

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta

Bakalářská práce

Stavba elektronkového zesilovače

Jakub Strejc

školitel: Ing. Ladislav Ptáček

České Budějovice 2014

Strejc J. 2014: Stavba elektronkového zesilovače. [The construction of a vacuum tube amplifier, Bc. Thesis, in Czech] - 34p, Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace:

Předložená práce se zabývá, nejprve teoreticky a poté prakticky, stavbou elektronkového zesilovače. Cílem této práce bylo postavit funkční elektronkový zesilovač o výkonu minimálně 2 x 20 W. V první části je popsána teorie elektronkových zesilovačů, které jsou v povědomí díky charakteristickému zvuku. Dále je rozebíráno teoreticky schéma zapojení zesilovače po jednotlivých blocích plus další funkční bloky, jako připojení sluchátek, nebo VU metru. Ve zbytku práce je řešena vlastní realizace elektronkového zesilovače.

Abstract:

The presented thesis describes the construction of a tube amplifier in both theoretical and practical ways. The aim of this work was to construct a functional tube amplifier with an output of at least 2 x 20 W. The first part of the study describes the theoretical background of tube amplifiers which are recognized for their characteristic sound. Wiring diagrams for each block and other functional blocks of the amplifier, such as headphones or VU meter connections, are discussed. The last part of the thesis focuses on the actual realization of the tube amplifier.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Přírodovědeckou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českém Krumlově, dne 23. 4. 2014

.....
podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval rodičům za psychickou i finanční podporu, jak při studiu, tak při stavbě elektronkového zesilovače. A také za pomoc při řešení technických problémů spojených se stavbou. Dále bych rád poděkoval panu Martínkovi, který mě k elektronkám zavedl a poskytl mi spoustu užitečných informací. Také děkuji mému školiteli panu Ing. Ladislavu Ptáčkovi, který mi byl vždy nápomocen. V neposlední řadě bych rád poděkoval panu Ing. Petru Boubalovi a jeho kolegům za pomoc při výrobě plošných spojů.

Obsah

1	ÚVOD	1
1.1	CÍL PRÁCE	1
2	TEORIE	2
2.1	ELEKTRONKA	2
2.2	ELEKTRONKOVÉ ZESILOVAČE.....	5
2.3	TŘÍDY ZESILOVAČŮ	5
2.3.1	<i>Třída A</i>	5
2.3.2	<i>Třída B</i>	6
2.3.3	<i>Třída AB</i>	6
2.3.4	<i>Třída C</i>	7
2.4	POROVNÁNÍ ELEKTRONKOVÉHO A TRANZISTOROVÉHO ZESILOVAČE	7
2.5	POROVNÁNÍ CEN SOUČÁSTEK	9
3	VLASTNÍ ELEKTRONKOVÝ ZESILOVAČ	11
3.1	BLOKOVÉ SCHÉMA	11
3.1.1	<i>Zdroj</i>	12
3.1.2	<i>Předzesilovač</i>	12
3.1.3	<i>Pasivní korekce</i>	13
3.1.4	<i>Fázový invertor</i>	14
3.1.5	<i>Koncový stupeň</i>	15
3.1.6	<i>Výstupní transformátor</i>	15
3.1.7	<i>VU metr</i>	16
3.1.8	<i>Výstup na sluchátka</i>	17
3.2	SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	17
4	REALIZACE	19
4.1	NÁVRH TRANSFORMÁTORU	19
4.2	NÁVRH SKŘÍŇE	19
4.3	PLOŠNÉ SPOJE.....	22
4.3.1	<i>Plošný spoj zesilovače</i>	22
4.3.2	<i>Plošný spoj zdroje</i>	24
4.4	MONTÁŽ	25
4.5	OŽIVENÍ	26
4.6	MĚŘENÍ VÝKONU.....	28
5	ZÁVĚR	30
5.1	TECHNICKÉ ÚDAJE.....	30
6	LITERATURA	31
7	PŘÍLOHY	33

1 Úvod

Tato práce se bude zabývat, jak už sám název napovídá stavbou elektronkového zesilovače. Elektronky už zrovna nejsou nejvíce využívanou součástí. Někteří lidé by si mysleli, že už se na ně úplně zapomnělo a že nemají žádné praktické využití. Opak je pravdou. Elektronky jsou stále v povědomí hlavně u muzikantů a lidí, kteří se zabývají kvalitní reprodukcí audio signálů.

Také jejich odolnost vůči elektromagnetickým impulzům může být výhodná v některých oborech lidské činnosti (vojenství).

Doufám, že tato práce pomůže trochu osvětlit problematiku a přispěje elektronky dostat více do povědomí.

1.1 Cíl práce

Cílem práce je sestavení stereofonního elektronkového zesilovače o výkonu minimálně 2x20W pro využití v oblasti audio elektroniky. Zdrojem signálu bude zařízení s linkovým výstupem, jako počítač, mp3 přehrávač, gramofon a jiné. V rámci teoretické části práce budou diskutovány vlastnosti elektronkových zesilovačů, jejich porovnání s tranzistorovými, obecné shrnutí jejich výhod a nevýhod. Praktická část se bude věnovat sestavení zesilovače, jeho oživení a v rámci možností přístrojového vybavení též změření jeho parametrů.

2 Teorie

2.1 Elektronka

T. A Edison jako první přišel na to, že kolem rozžhaveného vlákna (katody) žárovky umístěného ve vakuu vznikají elektrony (teče elektrický proud). J. A. Fleming přidal do skleněné baňky destičku (anodu) a přivedl na ní napětí. Tímto obvodem začal téct proud. Tak to vznikla první elektronka zvaná dioda. Lee de Forest do diody ještě přidal mřížku mezi katodu a anodu. Tímto vznikla trioda a i první zesilovací prvek.

Princip elektronky spočívá v emitování volných částic elektronů žhavým materiálem ve vakuu. Rozžhavíme-li kovové vlákno (katodu) a v určité vzdálenosti umístíme kovovou elektrodu (anodu), je možné, aby mezi katodou a anodou procházel proud elektronů. Docílíme to tím, že na anodu přivedeme kladné napětí, které přitahuje záporné elektrony z katody. Aby elektronka fungovala, musí splňovat dvě základní podmínky. Na katodě musí vznikat elektrony a anoda musí být kladně nabitá.

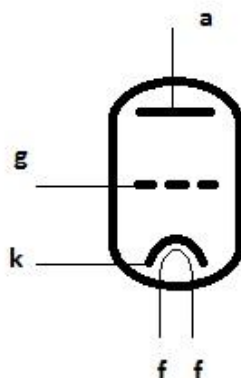
Při změně napětí na mřížce dojde ke změně anodového proudu. Pokud přivedeme na mřížku kladné napětí proud procházející elektronkou je maximální, když přivedeme záporné napětí, elektrony jsou odpuzovány a proud se zmenšuje. Mřížka je vlastně řídicí elektroda. Řídí proud procházející elektronkou. Můžeme jí přirovnat k bázi tranzistoru.

Název elektronky	počet mřížek	použití
Dioda	0	usměrňovací
Trioda	1	zesilovací
Tetroda	2	zesilovací
Pentoda	3	zesilovací
Hexoda	4	směšovací
Heptoda	5	směšovací
Oktoda	6	směšovací
Enneoda	7	speciální

Tab. 1 Přehled elektronek podle počtu mřížek.

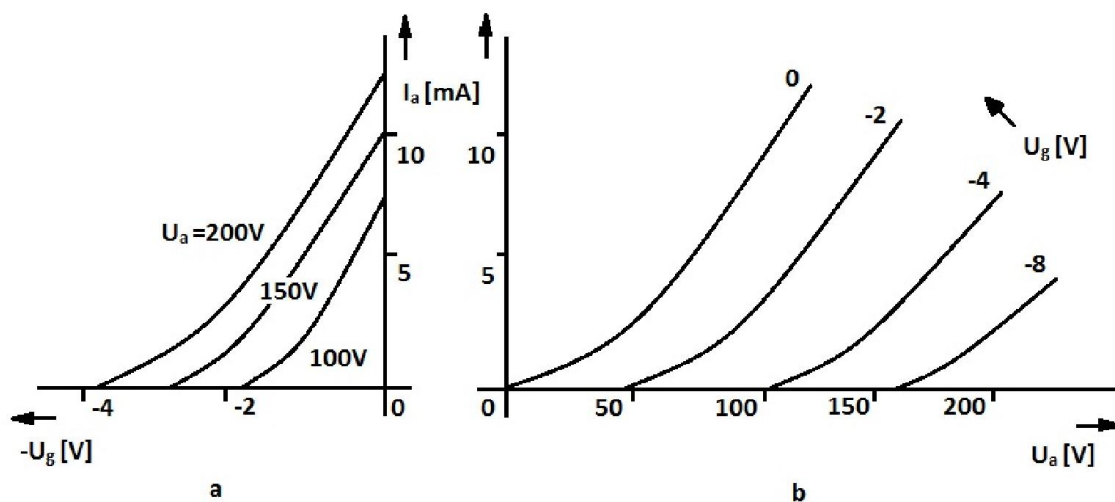
Přidáním více mřížek nám vznikají různé elektronky. Dvě mřížky má tetroda, tři mřížky má trioda a tak to pokračuje dál až na sedm mřížek, které má enneoda. Různý počet mřížek nám určuje i různé vlastnosti a použití elektronky. Přehled elektronek podle počtu mřížek a jejich použití jsou v tabulce (Tab. 1).

Na obrázku Obr. 1 můžeme vidět schematickou značku triody. Anoda je označena písmenem a, katoda písmenem k, mřížka g a žhavicí vlákno potřebné pro emitování elektronů písmenem f. [1][2][5][25][26]



Obr. 1 Schematická značka triody.

Vlastnosti elektronek jsou popsány anodovou (Obr. 2b) a převodní charakteristikou (Obr. 2a). Na obrázku níže můžeme vidět charakteristiky triody. Z těchto charakteristik můžeme vyčíst důležité vlastnosti elektronky, jako je strmost S , vnitřní odpor R_i , zesilovací činitel μ a průnik D .



Obr. 2 a) převodní charakteristika triody b) anodová charakteristika triody.

Strmost S udává poměr změny anodového proudu ΔI_a k změně mřížkového napětí ΔU_g při konstantním anodovém napětí U_a . Větší strmost je lepší. Velká strmost znamená, že relativně malé mřížkové napětí U_g vyvolá relativně velkou změnu anodového proudu I_a . Tato vlastnost se hlavně využívá u zesilovačů.

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} [mA/V] \quad (1)$$

Vnitřní odpor elektronky R_i je poměr změny anodového napětí ΔU_a k změně anodového proudu ΔI_a při konstantním U_g . Vnitřní odpor elektronky je odpor, který elektronka představuje pro střídavou složku anodového proudu.

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} [k\Omega] \quad (2)$$

Zesilovací čísel μ je poměr změny anodového napětí ΔU_a k změně mřížkového napětí ΔU_g při konstantním anodovém proudu I_a .

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \quad (3)$$

Průnik D je převrácená hodnota zesilovacího činitele.

$$D = \frac{1}{\mu} \quad (4)$$

Tyto vlastnosti elektronky jsou závislé na způsobu provedení elektronky. Například strmost závisí na vzdálenosti katody a mřížky. [2][6]



Obr. 3 Ukázka elektronek.

Na obrázku (Obr. 3 Ukázka elektronek), vlevo je vidět ukázkou elektronek od triody až po malé obrazovky, anebo známé magické oko, které indikovalo stav naladění rádio stanice u starých radiopřijímačů. A na obrázku (Obr. 3) vpravo je elektronka po rozbití její skleněné baňky.

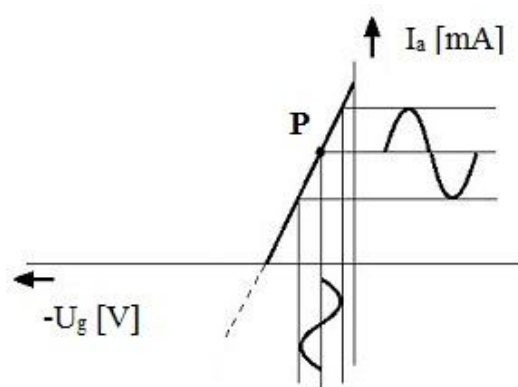
2.2 Elektronkové zesilovače

První zesilovače vznikali v roce 1906 s vynálezem audionu, neboli triody jak se jí říká dneska. Od té doby se zesilovače hodně vyvíjely. Konec této éry měl nastat v roce 1947, kdy byl vynalezen polovodičový prvek tranzistor. Tranzistor byl menší a lehčí, také měl menší spotřebu. Elektronky se hodně používají hlavně u muzikantů. Například se staví elektronková komba pro kytaru i elektronkové zesilovače pro poslech doma. Tak zvaní ‘hifisti‘ (lidé, kteří se zabývají špičkovou reprodukcí zvuku) na elektronkové zesilovače nedají dopustit. Proč se lidé znovu stále víc vracejí k elektronkovému zesilovači? Toto bude popsáno v další části. [8][26]

2.3 Třídy zesilovačů

Třída zesilovače udává, jak jsou nastaveny pracovní podmínky zesilovacího prvku (elektronky, tranzistoru). Dále udává, jak je nastaven pracovní bod zesilovacího prvku. Pracovní bod je pomyslný bod, který je umístěn na zatěžovací přímce výstupní charakteristiky zesilovacího prvku. Zatěžovací přímku získáme, když zesilovací prvek zapojíme naprázdno a nakrátko. Tím získáme dva body, které spojíme. Máme zatěžovací přímku. Na tuto přímku umístíme pracovní bod podle volby třídy zesilovače. Zesilovač pracuje v oblasti kolem pracovního bodu. Nastavení pracovního bodu docílujeme získání různých speciálních funkcí zesilovače. [1][2]

2.3.1 Třída A

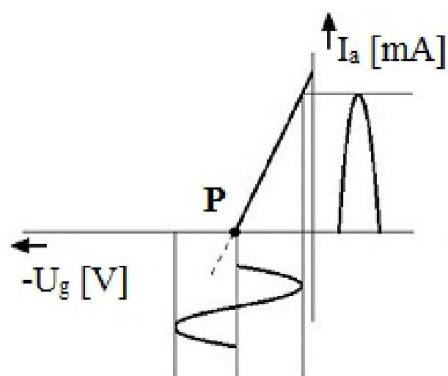


Obr. 4 Pracovní bod zesilovače třídy A.

Pracovní bod zvolíme tak, aby se celý rozsah výstupního napětí pohyboval v lineární části převodní charakteristiky (Obr. 4). Pro jednoduchost převodní

charakteristiku znázorníme jako přímku. Toto zapojení má velmi malé zkreslení, ale také malou účinnost kolem 30%. Další nevýhodou je, že při zapojení zesilovače v klidovém stavu, to znamená bez vstupního signálu, zesilovacím prvkem protéká proud. Tento proud odpovídá nastavenému pracovnímu bodu. [1][2]

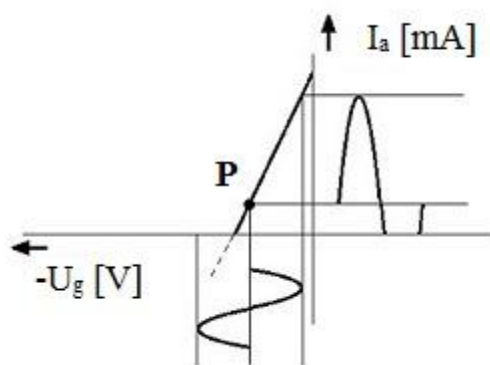
2.3.2 Třída B



Obr. 5 Pracovní bod zesilovače třídy B.

Pracovní bod zvolíme tak, aby nám zesilovač zesiloval pouze jednu půlvlnu. Pracovní bod je umístěn do vzniku anodového proudu (Obr. 5 Pracovní bod zesilovače třídy B). Zesilovacím prvkem neteče žádný klidový proud. Protože zesilovač zesiluje jenom jednu půlvlnu, nepoužívá se v samostatném zapojení, ale v takzvaném dvojčinném. To znamená, že jsou zapojeny souměrně dva zesilovače, kde každý zesiluje jednu půlvlnu. Nevýhodou je větší zkreslení, ale výhodou je dosažení větší účinnosti kolem 60%. Další nevýhoda je velké přechodové zkreslení. [1][2][4]

2.3.3 Třída AB

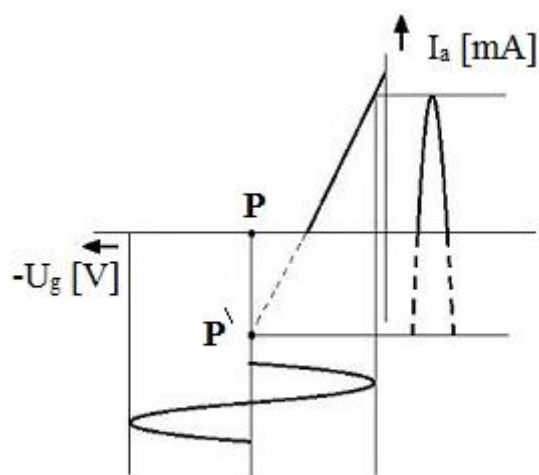


Obr. 6 Pracovní bod zesilovače třídy AB.

Kompromisem mezi třídou A a třídou B je zapojení AB. Kde pracovní bod je zvolen do dolní části převodní charakteristiky (Obr. 6). Zesilovacím prvkem teče nepatrný klidový proud. Jedna půlvlna bude částečně chybět, jak je vidět na (Obr. 6), proto se používá ve dvojčinném zapojení. Menší přechodové zkreslení oproti třídě B a méně energeticky náročnější oproti třídě A.

Další třídy zesilovačů se u nízkofrekvenčních zesilovačů s elektronkami moc často nepoužívají, protože zesílený signál je hodně ořezán. Jelikož nízkofrekvenční zesilovače jsou širokopásmové a hlavně se používají pro zesílení slyšitelných kmitočtů, převážná část signálu by na výstupu chyběla.[2][3][4]

2.3.4 Třída C



Obr. 7 Pracovní bod zesilovače třídy C.

Pracovní bod zvolíme za zánik anodového proudu (Obr. 7). Účinnost tohoto zapojení dosahuje až 75%. Pro nízkofrekvenční techniku je tato třída nepoužitelná. Tato třída nezesiluje ani jednu celou půlperiodu. To znamená, že jí nemůžeme použít ani v dvojčinném zapojení. Nikdy nedosáhneme úplného zesílení celého signálu. A jelikož se nízkofrekvenční zesilovače používají v audiotechnice, nebyl by zesílen úplně celý signál. Jednoduše to znamená, že bychom neslyšeli určitou část signálu. [1][4]

2.4 Porovnání elektronkového a tranzistorového zesilovače

Začneme nevýhodami elektronkového zesilovače oproti tranzistorovému (polovodičovému), protože těch je více a na první pohled jsou jasné.

Když vedle sebe položíme elektronku a tranzistor, tak je na první pohled jasné, že

první nevýhoda je velikost. Elektronka je daleko větší, než tranzistor. Z toho vyplývá i velikost samotného zesilovače. Takže za prvé, elektronkové zesilovače jsou daleko větší než tranzistorové. Při srovnání zesilovačů o podobných vlastnostech.

Další nevýhoda je hmotnost. V případě, že budeme chtít elektronkový zesilovač někam přenášet, tak počítejme, že se trochu proneseme. Váha elektronkového zesilovače se odvíjí od transformátorů. Transformátory většinou přesahují hmotnost 15 kg, tak počítejme s hmotností 15 kg a více. Tato hmotnost transformátorů se týká stereofonních zesilovačů o výkonu desítky wattů a výš. Elektronkový zesilovač oproti podobnému polovodičovému zesilovači bude většinou těžší.

Elektronka vyžaduje velké napájecí napětí. Čím větší výkon požadujeme, tím zpravidla potřebujeme větší napájecí napětí. Navíc elektronka potřebuje ještě žhavicí napájení. A máme třetí nevýhodou, kterou je velké napájecí napětí.

Když se koukneme na elektronku, má skleněné pouzdro, tranzistor většinou plastové, nebo kovové. Z toho nám vyplývá další nevýhoda. Elektronka je oproti tranzistoru křehčí a méně odolná proti mechanickému poškození.

Abychom nezmiňovali jenom samé nevýhody, bude vhodné zmínit i nějakou výhodu. Elektronka není náchylná na elektromagnetický pulz tzv. EMP. Tranzistor tento pulz nevydrží. Toto je jedna velká výhoda hlavně pro armádu

V tabulce (Tab. 2) můžeme vidět rychlý přehled porovnání zesilovačů. Všechny výhody a nevýhody jsou brány hlavně z klasických stereofonních zesilovačů. U některých zesilovačů se vlastnosti můžou měnit a nemusí odpovídat vlastnostem vypsanych výše ani v tabulce (Tab. 2). [7][9]

	velikost součástky	hmotnost zesilovače	napájecí napětí	mechanická pevnost součástky	elektromagnetický pulz
elektronkový zesilovač	cca 10 cm	> 15 kg	> 250 V	křehká	vydrží
tranzistorový zesilovač (polovodičový)	cca 1 cm	< 7 kg	< 120 V	relativně pevná	nevydrží

Tab. 2 Přehled porovnání elektronkového a tranzistorového zesilovače.

A proč se tedy k elektronkovým zesilovačům vracíme i přes převažující nevýhody? Odpověď je jednoduchá. Jde tu o zvuk. Tranzistorový zesilovač má studený, jakoby kovový zvuk, kdežto o elektronkovém zesilovači se říká, že má „vřelý, teplý zvuk“. Hlavním důvodem tohoto rozdílu zvuku je, že elektronkový zesilovač má výstupní

transformátor, jinou topologii součástek a rozdílné volt-ampérové a časové charakteristiky.

U polovodičových zesilovačů má hlavní význam na zkreslení signálu třetí a pátá harmonická, popřípadě další liché harmonické. Liché harmonické vytvářejí ostrý kovový zvuk. Kdežto elektronkové zesilovače zkreslují signál převážně sudými harmonickými. [12][13]

2.5 Porovnání cen součástek

Na kvalitě součástek určitě u zesilovače záleží a u elektronkového to platí obzvláště. Většinou čím je součástka kvalitnější, tak je dražší, protože její výroba je složitější, také jsou použity kvalitnější materiály a od toho všeho se odvíjí jejich cena. Protože se pracuje s daleko větším napájecím napětím, než u polovodičového zesilovače na kvalitě součástek záleží daleko více, než u polovodičového zesilovače. Elektronky potřebují žhavicí napětí a velké trvalé proudy. Většina součástek se zahřívá a je hodně zatížena, proto je dobré věnovat součástkám větší pozornost nejenom kondenzátorům, ale i rezistorům.

Transformátory jsou hodně důležitou součástí. Ať už jsou to výstupní transformátory, nebo síťový transformátor. Výstupní transformátory mají totiž velký vliv na kvalitu zesilovaného signálu a síťový transformátor má velký vliv na bručení celého zesilovače. Není žádoucí, aby se nám do zesilovače přes síťový transformátor dostaly rušivé kmitočty. Výroba takových transformátorů vyžaduje hodně zkušeností, vybavení měřicí techniky a používání kvalitních materiálů.[7]

V tabulce (Tab. 3) můžete vidět porovnání cen elektronek a patič. Jedná se o porovnání mezi německým internetovým obchodem Tube Amp Doctor (TAD), který se specializuje na prodej součástek v oblasti týkající se kolem elektronek a českým GES-Electronic (GES), který se zabývá prodejem elektronických součástek a zařízení obecně. Je zajímavé, že elektronky jsou v TAD o něco málo levnější, než u nás.

V tabulce (Tab. 4) můžete vidět porovnání cen rezistorů mezi firmami TAD a GM Electronic (GME). U TAD je velkou nevýhodou, že běžné rezistory prodávají jenom po 10 kusech. Některé rezistory prodávají i po jednom kuse. V tabulce (Tab. 4) jsou to ty rezistory, kde není cena uvedena za 10 kusů. I přes to je vidět, že cena těchto kvalitních rezistorů se pohybuje někde jinde, než obyčejné. Cena je zhruba 10 krát větší. Navíc u TAD nemají úplně všechny mnou požadované součástky. Myslím si, že je jasné pro,

jakou kvalitu a zároveň i cenu součástek jsem se rozhodl. Určitě by bylo zajímavé postavit dva identické zesilovače z těchto různě kvalitních součástek a porovnat je.

Ceny elektronek a patic				
		TAD		GES
elektronky:	EL34	€ 12,35	333 Kč	379 Kč
	ECC83	€ 9,20	248 Kč	247 Kč
	ECC82	€ 8,40	227 Kč	258 Kč
patice:	EL34 - oktál	€ 1,95	53 Kč	59 Kč
	ECC83 - noval	€ 1,95	53 Kč	69 Kč
	ECC82 - noval	€ 1,95	53 Kč	69 Kč

Tab. 3 Ceny elektronek a patic.

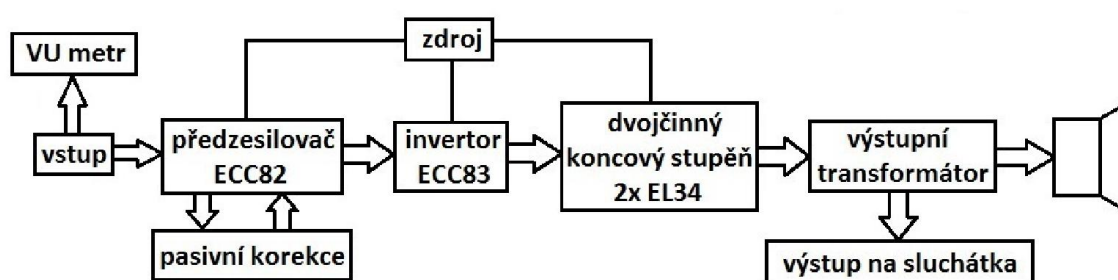
Cena rezistorů				
rezistory (0,6W 1%)	TAD			GME
	cena za 10kusů	cena za jeden kus		
10 (4W)		€ 1,50	40,50 Kč	4,20 Kč
100	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
470	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
680	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
1k (2W)		€ 1,45	39,15 Kč	3,00 Kč
4k7	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
5k6	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
6k2	není v nabídce	není v nabídce		2,00 Kč
10k	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
27k	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
39k	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
110k	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
120k	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
220k	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč
1M	€ 3,90	€ 0,39	10,53 Kč	2,00 Kč

Tab. 4 Ceny rezistorů.

3 Vlastní elektronkový zesilovač

Jako hlavní předlohu pro stavbu zesilovače jsem si vybral s laskavým svolením pana Františka Hlavy schéma zesilovače, které má zveřejněné na svých stránkách (http://hlava.webpark.cz/Dvojcinne/sch2x50w_el34.gif). Jedná se o dvojčinné zapojení s výkonem 2x50W s koncovými elektronkami EL34 pracující ve třídě B. Zapojení má vstupní zesilovač z ECC82 a invertor z ECC83, který má jedno z nejmenších zkreslení. Zapojení jsem si poté upravil podle svých požadavků. Přidal jsem pasivní korekce, výstup na sluchátka a také VU metry, které se budou hýbat v rytmu hudby. Tomuto jevu se říká barevné hudby, bývá také konstruovaná pomocí například led diod, nebo je zobrazena přímo na display. Od toho název barevná hudba. [10]

3.1 Blokové schéma



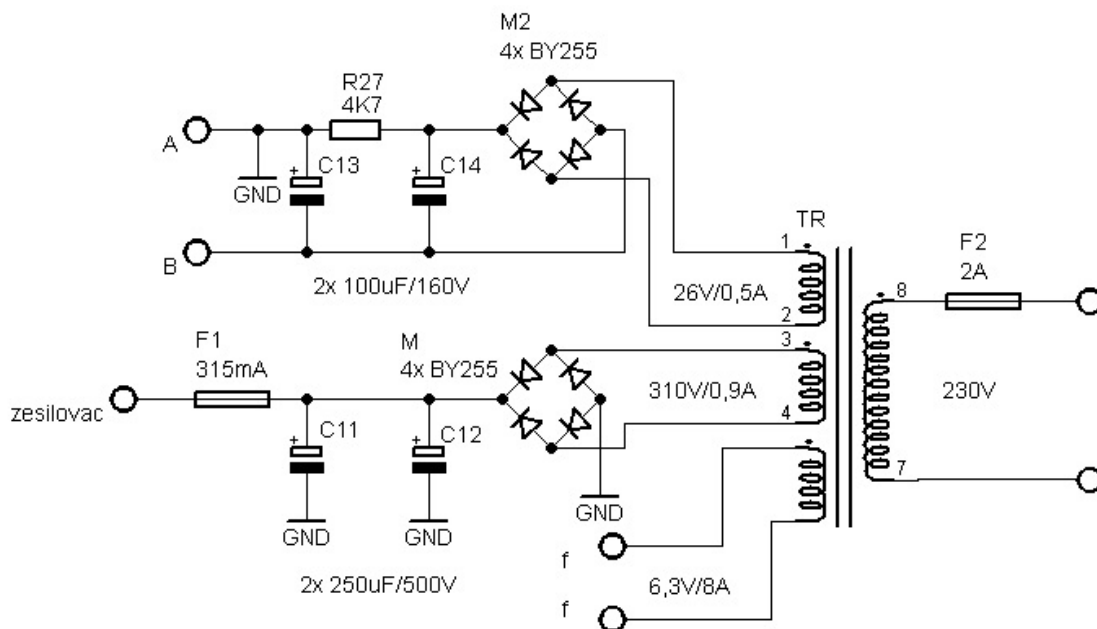
Obr. 8 Blokové Schéma.

Na obrázku (Obr. 8) můžeme vidět blokové schéma jednoho kanálu zesilovače. Vstupní signál přivedeme do předzesilovače, kde se zesílí, aby se s ním mohlo dále pracovat. V předzesilovače ještě můžeme upravit pomocí pasivních korekcí basy a výšky. Takto zesílený a upravený signál dále putuje do invertoru, který vytvoří dva signály stejně velké, ale opačné polarity. To je potřebné pro dvojčinný koncový stupeň, kde dojde k hlavnímu zesílení. Poté jde zesílený signál do výstupního transformátoru, který přizpůsobuje velkou impedanci koncového stupně malé impedanci reproduktoru.

V blokovém schématu ještě můžeme vidět VU metr a výstup na sluchátka.
[2][11][24]

3.1.1 Zdroj

Zdroj je jednou z nejdůležitějších součástí zesilovače, je to vlastně takové srdce zesilovače. Čím kvalitnější zdroj bude, tím bude lepší výstupní signál ze zesilovače. Špatný zdroj může způsobovat brum a šum celkového zesilovače. [10]



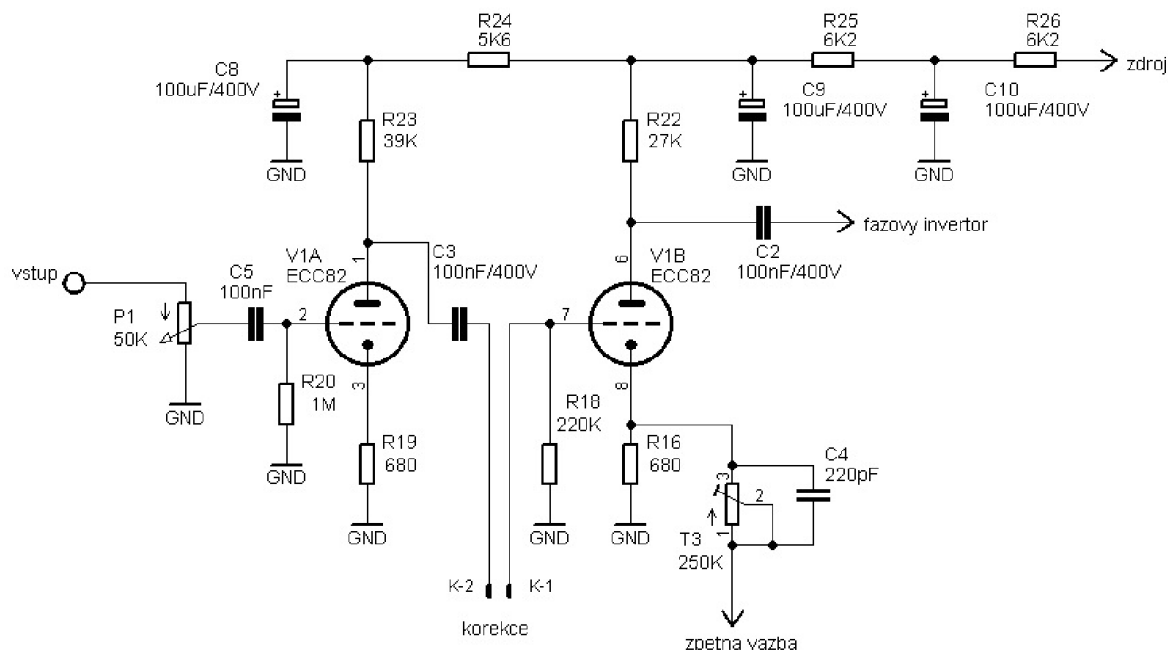
Obr. 9 Schéma zdroje.

Na obrázku (Obr. 9) můžeme vidět schéma zdroje pro zesilovač nakreslené v programu Eagle. Zdroj vychází z požadavků zesilovače. Jelikož jsme si zvolili třídu zesilovače B, musí být stejnosměrné napájení zesilovače kolem 435V. Napětí se nám po usměrnění zvětší zhruba 1,4 krát s tím musíme počítat při navrhování napájecího transformátoru. Dále potřebujeme záporné předpětí pro řídicí mřížky EL34, které je kolem -38V. A za třetí potřebujeme žhavicí napětí pro elektronky 6,3V. [10]

3.1.2 Předzesilovač

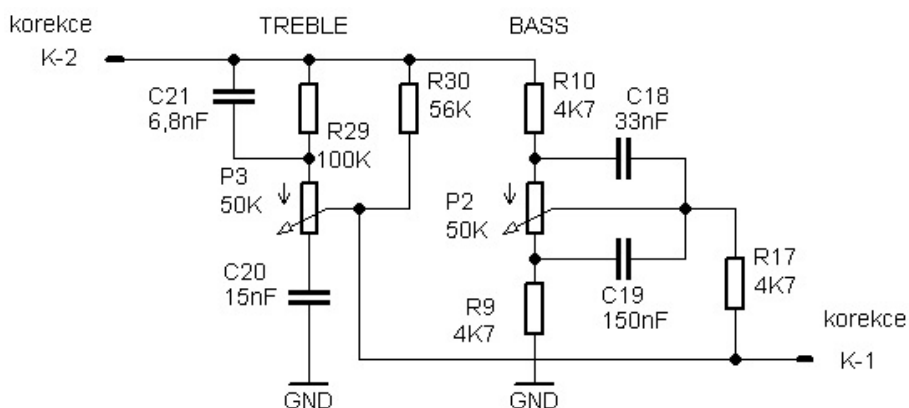
Předzesilovač jak sám název za sebe napovídá, předzesiluje signál a zajišťuje impedanční přizpůsobení ("aby se nám po cestě slabý signál neztratil").

Na obrázku (Obr. 10) můžeme vidět schéma předzesilovače, který je použit v našem zesilovači. Jedná se o klasický předzesilovač s ECC82. Do tohoto předzesilovače jsou ještě vloženy pasivní korekce pro výšky a basy. [10]



Obr. 10 Schéma předzesilovače.

3.1.3 Pasivní korekce



Obr. 11 Schéma pasivních korekcí.

Někdy reprodukováný zvuk není úplně podle našich představ a rádi bychom ho upravili. Například bychom zvýraznili basy (nízké kmitočty), nebo potlačili výšky (vysoké kmitočty). K tomu slouží korekce. Požadavek na upravení může také nastat nedokonalostí reproduktoru, nebo například u gramofonu zkreslením vlivem přenosky.

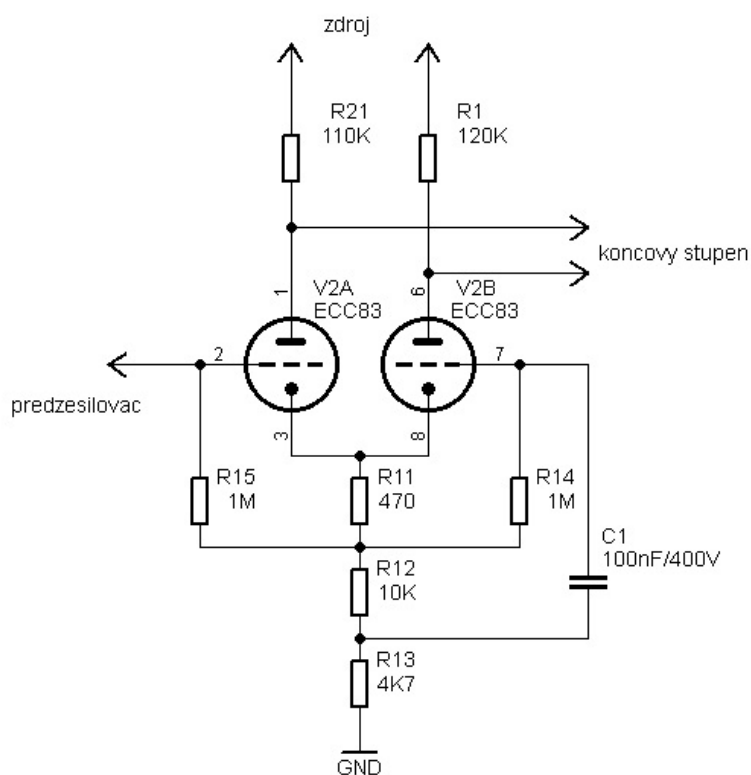
Korekční obvod nám vždycky trochu utlumí vstupní signál. Z toho vyplývá, že korekční obvod nemůžeme dát úplně na začátek zesilovače. Kdybychom to udělali, mohli bychom ztratit všechnen signál. Korekční obvod je lepší zařadit do předzesilovače, abychom pracovali už se zesíleným signálem.

V našem zesilovači bude možné korekce úplně vypnout. Bude to kvůli tomu, že

pasivní korekce signál trochu zeslabí. Také to bude proto, abychom dostaly původní signál na výstup. I kdybychom korekce nastavili na původní hodnotu, tak se může stát, že zvuk bude odchýlen. Schéma korekčního obvodu můžeme vidět na obrázku (Obr. 11). Korekční obvod je přejat ze zdroje [13].

Většina korekčních obvodů si je hodně podobná. Jedná se o RC článek, který upraví (potlačí, nebo zvýrazní) určité frekvenční pásmo. Z toho vyplývá, že změna hodnot součástek korekčního obvodu nám akorát změní frekvenční pásmo měněného signálu (frekvenční rozsah korekčního obvodu). [2][11][13]

3.1.4 Fázový invertor

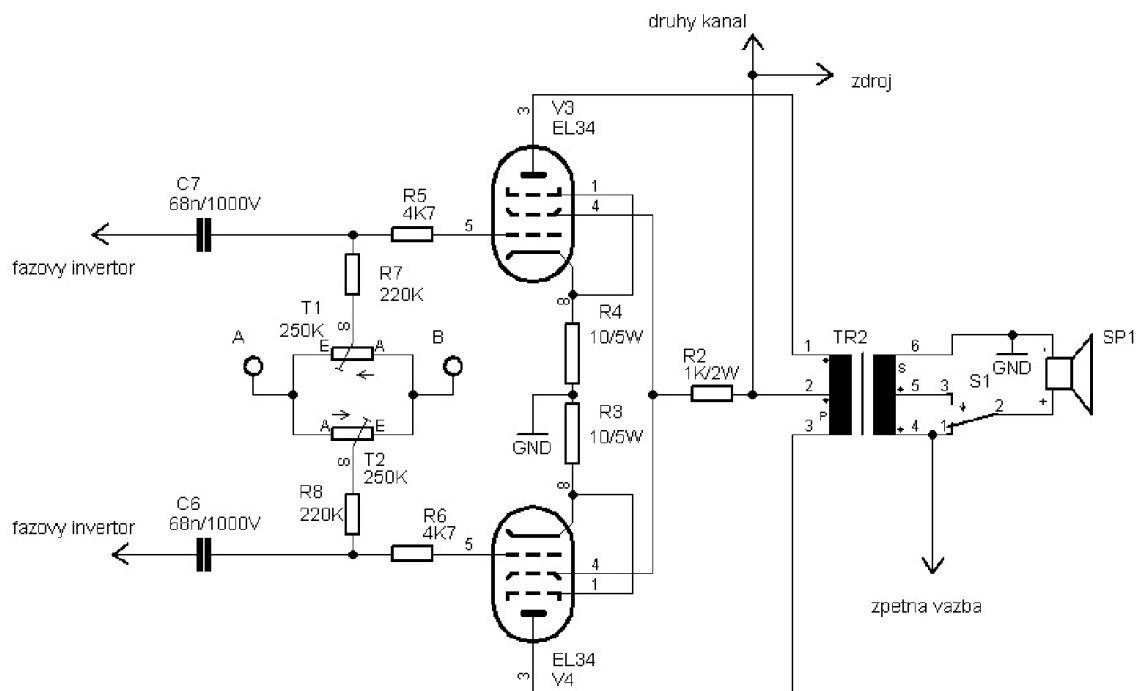


Obr. 12 Schéma fázového invertoru.

U dvojčinného koncového stupně potřebujeme k buzení dva stejně velké signály, ale opačné polarity. Předzesilovače bývají většinou jednočinné, proto mezi předzesilovač a koncový stupeň musíme vložit fázový invertor, který vytvoří tyto dva potřebné signály.

Na obrázku (Obr. 12) můžeme vidět fázový invertor použitý v zesilovači. Jedná se o fázový invertor s katodovou vazbou a elektronkou ECC83. [10][11]

3.1.5 Koncový stupeň



Obr. 13 Schéma koncového stupně.

Na obrázku (Obr. 13) můžeme vidět schéma koncového stupně zesilovače. Jedná se o dvojčinné zapojení s elektronkami EL34. Záporné předpětí je přivedeno ze samostatného vinutí transformátoru. Jedná se o pevné mřížkové předpětí. [1]

Výhoda tohoto zapojení je, že elektronky nemusejí být párované. Klidový proud se dá nastavit pro každou koncovou pentodu zvlášť trimrem T1 a T2. [10]

3.1.6 Výstupní transformátor

Výstupní transformátor neboli převodník je, jak už tu zaznělo, jednou z nejdůležitějších součástí elektronkového zesilovače. V podstatě nám určuje výstupní zvuk celého zesilovače.

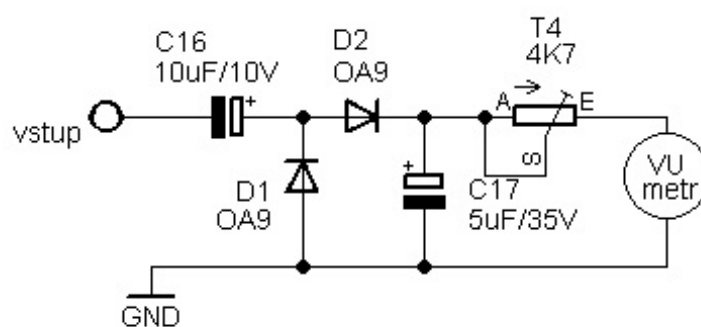
Účelem převodníku je přizpůsobit impedanci anodového obvodu koncového stupně zátěži (reproduktoru). Anodový obvod dvojčinného zesilovače má impedanci kolem 3,4 k Ω , kdežto zátěž má impedanci 2-16 Ω . Na převodník jsou kladeny ještě další požadavky, které se týkají frekvenční přenosové charakteristiky, která by měla být co největší. Přenosovou charakteristiku ovlivňují hlavně dva parametry. První parametr je indukčnost primárního vinutí. Tento parametr ovlivňuje dolní mezní kmitočet. Druhý parametr je kapacita vinutí, která má vliv na horní mezní kmitočet. Kvůli těmto

parametrům se transformátor navíjí prokládaným způsobem. Jednoduše to znamená, že se navine část primárního vinutí, poté část sekundárního vinutí, poté zase část primárního vinutí a tak dále.

Navinutí výstupního transformátoru není určitě jednoduchou záležitostí, už jenom proto, že jsou na něj kladeny takové požadavky. Před vlastním navrhováním a navíjením je určitě dobré si pročíst hodně literatury věnované tomuto tématu. Nebo můžeme svěřit navíjení těchto transformátorů do rukou odborníků. [2][7][11]

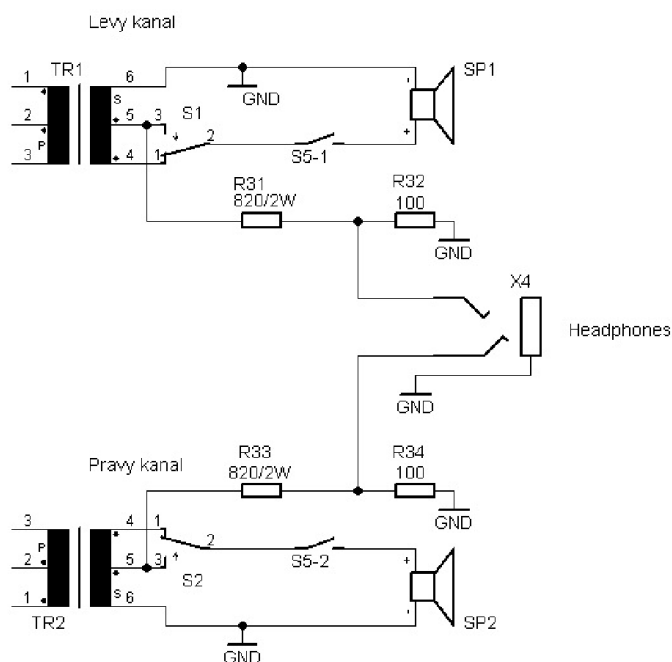
3.1.7 VU metr

V našem zesilovači jsou umístěny v předním panelu dva VU metry, které se budou pohybovat v rytmu pouštěné hudby. VU metry nemůžeme samostatně připojit na vstup. Jedná se o VU metry, které potřebují na maximální výchylku proud 500 μ A. Vstupní signál je moc malý, aby s nimi pohnul. Proto musíme použít zdvojovač napětí, který můžeme vidět na obrázku (Obr. 14). Tento obvod bude připojen na vstup do zesilovače, vyloučí se tím ovlivňování VU metru hlasitostí zesilovače. Trimrem T4 můžeme nastavit požadovanou výchylku při určitém signálu, aby nám stupnice aspoň trochu odpovídala. [14][15][16][17]



Obr. 14 Schéma připojení VU metru.

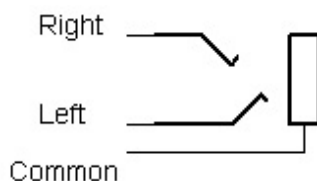
3.1.8 Výstup na sluchátka



Obr. 15 Schéma připojení sluchátek.

Na obrázku (Obr. 15 Schéma připojení sluchátek) můžeme vidět, jak je připojen výstup na sluchátka. Když sluchátka připojíme, tak zesilovač pracuje do odporového děliče (R31 a R32, nebo R33 a R34), ze kterého sluchátka odebírají signál. Reproduktoři se dají vypnout pomocí vypínače S5. Odporový dělič je připojen na 4 Ω výstup transformátoru, aby se nám při přepnutí na 8 Ω výstup neměnila hlasitost sluchátek.

Při připojené konektoru na sluchátka si musíme dát pozor na správné zapojení konektoru. Na obrázku (Obr. 16 Zapojení zástrčky jack) můžeme vidět správné zapojení zástrčky jack. [9][18][23]

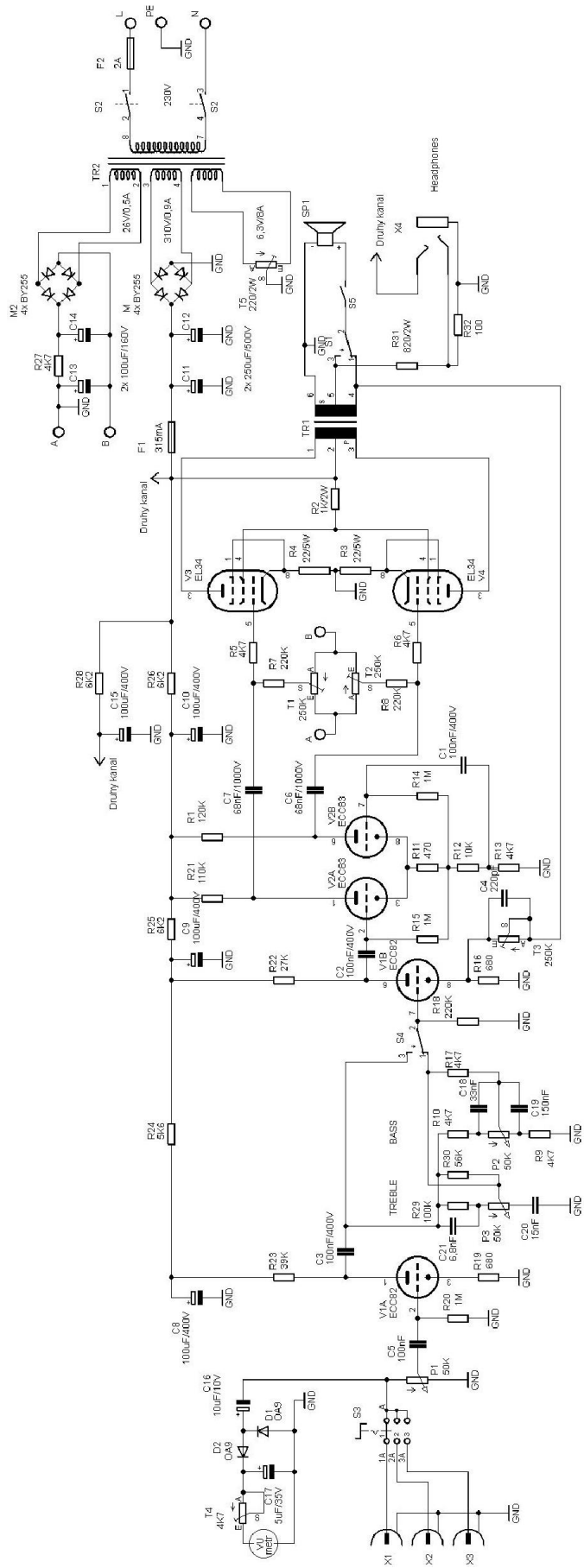


Obr. 16 Zapojení zástrčky jack.

3.2 Schéma zapojení

Schéma zesilovače, které můžeme vidět na obrázku (Obr. 17) obsahuje zdroj napětí, který je společný pro oba kanály a jeden kanál zesilovače spolu s připojením VU metru a výstupu na sluchátka. [22]

V příloze 1, na straně 33 si můžeme prohlédnout soupis všech použitých součástek.



Obr. 17 Schéma zapojení.

4 Realizace

4.1 Návrh transformátoru

Máme dva transformátory síťový a výstupní. Síťový transformátor a celkově zdroj nám určuje jak velkou kvalitu „ticha“ nám bude zesilovač poskytovat. Jestli nám bude bručet, nebo šumět. A výstupní transformátor nám určuje kvalitu reprodukováného zvuku.

Návrh a hlavně navinutí transformátorů vyžaduje hodně znalostí a zkušeností. Jelikož je nemám, nechal jsem si raději transformátory navinout od profesionální firmy TBP Transformátory Blatná [20]. Bohužel od toho se odvíjela i cena. Při navíjení transformátorů je dobré požadovat impregnované. Zamezí se tím drnčení plechů u transformátoru. Kdyby si někdo chtěl transformátor navinout sám, tak na návrh síťového transformátoru existuje na internetu dostatek užitečných programů, které jsou volně stažitelné a ulehčí práci s výpočtem.

Při oživování jsem zjistil, že je špatně spočítané napětí po usměrnění. Napětí, když se usměrní, tak se nám zvětší zhruba 1,4x. Díky této chybě bylo za potřeby síťový transformátor převinout. Požadované napětí bylo potřeba nižší, než dával transformátor. Nebylo to tak složité. Stačilo jenom ubrat určitý počet závitů na sekundárním vinutí a napětí se tím snížilo. My jsme to dělali stylem pokus omyl. Ubrali jsme určitý počet závitů, transformátor jsme připojili do sítě a změřili jsme výstupní napětí, to jsme opakovali tak dlouho, než jsme se dostali na požadované napětí. [2][7][10][11][23][26]

výstupní transformátor	
primár	3,4k Ω
sekundár	4 Ω
	8 Ω

síťový transformátor	
primár	230V
sekundár	6,3V/8A
	26V/0,5A
	310V/0,9A
výkon	330 VA

Tab. 5 Vlastnosti transformátorů.

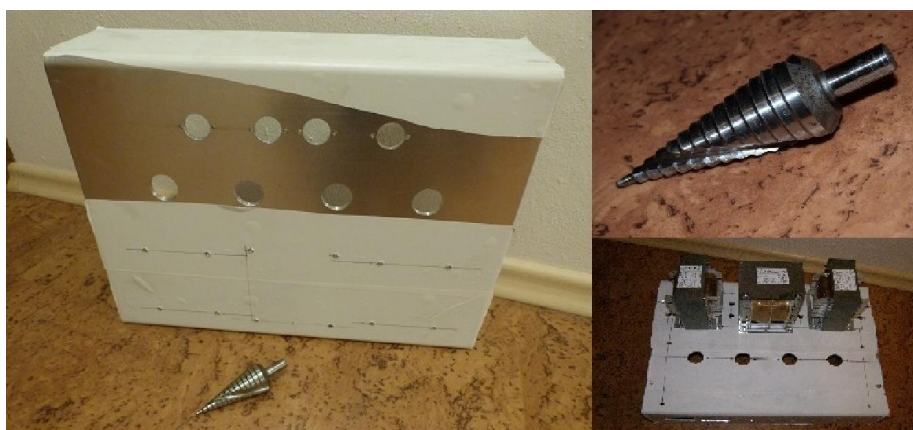
4.2 Návrh skříně

Jak už tu již zaznělo, tak skříň zesilovače musí být masivní, protože transformátory obvykle překračují váhu 15 kg. Také by neměla být z žádného magnetického materiálu. Z těchto důvodů jsme se rozhodli jako hlavní prvek použít hliníkový plech o tloušťce 5 mm, který je ohnutý do tvaru U (Obr. 18). [7]



Obr. 18 Základ skříně.

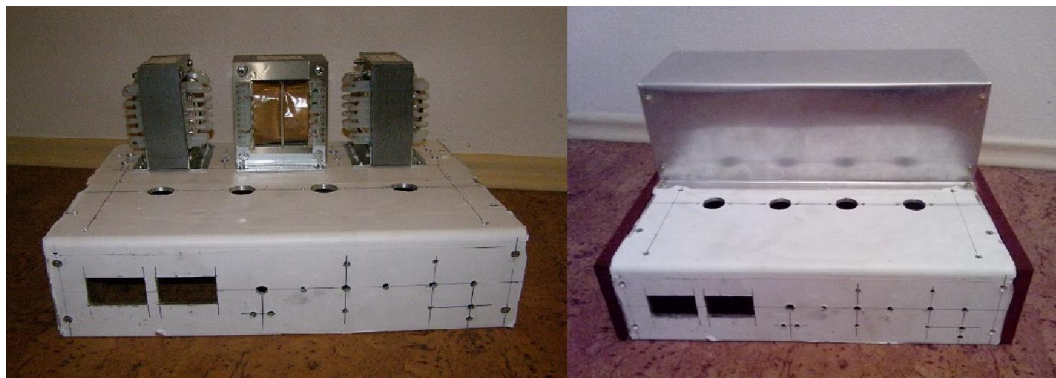
Potom začalo zkoušení a přemýšlení o rozmístění součástek. Hliníkový plech jsme polepili bílým lepícím papírem, aby nedošlo k poškrábání. Tento papír měl ještě jednu výhodu, že se na něj dobře rýsovaly potřebné otvory. Nejprve jsme rozmístili transformátory a narýsovali otvory pro uchycení. Nesmělo se při tom zapomenout na otvory pro průchod vodičů. Pak přišla daleko horší práce, vyvrtat otvory pro elektronky do plechu tlustého 5 mm. Jelikož otvory museli být velké kolem 250 mm, použili jsme stupňovitý vrták (Obr. 19).



Obr. 19 Vrtání otvorů a rozmístění součástek.

Když byly všechny otvory ze shora hotové, přišel na řadu přední panel (Obr. 20), na kterém jsou VU metry, ovládání hlasitosti, korekce, přepínání vstupů a jeden vstup, vstup na sluchátka a vypínač. Nejdříve jsme si rozmístili součástky na sucho na papír. Začali jsme VU metry, které zabírají nejvíce místa. Poté přišel na řadu zbytek součástek. Museli jsme také vymyslet uchycení potenciometrů pro nastavení hlasitosti a korekce. Potenciometry mají kovovou osičku, kterou nelze zkrátit. Kdybychom jí zkrátili, nemohli bychom na osičky připevnit otočné knoflíky. Potenciometry jsou připevněny pomocí

plechu, který je připevněn pomocí šroubů v předním panelu. Pomocí matek se dá nastavit potřebné odsazení od předního panelu. Toto rozmístění součástek si každý může udělat k obrazu svému. Hodně záleží jak se komu co líbí a na co je kdo zvyklý.



Obr. 20 Přední panel a nahrubo sestavená skříň.

Po předním panelu zbývalo vyvrtat otvory do zadního panelu, kde je výstup na reproduktory, síťový konektor, pojistky a dva vstupy. Postup je podobný jako u předního panelu.

Ještě jsme museli vyřešit připevnění tištěných spojů. To je řešeno pomocí závitových tyčí, které jsou připevněny ze spodu. Na tyto tyče připevníme zespona tištěné spoje. Pomocí matek můžeme nastavit potřebnou výšku upevnění.

Když jsme všechny otvory vyvrtali, tak začala výroba bočnic. Bočnice se skládají ze dvou kusů dřeva, které jsou k sobě přišroubované šesti vruty. Vnitřní kus přesně pasuje do základního dílu a druhý kus kopíruje vnějšek základního dílu. Obě bočnice jsou namořeny. Bočnice jsou přišroubovány k základnímu dílu pomocí šesti vrutů. Na spodu jsou ještě přišroubovány dvě gumové nožičky.

Zbývá ještě kryt na transformátory. Ten je zhotoven z plechu 1 mm, který je zohýbán a sešroubován do tvaru, aby pasoval přesně na transformátory. Tento plech je připevněn pomocí čtyř šroubků k celé soustavě. Skříň můžeme vidět zkusmo sestavenou na obrázku (Obr. 20) vpravo.

Hliníkové části jsme po navrtání otvorů obrousili jemným brusným papírem a nastříkali je bezbarvým lakem pomocí aranžérské pistole (fixírky). [17][22]

4.3 Plošné spoje

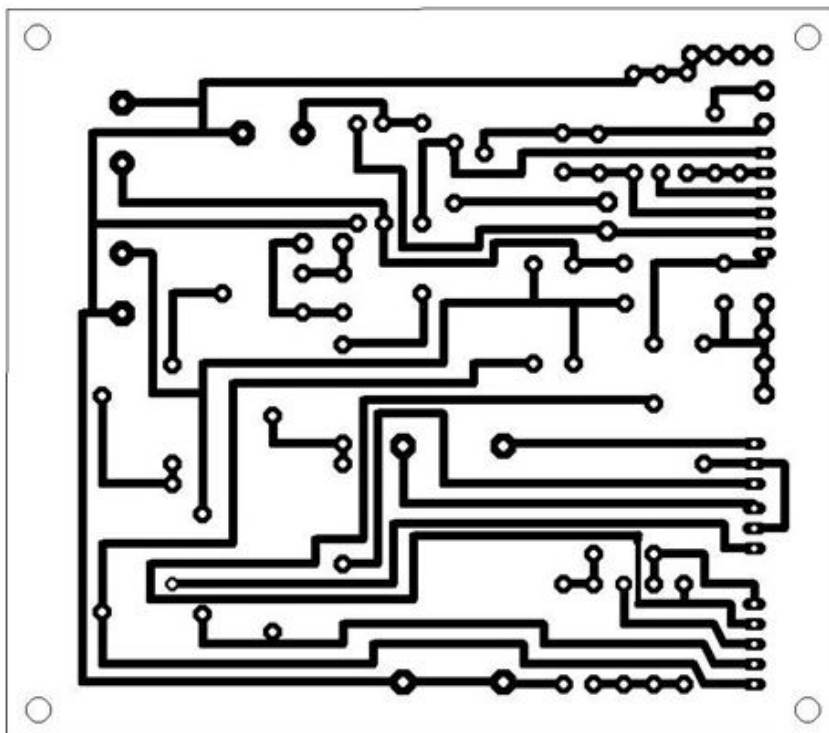
Všechny plošné spoje byly navrženy v programu Eagle nástrojem pro kreslení elektronických schémat a plošných spojů.

V našem zesilovači jsou použity dva respektive tři plošné spoje. Plošný spoj pro kanál zesilovače, který je v našem zesilovači dvakrát. Zesilovač je stereofonní a pro každou část signálu (levou a pravou) potřebujeme tedy samostatný zesilovač. Druhý plošný spoj je pro zdroj zesilovače.

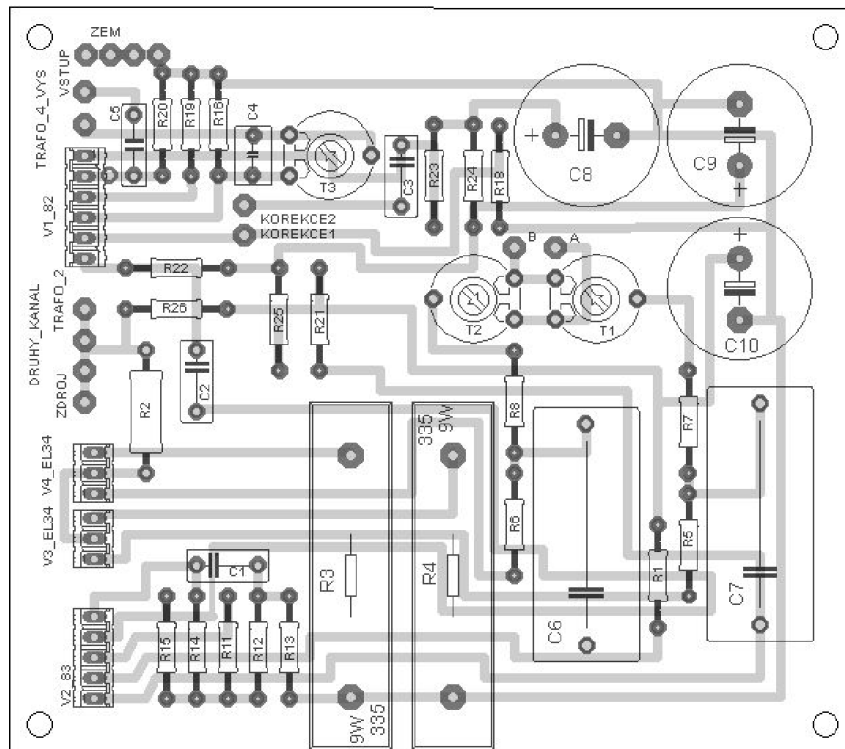
Plošné spoje byly zhotoveny pomocí CNC frézky ve firmě Robert Bosch v Českých Budějovicích za pomoci pana Ing. Petra Boubala a jeho kolegů. Z nakresleného plošného spoje jsme v programu Eagle vytvořili síť souřadnic pro CNC frézku, podle které frézka vyfrézuje drážky kolem navrhovaných vodivých cest. Drážky jsou frézovány natřikrát. Vždy další opakování má větší záběr. Poté jsou desky s plošnými spoji lehce obroušeny brusným papírem a natřeny kalafunou proti oxidování.

Tento způsob jsme zvolili, protože jsme k němu měli přístup. Jinak se samozřejmě plošné spoje dají vyleptat.

4.3.1 Plošný spoj zesilovače



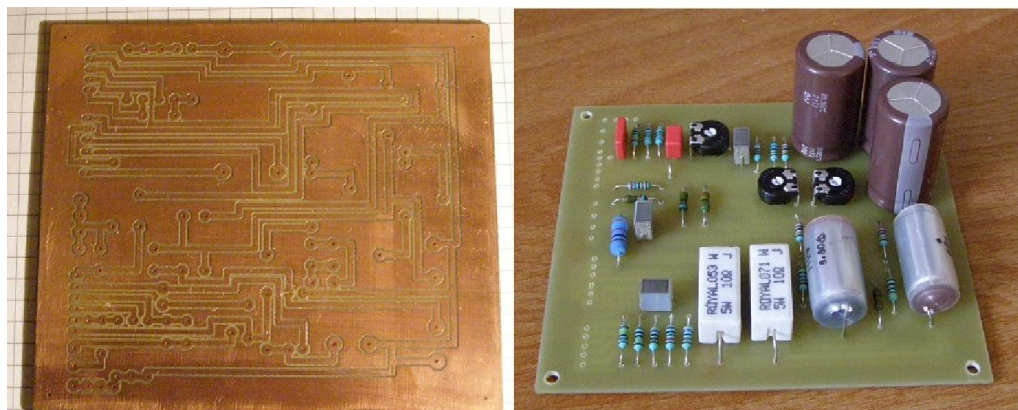
Obr. 21 Plošný spoj zesilovače (pohled ze strany spojů).



Obr. 22 Rozmístění součástek plošného spoje zesilovače (pohled ze strany součástek).

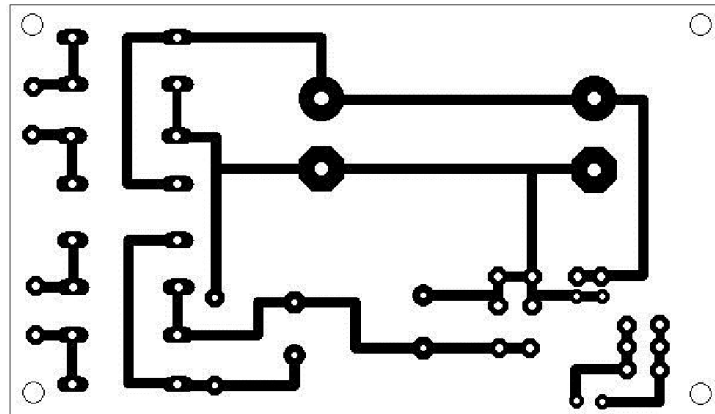
Na plošném spoji je realizován pouze vlastní zesilovač bez korekcí a bez VU metrů. Patice elektronek a další součástky jako potenciometry a vypínače jsou k plošnému spoji připojeny pomocí vodičů. Tento způsob je zvolen kvůli rozmístění součástek na předním a zadním panelu a kvůli zvolenému umístění elektronek ze shora skříně.

Navrhnutý plošný spoj můžeme vidět na obrázku (Obr. 21). Osazený plošný spoj je na obrázku (Obr. 22). Realizaci plošného spoje a jeho osazení je vidět na obrázku (Obr. 23). K jeho úplnému osazení ještě zbývá připájet vodiče pro připojení ostatních součástek.

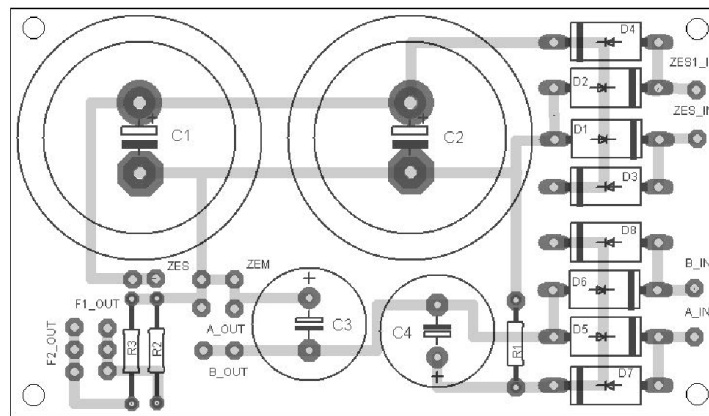


Obr. 23 Plošný spoj zesilovače vyfrézovaný (vlevo) a osazený (vpravo).

4.3.2 Plošný spoj zdroje



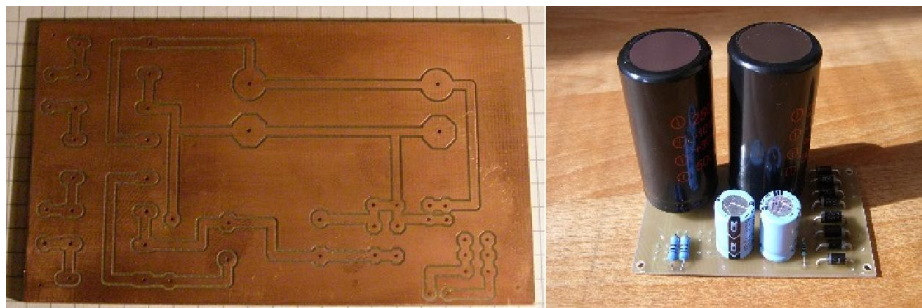
Obr. 24 Plošný spoj zdroje (pohled ze strany spojů)



Obr. 25 Rozmístění součástek plošného spoje zdroje (pohled ze strany součástek).

Na plošném spoji zdroje je umístěn zdroj anodového napětí 425 V a záporné předpětí pro mřížky -38 V. Přívody transformátorů a vývody jsou realizovány pomocí propojovacích vodičů.

Na obrázcích (Obr. 24) a (Obr. 25) můžeme vidět návrh plošného spoje a osazení součástek. Realizace je na obrázku (Obr. 26).



Obr. 26 Plošný spoj zdroje vyfrézovaný (vlevo) a osazený (vpravo).

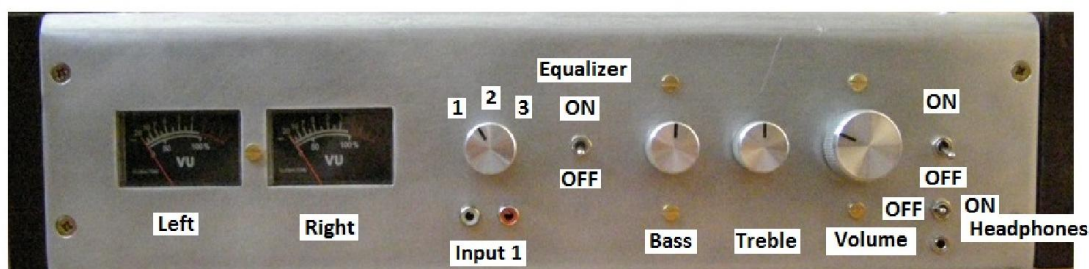
4.4 Montáž

Když lak nastříkaný na hliník dostatečně zaschnul, začalo montování všech součástí dohromady (Obr. 27).



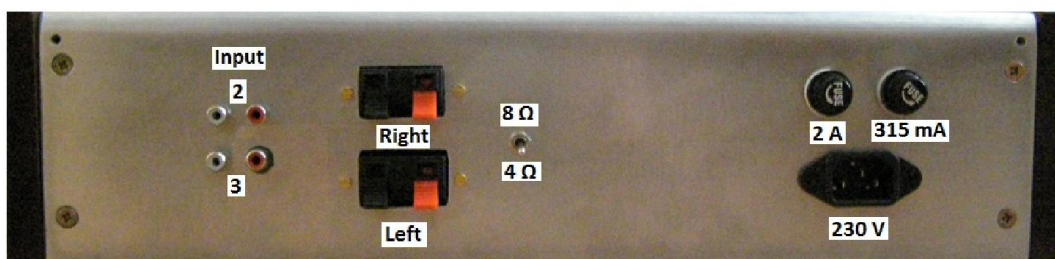
Obr. 27 Montáž.

Po smontování celé skříně a osazení všemi součástkami přišlo na řadu zapojení síťového transformátoru a žhavení elektronek. Žhavení elektronek se připojuje paralelně. Postupovali jsme od koncových elektronek a jako poslední jsme zapojili elektronku do předzesilovače. Při připojování žhavení elektronek musíme dbát na průměr vodiče, který musí odpovídat protékajícímu proudu. Průměr vodiče je použit 1 mm. Z důvodu rušení žhavicím napětím je připojen jeden konec žhavicího vedení pod cinch vstupního signálu.



Obr. 28 Rozvržení předního panelu.

Když bylo hotové žhavení, přišlo na řadu montování plošných spojů. Nejprve jsme na plošné spoje připájeli propojovací vodiče. Přívod signálu do zesilovače je řešen pomocí stíněného kabelu, který se používá k připojení mikrofону a v obchodě je pod názvem mikrofonní. Po připevnění plošných spojů bylo započato s připojováním propojovacích kabelů k elektronkám a pak ke zbývajícím součástkám a konektorům.



Obr. 29 Rozvržení zadního panelu.

Součástky použité na korekce, VU metry a připojení sluchátek, které nejsou na plošných spojích, nebo nejsou připevněny ke skříni, jsou pájeny na univerzální plošné spoje, nebo na kontakty již připevněné součástky.

Na obrázcích (Obr. 28) a (Obr. 29) můžeme vidět rozmístění namontovaných součástek na předním a zadním panelu. Pohled na kompletní zesilovač je na obrázku (Obr. 30). [22]



Obr. 30 Kompletní zesilovač.

4.5 Oživení

Před prvním pokusem o zapnutí jsme pečlivě zkontrolovali zapojení všech součástek podle schématu. Musíme si uvědomit, že se bude pracovat s vysokým, životu nebezpečným napětím a dát pozor, abychom se nedotkli součástek pod napětím. Poté jsme zesilovač zapnuli bez zapojených elektronek a zkontrolovali napětí. Nejdříve neusměrněné a poté usměrněné, kde by anodové napětí mělo být 425 V, záporné předpětí kolem -38 V a žhavení elektronek kolem 6,3 V. Tady nastal první problém, jak už zaznělo

výše. Anodové napětí bylo kolem 530 V. To jsme vyřešili odvinutím určitých počtů závitů na transformátoru příslušného vinutí. Kdyby se to neudělalo, mohli by se zničit usměrňovací kondenzátory, které jsou na 500 V. Záporné předpětí také bylo vyšší, než se požadovalo. To se vyřešili stejným způsobem. Chyba nastala, jak je už zmíněno, špatným uvažováním a výpočtem usměrněného napětí. Napětí, které se usměrní, se 1,4 krát zvětší.

Po zkontrolování všech napájecích napětí jsme zapojili koncové elektronky. Ještě před tím jsme trimry T1 a T2, kterými se nastavuje klidový proud elektronek, v obou kanálech zesilovače nastavili na maximální hodnotu. Elektronkový zesilovač jsme zapnuli, počkali jsme, než se elektronky nažhaví a začali jsme nastavovat klidový proud. Kdyby nám zesilovač začal pískat, tak se musí okamžitě vypnout. Mohlo by dojít ke zničení reproduktorů, nebo samostatného zesilovače. Poté stačí prohodit vývody připojení výstupního transformátoru sekundárního vinutí a vše by mělo být v pořádku. U nás pískání nenastalo, takže jsme mohli v klidu pokračovat v nastavování klidového proudu. Připojili jsme voltmetr na měřící odpory R3 a R4 v katodách koncových pentod. Pomocí Ohmova zákona a změřeného úbytku napětí na odporech R3 a R4 jsme vypočítali klidový proud, který je potřeba nastavit na 25 – 30 mA. Tady se objevila další chyba, elektronkami tekla moc velký klidový proud. Byly dvě možnosti. Jedna byla zvětšení záporného předpětí pro mřížku. To by znamenalo převinutí transformátoru. Tentokrát navinout další závity a tím zvětšit napětí. Druhá možnost byla zvětšení katodových odporů R3 a R4, tím zmenšit protékající proud. Zvolili jsme druhou a také jednodušší možnost. Katodové odpory jsme měli o velikosti 10 Ω a zvětšili jsme je na 22 Ω . Pak už nebylo složité nastavit klidový proud. Nastavování jsme několikrát opakovali. Protože jsme použili některé nové elektronky je potřeba nastavení klidového proudu opakovat zhruba po dvaceti hodinách provozu, kdy dojde k vyhřátí elektronek. Klidový proud se pak dále nebude měnit.

Po nastavení klidového proudu nám zbývalo nastavit zpětnou vazbu zesilovače. Ta se nastavuje trimrem T3. Zapojili jsme zbývající elektronky. Na výstup jsme zapojili osciloskop na každý kanál zesilovače jeden vstup osciloskopu. Na vstup jsme přivedli sinusový signál 1 kHz. Protože jsme neměli zrovna po ruce tónový generátor, stáhli jsme na internetových stránkách [19] soubor s potřebným signálem. Zapnuli jsme zesilovač, sledovali jsme signál na osciloskopu a trimrem T3 jsme nastavovali požadovaný zisk zpětné vazby zesilovače. Na osciloskopu jsme pozorovali, zda zesilovač nezačíná limitovat. Čím větší zisk tím větší zesílení, ale zesílení nejenom požadovaného signálu, ale také brumu zesilovače. Zisk jsme nastavili podle ucha, aby brum byl ještě přijatelný.

To samé jsme museli provést pro druhý kanál. Na osciloskopu jsme pomocí trimru nastavili stejně velkou charakteristiku jako na předchozím kanálu.

Teď už zbývala nastavit jenom maximální výchylka VU metru. Ty jsou tam jenom na ozdobu, aby se tam něco hýbalo. Takže o žádné velké nastavování nešlo. Stačilo pouze pohlídat, aby ručička nenarážela na maximální pozici. To záleží na hlasitosti signálu, který přivádíme na vstup. VU metry také můžeme nastavit tak, aby hodnota aspoň trochu odpovídala. Na vstup se přivede signál o hlasitosti 0 dB a trimrem T4 se nastaví ručičku na danou hodnotu.

Při provozu se ukázalo, že zesilovač moc bručí. Museli jsme zvolit jinou metodu na odrušení žhavicího napětí. Ta už je zanesena ve schématu. K žhavením elektronek je paralelně připojen trimr T5 o velikosti 220 Ω a jezdec je připojen na zem. Podle poslechu jsme nastavili nejmenší brum zesilovače. Vychází to zhruba na prostředek trimru. Brum zesilovače po tomto opatření je 5 mV, ten je v úplném tichu trochu slyšet.

Pro ještě menší brum zesilovače by bylo vhodné uvažovat o tlumivce mezi usměrňovací kondenzátory, tak jak to má pan František Hlava ve svém schématu nakreslené.

4.6 Měření výkonu



Obr. 31 Schéma měření.

Pro měření výkonu potřebujeme tónový generátor Ugen, potenciometr P, zatěžovací výkonový rezistor R_z , který odpovídá impedanci reproduktoru a výkon odpovídá předpokládanému výkonu zesilovače, dále potřebujeme střídavý voltmetr V a osciloskop OSC.

Podmínkou pro přesné měření je udržet konstantní napájecí napětí zesilovače. Na vstup připojíme tónový generátor a potenciometr na regulaci hlasitosti. Na generátoru nastavíme sinusový signál 1 kHz. My jsme tónový generátor neměli, tak jsme použili

stejný způsob jako při nastavování zpětné vazby. Místo tónového generátoru jsme připojili počítač a z něho jsme pouštěli sinusový signál o kmitočtu 1 kHz. Tím nám odpadá nutnost potenciometru. Hlasitost jsme nastavovali v počítači. Nastavili jsme jí na nejmenší možnou hodnotu. Na výstup jsme zapojili výkonový rezistor R_z . Neměli jsme odpovídající hodnotu impedance reproduktoru, takže jsme ji sestavili z paralelní kombinace rezistorů. Zátěž R_z neodpovídala očekávanému výkonu zesilovače, tak jsme jí pro jistotu ponořili do vody. Připojili jsme voltmetr a oscilátor.

Na oscilátoru jsme pozorovali výstupní signál a postupně jsme přidávaly hlasitost generovaného signálu, dokud se signál na oscilátoru nezačal zkreslovat. Poté jsme hlasitost ubírali, dokud signál nebyl čistě sinusový. Odečetli jsme hodnotu napětí U_{0max} na voltmetru V a dosadili do vzorce (5), ze kterého jsme vypočítali výkon zesilovače (6). [21]

$$P = \frac{U_{0max}^2}{R_z} \quad (5)$$

$$P = \frac{11,56^2}{4,4} = 30,4 \text{ W} \quad (6)$$

5 Závěr

Cílem této práce bylo postavit stereofonní zesilovač o výkonu minimálně 2 x 20 W. To se zdařilo. Výsledkem je stereofonní zesilovač o výkonu 2 x 30W a při zvýšení zisku zpětná vazby i vyšší. U tohoto zesilovače je slabinou brum 5 mV, který je slyšet při úplném tichu.

Co se týče literatury o elektronkách, tak té moc k sehnání není. Jedinou novější knihou je zdroj [2]. Kdyby nás tato problematika opravdu zaujala a sháněli kvalitní literaturu, museli bychom hledat hlavně v antikvariátech. Na internetu je to s informacemi o elektronkách o něco lepší. Dá se tam najít hodně zajímavých informací a sehnat kontakty na lidi, kteří se touto problematikou zajímají a hlavně jsou ochotní podělit se o své znalosti i dokonce poradit či pomoci se stavbou, nebo oživením.

Při praktické části této práce jsem se dokonale seznámil s elektronkami, vyzkoušel si práci s nimi a zjistil jejich klady a zápory. O nich je pojednáváno již výše v této práci. Ale přeci jenom jich pár zmíním. Jedna velká a praktická nevýhoda je váha elektronkového zesilovače. Další nevýhoda, je, jak moc elektronky při provozu topí. Výhodou a vlastně také důvodem proč se k elektronkám lidé vrací, je jejich jedinečný zvuk. U toho ale záleží, jaký zdroj signálu zvolíme. Když zvolíme jako vstupní signál mp3 soubor, tak nemůžeme od elektronkového zesilovače čekat žádné zázraky, ale jenom kvalitní reprodukci již komprimovaného signálu. Daleko lepší zvuk a rozdílný od polovodičového zesilovače můžeme čekat při připojení gramofonu, kde není zvuk elektronicky upraven.

5.1 Technické údaje

Napájecí napětí	230 V/50 Hz
Akustický výkon	2x 30W
Výstupní impedance	4 , 8 Ω
Brum	5 mV
Rozsahy korekcí:	
hloubky	\pm 6dB při 300 Hz
Výšky	\pm 6dB při 5 kHz

6 Literatura

- [1] Sládeček, J., Kamínek, K. & Forejt, J. (1954). Amatérská radiotechnika: Základy techniky krátkých a velmi krátkých vln I. díl, Naše vojsko, Praha, 509 pp.
- [2] Vlach, J., Vlachová, V. (2004). Lampárna: aneb Co to zkusit s elektronkami? BEN-Technická literatura, 151 pp.
- [3] <http://www.ackoo.estranky.cz/clanky/tridy-zesilovacu.html> 26. 11. 2013
- [4] http://pandatron.cz/?632&tridy_zesilovacu 26. 11. 2013
- [5] Mařátko, J. (1987) Elektronika, SNTL-Nakladatelství technické literatury, 271pp.
- [6] <http://moryst.sweb.cz/elt2/stranky1/elt010.htm> 19. 12. 2013
- [7] Rochelt, K. (2000). Elektronkové zesilovače, Praktická elektronika, 5(3): 9-13, 5(4): 26-28, 5(5): 25-27, 5(6): 19-22, 5(7): 18-20
- [8] <http://uart.cz/1245/vznik-a-historie-elektronek/> 17. 3. 2014
- [9] <http://k15.kreteni.cz/lampy.php> 20. 3. 2014
- [10] <http://hlava.webpark.cz/> 6. 4. 2014
- [11] Lukeš, J. (1962). Věrný zvuk, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1, ve společném vydání se Slovenským vydavatelstvom technickej literatúry v Bratislavě, 327pp
- [12] <http://www.uaudio.com/webzine/2005/october/index2.html> 13. 4. 2014
- [13] Lelek, M. (2010). Blissing live – zesilovač s elektronkami. Praktická elektronika, 15(11): 20-23, 15(12): 28-30
- [14] <http://www.ebastlirna.cz/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=33410> 16. 4. 2014
- [15] <http://www.audioweb.cz/viewtopic.php?id=2194> 16. 4. 2014
- [16] <http://sound.westhost.com/project55.htm> 16. 4. 2014
- [17] Novák, K. (1976). Slabikář radioamatéra, SNTL Nakladatelství technické literatury, 266pp.
- [18] <http://pokusy.chytrak.cz/schemata/index100w.htm> 19. 4. 2014
- [19] <http://www.wavtones.com/functiongenerator.php> 21. 4. 2014
- [20] <http://www.blatna.cz/tbp/> 21. 4. 2014
- [21] http://elnika.sweb.cz/mereni/vystup_vykon.htm 21. 4. 2014

- [22] Příruční katalog elektronek Tesla (1969/70), Tesla Rožnov 486pp.
- [23] Frisch, H. (1987). Základy elektroniky a elektronických obvodů, SNTL-Nakladatelství technické literatury, 322pp.
- [24] Daneš, J. a kolektiv (1989). Amatérská Radiotechnika a elektronika [4. díl], Naše vojsko, 320pp.
- [25] Nečásek, S., Janeček, J. & Rambousek, J. (1985). Elektronické a elektroakustické součástky, SNTL-Nakladatelství technické literatury, ALFA-Vydavatel'stvo technickej a ekonomickej literatury, Bratislava, 448pp.
- [26] Pacák, M. (1943). Praktická škola radiotechniky, Nakladatelství orbis – Praha, 248pp.

7 Přílohy

Příloha 1 Seznam součástek.

Zesilovač - jeden kanál

Kondenzátory (svitkové, pokud není uvedeno jinak)

C1, C2, C3	100 nF/400 V fóliový radiální
C4	220 pF/100 V fóliový
C5	100 nF fóliový
C6, C7	68 nF/1000 V
C8, C9, C10, C15	100 μ F/400 V elektrolytický
C18	33 nF
C19	150 nF
C20	15 nF
C21	6,8 nF

Rezistory (metalizované 0,6W 1%, pokud není uvedeno jinak)

R1	120 k Ω
R2	1 k Ω /2 W
R3, R4	22 Ω /5 W
R5, R6, R9, R10, R13, R17	4,7 k Ω
R7, R8, R18	220 k Ω
R11	470 Ω
R12	10 k Ω
R14, R15, R20	1 M Ω
R16, R19	680 Ω
R21	110 k Ω
R22	27 k Ω
R23	39 k Ω
R24	5,6 k Ω
R25, R26, R28	6,2 k Ω
R29	100 k Ω
R30	56 k Ω
R31	820 Ω /2 W
R32	100 Ω

Potenciometry a trimry

P1	50 k Ω /logaritmický
P2, P3	50 k Ω /lineární
T1, T2, T3	250 k Ω ležatý

Elektronky

V1	ECC82
V2	ECC83
V3, V4	EL34
objímka Noval 2x	
objímka Oktal 2x	
<i>Ostatní</i>	
S1, S4, S5	2x250 VAC/3 A přepínač páčkový
S3	přepínač 3x4 300V trv.5/spín.0,15A otočný
TR1	výstupní transformátor
X1, X2, X3	zásuvka CINCH panelová červená/bílá
X4	zás. panel 3.5mm stereo kruhová

Zdroj

Kondenzátory (elektrolytické)

C11, C12 250 μ F/500 V

C13, C14 100 μ F/160 V

Rezistory (metalizované 0,6W 1%)

R27 4,7 k Ω

Ostatní

M, M2 4x BY255

T5 220 Ω /2 W

TR2 transformátor síťový
230 V /310 V, 0,9 A +
26 V, 0,5 A + 6,3 V, 8
A

F1 - rychlá 315 mA

F2 - rychlá 2A

držáky pojistek 2x

S2 2x250 VAC/3 A
přepínač páčkový

VU metr

Kondenzátory (elektrolitické)

C16 10 μ F/10 V

C17 5 μ F/35 V

Trimry

T4 4,7 k Ω

Diody (germaniové)

D1 OA9

D2 OA9