



Středoškolská technika 2025

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Elektronkový zesilovač ve třídě A

Pavel Prančl

**Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola, Písek, Karla Čapka 402;
se sídlem: Karla Čapka 402, 397 01 Písek**

OBSAH

1. ÚVOD	2
1.1. DNEŠNÍ ZESILOVAČE A PŘÍSTROJE PRO ZPRACOVÁNÍ ZVUKU	2
1.2. ELEKTRONKOVÉ (KYTAROVÉ) ZESILOVAČE V OBLASTI HUDBY A REPRODUKCE ZVUKU	2
1.3. ELEKTRONKA (PRINCIP, UŽITÍ V ZESILOVAČÍCH)	2
1.3.1. POPIS ELEKTRONKY	2
1.3.2. PRINCIP FUNKCE ELEKTRONKY (TEPELNÁ EMISE ELEKTRONU)	4
1.4. ELEKTRONKOVÝ ZESILOVAČ	4
1.4.1. ZÁKLADNÍ POPIS ELEKTRONKOVÉHO ZESILOVAČE	4
1.4.2. VLASTNOSTI ZESILOVAČŮ	5
1.4.3. TŘÍDY ZESILOVAČŮ A PRACOVNÍ BOD	5
1.4.4. ZESILOVAČ TŘÍDY A	6
2. PŘEDLOHA PRO STAVBU ZESILOVAČE	6
2.1. VÝBEŘ ZESILOVAČE (PŘEDLOHY PRO STAVBU)	6
2.2. KONSTRUKCE ZESILOVAČE 5F1	6
3. POPIS REALIZOVANÉHO ZAPOJENÍ	7
3.1. ZESILOVAČ ELEKTRON RESOLUTION 5	7
3.1.1. ZDROJOVÁ ČÁST ZESILOVAČE	8
3.1.2. ZAPOJENÍ OBVODU ZESILOVAČE	11
3.1.3. KONCOVÝ STUPEŇ, VÝSTUPNÍ TRANSFORMÁTOR A REPRODUKTOR. 12	
4. STAVBA ZESILOVAČE ELEKTRON RESOLUTION 5	12
4.1. ŠASI ZESILOVAČE	12
4.2. OBVOD ZESILOVAČE	13
4.3. OZVUČNICE A REPRODUKTOR	15
5. MĚŘENÍ NA ZESILOVAČI	16
6. ZÁVĚR	18
SEZNAM OBRÁZKŮ	19
CITACE	20
ZDROJE	21
LITERATURA	21
PŘÍLOHY	23

1. ÚVOD

1.1. DNEŠNÍ ZESILOVAČE A PŘÍSTROJE PRO ZPRACOVÁNÍ ZVUKU

V posledních třiceti letech prodělal hudební průmysl značnou technickou modernizaci v oblasti zesilovačů a nahrávací techniky. Elektronkové a čistě tranzistorové zesilovače společně s přístroji pro záznam a zpracování zvuku postupně nahradily moderní digitální přístroje. Tyto moderní přístroje umožňují nespočet možností v oblasti hudby a zpracování zvuku jako takového. I přes fakt že moderní technologie značně ulehčily (a rozšířily) práci v oblasti hudby, tak samotní interpreti a muzikanti se dnes začínají vracet k elektronkové technologii v oblasti nástrojových zesilovačů. Tento trend si můžeme vysvětlit tím, že muzikanti (převážně kytaristé) se napříč hudebními styly shodují na nenahraditelném zvuku elektronkových kytarových aparátů.

1.2. ELEKTRONKOVÉ (KYTAROVÉ) ZESILOVAČE V OBLASTI HUDBY A REPRODUKCE ZVUKU

Zesilovače, které primárně pracují se součástkami, které využívají pro svou funkci emisi elektronu ve vakuu (elektronky) jsou po celou dobu elektronického zpracování zvuku nenahraditelnou součástí hudebního světa. Elektronkový zesilovač pracuje v obecném principu jako elektronka zapojena v účelném zapojení pro zesílení signálu. Elektronkové zesilovače (převážně pro strunné nástroje) mají oproti např. tranzistorovým zesilovačům svůj osobitý projev a specifickou barvu reprodukováného zvuku. Z tohoto přesvědčení mnoha kytaristů a jejich subjektivního vnímání zvuku by se mohlo zdát, že zvuk elektronkových zesilovačů je pro užití v oblasti zesílení signálu z elektrické kytary lepší než zvuk tranzistorového zesilovače, ale budeme-li na problematiku hledět z pohledu elektrotechniky, není věc tak jednoduchá a jednoznačná.

Vše vychází z dynamických parametrů zesilovačů (nikoliv statických) a z okamžiku kdy začneme zesilovače dostávat do limitace (pracovní bod se dostává mimo lineární část výstupní charakteristiky) a dostavuje se zkreslení signálu. Zatímco pro věrnou reprodukci zvuku je zkreslení nežádoucím jevem, tak z pohledů kytaristů je zkreslení důležitou funkcí kytarových zesilovačů. Uvážíme-li dobře navržený elektronkový a tranzistorový zesilovač tak bychom v teoretické rovině neměli poznat rozdíl v oblasti kdy zesilovače nebudeme přebuzovat a nebude docházet k limitaci signálu. Subjektivní rozdíl se u těchto teoretických a ideálních zesilovačů dostaví až ve chvíli kdy oba zesilovače začnou limitovat a zkreslovat původní signál.

Zjednodušeně můžeme říct že pro věrnou a přesnou reprodukci zvuku můžeme volit spíše dobře navržený tranzistorový zesilovač, ale pro potřeby kytaristů většinou volíme spíše elektronkové zesilovače kvůli subjektivně „lepšímu a hezčímu“ zkreslení.

1.3. ELEKTRONKA (PRINCIP, UŽITÍ V ZESILOVAČÍCH)

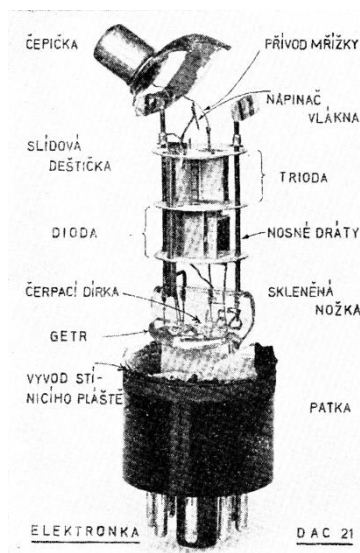
1.3.1. POPIS ELEKTRONKY

Elektronka je vakuová elektronická součástka, která využívá pro svou funkci emisi elektronu a vedení elektrického proudu ve vakuu. Byla využívána převážně v době 20.století, kdy polovodičové součástky ještě vůbec neexistovaly, anebo jejich požití bylo

tak omezené že pro komerční využívání nebyly dostupné. V průřezu elektrotechnických zařízení bychom je našli v mnoha zapojeních např. v radiotechnických přijímačích a vysílačích, v zobrazovací technice, v zařízeních pro zpracování zvuku apod. V dnešní době se jejich využití zúžilo na specializované zařízení nebo právě na využití v kytarových zesilovačích.

Elektronka je složena ze skleněné baňky, ze které je odčerpán vzduch, na jejímž spodku je patice s vývody jednotlivých funkčních a řídicích částí. Základní části elektronky jsou katoda, anoda, žhavení katody a popřípadě řídicí mřížka. Může obsahovat další mřížky které mají svou danou funkci (brzdicí, stínící apod.) (**viz. obrázek 1**). Elektronku nám v současnosti nahradili polovodičové diody a tranzistory. Podle počtu vývodů (resp. počtu elektrod) se elektronky rozdělují takto:

- Dioda (obsahuje jen anodu (A) a katodu (K) – nemá žádnou řídicí mřížku (ŘM))
- Trioda (obsahuje A, K a jednu ŘM)
- Tetroda (stíněná trioda)
- Pentoda (oproti tetrodě obsahuje ještě navíc brzdicí mřížku)



Obrázek 1- řez usměrňovací elektronkou DAC 21

Samozřejmě existují elektronky s větším počtem různých mřížek (hexoda, heptoda apod.) ale pro moji práci bude stačit rozdělení uvedené výše, protože dioda, trioda a pentoda jsou nejpoužívanější elektronky v elektronkových zesilovačích.

Dalším rozdělením elektronek je rozdělení z hlediska účelu. Každý druh elektronky se liší samotnou konstrukcí, a to především počtem elektrod. Jako u všech ostatních elektronických součástí se musí při výběru elektronky hledět na primární funkci konečného obvodu či zařízení. Elektronky tedy dle účelu jejich použití rozdělujeme na:

- Usměrňovací (dioda)
- Zesilovací (primárně triody a pentody)
- Směšovací (využití v dřívější radiové technice)
- Zobrazovací
- Indikační

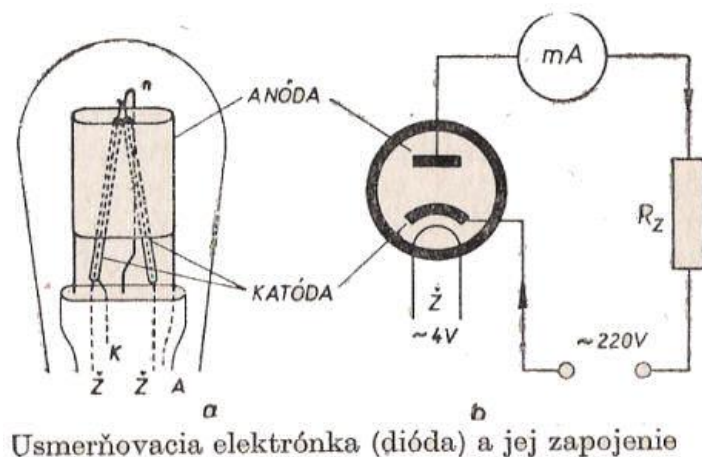
- Pro speciální využití (mikrovlonné, plynem plněné apod.)

Posledním a neméně důležitým kritériem podle kterého elektronky rozdělujeme je princip žhavení. Existují základní dva typy žhavení elektronkové katody, a to **přímé žhavení** (žhavicí vlákno je přímo katodou) a **nepřímé žhavení** (katoda je žhavana externě samostatným žhavicím vláknem).

1.3.2. PRINCIP FUNKCE ELEKTRONKY (TEPELNÁ EMISE ELEKTRONU)

Princip fungování elektronky spočívá v tepelné emisi elektronů ve vakuu. Tepelná emise elektronu (termoemise) je fyzikální jev při kterém je emitován tok nosičů náboje z povrchu materiálu při zahřátí. Teplo, které dodáváme materiálu předá část své energie volným elektronům, které mají následně dostatečně velkou energii a při splnění daných podmínek se začínají elektrony emitovat do okolního prostředí. Obecná teorie říká: „*Jedním zdrojem proudu je rozžhaveno vlákno (katoda nebo žhavení katody). Druhý zdroj je připojen mezi anodu a katodu tak, aby anoda měla kladné napětí. Elektrony, které jsou teplem uvolněny (termoemise) z katody do okolního prostoru, budou přitaženy na anodu. Elektronkou protéká proud. Protože domluvený směr proudu v elektrických obvodech je od kladného k zápornému pólu, říkáme, že proud teče z anody ke katodě, i když elektrony putují směrem opačným. Po přepólování zdroje napětí mezi katodou a anodou jsou uvolněné elektrony odpuzovány a proud mezi anodou a katodou neteče.*“ [1]

Základní princip zapojení elektronky (resp. diody) je naznačen na obrázku číslo 2. Vzhledem k tomu že dioda nemá žádnou řídicí ani zpomalovací mřížku, tak se nedá, jakkoliv přímo regulovat. Dioda je nejjednodušší elektronkou a používá se primárně jako výkonový usměrňovač (usměrnění napětí pro zesilovač).



Obrázek 2 - Zapojení diody v obvodu s odporovou zátěží

1.4. ELEKTRONKOVÝ ZESILOVAČ

1.4.1. ZÁKLADNÍ POPIS ELEKTRONKOVÉHO ZESILOVAČE

Elektronkový zesilovač jakožto přístroj pro zesílení převážně audiosignálu je obecně zapojení elektronky pro potřeby zesílení tohoto signálu. Nejjednodušším elektronkovým zesilovačem je zesilovací trioda. Mezi anodou a katodou připojíme

zdroj a na řídicí mřížku připojíme zdroj vstupního signálu. Malými změnami (napětí) na řídicí mřížce dosáhneme velkých změn proudu mezi anodou a katodou. Elektronka v tuto chvíli začíná fungovat jako zesilovač vstupního signálu. Zesílený signál je pomocí výstupního transformátoru převeden do reproduktoru.

1.4.2. VLASTNOSTI ZESILOVAČŮ

U zesilovačů obecně (ať už tranzistorových či elektronkových) se udávají základní vlastnosti a parametry. Mezi základní parametry zesilovače patří:

- **vstupní citlivost** – efektivní hodnota napětí na vstupu, nutná pro vybuzení na jmenovitý výkon
- **vstupní impedance** – impedance na vstupních svorkách zesilovače. Určuje možnosti připojení a druh zdroje signálu ke vstupu zesilovače. Má být alespoň $10\times$ větší než vnitřní impedance zdroje signálu, aby nedošlo ke znatelnému zmenšení signálu, případně jeho zkreslení. Bývá uváděna se vstupní citlivostí.
- **frekvenční charakteristika** – závislost výkonového přenosu na frekvenci: $A_p = f(f)$, při jmenovité zátěži. Měří se při vyřazených korekcích a nastavené plné hlasitosti.
- **zkreslení** – tvarová deformace zesilovaného signálu. Je buď harmonické (THD) – vlivem nelinearity vznikají vyšší harmonické složky, které v původním signálu nebyly, nebo intermodulační (IMD), kdy při dvou (nebo více) harmonických signálech různých frekvencí vznikají na nelinearitách zesilovače ještě další frekvenčně kombinační produkty, které signál tvarově zkreslují.
- **jmenovitý výstupní výkon** – maximální výstupní výkon, při kterém dosáhne THD určité stanovené velikosti (např. 5 %) při umělé zátěži 8 nebo $4\ \Omega$.
- **dynamický rozsah** (dynamika) – rozsah mezi maximální a minimální velikostí výstupního signálu zesilovače, přičemž minimální je dán šumem a rušením, při maximálním nedochází ke zkreslení signálu.
- **výstupní impedance** – vnitřní impedance zesilovače na výstupních svorkách. Je určující pro stanovení zatěžovací impedance (reproduktorů), má být mnohem menší než zatěžovací, bývá (u výkonových zesilovačů) 0,01 až 0,1.
- **přeslech mezi kanály** – projevuje se pronikáním signálu z jednoho kanálu do druhého a naopak (L P a P L), vyjadřuje se v dB (např. 50 dB) a má být co nejvyšší.^[2]

1.4.3. TŘÍDY ZESILOVAČŮ A PRACOVNÍ BOD

Zesilovače obecně v elektrotechnice rozdělujeme dle zapojení do několika tříd. Pracovní třída zesilovače charakterizuje zapojení zesilovače a pracovní vlastnosti jednotlivých zapojení v návaznosti na nastavení pracovního bodu zesilovače. Můžeme zjednodušeně říct, že jde o to, do jaké míry bude tranzistor (nebo elektronka) v klidovém stavu (bez buzení) otevřen, popř. uzavřen. Pracovní bod je bod na převodní charakteristice zesilovače a udává bod charakteristiky kde je zesilovač bez buzení (resp. klidový stav zesilovače). Určujeme základní třídy zesilovačů:

- **Třída A** (zpracovává obě půlvlny signálu, malé zkreslení, malá účinnost)
- **Třída B** (dvojčinné zapojení, 2 větve, jedna větev zpracovává jen kladou půlvlnu a druhá jen zápornou půlvlnu)

- **Třída AB** (stejné zapojení jako třída B ale malý klidový proud, menší přechodové zkreslení než třída B)

Existují další třídy zesilovačů jako např. třída C a D, ale ty pro mou práci nejsou podstatné, protože v elektronkové audio technice se využívají v podstatě jen třídy A a AB. V této práci popisuji konstrukci kytarového zesilovače ve třídě A. Třídou jsem volil z důvodu malého zkreslení což se hodí např. pro jazzové kytaristy anebo pro styly které vyžadují čistý zvuk kytary. Samozřejmě zkreslení se dostavuje při cíleném přebuzování zesilovače, ale to vychází z vlastností samotné konstrukce. Proto se v následující části mé práci budu zabírat popisem zesilovače ve třídě A.

1.4.4. ZESILOVAČ TŘÍDY A

Zesilovače třídy A se vyznačují malým zkreslením, malou účinností a konstruuji se převážně pro malé výkony. Konstrukčně je zesilovač zapojen **jednočinně** což znamená, že jedna signálová cesta pro zpracování signálu zpracovává obě půlvlny signálu vstupního. Tyto zesilovače se konstruuji tak aby při klidovém stavu byl zesilovač (zesilovací elektronka) stále ve vodivém stavu, to znamená že obvodem bez buzení protéká klidový proud. Z tohoto popisu vyplývá že pracovní bod bude umístěn v lineární části převodní charakteristiky (resp. doprostřed zatěžovací přímky). Vzhledem k tomu že zesilovač jednou cestou zpracovává obě půlvlny je docíleno malého zkreslení, protože se neprojevuje zkreslení přechodové.

2. PŘEDLOHA PRO STAVBU ZESILOVAČE

2.1. VÝBEŘ ZESILOVAČE (PŘEDLOHY PRO STAVBU)

Pro moji práci jsem vybíral zapojení zesilovače, který by se vyznačoval malým zkreslením a jednoduchým zapojením pro snadnou údržbu a opravy. Dalším kritériem pro výběr vhodného zapojení byl předpoklad že se musí jednat o staré zapojení z počátků produkce kytarových zesilovačů. Posledním kritériem výběru bylo samotné zadání práce, takže jsem vyhledával zesilovač v pracovní třídě A s malým výkonem. Po prostudování několika schémat jsem vybral originální zapojení zesilovače **Fender 5F1** z roku 1956. Toto zapojení naprosto vyhovovalo zadání mé práce a také odpovídalo mým kritériím výběru vhodného zesilovače. Po nastudování principu funkčnosti zapojení jsem došel k závěru, že je třeba udělat úpravy oproti originálnímu zapojení (primárně ve zdrojové, resp. napěťové části zesilovače). Následné úpravy se týkaly výstupního transformátoru a reproduktoru.

2.2. KONSTRUKCE ZESILOVAČE 5F1

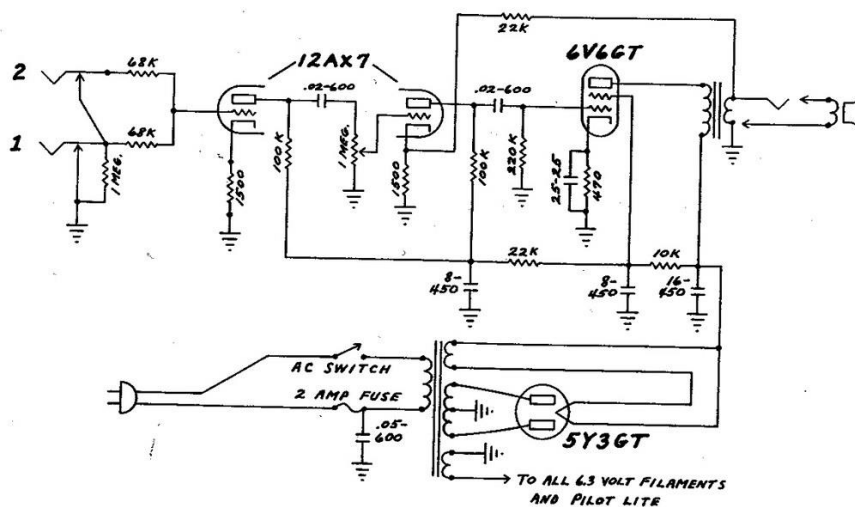
Zesilovač Fender 5F1 je jednoduchý, jednočinný zesilovač ve třídě A. V originálním zapojení najdeme celkem 3 elektronky. První elektronka je elektronka 5Y3 (dle amerického značení) která zde slouží jako usměrňovač napájecího napětí. Další elektronkou je zde elektronka 12AX7 (dle amerického značení) jejíž evropským ekvivalentem je ECC83(S). Tato elektronka je elektronkou předzesilovací a slouží k prvotnímu zpracování signálu v signálové cestě.

Po předzesílení signálu je tento signál přiveden do výstupní (výkonové elektronky) 6V6. Tato elektronka zesiluje signál pro výstupní transformátor a následnou

reprodukcí a slouží jako koncový stupeň zesilovače. Pracovní body předzesilovací a koncové elektronky jsou jednoduše nastaveny katodovými odpory. Zesilovač je navržen pro dva signálové vstupy (označeny jako Hi a Low). Do těchto vstupů se připojuje zdroj signálu (elektrická kytara). Vstup označený Low je vstup pro zpracování signálu v základní konfiguraci zesilovače, což znamená že signál je zpracováván čistě tak, jak je navržen zesilovač. Vstup Low obrazně řečeno méně zesiluje a méně zkresluje signál, je tedy vhodnější pro zdroje signálu, které dodávají signál silnější.

Signálový vstup označený Hi je vstup, který má uměle zvýšenou impedanci. To pro uživatele znamená že je citlivější, více zesiluje a více zkresluje signál. Používá se pro zdroje signálu, které nemají tak silný signál. V tomto zesilovači jsou celkem 2 transformátory, a to síťový a výstupní. Co se týče ovládání zesilovače tak disponuje jen přepínačem pro zapnutí/vypnutí celého zapojení a potenciometrem pro ovládání hlasitosti. Schéma originálního zapojení zesilovače Fender 5F1 můžeme vidět na obrázku 3. Podrobnější popis zesilovače je popsán v následujících částí práce, protože oproti originálnímu zapojení došlo ke konstrukčním změnám a je zde popsáno konečné zapojení.

FENDER "CHAMP-AMP" SCHEMATIC MODEL 5F1 K-EE



Obrázek 3 - Schéma zesilovače Fender 5F1

3. POPIS REALIZOVANÉHO ZAPOJENÍ

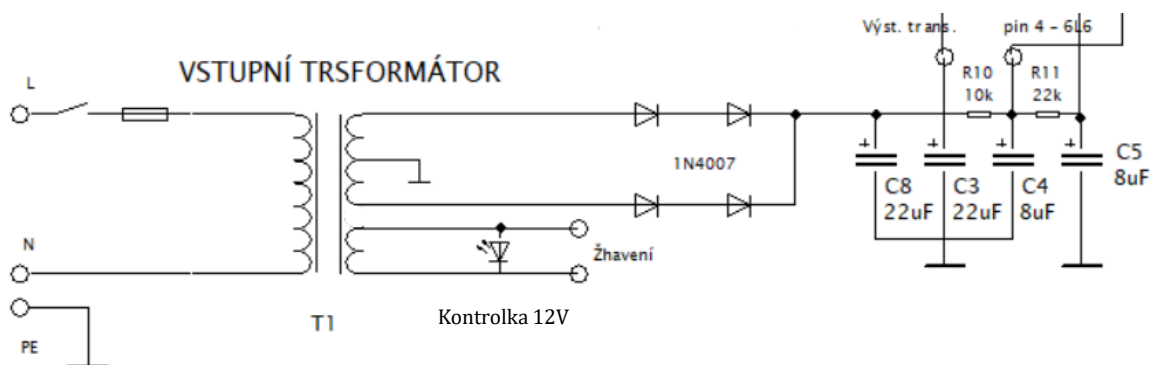
3.1. ZESILOVAČ ELEKTRON RESOLUTION 5

Vzhledem k tomu že došlo oproti originálnímu zapojení ke změnám, které jsou ve výsledku dostatečně podstatné, tak můj výrobek (zesilovač) označuji jako zesilovač **ELEKTRON RESOLUTION 5**. Tento zesilovač, jak již bylo řečeno, vychází z předlohy Fender 5F1. Oproti předloze zde není přítomna usměrňovací elektronka, která byla nahrazena křemíkovým diodovým usměrňovačem. Následná změna se týká síťového transformátoru. Oproti originálu je navržen pro jiné napětí a je jinak zkonstruován (jiný

typ jádra apod.). Další změnou jsou jiné hodnoty filtračních kondenzátorů. Primárním důvodem této změny je nedostatek vhodných kondenzátorů s jmenovitou hodnotou na trhu. Posledními podstatnými změnami jsou změny v oblasti výstupu zesilovače a reproduktoru. Výstupní transformátor je originálně navržen přímo pro potřeby zesilovače ELEKTRON RESOLUTION 5. Reprodukter oproti originálu je 10" a jeho jmenovitá impedance je 8 Ohmů (impedance reproduktoru je stejná jako u předlohy). Veškeré ovládání a princip zesilovače všech zůstal zachován. Změny byly provedeny pro subjektivní vylepšení původního zesilovače a byl upraven podle mých požadavků. Popis celého zesilovače je uveden v následujících podkapitolách. Celé schéma zapojení je uvedeno v příloze.

3.1.1. ZDROJOVÁ ČÁST ZESILOVAČE

Zdrojovou část pro napájení tvoří pojistka, vypínač, síťový transformátor, diodový usměrňovač a filtrační kondenzátory. Celé zapojení zdrojové části můžeme vidět na obrázku č.4. Zapojení zesilovače je napájeno síťovým střídavým napětím 230 V. Přes pojistku je napětí ze sítě přivedeno na vypínač, kterým zapínáme/vypínáme zesilovač a následně z vypínače je toto napětí přivedeno na primární vnutí transformátoru. Sekundární vnutí transformátoru je navrženo na 2x265V s vyneseným středem vnutí (v mém případě na šasi zesilovače jakožto kostru) a následně je na sekundárním vnutí 6,3V pro žhavení elektronek. Zjednodušený náčrt transformátoru je na obrázku č.5. Při výběru vhodného síťového transformátoru je třeba myslet na výkon zařízení protože se transformátor může při delším běhu zařízení zahřívát.



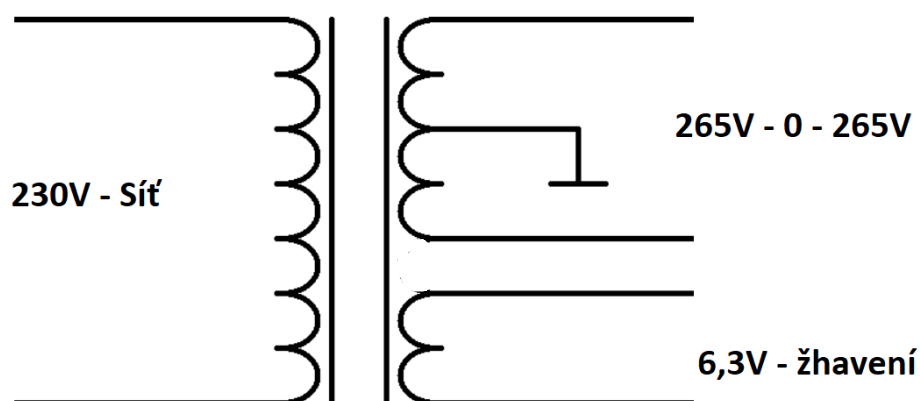
Obrázek 4 - zapojení zdrojové části zesilovače

Výpočet síťového transformátoru byl realizován z obecné teorie a samotný výpočet je uveden níže:

Výpočet síťového transformátoru:

Při návrhu transformátoru nejprve zvolíme požadované hodnoty:

$U_{\text{prim}}=230 \text{ V}$	(napětí primárního vnutí)
$U_{\text{sek1}}=265\text{-}0\text{-}265 \text{ V}/45 \text{ mA}$	(napětí sekundárního vnutí 1)
$U_{\text{sek2}}= 6,3 \text{ V}/1,25 \text{ A}$	(napětí sekundárního vnutí 2)
$f=50 \text{ Hz}$	(frekvence)
$S=32 \text{ VA}$	(zdánlivý výkon)



Obrázek 5 - Zjednodušený náčrt napájecího transformátoru

Když máme zvoleny základní parametry, tak musíme zvolit plechy transformátorového jádra. Pro tento výpočet si musíme zvolit další parametry a to:

$\mu_{\text{rFe}}=5000$	(relativní permeabilita)
$\sigma= 3 \text{ A}/\text{mm}^2$	(proudová hustota)
$k_{\text{pFe}}= 0,96$	(činitel plnění železa)
$k_{\text{pCu}}= 0,36$	(činitel plnění mědi)
$B_{\text{max}}= 1,4 \text{ T}$	

Nyní máme zvoleny všechny parametry pro to, abychom mohli vypočítat velikost jádra transformátoru. Budeme volit jádro typu EI což je nejpoužívanější jádro pro jednofázové transformátory menších výkonů. Nejdříve musíme spočítat šířku středního sloupku, a to dle vztahu:

$$a = \sqrt[4]{\frac{4 \times \sqrt{2} \times S}{3 \times \pi \times k_{\text{pFe}} \times k_{\text{pCu}} \times f \times B_{\text{max}} \times \sigma}}$$

$$a = \sqrt[4]{\frac{4 \times \sqrt{2} \times 32}{3 \times \pi \times 0,96 \times 0,36 \times 50 \times 1,4 \times 3 \times 10^6}}$$

$$a = 22,68 \text{ mm}$$

Dle vypočítané šířky středního sloupku určíme nejbližší rozměr standardizovaných transformátorových plechů ($a=22 \text{ mm}$). V tomto případě jsem zvolil transformátorové plechy typu EI66. Následně vypočítáme **průřez jádra** (dosazené hodnoty pochází ze standardizovaných rozměrů plechu EI66) dle vztahu:

$$S_J = a \times b = 22 \times 23 = 506 \text{ mm}^2$$

Dále vypočítáme střední **délku siločáry železa v jádru**:

$$l_{Fe} = 2 \times \left[a + \left(\frac{a}{2} + \frac{3}{2} \times a \right) \right]$$

$$l_{Fe} = 2 \times \left[22 + \left(\frac{22}{2} + \frac{3}{2} \times 22 \right) \right]$$

$$l_{Fe} = 132 \text{ mm}$$

Dalším výpočtem je určení **plochy okna pro vynutí**:

$$S_0 = \frac{3}{4} \times a^2$$

$$S_0 = \frac{3}{4} \times 22^2$$

$$S_0 = 363 \text{ mm}^2$$

Nyní můžeme přistoupit k výpočtům počtu závitů. Podle obecného vzorce vypočítáme počty závitů pro primární a sekundární vynutí transformátoru. Pro sekundární vynutí budeme počítat s hodnotou napětí 300 V jelikož se jedná o hodnotu napětí naprázdno a při daném zatížení transformátoru docílíme požadované hodnoty 265 V. Níže je uveden **výpočet počtu závitů primárního a sekundárního vynutí**:

$$N_1 = \frac{U_{prim}}{\sqrt{2}\pi f \times B_{max} \times S_J \times k_{pFe}}$$

$$N_1 = \frac{230}{\sqrt{2}\pi \times 50 \times 1,4 \times 506 \times 10^{-6} \times 0,96}$$

$$N_1 = 1522,5 \text{ z.}$$

$$N_2 = \frac{U_{sek}}{\sqrt{2}\pi f \times B_{max} \times S_J \times k_{pFe}}$$

$$N_2 = \frac{300}{\sqrt{2}\pi \times 50 \times 1,4 \times 506 \times 10^{-6} \times 0,96}$$

$$N_2 = 1986 \text{ z.}$$

Diodový usměrňovač, který se nachází za transformátorem, usměrňuje napětí ze sekundárního vynutí transformátoru pro následné zpracování. Jedná se od dvojici křemíkových diod(1N4007) připojených sériově. Oba výstupy transformátoru (2x270V) mají svůj vlastní pár diod. Tyto páry diod jsou katodami spojeny k sobě a usměrněné napětí je následně přiváděno na filtrační kondenzátory.

Filtrační kondenzátory vyrovnávají zvlněné napětí, které přichází z usměrňovače. Mezi kondenzátory se nachází rezistory, které slouží ke snížení napětí na požadovanou hodnotu, kterou jednotlivé části obvodu potřebují pro svou správnou funkci. Napětí pro žhavení není usměrňováno a z transformátoru vedou vodiče žhavení nejprve na indikační kontrolku a teprve pak na samotné elektronky.

3.1.2. ZAPOJENÍ OBVODU ZESILOVAČE

Jak již bylo zmíněno v úvodu, nejjednodušší elektronkový zesilovač je trioda. V zapojení mého zesilovače je použito dvojitě triody (ECC83S) jakožto předzesilovače a výkonové pentody (6V6S) jakožto koncového stupně. V následující části je popsán principiální popis činnosti zesilovače. Pomocí kytarových snímačů převede kmitání struny na slabý elektrický signál, který je přiveden na vstup zesilovače. Ze vstupního JACK konektoru je signál přiveden do obvodu předzesilovače. Signál ovládá mřížku první triody předzesilovací elektronky ECC83S (12AX7). Z anody se přes logaritmický potenciometr (ovládání hlasitosti) přivádí signál na mřížku druhé triody elektronky a dochází k předzesílení signálu.

Tento signál se následně přivádí na koncový stupeň zesilovače, kterým je zde výkonová pentoda 6V6S. Z této pentody se zesílený signál přivede na výstupní transformátor a z něj následně na reproduktor. Obě elektronky mají nastavený pracovní bod v lineární části své převodní charakteristiky pomocí katodových rezistorů. Dle předlohy byly katodové rezistory již známé ale je vždy lepší vypočítat přesnou hodnotu vhodných rezistorů. Hodnoty katodových rezistorů získáme ze vztahu:

$$R_k = \frac{|U_{GK}|}{I_{OP}}$$

Hodnoty pro výpočet katodového rezistoru odečítáme z převodní charakteristiky elektronky pro námi požadovaný pracovní bod. Základem předzesilovače je elektronka ECC83S v zapojení se společnou katodou. Toto zapojení se využívá skoro u všech (elektronkových) předzesilovačů. Důležitými součástkami, které se starají o správné fungování předzesilovače jsou vazební kondenzátory C1 a C2 které oddělují jednotlivé stupně od sebe pro stejnosměrná napětí a proud. Společně s rezistory tvoří horní propust a musí být správně zvoleny, aby zesilovač neutlumoval nízké frekvence. U samotného zesilovače se nikdy nezbavíme harmonického zkreslení. Harmonické frekvence se nazývají frekvence, které jsou násobky frekvence signálu vstupního. U zesilovače tohoto typu je zkreslení dáno nelineárností elektronek a toto asymetrické zesílení či oříznutí půlvln způsobuje právě vznik sudých harmonických. Sudé harmonické jsou hudebně příbuzné s původním signálem (druhá harmonická odpovídá oktávě daného tónu) a proto se jeví výsledný zvuk mohutnějším či plnějším.

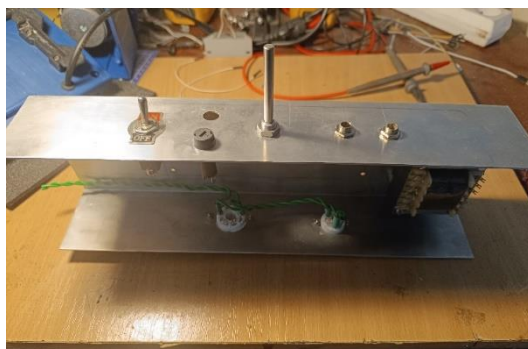
3.1.3. KONCOVÝ STUPEŇ, VÝSTUPNÍ TRANSFORMÁTOR A REPRODUKTOR

Jako koncový stupeň je v tomto zapojení využita elektronka 6V6S. Jedná se o výkonovou pentodu a je zapojena jako zesilovač signálu. Pracovní bod elektronky je nastaven katodovým rezistorem do lineární části charakteristiky a zesílený signál předává výstupnímu transformátoru. Výstupní transformátor byl zvolen dle potřeby a konstrukce zesilovače a má jmenovitou impedanci primárního vinutí $Z_{\text{prim}} = 8\,000\Omega$. Sekundární vinutí výstupního transformátoru ($Z_{\text{sek}} = 8\Omega$) napájí reproduktor. V tomto zapojení je použit reproduktor o jmenovité impedanci 8Ω od výrobce Celestion. Jedná se o 10'' reproduktor který vyhovuje požadavkům zesilovače. Celkový výsledný výkon zesilovače činí 5W. Výstupní transformátor má velký vliv na výsledný zvuk. Nejzřetelnější změny zvuku se projeví při změnách plechů. Při volbě slabších plechů jsou ve výsledném zvuku výraznější basy, což je zapříčiněno vyšší indukčností transformátoru. Při volbě slabších plechů se zase zvýrazní středy a výšky.

4. STAVBA ZESILOVAČE ELEKTRON RESOLUTION 5

4.1. ŠASI ZESILOVAČE

Šasi zesilovače tvoří hliníkový plech, který je ohnut do profilu U. Rozměry byly voleny tak aby po osazení šasi všemi komponenty zbylo dost místa na pohodlnou manipulaci a úpravy vně zesilovače a aby samotné prvky zesilovače nebyly moc blízko u sebe. Na spodní straně šasi jsou vyříznuty 2 otvory na patice elektronek. Na horní straně jsou vyvrtány díry pro osazení ovládacími prvky a díry pro uchycení v ozvučnici. Na stěně jsou připraveny díry pro uchycení transformátorů a obvodu zesilovače. Celé šasi je na obrázku č.6 a 7. Šasi je důležitou součástí zesilovače, jelikož slouží jako kostra celého



Obrázek 6 - šasi zesilovače - z nadhledu



Obrázek 7 - šasi zesilovače - pohled dovnitř

obvodu a veškeré uzemnění které je třeba v obvodu realizovat je právě svedeno na hliníkový plech šasi. Plech šasi je také důležitý z pohledu bezpečnosti, protože s tímto plechem přichází uživatel do fyzického styku. Proto je na tento plech přiveden a vodivě spojen ochranný (PE) vodič.

4.2. OBVOD ZESILOVAČE

Dle schématu byl zhotoven osazovací plán a dle tohoto plánu se zhotovila deska pro upevnění součástek. V této konstrukci nebylo využito klasického DPS ale staré metody uchycování a spojování součástek pomocí pertinaxové desky a nýtek. Je to z důvodu zahřívání obvodu a některých součástky kdy při použití DPS by hrozilo riziko vyhřátí daných míst DPS a tím by byl celý obvod náchylnější na poruchy. Nejprve byla zhotovena samotná pertinaxová deska a byly do ní vyvrtány otvory dle zhotovené šablony. Následně se do děr vlisovaly nýtky vždy s dvěma oky pro uchycení součástek. Po vlisování nýtek zůstaly díry průchozí čehož jsem využil pro propojování ostatních částí zesilovače, které leží mimo desku s deskou samotnou. Při osazování desky součástkami bylo třeba nejprve vývody součástek zakrátit na požadovanou rozteč a ohnout je tak aby je bylo možno zapájet na daná oka.

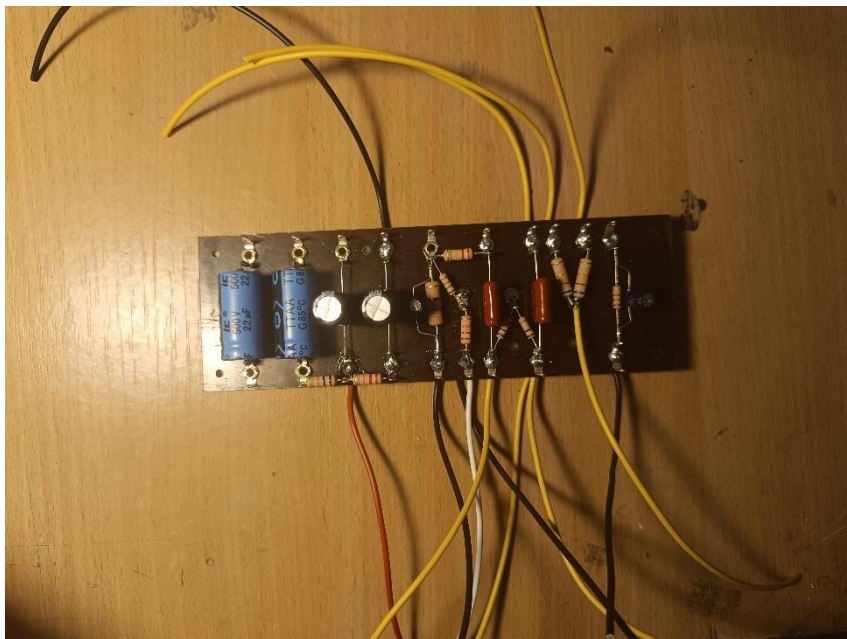
Po osazení desky součástkami dle schématu se deska osadila vodiči pro připojení ostatních částí zesilovače. Zde jsem se řídil dlouholetým zvykem konstruktérů zesilovačů, a to rozlišovat jednotlivé vodiče barevně podle jejich funkce a významu. Například žhavení elektronek se u zesilovačů přivádí zeleným vodičem. Signálové cesty se zase označují barvou žlutou a jako další se označuje usměrněné napětí, a to barvou červenou. Fáze výroby a osazení desky můžeme vidět na obrázcích č.8, 9, 10 a na obrázku 11 je šablona pro vyvrtání děr do desky.



Obrázek 8 - deska s nýtky



Obrázek 10 - osazená deska



Obrázek 9 - osazená deska včetně vodičů

Po zkonstruování této desky se rozměřilo umístění děr na šasi pro uchycení jednotlivých dílů. Bylo třeba zohlednit to že všechny součásti zesilovače které neleží přímo na desce jsou propojeny vodiči a aby bylo co nejvíce zamezeno vlivu rušení je třeba tyto vodiče zkrátit na co nejmenší délku. Proto jsou všechny části umístěny dost blízko u sebe, ale zároveň se zachoval dobrý přístup k jednotlivým součástkám. Poté

jsem desku společně s transformátory a veškerými ostatními součástmi připevnil na předem připravené šasi a pomocí vodičů vše propojil vodiči dle schématu.



Obrázek 11 - šablona pro vyvrtání desky

4.3. OZVUČNICE A REPRODUKTOR

Ozvučnici jsem navrhoval přímo pro popisovaný zesilovač. Vycházel jsem převážně z obecně známých zásad návrhu ozvučnic. Základním parametrem je výběr materiálu, z kterého bude ozvučnice vyrobena. Já jsem volil břízovou překližku o tloušťce 14 mm pro stěny ozvučnice, následně břízovou překližku o tloušťce 10 mm jakožto přední desku na které je upevněn reproduktor a stejnou překližku však o tloušťce 8 mm na dvě zadní desky. Břízová překližka je nejvyužívanějším materiálem pro stavbu ozvučnic. Má dobré akustické vlastnosti, je vcelku levná a je dostatečně pevná. Rozměry mé ozvučnice jsou 500x350x250 (DxŠxH). Na přední desce je vyříznut otvor pro reproduktor, jehož rozměr nalezneme v katalogu parametrů reproduktoru (montážní otvor). Celá přední deska je odsazena oproti hranám stěn přibližně o 1,5 cm dovnitř ozvučnice, a to kvůli rámečku s plátýnkem který se nachází před reproduktorem. Zadní část ozvučnice tvoří 2 desky a mezi nimi je otvor dovnitř ozvučnice. Toto uspořádání zadní desky má význam právě u malých zesilovačů, protože i přes malý výkon může akustický tlak uvnitř ozvučnice být značný. Dalším důvodem je chlazení zesilovače. Elektronkové zesilovače se skoro výhradně chladí vzduchem, a právě mezera vzniklá mezi zadními deskami umožňuje cirkulaci vzduchu v ozvučnici a tím i chlazení zesilovače. Ozvučnice je potažena červenou potahovou kůží a má na sobě poutko pro pohodlné přenášení celého zesilovače. Ozvučnici můžeme vidět na obrázku 12 a 13.



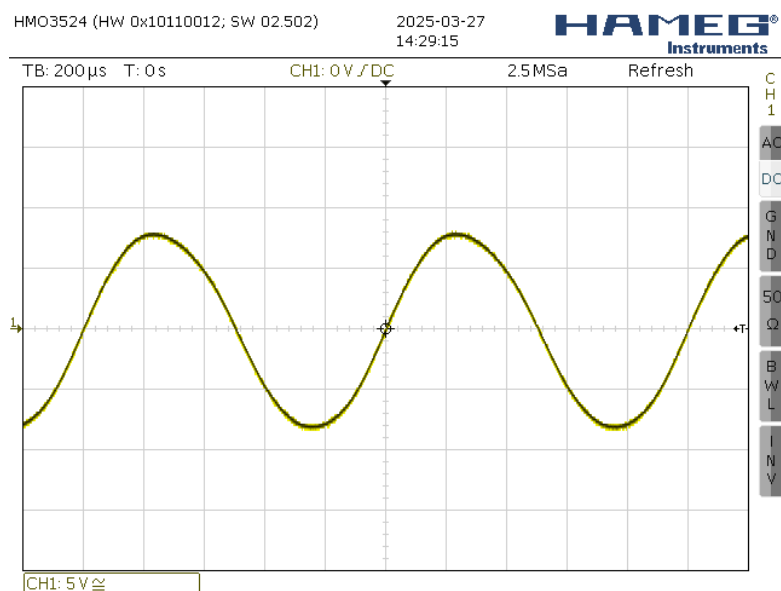
Obrázek 12 - ozvučnice (před výřezem otvoru pro reproduktor)



Obrázek 13 - zadní část ozvučnice

5. MĚŘENÍ NA ZESILOVAČI

Poslední částí stavby zesilovače bylo měření na vyrobeném výrobku. Jednalo se o měření výkonu, zkreslení a amplitudově frekvenční charakteristiky. Nejprve bylo provedeno měření amplitudově frekvenční charakteristiky. Na vstupu zesilovače se připojil první voltmetr pro kontrolu vstupního napětí (400 mV) společně s generátorem sinusového signálu. Na výstup (reproduktor) se připojil osciloskop pro kontrolu výstupního signálu a druhý voltmetr pro odečítání výstupního napětí. Při nastavení generátoru sinusového signálu na frekvenci 1 kHz se nastavila výstupní amplituda na hodnotu kterou zesilovač ještě nelimituje (výrazně nezkruskuje). Výstupní signál při frekvenci 1 kHz a vstupní amplitudě signálu 400 mV (referenční nastavení) je zobrazen na obrázku č. 14. Následně probíhalo měření od 20 Hz do 22,5 kHz a postupně se odečítala hodnota výstupního napětí. Toto měření probíhalo dvakrát, a to se zátěží umělou (reostat o hodnotě 8Ω) a následně s připojeným reproduktorem. Výsledné amplitudově frekvenční charakteristiky jsou zobrazeny v příloze.



Obrázek 14 - výstupní signál při referenčním nastavení (400 mV/1 Hz)

Následně se amplituda výstupního signálu přepočítala na napěťový zisk (a_u). Když vypočítaný napěťový zisk vyneseme v grafu na osu Y a frekvenci na osu X, dostaneme graf frekvenční charakteristiky napěťového zisku, který znázorňuje frekvenční pásmo, v kterém zesilovač zesiluje signál. Šířku pásma získáme tak že si vyznačíme na ose napěťového zisku pokles o 3 dB oproti nevyšší hodnotě zisku a tam kde křivka grafu protne vynesenu přímku poklesu o 3 dB získáme horní a dolní mezní kmitočty. Následně tyto dva kmitočty od sebe odečteme a získáme šířku pásma B. Napěťový zisk vypočítáme dle vztahu:

$$a_u = 20 \times \log\left(\frac{U_{výst}}{U_{vstup}}\right)$$

Šířku pásma (B) vypočítáme dle následujícího vztahu, kdy f_{min} udává dolní mezní kmitočty a f_{max} horní mezní kmitočty. Šířka pásma je důležitým parametrem zesilovačů,

protože poskytuje informaci, zda se např. jedná o kytarový nebo baskytarový zesilovač. Můj zesilovač má vypočtenou šířku pásma 16 422 Hz.

$$B = f_{max} - f_{min}$$

Dalším parametrem, který byl měřen je činitel nelineárního zkreslení k . Zkreslení obecně je deformace či nežádoucí změna tvaru časového průběhu střídavé veličiny (v mém případě sinusový signál). Příčinami nelineárního zkreslení jsou buď polovodičové součástky nebo součástky magnetické (např. transformátor) které mají nelineární charakteristiku. Další příčinou zkreslení signálu je přebuzení zesilovače. Činitel zkreslení sám o sobě udává informaci o podílu harmonických vůči původnímu signálu. V zesilovačích se zkreslení projevuje při přebuzení zesilovače, a to tím že začne limitovat (ořezávat) část původního signálu. Činitel nelineárního zkreslení jsem měřil měřičem zkreslení, který se připojil na výstup zesilovače (měřicí obvod jinak zůstal zachován). Znovu došlo k referenčnímu nastavení zesilovače a vstupu tak aby zesilovač opět signál ještě nelimitoval. Následně jsem nastavoval vybuzení zesilovače od malého výstupního napětí po to největší. Tabulku s naměřenými hodnotami můžeme vidět na obrázku č.15. Můžeme pozorovat, že se zvětšujícím se vybuzením se zvyšuje i zkreslení výstupního signálu. Činitel zkreslení se udává v procentech. Při maximálním vybuzení dosahuje činitel nelineárního zkreslení až 75 %.

Posledním měřeným parametrem je výkon zesilovače. Výkon zesilovače určíme při referenčním nastavení a výstupní napětí znovu odečteme ve chvíli kdy zesilovač znatelně nelimituje. Výkon zesilovače získáme ze vztahu:

$$P = \frac{U_{výst}^2}{R_z}$$

Pomocí tohoto vztahu byly vypočteny hodnoty výkonu pro jednotlivé hodnoty výstupního napětí, které byly naměřeny při měření činitele nelineárního zkreslení. Výkon zesilovače by se měl udávat pro výrazně nezkrácený výstupní signál. Můj zesilovač má výkon kolem 4,5 W. Při vyšším výkonu (resp. vyšším výstupním napětí) je zkreslení již znatelné a u elektrické kytary slyšitelné. Tabulku se změřeným činitelem nelineárního zkreslení a s vypočtenými výkony můžeme vidět na obrázku č.15.

Uvýstup (V)	činitel zkr (%)	Výkon (W)
0,5	0,25	0,03125
1	0,62	0,125
1,5	0,92	0,28125
2	1,1	0,5
2,5	1,75	0,78125
3	2,2	1,125
3,5	2,2	1,53125
4	2,8	2
4,5	3,4	2,53125
5	4,8	3,125
5,2	5,2	3,38
5,5	5,9	3,78125
6	9,1	4,5
6,5	17,2	5,28125
7	40	6,125
7,5	44	7,03125

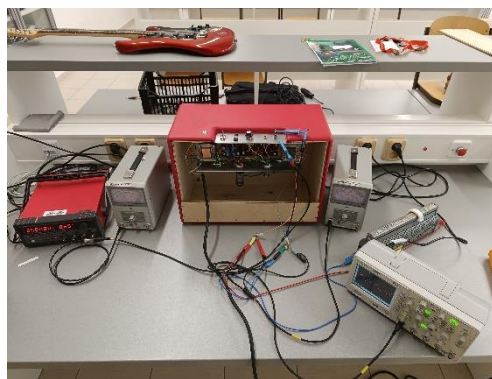
Obrázek 15 - naměřené hodnoty $k/U_{výst}/P$

6. ZÁVĚR

V mé práci je vcelku věcně popsána již v úvodu problematika elektronkových kytarových zesilovačů, a hlavně subjektivní vnímání elektronkových a tranzistorových zesilovačů. Teoretický rozbor popisuje základní parametry a elektronkových zesilovačů a popis elektronek jako takových. Následná stavba zesilovače probíhala ve dvou etapách. V první etapě byl postaven testovací kus zesilovače abych se přesvědčil, zda předloha vyhovuje zadání a předpokládaným parametrům. Následně jsem si na tomto testovacím zesilovači otestoval oživení celého zapojení. Druhá etapa byla stavba již konečného výrobku. V této etapě bylo zapotřebí již myslet i na přesné rozměry mechanických dílů a ozvučnice. Po vyrobení a osazení základní desky se součástkami se připravilo šasi zesilovače. Následně se všechny komponenty přimontovaly k šasi a pomocí barevných vodičů se všechny komponenty vzájemně propojily dle schématu. Následně došlo ke zkompletování (přimontování osazeného šasi k ozvučnici a připojení reproduktoru a přívodního trojžilového vodiče k zesilovači) otestování zesilovače několika kytaristy kteří se shodli na přijatelném zvuku zesilovače. Celé zapojení během testování podávalo obstojné výsledky, a i když to u mnoha věcech neplatí, tak stále můžu říct, že stará technologie audio zařízení má stále ve světě svoje místo. Při testování zesilovače jsem využil různé druhy kytar abych otestoval, jaký druh kytary by byl nejvhodnější pro tento zesilovač. Došel jsem k závěru, že nejlepší zvuk podávali různé druhy lubových kytar. Po testování zesilovače jsem byl překvapen hlasitostí zesilovače, předpokládal jsem že 5 W výkonu bude stačit maximálně na hraní v domácích podmínkách a však po otestování zesilovače při koncertu jsem došel k závěru, že tento zesilovač má dostatečný výkon a hlasitost na normální hraní na menších a středně velkých pódiích. Při stavbě bylo zajímavé že se nejednalo o DPS ale již zmiňovanou pertinaxovou desku s nýtky. Pájení na tyto nýtky je odlišné od klasického osazování DPS. Je zapotřebí pájet na teplotě kolem 310°C a déle páječkou ohřívat samotný nýtek, aby došlo k řádnému zapájení nýtku. Je třeba ale dávat pozor na čas zahřívání nýtku páječkou, aby nedocházelo k vypalování petrinaxu pod nýtkem. Na následujících obrázcích je vidět kompletní výrobek včetně potažené ozvučnice (obrázek 17). Obrázek z měření je na obrázku č.16. V příloze se nachází některé další fotografie zesilovače, seznam součástek a schéma zapojení. Důležité je závěrem zmínit že celé šasi zesilovače včetně částí jack konektorů jsou zemněny ochranným vodičem PE. V případě poruchy na zařízení je tímto zajištěno že nebezpečný poruchový proud bude sveden proti zemi, místo toho, aby procházel tělem člověka.



Obrázek 17 - výsledný zesilovač



Obrázek 16 – ukázka z měření

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1- řez usměrňovací elektronkou DAC 21	3
Obrázek 2 - Zapojení diody v obvodu s odporovou zátěží	4
Obrázek 3 - Schéma zesilovače Fender 5F1	7
Obrázek 4 - zapojení zdrojové části zesilovače	8
Obrázek 5 - Zjednodušený náčrt napájecího transformátoru	9
Obrázek 6 - šasi zesilovače - z nadhledu	12
Obrázek 7 - šasi zesilovače - pohled dovnitř	12
Obrázek 8 - deska s nýtky	13
Obrázek 9 - osazená deska včetně vodičů	14
Obrázek 10 - osazená deska.....	14
Obrázek 11 - šablona pro vyvrtání desky.....	15
Obrázek 12 - ozvučnice (před výřezem otvoru pro reproduktor)	15
Obrázek 13 - zadní část ozvučnice	15
Obrázek 14 - výstupní signál při referenčním nastavení (400 mV/1 Hz).....	16
Obrázek 15 - naměřené hodnoty k/U výst/P.....	17
Obrázek 16 – ukázka z měření.....	18
Obrázek 17 - výsledný zesilovač	18

CITACE

- [1] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Elektronka* [online]. c2025 [citováno 19. 03. 2025]. Dostupný z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektronka&oldid=24641485>>
- [2] ELUC. *Nízkofrekvenční zesilovače*. Online. ELUC. 2025. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/lekce/nizkofrekvencni-zesilovace-2>. [cit. 2025-03-19].

ZDROJE

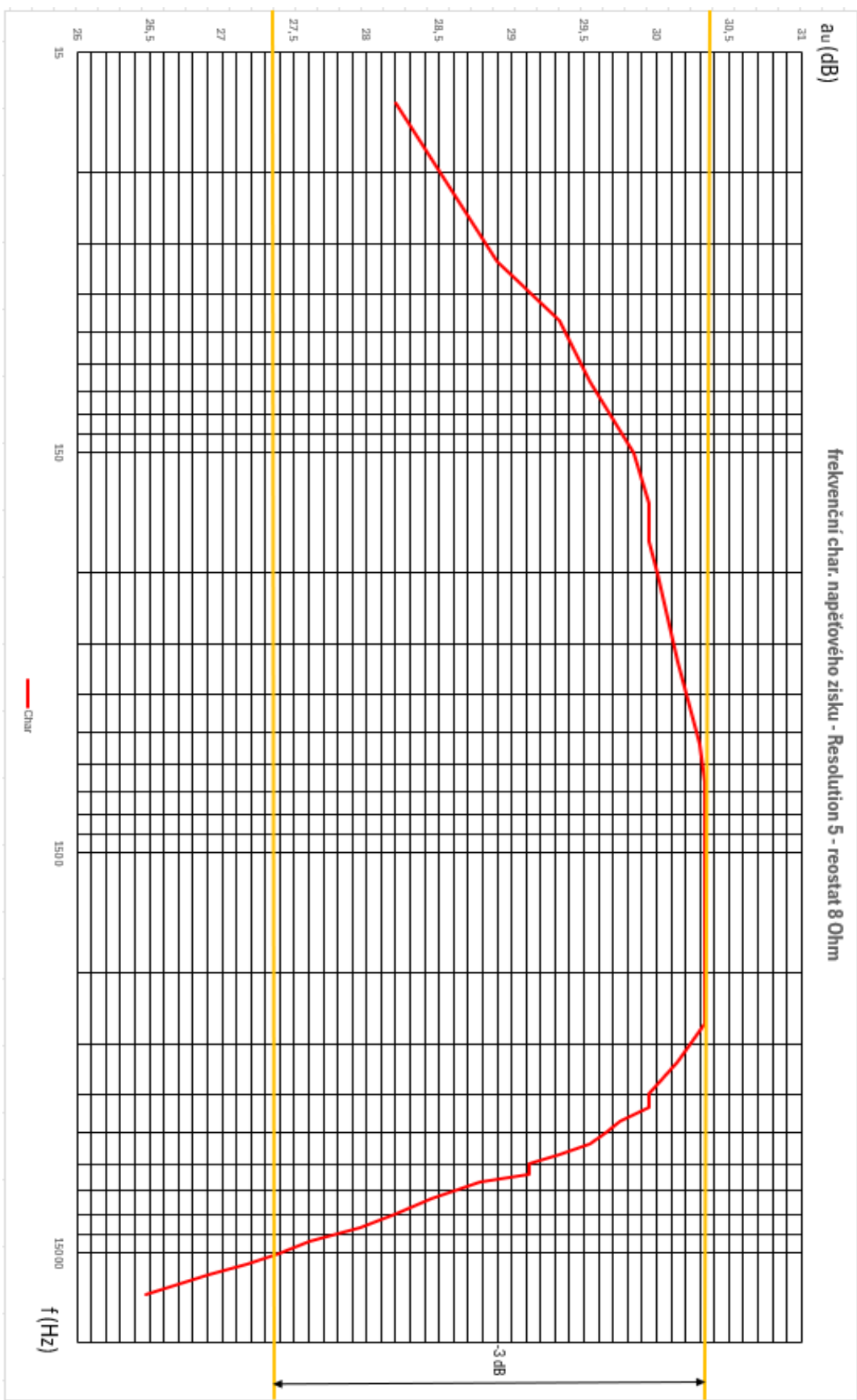
- [3] *Pracovní třídy zesilovačů.* Online. ELUC. 2015. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/lekce/pracovni-tridy-zesilovacu>. [cit. 2025-03-27].
- [4] *Nízkofrekvenční zesilovače.* Online. ELUC. 2015. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/lekce/nizkofrekvencni-zesilovace>. [cit. 2025-03-27].
- [5] *Elektronka.* Online. Wikipedia. 2001. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronka>. [cit. 2025-03-27].
- [6] *Návrh ozvučnice.* Online. Repromania. 2005. Dostupné z: <https://www.repromania.net/teorie/komplexni-navrh-basovych-boxu-simulace-ozvucnice.php>. [cit. 2025-03-27].
- [7] *How Amps Work.* Online. Robrobinette. 2005. Dostupné z: <https://robrobinette.com/How Amps Work.htm>. [cit. 2025-03-27].
- [8] *Schema.* Online. El34world. 2012. Dostupné z: <https://el34world.com/schematics.htm#Hoffman 5F6A Bassman>. [cit. 2025-03-27].
- [9] *Zesilovač.* Online. Wikipedia. 2001. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zesilova%C4%8D>. [cit. 2025-03-27].
- [10] *Kytarový zesilovač.* Online. Wikipedia. 2001. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kytarov%C3%BD zesilova%C4%8D>. [cit. 2025-03-27].

LITERATURA

LUKEŠ, Jaroslav. *Věrný zvuk*. Praha: SNTL, 1962. ISBN Kč19.10.

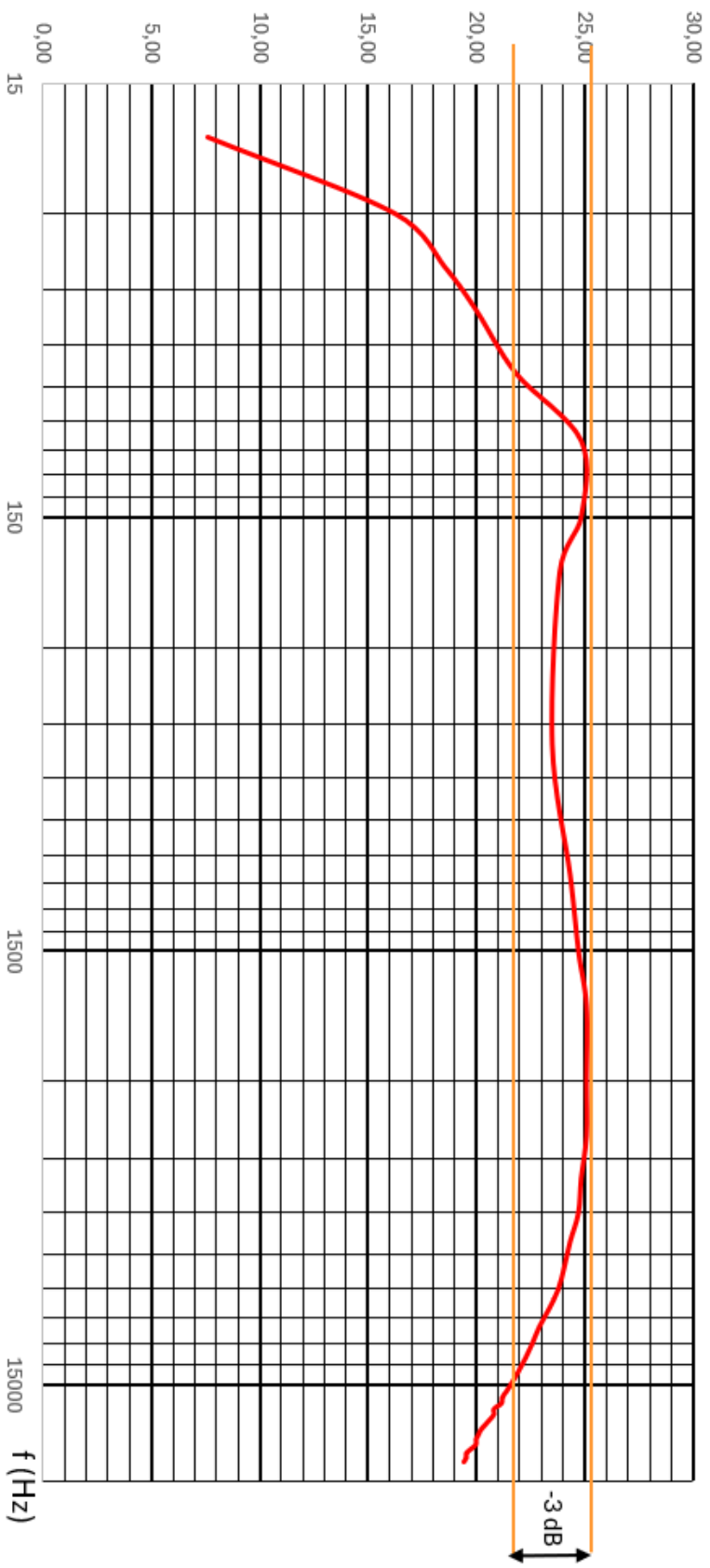
ZOBAČ, Ladislav. *Základy vakuové techniky*. Řada elektrotechnické literatury. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1954.

PŘÍLOHY



a_u (dB)

frekvenční char. napětového zisku - Resolution 5 - Reproduktor 8 Ohm



ELEKTRON BLATNA - RESOLUTION 5

SEZNAM SOUCASTEK

TYP	SCH.CISLO	POPIS	CENA	PARAMETR	POPIS	
RSpasives	R1	REZISTOR	TME	1M	1W	%
RSpasives	R2	REZISTOR		68k	3W	%
RSpasives	R3	REZISTOR		68k	3W	%
RSpasives	R4	REZISTOR		1,5k	V1A	%
	R5	REZISTOR		100k		
	R6	REZISTOR		1,5k		
	R7	REZISTOR		100k		
	R8	REZISTOR		470R/5W		
	R9	REZISTOR		220k		
	R10	REZISTOR		10k/2W		
	R11	REZISTOR		22k/2W		
	R12	potenciometr		1M logaritm.		
	R13	REZISTOR		22k		
	C1	KONDENZATOR		0,022 uF	V1A	svitek
	C2	KONDENZATOR		0,022uF	V1B	svitek
	C3	KONDENZATOR		16uF/475V	filtr	
	C4	KONDENZATOR		8uF/450V	filtr	
	C5	KONDENZATOR		8uF/450V	filtr	
	C6	KONDENZATOR		25uF/25V		
	C7	KONDENZATOR		25uF/25V		
	F1	POJISTKA		2A		
	12AX7	ELKTRONKA				
	6V6GT	ELKTRONKA				
	5Y3CT	ELKTRONKA		NAHRAZENO	DUM	
		VYPÍNAČ				
	S1	REPRODUKTOR		8 OHM / 10''	CELESTION	
		PŘÍVODNÍ KAB.		3x1,5MM / 5M		
		POJISTKA		2A		
	C8	KONDENZATOR		16uF/475V	filtr	

