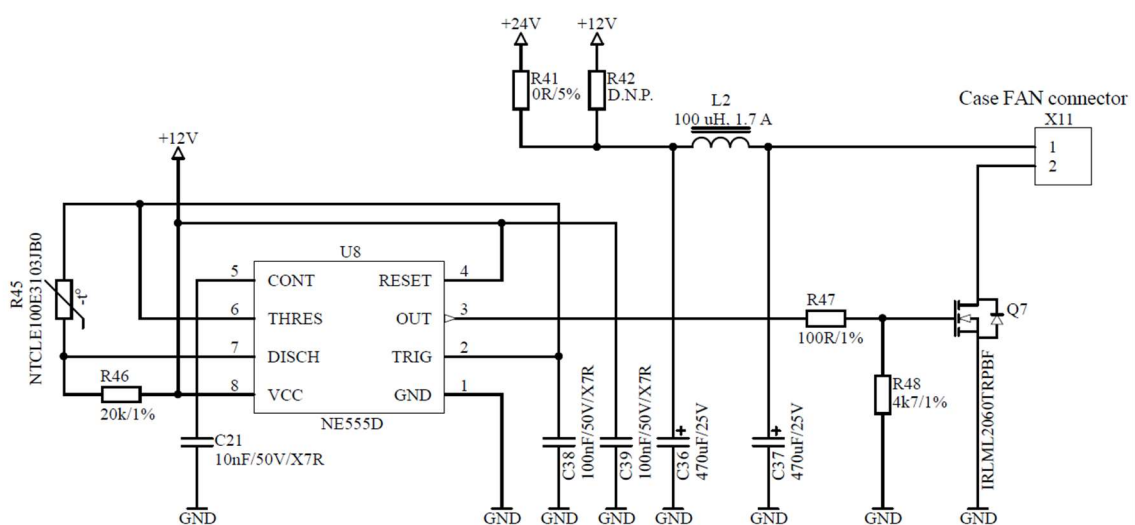
Obr. 6.10 Schéma pomocného 24V zdroje

6.3.5 PWM regulátor pro ventilátory

Hlavním zapojením celého regulátoru je zapojení s pomocí časovače NE555D. Tento integrovaný časovací obvod je asi jeden z nejznámějších integrovaných obvodů. Zapojení pro generování PWM signálu je v souladu s katalogem dodaným výrobcem této komponenty. Ventilátor, který je řízený tímto regulátorem má proměnlivé otáčky. Jedná se tedy o regulaci se střídou přibližně od 50 % do 80 %. Je patné, že ačkoli bude chladič studený, tak ventilátor bude pracovat na 50 % výkonu. Tato regulace probíhá pomocí NTC termistoru označeným ve schématu jako R₄₅. Celá deska plošného spoje obsahující hlavní regulační část laboratorního zdroje, obsahuje ještě jeden PWM regulátor otáček ventilátoru, kde se nachází místo tohoto NTC termistoru konektor JST z řady PH. Do tohoto konektoru se následně připojí čidlo, které je určeno pro montáž do chladiče a tím snímá přímo teplotu chladičového systému. Výstup integrovaného obvodu U₈ je připojen za pomoci dvojice rezistorů na gate tranzistoru N - MOSFET označeným jako Q₇. Výkon, který bude tento spínací tranzistor zatěžovaný, lze stanovit dle známého vzorce:[10]

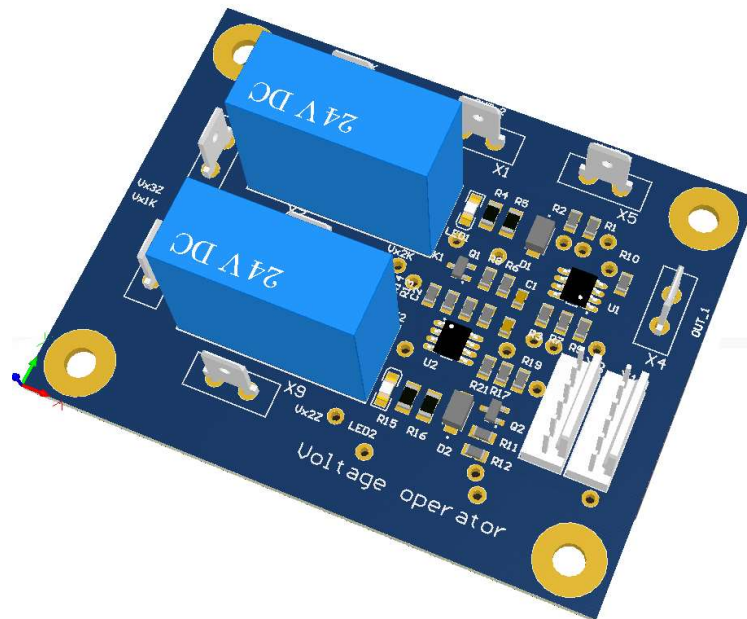
$$P_{Q7} = R_{DS(on)} \cdot I_{fan}^2 = 0,48 \cdot 0,208^2 = 20,77 \cdot 10^{-3} \text{ W} \quad (6.15)$$

Z toho vyplývá, že tranzistor je dostatečně výkonově dimenzovaný. Trojice součástek C₃₆, C₃₇ a L₂ tvoří EMC filtr, který se po předchozích měřeních osvědčil jako nejvhodnější. Konektor X₁₁ je určen pro připojení ventilátoru. Dvojice rezistorů R₄₁ a R₄₂ slouží pro možnost změny napájecího napětí pro ventilátor. Je tedy možné využít jak 24V napájení tak i 12V napájení. Při změně napětí stačí tedy pohodlně pouze osadit jiný z dvojice rezistorů.



Obr. 6.11 Schéma regulace ventilátoru

7. Přepínač odboček transformátoru



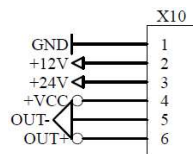
Obr. 7.1 3D návrh přepínání odboček

7.1 Úvod do zařízení

Tento typ zařízení slouží k přepínání odboček hlavního transformátoru. Sekundární vinutí hlavního transformátoru pro napájení hlavních regulačních částí, které jsou rozděleny každé na 3 dílčí vinutí. Toto rozdělení je vytvořeno z důvodu snížení ztrát laboratorního zdroje a zároveň pro menší teplotní namáhání jednotlivých komponent.

7.2 Popis zařízení

Hlavním prvkem celého zařízení je zapojení neinvertujícího komparátoru s hysterezí. Toto zapojení je známé hlavně pro převodníky z analogových signálů na signály digitální. Celé zařízení je spojeno s deskou hlavní regulační části přes konektor X8, nebo X10. Jedná se o 6-pin konektor MOLEX z řady KK254. Pomocí tohoto konektoru jsou přivedeny jak

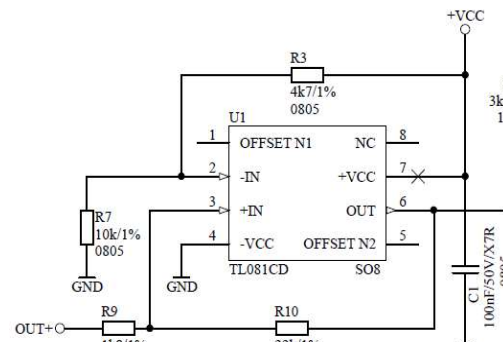


Obr. 7.2 Propojovací konektor

signálové kontakty, tak i napájecí kontakty. Maximální zatížení pro jeden pin konektoru je při stavu, kdy jsou sepnuta obě relé. Maximální zatížení 12 V napájecí větve je tedy rovno:

$$I_{12VMAX} = 2 \cdot \frac{U_{12V}}{R_{RELE}} + 2 \cdot I_{LED} = 2 \cdot \frac{12}{220} + 2 \cdot \frac{(12-2)}{1950} = 0,119 \text{ A} \quad (7.1)$$

K tomuto zatížení je ještě třeba přičíst proud indikačních LED diod. Nebylo zde zmíněno napájení operačních zesilovačů. Tyto obvody jsou napájeny z 33V větve, pro pokrytí kompletní škály možných příchozích signálových napětí. Byly použity běžně dostupné operační zesilovače pod označením TL081CD. Výrobce stanovena maximální spotřeba těchto operačních zesilovačů činí 2,8 mA. Jak již bylo zmíněno hlavní a nedílnou součástí celého zapojení je neinvertující komparátor s hysterezí. Vstupní signál je přiveden



Obr. 7.3 Schéma přepínač odboček – komparátor

na neinvertující vstup operačního zesilovače U_1 přes vstupní rezistor R_9 . Kladná zpětná vazba operačního zesilovače je tvořena přes rezistor R_{10} . Komparační napětí pro překlopení výstupu operačního zesilovače (komparátoru) do kladné saturace je tedy:[11]

$$U_{K-}' = \frac{U_{SAT}}{R_{10}} \cdot R_9 = \frac{33}{22 \cdot 10^3} \cdot 1800 = 2,7 \text{ V} \quad (7.2)$$

Hodnotu komparačního napětí pro překlopení komparátoru do záporné saturace operačního zesilovače lze vypočítat obdobným způsobem:[12]

$$U_{K+}' = -\frac{U_{SAT}}{R_{10}} \cdot R_9 = -\frac{33}{22 \cdot 10^3} \cdot 1800 = -2,7 \text{ V} \quad (7.3)$$

Je třeba brát v potaz, že obě hodnoty komparačního napětí ať kladné nebo záporné, jsou vztaženy vzhledem k referenčnímu napětí přivedenému na invertující vstup operačního zesilovače (komparátoru). Hodnota tohoto referenčního napětí tedy činí:[12]

$$U_{U1REF} = +VCC \cdot \frac{R_7}{R_7 + R_3} = 33 \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 4700} = 22,449 \text{ V} \quad (7.4)$$

Lze konstatovat, že komparační napětí pro překlopení komparátoru do kladné saturace činí:[12]

$$U_{K-} = U_{K-}' + U_{U1REF} = 2,7 + 22,449 = 25,149 \text{ V} \quad (7.5)$$

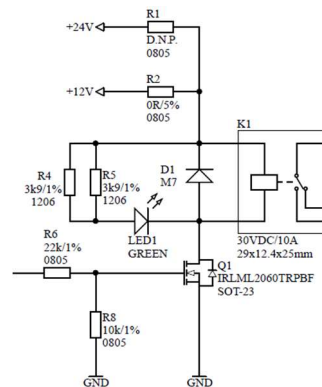
Napětí pro překlopení komparátoru do záporné saturace lze spočítat obdobně podle vztahu:[12]

$$U_{K+} = U_{K+}' + U_{U1REF} = -2,7 + 22,449 = 19,749 \text{ V} \quad (7.6)$$

Pro výpočet hysterezního napětí tedy lze využít vzorec:[12]

$$U_H = U_{K-'} - U_{K+'} = 2,7 - (-2,7) = 5,4 V \quad (7.7)$$

Toto hysterezní napětí je třeba zvolit dostatečně vysoké z důvodu kolísání napětí na výstupu zdroje. Distributor zvoleného relé udává čas pro sepnutí 4 ms. Vzhledem k tomu, že vyhlazovací kondenzátory pro hlavní regulační část zdroje jsou navrženy pro čas 10 ms a jsou předimenzované, lze tuto hodnotu částečně zanedbat. Na tuto hodnotu je třeba přihlídnout pouze při volbě hysterezního napětí. Rezistory, které jsou použity pro vytvoření napěťové reference, vstupní impedance a zpětno-vazební impedance, jsou zvoleny v pouzdře 0805. V tomto pouzdře mají rezistory maximální ztrátový výkon 1/8 W. Tato hodnota je plně vyhovující mým požadavkům. Proud do invertujícího a neinvertujícího vstupu komparátoru se pohybuje v řádech pA, nebo maximálně nA. Na obrázku Obr.2.16 je možné vidět kondenzátor C₁. Jedná se o keramický kondenzátor o hodnotě 100 nF. Tento blokující kondenzátor působí jako místní kondenzátor pro zásobu elektrické energie pro operační zesilovač U₁. Operační zesilovač má klidovou spotřebu velice nízkou, ale při překlopení ze záporné saturace do kladné saturace, nebo opačným směrem se jeho spotřeba zvedne



Obr. 7.4 Schéma přepínač odboček – spínání relé

přibližně 100 násobně. Tuto potřebnou energii dodá tento blokovací kondenzátor, který se následně dobije. Pokud by tento kondenzátor byl zvolen nevhodně, nebo by zde nebyl mohl by dojít vlivem zvýšené okamžité spotřeby k poklesu napájecího napětí operačního zesilovače a to by vložilo chybu do předpokladů a výpočtů chování celého obvodu. Další nedílnou částí tohoto zařízení je spínací část. Hlavním prvkem této části je spínací relé, které připíná a odepíná odbočky na transformátoru. Toto relé bylo zvoleno s ohledem na spínaný střídavý proud. Maximální zatížitelnost kontaktů udává distributor relé 8 A při napětí 230 V střídavých. Tato hodnota je plně vyhovující, protože maximální proud do zátěže zdroje bude 5 A. Relé K₁ je spínané pomocí tranzistoru Q₁. Tranzistor Q₁ je typu N-MOSFET. Jeho maximální proud drainu je distributorem stanoven na 1,2 A. Tato hodnota je pro mě plně

vyhovující. Maximální proud tranzistorem v sepnutém stavu lze vypočítat podle vztahu:

$$I_{Q1MAX} = \frac{+12V}{R_{K1}} + \frac{+12V - \Delta U_{LED}}{\frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}} = \frac{12}{220} + \frac{12 - 2}{\frac{3900 \cdot 3900}{3900 + 3900}} = 59,7 \cdot 10^{-3} A \quad (7.8)$$

Maximální dovolené napětí mezi drain a source je udáno 60 V. Tato hodnota je vyhovující pro obě varianty napájení. Maximální ztrátový výkon tranzistoru lze ověřit podle vzorce:

$$P_{Q1MAX} = R_{DS(on)} \cdot I_{Q1MAX}^2 = 0,48 \cdot 0,0597^2 = 1,71 \cdot 10^{-3} W \quad (7.9)$$

Tato hodnota je plně vyhovující. Je třeba si dát pozor na parametr maximální dovolené napětí mezi gate a source. Výrobce stanovena hodnota je rovna ± 16 V. Napětí na gate je nastaveno pomocí odporů R_6 a R_8 . Tyto odpory tvoří napěťový dělič. Na vstupní části děliče je zapojen výstup z komparátoru, tedy zde mohou být dvě hodnoty napětí. První hodnotou je záporné saturační napětí operačního zesilovače, které je v našem případě 0 V. Druhou hodnotou je kladné saturační napětí operačního zesilovače. Toto napětí nabývá hodnoty přibližně 33 V. Maximální napětí na gate lze tedy spočítat pomocí vzorce:[13]

$$U_{GQ1MAX} = +VCC \cdot \frac{R_8}{R_8 + R_6} = 33 \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3} = 10,31 V \quad (7.10)$$

Toto napětí tedy plně vyhovuje katalogovým hodnotám. Rezistor R_8 vytváří zároveň tzv. pull down rezistor pro gate tranzistoru.

Tranzistor je spínáný elektrickým polem a mohla by nastat situace, kdy se naindukují nějaké nežádoucí elektrické napětí na gate tohoto tranzistoru, který bude sepnut v nežádoucím čase. Rezistor R_8 nám zajistí vybití tohoto nežádoucího napětí. Obvod obsahuje indikační LED diodu pro snadné a jednoznačné určení stavu, ve kterém se nachází poloha kontaktů elektromagnetického relé K_1 . Proud indikační LED diodou lze vypočítat jako:

$$I_{LED1} = \frac{+12V - \Delta U_{LED}}{\frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}} = \frac{12 - 2}{\frac{3900 \cdot 3900}{3900 + 3900}} = 5,13 \cdot 10^{-3} A \quad (7.11)$$

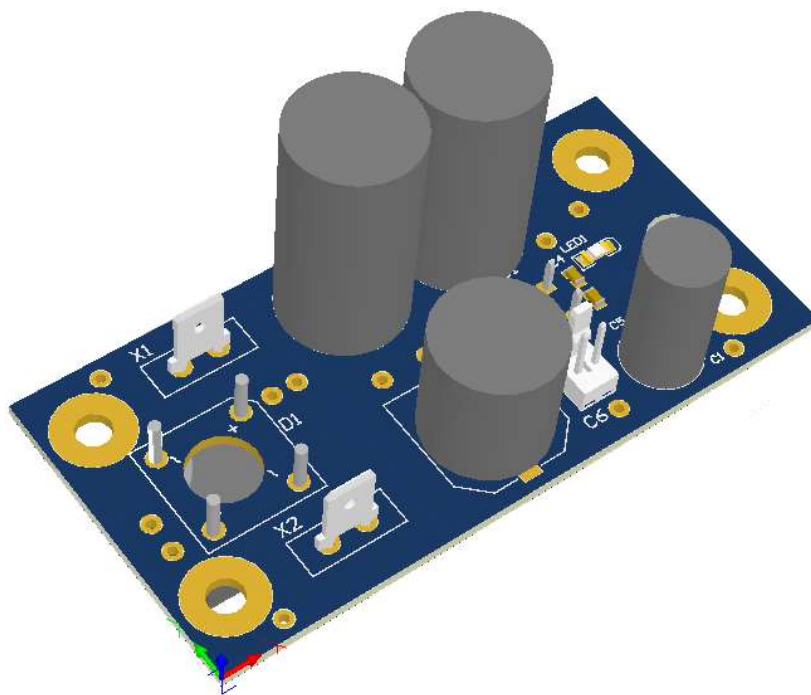
Výkon připadající na jeden předřadný rezistor odpovídá tedy:

$$P_{R4MAX} = R \cdot \left(\frac{I_{LED1}}{2}\right)^2 = 3900 \cdot \left(\frac{5,13 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 = 25,66 \cdot 10^{-3} W \quad (7.12)$$

Tato hodnota je plně vyhovující. Pomocí rezistorů R_1 a R_2 je možné zvolit napájení spínaného obvodu. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu snadné změny napájecího napětí relé. Je ale třeba dát si pozor na ztrátový výkon na předřadných rezistorech pro indikační LED diodu. Při prohození těchto odporů se napětí změní z 12 V na 24 V. To znamená, že i proudové zatížení těchto rezistorů bude přibližně dvounásobné. Avšak ztrátový výkon na rezistorech by měl být v pořádku, protože bude vycházet přibližně 50 mW na jeden rezistor, který má v pouzdře 1206 maximální ztrátový výkon 1/4 W.

Poslední částí tohoto zařízení jsou konektory, přes které jsou připojeny jak vstupní napěťové úrovně z hlavního toroidního transformátoru, tak i výsledná napěťová úroveň pro připojení na desku hlavní regulační část. Typ konektoru byl zvolen FIX&FASTEN PCH250, který je běžně označován jako „faston“. Maximální spolehlivé proudové zatížení tohoto konektoru se pohybuje přibližně kolem 25 A. Tato hodnota je pro tyto potřeby možná zbytečně moc předimenzovaná, avšak cena a jednoduchost řešení tohoto konektoru jednoznačně zvítězí nad ostatními faktory volby.

8. Stabilní neregulovatelné zdroje



Obr. 8.1 3D návrh neregulovatelného zdroje

Ke dvěma plně regulovatelným zdrojům je více než vhodné přidat ještě nějaké stabilní zdroje, pro snadné okamžité napájení. Tyto zdroje jsou vhodné, pokud je třeba použití více napájecích úrovní. Napěťové úrovně těchto zdrojů byly zvoleny 5 V, 12 V a 24 V stejnosměrného napětí.

8.1 Stabilní zdroj 5 V / 2 A

8.1.1 Úvod do zařízení

Zdroj 5 V patří jednoznačně mezi jednu z nejpoužívanějších napěťových úrovní u slaboproudé techniky. Jedná se většinou o napájení pomocných komponent nebo logických obvodů a podobných vyhodnocovacích zařízení. Jak je již známo, tak většina sdělovací

techniky a interaktivních telefonů nebo přenosných multimediálních zařízení má možnost dobít z USB portu, který se nachází v dnes již běžně dostupném zařízení - ať již v notebooku nebo stolním počítači. USB port obsahuje mimo jiné též 5 V zdroj pro napájení, nebo nabíjení připojených externích komponent či zařízení. Maximální možný dodaný proud do externích zařízení je 2 A. Tato hodnota by měla plně pokrýt většinu požadavků, avšak pokud by nepokryla, lze vhodně párovat různé zdroje, nebo využít výkonnější zdroj.

8.1.2 Popis zařízení

Vstupními komponenty jsou bezpochyby přívodní konektory, které byly zvoleny pro jednoduchost typu FIX&FASTEN PCH250. Za těmito konektory se nachází jednofázový usměrňovací můstek D_1 . Typ tohoto můstku byl zvolen KBPC610. Důležitými parametry tohoto usměrňovacího můstku jsou maximální dovolené závěrné napětí, které činí 1000 V a dále maximální proud, který činí 6 A. Vinutí hlavního transformátoru, které je propojeno se vstupními svorkami tohoto zdroje má napěťovou úroveň 12 V. Maximální napětí, které se tedy může objevit na svorkách tohoto usměrňovacího můstku je:

$$U_{D1MAX} = 11,6 \cdot \sqrt{2} \cdot \Delta U = 9,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1 = 18,05 \text{ V} \quad (8.1)$$

Maximální proudové zatížení tohoto můstku bude:

$$I_{D1MAX} = I_{OUT} + I_Q = 2 + 0,008 = 2,008 \text{ A} \quad (8.2)$$

Hodnota I_Q odpovídá vlastní spotřebě lineárního stabilizátoru napětí L78S05CV. Usměrňovací můstek je tedy dostatečně předdimenzovaný v obou parametrech. Za usměrňovacím můstkem se nachází skupina vyhlazovacích elektrolytických kondenzátorů. Výpočet minimálního vyhlazovacího kondenzátoru pro tento zdroj je:

$$C_{MIN} = \frac{I_{D1MAX} \cdot \Delta t}{\Delta U} = \frac{2,008 \cdot 0,01}{4,22} = 4,76 \cdot 10^{-3} \text{ F} \quad (8.3)$$

Napětí ΔU lze vypočítat jako:

$$\Delta U = 9,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,9 - 8 = 4,22 \text{ V} \quad (8.4)$$

V tomto vzorci je zahrnuto maximální napětí při minimální toleranci daného napětí distributorem, avšak je třeba odečíst minimální napětí pro správnou funkčnost lineárního stabilizátoru U_1 . Napětí, na které musí být vyhlazovací kondenzátory dimenzované činí:

$$U_{CMAX} = 9,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1 = 14,93 \text{ V} \quad (8.5)$$

Toto napětí je tedy dostatečně předdimenzované. Ve schématu je však napětí navrženo o dost vyšší. Je to dáno tím, že je pro všechny zdroje využitý pouze jeden typ tištěného spoje, který je vždy osazen komponenty podle potřeby. Vlastní lineární stabilizátor napětí byl

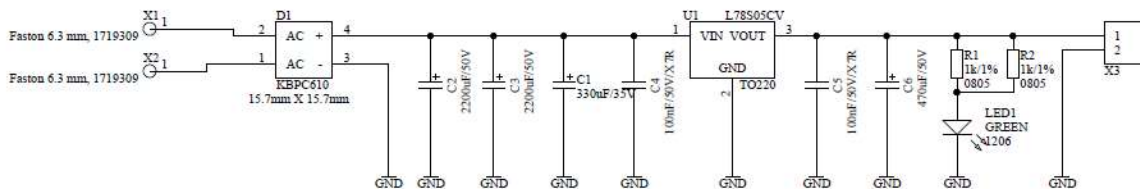
zvolen typu L78S05CV. Výstupní parametry tohoto stabilizátoru jsou napětí 5 V a maximální dodaný proud do zátěže 2 A. Obvod obsahuje proudovou i tepelnou pojistku, tedy by měl být velice odolný. Výrobce doporučuje již v katalogovém listu určitá zapojení tohoto obvodu. Toto schéma vychází z doporučeného zapojení. Dále je třeba co nejlíže svorkám stabilizátoru je umístit 100 nF kondenzátory pro lokální zásobu energie. Výstup zdroje je pak doplněn kondenzátorem o hodnotě 470 μ F a indikační LED diodou. Proud indikační LED diodou je omezen dvojicí paralelně zapojených rezistorů R_1 a R_2 . Proud LED diodou lze tedy vypočítat podle vzorce:[14]

$$I_{LED1} = \frac{U_Z - U_{LED1}}{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{5 - 2}{\frac{10^3 \cdot 10^3}{10^3 + 10^3}} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ A} \quad (8.6)$$

Tento proud je plně dostačující pro znatelné svícení LED diody. Výstup zdroje je potom přiveden na dvoupinový konektor od firmy MOLEX z řady KK254. Výkon připadající na dvojici rezistorů bude tedy:

$$P_{R1+R2} = R \cdot I_{LED1}^2 = 500 \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2 = 18 \cdot 10^{-3} \text{ W} \quad (8.7)$$

Tento výkon připadá na dvojici paralelně zapojených rezistorů v pouzdře 0805, tato hodnota bude plně vyhovující. Většina komponent je navržena pro montáž shora. Pouze usměrňovací můstek D_1 a lineární stabilizátor U_1 jsou navrženy pro montáž zdola. Tato skutečnost je zvolena z důvodu toho, že deska se namontuje na chladič a tím komponenty, které jsou navrženy pro montáž zdola, lze pohodlně přišroubovat přímo na chladič. Pouzdro



Obr. 8.2 schéma stabilního 5V zdroje

lineárního stabilizátoru bylo zvoleno TO220 pro snadnou montáž na chladič. Je důležité dbát oddělení potenciálu křídélka stabilizátoru od potenciálu chladiče. Na chladiči je potenciál PEN nebo-li zemnicí ochranný vodič. Tuto skutečnost zařídí vhodně zvolená podložka.

8.1.3 Výpočet teplotních ztrát

Výpočet tepelných ztrát je důležitá část návrhu. Samostatný výpočet je ovšem při většině případů pouze orientační. Přesnou a důvěryhodnou hodnotu je vždy třeba prakticky ověřit otestováním zejména chladiče, ale také nuceného chlazení a tepelných vlastností izolační podložky. Parametr chladiče pro lineární stabilizátor U_1 lze zjistit následovně:

$$\Delta t = (R_{THJC} + R_{PAd} + R_{TH}) \cdot P_{TOT} \Rightarrow$$

$$R_{TH} = \frac{\Delta t}{P_{TOT}} - R_{THJC} - R_{PAd} = \frac{(150 - 20 - 40)}{14,93} - 5 - 0,3 = 0,728 \text{ K/W} \quad (8.8)$$

Hodnota R_{THJC} odpovídá tepelnému odporu z čipu lineárního stabilizátoru na pouzdro TO220. Tato hodnota je udávána výrobcem v katalogovém listu. Hodnota R_{PAd} odpovídá tepelnému odporu izolační podložky. Tato podložka zajistí napěťovou izolaci mezi pouzdem lineárního stabilizátoru a chladičem. Byla zvolena kaptonová podložka, kde se hodnota tepelného odporu udává 0,3 K/W. Hodnota Δt odpovídá maximální dovolené teplotě samostatného čipu stabilizátoru, od které je třeba odečíst stanovenou teplotu ve skříní zařízení a bezpečnostní odchylku. Deska je navržena pro přímou montáž na chladič. Z toho vyplývá, že rozměr chladiče nemá zásadní maximální parametr. Z katalogového listu celosvětově známé německé firmy fischerelektronik byly odečteny údaje pro lisovaný chladič SK 92, pro který odpovídá hodnota teplotního odporu R_{TH} v rozmezí 2,15 – 0,9 K/W. Tato hodnota tedy stále nevyhovuje výpočtovému požadavku. Ale je jasné, že se tyto desky budou společně s hlavními regulačními deskami montovat na chladičový tunel, kterým bude proudit vzduch. Ventilátor, který bude vhánět vzduch do chladiče bude regulován v závislosti na teplotě chladiče, avšak minimální hodnota otáček ventilátoru bude přibližně 50 %.[14][15]

Tudíž minimální dodaný objem vzduchu do chladičového tunelu bude okolo 70 m³/h. Při správném ofukování lze dosáhnout až třetinového tepelného odporu chladiče. Lze tedy konstatovat, že teoretická nejnižší hodnota teplotního odporu tohoto chladičového systému bude 0,3 K/W. Praktické parametry je vhodné odměřit na samotném prototypu zařízení. Výhodou je, že lineární stabilizátor napětí L78S05CV obsahuje mimo jiné také tepelnou pojistku, která brání tepelné destrukci zařízení. Druhým zdrojem tepla v tomto zařízení je usměrňovací můstek KBPC610, který nese označení ve schématu D₁. Z katalogu výrobce byla odečtena hodnota oteplení při průchodu 2 A a montáži na chladič okolo 15 – 20 °C. Tuto hodnotu lze teoreticky zanedbat.[14]

8.2 Stabilní zdroj 12 V / 2 A

8.2.1 Úvod do zařízení

Dalším stabilním neregulovatelným napěťovým zdrojem je zdroj o hodnotě napětí 12 V. Tato hodnota napětí patří též bezpochyby mezi nejběžněji používanou napěťovou úroveň. Tato napěťová úroveň je v rozsáhlém měřítku využita v automobilech, motocyklech a některých nákladních automobilech. Dalšími použitími jsou například různá čidla a nízkonapěťové stejnosměrné aplikace. Je tedy zřejmé, že 12 V zdroje je nedílnou součástí

běžné elektrické laboratoře.

8.2.2 Popis zařízení

Elektrické schéma tohoto zdroje je téměř shodné se stabilním zdrojem 5 V/ 2 A. Jsou shodné jak vstupní komponenty, tak výstupní komponenty včetně filtračních kondenzátorů a usměrňovacího můstku. Zatížení vstupních komponent lze určit podle následujících vztahů. Maximální napěťové zatížení vstupního usměrňovacího můstku D_1 lze určit podle známého vzorce:[14]

$$U_{D1MAX} = 17,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \Delta U = 12 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1 = 27,22 \text{ V} \quad (8.9)$$

Toto napětí tedy vyhovuje toleranci. Maximální zatěžovací proud tohoto usměrňovacího můstku D_1 činí:

$$I_{D1MAX} = I_{OUT} + I_Q = 2 + 0,008 = 2,008 \text{ A} \quad (8.10)$$

Kde hodnota I_{OUT} udává maximální proud dodaný do zátěže zdroje a I_Q udává vlastní spotřebu stabilizátoru L78S12CV. Velikost filtrační kapacity lze stanovit jako:

$$\Delta U = 15,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,9 - 15 = 4,7 \text{ V} \quad (8.11)$$

Lze tedy konstatovat, že není nezbytně nutné, aby byla osazena vyhlazovací kapacita v plném množství. Vypočítaným parametrům vyhovuje dostatečně hodnota blokovacích kondenzátorů C_2 a C_3 , která činí v součtu 4,4 mF. Napěťové zatížení těchto blokovacích kondenzátorů činí:

$$U_{CMAX} = 15,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1 = 24,11 \text{ V} \quad (8.12)$$

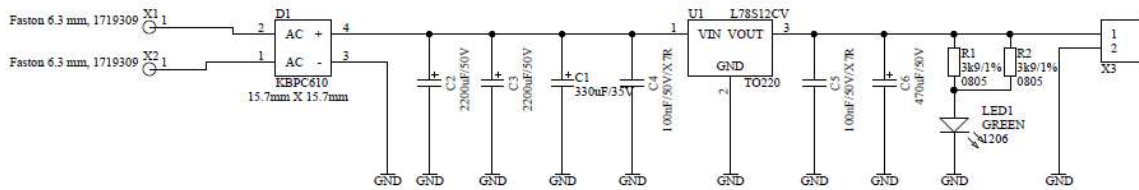
Pro tento typ zdroje byl zvolen stabilizátor napětí L78S12CV pod označením U1. Jedná je tedy o lineární stabilizátor napětí s výstupním napětím 12V a maximálním dodaným proudem do zátěže 2A. Doporučené zapojení pro tento stabilizátor je vhodné jako pro stabilizátor L78S05CV. Na výstupu tohoto zdroje je mimo výstupního konektoru a výstupní kapacity taktéž navržena indikační LED dioda LED_1 pro indikaci správné funkčnosti zdroje. Proud touto indikační LED diodou lze stanovit podle vzorce:[14]

$$I_{LED1} = \frac{U_Z - U_{LED1}}{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{12 - 2}{\frac{3,9 \cdot 10^3 \cdot 3,9 \cdot 10^3}{3,9 \cdot 10^3 + 3,9 \cdot 10^3}} = 5,13 \cdot 10^{-3} \text{ A} \quad (8.13)$$

Tento proud je pouze pro indikaci napětí pomocí malé SMD LED diody, která má pouzdro 1206, bude plně vyhovující. Výkon, na který musí být dimenzován předřadný rezistor pro LED diodu lze určit podle vzorce:

$$P_{R1+R2} = R \cdot I_{LED1}^2 = 1950 \cdot (5,13 \cdot 10^{-3})^2 = 51,3 \cdot 10^{-3} \text{ W} \quad (8.14)$$

Dvojice rezistorů R_1 a R_2 je zapojena paralelně, což vede k dostatečné výkonové rezervě.



Obr. 8.3 Schéma stabilního 12V zdroje

8.2.3 Výpočet teplotních ztrát

Do výpočtu tepelných ztrát celého zařízení musí být opět zahrnutý jak ztráty samostatného lineárního napěťového stabilizátoru L78S12CV, tak vstupního usměrňovacího můstku KBPC610. Vypočítané teplotní ztráty pro tento obvod ovšem opět platí pouze orientačně a výsledné reálné hodnoty oteplení součástek a chladičů je třeba prakticky ověřit a změřit. Maximální teplotní ztráty připadající na usměrňovací můstek KBPC610 jsou stejně jako u předešlého obvodu při průchodu trvalého proudu o hodnotě 2A přibližně 15 – 20 °C. Tato hodnota je ovšem čistě teoretická. Výhodou je, že můstek je kompletně izolovaný na zadní straně, ovšem tato skutečnost má negativní vliv na převod tepla ze součástky na chladič. Tepelný odpor této součástky bude tedy vyšší, než při přímé montáži vodivých částí přes vhodnou podložku na chladič. Druhou součástkou, která produkuje teplo v tomto zařízení bude lineární stabilizátor L78S12CV. Potřebný teplotní odpor chladiče lze tedy stanovit podle vzorce:[14]

$$\Delta t = (R_{THJC} + R_{PAd} + R_{TH}) \cdot P_{TOT} \Rightarrow$$

$$R_{TH} = \frac{\Delta t}{P_{TOT}} - R_{THJC} - R_{PAd} = \frac{(150 - 20 - 40)}{18,22} - 5 - 0,3 = 1,45 \text{ K/W} \quad (8.15)$$

Celé zařízení je vzhledem ke shodné konstrukci a návrhu se zdrojem 5 V/ 2 A připraveno k montáži na chladič SK 92 od firmy fischerelektronik v celé své ploše, který má hodnotu teplotního odporu R_{TH} v rozmezí 2,15 – 0,9 K/W. Tato hodnota tedy splňuje požadavky na teplotní odpor. Stejně jako u předchozího obvodu bude tento chladič součástí chladicího tunelu, v němž budou proudění vzduchu zařizovat ventilátory. Hodnotu tepelného odporu lze tedy jak je již známo snížit na 1/3, pro kterou odpovídá ztrátový výkon až 0,3 K/W. Tato hodnota bude tedy plně vyhovující.[15]

8.3 Stabilní zdroj 24 V / 2 A

8.3.1 Úvod do zařízení

Posledním stabilním neregulovatelným zdrojem je zdroj, který má výstupní napětí 24 V. Maximální proud, který je schopný dodat do zátěže činí 2 A. I toto napětí patří mezi nejpoužívanější a nejběžnější. Na napěťové úrovni 24V stejnosměrného napětí pracují některé přístroje používané v nákladních automobilech. Hlavním využitím této napěťové

úrovně je většina regulačních a ovládacích prvků většiny výrobních strojů a manipulačních strojů z různých výrobních závodů.

Zatížení 2A může být v některých případech nedostačující, ovšem pro tyto případy lze využít hlavní regulovatelné zdroje, které jsou schopny dodat až 5 A.

8.3.2 Popis zařízení

Vstupními komponenty jsou stejně jako u dvojice předešlých zdrojů konektory typu FIX&FASTEN PCH250. Proudové zatížení usměrňovacího můstku KBPC610 bude odpovídat proudu dodanému do zátěže a vlastní spotřebě následujících komponent. Tato hodnota odpovídá stejně jako u předešlé dvojice zdrojů hodnotě 2,008 A. Napěťové zatížení tohoto usměrňovače lze vyjádřit pomocí známého vzorce:

$$U_{D1MAX} = 24 \cdot \sqrt{2} \cdot \Delta U = 24 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1 = 37,34 V \quad (8.16)$$

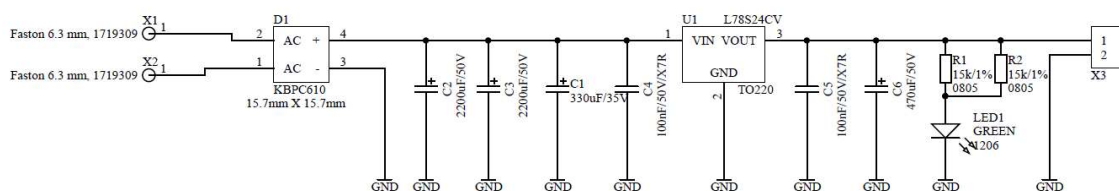
Tato hodnota se nachází v toleranci stanovené distributorem komponenty. Minimální kapacitu filtračních kondenzátorů, které se nachází bezprostředně za usměrňovacím můstkem lze stanovit podle vzorce:

$$C_{24VMIN} = \frac{I_{D1MAX} \cdot \Delta t}{\Delta U} = \frac{2,008 \cdot 0,01}{4,22} = 2,76 \cdot 10^{-3} F \quad (8.17)$$

Kde hodnotu ΔU lze stanovit podle vzorce:

$$\Delta U = 24 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,9 - 26 = 4,55 V \quad (8.18)$$

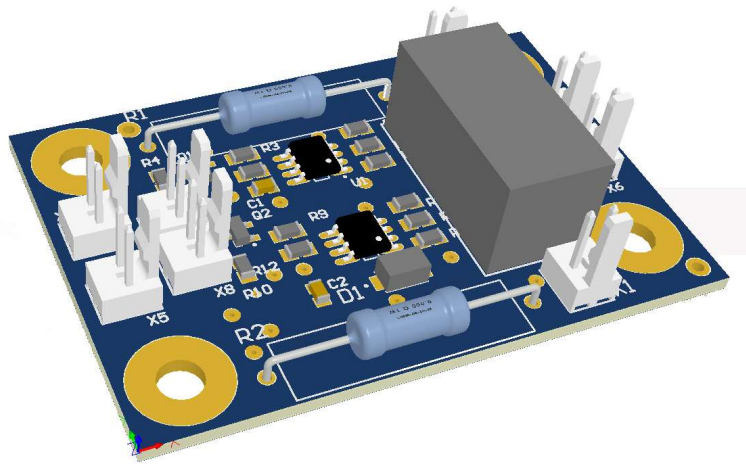
Filtrační kondenzátory navržené na desku plošného spoje mají v součtu 4,4 mF. Tato hodnota bude tedy plně vyhovovat těmto požadavkům.



Obr. 8.4 Schéma stabilního 24V zdroje

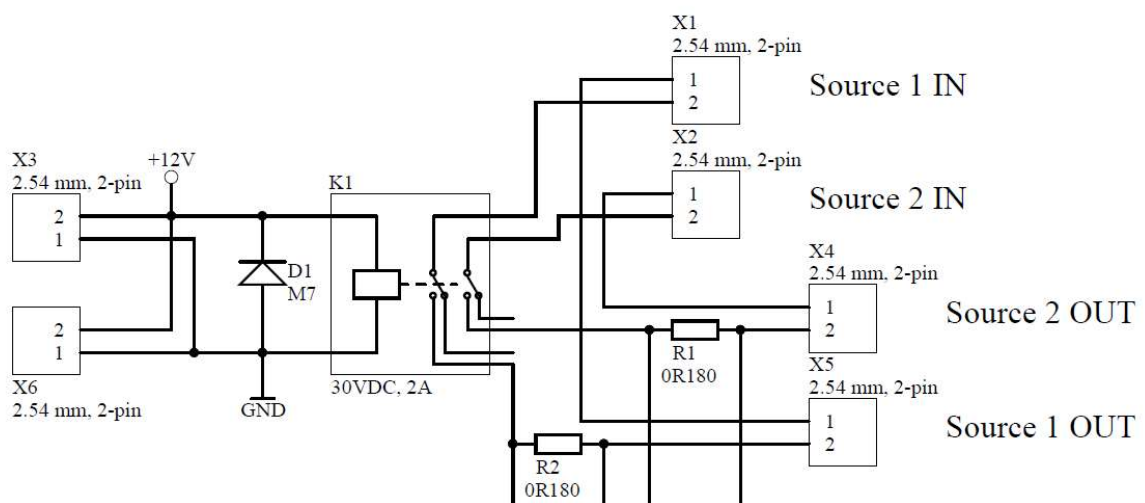
9. Výstupy

9.1 Výstup 1



Obr. 9.1 3D návrh výstupu 1

Toto zařízení, jak již napovídá svým názvem, slouží k účelům spojeným s výstupem laboratorního zdroje. Jeho úkolem je připojit výstupní napětí daného zdroje k daným výstupním svorkám, které se nacházejí na předním panelu laboratorního zdroje. Toto připojení se uskuteční při překlenutí vstupní předřadné impedance pro hlavní toroidní transformátor, tedy po sepnutí obvodu softstart. Vstupními a výstupními komponenty jsou 2-pinové konektory od firmy MOLEX z řady KK254. Dalšími komponentami, které slouží pro přepínání jsou elektromagnetické relé, které je dostatečně předimenzované a zpětná dioda, která slouží k odstranění parazitních indukčností elektromagnetického relé.



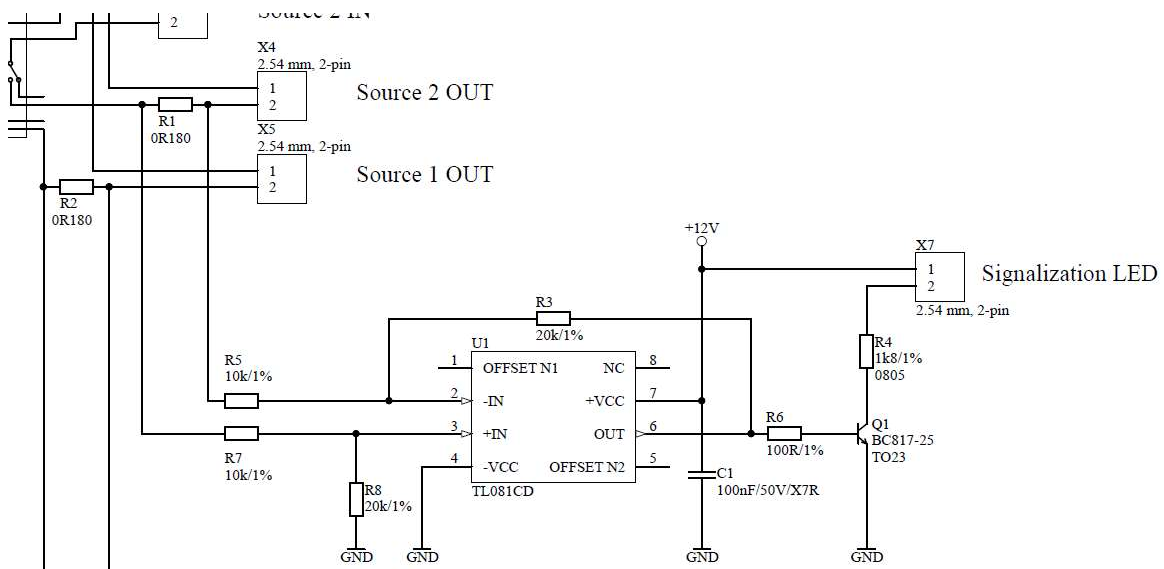
Obr. 9.2 Schéma výstup 1 - přepínač výstupu

Dalším účelem tohoto zařízení je měření výstupního proudu. Toto zařízení je umístěno pouze ke zdrojům, které neobsahují regulaci výstupního proudu. Zařízení ovšem slouží pouze jako indikace proudového přetížení, nikoliv regulace. Princip činnosti je založený na zapojení s operačním zesilovačem, kterému se přezdívá „Diferenční zesilovač“. Jedná se tedy o měření úbytku napětí na měřicím rezistoru a následné zesílení tohoto naměřeného údaje na potřebnou hodnotu. Pokud má diferenční zesilovač skutečně zesilovat pouze rozdílové napětí, je třeba dodržet následující podmínku:[16]

$$\frac{R_5}{R_7} = \frac{R_3}{R_8} \rightarrow \frac{10^4}{10^4} = \frac{2 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^4} = 1 \quad (9.1)$$

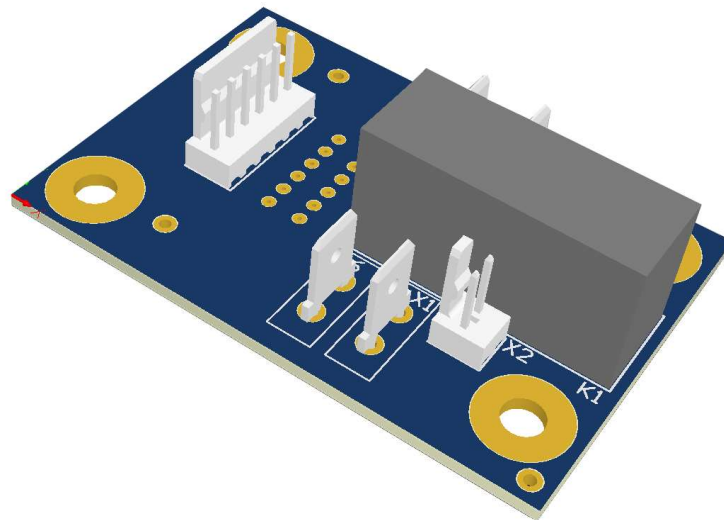
Pokud je splněna tato podmínka, lze výstupní napětí diferenčního zesilovače stanovit podle vzorce:[16]

$$U_{OUT} = \frac{R_3}{R_5} \cdot (R_1 \cdot I_{sig}) = \frac{2 \cdot 10^4}{1 \cdot 10^4} \cdot (0,18 \cdot 2) = 0,72 \text{ V} \quad (9.2)$$



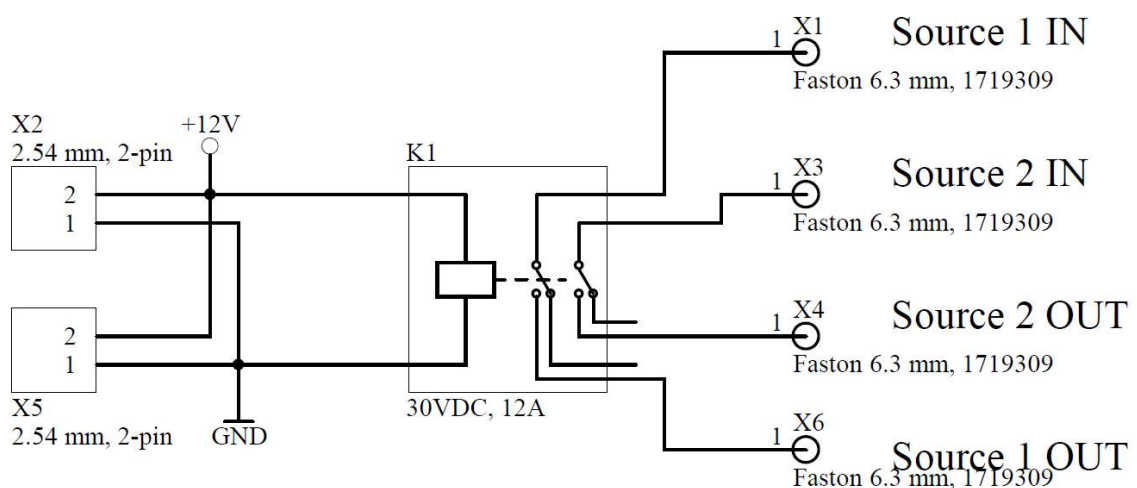
Obr. 9.3 Schéma výstup1 - diferenční zesilovač

9.2 Výstup 2



Obr. 9.4 3D návrh výstupu 2

Toto zařízení pracuje také s výstupy laboratorního zdroje. Obsahuje připínání výstupu k výstupním svorkám, ale mimo to také obsahuje konektor pro připojení propojovacího kabelu z hlavního regulovatelného zdroje a tím přivedení téměř veškerých napěťových úrovní. Přivedení tohoto propojovacího vodiče je uskutečněno z důvodu potřeby napájení zobrazovacích displejů a pro případné potřeby využití napětí v přední části laboratorního zdroje.



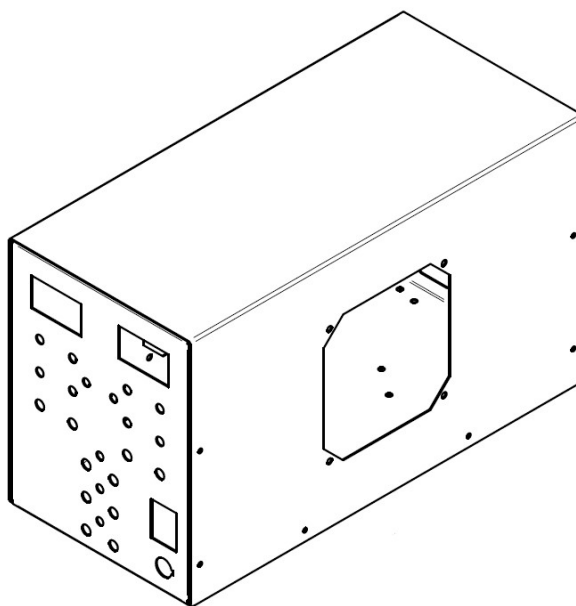
Obr. 9.5 Schéma výstup 2

10. Konstrukce

Nedílnou součástí takového zařízení je kompletní kryt, ve kterém je zařízení

umístěno. Kryt zajišťuje jak bezpečnost obsluhy před úrazem elektrickým proudem, tak i estetickou část celého zařízení. Celá konstrukce laboratorního zdroje je konstruována tak, že vzduch do zařízení vstupuje bočnicemi, které jsou osazeny prachovými filtry a vystupuje zadní stranou, kde se nachází otvor bez jakéhokoliv prachového filtru, pro maximální průtok vzduchu. Tento otvor překrývá pouze kovová mřížka.

10.1 Kryt laboratorního zdroje



Obr. 10.1 3D návrh konstrukce

Kryt laboratorního zdroje je tvořen dvěma plechovými díly. Tyto dva díly jsou ohnuty přesně podle výkresové dokumentace. Vzájemné sešroubování těchto dvou dílů dohromady je zajištěno pomocí samořezných šroubů. Tyto šrouby byly zvoleny z důvodu snadnějšího řešení montážních otvorů. Síla plechu, ze kterého jsou díly vyrobeny je 1mm. Povrchová úprava tohoto plechu je modrý chromát. Chromát byl na materiál nanesen galvanicky.

První ze dvou dílů obsahuje zakrytování zařízení z přední, spodní a zadní části. Montážní otvory v přední části zdroje jsou využity pro regulační potenciometry, připojovací svorky, indikace za pomoci LED diod a displeje, které zobrazují aktuální napěťovou úroveň a proudové namáhání jednotlivých dílčích zdrojů. Ve spodní části se nacházejí pouze kulaté otvory. Jedná se zejména o montáž různých nylonových, nebo kovových distančních sloupeků pro usazení různých desek plošných spojů, nebo různých dílů. Tyto otvory jsou též využity pro přišroubování nožiček zařízení. Hlavním montážním otvorem ze zadní strany je bezpečnostní otvor pro výfuk vzduchu ohřátého chladiče. Dále se zde nachází otvor pro

přišroubování EMC filtru se sítovou přípojkou. Poslední komponentou, která využívá otvory krytu z této strany je mřížka ventilátoru.

Druhý plechový díl zajišťuje krytí z vrchní strany a obě bočnice. Vrchní část krytu je celistvá a neobsahuje žádný montážní otvor. Obě bočnice obsahují montážní otvory pro přišroubování prachového filtru. Otvor pro tento filtr je navržen tak, aby obsluha zařízení byla případně schopna zanešený filtr vyměnit bez problémů a nutnosti rozebírání zařízení.

10.2 Montážní prvky laboratorního zdroje

Jednotlivé zařízení, které se nachází v laboratorním zdroji je nutné zajistit proti samovolnému pohybu. K tomuto účelu byly zvoleny různé distanční sloupky a šrouby. Desky plošných spojů určené pro montáž přímo na chladič byly přišroubovány pomocí ocelových distančních sloupek M4 x 8 mm. Desky plošných spojů, které nejsou svou polohou pevně vázány byly přišroubovány pomocí polyamidových distančních sloupek ke dnu laboratorního zdroje. Polyamidové distanční sloupky mají hned několik výhod. Hlavní výhodou je elektrická izolace, celý sloupek slouží jako izolant. Další výhodou je jeho nižší hmotnost. Distanční sloupky mají oproti kovovým své nevýhody, kterými jsou pevnost a teplotní odolnost. Každá z desek plošných spojů je přišroubována v každém rohu.

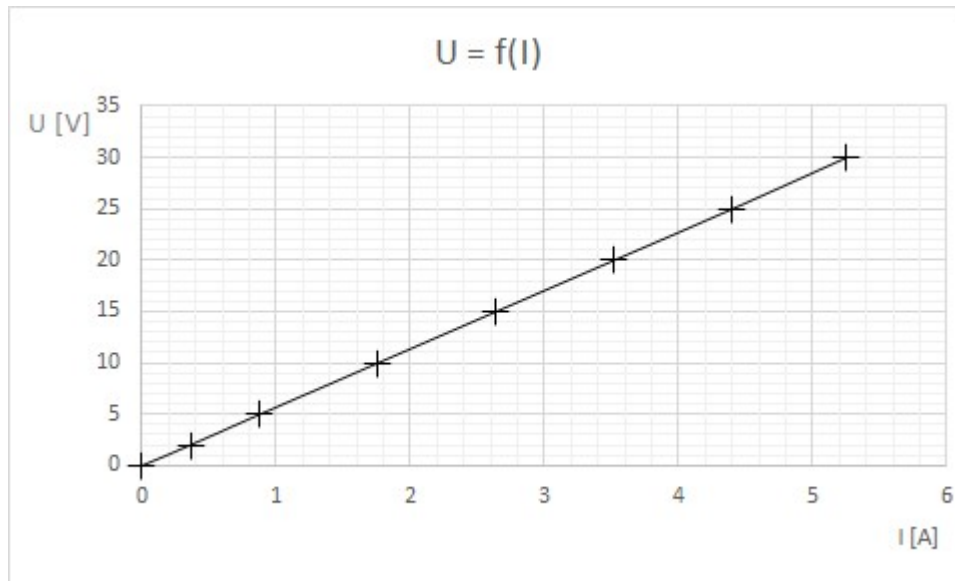
11. Měření a výsledné parametry

Mezi nezbytné části této bakalářské práce patří také naměřené parametry a ověření plné funkčnosti regulovatelného zdroje. Naměřeny byly veškeré podstatné parametry zdroje, ale také chování samostatného zdroje.

Během měření byla taktéž zkoumána teplota jednotlivých komponent. Teplota všech komponent byla nižší než 50 °C. Nejvíce ohřátými prvky byly výkonové rezistory. Nejvíce ohřátými prvky byly výkonové rezistory, které vyrovnávají proudy mezi jednotlivými regulačními stabilizátory

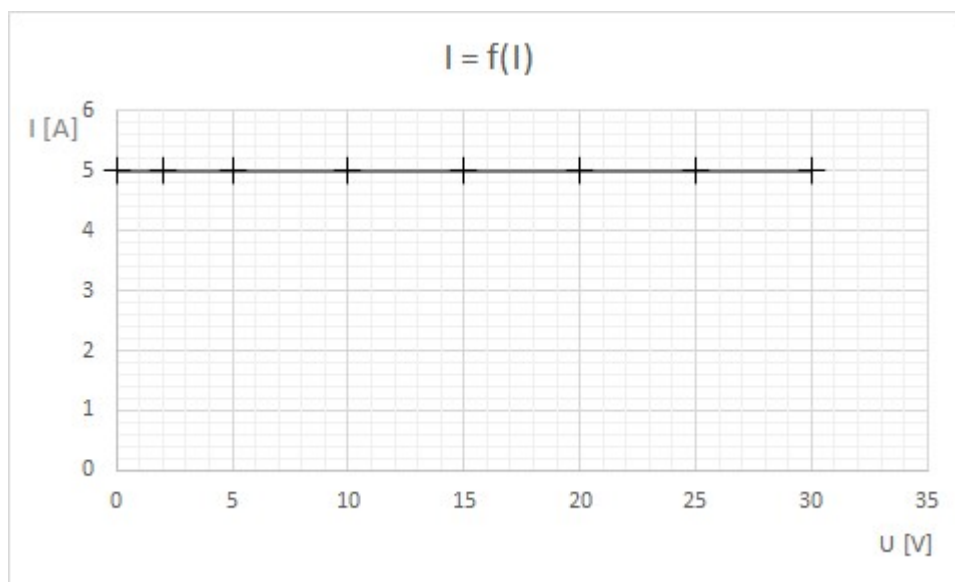
11.1 Regulovatelný zdroj

Jedná se tedy o plně regulovatelný zdroj s regulací napětí od 0 do 30 V a s regulací proudu minimálně od 0 do 5 A. Oba dva osazené kanály se chovali téměř stejně. Naměřené parametry budou tedy představeny pouze pro jeden kanál. Na grafu Obr 11.1 je vynesena výstupní charakteristika při konstantní zátěži. Je patrné, že napětí zdroje lineárně narůstá od hodnoty 0 V až do hodnoty 30 V. Dále je patrné, že proud dodaný do zátěže taktéž lineárně narůstá od hodnoty 0 A až do hodnoty 5,27 A.



Obr. 11.1 Regulovatelný zdroj - výstupní charakteristika

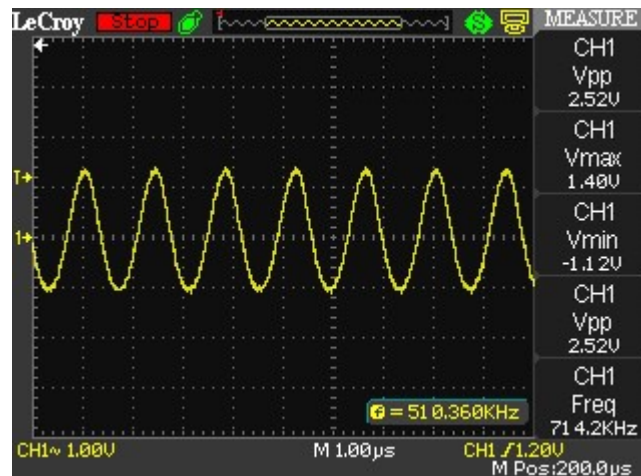
Následujícím důležitým parametrem je nastavení maximálního dodaného proudu do zátěže. Tento parametr je znatelný z grafu Obr.11.2 Parametry byly odměřeny nastavením daného proudového omezení při maximálním napětí. Následně byla snižována hodnota připojené zatěžovací impedance a odečítány hodnoty jak proudu, tak napětí. Z grafu Obr.11.2 je patrné, že proudová regulace funguje podle předpokladů a splňuje očekávání.



Obr. 11.2 Regulovatelný zdroj - proudová regulace

Mezi charakteristické vlastnosti regulovatelného zdroje patří také zvlnění výstupního signálu. Zvlnění výstupního signálu bylo měřeno při výstupním napětí 30 V a výstupním proudu 5 A. Z grafu Obr. 11.3 je patrné, že zvlnění výstupního napětí odpovídá 2,52 V.

Frekvence tohoto zvlnění odpovídá přibližně 0,7 MHz. Jedná se tedy zřejmě o zvlnění vlivem zpomalené zpětné vazby operačního zesilovače.



Obr. 11.3 Zatížený regulovatelný zdroj

Vzhledem k využití toroidního transformátoru s rozdělenými sekundárními vinutími na několik dílčích vinutí je třeba brát ohledy na připojování těchto odboček. Přiložený graf Obr.11.4 znázorňuje připojení odbočky transformátoru. Žlutý signál, který je připojený na kanál 1 zobrazuje výstupní napětí ze zdroje. Modrý signál připojený na kanál 2 je připojený na vyhlazovací kondenzátory. Je patrné, že při připojení při plném zatížení zdroje se signál na určitý čas mírně zvlní.

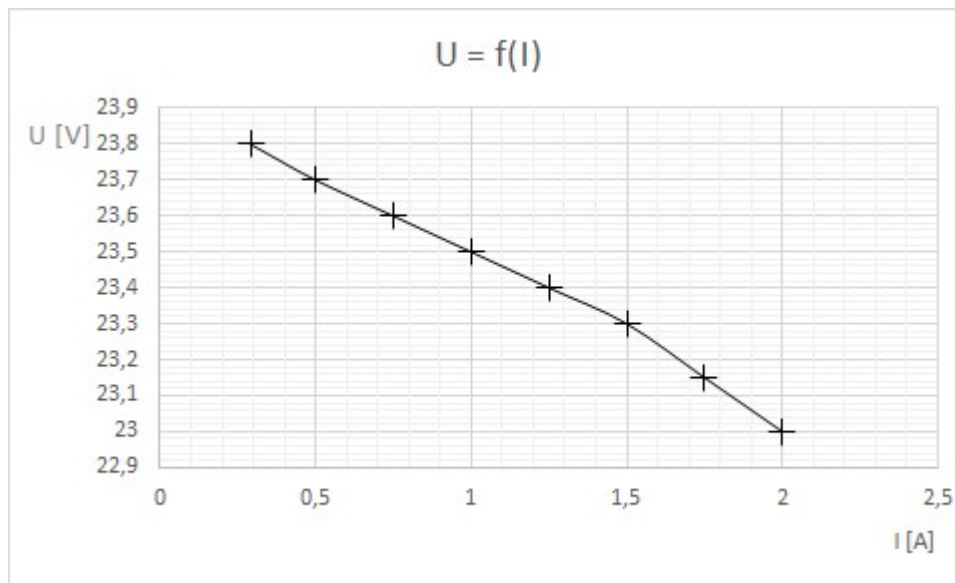


Obr. 11.4 Zvlnění signálu při přepojení odbočky transformátoru

11.2 Neregulovatelný zdroj 24 V / 2 A

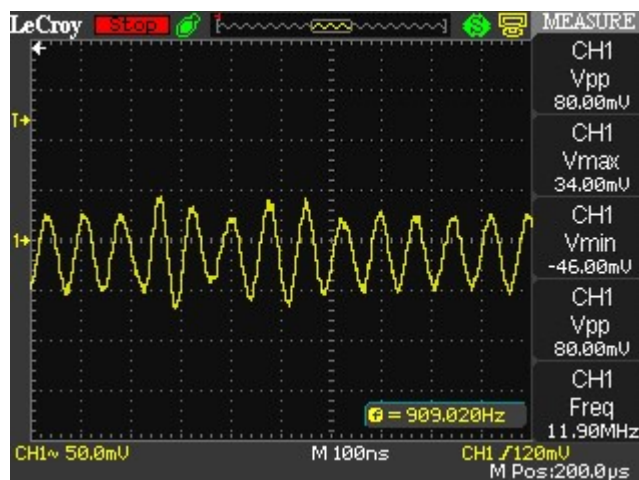
Zatěžovací charakteristika byla naměřena postupným snižováním zatěžovací impedance. Výstupní napětí zdroje se zvyšováním proudového zatížení klesalo. Při zatížení proudem o hodnotě 2 A byla hodnota výstupního napětí 23 V. Jedná se tedy o úbytek napětí

o 1 V, což odpovídá přibližně 4 % úbytku napětí. Tato hodnota se nachází v toleranci stanovené výrobcem komponenty.[14]



Obr. 11.5 Zatěžovací charakteristika 24 V zdroje

Následujícím důležitým parametrem je také zvlnění výstupního signálu při plném zatížení výstupu. Z grafu Obr.11.6 je patrné zvlnění s frekvencí přibližně 1 kHz. Hodnota zvlnění odpovídá maximálně $V_{PP} = 100$ mV. Tato skutečnost je dána vlastním obvodem integrovaného stabilizátoru.

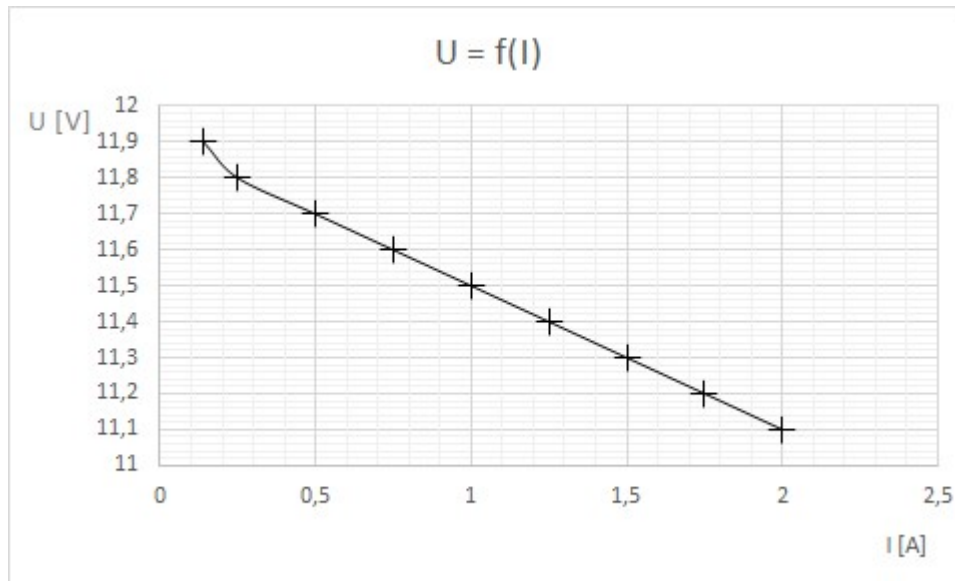


Obr. 11.6 Zvlnění neregulovatelného zdroje 24 V / 2 A

11.3 Neregulovatelný zdroj 12 V / 2 A

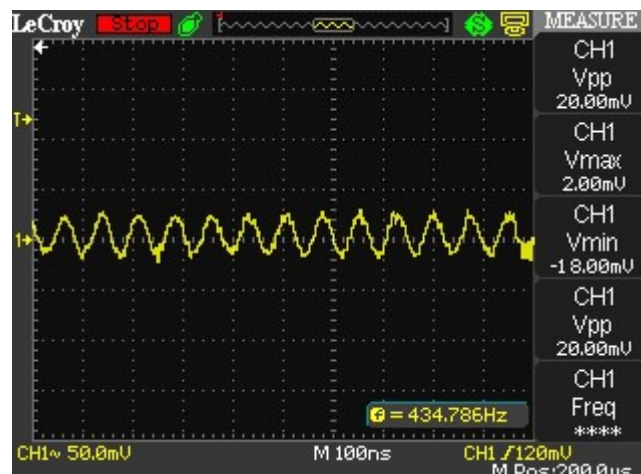
Důležitým výstupním parametrem u 12 V zdroje je výstupní zatěžovací charakteristika. Tato charakteristika Obr.11.7 byla odměřena pomocí snižování hodnoty zatěžovací impedance. Výstupní napětí zdroje při zatížení výstupním proudem 2 A odpovídá hodnotě 11,1 V. Jedná se tedy o pokles o 0,9 V, což odpovídá úbytku o 7,5 %. Výrobce

stanovuje minimální napětí na výstupu při výstupním proudu 1 A o hodnotě 11,4 V. Toto napětí je tedy podle předpokladů v toleranci stanovené výrobcem. [14]



Obr. 11.7 Zatěžovací charakteristika 12 V zdroje

Zvlnění výstupního signálu při zatěžovacím proudu o hodnotě 2 A je zobrazeno na grafu Obr.11.8. Výsledkem je maximální zvlnění $V_{PP} = 20$ V. Frekvence takto zvlněného signálu odpovídá přibližně 0,5 kHz. Tento jev bude taktéž dán vnitřním zapojením lineárního stabilizátoru.

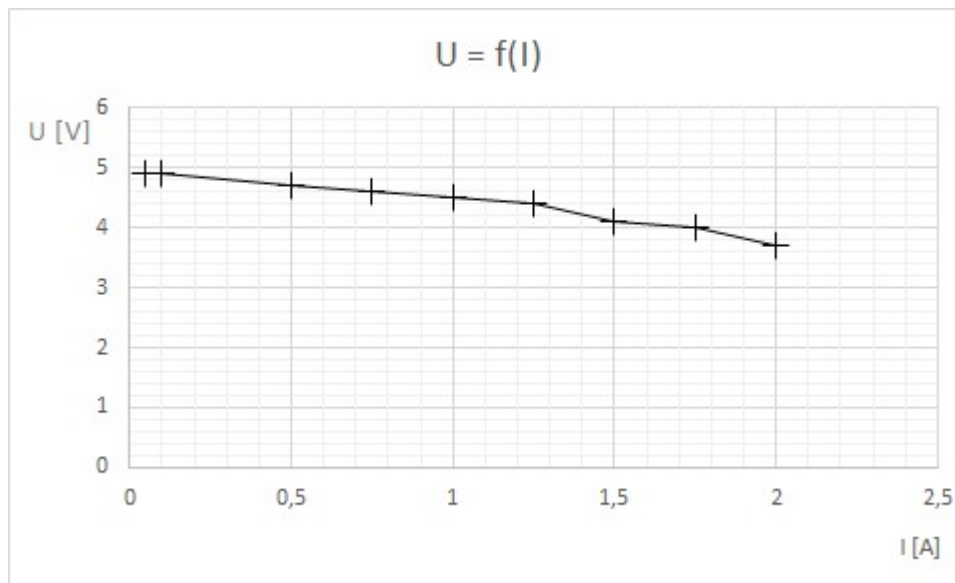


Obr. 11.8 Zvlnění neregulovatelného zdroje 12 V / 2 A

11.4 Neregulovatelný zdroj 5 V / 2 A

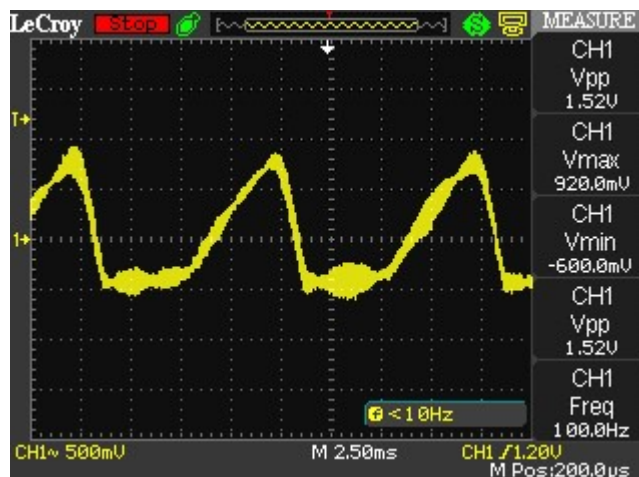
Zatěžovací charakteristika 5 V zdroje byla odměřena pomocí postupného snižování zatěžovací impedance. Výstupní napětí je patrné z grafu Obr.11.9 a při zatížení výstupním proudem 2 A klesne na hodnotu rovnou 3,8 V. Je tedy zřejmé, že někde nastal problém, protože se jedná o úbytek přibližně o 1,2 V což odpovídá 24 %. Výrobce stanovuje

minimální napětí na výstupu při zatížení výstupním proudem 1 A o hodnotě 4,75 V. Tento limit je také překročen o přibližně 0,1 V. [14]



Obr. 11.9 Zatěžovací charakteristika 5 V zdroje

Zvlnění napětí odpovídá přibližně 1,4 V. Z grafu je patrné, že napěťový signál je výrazně zvlněný. Frekvence zvlnění odpovídá 100 Hz. Pravděpodobně se jedná o špatně filtrovaný signál za usměrňovačem. Během měření bylo znatelné, že toto zvlnění se do zatížení 1 A neprojevovalo, avšak následně s narůstajícím zatěžovacím proudem se zvlnění zvyšovalo až do této úrovně. Tento signál je již značně deformovaný.[14]



Obr. 11.10 Zvlnění neregulovatelného zdroje 5 V / 2 A

Závěr

První část se zabývá úvodem do zařízení a kompletním nadhledem. Tato část obsahuje také kompletní blokové schéma, ze kterého je patrná posloupnost a závislost jednotlivých zařízení.

Následující částí je kompletní elektrické řešení celého laboratorního zdroje. Z autorovy iniciativy bylo zařízení rozšířeno na kompletní laboratorní zdroj, ve kterém se nenachází pouze jeden regulovatelný zdroj, ale dva regulovatelné zdroje a jsou přidány stabilní neregulovatelné zdroje. Návrh těchto zařízení je kompletní počínaje výběrem jednotlivých pasivních komponent a ověřováním výkonových ztrát jednotlivých prvků. Následuje navrhování jednotlivých zapojení a počítání různých stěžejních výpočtů. Obsahuje také kompletní návrh PCB a řešení vhodného designového rozmístění komponent na deskách plošných spojů. Součástí je také nastínění propojení jednotlivých desek mezi sebou a mezi vstupním panelem.

Další nedílnou součástí je kompletní montážní řešení. Obsahuje jak kompletní návrh skříně, do které se zařízení namontuje, tak sestavení jednotlivých celků a rozmístění jednotlivých desek plošných spojů ve skříně. Mimo to ale také rozmístění jednotlivých komponent montovaných do krytu skříně. Vygenerované jsou také 3D modely, které jsou komfortnějším návodem při stavbě zařízení.

Jednou z posledních částí této bakalářské práce je vyhodnocení výsledků práce. Byly odměřeny různé hodnoty jednotlivých zdrojů. Regulovatelné zdroje pracují podle předpokladů a zvlnění signálu není nějak omezující. Stabilizované zdroje na napěťových úrovních 12 V a 24 V pracují taktéž správně. Nicméně napěťový zdroj na úrovni 5 V má při plném proudovém zatížení nežádoucí zvlnění výstupního napětí. Tento jev může být způsoben zvolením malé kapacity vyhlazovacího kondenzátoru za usměrňovačem, nebo příliš nízkým napětím, které vystupuje z toroidního transformátoru. Avšak i přes tuto skutečnost je 5 V zdroj schopen dodat vyhlazený průběh napětí až do zatížení výstupním proudem o hodnotě přibližně 1 A.

Chlazení hlavního chladiče je zajištěno hnacím ventilátorem, který běží s minimální střídou 50 %. Bylo by ovšem vhodné doplnit zařízení minimálně o obvod hlídající proudění vzduchu chladičem, protože při vyšším zatížení některého ze zdrojů je proudění vzduchu nutné.

Z funkčního hlediska je tedy laboratorní zdroj připraven k využívání uživatelem. Přední panel je polepen názornými vodítky pro snadnou orientaci uživatele v ovládání a připojování externích zařízení. Jednotlivé zdroje jsou galvanicky oddělené, je tedy možné

zdroje různě sériově, či vhodně paralelně kombinovat. Z měření ovšem vyšlo, že regulovatelné zdroje mají společný potenciál na „-OUT“, tyto zdroje tedy sériově řadit nelze. Tato skutečnost může být způsobena společným napájením měřících přístrojů, bude tedy vhodné zdroj doplnit o galvanické oddělení napájení jednotlivých měřících přístrojů

Nicméně stavba takového zařízení a uvedení na trh je velmi nákladná záležitost. Cena kompletního elektrického zařízení činí přibližně 5 000 Kč. Hodnota konstrukčních dílů, spojovacího materiálu a chladičů je okolo 2 000 Kč. Náklady na stavbu celého zdroje byly 7 000 Kč. Ovšem při hromadné výrobě jsou ceny některých komponent sníženy až na polovinu pořizovací hodnoty, tedy zařízení bude stát přibližně 4 000 Kč. Tato částka se ovšem bude lišit vlivem počtu vyráběných kusů. Dále se tato částky nepochybně zvýší o náklady na montáže a testování celého zařízení.

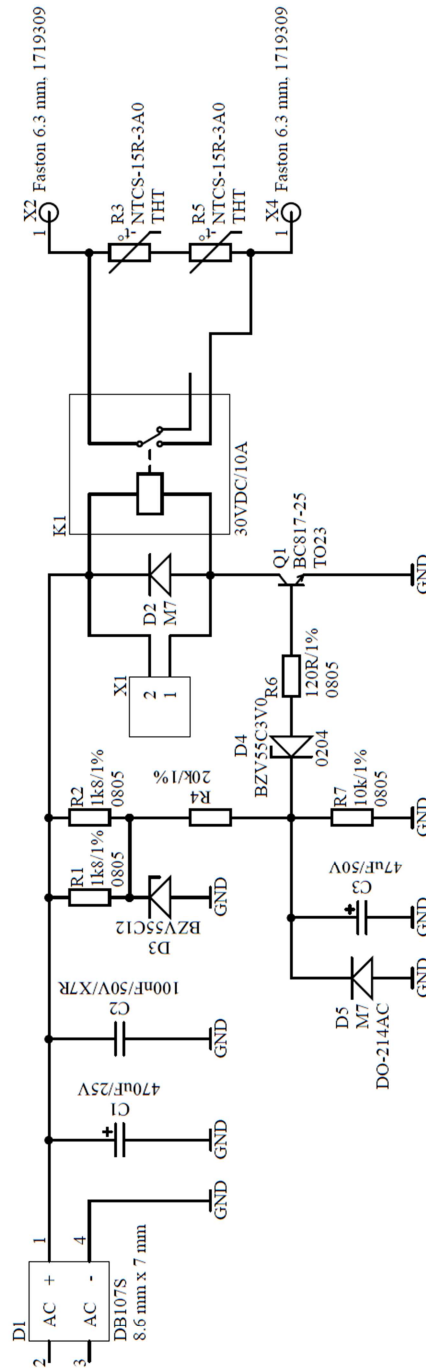
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ING. ALEŠ STUPKA. Napájecí zdroj 0-30V s regulovatelným proudem 0-6A [online]. 2011. Dostupné z: http://utaes.g6.cz/Zdroj_0-30V_6A/Napajeci_zdroj_0-30V_6A.htm
- [2] CANAL ELECTRONIC. Technical Data Sheet [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/6571eb1262fc28bcdbea0539cfc545ae/r2101c5gbg9.pdf>
- [3] SPEL. Technical Data Sheet [online]. nedatováno. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/Document/03a55aca9796c133197dc162be0e533e/Karta_Katalogowa.pdf
- [4] KONÍČEK, Ing. Václav. Elektrické stroje [online]. nedatováno. Dostupné z: <http://www.vosaspsekrizik.cz/cs/download/studium/vos/el-stroje-a-pristroje/transformatory.pdf>
- [5] INDEL. Technical Data Sheet [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/1e8042756dec8ae4ae8d513471e5c4f0/TST20-600.PDF>
- [6] Laboratorní zdroj 0-30V/3mA-3A [online]. 2013. Dostupné z: <https://eln.fpob.eu/bastleni/zdroj-0-30v3ma-3a>
- [7] HORKÝ, Petr. Laboratorní zdroj. 2011.
- [8] (FAIRCHILD), ON SEMICONDUCTOR. LM317AHVT [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/687e5283a3455bae3e70f519a5341e03/LM317AHV.pdf>
- [9] (FAIRCHILD), ON SEMICONDUCTOR. LM7824CT [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/f1c7df2cf7bbaa88b33acdef6adfcd2e/LM7812.pdf>
- [10] TEXAS INSTRUMENTS. NE555D [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/ac465c58ddd86983e5c4ef3b4e19ab20/NE555-DTE.pdf>
- [11] TEXAS INSTRUMENTS. TL081CD [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/9b4c8394e6a037cc792b78d3292ef9b0/TL081CD.pdf>
- [12] Komparátory s operačními zesilovači [online]. nedatováno. Dostupné z: <http://www.samoweb.wz.cz/elektronika/opzes3/opzes3.htm>
- [13] INFINEON (IRF). IRLML2060TRPBF [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/8cc4537ab66d6aadb4b64230a85ae3ca/irlml2060pbf.pdf>

- [14] ST. L78SxxCV [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/c9937c80f6b806dae5ab919e842392f6/78Sxx.pdf>
- [15] FISCHERELEKTRONIK. Technické vysvětlivky. nedatováno.
- [16] Diferenční zesilovač [online]. nedatováno. Dostupné z: <http://ves-o-elektro.huu.cz/menu/operacni-zesilovace/diferencni-zesilovac>

Přílohy

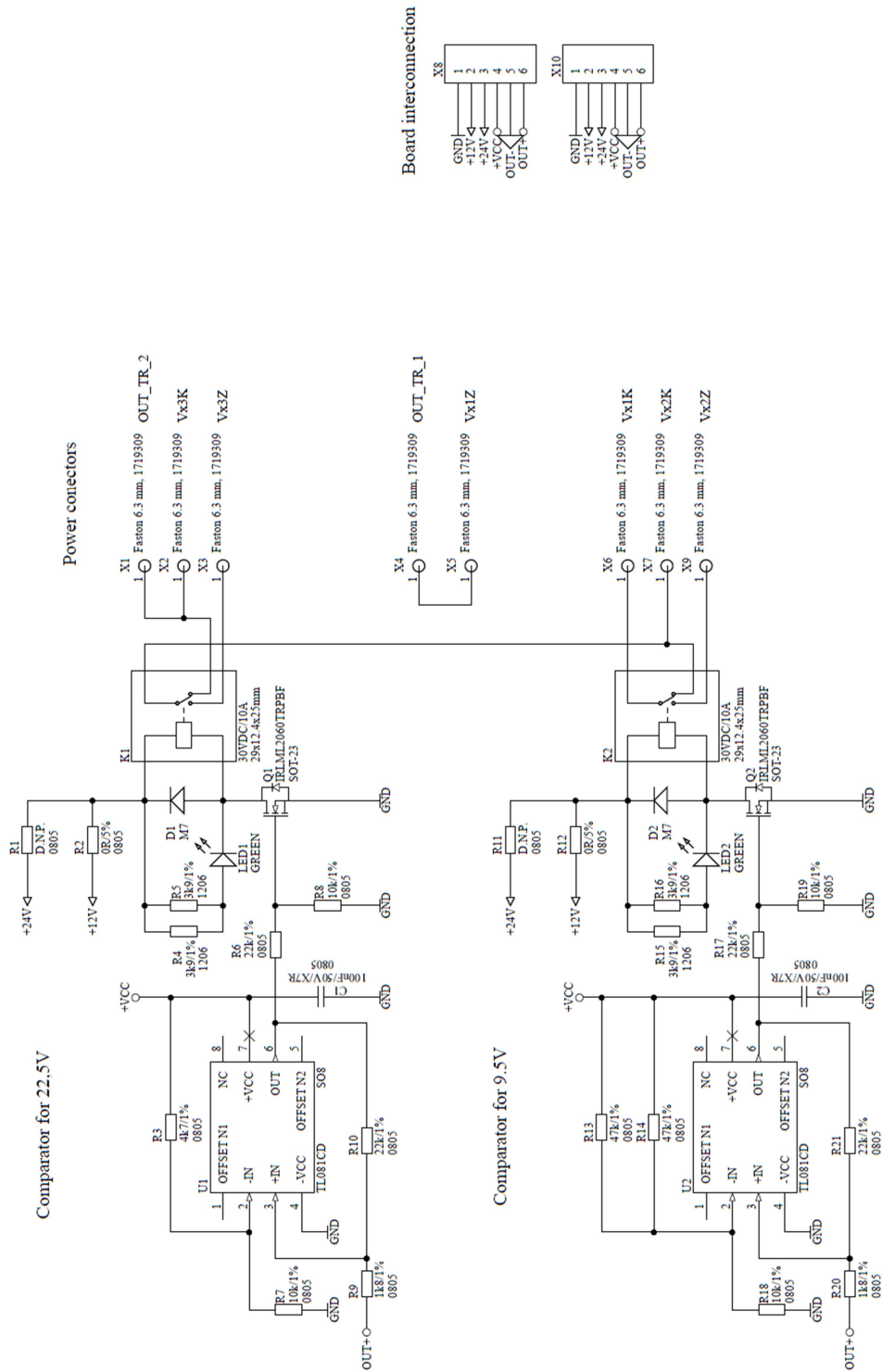
Příloha A – Schéma softstart obvodu



Příloha B – Kusovník softstart obvodu

Množství	Název součástky	Hodnota	Distributor	Objednávací číslo
1	C1	470uF/25V	TME	UWT1E471MNL1GS
1	C2	100nF/50V/X7R	TME	CC0805KRX7R9BB104
1	C3	47uF/50V	TME	SC1H476M08010VR
1	D1	DB107S	TME	DB107S
2	D2, D5	M7	TME	M7
1	D3	BZV55C12	TME	BZV55C12
1	D4	BZV55C3V0	TME	BZV55C3V0
1	K1	30VDC/10A	TME	40.31.7.012.0000
1	Q1	BC817-25	TME	BC817-25
2	R1, R2	1k8/1%	TME	0805S8F1801T5E
2	R3, R5	NTCS-15R-3A0	TME	NTCS-15R-3A0
1	R4	20k/1%	TME	RC0805FR-0720KL
1	R6	120R/1%	TME	RC0805FR-07120RL
1	R7	10k/1%	TME	RC0805FR-0710KL
1	X1	MOLEX_022232021	TME	MX-22-23-2021
2	X2, X4	Faston 6.3 mm, 1719309	TME	1217861-1

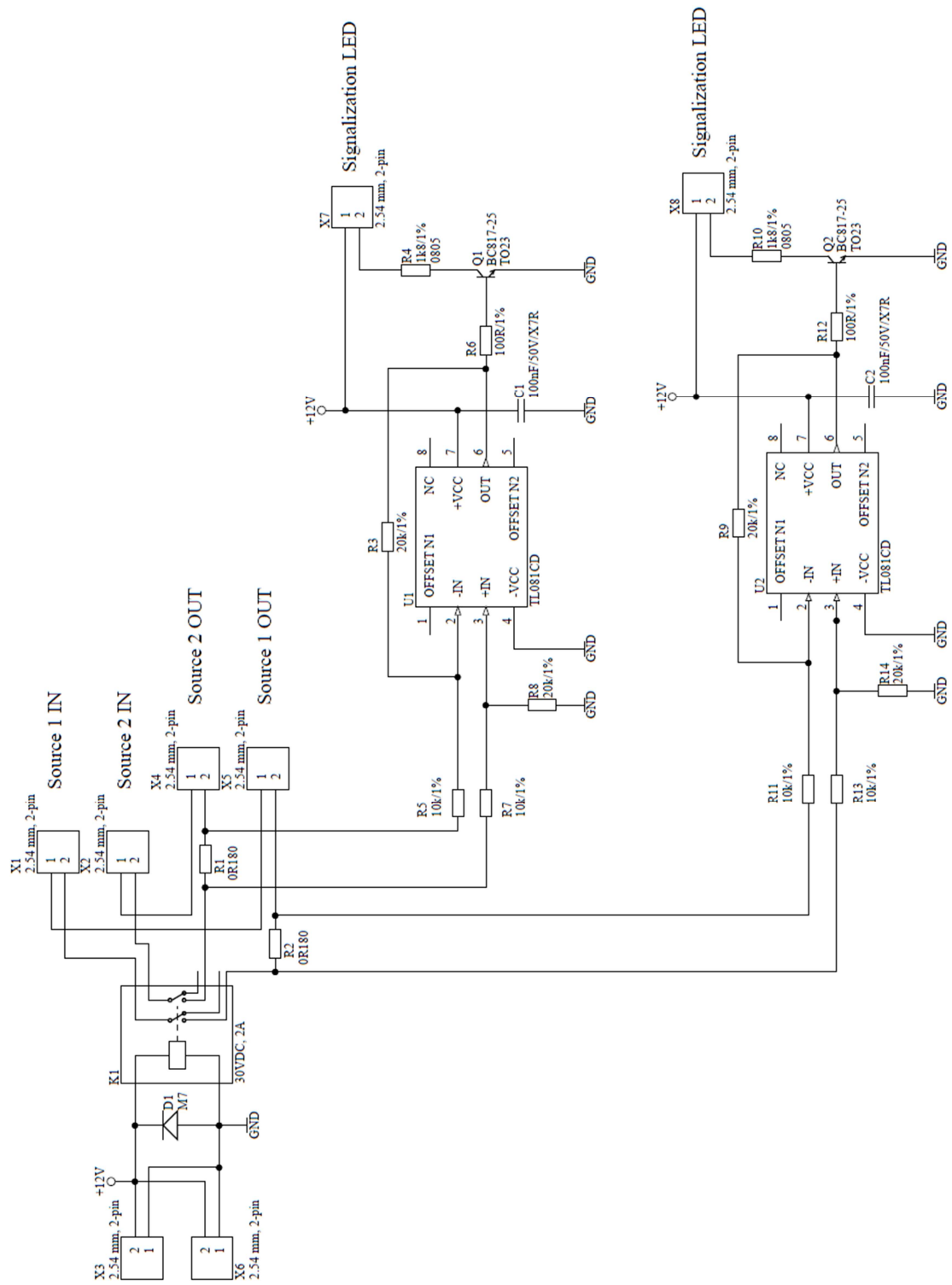
Příloha C – Schéma přepínače odboček



Příloha D – Kusovník přepínače odboček

Množství	Název součástky	Hodnota	Distributor	Objednávací číslo
2	C1, C2	100nF/50V/X7R	TME	CC0805KRX7R9BB104
2	D1, D2	M7	TME	M7
2	K1, K2	30VDC/10A	TME	40.31.7.012.0000
2	LED1, LED2	GREEN	TME	LL-S150GC-2A
2	Q1, Q2	IRLML2060TRPBF	TME	IRLML2060TRPBF
2	R1, R11	D.N.P.		
2	R2, R12	0R/5%	TME	0805S8J0000T5E
1	R3	4k7/1%	TME	0805S8F4701T5E
4	R4, R5, R15, R16	3k9/1%	TME	HP06W2F2201T5E
4	R6, R10, R17, R21	22k/1%	TME	0805S8F2202T5E
4	R7, R8, R18, R19	10k/1%	TME	RC0805FR-0710KL
2	R9, R20	1k8/1%	TME	0805S8F1801T5E
2	R13, R14	47k/1%	TME	0805S8F4702T5E
2	U1, U2	TL081CD	TME	TL081CD
8	X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X9	Faston 6.3 mm, 1719309	TME	1217861-1
2	X8, X10	MOLEX 022232061	TME	22232061

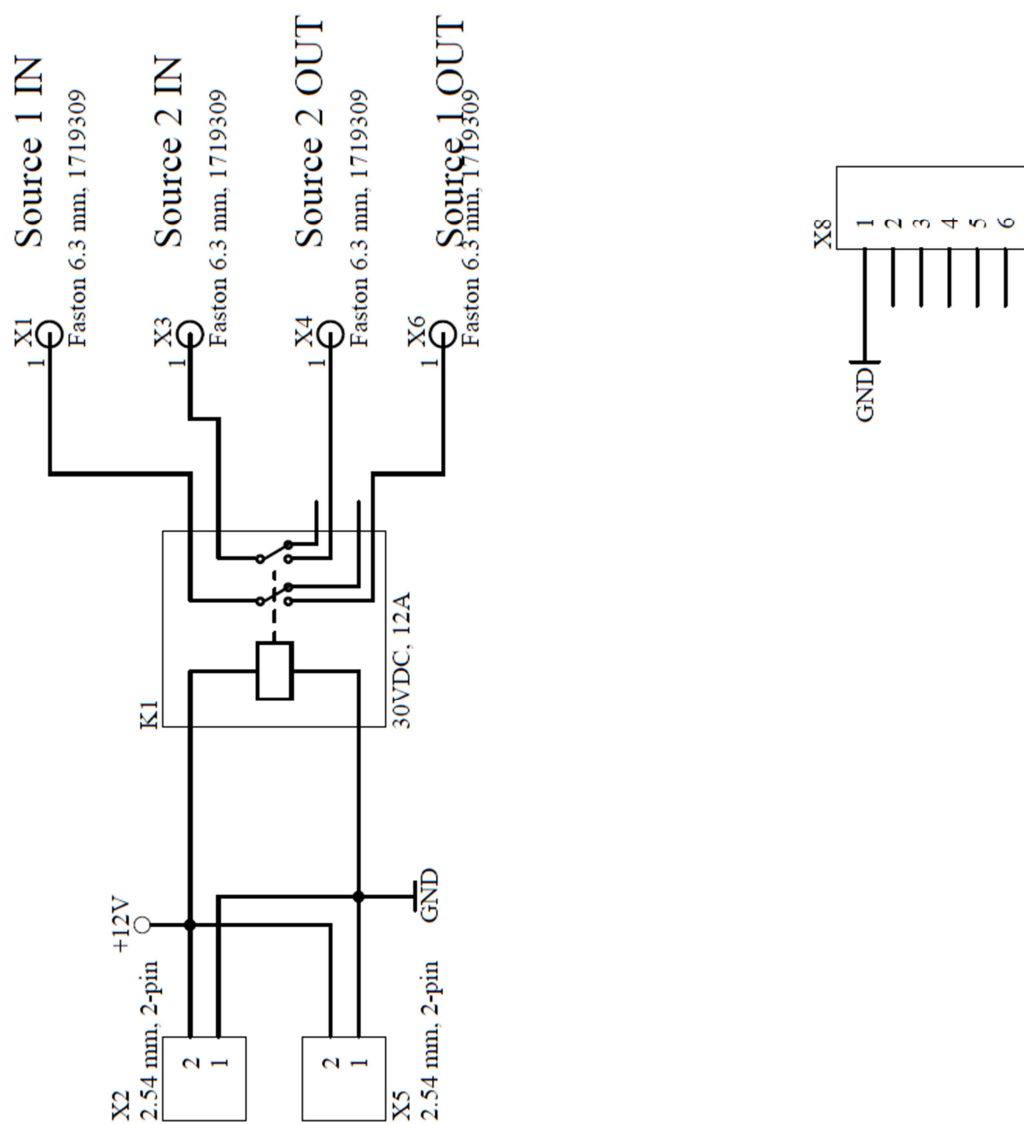
Příloha E – Schéma obvodu Výstup 1



Příloha F – Kusovník obvodu Výstup 1

Množství	Název součástky	Hodnota	Distributor	Objednávací číslo
2	C1, C2	100nF/50V/X7R	TME	CC0805KRX7R9BB104
1	D1	M7	TME	M7
1	K1	30VDC, 2A	TME	HFD27/012-M
2	Q1, Q2	BC817-25	TME	BC817-25
2	R1, R2	0R180	TME	KNP03SJ018KA10
4	R3, R8, R9, R14	20k/1%	TME	RC0805FR-0720KL
2	R4, R10	1k8/1%	TME	0805S8F1801T5E
4	R5, R7, R11, R13	10k/1%	TME	RC0805FR-0710KL
2	R6, R12	100R/1%	TME	RC0805FR-07100RL
2	U1, U2	TL081CD	TME	TL081CD
8	X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8	MOLEX_022232021	TME	MX-22-23-2021

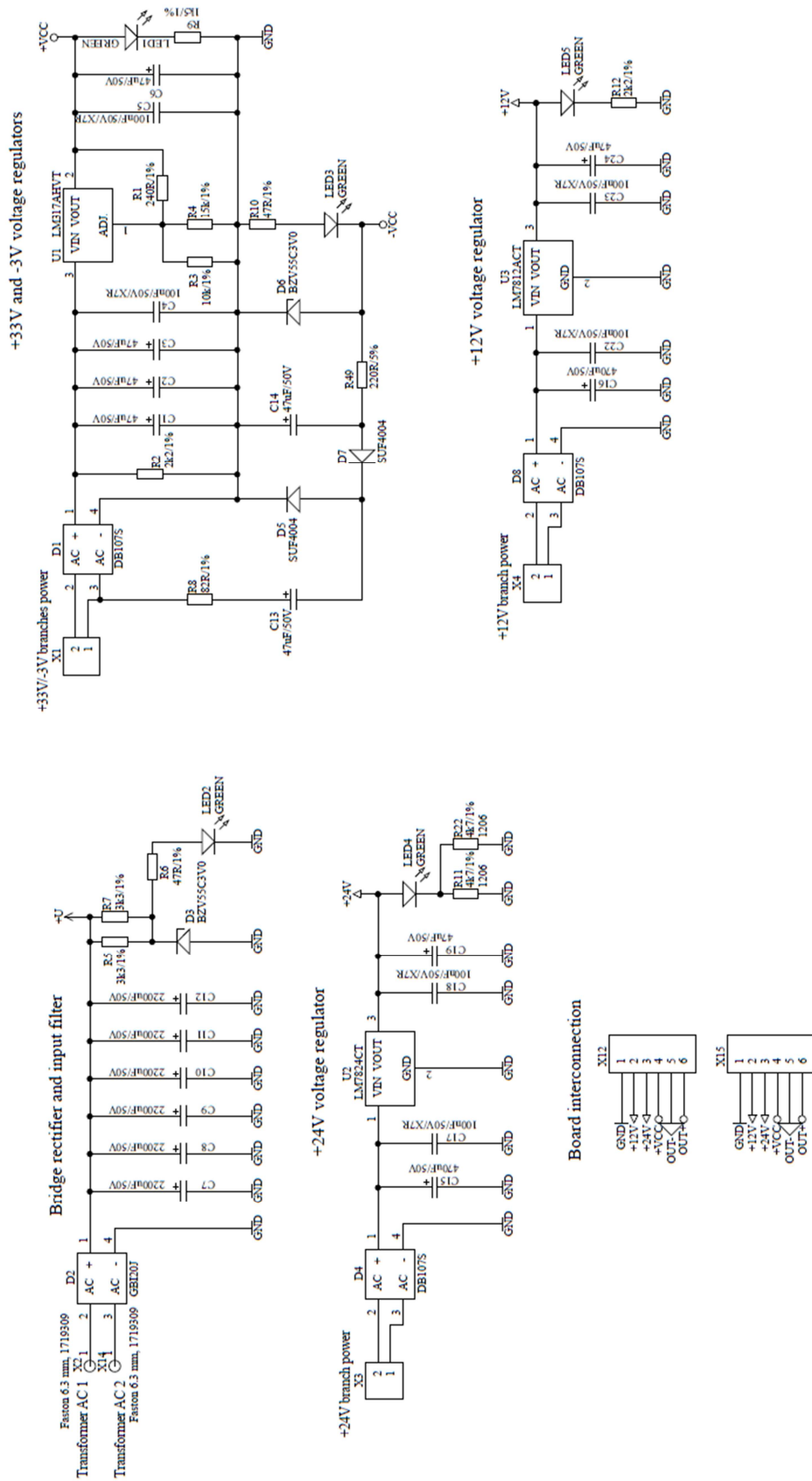
Příloha G – Schéma obvodu Výstup 2



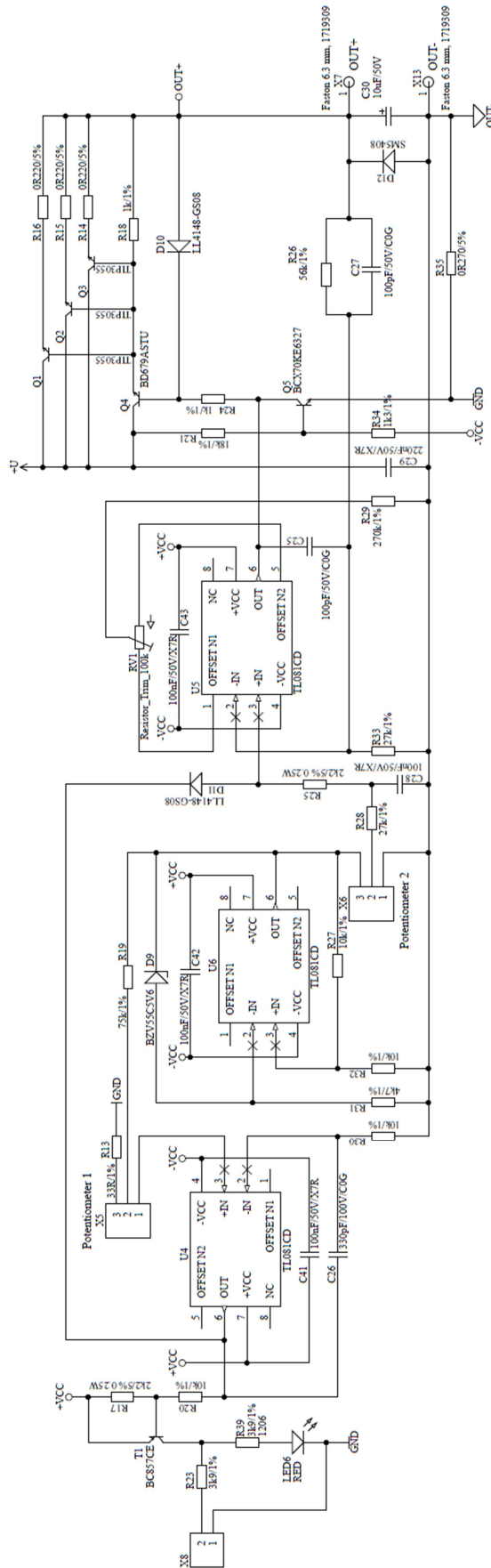
Příloha H – Kusovník obvodu Výstup 2

Množství	Název součástky	Hodnota	Distributor	Objednávací číslo
1	K1	30VDC, 12A	TME	S20E-12B-1CS
4	X1, X3, X4, X6	Faston 6.3 mm, 1719309	TME	Select variant
2	X2, X5	MOLEX_022232021	TME	MX-22-23-2021
1	X8	MOLEX 022232061	TME	22232061

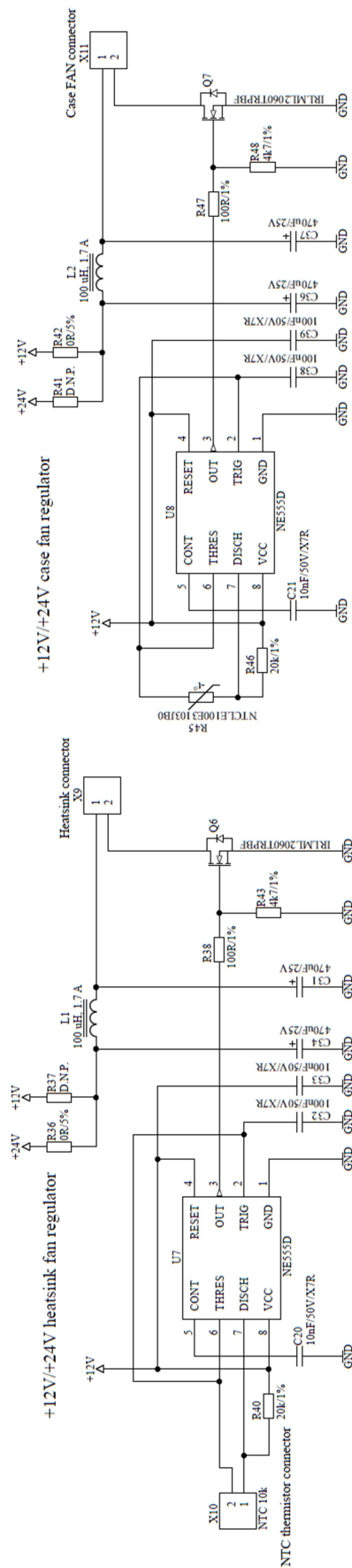
Příloha I – Schéma hlavní regulační části – pomocné zdroje



Příloha J - Schéma hlavní regulační části - regulace



Příloha K - Schéma hlavní regulační části - ovládání ventilátorů

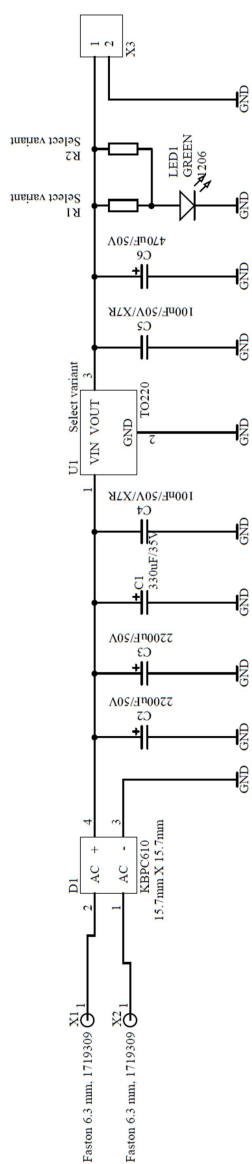


Příloha L - Kusovník hlavní regulační části

Množství	Název součástky	Hodnota	Distributor
8	C1, C2, C3, C6, C13, C14, C19, C24	47uF/50V	TME
14	C4, C5, C17, C18, C22, C23, C28, C32, C33, C38, C39, C41, C42, C43	100nF/50V/X7R	TME
6	C7, C8, C9, C10, C11, C12	2200uF/50V	TME
2	C15, C16	470uF/50V	TME
2	C20, C21	10nF/50V/X7R	TME
2	C25, C27	100pF/50V/COG	TME
1	C26	330pF/100V/COG	TME
1	C29	220nF/50V/X7R	TME
1	C30	10uF/50V	TME
4	C31, C34, C36, C37	470uF/25V	TME
3	D1, D4, D8	DB107S	TME
1	D2	GBI20J	TME
2	D3, D6	BZV55C3V0	TME
2	D5, D7	SUF4004	TME
1	D9	BZV55C5V6	TME
2	D10, D11	LL4148-G508	TME
1	D12	5M5408	TME
2	L1, L2	100 uH, 1.7 A	MOUSER
5	LED1, LED2, LED3, LED4, LED5	GREEN	TME
1	LED6	RED	TME
3	Q1, Q2, Q3	TIP3055	TME
1	Q4	BD679ASTU	TME
1	Q5	BCX70KE6327	TME
2	Q6, Q7	IRLML2060TRPBF	TME
1	R1	240R/1%	TME
1	R2	2k2/1%	TME
5	R3, R20, R27, R30, R32	10k/1%	TME
1	R4	15k/1%	TME
2	R5, R7	3k3/1%	TME
2	R6, R10	47R/1%	TME
1	R8	82R/1%	TME
1	R9	1k5/1%	TME
2	R11, R22	4k7/1%	TME
1	R12	2k2/1%	TME
1	R13	33R/1%	TME
3	R14, R15, R16	0R220/5%	TME
2	R17, R25	2k2/5% 0.25W	TME
2	R18, R24	1k/1%	TME
1	R19	75k/1%	TME
1	R21	18k/1%	TME
2	R23, R39	3k9/1%	TME
1	R26	56k/1%	TME
2	R28, R33	27k/1%	TME
1	R29	270k/1%	TME
3	R31, R43, R48	4k7/1%	TME
1	R34	1k3/1%	TME
1	R35	0R270/5%	TME
2	R36, R42	0R/5%	TME
2	R37, R41	D.N.P.	

2	R38, R47	100R/1%	TME
2	R40, R46	20k/1%	TME
1	R45	NTCLE100E3103JB0	TME
1	R49	220R/5%	TME
1	RV1	Resistor_Trim_100k	TME
1	T1	BC857CE	TME
1	U1	LM317AHVT	TME
1	U2	LM7824CT	TME
1	U3	LM7812ACT	TME
3	U4, U5, U6	TL081CD	TME
2	U7, U8	NE555D	TME
6	X1, X3, X4, X8, X9, X11	MOLEX_022232021	TME
4	X2, X7, X13, X14	Faston 6.3 mm, 1719309	TME
2	X5, X6	MOLEX 022232031	TME
1	X10	2-pin, 2.0 mm, straight	TME
2	X12, X15	MOLEX 022232061	TME

Příloha M - Schéma stabilizovaného neregulovatelného zdroje

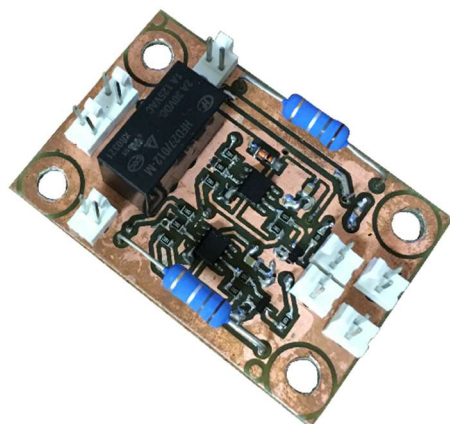


Příloha N - Kusovník stabilizovaného neregulovatelného zdroje

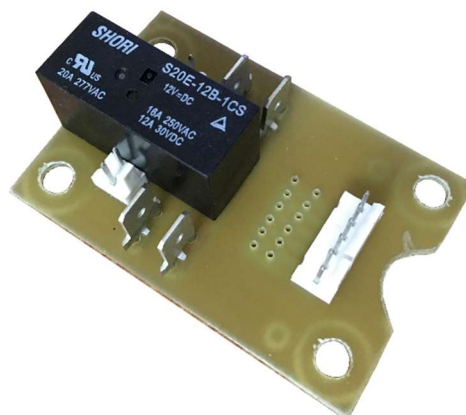
Množství	Název součástky	Hodnota	Distributor	Part Number
1	C1	330uF/35V	TME	JRG1V331M05001000160000B
2	C2, C3	2200uF/50V	TME	KM 2200U/50V
2	C4, C5	100nF/50V/X7R	TME	CC0805KRX7R9BB104
1	C6	470uF/50V	TME	UCD1H471MNQ1MS
1	D1	KBPC610	TME	KBPC610
1	LED1	GREEN	TME	LL-S150GC-2A
2	R1, R2	Select variant	TME	Select variant
1	U1	Select variant	TME	Select variant
2	X1, X2	Faston 6.3 mm, 1719309	TME	Select variant
1	X3	MOLEX_022232021	TME	22232021

Příloha O – Desky plošných spojů

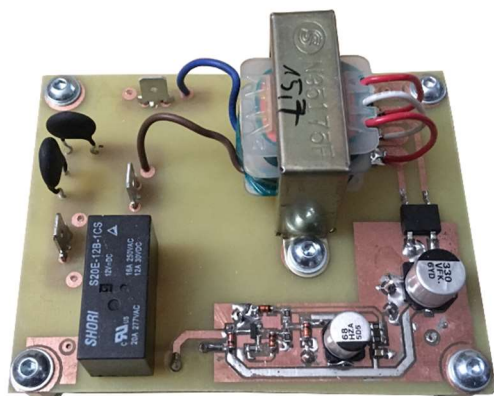
DPS – Výstup 1



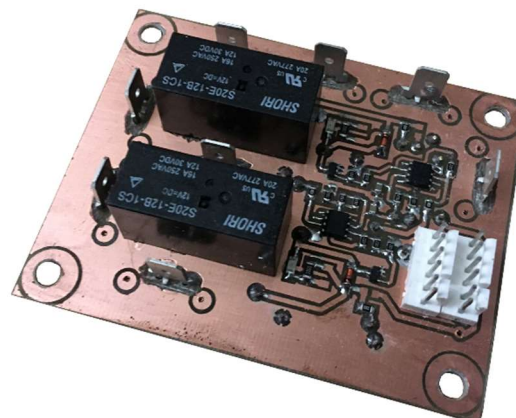
DPS – Výstup 2



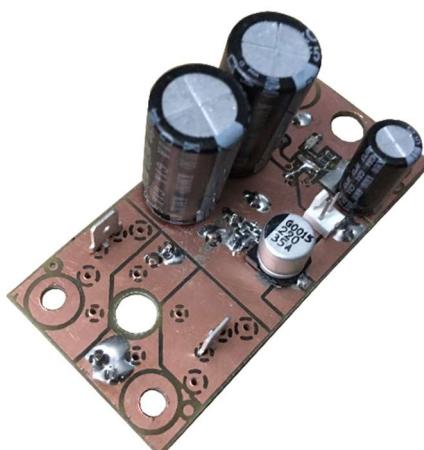
DPS – Softstart



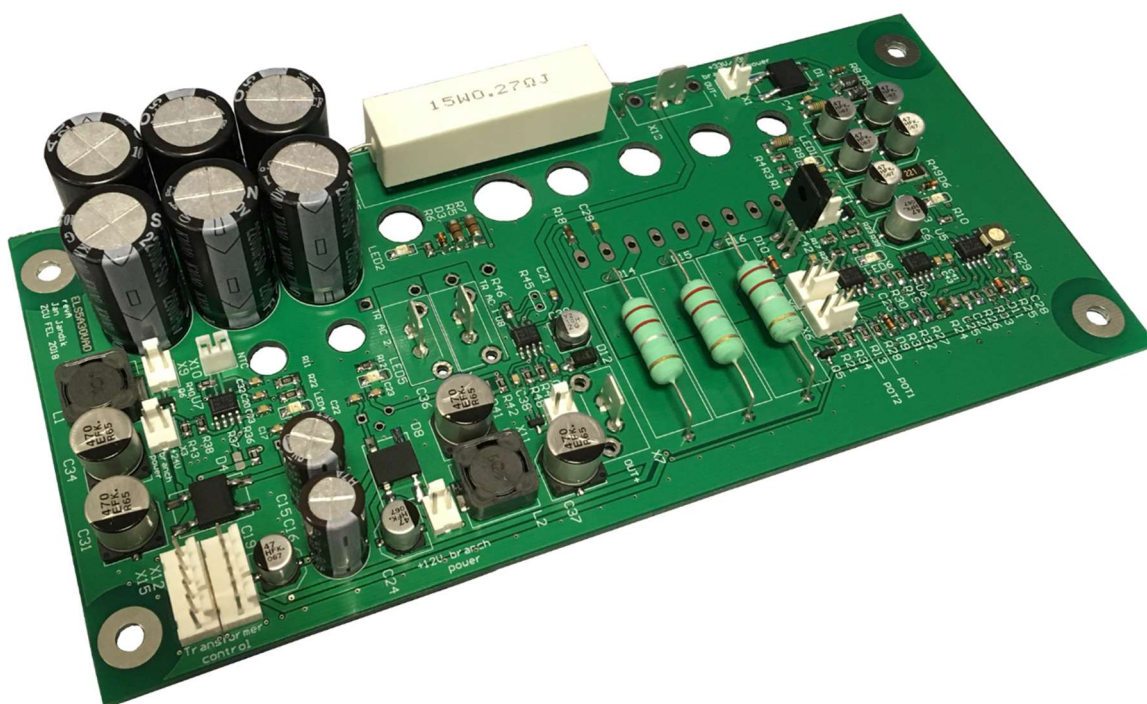
DPS – Přepínání odboček



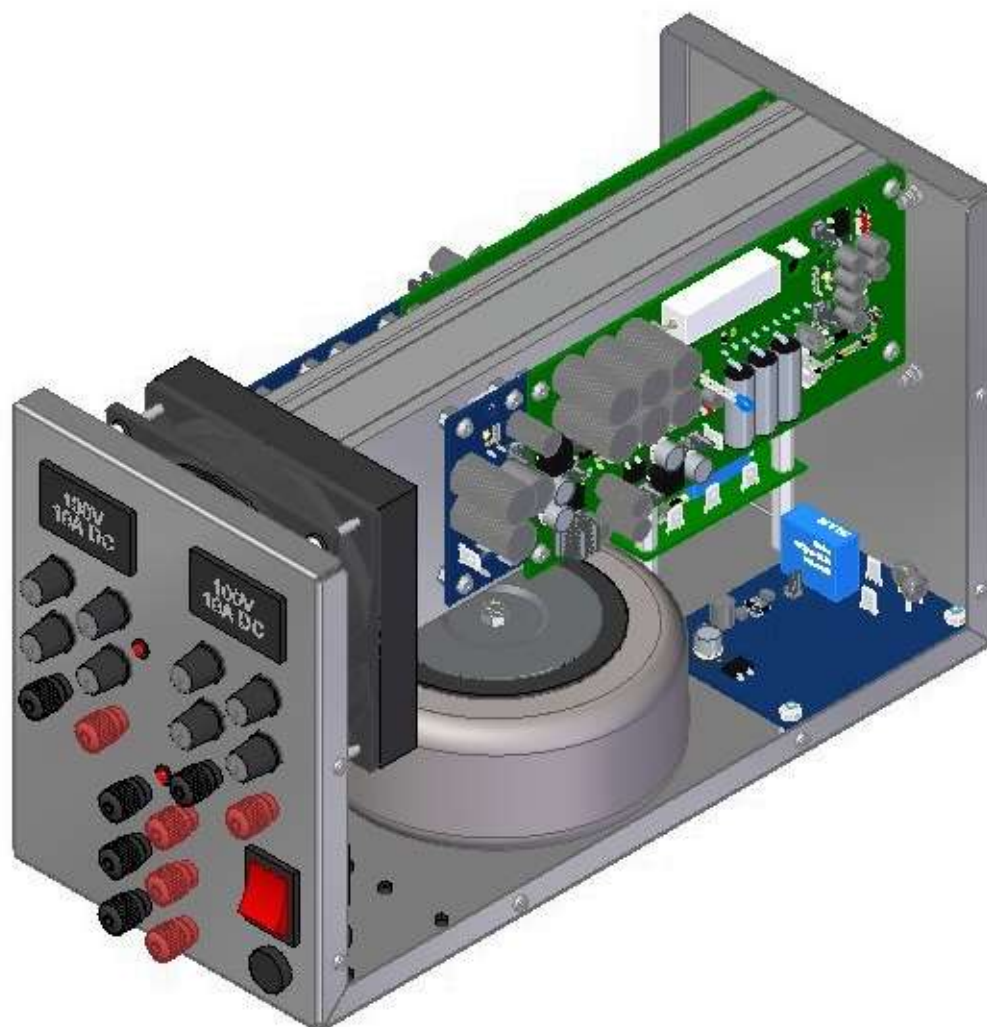
DPS - Zdroj



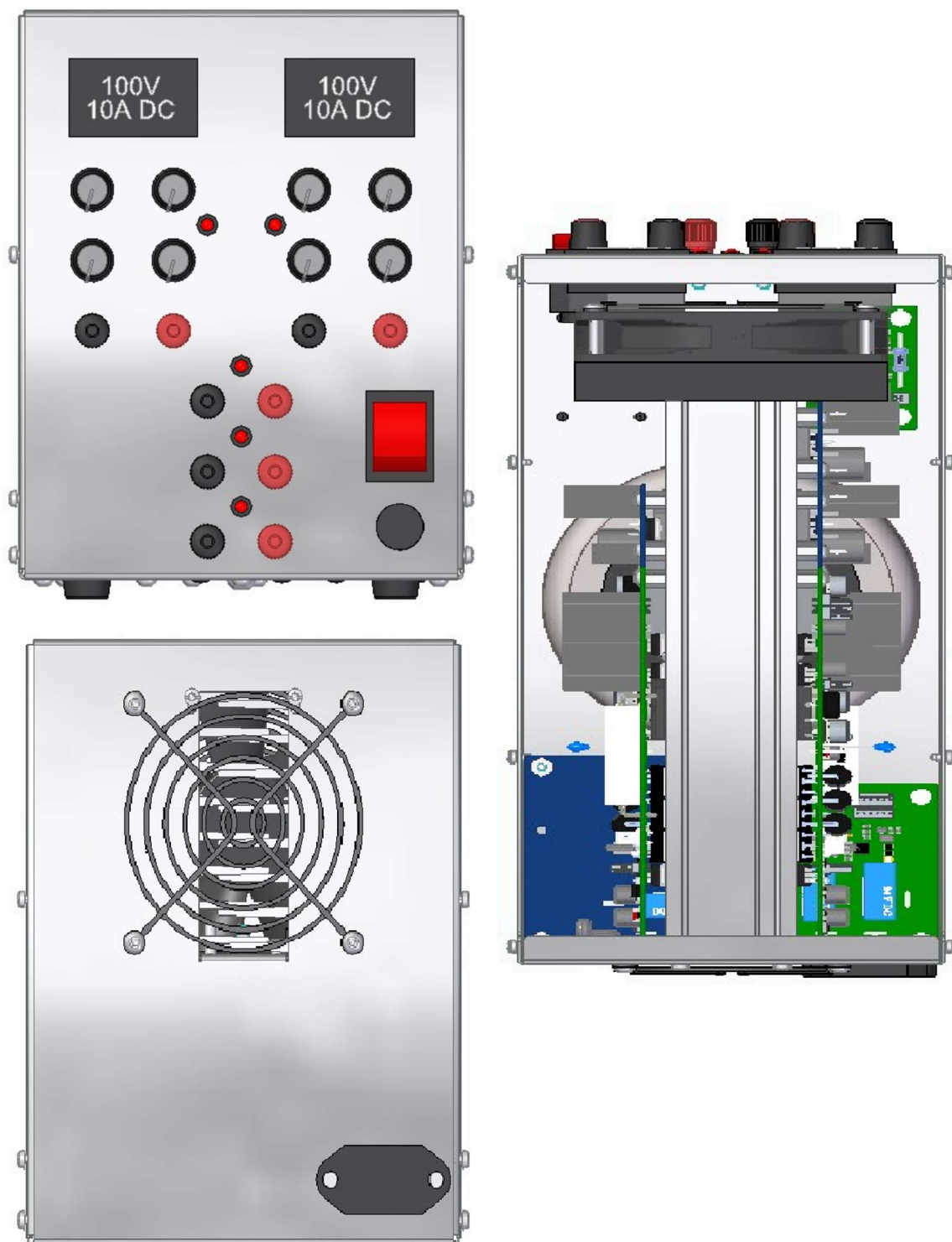
DPS – Hlavní regulační část



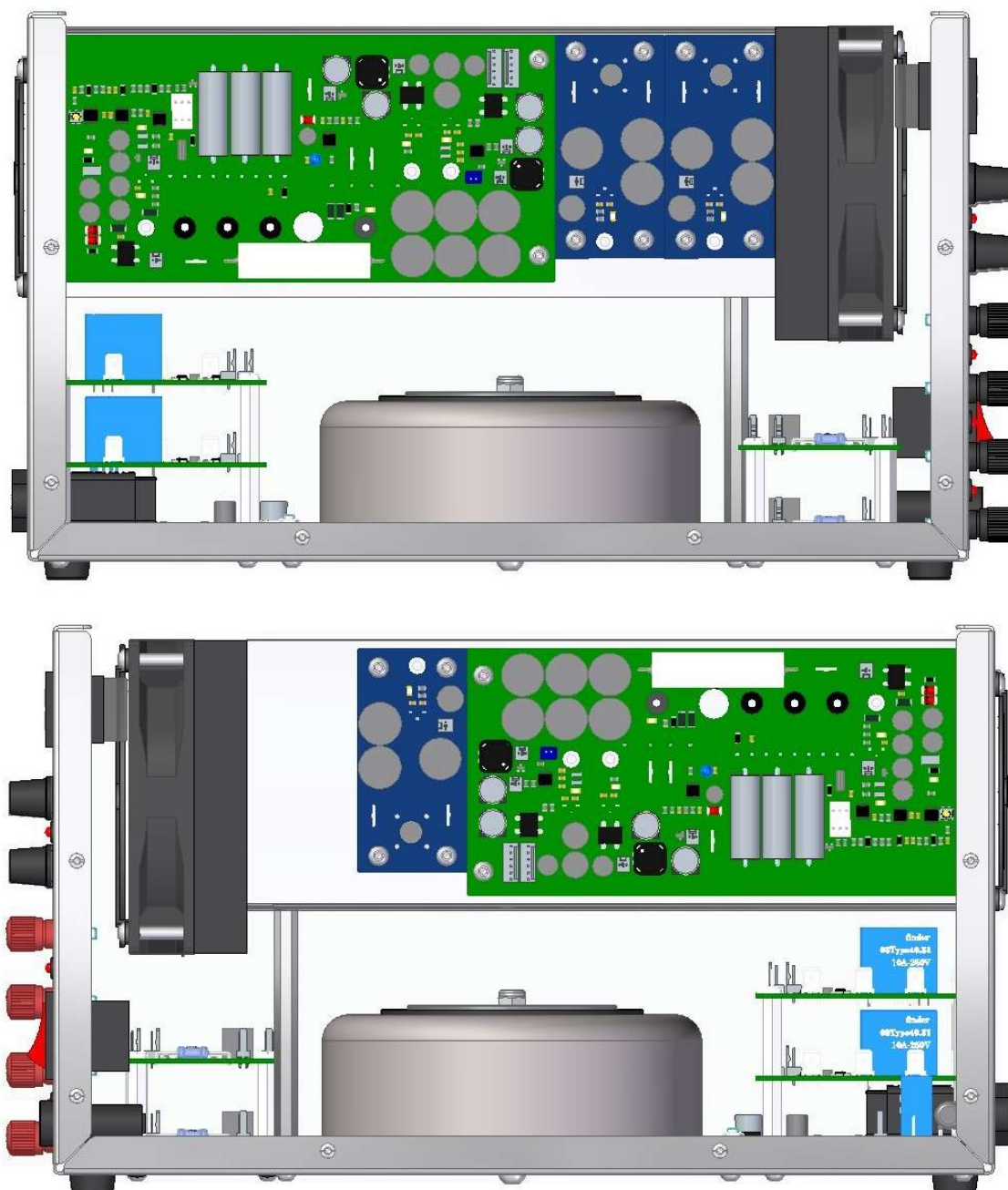
Příloha P - 3D návrh kompletní sestavy



Příloha Q - Náhledy zepředu, zezadu a shora

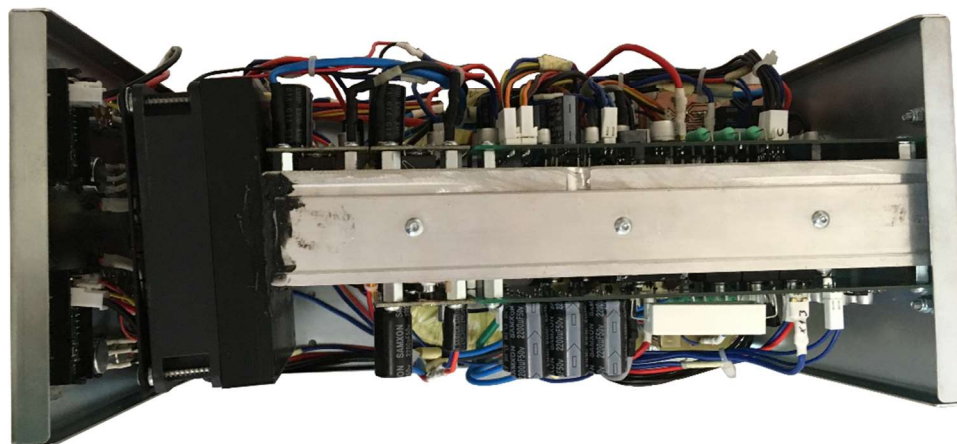
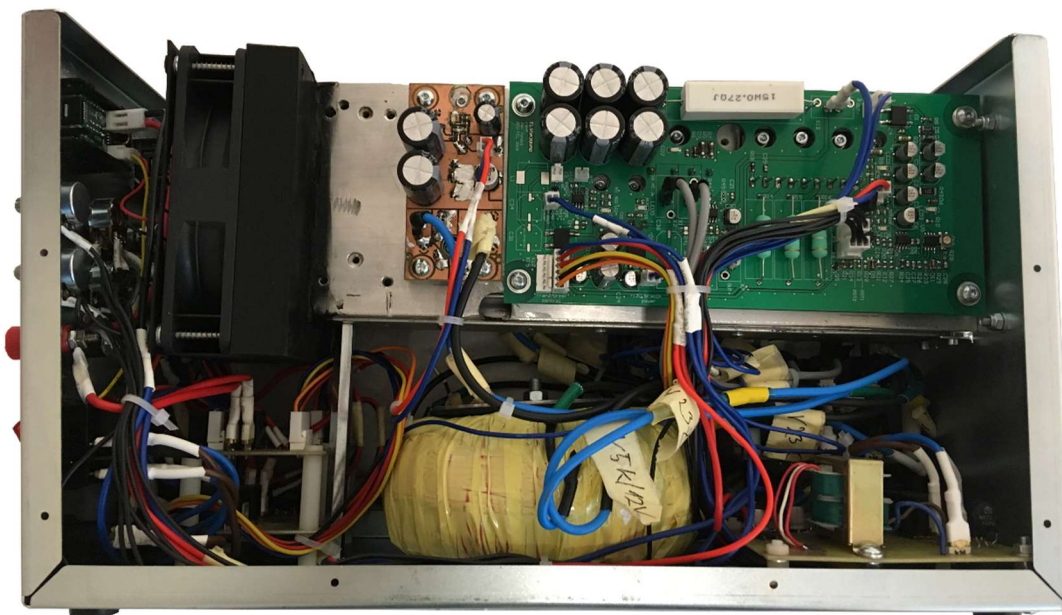


Příloha R - Náhledy z levé a z pravé strany



Příloha S – Obrázky funkčního vzorku





Příloha T - Kompaktní disk s dokumentací a elektronickou verzí práce

Příloha U - 2 x vázaná příloha montážního výkresu