

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Zvuková aparatura 2,5 kW

Ondřej Tylich

Hranice 2016

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 10. Elektrotechnika

Zvuková aparatura 2,5 kW

Autor: Ondřej Tylich

Ročník: 3. ročník

Škola: Střední průmyslová škola Přerov, Havlíčkova 2, Přerov

Kraj: Olomoucký kraj

Konzultant: Jaromír Bařina,
Ing. Eva Rudolfová

Hranice 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Přerově dne: _____

Ondřej Tylich

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat svým rodičům za velikou ochotu spolupráci a finanční podporu při konstrukcích mého projektu. Dále bych rád poděkoval p. Jaromíru Bařinovi za dohled a pomoc při psaní práce. Taktéž bych rád poděkoval za korekci práce Ing. Evě Rudolfové a Mgr. Blance Chytilové.

Anotace

Cílem mé práce bylo vytvořit ozvučovací aparaturu, se kterou docílím dostatečného výkonu pro reprodukci silného a zároveň kvalitního zvuku.

V práci je popsána výroba zvukové aparatury o výkonu 2,5 kW, kterou lze ozvučit i větší sál. Bylo zapotřebí navrhnout a vyrobit aktivní výhybku, dále koncové zesilovače a také reprosoustavy. Pro konstrukci výrobku byly provedeny návrhy plošných spojů, úpravy schémat elektronických obvodů a výroba reprosoustav.

Součástí mé práce je technická dokumentace výrobku, popis postupu výroby a samotný výrobek.

Klíčová slova: aktivní výhybka, korekce, předzesilovač, koncový zesilovač, reprosoustava, ozvučnice

Abstract

The objective of my work was to create a sound apparatus to attain the sufficient power to reproduce a powerful and high-quality sound at the same time.

In the paper there is a description of a 2,5 kW sound apparatus that could be used even in a bigger hall. It was necessary to design and manufacture an active crossover, power amplifiers and speakers. Printed circuits, adjusted diagrams of electronic circuits and manufactured speakers were designed for a construction of the product.

My paper includes technical documentation of the product, a description of the manufacturing process and the product itself.

Key words: active crossover, correction, preamplifier, power amplifier, speakers, sound baffle

Obsah

Obsah.....	7
Seznam obrázků	10
Úvod.....	14
1 Třípásmová aktivní výhybka a korekční zesilovač	15
1.1 Blokové schéma.....	16
1.2 Napájecí zdroj.....	17
1.2.1 Schéma zapojení.....	17
1.2.2 Návrh plošného spoje	18
1.2.3 Fotografie osazeného plošného spoje.....	19
1.3 Korekční zesilovač	20
1.3.1 Schéma zapojení.....	21
1.3.2 Plošný spoj	23
1.3.3 Fotografie osazeného plošného spoje.....	24
1.4 Aktivní výhybka	25
1.4.1 Výpočty aktivní výhybky	25
1.4.2 Výpočet dolního pásma	26
1.4.3 Střední pásmo	27
1.4.4 Výpočet horního pásma.....	28
1.4.5 Schéma zapojení.....	29
1.4.6 Výstupní symetrický zesilovač.....	31
1.4.7 Schéma zapojení.....	32
1.4.8 Návrhy plošného spoje	33
1.4.9 Fotografie osazeného plošného spoje.....	35
1.5 Konektory a kabeláž	36

1.6	Přístrojová krabice	36
1.7	Fotografie kompletního výrobku	38
1.8	Zhodnocení	39
2	Koncové zesilovače	40
2.1	Blokové schéma celku	41
2.2	Popis	42
2.3	Koncový zesilovač 600 W a 2x 100 W	44
2.3.1	Blokové schéma	44
2.3.2	Zdroj	45
2.3.3	Usměrňovač a filtrace	46
2.3.4	Řízení ventilátorů	48
2.3.5	Modul zesilovače 600 W	53
2.3.6	Ochrana reproduktorů	56
2.3.7	Proudová ochrana	61
2.3.8	Symetrický vstupní zesilovač	62
2.3.9	Indikátor vybuzení	65
2.3.10	Modul zesilovače 2 x 150 W	68
2.3.11	Chladič a ventilátory	70
2.3.12	Přístrojová skříň	71
2.3.13	Fotografie hotového zesilovače	72
2.4	Koncové zesilovače 600 W	73
2.4.1	Blokové schéma	73
2.4.2	Zdroj	73
2.4.3	Pomocné obvody	74
2.4.4	Soft start	75
2.4.5	Přístrojová skříň	78

2.5	Fotografie celé soustavy zesilovačů	80
2.6	Zhodnocení	81
3	Reproduktorová soustava	82
3.1	Sloupové reprosoustavy.....	84
3.1.1	Ozvučnice.....	84
3.1.2	Nárys ozvučnice	85
3.1.3	Konstrukce	85
3.2	Subwoofery.....	89
3.2.1	Nárys ozvučnice	90
3.2.2	Konstrukce	91
3.3	Fotografie celé hotové reprosoustavy	93
3.4	Zhodnocení	94
4	Závěr.....	95
	Seznam použité literatury	96
	Seznam příloh.....	97

Seznam obrázků

Obrázek 1-Blokové schéma aktivní výhybky	16
Obrázek 2-Schéma zapojení zdroje.....	17
Obrázek 3-Strana spojů	18
Obrázek 4-Strana součástek	18
Obrázek 5- Hotový zdroj.....	19
Obrázek 6-Schéma zapojení korekčního zesilovače	21
Obrázek 7-Strana spojů	23
Obrázek 8-Strana součástek	23
Obrázek 9-Hotový korekční zesilovač	24
Obrázek 10-Schéma zapojení dolní propusti.....	26
Obrázek 11-Schéma zapojení pásmové propusti.....	27
Obrázek 12- Schéma zapojení horní propusti	28
Obrázek 13- Celkové schéma aktivní výhybky.....	30
Obrázek 14-Schéma zapojení sym. výstupního zesilovače.....	32
Obrázek 15-Návrh plošného spoje-strana spojů.....	33
Obrázek 16-Návrh plošného spoje-strana součástek.....	34
Obrázek 17-Hotová deska aktivní výhybky	35
Obrázek 18-Přístrojová krabice aktivní výhybky.....	37
Obrázek 19-Detail čelního panelu skříně	37
Obrázek 20-Hotový přístroj	38
Obrázek 21-Blokové schéma zapojení zesilovačů	41
Obrázek 22-Blokové schéma zesilovače č. 1	44
Obrázek 23- Toroidní transformátor ve skříně	46
Obrázek 24- Schéma zapojení usměrňovače s filtrací.....	48

Obrázek 25- Schéma zapojení regulace ventilátorů	49
Obrázek 26- Strana součástek	51
Obrázek 27- Strana součástek	51
Obrázek 28- Hotový zdroj.....	52
Obrázek 29- Schéma zapojení zesilovače 600 W	54
Obrázek 30- Schéma zapojení ochrany reproduktorů	57
Obrázek 31- Strana součástek	59
Obrázek 32- Strana spojů	59
Obrázek 33- Osazený plošný spoj zesilovače 600 W.....	60
Obrázek 34- Schéma zapojení proudové pojistky.....	61
Obrázek 35- Schéma zapojení symetrického vstupního zesilovače.....	62
Obrázek 36- Strana součástek	64
Obrázek 37- Strana spojů	64
Obrázek 38- Osazený plošný spoj.....	65
Obrázek 39- Schéma zapojení indikátoru	66
Obrázek 40- Strana součástek	67
Obrázek 41- Strana spojů	67
Obrázek 42- Osazený plošný spoj.....	67
Obrázek 43- Schéma zapojení zesilovače 2x100 W	68
Obrázek 44- Strana spojů, část 2.....	69
Obrázek 45- Strana spojů, část 1.....	69
Obrázek 46- Osazený plošný spoj.....	70
Obrázek 47- Použitý chladič	70
Obrázek 48- Použité ventilátory.....	70
Obrázek 49- Přístrojová skříň před úpravou	71
Obrázek 50- Hotový zesilovač	72

Obrázek 51- Čelní panel zesilovače	72
Obrázek 52- Čelní panel zesilovače	72
Obrázek 53- Blokové schéma zesilovače	73
Obrázek 54- Schéma zapojení usměrňovače a filtrace.....	74
Obrázek 55- Schéma zapojení soft startu	75
Obrázek 56- Strana součástí	77
Obrázek 57- Strana spojů	77
Obrázek 58- Osazený plošný spoj	77
Obrázek 59- Přístrojová skříň před opravou	78
Obrázek 60- Opravená skříň-zadní panel.....	78
Obrázek 61- Opravená skříň-přední panel	78
Obrázek 62- Hotový zesilovač 600 W	79
Obrázek 63- Sestava hotových zesilovačů - přední strana	80
Obrázek 64- Sestava hotových zesilovačů - přední strana	80
Obrázek 65- Návrhy sloupových reprosoustav	85
Obrázek 66- Upravená frézka.....	86
Obrázek 67- Vyfrézované otvory v čelních deskách.....	86
Obrázek 68- Ozvučnice před zakrytáním.....	87
Obrázek 69- Hotové sloupové reprosoustavy	89
Obrázek 70- Nákres subwooferů.....	90
Obrázek 71- Ozvučnice před zakrytáním.....	92
Obrázek 72- Hotové subwoofery	92
Obrázek 73- Celá reprosoustava.....	93
Obrázek 74- Subwoofery s a bez ochranného děrovaného plechu.....	98
Obrázek 75- Použitý 15" reproduktor Beyma	98
Obrázek 76- Pohled na zapojení zesilovačů.....	99

Obrázek 77- Pohled na celou aparaturu	99
Obrázek 78- Fotografie jedné soustavy reprosoustav	100

Úvod

Postupně budu popisovat výrobu celé této zvukové aparatury o výkonu 2,5 kW.

V první části práce se věnuji popisu části předzesilovače, který zahrnuje třípásmovou aktivní výhybku, korekční zesilovač a výstupní převodníky ze symetrického na nesymetrický signál a převodníky z nesymetrického na symetrický signál. Tuto metodu vedení symetrického signálu jsem do konstrukce zařadil neboť při delším vedení kabelů s nedostatečným stíněním a průřezem vodiče vznikaly zemní smyčky, které měly za důsledek nepříjemný brum.

V druhé části práce budu popisovat jednotlivé koncové zesilovače pracující ve třídě B. Koncové zesilovače jsou rozděleny na 6 částí, z toho 2 zesilovače s výkonem 600 W jsou určeny pro dolní pásmo, dále 2 zesilovače 600 W pro střední pásmo a pro horní pásmo 2 x 100 W. Provoz těchto zesilovačů je neekonomický, jelikož 50 % příkonu (2,5 kW) se přemění v teplo. Do budoucna plánuji tyto zesilovače ponechat pro středy, výšky a postavit zesilovače pracující ve třídě D s účinností až 96 %, které budou budit dolní pásmo.

Poslední částí je popis reprosoustavy. Před pár lety jsem získal z kina reprosoustavy značky Stage Accopany. Basové reproduktory v těchto reprosoustavách by byly bez opravy nepoužitelné, proto následovala oprava. Reprosoustavy mají takový tvar, aby se vešly za plátno, ale pro mne jsou tyto rozměry nevyhovující, proto budu popisovat konstrukci nových ozvučnic jiných rozměrů. Rozhodl jsem se také, že k těmto reprosoustavám postavím subwoofery.

V úvodu bych chtěl ještě popsat výrobu plošných spojů, jež vyrábím v konstrukci aktivní výhybky a zesilovačů. Plošné spoje vyrábím metodou pozitivní fotocesty.

Postup: Na očištěnou cuprexitovou desku nanesu vrstvu fotocitlivého laku, který následně usychá v troubě vyhřáté na 70 °C po dobu asi 15 minut. Po vytvrzení laku přiložím obrazec vytisknutý na pauzovacím papíře a osvěcuji jej 6 minut UV lampou. Poté vyvolám obrazec v 1,5% roztoku hydroxidu sodného, dokud není na desce pouze obrazec cest. Vyvolanou desku položím na hladinu chloridu železitého ohřátého na cca 50 °C mědí dolů. Vyleptaný plošný spoj očistím acetonem a nanesu pájitelný lak.

Dále bych chtěl k návrhům plošných spojů podotknout, že schémata zapojení jsem vytvářel dodatečně k této práci, tudíž se nemusí zejména číslování součástek shodovat s návrhem plošného spoje, jinak zapojení jsou shodná.

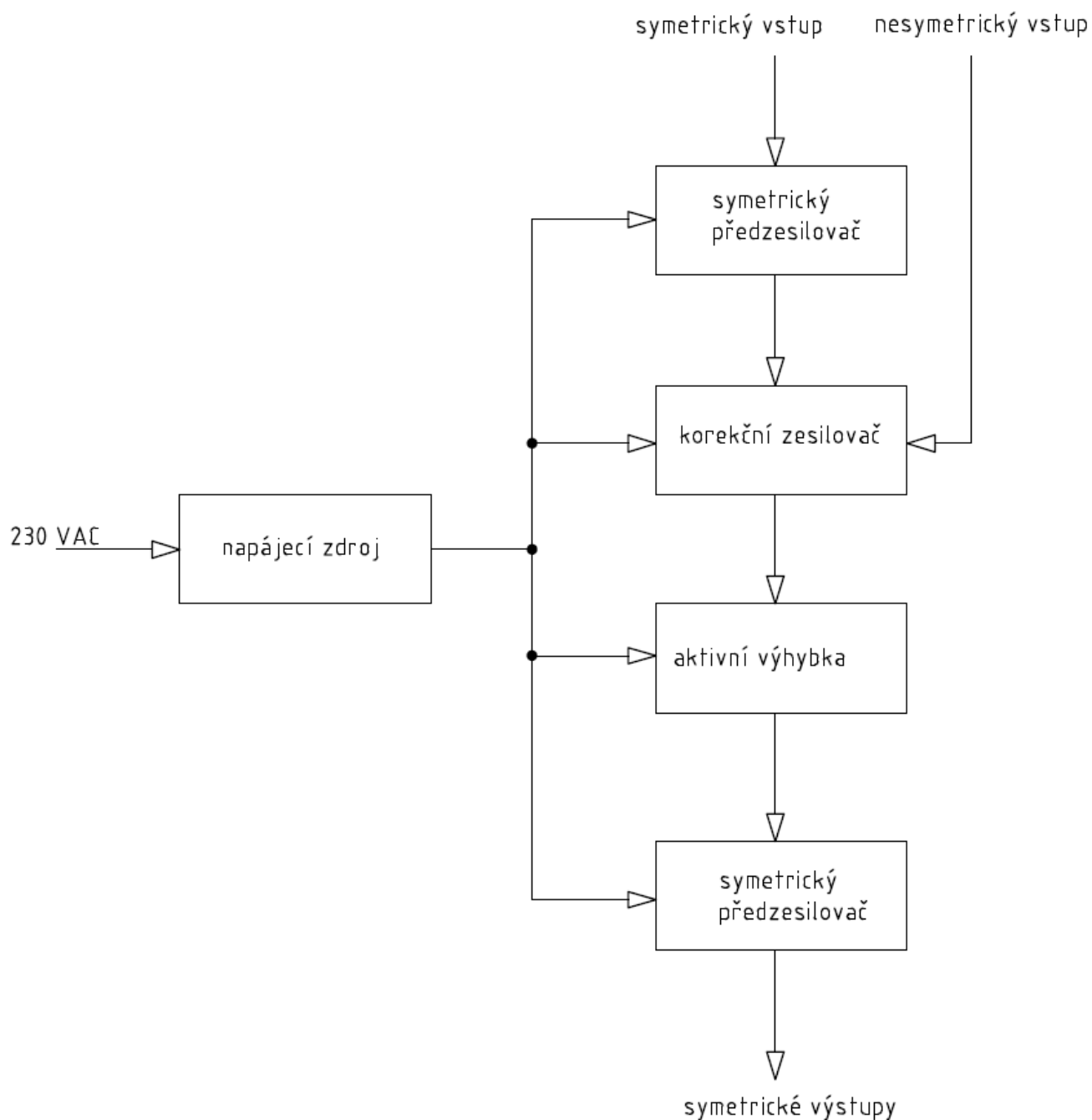
1 Třípásmová aktivní výhybka a korekční zesilovač

Technické parametry:

- napájení: 230 VAC
- příkon: max. 12 VA
- počet kanálů: 2 (stereo)
- vstupní citlivost: 750 mV
- korekční regulace:
 - basy při $f=40$ Hz: ± 16 dB
 - výšky při $f=16$ kHz: ± 16 dB
- vstup:
 - symetrický konektor XLR
 - nesymetrické konektory Cinch
- dělicí kmitočty crossoveru:
 - režim dvoupásmový: 1400 Hz
 - režim třípásmový: 110/1400 Hz
- výstupy: symetrické konektory XLR
- hmotnost: 3,2 kg

1.1 Blokové schéma

Na tomto blokovém schématu (obrázek č. 1) je vidět přibližné propojení jednotlivých částí. Všechny tyto části jsou napájeny z jednoho stabilizovaného zdroje. Napětí ze zdroje je stabilizováno na symetrické 15 V. Blokové schéma slouží pro hrubou orientaci. Zařízení je dvoukanálové, respektive stereofonní. Popisují pouze jeden kanál, jelikož kanály jsou totožné.

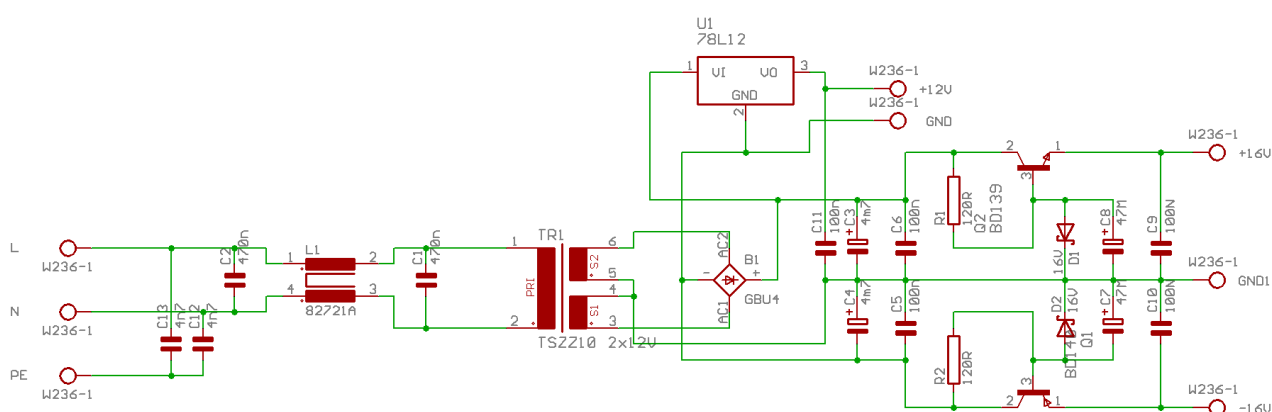


Obrázek 1-Blokové schéma aktivní výhybky

1.2 Napájecí zdroj

Napájecí zdroj je nejdůležitější částí tohoto zařízení. Na kvalitě napájecího napětí závisí i kvalita výstupních signálů. Síťové napětí by mělo být dobře odrušeno, protože případné rušení nebo napěťové špičky by se mohly dostat i přes transformátor na výstup zdroje, tudíž by mohlo dojít k rušení signálů. Zdroj obsahuje transformátor o výkonu 12 VA, po usměrnění Graetzovým můstkem je napětí vyfiltrováno a stabilizováno na symetrické napětí 16 V. Před touto stabilizací je do obvodu zakomponován monolitický stabilizátor 7812 pro napájení pomocných obvodů. Na níže uvedeném schématu, obrázek č. 2, je přesné schéma zapojení tohoto zdroje. Výkonové součástky, tranzistory a monolitický stabilizátor jsou umístěné na malém chladiči, který je vyroben z 2 mm hliníkového plechu.

1.2.1 Schéma zapojení



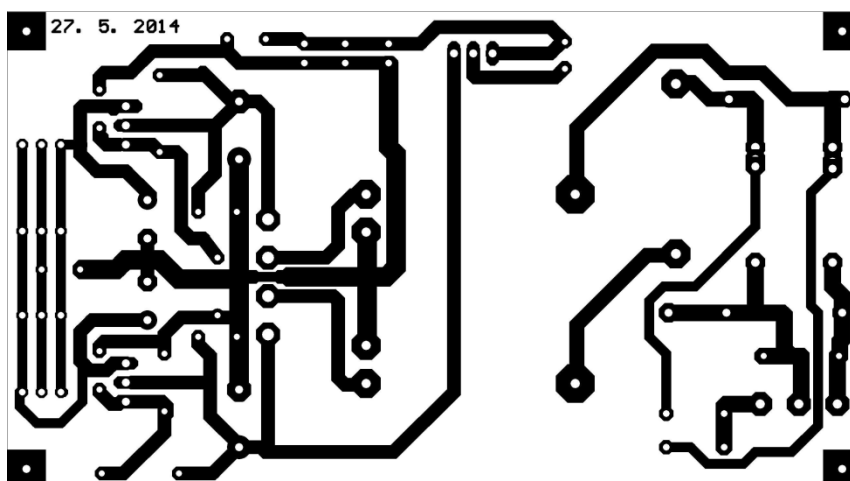
Obrázek 2-Schéma zapojení zdroje

Seznam součástek:

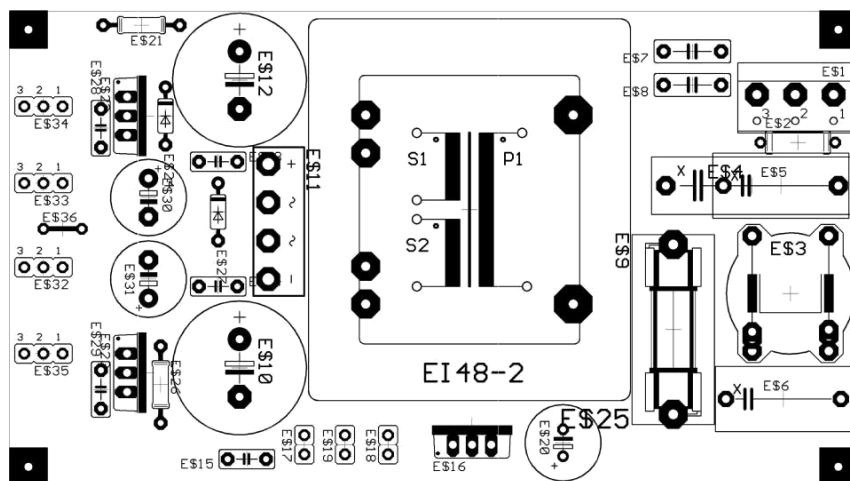
R1, R2	R0207 120R
C1, C2	470n
C3, C4	4700M
C5, C6, C9, C10, C11	100n keramika
B1	KBU8J
D1, D2	BZX55/16V
Q1	BD140
Q2	BD139
TR1	TSZZ10/010M 2x12V

1.2.2 Návrh plošného spoje

Na níže uvedených obrázcích číslo 3 a 4 jsou vyobrazeny návrhy pro výrobu a osazení plošného spoje. Obrázek plošných spojů, obrázek č. 3, je zrcadlově obrácen oproti rozmístění součástek a celkového pohledu z vrchní strany. Plošný spoj je zhotoven na desce cuprexitu o rozměrech 113 x 63 mm.



Obrázek 3-Strana spojů



Obrázek 4-Strana součástek

1.2.3 Fotografie osazeného plošného spoje

Po osazení byl tento zdroj oživen, je plně funkční a nebylo potřeba nic víc nastavovat či předělávat. Na obrázku číslo 5 je fotografie hotového a funkčního zdroje.



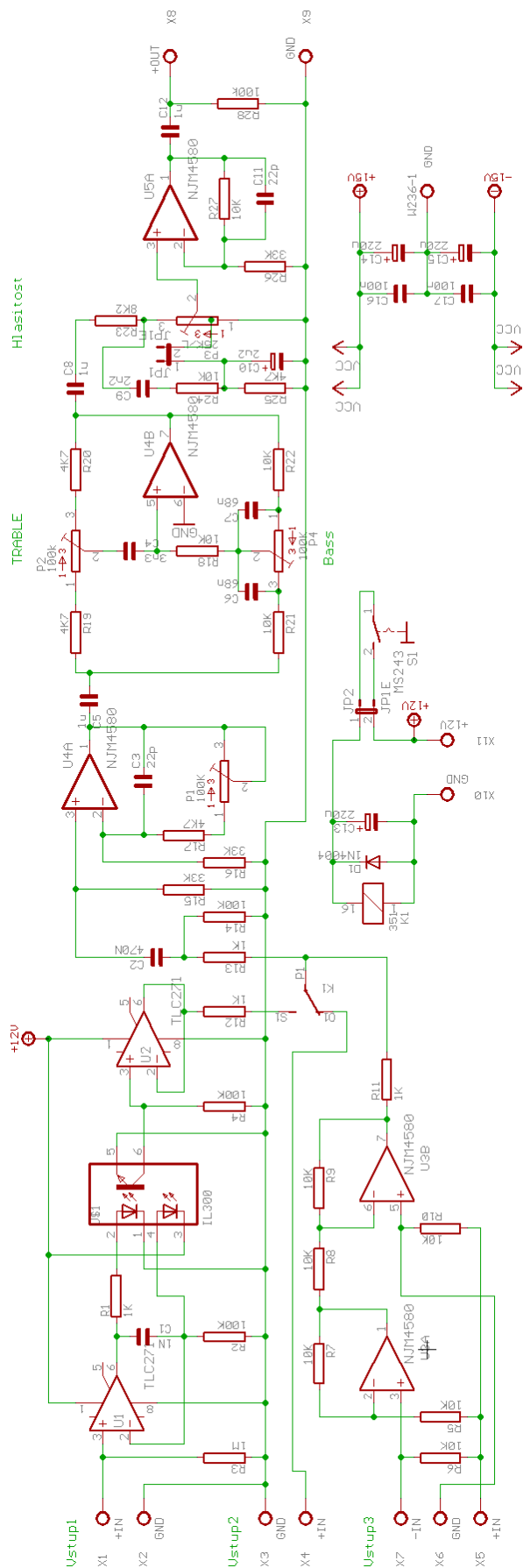
Obrázek 5- Hotový zdroj

1.3 Korekční zesilovač

Jako korekční zesilovač je zde použit Baxandallův korektor. Před korektorem a za ním je použit zesilovač složený z operačního zesilovače, který (nám) zajišťuje větší vstupní citlivost a větší stabilitu úrovně signálu. Na regulaci hlasitosti slouží potenciometr s vyvedeným středem pro fyziologické nastavení hlasitosti. Tuto funkci moc nepoužívám, protože tímto potenciometrem si nastavím konstantní zesílení, ale hlasitost reguluji na počítači. Použil jsem operační zesilovače typu NJM4580, které by měly být o třídu lepší než TL072. Jedná se o dvojitý audio operační zesilovač pracující do 15 MHz, cenový rozdíl oproti TL072 jsou asi 3,- Kč, cena za kus je přibližně 10,- Kč. Lepší operační zesilovače buď nejdou sehnat, nebo stojí stovky korun. Při počtu použitých operačních zesilovačů by to bylo velmi nákladné a rozdíl by nebyl výrazně znát. Cenou za použití lepších OZ, které pracují do vyšších kmitočtů, je to, že obvod je náchylnější proti rozkmitání, poté je potřeba například zpomalit zpětnou vazbu.

Do tohoto korekčního zesilovače je signál přiveden přímo buď nesymetricky konektory Cinch, nebo přes symetrický vstupní zesilovač symetricky pomocí pětipinového konektoru XLR. V symetrickém vstupním zesilovači je také použit OZ NJM4580. Další vstup je nesymetrický a opticky oddělen, protože v některých případech je signál rušen brumem ze zemních smyček. Pro optické oddělení je použit lineární optočlen IL300.

1.3.1 Schéma zapojení



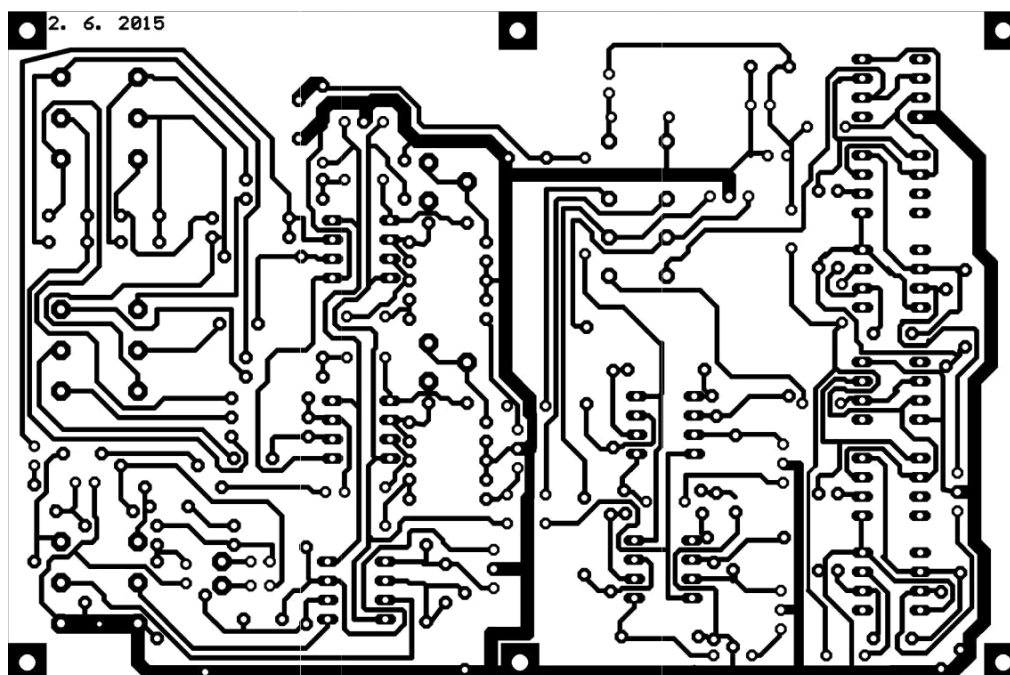
Obrázek 6-Schéma zapojení korekčního zesilovače

Seznam součástek:

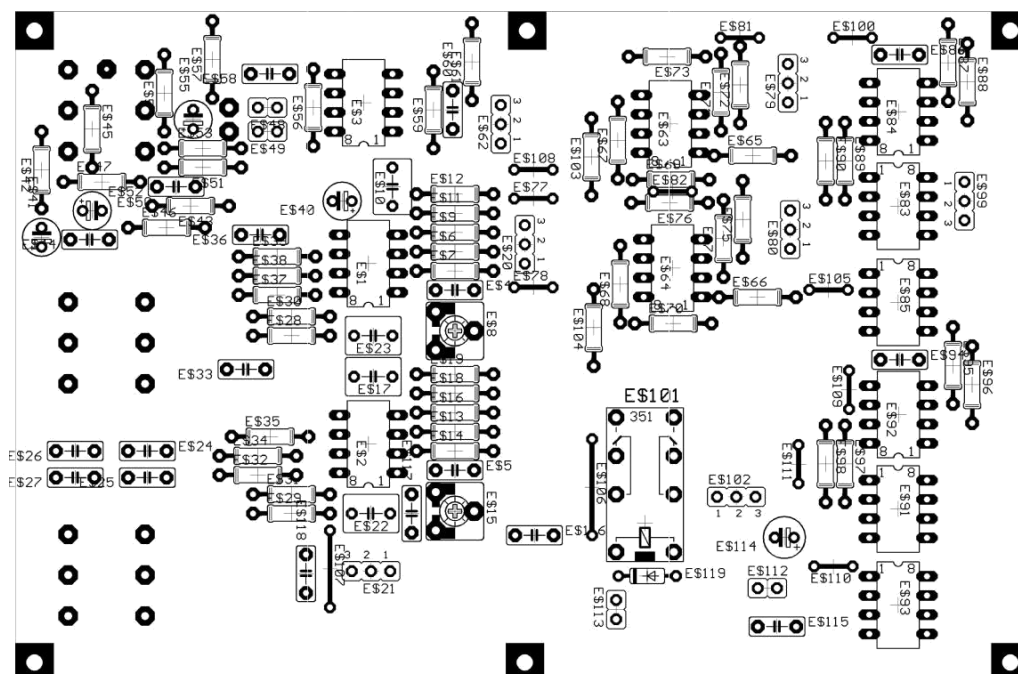
R1, R11, R12, R13	1k
R2, R4, R14, R28	100k
R3	1M
R5, R4, R7, R8, R9, R10, R18, R21, R22, R24, R27	10k
R15, R15, R26	33k
R17, R19, R20, R25	4k7
R23	8k2
C1	1n
C3, C11	22p
C2	470n
C4	3n3
C5, C8, C12	1uF
C6, C7	68n
C9	2n2
C10	2u2
C13, C14, C15	220u
C16, C17	100n
D1	1N4007
U1	IL300
U1, U2	TLC271
U3, U4, U5	NJM4580
P1, P2	100k/N
P3	25k/L
K1	M4-12H
JP1, JP2	jumper

1.3.2 Plošný spoj

Plošný spoj je zhotoven na cuprexitové desce o rozměrech 89 x134 mm.



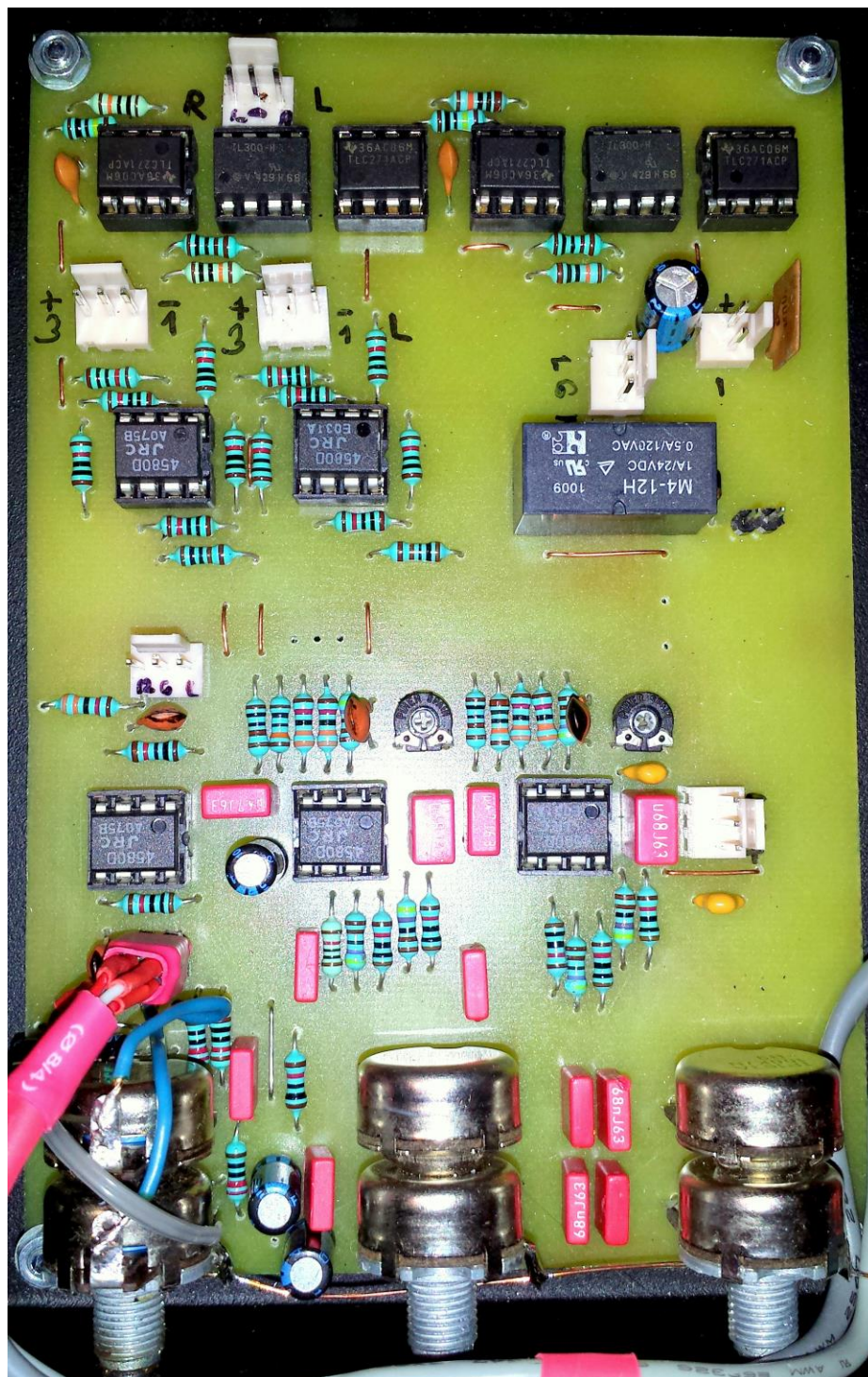
Obrázek 7-Strana spojů



Obrázek 8-Strana součástek

1.3.3 Fotografie osazeného plošného spoje

Po osazení byl tento (zdroj) zesilovač oživen a je plně funkční. Zde bylo potřeba nastavit vstupní zisk vstupního předzesilovače pomocí trimrů.



Obrázek 9-Hotový korekční zesilovač

1.4 Aktivní výhybka

Aktivní výhybku neboli crossover jsem použil z toho důvodu, že při takovémto výkonu s použitím pasivní reproduktorové výhybky by se účinnost podstatně snížila. Je to dáno tím, že ze zesilovače jde signál, který obsahuje celé spektrum hudby, a ten se dělí až v reprosoustavě, kde se na výhybce při velkých proudech ztrácí výkon. Výhodou této aktivní výhybky je to, že zesilovač zesiluje pouze pásmo, které jde přímo do reproduktoru. Další výhodou je ta, že lze kdykoli nastavit citlivost reproduktorů.

Aktivní výhybka, kterou jsem zde použil, má strmost 24 dB/okt., je označována také jako filtr 4. řádu. Zapojení jsem uzpůsobil tak, aby se dalo lehce přepínat mezi dvěma režimy, a to dvoupásmovým, jež využívá jedné dělicí frekvence, a třípásmovým, který využívá dvou dělicích kmitočtů.

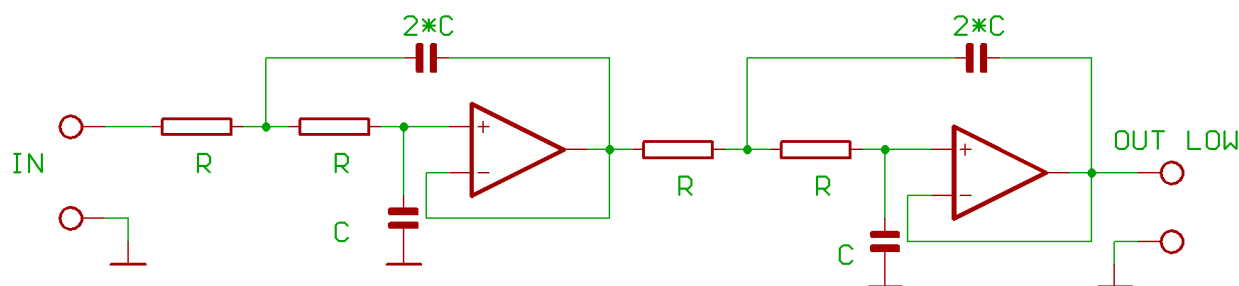
Abych mohl tuhle aktivní výhybku realizovat, musím si nejdříve spočítat hodnoty součástek pro zvolené dělicí kmitočty. Dělicí kmitočty nikdy nevyjdou přesně, jelikož musíme použít hodnoty součástek z vyráběných řad, popřípadě použít různé řazení součástek. Jako první je třeba zvolit dělicí kmitočty podle použitých reproduktorů. Pro mé reprosoustavy bude vhodné použít dělicí kmitočty cca 110/1400 Hz. Výpočty provedeme dvakrát, první pro dělicí kmitočty 110 Hz a druhý pro 1400 Hz.

1.4.1 Výpočty aktivní výhybky

$$\text{Základní vzorec: } f_p = \frac{1}{x \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

$x = 2,83$... konstanta pro crossover se strmostí 24 dB/okt

1.4.2 Výpočet dolního pásma



Obrázek 10-Schéma zapojení dolní propusti

$$f_p = \frac{1}{2,83 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

$$F_p = 110 \text{ Hz}$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

Pro zvolený dělicí kmitočet musím vypočítat vhodné hodnoty rezistorů a kondenzátorů podle uvedeného vzorce. Rezistory by neměly mít menší odpor než $2 \text{ k}\Omega$, protože by pak docházelo k velkému útlumu signálu. Před výpočtem je třeba stanovit si hodnotu kondenzátoru, jelikož mezi hodnotami řad kondenzátorů jsou velké rozdíly, tím pádem by nebylo jednoduché přiblížit se zvolenému dělicímu kmitočtu. Pro přesnější přibližování se k dělicímu kmitočtu bude vhodné volit různé hodnoty rezistorů. Vhodné hodnoty rezistorů jsem vybíral z řady E24, z této řady lze vybrat rezistory tak, aby byly dvojnásobkem R , použiji tak pouze jeden a nemusím je řadit paralelně nebo do série. U kondenzátorů nezbyvá nic jiného, než je řadit paralelně. Na výše uvedeném schématu je vidět, kde se námi vypočtené součástky budou nacházet.

$$R = \frac{1}{2,83 \cdot \pi \cdot C \cdot f_p} = \frac{1}{2,83 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 110} = 10,225 \text{ k}\Omega$$

Hodnota rezistoru pro dělicí frekvenci vyšla $10,225 \text{ k}\Omega$. Jelikož tato hodnota neexistuje, pokud bych nepoužili 2 rezistory $10 \text{ k}\Omega$ a 220Ω zapojené do série, budu vybírat nejbližší hodnotu, tedy $10 \text{ k}\Omega$. Dvojnásobek této hodnoty je v el. řadě $20 \text{ k}\Omega$. Pro kontrolu

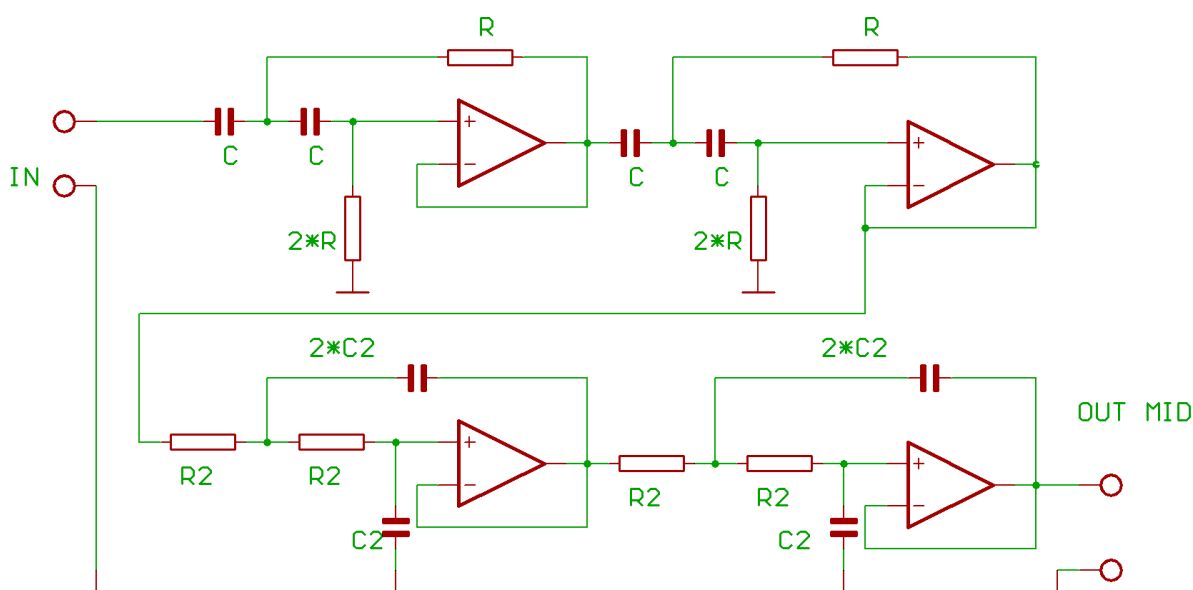
výsledku dosadím do vzorce nejbližší hodnotu rezistoru, tedy 10 kΩ, abych si ověřil, jaká bude dělicí frekvence.

$$f_p = \frac{1}{2,83 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2,83 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 112,48 \text{ Hz}$$

Po dosazení a výpočtu vychází dělicí frekvence 112,5 Hz. Rozdíl mezi požadovaným kmitočtem a vypočítaným je možno zanedbat, jelikož použité kondenzátory mají toleranci 5 až 10 % a není třeba dosáhnout naprosto přesného výsledku.

1.4.3 Střední pásmo

Z obrázku č. 11 je zřejmé, že pásmová propust se skládá ze dvou v sérii zapojených

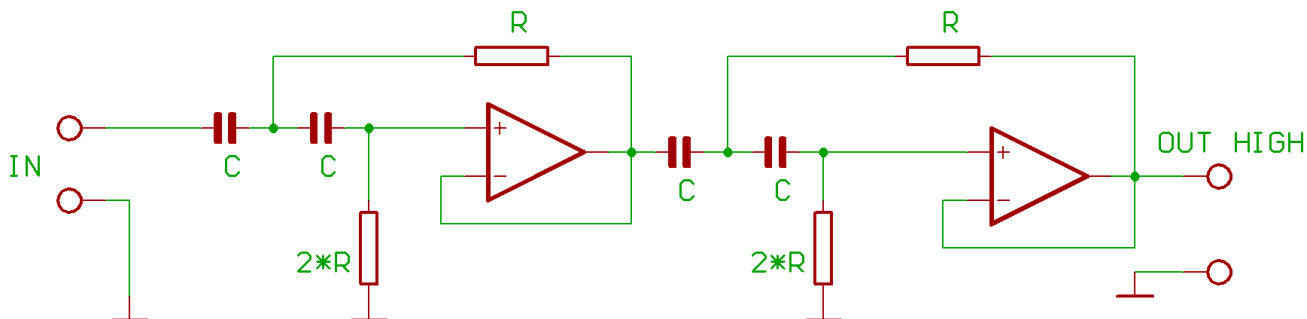


Obrázek 11-Schéma zapojení pásmové propusti

propustí, a to horní a dolní propusti. Je v podstatě jedno, která je jako první, zde ve schématu je to horní propust. Ta signál ořeže od dolního pásma, takže by se v něm neměl vyskytovat signál pod 110 Hz (dělicí kmitočty, které jsme si zvolili). Poté signál prochází dolní propustí, kde je ořezán od kmitočtů vyšších než 1,4 kHz. Z tohoto vyplývá, že střední pásmo je od 110 Hz do 1400 Hz. Pro pásmovou propust není třeba provádět žádné výpočty, jelikož je složena z horní propusti prvního dělicího kmitočtu a z dolní propusti druhého dělicího kmitočtu.

1.4.4 Výpočet horního pásma

Pro výpočet je stejný postup jako v případě dolní propusti pouze s jinými hodnotami. Dělicí kmitočet jsem zvolil 1400 Hz a hodnotu kondenzátoru přibližně 10krát menší.



Obrázek 12- Schéma zapojení horní propusti

$$F_p = 1400 \text{ Hz}$$

$$C = 10 \text{ nF}$$

Tyto hodnoty dosadím do vzorce.

$$R = \frac{1}{2,83 \cdot \pi \cdot R \cdot f_c}$$

$$R = \frac{1}{2,83 \cdot \pi \cdot C \cdot f_p} = \frac{1}{2,83 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 1400} = 8,034 \text{ k}\Omega$$

Opět ověřím, jaká bude výsledná dělicí frekvence pro použití nejbližší hodnoty 8,06 k Ω . Přesný dvojnásobek této hodnoty neexistuje, nejbližší je 16,2 k Ω . Není to příliš vhodné, jelikož horní propust bude přibližně o 7 Hz posunuta. Dá se ovšem říci, že toto je zanedbatelné, protože když uvažujeme nad tím, že kondenzátory mají toleranci 5 %, rozdíl by mohl činit až 34 Hz. Toto jsou jen teoretické předpoklady, všechny kondenzátory nemusí mít naprosto stejnou kapacitu a také nepřesnost nemusí být tak velká.

$$f_p = \frac{1}{2,83 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2,83 \cdot \pi \cdot 8060 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 1395,5 \text{ Hz}$$

Z výpočtu je vidět, že rozdíl je oproti zvolené frekvenci přibližně o 5 Hz menší, než jsem zvolil. Tato nepřesnost mi vůbec nevadí, jelikož středobasový reproduktor hraje do 1500 Hz a výškový od 1000 Hz.

1.4.5 Schéma zapojení

Po kompletním vypočítání hodnot součástek a následné kontrole přepočítáním mohu nakreslit celkové schéma aktivní výhybky. Ve schématu jsou zakreslené vypočtené hodnoty. Na obrázku č. 13, umístěném na následující straně, je schéma kompletního zapojení aktivní výhybky.

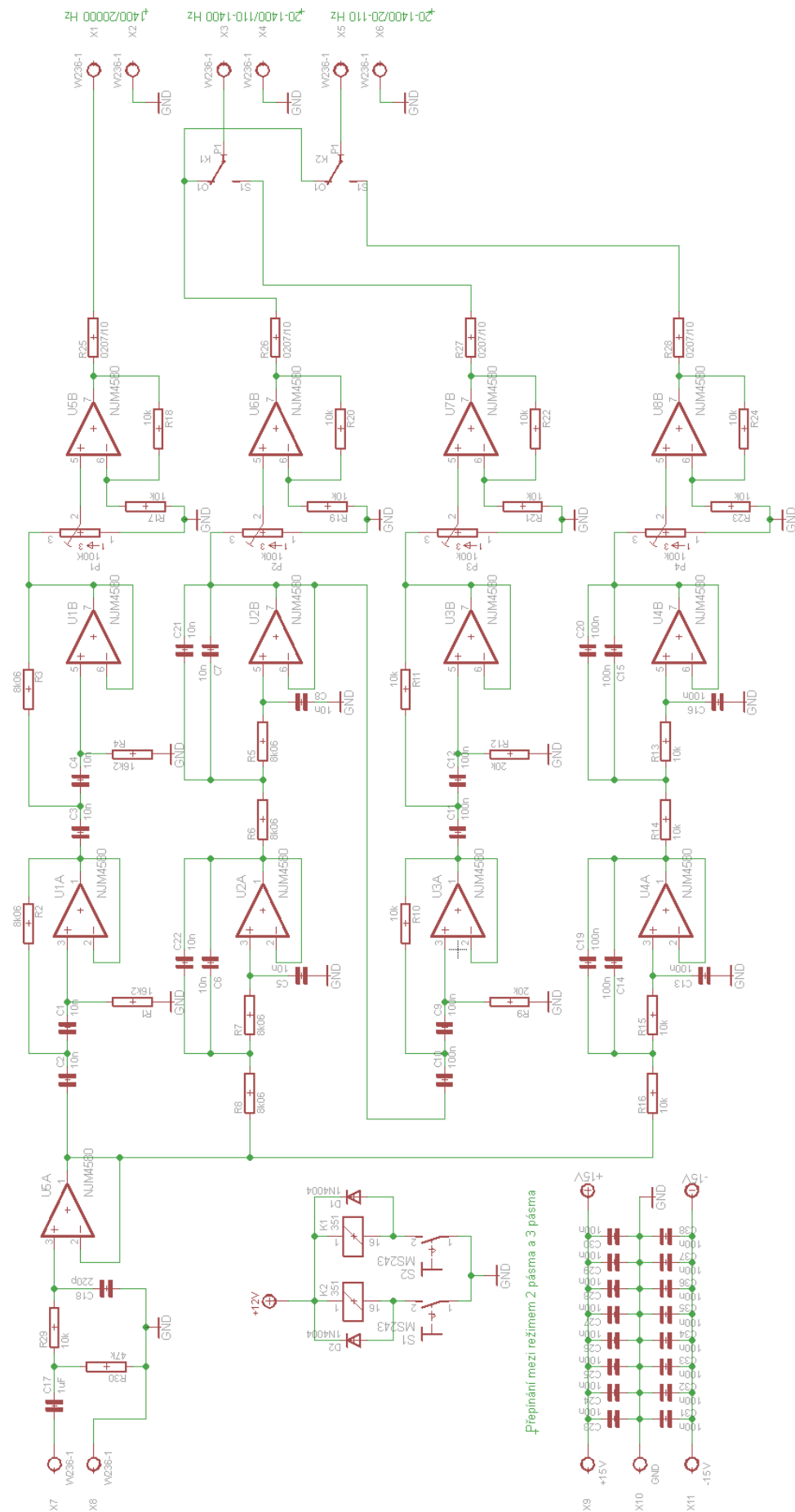
Toto zapojení aktivní výhybky je vcelku jednoduché. Signál vchází přes oddělovací kondenzátor a rezistor do vstupu operačního zesilovače. Tento operační zesilovač je zapojen jako neinvertující zesilovač, to znamená, že je zachována fáze. Zesilovač má pouze proudové zesílení, nikoli napěťové, jelikož zpětná vazba má nulový odpor, z toho vyplývá, že napětí na vstupu se rovná napětí výstupnímu. Signál z výstupu pokračuje do dalších částí výhybky, tou je horní, pásmová a dolní propust.

V horní propusti jsou také použity operační zesilovače, ale tentokrát zapojeny jako derivační zesilovač. Tyto propusti jsou v sérii dvě, tím je dána strmost této výhybky 24 dB na oktávu, pokud by zde byl jen jeden derivační zesilovač, pak by byla strmost 12 dB na oktávu, dělicí frekvence by potom byla jiná.

Pásmová propust, tedy střední pásmo, je sestaveno z horní a dolní propusti. V této části se opět nachází dvakrát po sobě operační zesilovač zapojený jako derivační zesilovač nastavený na dělicí frekvenci (1400 Hz), za tímto následují dva po sobě jdoucí operační zesilovače zapojené jako integrační zesilovače naladěné na dělicí frekvenci (110 Hz).

Dolní propust pracuje na principu integračního operačního zesilovače. Toto zapojení signál ořeže od kmitočtů vyšších než 110 Hz.

Signál z těchto propustí je zesílen operačním zesilovačem, protože při integraci či derivaci vznikl útlum signálu. Výstupní zesilovač má nastavený maximální zisk 3 dB, tedy dvojnásobný. Tento zisk máme možnost ještě regulovat pomocí trimru 100 k Ω . Regulace zisku je vhodná např. pro přesné nastavení signálu v levém a pravém kanálu nebo pro nastavení různých citlivostí reproduktorů. Každý z výstupů je převeden na symetrický signál symetrickým zesilovačem. Symetrický zesilovač je popsán v bodě 1.4.6. V tomto obvodu jsou použity stejné operační zesilovače NJM4580.



Obrázek 13- Celkové schéma aktivní výhybky

Seznam součástek:

R1, R4	16k2
R2, R3, R5, R6 R7, R8,	8k06
R9, R12	20k
R10, R11, R13-R24, R29	10k
R25-R28	100R
R30	47k
C1-C8, C21, C22	10n
C9-C15, C19, C20	100n TC
C17	1uf TC
C23-C38	100n TK
P1-P4	100k trimr
D1, D2	1N4007
K1, K2	M4-12H
U1-U5	NJM4580

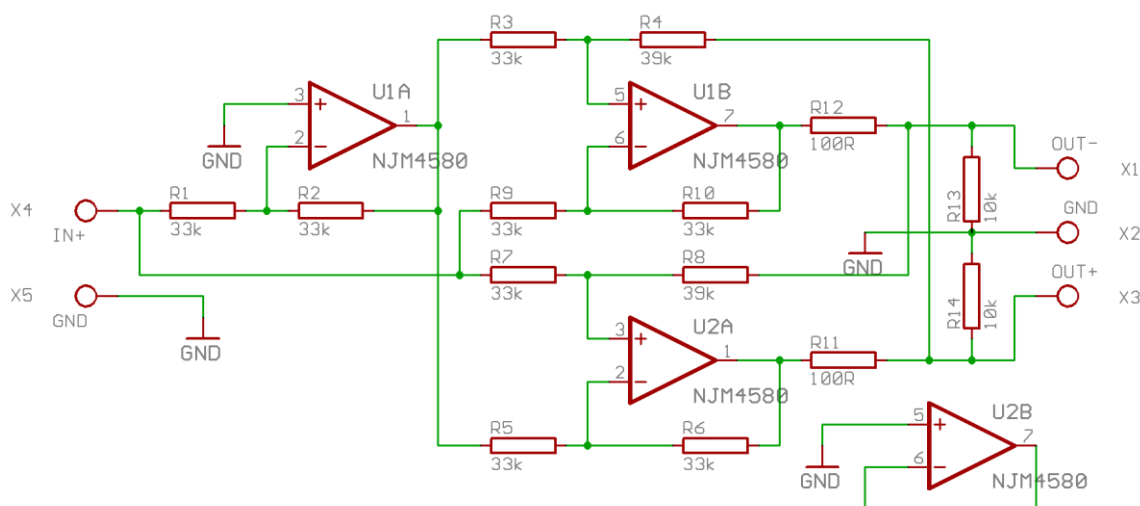
1.4.6 Výstupní symetrický zesilovač

Další důležitou částí zpracování signálů je výstupní symetrický zesilovač. Tento zesilovač má za úkol převést nesymetrický signál na symetrický. Vždy jsem se potýkal s velikým problémem, byl to brum, který byl opravdu nepříjemný. Byl to způsoben tím, že signál se vedl nesymetrickými kabely, tento kabel měl pro jeden kanál dvě žíly, obě dvě měly za úkol vést signál, jedna sloužila také jako stínění. Pokud toto stínění nemělo dostatečný průřez nebo jím nebyl signálový vodič pečlivě obalen, docházelo při připojení více zařízení se společným uzemněním k velkému rušení způsobenému zemními smyčkami. Dalším rušením je indukování elektromagnetických vln do kabelu. Symetrický signál se vede symetrickým kabelem, který má pro jeden kanál tři žíly, dvě jsou signálové a třetí je pouze stínící. V tomto případě se nemůže stát, že by zemní smyčky ovlivňovaly signál. U tohoto způsobu vedení

signálu moc nezáleží na délce kabelu, nemělo by se stát, že by se do tohoto kabelu indukovalo rušení. To proto, že signál je fázově posunut o 180°, jakýkoli indukovaný signál je shodný v obou signálových vodičích.

1.4.7 Schéma zapojení

V zapojení jsou použity dva dvojité operační zesilovače NJM4580. Signál z každého výstupu aktivní výhybky je přiveden na vstup tohoto samostatného zesilovače, popisují pouze jeden. Signál je přiveden na první operační zesilovač, kde je fázově posunut o 180°, dále pak pokračuje tento invertovaný a původní signál na dvojici operačních zesilovačů, ta zajišťuje shodnou úroveň výstupního symetrického signálu. Napájení má společné s aktivní výhybkou i korekčním zesilovačem, napětí je symetrické ± 16 V.



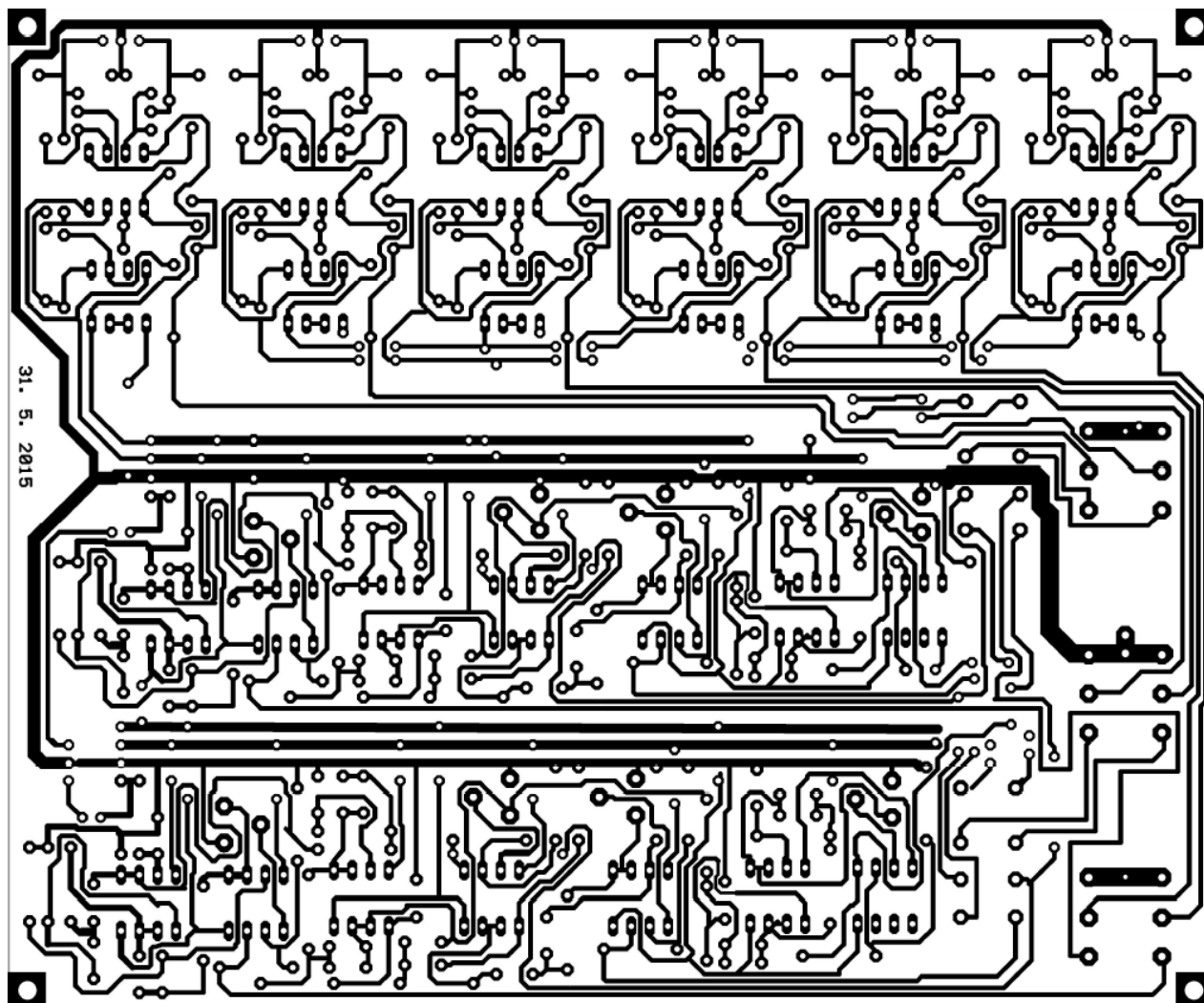
Obrázek 14-Schéma zapojení sym. výstupního zesilovače

Seznam součástek:

R1, R2, R3, R5, R6, R7, R9, R10	33k
R4, R8	39k
R11, R12	100R
R13, R14	10k
U1, U2	NJM4580

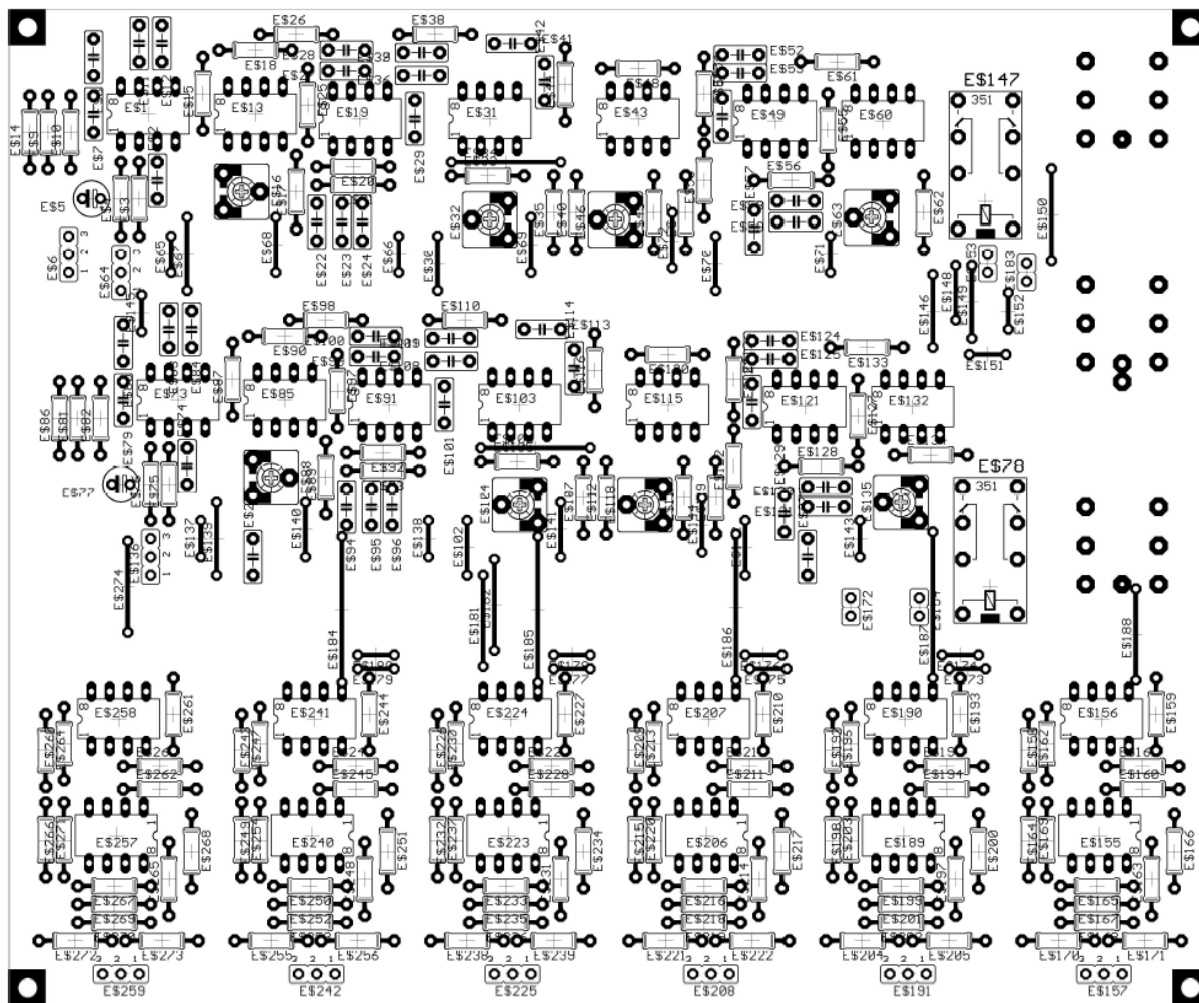
1.4.8 Návrhy plošného spoje

Na těchto obrázcích č. 15 a č. 16 jsou návrhy plošného spoje aktivní výhybky.



Obrázek 15-Návrh plošného spoje-strana spojů

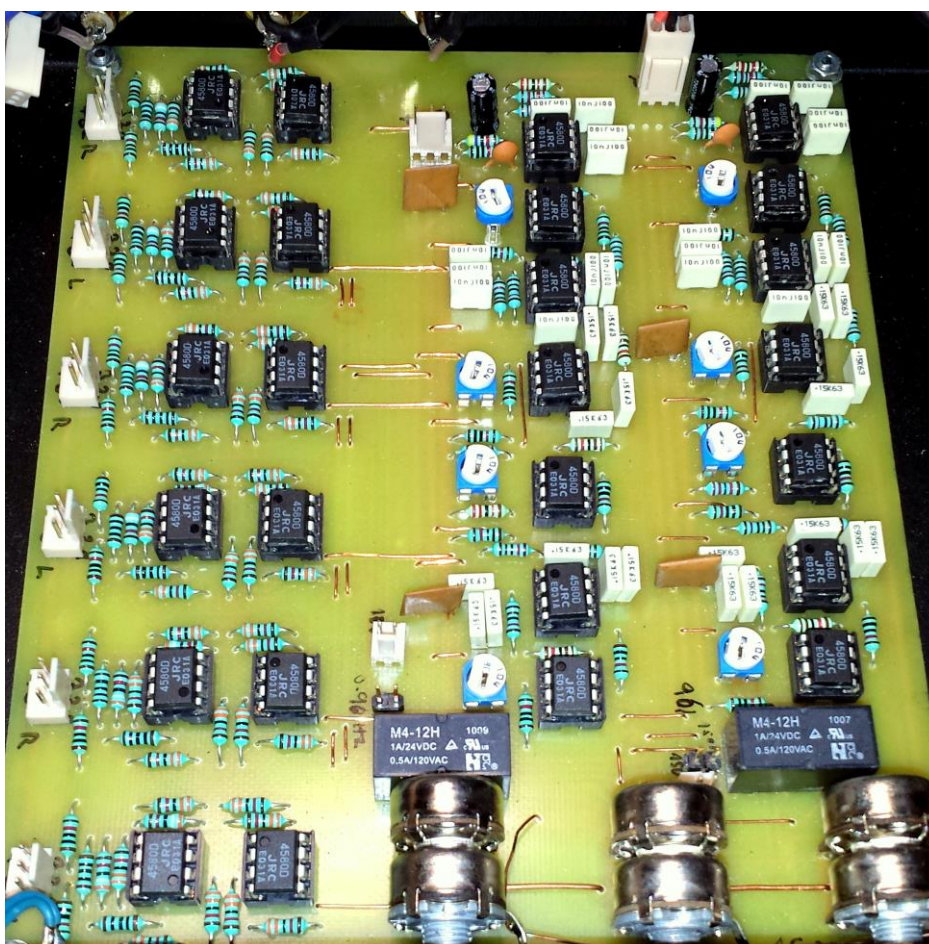
Na tomto obrázku je návrh rozmístění součástek na plošném spoji aktivní výhybky.



Obrázek 16-Návrh plošného spoje-strana součástek

1.4.9 Fotografie osazeného plošného spoje

Při ožiování této části byly problémy. Vše fungovalo, když jsem obvod testoval operačními zesilovači TL072, oživoval jsem to s těmito OZ proto, že kdyby se vyskytl nějaký problém či chyba, zničily by se jen tyto lacinější obvody. Jakmile jsem všechny patice osadil operačními zesilovači NJM4580 a měření prováděl pomocí osciloskopu, zjistil jsem, že tento obvod neskutečně kmitá. Bylo to dáno tím, že tyto obvody pracují do vyšších frekvencí, jsou tedy náchylnější na rozkmitání. Po dlouhém laborování, kterým jsem se snažil kmitání odstranit, jako například přidáním blokačních kondenzátorů do napájecích větví či na výstupy nebo zpomalením obvodu (omezení pracovní frekvence) přidáním kondenzátorů do zpětné vazby, se podařilo kmitání dokonale odstranit. Na obrázku č. 17 je osazený a funkční obvod aktivní výhybky.



Obrázek 17-Hotová deska aktivní výhybky

1.5 Konektory a kabeláž

Vybírat lze mezi různými typy konektorů či typem provedení. Typy provedení jsou různé, plastové, kovové, odstíněné, izolované od panelu atd. Já jsem jako napájecí konektor vybral klasickou eurozásuvku na panel. Tento konektor na panel má jednu velkou výhodu, tou je vestavěný držák pojistky, tudíž není třeba dělat další díru na samostatný držák pojistky. Další výhodou je to, že pojistka nemusí být umístěná na plošném spoji v primárním okruhu, kdyby došlo k přepálení pojistky, nikoli závadě elektroniky, lze tuto pojistku snadno vyměnit bez odejmutí krytu.

Použil jsem Signálové konektory typu Cinch a XLR. Pro nesymetrický vstup jsem použil konektory Cinch, tyto konektory jsou umístěné na zadní straně panelu a jsou izolované. Odizolované od panelu jsou z toho důvodu, aby zde nevznikala zemní smyčka. Na zadním panelu jsou dva páry konektorů Cinch pro přímý vstup a vstup opticky oddělený. Třetí vstup je symetrický, je proveden pomocí pětipinového konektoru XLR. Výstup horního pásma, tedy výstup, který bude veden jedním kabelem do jiného zařízení, je vyveden také pětipinovým konektorem XLR. Pětipinové konektory používám pro stereo signál. Výstupy z pásmové a dolní propusti jsou vyvedeny jednotlivými třípinovými konektory XLR. Pro připojení symetrického stereo signálu se málokdy používá pětipinový konektor, proto toto zařízení není kompatibilní s jinými bez redukce.

Použití vhodných kabelů je také důležitá věc. Pro nesymetrický signál jsem použil koaxiální kabel kvůli kvalitnímu stínění a pro symetrický signál symetrické kabely (2 žíly + stínění).

1.6 Přístrojová krabice

Pro toto zařízení jsem zvolit přístrojovou krabici o rozměrech 442 x 44 x 182 mm. Tuto krabici jsem už nějakou dobu používal pro podobné zařízení, které však nebylo tak dokonalé, proto jsem zkonstruoval tohle. Jelikož v této krabici už byly různé plošné spoje, konektory, přepínače či potenciometry, obsahovala spoustu nepotřebných děr a děr na nevhodném místě. Novou krabici jsem nechtěl kupovat, jelikož stojí přibližně 700 Kč, tedy jsem se rozhodl, že ji opravím.

Potřeboval jsem, aby díry nebyly vidět. Udělal jsem to tak, že jsem nařezal různě veliké kousky cuprextitu, tak aby přesahovaly nejméně 2 mm přes díru. Daný pás či čtvereček cuprextitu jsem přilepil na vnitřní stranu krabice. Po zatuhnutí lepidla následovalo tmelení přední strany panelu brousitelným tmelem na kov. Jakmile tmel zatvrdl, mohl jsem celý panel vybrousit dohladka. Rozmístění otvorů a děr jsem nedělal podle nějaké technické dokumentace, ale přímo podle hotových výrobků (plošných spojů). Po vyvrtání všech nových potřebných děr, následném odjehlování otřepů a odmaštění celé krabice lihem jsem krabici nastříkal černou barvou ve spreji. Nástříky jsem prováděl ve dvou až třech vrstvách. Na níže uvedených obrázcích č. 18 a 19 jsou fotografie hotové krabice.



Obrázek 18-Přístrojová krabice aktivní výhybky



Obrázek 19-Detail čelního panelu skříně

1.7 Fotografie kompletního výrobku

Na obrázku č. 20 je fotografie kompletní aktivní výhybky s korekčním zesilovačem.



Obrázek 20-Hotový přístroj

1.8 Zhodnocení

Zapojení těchto různých obvodů jsou známá, ověřená, některá z nich jsem již v minulé době konstruoval a výborně fungovala. Spousty různých zapojení, co jsem dříve konstruoval, často obohacuji a vylepšuji jejich zpracování.

Problém se mi naskytl u optického oddělovače, i když na vstup lineárního optočlenu vchází krásná sinusovka, tak na výstupu je velmi zdeformovaná. Zatím nebyl čas se tím zabývat, jelikož tento vstup stejně nepoužívám. Udělal jsem ho z důvodu rychlého a jednoduchého řešení v případě problému se zemními smyčkami.

Další problém mi způsobily symetrické vstupní zesilovače. Když byly osazené operačními zesilovači TL072, vše fungovalo, jak má, ale když jsem místo nich použil NJM4580, tak zařízení začalo kmitat. Zajímavé bylo, že kmitání bylo závislé na teplotě, protože když bylo toto zařízení pár minut zapnuté, kmitání vymizelo. Jakmile zařízení bylo nějakou dobu vypnuté a znovu se zapnulo, tak kmitalo. Kmitání také záviselo na poloze potenciometrů, tedy na odporu nastaveném na vstupu těchto zesilovačů.

Jak jsem se už v bodě 1.4.9. zmínil, toto kmitání a nestabilitu jsem odstranil zkoušením zapojování kondenzátorů do různých částí obvodu. Jednak jsem do napájecích větví vložil keramický kondenzátor 100 nF, také velice účinné bylo připojení kondenzátorů 220 pF na výstup symetrických zesilovačů. Kmitání je velmi nebezpečné, většinou bývá o frekvenci stovek kHz až desítek MHz, může vést ke zničení koncového stupně. Může zničit nejenom koncový zesilovač, ale i reproduktor, protože tato frekvence není slyšet, cívka reproduktoru se nemá jak chladit, když nekmitá s určitou výchylkou. Kmitání lze poznat i podle sluchu, je to takový zvláštní brum. Nejspolehlivější metodou, jak to zjistit, je měření osciloskopem.

Po odstranění těchto problémů jsem s tímto zařízením velmi spokojen, pracuje opravdu dobře.

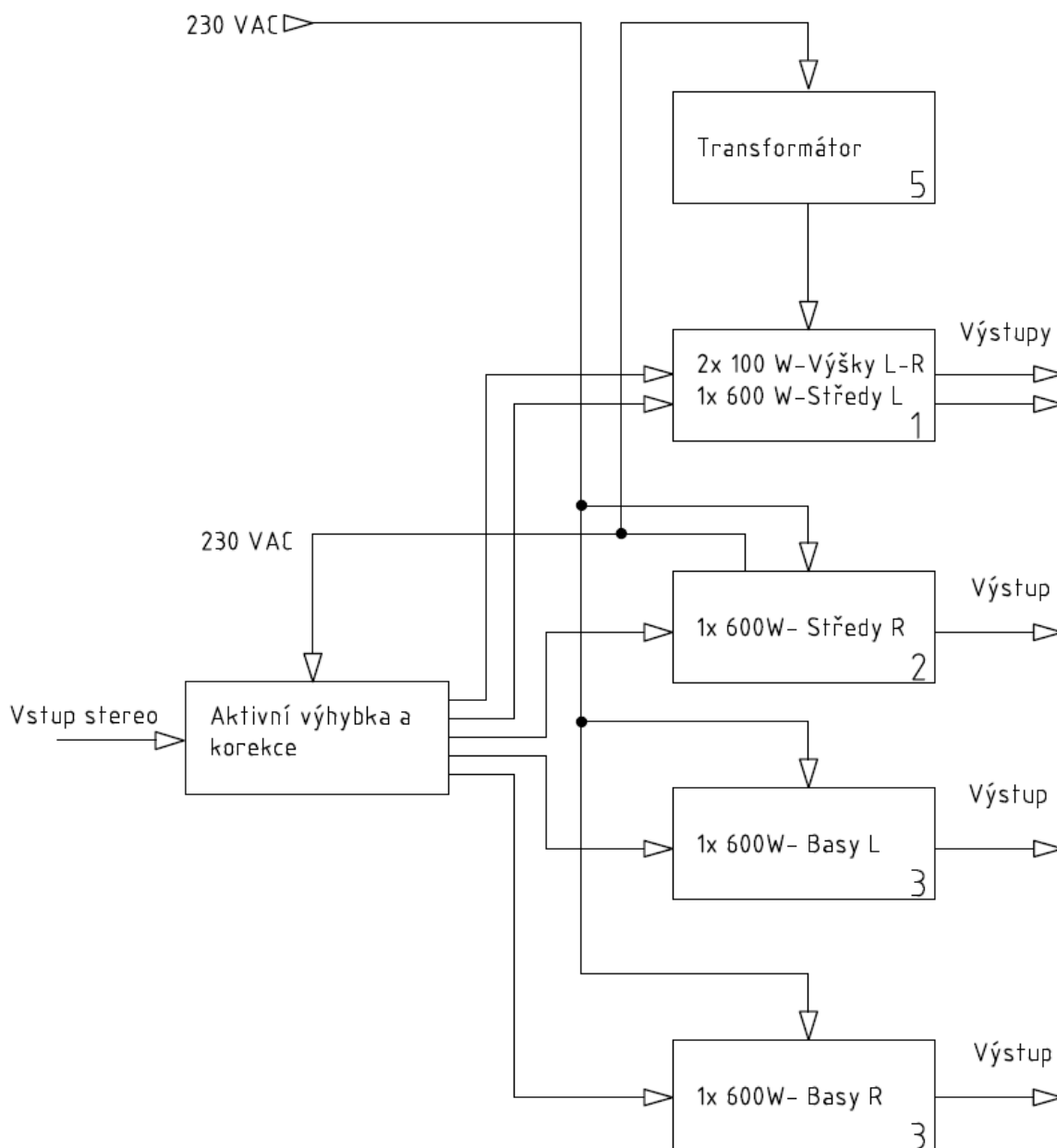
2 Koncové zesilovače

Technické parametry:

- Vstupy:
 - Symetrické - konektor XLR
 - Nesymetrické - mono Jack
- Vstupní citlivost:
 - Symetrický vstup - ± 1 V
 - Nesymetrický vstup - 1,2 V
- Počet kanálů: 6
 - Basy: 2 x 600 W
 - Střední: 2 x 600 W
 - Výšky: 2 x 100 W
- Výstup: 2x konektor Speakon
- Typ chlazení: aktivní
- Typy a parametry ochran:
 - Proudová ochrana pro P=600 W - 12 A
 - Ochrana proti ss napětí na výstup
- Počet dílů: 6
- Klidový odběr: 120 VA
- Napájení 230 V, jištění 2 x 16 A
- Maximální příkon při sinusovém výkonu: ± 5 kW
- Celková hmotnost: 42 kg

2.1 Blokové schéma celku

Na níže uvedeném blokovém schématu je vidět přibližné zapojení těchto zesilovačů s použitím aktivní výhybky popisované v první části práce. Z blokového schématu je zřejmé, že zesilovač není v jedné přístrojové skříni, ale je rozdělen do čtyř stejných krabic a jedné menší, ve které je transformátor pro jeden z těchto zesilovačů. Postupně budu popisovat, jak se od sebe zesilovače liší. Zařízení je opět stereofonní, proto popisuji pouze jeden kanál.



Obrázek 21-Blokové schéma zapojení zesilovačů

2.2 Popis

Jak již jsem podotkl u blokového schématu, tato soustava zesilovačů se skládá z pěti částí, tvoří ji čtyři skříně, ve kterých jsou zesilovače, v páté skříně je transformátor pro jeden ze zesilovačů.

Zesilovač pod číslem 2 na blokovém schématu slouží jako základna. Tento zesilovač slouží jako základna v té době, kdy jsou zesilovače ve dvoupásmovém režimu, tedy když jsou využívány jen dva zesilovače. Napájení je přivedeno pouze do tohoto zesilovače, ve kterém je vypínač, za vypínačem je soft start a následně je napájení vyvedeno opět do konektoru, ze kterého se napájí druhý kanál, výšky (blok č. 1) a aktivní výhybka. Takto je to uzpůsobeno proto, aby se zjednodušilo ovládání a nemusely se pro zapnutí těchto přístrojů použít tři vypínače. Také to má velikou výhodu v tom, že se vše zapne v jednu chvíli, kdy ještě nejsou připojeny reproduktory, tím pádem se nemůže stát, že při zapnutí nepříjemně lupají reproduktory. Takovéto lupnutí je způsobeno připojením indukční zátěže do sítě, nabíjením kondenzátorů či různými pазvuky způsobenými nabíháním obvodu do funkčního stavu. Připojení k síti pomocí jednoho zesilovače lze použít také pro režim třípásmový, kdy jsou zapojené všechny zesilovače. Toto zapojení lze použít například doma, kdy potřebuji zjednodušit zapínání a nevyužívám zesilovače na velký výkon. Takto zapojenou soustavu nemůžu používat pro maximální výkony, jelikož by byla soustava připojena k síti jedním eurokabelem, který je dimenzován na proud pouze 10 A.

Pokud vezmu v úvahu, že celou soustavu zatížím šumem, sinusovým nebo takovým signálem, který dokáže vybudit všechna pásma na maximum v jednu chvíli po určitou dobu, dojde k plnému vybudení zesilovačů, všechny odevzdávají maximální výkon, jeden zesilovač bude mít příkon přibližně 1 až 1,2 kW. Tyto zesilovače jsou čtyři, takže výsledný celkový příkon bude okolo 5 kW. Tento příkon není možné přenášet konektorem určeným na proud 10 A a již vůbec ne kabelem s průřezem 0,75 mm². Tento výkon není možné ani odebrat z jedné standardní zásuvky 230 V, ale budou potřeba alespoň dvě samostatné zásuvky jistěné hodnotou 16 A. Jedná se pouze o dimenzování přívodu napájecího napájení, protože se nemůže nikdy stát, že by tato soustava při maximálním hudebním výkonu odebírala 5 kW, tedy pokud nereprodukuje hru na varhany, v tomto případě by mohlo dojít až k takovému příkonu.

Každý zesilovač, který má vlastní transformátor, má také svůj soft start. Tento obvod nám slouží pro pozvolné nabití filtračních kondenzátorů a náběhu systému a výrazně omezí

nárazový proud. Toroidní transformátory s výkonem větším jak 450 VA už nelze zapnout bez tohoto obvodu v zásuvkovém okruhu s jističem 16 A ve třídě B. Toroidní transformátory s výkonem 600 VA potřebují velký proud pro nasycení jádra, to může způsobit aktivaci jističe, který se následně vypne. Každý zesilovač, má vlastní transformátor, tedy kromě zesilovače určeného pro výšky.

Můj původní plán byl tyto zesilovače používat pouze pro výkon 250 W, jelikož jsem používal reproduktory 8 Ω a do této impedance tento zesilovač odevzdá maximálně 300 W, a také z důvodu chlazení. Jakmile jsem zjistil, že při výkonu 500 W do 4 Ω se chladič zahřeje na pouhých 50 °C, používám zesilovače i pro zátěže 4 Ω . Zesilovače nebyly osazeny ochranou proti zkratu nebo přetížení na výstupu, jelikož jsem z nich odebíral výkon max. 250 W. Abych je mohl používat pro zátěže 4 Ω , obohatil jsem zesilovače o tuto proudovou ochranu. Když jsem zesilovač stavěl pro výkon 250 W, tak jsem v něm použil transformátor 600 VA, tedy při příkonu zesilovače 600 W je transformátor skoro 2krát přetížen, pouze v době, kdy je ze zesilovače odebírán sinusový výkon. I když je transformátor 2krát přetížen, ze zesilovače je odebírán sinusový výkon, ani tak transformátor moc nehřeje. Transformátory se ani nemůžou přehřát, protože chlazení ventilátory jsem předimenzoval.

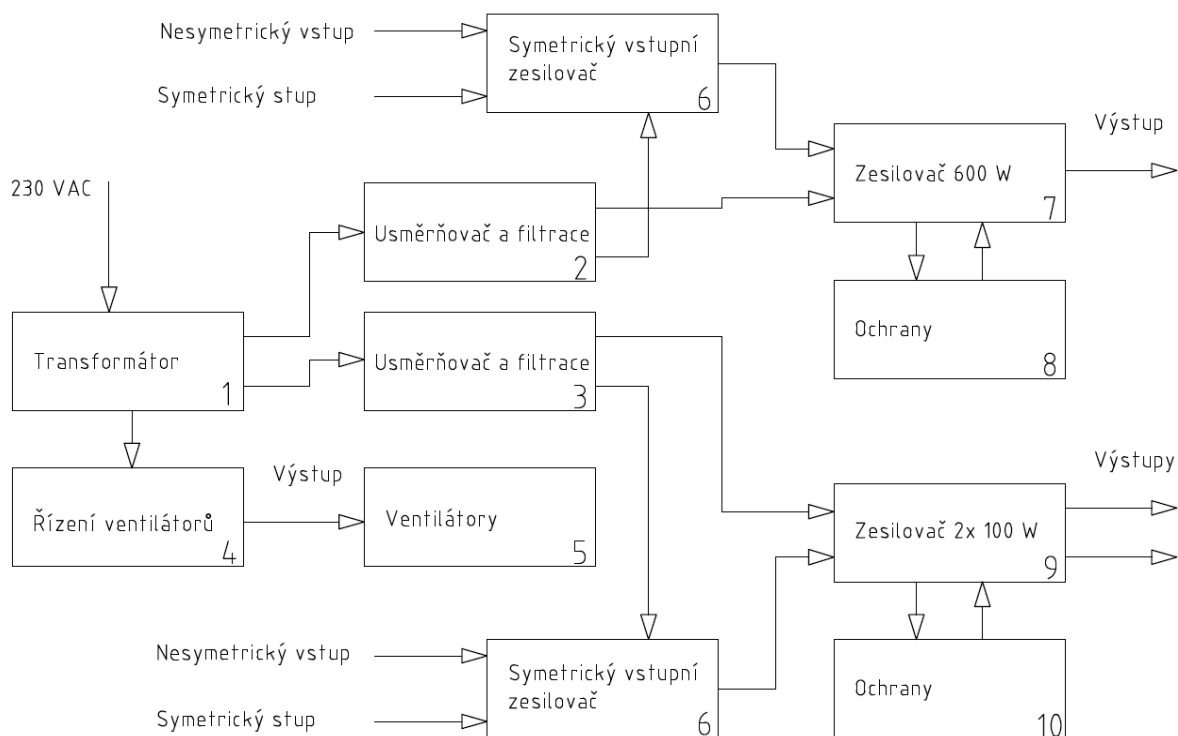
Každý zesilovač má samostatné aktivní chlazení. Uvnitř skříně je chladič, který je chlazen třemi ventilátory o rozměrech 80 x 80 mm, které odvádí teplý vzduch přes vzduchovody ven ze skříně. Skříň je chlazená dvěma vysokoúčinnými ventilátory o rozměrech 60 x 60 mm. Na hlučnost chlazení jsem příliš nehleděl vzhledem k tomu, že zesilovače je potřeba chladit při velkých výkonech, v době, kdy hraje hudba velmi nahlas, je hluk z ventilátorů zanedbatelný. Ventilátory jsou řízené termistorovou regulací, ta zajistí plynulou regulaci podle teploty.

2.3 Koncový zesilovač 600 W a 2x 100 W

Jádrum zesilovače je velmi kvalitní budič LM4702. Koncové tranzistory jsou také velmi kvalitní, pro zesilovač 600 W jsou použity tranzistory řady MJL, respektive NPN-MJL3281, PNP-MJL1302 s parametry 230 V, 15 A, 200 W pracující do 30 MHz. Pro výšky, zesilovač 2 x 100 W je také použit budič LM4702 a tranzistory Toshiba NPN-2SC5200 a PNP-2SA1943 s parametry 230 V, 15 A, 150 W, z tohoto zesilovače bude potřeba dostat max. výkon 60 W.

Tento zesilovač je vyobrazen v blokovém schématu, obrázku č. 21, jako blok číslo 1. Transformátor pro tento zesilovač není umístěn ve skříni zesilovače jako u zesilovačů vyobrazených v blokovém schématu pod čísly 2, 3 a 4. Do skříně se zesilovačem se transformátor nevešel z toho důvodu, jelikož je v této skříni zakomponován i zesilovač pro výšky, proto je transformátor umístěn v samostatné skříni. Všechny koncové stupně jsou umístěny na jednom chladiči, který je chlazen pomocí čtyř ventilátorů 80 x 80 mm. V tomto případě není použit soft start pro transformátor, jelikož je napájen ze základního zesilovače, který ho obsahuje.

2.3.1 Blokové schéma



Obrázek 22-Blokové schéma zesilovače č. 1

I když je transformátor umístěn v blokovém schématu jako blok č. 1, není umístěn ve skříni zesilovače. Zesilovač je propojen s transformátorem kabely o průřezu $2,5 \text{ mm}^2$ a konektory Speakon. Z transformátoru je vyvedeno pomocné napětí, které je přivedeno pro napájení řídicího obvodu ventilátorů.

Z blokového schématu, obrázek č. 22, je zřejmé, že každý zesilovač má vlastní zdroj, a to z několika důvodů. Jedním důvodem je to, že zesilovač pro výšky nepotřebuje tak velké napětí, aby dosáhl požadovaného výkonu. Zatímco druhý zesilovač musí odevzdat výkon 600 W, kvůli velkému úbytku napětí při plném výkonu, je napětí přibližně $\pm 62 \text{ V}$. Potřebné napětí pro dosažení výkonu 600 W je alespoň $\pm 50 \text{ V}$. Střídavé napětí je tedy usměrněno a vyfiltrováno v blocích 2 a 3. Dobře vyfiltrované napětí pokračuje přímo do modulů zesilovačů a symetrických vstupních zesilovačů.

Vstupní signál je přiveden buď nesymetricky, nebo symetricky. Symetrický vstup musí být převeden na nesymetrický signál, o to se postará symetrický vstupní zesilovač. Nesymetrický signál a signál z výstupu tohoto převodního zesilovače je přiveden přímo na koncový zesilovač.

Výstupní signál z koncového zesilovače je kontrolován ochranou proti stejnosměrnému napětí na výstupu. Dále je pak snímán proud na rezistoru v emitoru jednoho výstupního tranzistoru, tato ochrana slouží jako ochrana proti přetížení nebo zkratu na výstupu. Proudová ochrana je použita pouze u zesilovače 600 W.

2.3.2 Zdroj

Zdroj je tvořen toroidním transformátorem o výkonu 600 VA a usměrňovačem s filtrací. Hlavním úkolem tohoto zdroje je získat kvalitní a dostatečně tvrdé symetrické napětí, aby mohly zesilovače dobře pracovat. Tento zdroj zajišťuje dvě galvanicky oddělená napětí. Jedno napětí je $\pm 62 \text{ V}$ (na prázdnou), které musí poskytnout alespoň $2 \times 8 \text{ A}$ při maximálním úbytku $\pm 10 \text{ V}$. Druhé napětí je pro zesilovač $2 \times 100 \text{ W}$, toto napětí je $\pm 48 \text{ V}$ $2 \times 2,5 \text{ A}$.

2.3.2.1 Transformátor

Zakoupil jsem toroidní transformátor s napětím sekundárního napětí 44 V (po usměrnění 62 V). Usměrněné napětí by mělo být maximálně 63 V, jelikož použité filtrační kondenzátory jsou na 63 V, případné napěťové výchylky v síti by jim vadit neměly, testoval jsem je až na 68 V a odebíraný proud byl v řádech mikro ampérů.

2.3.2.2 Fotografie transformátoru

Na tomto obrázku je vidět konstrukce skříně s transformátorem.



Obrázek 23- Toroidní transformátor ve skříní

Transformátor je umístěn v mnou vyrobené skříně z hliníkového plechu a hliníkových profilů. I tento transformátor je potřeba chladit, takže pro chlazení je zde použit ventilátor 60 x 60 mm. Vývody z transformátoru jsou vyvedeny konektory Speakon a síťové napájení eurokonektorem s držákem pojistky.

2.3.3 Usměrňovač a filtrace

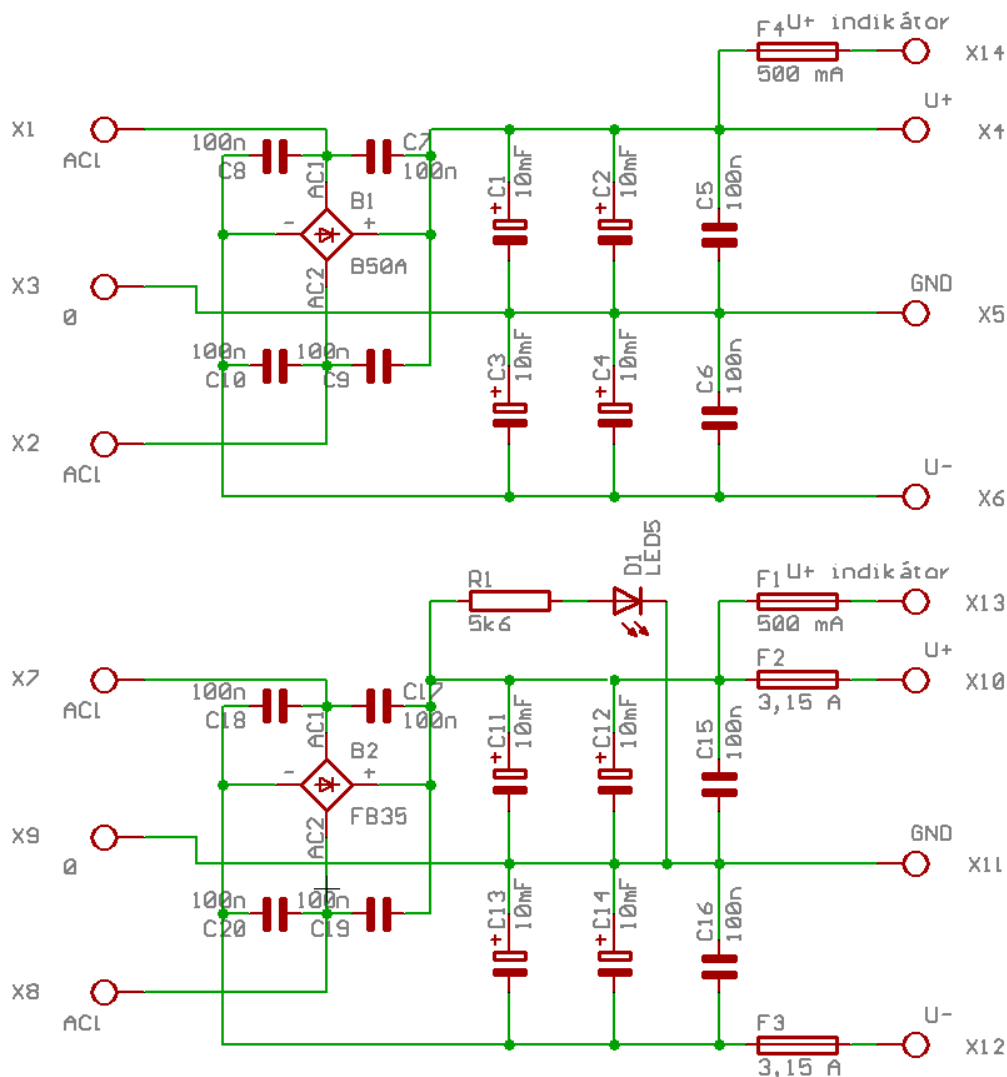
Usměrňovač musí být dimenzován na dostatečný proud. První důležitou částí jsou diody nebo diodový můstek. Spojování diod paralelně není možné, protože každá nemá stejný úbytek napětí. Kdyby jedna měla menší úbytek než ostatní, v tu chvíli by fungovala pouze jedna a to by mohlo vést k průrazu a následně ke zničení zesilovače.

Tuto část jsem opravdu nepodcenil, pro zesilovač 600 W jsem použil diodový můstek 50 A, který jsem umístil na malý samostatný chladič. Filtrační kondenzátory jsem použil čtyři 10 mF na 63 V, na plošném spoji jsem si připravil místo na 6 kusů těchto kondenzátorů. Pro druhý zesilovač jsem použil diodový můstek 35 A bez chladiče, filtrační kondenzátory jsou čtyři 10 mF/50 V.

Výstup z tohoto zdroje je veden přes skleněné pojistky a následně vyveden konektory faston. Napájení pro indikátor je vyvedeno také z tohoto zdroje přes pojistku a vyvedeno konektorem se zámkem.

2.3.3.1 Schéma zapojení

Na tomto schématu je zakreslené přesné zapojení zdroje. Ze schématu je zřetelné, že tyto dva zdroje nejsou spolu nijak spojeny. Napětí z nich je symetrické. Pro usměrnění jsou zde použity Graetzové usměrňovací můstky. Pro filtraci jsou zde použity v obou případech elektrolytické kondenzátory 10 mF a keramické kondenzátory 100 nF proti kmitání. V obou zdrojích jsou z kladné větve vyvedena napětí přes pojistku pro indikátory vybuzení. První zdroj je určen pro zesilovač 600 W, zdroj nemá u sebe umístěny pojistky, jsou až na desce se zesilovačem. Druhý zdroj je pro zesilovač 2 x 100 W, ten už má pojistky umístěny na desce zdroje. Pro indikaci zapnutého přístroje je zde LED dioda s předřadným rezistorem.

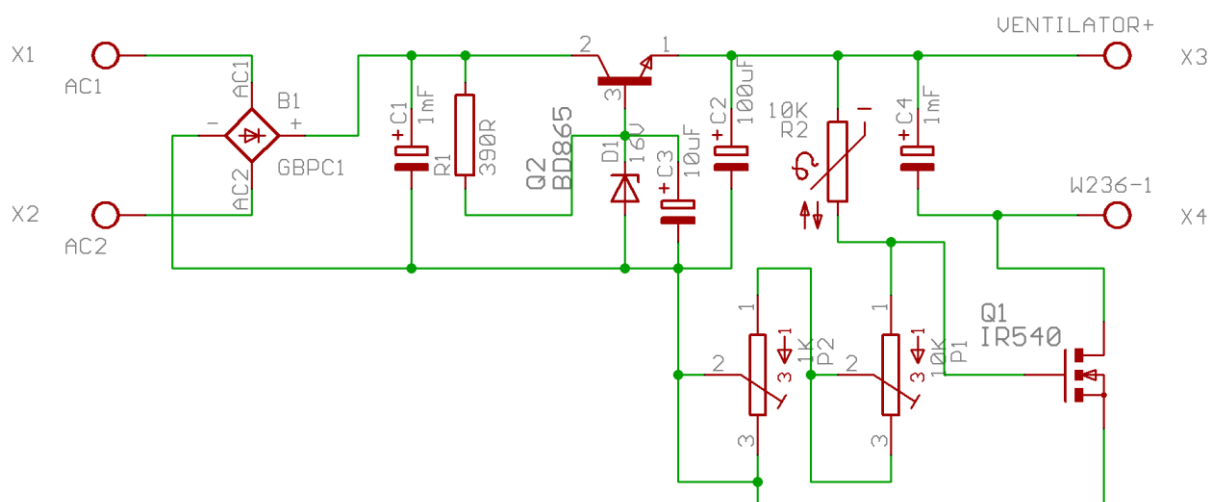


Obrázek 24- Schéma zapojení usměrňovače s filtraceí

2.3.4 Řízení ventilátorů

Obvod je nedílnou součástí tohoto zesilovače, jelikož bez chlazení by zesilovač nemohl pracovat. Zesilovač má účinnost pouze 50 %, to znamená, že při výkonu 600 W se také 600 W promění v teplo. Tento výkon není opravdu malý, a je důležité, aby se chladič nezahřál na víc než 80 °C. Tato regulace je řízená NTC termistorem, který snižuje odpor s rostoucí teplotou, to znamená, že regulace je plynulá. Pro řízení by bylo možné použít termostat, ale tato metoda se mi nelíbí, protože spíná ventilátory až při spínací teplotě termostatu, tedy ventilátory by běžely vždy na plný výkon a to znamená velký hluk. Termostat by bylo vhodné použít například pro jištění, kdyby selhala termistorová regulace.

2.3.4.1 Schéma zapojení



Obrázek 25- Schéma zapojení regulace ventilátorů

Napětí z transformátu jde na vstupní svorky X1 a X2, poté je usměrněno diodovým můstkem, následně vyfiltrováno. Řekl bych, že velmi důležitou funkcí je to, že napětí je stabilizováno tak, aby byl rozdíl mezi napětím před stabilizací a po stabilizaci alespoň 4 V. Napětí je stabilizováno proto, že při zatížení zesilovače napětí kolísá i v tomto obvodu a způsobuje to kolísání otáček ventilátorů. Stabilizaci zajistíme, že otáčky ventilátoru budou konstantní i při zatíženém zesilovači. Nastavování velikosti otáček nebo spínání při teplotě nastavujeme trimry P1 a P2, P1 má 10krát menší odpor, proto tento trimr je určen pro jemné nastavování otáček ventilátorů. Spínací tranzistor je zde použit unipolární. Na výstup z regulátoru je důležité dát elektrolytický kondenzátor alespoň 1 mF, bez něj ventilátory nepříjemně piští.

Seznam součástek:

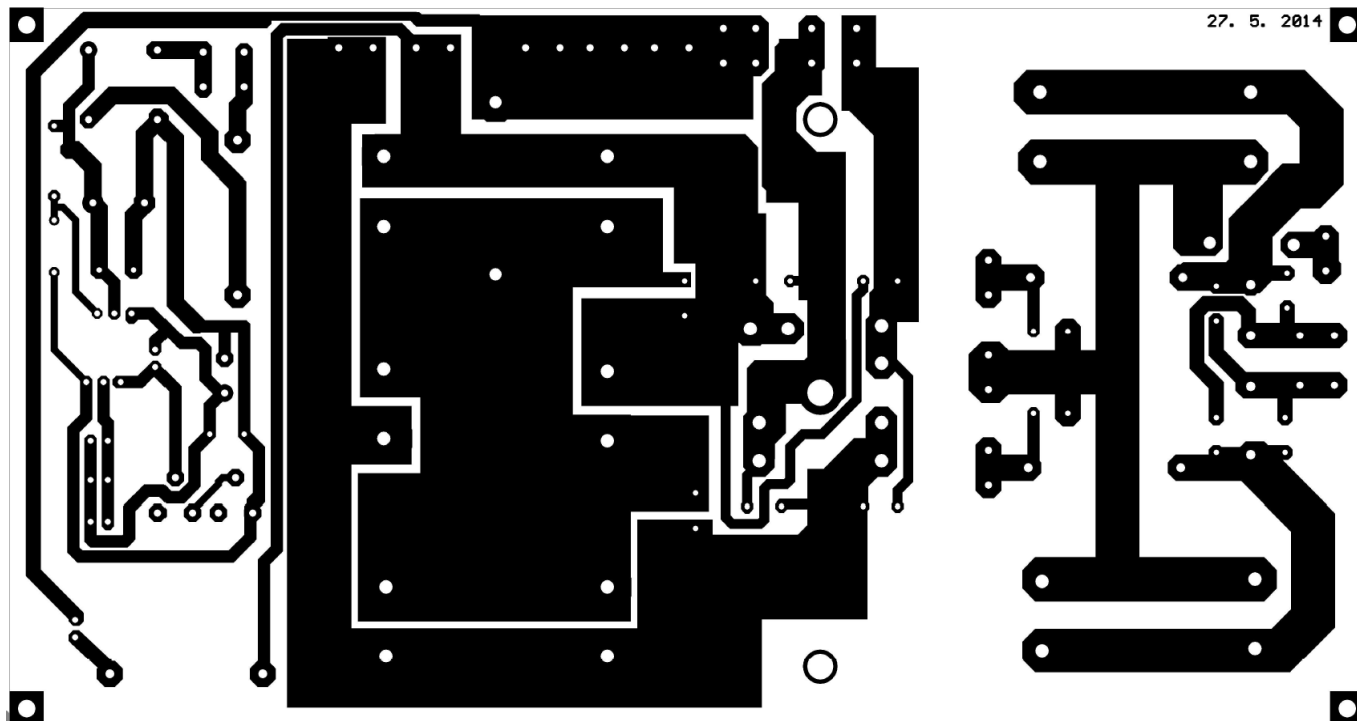
Usměřňovač:

R1	5k6
D1	LED 5mm
F1, F4	F500 mA
F2, F3	F6,3 A
C5, C6, C7-C9, C15, C16, C17-C20	100n

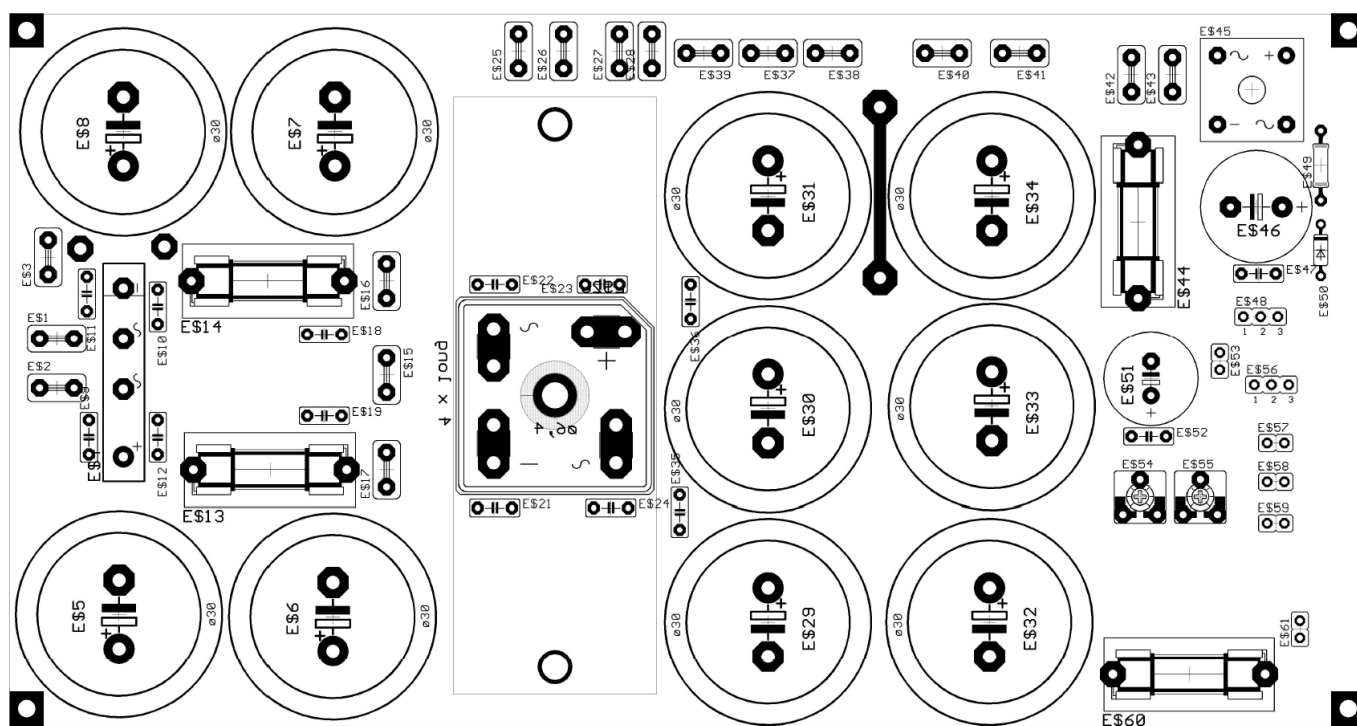
C1-C4	10mF/63V
C11-C14	10mF/63V
B1	KBPC5008W
B2	GBI35G-DIO
Řízení ventilátorů:	
R1	390R
R2	NTC 10K
P1	10K
P2	1K
C1, C4	1Mf
C2	100uF
C3	10uF
D1	BZX55/16V
B1	KBPC106
Q1	IRF540
Q2	BD911

2.3.4.2 Plošný spoj

Usměrňovač a regulace ventilátorů je umístěna na jednom plošném spoji o rozměrech 200 x105 mm. Z důvodu velikosti plošných spojů zde vkládám zmenšené návrhy plošných spojů.



Obrázek 27- Strana součástek



Obrázek 26- Strana součástek

Fotografie osazeného a plně funkčního zdroje s obvodem pro řízení ventilátorů.



Obrázek 28- Hotový zdroj

2.3.5 Modul zesilovače 600 W

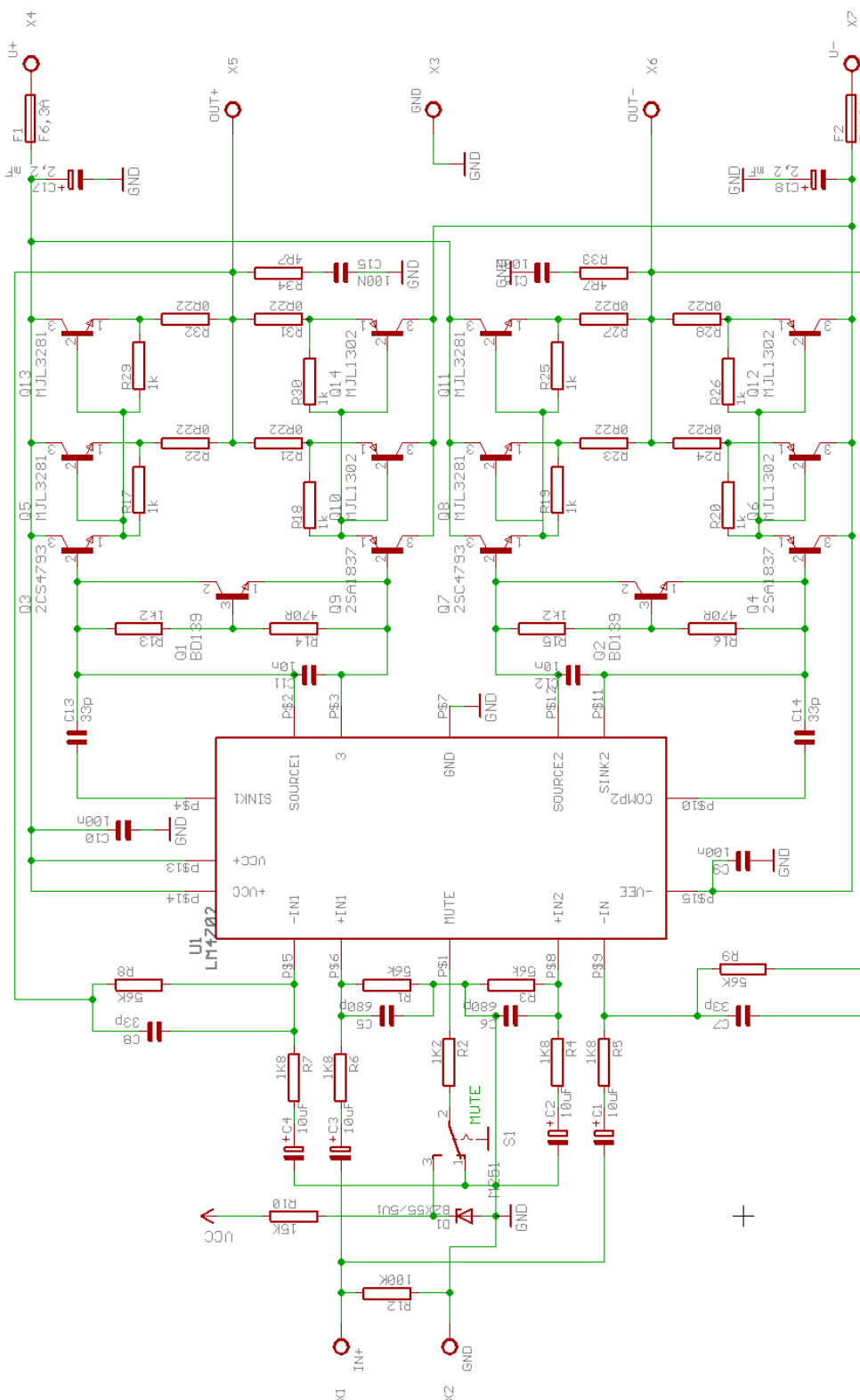
Tento zesilovač je použit ve všech čtyřech částech, takže jej popíši jen jednou. Jako budič jsem zvolil velmi kvalitní integrovaný obvod LM4702. Výrobce u něj uvádí zkreslení THD, které by nemělo přesáhnout 0,001 %, což je velmi uspokojivé. S tímto budičem lze sestrojít spoustu dobrých zapojení. Já jsem zvolil klasické zapojení, které je odzkoušené a doporučené výrobcem tohoto integrovaného budiče National Semiconductor. Klasicky se zapojuje ve stereo režimu, ale lze jej zapojit i do režimu můstku. Já jsem zvolil zapojení do můstku z toho důvodu, že jen takhle jsem schopný z tohoto zesilovače vytáhnout potřebný výkon. Výhodou tohoto zapojení je jeho jednoduchost a stabilita. Před tím, než se začal tento obvod distribuovat, tak existoval asi nejpoužívanější budící obvod TDA7250, který, i když měl v katalogovém listu napsáno, že napájecí napětí je do ± 45 V, tak s touto hodnotou dlouho nehrál. Obvod byl velice nespolehlivý, i bez velikého zatížení se dokázaly zničit samy od sebe. Já jsem si s nimi užil opravdu dost a každému bych doporučil jít jinou cestou, nejlépe co nejdál od těchto obvodů. Díky těmto špatným zkušenostem jsem se dostal k těmto vynikajícím obvodům.

Koncové tranzistory MLJ3281 A MJL1302 jsou řazeny vždy dva paralelně pro získání potřebného výkonu. Teoreticky by byl tento zesilovač schopen odevzdat 800 W, dokázal by to i při sinusovém výkonu, ale problém by mohl nastat s chlazením koncových tranzistorů, jelikož mají malou styčnou plochu na chlazení. Tepelný průraz tranzistoru by mohl nastat tehdy, když se tranzistor velmi rychle ohřívá a mezi tranzistorem a chladičem je velký tepelný odpor. Jakmile teplota čipu překročí 150 °C, tranzistor odchází do křemíkového nebe, přestože má v katalogovém listu napsáno, že má pojistku proti přehřátí. Vstupní signál je nesymetrický.

Při takovýchto výkonech se uvažuje o zapojení proudových pojistek. Tato pojistka by měla zabránit zesilovači, aby pracoval do velmi nízkých impedancí, zkratu nebo do případného přetížení. Ochrana je velmi rychlá a velmi rychle reaguje na proudové špičky. Zapojení ochrany bude popsáno níže.

2.3.5.1 Schéma zapojení

Na schématu, obrázek č. 29, je zakresleno přesné schéma zapojení tohoto zesilovače. Ve schématu není zakreslena žádná ochrana, ty popíší níže. Signál je přiveden na svorky X1 a X2. Signál pokračuje na vstup budícího obvodu přes oddělovací kondenzátory. Tranzistory Q1 a Q2 nastavují klidový proud zesilovače a pracovní bod koncových tranzistorů.



Obrázek 29- Schéma zapojení zesilovače 600 W

Signál z výstupu budícího obvodu je ještě zesílen tranzistory Q3, Q9, Q7 a Q4, poté jde signál do koncových tranzistorů. Každý koncový tranzistor má rezistor zapojený v emitoru, který je zde proto, že jsou tranzistory řazeny paralelně a také pro snímání proudu. Na výstupu je umístěn RC člen, který by měl zajistit větší stabilitu zesilovače. Zesilovač je zapojen v můstkovém režimu.

Seznam součástek:

R1, R3, R8, R9	56K
R2, R13, R15	1K2
R4, R5, R6, R7	1K8
R10	15K
R12	100K
R14, R16	470R
R17-R20, R25, R26, R29, R30	1K
R21-R24, R27, R28, R31, R32	0R22
R33, R34	4R7
C1-C4	10uf
C5, C6	680pF
C7, R8. C13, C14	33pF
C11, C12	10n
C9, C10, C15, C16,	100n
C17, C18	2,2mF
D1	BZX55/5V1
Q1, Q2	BD139
Q3, Q7	2SC4793
Q4, Q9	2SA1837
Q5, Q8, Q11, Q13	MJL3281
Q6, Q10, Q12, Q14	MJL1302
U1	LM4702

2.3.6 Ochrana reproduktorů

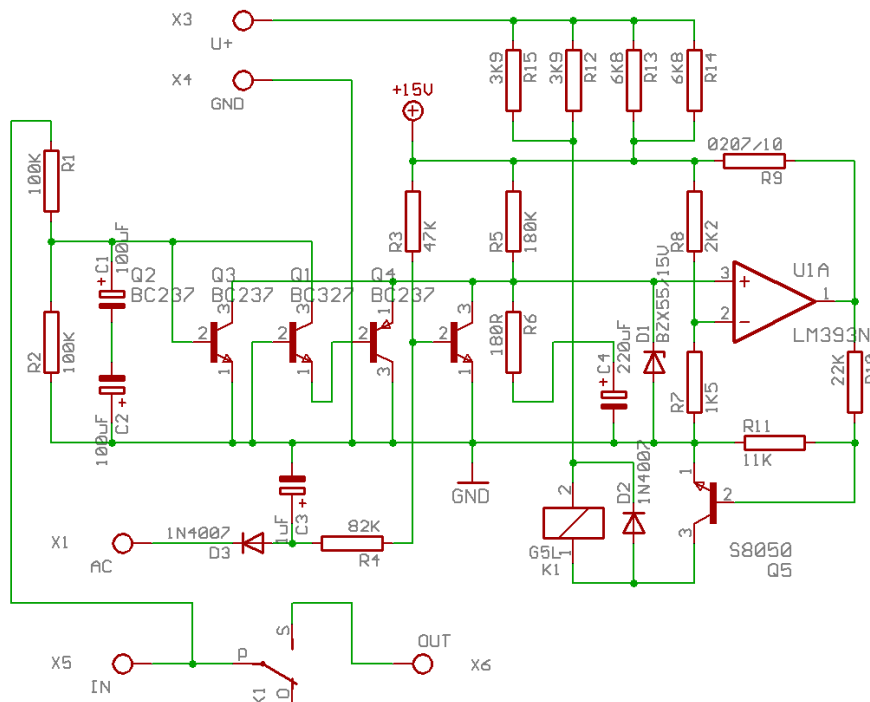
Ochrana reproduktorů je použita z důvodu možné závady na zesilovači, přetížení nebo čehokoli jiného, co by následně vedlo ke zničení tranzistorů. Při průrazu může tranzistor způsobit zkrat, to by znamenalo, že se dostane plné napájecí napětí na výstup. Kdyby došlo k některé uvedené závadě, stačilo by pouze pár sekund na to, aby se spálily reproduktory. Pokud máme reproduktory za desítky tisíc korun, nebylo by to zrovna příjemné. Pokud by cívkou reproduktoru protékal stejný stejnosměrný proud jako při sinusovém zatížení, došlo by ke spálení kmitací cívky. Cívka by se spálila proto, že by se vychýlila jen na jednu stranu. To by byl jediný její pohyb. Při střídavém proudu se cívka ochlazuje kmitáním, z toho důvodu jsou na zadní straně magnetu chladící průduchy.

Tato ochrana reaguje na stejnosměrné napětí od 2 V. Zajišťuje také zpožděné připojení reproduktorů a jejich okamžité odpojení při vypnutí zesilovače. Toto je veliká výhoda, protože bez této funkce by byl vždy při zapnutí a vypnutí z reproduktoru vydán nepříjemný zvuk. Jelikož je zesilovač zapojen do můstku, musí být ochrana na každém výstupu. Toto zapojení používám u každého koncového zesilovače, proto jej zde popíši jen jednou.

2.3.6.1 Schéma zapojení

Schéma je uvedeno níže, obrázek č 29. Výstupní signál ze zesilovače je přiveden na svorku X5, kde je poté snímán obvodem, který reaguje jen na stejnosměrné napětí. Na svorku X1 je přivedeno střídavé napětí z transformátu. Pokud není toto napětí přivedeno, tranzistor Q4 je stále otevřený rezistorem R3. Střídavé napětí je usměrněno a vytváří záporné napětí, které musí s rezistorem R4 vytvořit nulové napětí (U_{BE}), aby se tranzistor zavřel a mohlo dojít k nabití C4, který určuje zpoždění připojení. Jako komparátor je zde použit obvod LM393. Pokud došlo k nabití C4, tak komparátor sepne relé. Napětí pro tento obvod je získáno srážením předřadnými rezistory z napájení zesilovače. Aby obvod fungoval správně, hodnoty součástek je potřeba upravit podle napájecího napětí.

Na tomto schématu je zapojení ochrany reproduktorů.



Obrázek 30- Schéma zapojení ochrany reproduktorů

Seznam součástek:

R1, R2	100K
R3	47K
R4	82K
R5	180K
R6	180R
R7	1K5
R8	15K
R9	2K2
R10	10K
R11	11K
R12, R13	6K8
R14, R15	3K9
C1, C2	100µF
C3	1µF
C4	330µF

D1	BZX55/15V
D2, D3	1N4007
Q1	BC327
Q2, Q3, Q4	BC237
Q5	S8050
U1	LM393
K1	RAS2415

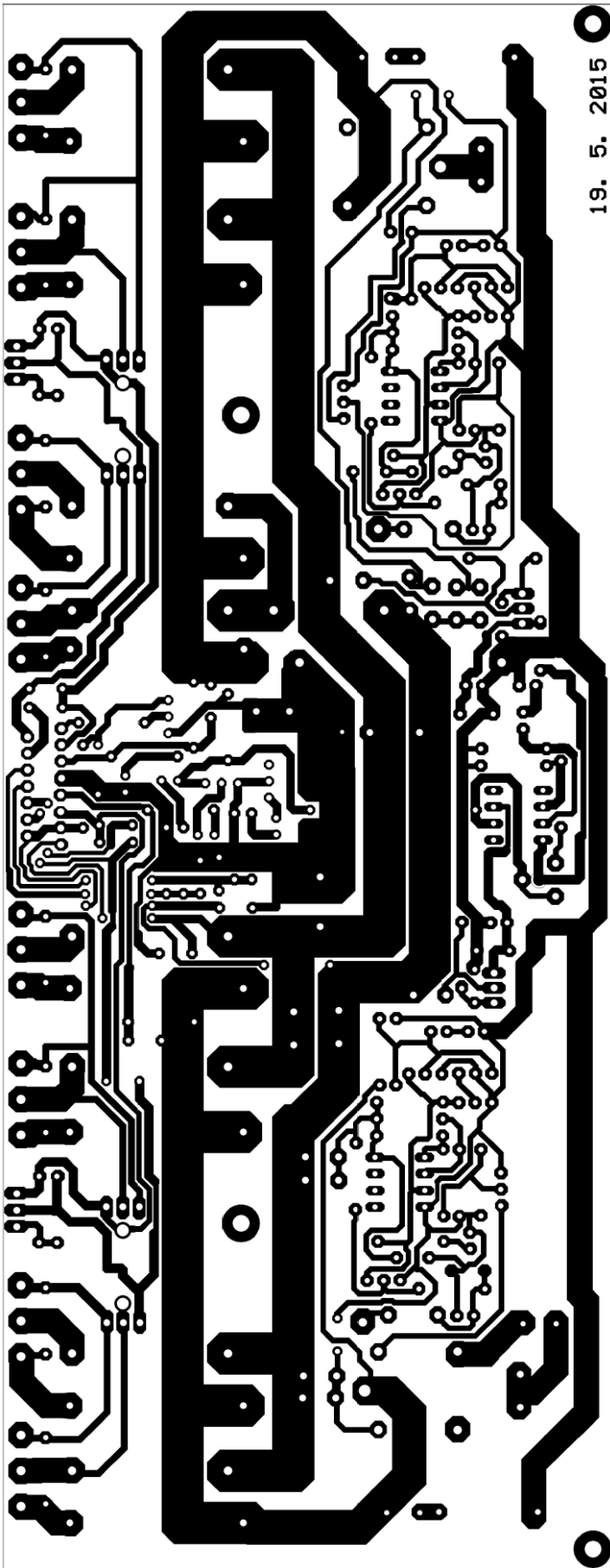
2.3.6.2 Návrh plošného spoje

Na tomto plošném spoji je umístěn obvod koncového zesilovače společně s obvodem ochrany reproduktorů.

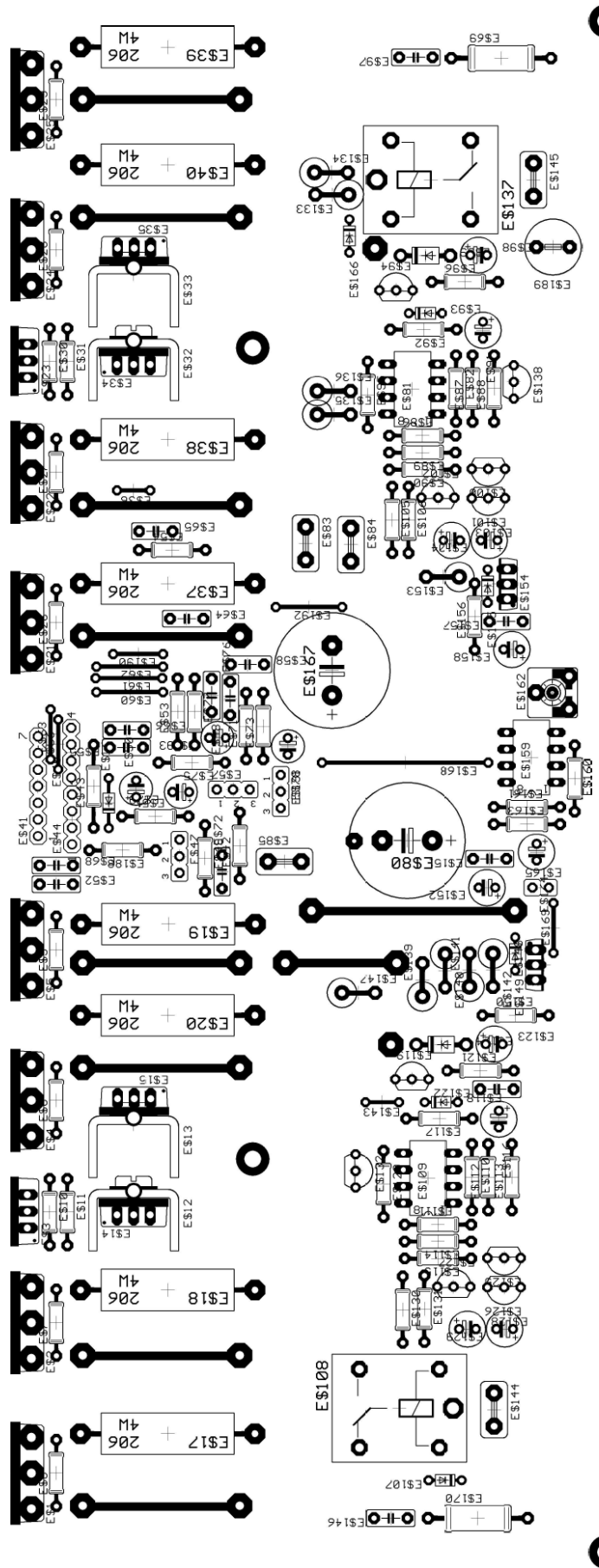
Navrhování plošného spoje nebylo zrovna jednoduché, protože jsem musel skloubit spoustu věcí dohromady, tím mám na mysli to, že budící obvod a všechny koncové tranzistory jsou umístěny na okraji plošného spoje, aby je bylo možno připevnit na chladič. V úvahu musím vzít i přenášené proudy, výstupní proud ze zesilovače bude až 12 A, a proto musím všechny cesty, kde budou procházet tyto proudy dimenzovat na tento proud. Dimenzováním mám na mysli šíři měděných plošných cest. Týká se to cest napájení a výstupu.

Plošný spoj, který je níže nafocen na obrázku č. 33, jsem navrhoval přibližně před dvěma roky, za tu dobu jsem již ztratil soubory vytvořené v programu Eagle. Zdroje a ostatní části zesilovače jsem upravoval asi třikrát, takže zde prezentuji nejnovější verze. Na plošném spoji jsou ještě umístěny obvody, které dnes již nepoužívám. Místo původního návrhu plošného spoje zde vkládám pozdější verzi plošného spoje s tímto zapojením.

Na těchto dvou obrázcích je vyobrazen návrh cest plošných spojů a rozmístění součástek.



19. 5. 2015

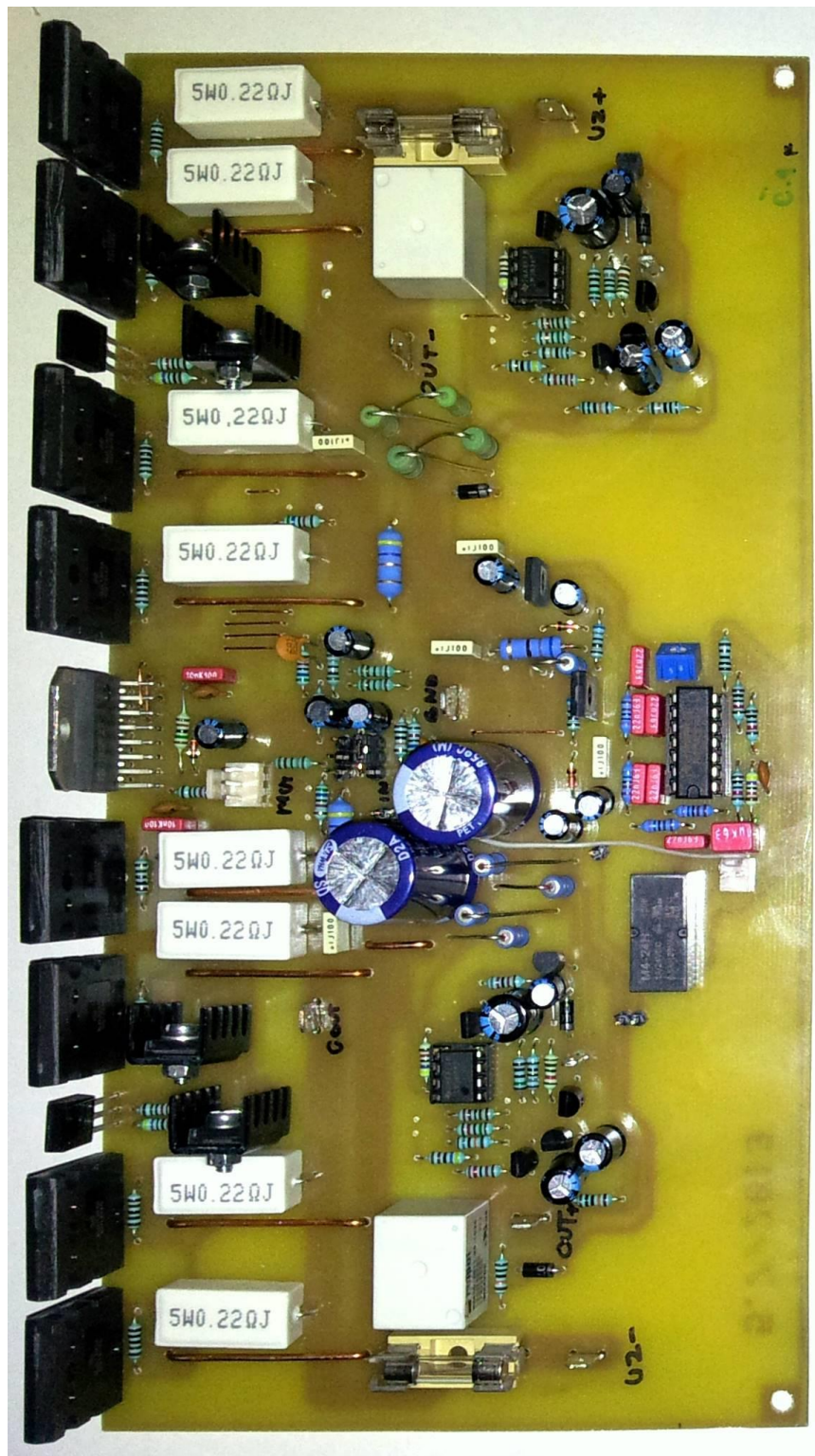


Obrázek 31- Strana součástek

Obrázek 32- Strana spojů

Dále je vyobrazena fotografie osazeného a plně funkčního plošného spoje s koncovým zesilovačem.

Po osazení byl jen problém s ochranou, bylo potřeba upravit hodnoty několika součástek. Zesilovač byl ihned funkční.



Obrázek 33- Osazený plošný spoj zesilovače 600 W

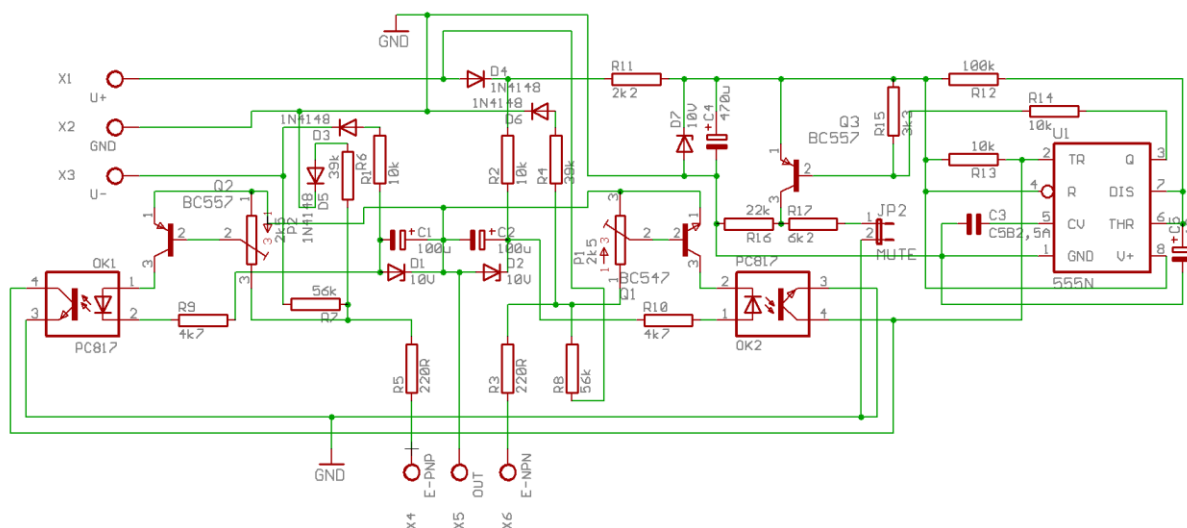
2.3.7 Proudová ochrana

Proudová ochrana je zde na místě, kdyby nastala závada na reproduktoru, kabelu, mohlo by dojít ke zkratu. Zesilovač nemusí být vybuzen na plný výkon, aby se mohly spálit koncové tranzistory, popřípadě i budící obvod. Kdyby k tomuto došlo, bylo by to velmi nákladné, jelikož osm těchto tranzistorů stojí 800 Kč a budič 500 Kč. Díky použití tohoto obvodu k poškození tranzistorů nemůže dojít. Při překročení nastaveného proudu ochrana aktivuje v zesilovači funkci MUTE.

Tato ochrana je použita pouze v zesilovači 600 W, pro zesilovač 2 x 100 W jsem ochranu nedělal, jelikož z něj není odebrán tak velký proud a případná porucha či zničení tranzistorů by nebyla tolik nákladná.

2.3.7.1 Schéma zapojení

Ochrana je napájena z napětí, které napájí zesilovač. Úbytek napětí na emitorových rezistorech, ve schématu obrázek č. 29, je snímán optočleny. Otevírání fototranzistorů v optočlenu je nastavováno pomocí trimrů, tím nastavujeme hodnotu vypínacího proudu. Částí tohoto obvodu je časovač NE555, který je aktivován, když jsou optočleny uzavřené. V tu chvíli je na výstupu z ochrany napětí, které aktivuje v budiči funkci MUTE. MUTE je aktivní asi 2 sekundy, poté je zesilovač zase funkční.



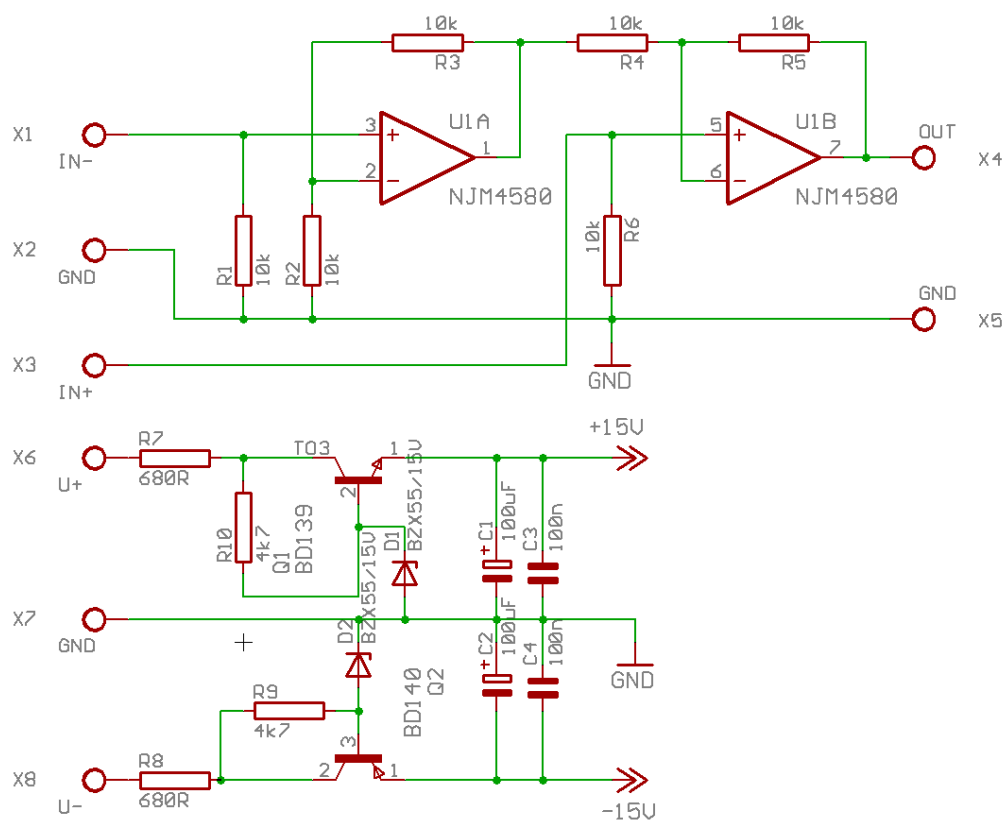
Obrázek 34- Schéma zapojení proudové pojistky

2.3.8 Symetrický vstupní zesilovač

Symetrický vstupní zesilovač převádí symetrický signál na nesymetrický. Tento obvod je zde použit z toho důvodu, aby se eliminovalo rušení ze zemních smyček. Obzvláště při takovémto počtu propojovaných částí soustavy by k tomu mohlo dojít.

Zapojení tohoto vstupního zesilovače je použito jak pro všechny zesilovače 600 W, tak i pro 2x 100 W, takže jej popíše pouze jednou. V konstrukci aktivní výhybky popsané výše je na výstupu opak tohoto symetrického zesilovače. Všechny výstupy z aktivní výhybky jsou symetrické, proto musí být v každém koncovém zesilovači tento obvod, který převede symetrický signál zpět na nesymetrický. Takto provedené propojení signálových cest mimo zesilovač je velmi výhodné v tom, že i když budou tyto signálové kabely umístěny nebo zapleteny mezi kabely se síťovým napětím, tak by neměl být signál nijak ovlivňován různým rušením. To je způsobeno tím, že vodiče, které vedou signál, mají oproti sobě obrácenou fázi o 180°, čili naindukovaný signál je na obou vodičích shodný.

2.3.8.1 Schéma zapojení



Obrázek 35- Schéma zapojení symetrického vstupního zesilovače

Na schématu, obrázek č. 35, je zakresleno schéma symetrického vstupního zesilovače. Zapojení je zkonstruováno se dvěma operačními zesilovači, tedy přesněji jedním dvojitým operačním zesilovačem NJM4580. Opět jako u výstupního symetrického zesilovače je potřeba toto zapojení opatřit kondenzátorem 22 pF do zpětné vazby paralelně s rezistory R3 a R5. S obvodem TL072 obvod pracuje dobře, když místo TL072 zapojím NJM4580, obvod někdy kmitá. Tento jev lze odstranit zpomalením tohoto obvodu.

Pro napájení obvodu je použito stejné napájení jako napájení zesilovače, pro který tento obvod upravuje signál. Napětí je pouze stabilizováno na symetrické napětí ± 15 V. Zapojení stabilizátoru je také ve schématu, obrázek č. 35.

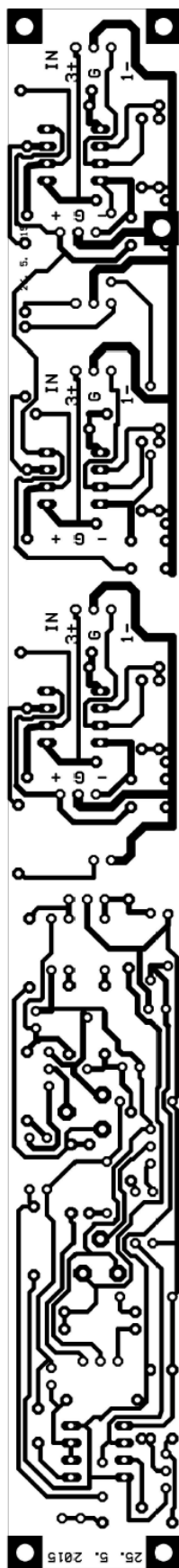
Seznam součástek:

R1-R6	10 k
R7, R8	680R
R9, R10	4k7
D1, D2	BZX55/15V
C1, C2	100uf
C3, C4	100n
U1	NJM4580
T1	BD139
T2	BD140

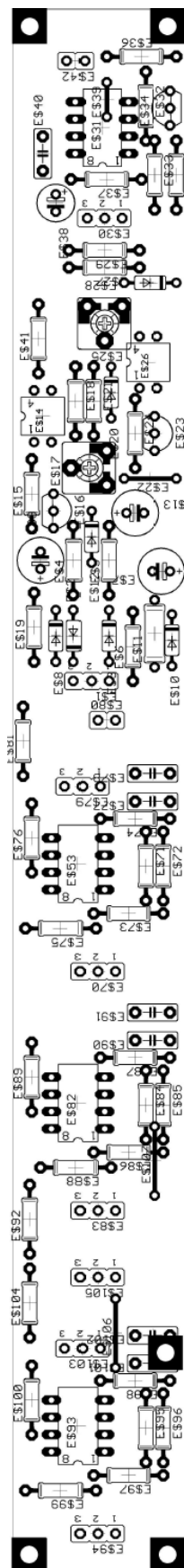
2.3.8.2 Návrh plošného spoje

Obvod proudové pojistky a symetrického vstupního zesilovače je umístěn na jednom plošném spoji. Kdybych koncový zesilovač vyráběl současně s těmito obvody, tak by byly umístěny na jednom plošném spoji, ale já jsem těmito obvody zesilovač obohacoval později, tudíž jsem proudovou pojistku a vstupní sym. zesilovač umístil dohromady na samostatný plošný spoj.

Na těchto obrázcích č. 36 a 37 jsou vyobrazeny návrhy plošného spoje proudové pojistky a symetrického vstupního zesilovače. Plošný spoj má rozměry 230 x 25 mm.



Obrázek 37-
Strana spojů



Obrázek 36-
Strana součástek

Fotografie hotového plošného spoje je vyobrazena na obrázku č. 38. Po osazení byl tento výrobek více méně funkční. Udělal jsem chyby s osazením několika rezistorů, po jejich opravě byl obvod funkční. Proudovou ochranu bylo potřeba nastavit na požadovaný vypínací proud.



Obrázek 38- Osazený plošný spoj

2.3.9 Indikátor vybuzení

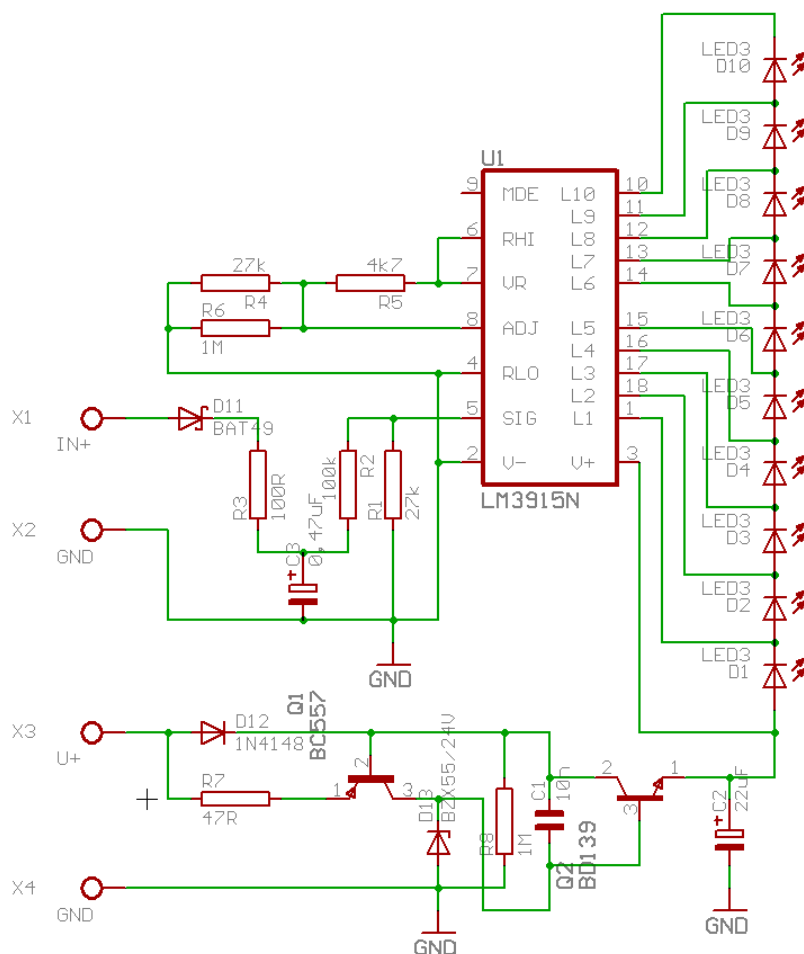
Bez tohoto obvodu bych si přístroj ani nedokázal představit, tedy alespoň já. Jsem zvyklý na to, že k poslechu hudby vidím i přibližný výkon. Je dobré vidět, že zesilovač je vybuzen třeba na polovinu výkonu, nebo už je na konci svých sil, kdy se pak aktivuje proudová pojistka.

2.3.9.1 Schéma zapojení

Indikátor vybuzení jsem realizoval s integrovaným obvodem LM3915. Tento integrovaný obvod zobrazuje výkon logaritmicky, to znamená, že dokáže zobrazit na začátku i malý výkon, zatímco polovinu výkonu vyjádří rozsvícením dvou posledních LED diod. Indikátor je napájen ze stejného zdroje napájení jako zesilovač, jehož výstupní signál indikuje.

Zesilovač pracuje do můstku, tudíž musí být připojen pouze k jednomu výstupu. Odporový dělič je nastaven na výkon 300 W do 4 Ω , tedy všechny LED diody se musí rozsvítit při napětí 34 V.

Na tomto obrázku č. 39 je schéma zapojení indikátoru vybuzení.



Obrázek 39- Schéma zapojení indikátoru

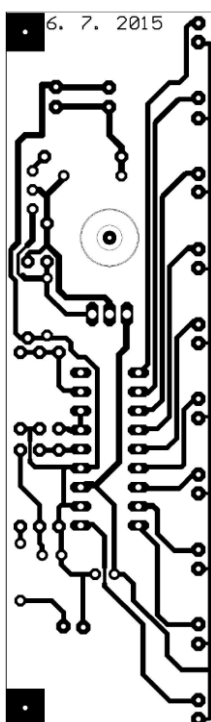
Seznam součástek:

R1, R4	27K
R2	100K
R3	100R
R5	4K7
R6, R8	1M
R7	47R
C1	10n
C2	22uF
C3	0,47uF
Q1	BC557
Q2	BD139

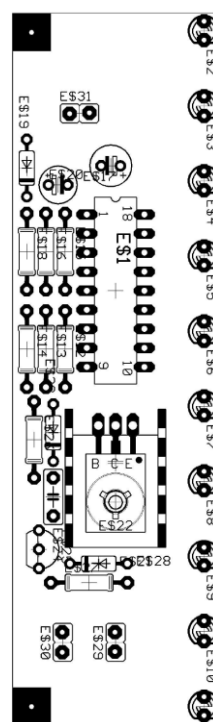
U1	LM3915
D1-D10	LED 3 mm
D11	1N4148
D12	BAT42

2.3.9.2 Návrh plošného spoje

Na těchto dvou obrázcích č. 40 a č. 41 je návrh plošného spoje, vlevo strana spojů, vpravo rozmístění součástek.



Obrázek 41- Strana spojů



Obrázek 40- Strana součástek

2.3.9.3 Fotografie hotového plošného spoje.



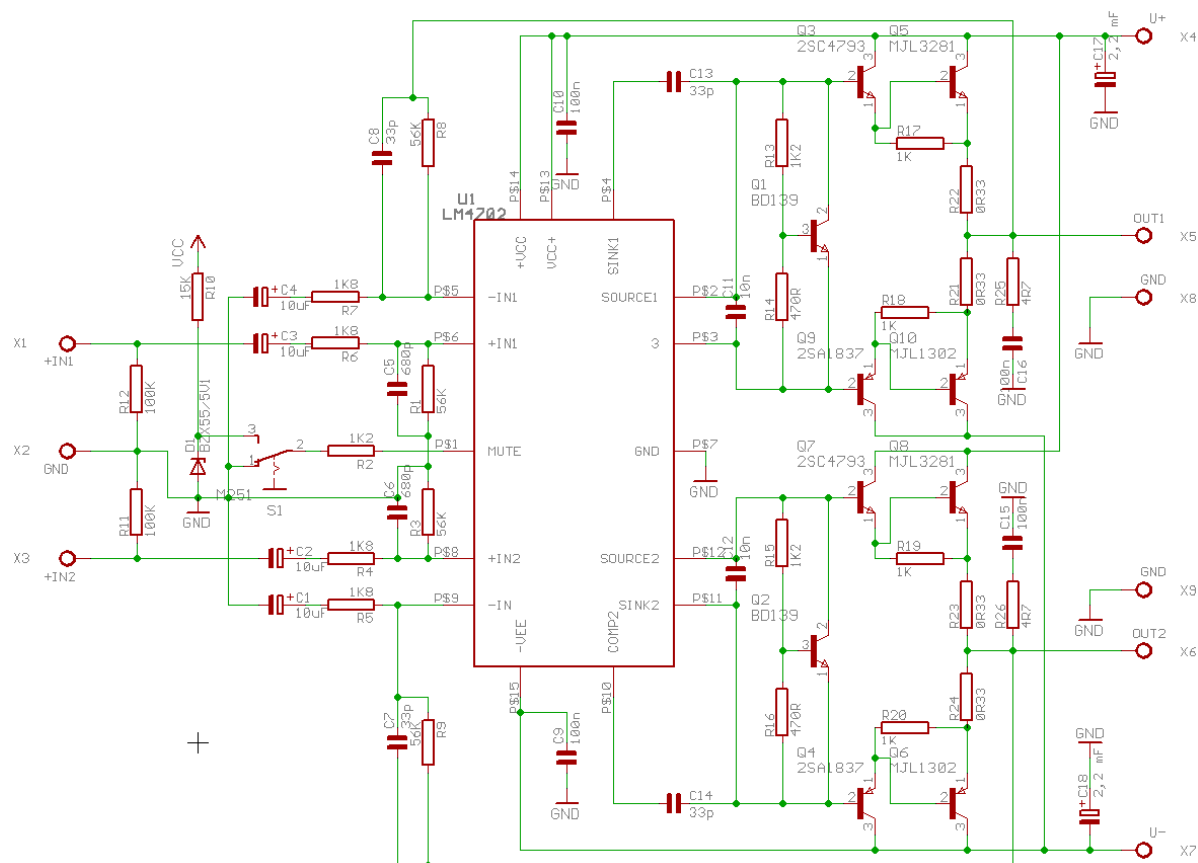
Obrázek 42- Osazený plošný spoj

2.3.10 Modul zesilovače 2 x 150 W

Zapojení tohoto zesilovače je obdobou zesilovače 600 W. Také je realizován pomocí integrovaného budicího obvodu LM4702, tentokrát není zapojen do můstku, ale do dvoukanálového režimu, stereo. Zesilovač je používán pro vysoko tónové páskové reproduktory o impedanci 13 Ω . Oproti minulému řešení je zde použit jen jeden pár koncových tranzistorů, jelikož zde není potřeba podávat veliké výkony, výškové reproduktory potřebují pouze 60 W. Popis nebudu nijak dále rozvádět, protože princip je stejný jako u zesilovače 600 W. Je osazen koncovými tranzistory Toshiba NPN-2SC5200 a PNP-2SA1943 s parametry 230 V, 15 A, 150 W. Zesilovač má pouze ochranu reproduktorů, protože hraje na reproduktory o hodnotě 15 000,- Kč za kus. Proudovou pojistku jsem v tomto případě vypustil, protože zesilovač není možné s používanými reproduktory přetížít.

2.3.10.1 Schéma zapojení

Schéma zapojení zobrazené na obrázku č. 43 pracuje na stejném principu jako zesilovač 600 W, pouze vstupy budiče nejsou zapojeny do můstku, ale jako stereo. Další rozdíl je v použití méně výkonných koncových tranzistorů. Popis zapojení je stejný jako u minulé konstrukce zesilovače.

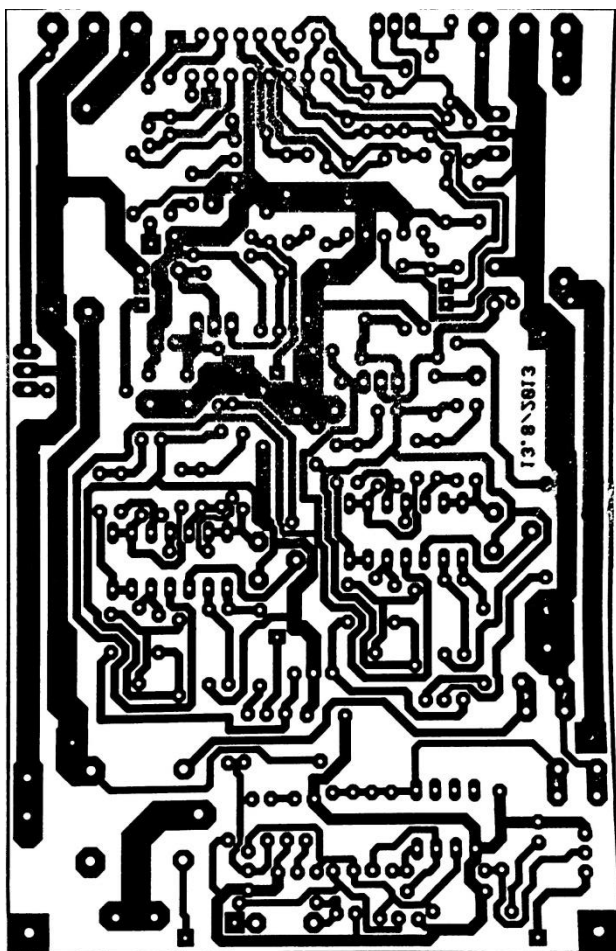


Obrázek 43- Schéma zapojení zesilovače 2x100 W

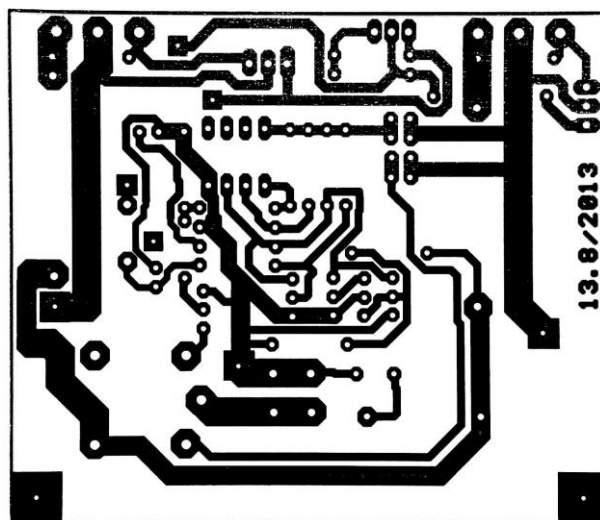
2.3.10.2 Plošný spoj

Navrhnout plošný spoj bylo obtížné, tedy spíš těžké ho vymyslet tak, aby se na něj všechno vešlo. Koncové tranzistory jsou umístěny na stejném chladiči se zesilovačem 600 W. Na chladiči zbylo pouze 80 mm šířky, na kterou se vejdu pouze 2 koncové tranzistory a budič, proto je tento zesilovač rozdělen na dva plošné spoje, které jsou nad sebou. K tomuto návrhu jsem také ztratil soubory z programu Eagle, ale jelikož všechny návrhy vytisknuté na pauzovací papír schovávám, tak zde mohu vložit oskenované návrhy strany spojů. Na plošném spoji jsou zakomponované obvody z minulých konstrukcí, které již dnes nepoužívám.

Na těchto obrázcích č. 44 a č. 45 jsou oskenované návrhy plošných spojů z pauzovacího papíru.

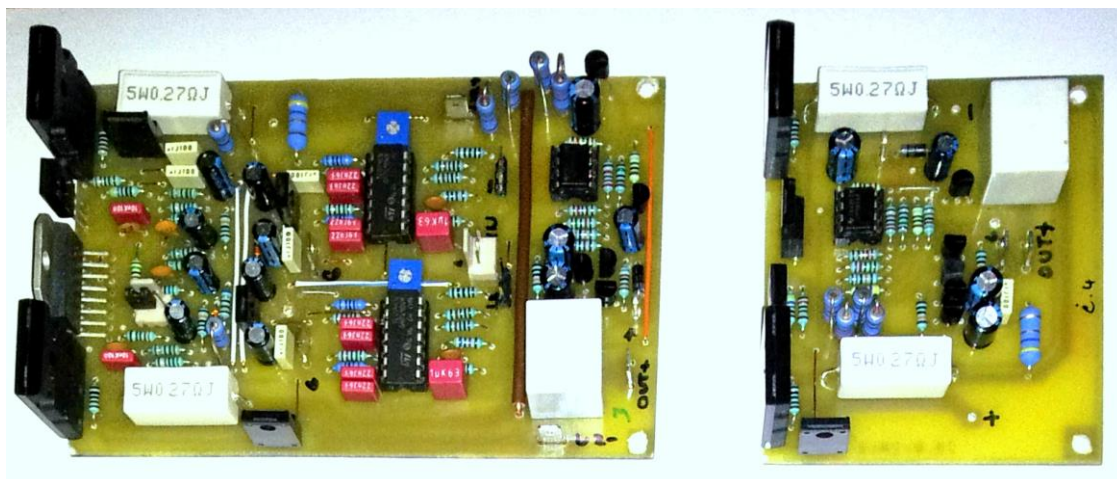


Obrázek 45- Strana spojů, část 1.



Obrázek 44- Strana spojů, část 2.

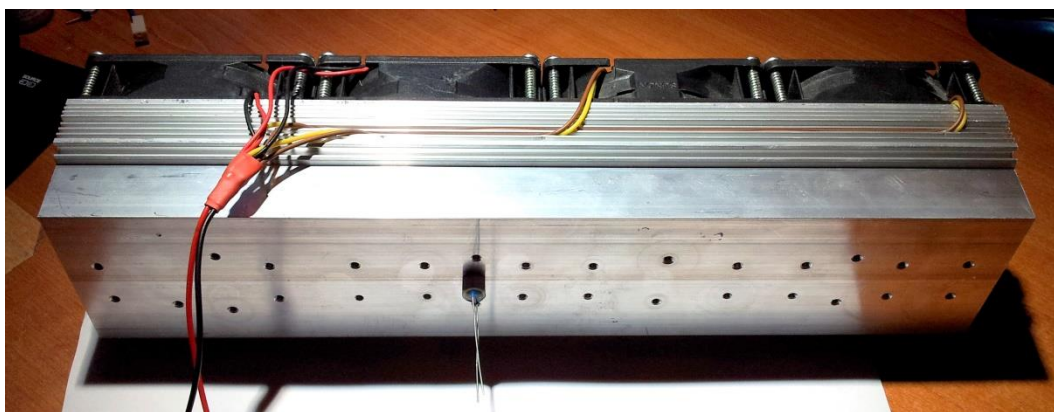
2.3.10.3 Fotografie hotového modulu



Obrázek 46- Osazený plošný spoj

2.3.11 Chladič a ventilátory

Chladič jsem použil hliníkový, lisovaný a žebrovaný o rozměrech 81 x 70 x 320 mm a tepelného odporu 0.18K/W. Jedná se o chladič aktivní, který používá pro chlazení 4 ventilátory o rozměrech 80 x 80 mm. Na tomto chladiči jsou upevněny oba dva zesilovače, tedy zesilovač 600 W a 2 x 150 W. Ventilátory jsou řízeny termistorovou regulací otáček.



Obrázek 47- Použitý chladič



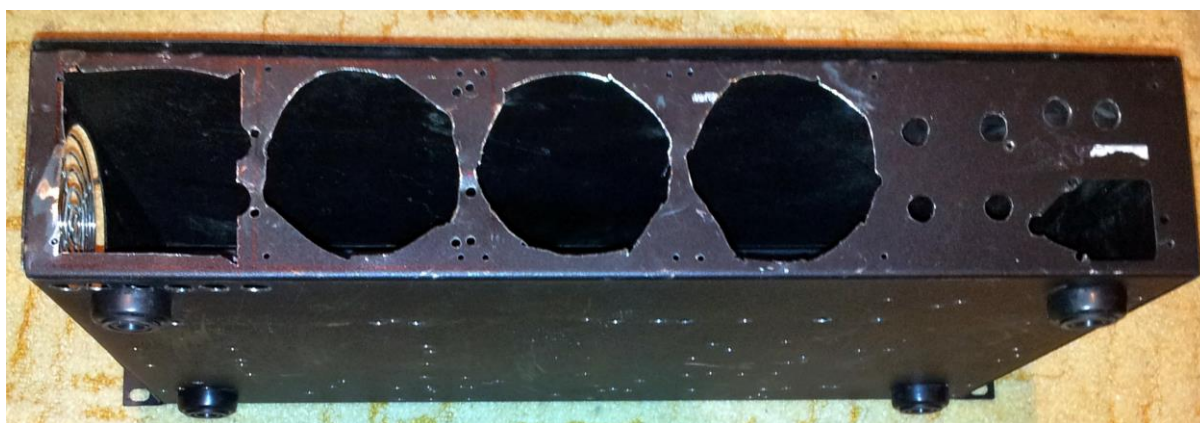
Obrázek 48- Použité ventilátory

2.3.12 Přístrojová skříň

Opět jako u aktivní výhybky jsem použil krabici z minulé konstrukce, v níž byl také zesilovač, který jsem rozebral, a některé části použil na tento zesilovač. Krabice toho měla opravdu hodně za sebou, protože jsem v ní dělal celkově asi 3 konstrukce zesilovačů, vždy se jednalo o nějaké vylepšování, které se mi vždycky dlouho nelíbilo. Až tentokrát je to nejspíš naposledy, protože jsem s tím velmi spokojený. Do krabice bylo za tu dobu vyvrtáno opravdu hodně děr. Řekl jsem si, nebudu kupovat novou, ale zrenovuju ji.

Díry na dně jsem neřešil, protože to jsou díry o průměru 4 mm a nejsou vidět, ale bylo třeba opravit přední a zadní panel. Přední panel byl na tom ještě vcelku dobře na rozdíl od zadního panelu. Na díry předního panelu jsem ze zadní strany přilepil nařezané cuprexitové plátky a přilepil je chemoprenem, po zatuhnutí lepidla jsem díry z přední strany panelu zatmelil tmelem na dřevo a kov, po několika vrstvách vybrousil. Dále jsem vyvrtal potřebné nové díry. Zadní panel takto nešlo vyřešit, protože už na něm nezbylo ani 40 % materiálu, nechal jsem si laserem uřezat hliníkový plech o tloušťce 2 mm, do něj jsem také vyvrtal potřebné díry a několika šrouby ho připevnil na zadní panel. Po ukončení veškerého vrtání jsem celou krabici vybrousil, odmastil a následně přestříkal v několika vrstvách černou matnou barvou ve spreji. Po uschnutí nástřiku krabice vypadala opravdu jako nová a ušetřil jsem asi 900 Kč. Zrekonstruovaná skříň je vidět až na fotografii hotového zesilovače.

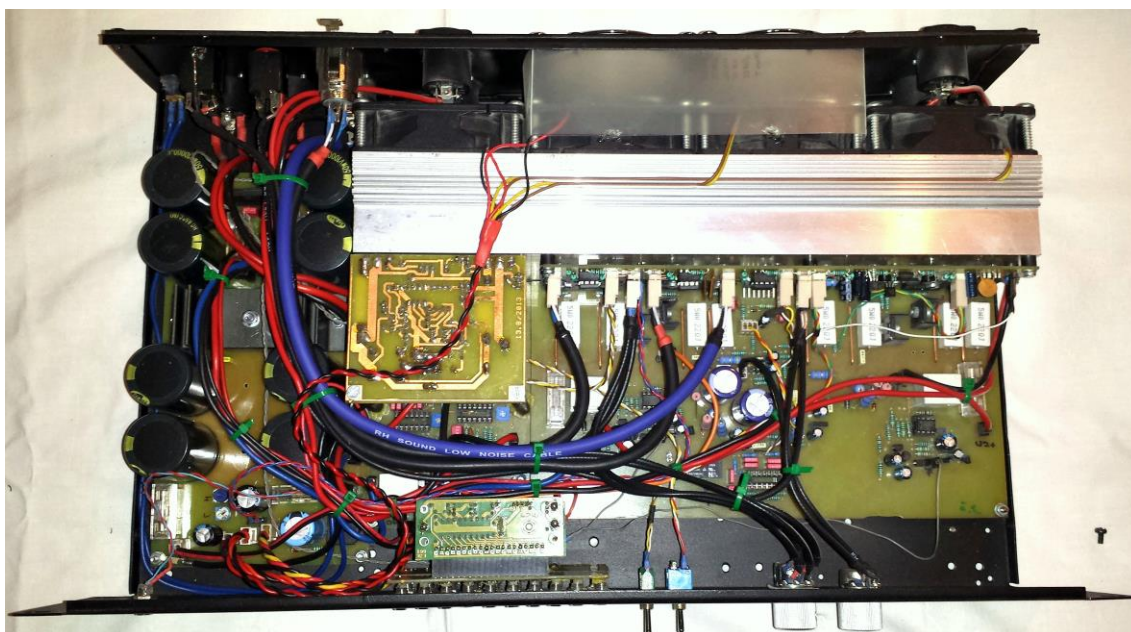
Fotografie krabice před rekonstrukcí, obrázek č. 49.



Obrázek 49- Přístrojová skříň před úpravou

2.3.13 Fotografie hotového zesilovače

Na těchto třech obrázcích č. 50, č. 51 a č. 52 je nafocen hotový a plně funkční zesilovač. Popisky ještě nebyl čas vyrobit.



Obrázek 50- Hotový zesilovač



Obrázek 52- Čelní panel zesilovače



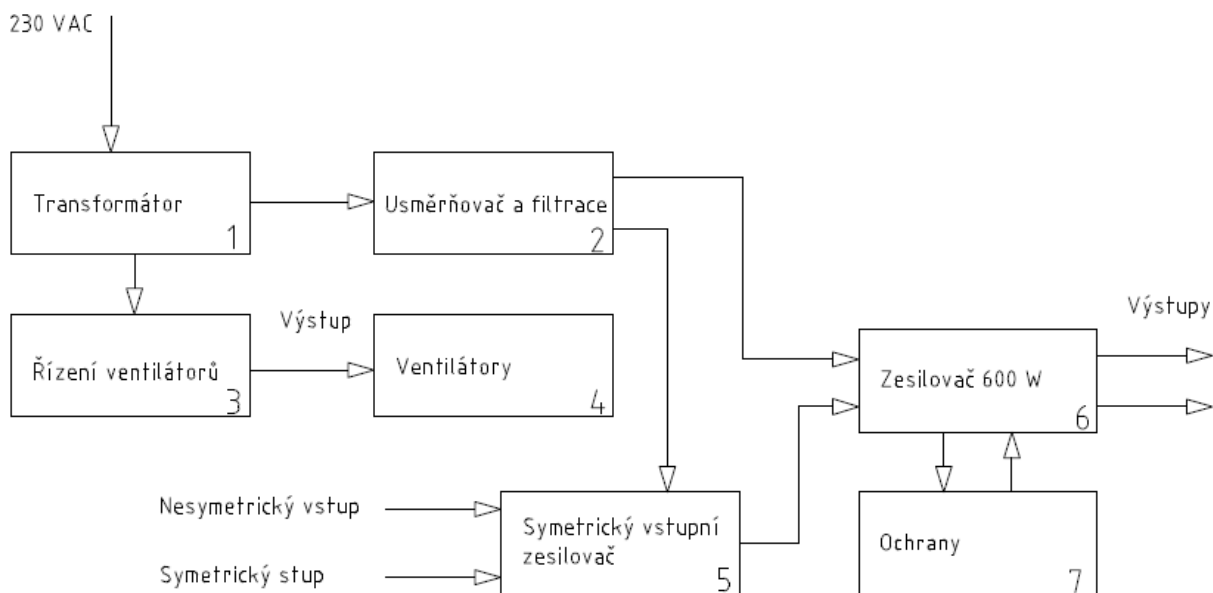
Obrázek 51- Čelní panel zesilovače

2.4 Koncové zesilovače 600 W

Tyto zesilovače budu již popisovat dohromady, jelikož nemá cenu rozdělovat stejné konstrukce. Popis tohoto zesilovače velmi zestručním, protože skoro všechna zapojení jsou popisována v již výše uvedené konstrukci koncového zesilovače 600 W a 2 x 150 W. Budu zde uvádět pouze rozdíly. Modul zesilovače 600 W je totožný ve všech zesilovačích. Tyto zesilovače jsou vyobrazeny na blokovém schématu, obrázek č. 21, pod čísly 2, 3. Bloky pod čísly 3 jsou dva naprosto stejné zesilovače.

2.4.1 Blokové schéma

Na tomto blokové schématu, obrázek č. 53, je vyobrazeno blokové schéma zbylých zesilovačů.



Obrázek 53- Blokové schéma zesilovače

2.4.2 Zdroj

Zdroj je opět složen z transformátoru a usměrňovače, tentokrát je transformátor zakomponován v krabici zesilovače.

2.4.2.1 Transformátor

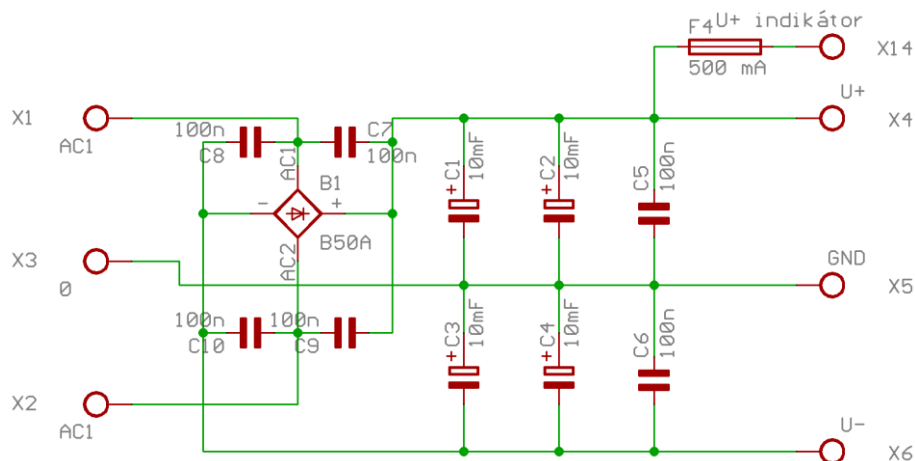
Transformátor je také použit stejný. Jedná se o zakoupený transformátor 600 VA 2 x 44 V.

2.4.2.2 Usměrňovač a filtrace

Usměrňovač je tvořen diodovým můstkem 50 A, čtyřmi filtračními kondenzátory 10 mF a blokovacími kondenzátory 100 nF. Zapojení je obdobné jako v předešlé konstrukci.

2.4.2.3 Schéma zapojení

Na obrázku č. 54 je přesné schéma zapojení usměrňovače s filtraceí:



Obrázek 54- Schéma zapojení usměrňovače a filtrace

Seznam součástek:

C1-C4	10mF
C5-C10	100nF
B1	KBPC5008W
F4	500mA

2.4.3 Pomocné obvody

I v tomto zesilovači je použita spousta obvodů, které zajišťují chod zesilovače. Obvod pro řízení ventilátorů jsem zde použil stejný jako v předešlé konstrukci, všude jsem použil stejné zapojení pro řízení otáček ventilátorů, zapojení je popisováno v bodě 2.3.4.

Typy ochran jsou zde použity dvě, proudová pojistka a reproduktorová ochrana. Obě ochrany vycházejí také z předešlé konstrukce.

Pro symetrický vstup je použit symetrický vstupní zesilovač, který převádí symetrický signál na nesymetrický. Toto zapojení je popisováno v bodě 2.3.8.

Každý kanál v této soustavě zesilovačů je monitorován indikátorem vybuzení popisovaným v bodě 2.3.9.

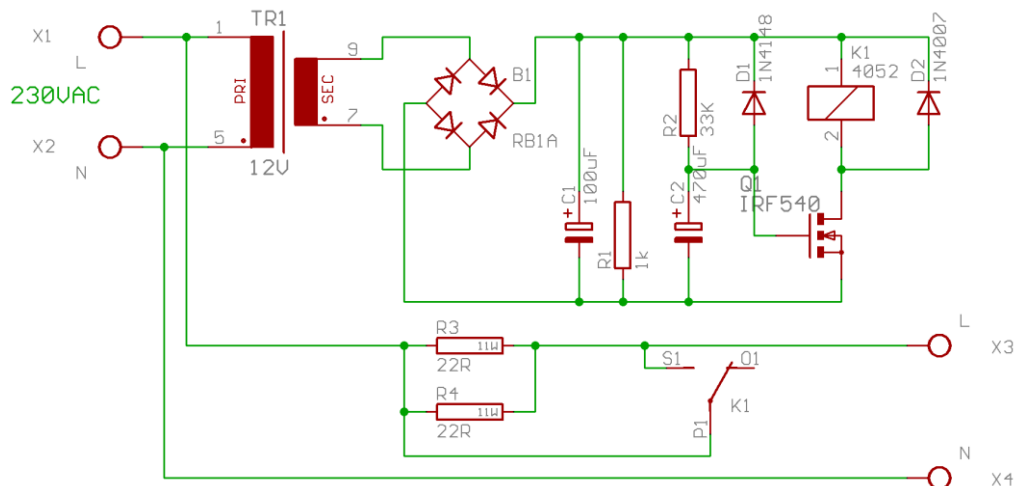
Důležitým obvodem je soft start, tento obvod je použit ve všech zesilovačích, kromě toho, který jsem popisoval jako první. Tento zesilovač jej nemá, jelikož je napájen z druhého zesilovače, jenž ho má. Daný obvod budu popisovat níže.

2.4.4 Soft start

Tento obvod je velice důležitý, musí být použit v každém zesilovači, který je napájen přímo ze sítě. Soft start výrazně snižuje proudový náraz při zapínání zesilovače. Týká se to hlavně transformátorů, které potřebují velký proud pro nasycení jádra. Dalo by se to vyřešit i jednodušeji, jako například NTC termistorem s odporem cca 10 Ω , ale nebývá to vždy vhodné řešení.

2.4.4.1 Schéma zapojení

Na obrázku č. 55, umístěném na následující straně, je schéma zapojení obvodu soft start. Obvod je napájen síťovým transformátorem 12 V; 0,6 VA, po usměrnění napětí následuje obvod, který spíná relé se zpožděním cca 0,5 s. Ke svorkám X3 a X4 je připojen toroidní transformátor. Po připojení tohoto obvodu na síťové napětí je toroidní transformátor napájen přes dva rezistory 22 Ω , zapojené paralelně, napájené po dobu 0,5 s, než relé tyto rezistory přemostí. Pro nasycení jádra transformátoru stačí opravdu pár desítek milisekund. Relé, které jsem použil, je konstruováno na proud 16 A.



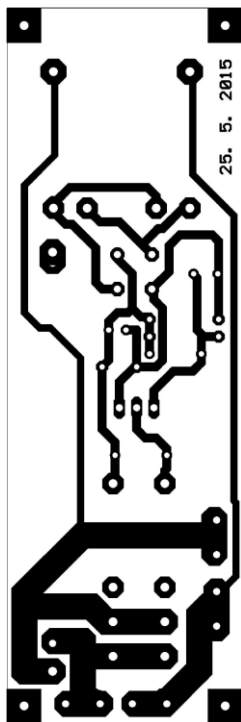
Obrázek 55- Schéma zapojení soft startu

Seznam součástek:

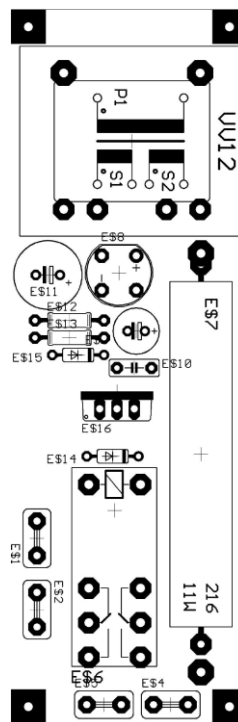
R1	1k
R2	33K
R3, R4	22R
C1	100uF
C2	470uF
D1	1N4148
D2	1N4007
B1	RB1A
K1	RT314012

2.4.4.2 Návrh plošného spoje

Snažil jsem se o to, aby deska plošných spojů bylo opravdu co nejmenší, byl jsem omezen rozměry, které byly k dispozici v zesilovači. Podařilo se mi tento obvod sestavit na desku plošných spojů o rozměrech 95 x 27 mm.



Obrázek 57- Strana spojů



Obrázek 56- Strana součástek

2.4.4.3 Fotografie hotového plošného spoje

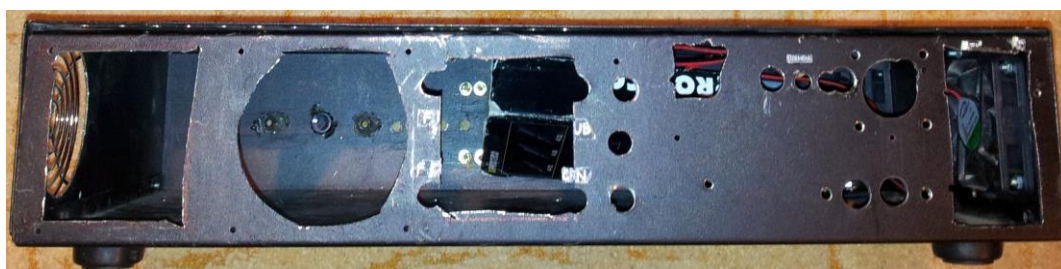


Obrázek 58- Osazený plošný spoj

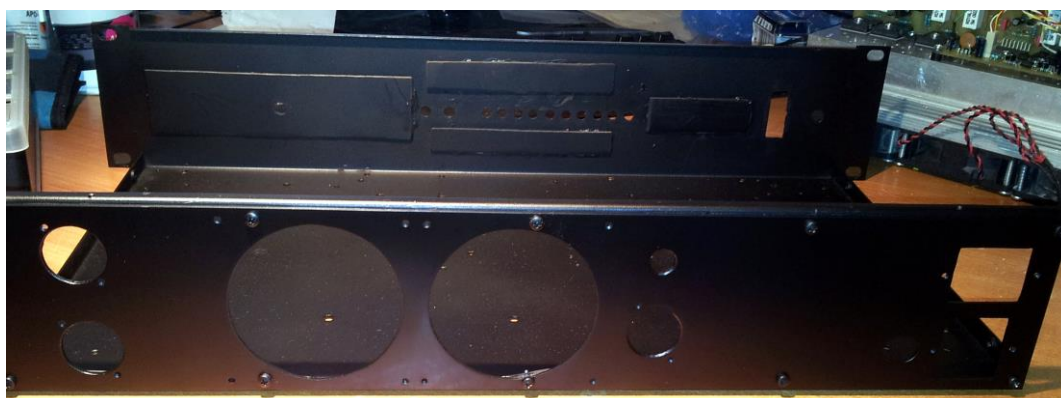
2.4.5 Přístrojová skříň

Jako u minulého zesilovače jsem použil skříň, ve které jsem měl zesilovač, který jsem zrušil a místo něj stavím tento. Byla také poměrně dost provrtaná, opravil jsem ji tedy stejným způsobem jako tu předchozí. Přední panel jsem tmelil, ale pro zadní panel už bylo jediné řešení s hliníkovým plechem a následně celou skříň nastříkal černým lakem. Pro další 2 zesilovače jsem již zakoupil tyto stejné, avšak nové přístrojové skříně.

Na obrázku č. 59 je fotografie skříně před opravou a pod ním na obrázcích č. 60 a č. 61 jsou fotografie zadního a předního panelu po opravě.



Obrázek 59- Přístrojová skříň před opravou



Obrázek 60- Opravená skříň-zadní panel



Obrázek 61- Opravená skříň-přední panel

2.4.5.1 Konektory, vodiče a kabely

Velmi důležitá je i volba různých vodičů, je potřeba je rozdělit podle toho, k čemu budou sloužit, například signálový nebo napájecí vodič. Další podstatnou věcí je průřez vodiče podle toho, jaký bude vést proud.

Jako napájecí vodiče a vodiče výstupního signálu jsem použil CYA vodiče o průřezu $2,5 \text{ mm}^2$. Důležité je hlavně to, aby zemní vodiče měly co nejmenší odpor, mohlo by totiž docházet k zemním smyčkám a tedy ke vzniku brumu již ve skříni. Pro ostatní obvody, kde netečou tak velké proudy, jsem použil vodiče o průřezu 1 mm^2 a méně. Signálové vodiče jsem použil dva typy, jelikož signál je veden symetricky a nesymetricky. Pro symetrický signál jsou použity symetrické kabely, které mají 2 signálové vodiče a stínění, pro nesymetrický signál je použit koaxiální kabel.

Pro propojení napájení jsem ve všech konstrukcích použil Eurokonektory, pro výstupy signálů, popř. napájení zesilovače z transformátorů jsem použil konektory Speakon, jejichž výhodou je možnost velkého proudového zatížení. Vstupní signály používají konektory XLR a Jack, symetrický a nesymetrický.

2.4.5.2 Fotografie hotového zesilovače

Na tomto obrázku č. 62 je fotografie jednoho ze zesilovačů, fotografie postačí jedna, jelikož zesilovače jsou stejné.



Obrázek 62- Hotový zesilovač 600 W

2.5 Fotografie celé soustavy zesilovačů

Na obrázcích č. 63 a č. 64 jsou fotografie celé soustavy zesilovačů i s aktivní výhybkou, jež je umístěna nahoře.



Obrázek 64- Sestava hotových zesilovačů - přední strana



Obrázek 63- Sestava hotových zesilovačů - přední strana

2.6 Zhodnocení

S popisovanými zesilovači jsem velmi spokojen a doufám, že je to finální podoba celé soustavy. V dohledné době bych ještě plánoval zesilovače ve třídě D pro subwoofery, kvůli větší účinnosti a většímu výkonu.

Během výroby se nevyskytly velké problémy, většinou všechno vždy fungovalo. Plošné spoje po osazení byly většinou hned při prvním ožívání funkční, maximálně jsem měnil hodnoty některých součástí, aby vše pracovalo přesně tak, jak jsem chtěl.

3 Reproduktorová soustava

Již od mala konstruuji různé reprosoustavy, začal jsem na reproduktorech z televizorů, to mi bylo asi 5 let, dále jsem pokračoval s reproduktory TVM, a skončilo to tak, že jsem získal reprosoustavy z kina. Kvůli těmto reprosoustavám jsem již musel postavit výkonnější zesilovače, jež jsou popisovány výše. Reprosoustavy jsou velmi kvalitní, a osazeny velmi kvalitními reproduktory. Jejich výrobcem je nizozemská firma Stage Accompany, jejich výrobky jsou v cenové relaci, kterou si obyčejný člověk nemůže dovolit, proto jsem rád, že jsem tyto „bedny“ získal zdarma. Tyto reprosoustavy se používaly za plátnem, tudíž jsou velmi tenké ale na výšku a šířku mají 1,2 m. Takto rozměrná bedna je velmi nepraktická a v mém pokoji zabírá hodně místa, nemluvě o tom, kdybych ji chtěl použít například na pódiu, Tak si nedovedu představit její stabilitu s hloubkou 23 cm. Proto jsem se rozhodl, že pro tyto reproduktory vyrobím nové ozvučnice.

Dále jsem se rozhodl, že k těmto reprosoustavám postavím 4 subwoofery. Nejdřív jsem plánoval dva subwoofery, ale nakonec jsem se rozhodl pro čtyři. Dlouho jsem zvažoval, jakou použiji ozvučnici, nejdříve jsem uvažoval o exponenciálních ozvučnicích. Z tohoto plánu sešlo, protože jsem nevěděl, ani nikdo jiný, kdo se tím zabývá, jak tuhle ozvučnici vypočítat. Nakonec jsem tedy skončil u bassreflexových ozvučnic, které se dají přibližně dobře vypočítat.

Parametry sloupových reprosoustav

- Kmitočtový rozsah: 35-30 KHz
- Reproduktory:
 - Dolní pásmo: 2x SA1203 - citlivost 97 dB
 - Horní pásmo: SA8535 - citlivost 103 dB
- Výkon:
 - Dolní pásmo: 800 W/2000 W (RMS/PEAK)
 - Horní pásmo: 60 W/1000 W (RMS/PEAK)
- Rozměry: 1200 x 400 x 508 mm (v x š x h)
- Hmotnost: 65 kg

Parametry subwooferů

- Kmitočtový rozsah: 30 - 200 Hz
- Reproduktor: Beyma SM 115/K
- Výkon: 500 W
- Rozměry: 714 x 436 x 530 mm (v x š x h)
- Hmotnost: 35 kg

3.1 Sloupové reprosoustavy

Když jsem získal reprobedny z kina, byly nepoužitelné, měly už svá léta odehraná. Reprodukory měly po té době zteřelý a velmi rozpadlý závěs, který jsem vyměnil za nový závěs z PUR pěny. Po této opravě byly reproduktory skoro jako nové. Výškový reproduktor je páskový, takže na něm nejsou žádné závady.

Basový reproduktor je 12“ 8 Ω s výkonem RMS 400 W a citlivostí 97 dB. Reproduktor je velmi robustní, má litý hliníkový koš, jeho hmotnost je asi 10 kg. Páskový vysokotónový reproduktor patří na trhu ke špičce, téměř celé jeho tělo tvoří neodymový magnet, má opravdu velikou citlivost 103 dB a RMS výkon 60 W. Díky této vysoké citlivosti má velikou účinnost a pouhých 60 W stačí na to, aby vyzářil velký výkon SPL 121 dB.

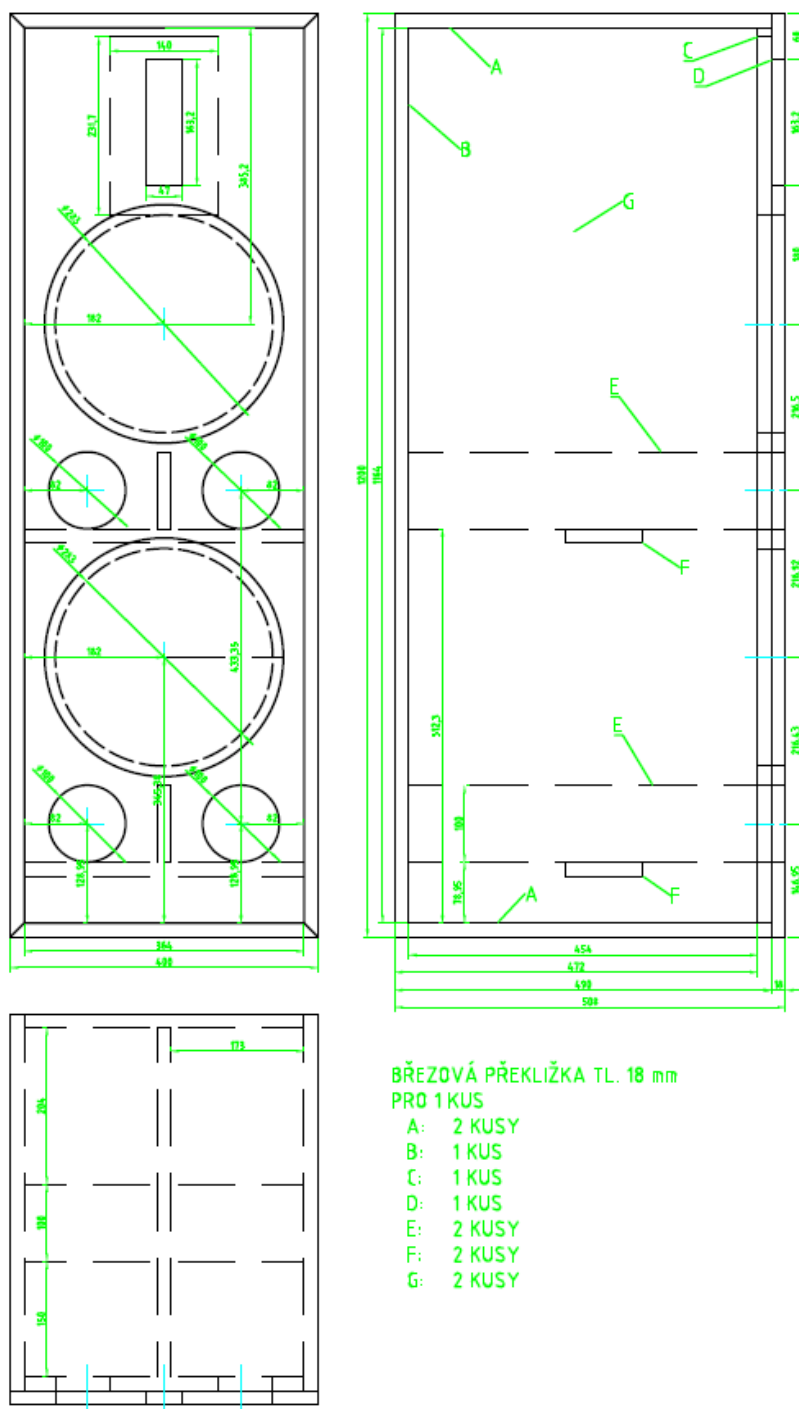
3.1.1 Ozvučnice

Chtěl jsem vyrobit nové ozvučnice místo těch původních, ale nebyl jsem si jistý, zdali se budou nové ozvučnice chovat stejně. Domníval jsem se, že když zachovám všechny parametry, jako je objem ozvučnice, délka a plocha bassreflexových nátrubků, bude hrát stejně jako ta původní. Tohle jsem konzultoval s odborníkem, který mi to potvrdil. Teď už byl na řadě návrh nové ozvučnice, nebylo to příliš těžké, ale musel jsem si dát pozor na několik věcí, například aby bassreflexové nátrubky měly dostatečnou hloubku.

Nejdříve jsem musel zjistit parametry původní ozvučnice, to znamená objem a délku nátrubků. Objem staré ozvučnice bylo potřeba vypočítat, ozvučnice má průřez obdélníku a rovnoramenného lichoběžníku. Tento tvar jsem si musel nejdříve narýsovat v programu, při použití vnějších rozměrů a tloušťky desky, zjistit vnitřní rozměry a poté vypočítat. Vnitřní objem ozvučnice jsem vypočítal 192 l. Dalším krokem bylo zvolení přibližných potřebných rozměrů tak, aby ozvučnice měla vnitřní objem 192 l. Vnitřní rozměry jsem zvolil 364 x 484 x 1164 mm. Původní bassreflexové nátrubky byly 4 o vnitřním průměru 105 mm, na nich tedy není co měnit. Použil jsem novodurovou rouru 110 mm. Koupil jsem novodurovou rouru o délce 2 m, z ní jsem na soustruhu uřezal 8 nátrubků o délce 270 mm. Rouru jsem řezal na soustruhu z toho důvodu, aby byl řez kolmý. Abych mohl konstrukci realizovat, udělal jsem si nárys celé ozvučnice v programu AutoCad. Tento nárys je na obrázku č. 65.

3.1.2 Narys ozvučnice

Na tomto obrázku je náčrt celé ozvučnice i s rozmístěním reproduktorů a bassreflexů.



Obrázek 65- Návrhy sloupových reprosoustav

3.1.3 Konstrukce

Ozvučnice je vyrobená z 18 mm březové překližky. Z náčrtu, obrázek č. 65, je vidět, že hrany desek jsou řezány pod úhlem 45°, aby se docílilo větší pevnosti ve spoji a také kvality vnějšího

povrchu. Podle nárysu jsem si udělal výpis všech desek a ty jsem zadal na uřezání stolaři. Všechny otvory, kruhové či obdélníkové, jsem vyřezával frézováním. Zakoupenou frézku jsem musel lehce upravit tak, abych byl na ní schopen vyřezat dokonalý kruhový otvor, tato úprava je vyfotografována na obrázku č. 66. Bylo potřeba, aby frézka měla vytyčený střed, kterého se bude držet. Pomocí závitové tyče a prodlužovacích matic jsem byl schopen poloměr přesně nastavit na milimetry. Po jednotlivých vrstvách jsem postupně odfrézovával materiál.



Obrázek 66- Upravená frézka

Na obrázku č. 67 jsou vyfotografovány všechny vyfrézované díry pro reproduktory, včetně výškového reproduktoru.



Obrázek 67- Vyfrézované otvory v čelních deskách

Reprobedny jsou dvě, ale já jsem použil 2 překližky za sebou na přední stranu s reproduktory. Pro výškový reproduktor jsem do přední čelní desky vyfrézoval zapuštění 10 mm. Na vnitřní přední desky jsem natloukl narážecí matice pro šrouby reproduktorů. Narážecí matice jsem natloukl i pro ucha na bočnicích.

Před lepením jsem si předvrtal díry pro šrouby tam, kde jsou desky spojovány. Potom jsem postupně nanášel lepidlo. Po přesném umístění desky jsem spoje stahoval vruty. Tuto metodu jsem zvolil proto, že nepotřebuji speciální svorky pro stahování a nemůže dojít k odtlačení spojů lepidlem. Pro lepení jsem použil polyuretanové lepidlo.

Na tomto obrázku č. 68 je vidět ozvučnice před zakrytíváním boční stěnou, jdou zde vidět i výztuhy.



Obrázek 68- Ozvučnice před zakrytíváním

Před přilepením čelní desky jsem do otvorů vložil nátrubky a poté nanasl lepidlo a přiklopil čelo. Po zatuhnutí lepidla jsem následně frézku zaoblil všechny hrany, to proto, aby byly odolnější proti mechanickému porušení.

Následně jsem strhl špachtlí všechny zbytky lepidla a celou bednu přebrousil vibrační bruskou. Dále následovalo tmelení, bylo potřeba všude tam, kde byly buď přesahy spojů, nebo zapuštěných šroubů. Tmelení jsem prováděl až ve čtyřech vrstvách podle potřeby, jelikož se tmel schnutím smršťoval. Po řádném zaschnutí tmelu jsem celou bednu znovu přebrousil vibrační bruskou do finální podoby. Po všech těchto krocích je bedna krásně hladká a hmatem není poznat, kde jsou spoje a šrouby.

Dalším velkým krokem je povrchová úprava. Před tímto je potřeba vědět, jestli všechny montované části sedí, jak mají, jelikož po povrchové úpravě by již bylo pozdě pro případné opravy otvorů. Pro povrchovou úpravu jsem použil strukturovaný lak, který jsem nanášel stříkací pistolí. Tento lak jsem nanášel ve dvou vrstvách, první jsem nanášel pod tlakem vzduchu 5 barů a druhou vrstvu pod tlakem 2,5 baru. První vrstva byla po zaschnutí jemnější a druhá vrstva hrubší a strukturovanější, to je způsobeno tím, že když jsem použil nižší tlak, barva nebyla tak rozprašována a tvořila větší kapičky na rozdíl od použití vyššího tlaku.

Použité reproduktory:

Basový reproduktor: SA1203

Výškový reproduktor: SA8535

Na tomto obrázku č. 70 je fotografie hotové povrchové úpravy a ozvučnice s reproduktory.



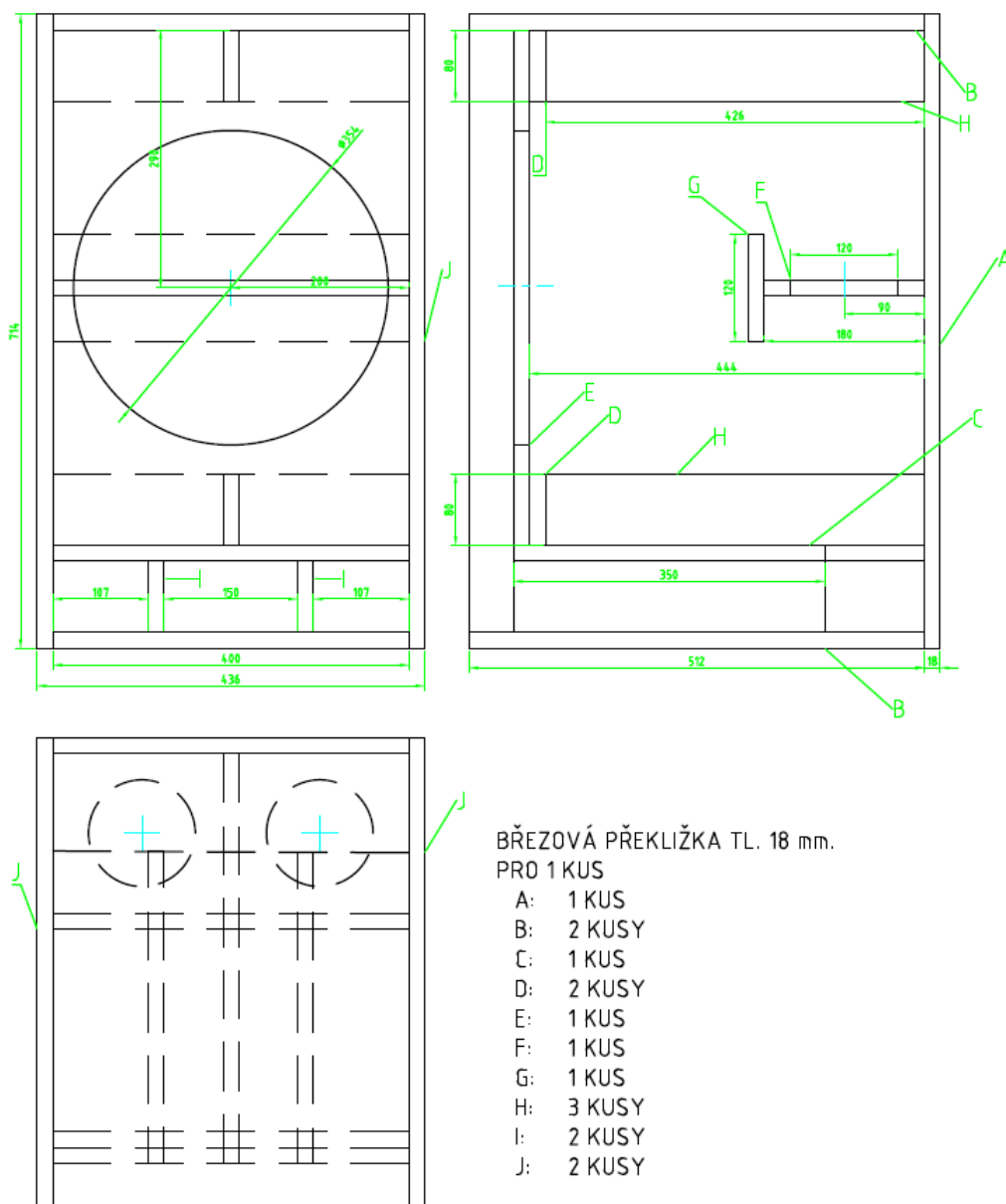
Obrázek 69- Hotové sloupové reprosoustavy

3.2 Subwoofery

Již delší dobu jsem plánoval konstrukci dvou subwooferů osazených 15“ reproduktory. Nevěděl jsem, jakou bych měl zvolit ozvučnici, aby byly reproduktory co nejlépe využity. Se známými, kteří se tomuto věnují, jsem konzultoval, co by bylo nejlepší, ale názory se rozcházely, každý mi doporučil něco jiného, druhý vyvrátil tvrzení prvního. Dlouho jsem uvažoval o exponenciálních ozvučnicích, ale nakonec jsem změnil svůj záměr, neboť nebyla jistota, zda bude hrát jak má a mohly by to být vyhozené peníze. Rozhodl jsem se pro klasickou bassreflexovou ozvučnici, která bude hrát vždy, i když ji možná bude potřeba odladit.

3.2.1 Nárys ozvučnice

Na obrázku č. 70 je nákres ozvučnice pro subwoofery. Z tohoto návrhu jsem si udělal výpis všech desek pro zadání stolaři.



Obrázek 70- Nákres subwooferů

3.2.2 Konstrukce

Pro tyto subwoofery jsem zvolil bassreflexovou ozvučnici s velkou plochou nátrubku. Různě jsem bádala na internetu, jaký tvar by byl vhodný, potřeboval jsem nějakou inspiraci. Nakonec jsem si řekl, že se bude lepší poradit s odborníkem. Po konzultaci s panem Florou jsem získal přibližné návrhy pro inspiraci. Bassreflex v jeho ozvučnici byl naladěn na jiný reproduktor, než jsem použil já. Můj reproduktor má o dost větší ekvivalentní objem, takže bylo potřeba upravit bassreflexový nátrubek. Pro jeho výpočet jsem si našel na internetu program, který vypočítá délku nátrubku dle zadaných hodnot objemu reproboxu, plochy nátrubku a parametrů reproduktoru. Plocha původního nátrubku byla dosti velká, kdybych ji zanechal pro můj reproduktor, už by byl delší než hloubka reproboxu, tudíž jsem musel zmenšit plochu nátrubku 73 cm^2 . Plocha nátrubku je tedy 291 cm^2 a jeho délka 350 mm.

Ozvučnice má vnější rozměry 714 x 436 x 530 mm a její vnitřní objem je 115 l. Je vyrobena z 18 mm březové překližky. Čelní deska, na které je reproduktor, je 50 mm zapuštěna. Zapuštění je uděláno proto, aby se před celou čelní desku mohl vložit ochranný děrovaný plech. Uvnitř ozvučnice jsou i různé výztuhy, které jsou vyfotografovány na obrázku č. 71. Postup při lepení je stejný jako u minulé konstrukce reprosoustav. Desky jsem lepil polyuretanovým lepidlem a následně stáhl vruty. I zde jsem jednotlivé otvory vyřezával pomocí upravené frézky. Na všech hranách reproboxu jsem frézku vytvořil zaoblení.

Případné nerovnosti spojů či šroubů jsem tmelil brousitelným tmelem, který se opět nanášel ve více vrstvách. Po zatvrdnutí jsem celou bednu přebrousil do hladka. Povrchovou úpravu jsem zvolil, jako u minulé konstrukce reprosoustav, strukturovaný černý lak.

Použil jsem reproduktory od firmy Beyma, konkrétně typ SM 115/K s parametry:

- Výkon: 500 W
- Citlivost: 97 dB
- Impedance: 8Ω
- Celkový činitel jakosti (Q_{ts}): 0,25
- ekvivalentní objem (V_{as}): 345 l
- Rezonanční frekvence: 27 Hz
- Průměr cívky: 100 mm

Na tomto obrázku č. 71 je vyfotografován reprobox před přilepením bočnice, na fotografii jsou vidět výztuhy a labyrint bassreflexového nátrubku.



Obrázek 71- Ozvučnice před zakrytáním

Fotografie hotových subwooferů jsou na obrázku č. 72. Na fotografii už je vložen i ochranný děrovaný plech před čelo.



Obrázek 72- Hotové subwoofery

3.3 Fotografie celé hotové reprosoustavy

Na této fotografii, obrázek č. 73, je finální podoba celé reprosoustavy.



Obrázek 73- Celá reprosoustava

3.4 Zhodnocení

Při výrobě reprosoustav nenastal sebemenší problém. Díky technické dokumentaci v AutoCadu, ze které jsem vypisoval jednotlivé desky, se mi nestalo, že by rozměry některých desek neseděly. Konstrukce byla velmi časově a fyzicky namáhavá. Pracoval jsem na nich asi 86 hodin, do tohoto času jsem nezapočetl čas řezání desek stolařem.

4 Závěr

Po delší době jsem chtěl zkonstruovat nějakou výkonnější reprosoustavu. Reprosoustavy, jež jsem vyzískal z kina, odstartovaly výrobu výkonnějších zesilovačů a jejich zdokonalování, které se postupem času stupňovalo do uvedené podoby. Po dokončení úprav zesilovačů jsem se dostal k výrobě těchto reprosoustav. Na tomto projektu jsem pracoval po dobu asi dvou let, protože mezi jednotlivými částmi projektu jsem pracoval i na jiných různých pracích. Myslím, že touto aparaturou by se dal ozvučit i větší sál. Pochopitelně tato má konstrukce nedosahuje parametrů jako profesionální výrobky pro daný účel, ale pro mne byl návrh a výroba velkou získanou zkušeností a posunutí o třídu výš v mých znalostech.

Seznam použité literatury

- [1] *Amatérské rádio*. Praha 6: AMARO spol. s r.o., 2004, **2004**(8). ISSN 0322-9572.
- [2] *Amatérské rádio*. Praha 6: AMARO spol. s r.o., 2004, **2004**(11). ISSN 0322-9572.
- [3] *Amatérské rádio*. Praha 6: AMARO spol. s r.o., 2008, **2008**(10). ISSN 0322-9572.
- [4] *Zesilovače a jiná elektronika* [online]. 2011 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://zesiky.webnode.cz/news/ochrana-zesilovace-3-jednokanalova-verze/>
- [5] *Datasheetcatalog*. *Datasheetcatalog* [online]. [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets2/84/843913_1.pdf

Seznam příloh

Příloha 1- Detailní fotografie subwooferů

Příloha 2- Fotografie celé aparatury ve velkém sále

Příloha 1



Obrázek 74- Subwoofery s a bez ochranného děrovaného plechu

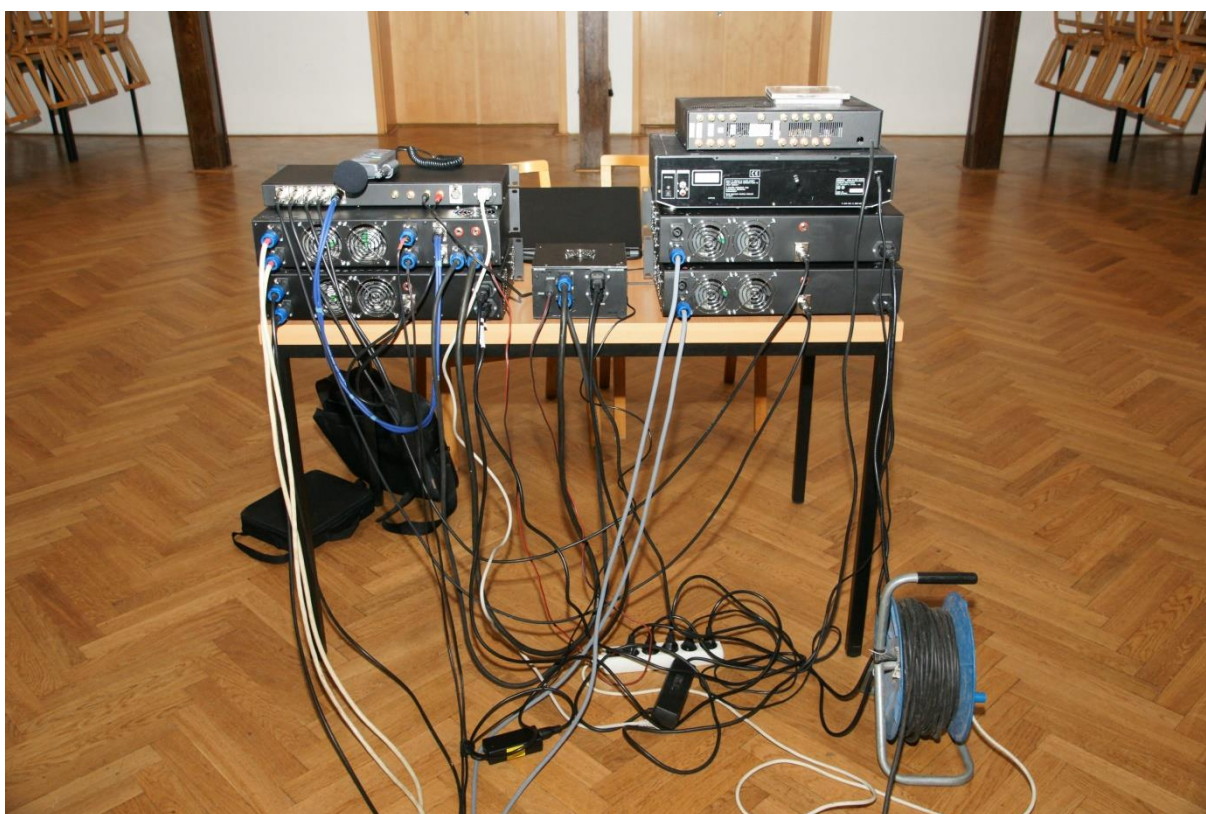


Obrázek 75- Použitý 15" reproduktor Beyma

Příloha 2



Obrázek 77- Pohled na celou aparaturu



Obrázek 76- Pohled na zapojení zesilovačů



Obrázek 78- Fotografie jedné soustavy reprosoustav