



Středoškolská technika 2016

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

VÝKONOVÝ ZESILOVAČ

Marek Petrák

Vyšší odborná škola, Střední průmyslová škola a Střední odborná škola služeb a cestovního ruchu, Varnsdorf, Bratislavská 2166, příspěvková organizace
Bratislavská 2166, 407 47 Varnsdorf

Na úvodní stranu vašeho příspěvku zkopírujte především počáteční tabulku (výše), která je pro příspěvky do sborníku normalizovaná. Zde modifikujte dva spodní řádky = jména autorů a vaši školu. Pak pokračujte buď již svým hotovým dokumentem, nebo si vytvořte příspěvek na libovolný počet stran A4 - viz například tento návod formátování: Můžete se inspirovat též příspěvky z minulých setkání StreTech, které jsou vystaveny ve sbornících na webu konference <http://www1.fs.cvut.cz/stretech/> .

1. Anotace

Mým hlavním úkolem je navrhnout, realizovat a proměřit výkonový stereo zesilovač s výstupním výkonem alespoň 2x20W. Proto jsem si jako inspiraci vybral výkonový zesilovač 2x25W, kde samotný zesilovač tvoří integrované obvody typu TDA2040. K těmto integrovaným obvodům musím navrhnout okolní součástky tak, aby to fungovalo správně. Dále potřebuji navrhnout napájecí zdroj, abych mohl zařízení zapojit do zásuvky a používat jej. Chtěl zesilovač nějak oživit, ať se dá případně vizualizovat jeho funkce – realizoval jsem indikátory vybuzení. Proto jsem vyrobil jednu desku plošných spojů tak, aby obsahovala všechny části. Tato deska připravena a funkční byla zabudována do krabice.

2. Seznam zkratek

DPS	deska plošných spojů
FeCl ₃	chemická značka pro roztok chloridu železitého
Fu	Tavná pojistka
IO1	První integrovaný obvod
IO2.....	Druhý integrovaný obvod
nf	nízkofrekvenční
Rep L	Levý reproduktor
Rep P	Pravý reproduktor
ST	Stabilizátor napětí
TR	Transformátor
UM	Usměřňovací můstek
Vstup L	Vstup signálu pro levý kanál
Vstup R	Vstup signálu pro pravý kanál
X1	Vstupní svorkovnice
ZD/S	Zdroj elektrické energie

3. Problematika zesilovače

Zesilovač je elektronické zařízení, které je schopno transformací elektrické energie z vnějšího napájecího zdroje měnit parametry vstupního signálu. Z hlediska elektroniky bývá považován za aktivní dvojbran (nelineární), který je tvořen zesilovacím prvkem a pomocnými obvody zajišťující nastavení a stabilizaci pracovního bodu.

Obvykle zesilovač slouží především k zesílení amplitudy signálu, nebo jeho úrovně (u stejnosměrných zesilovačů), na požadovanou hodnotu. Používá se ale i v zapojeních, kde je potřeba změnit tvar signálu a jiných.

Můj zesilovač pracuje ve třídě AB, tato třída je kompromisem mezi třídami A a B. Konstrukčně je zesilovač stejný, jako zesilovač v třídě B, ale s tím rozdílem, že třída AB má zavedený malý klidový proud. To znamená, že tyto zesilovače nevykazují tak velké přechodové zkreslení, jako zesilovače v třídě B. Třída AB také není tak energeticky náročná jako třída A. Z těchto důvodů se staly zesilovače třídy AB velice oblíbenými, většina lineárních zesilovačů pracuje právě v této třídě.

3.1. Zesílení a zisk nf zesilovače

Zesílení nf zesilovače A_U je definováno jako poměr výstupního a vstupního napětí při určitém kmitočtu. Zesílení je bezrozměrná veličina, obecně komplexní. V případě, že kmitočet budeme měnit a pro každý nastavený kmitočet vypočítáme zesílení, potom můžeme vynesť přenosovou charakteristiku.

Zisk nf zesilovače a_U se počítá ze zesílení nf zesilovače. Udává se v decibelech (dB), ale to je také bezrozměrná veličina. Používá se pro jednodušší znázornění v grafech a technických dokumentacích. Pokud určíme zisk pro několik různých kmitočtů, pak můžeme vynesť modulovou charakteristiku.

$$A_U = \frac{U_2}{U_1} (-) \quad (1)$$

$$a_U = 20 * \log \left(\frac{U_2}{U_1} \right) = 20 * \log |A_U| \text{ (dB)} \quad (2)$$

Tabulka č.1 : Vztah napět'ového zesílení a napět'ového zisku

$A_U(-)$	$a_U(\text{dB})$
1	0
10	20
100	40
1000	60

4. Návrh schématu

Schéma se skládá ze 3 různých schematických bloků zapojených do sebe. Blok č. 1 je symetrický napájecí zdroj. Blok č. 2 je zesilovač 2x25W. Blok č. 3 jsou dva stejné indikátory vybuzení z toho jeden je převrácený kvůli barevnému směru LED diod.

Všechny uvedené součástky a jejich zapojení můžeme vidět na obrázku č. 1, který obsahuje všechny návrhy už propojené do jednoho funkčního bloku i zapojení jednotlivých součástek.

4.1. Návrh schématu pro napájecí zdroj

Napájecí zdroj je realizován pomocí síťového transformátoru s dvojitým sekundárním vinutím pro zajištění symetrického napětí, střídavé napětí je přivedeno na svorky, které jsou umístěny na desce plošných spojů (DPS). Střídavé napětí je dále usměrněno pomocí usměrňovacího můstku (UM), který je připojený na pojistky (Fu), jako poslední součástky jsou 4 filtrační kondenzátory (C1 - C4), aby se zabránilo šumu nebo jiným faktorům, které by bylo slyšet v reproduktorech.

4.2. Návrh schématu pro výkonový zesilovač 2x25W

Zesilovač 2x25W je sestavený ze dvou bloků, bloky jsou naprosto stejné. Celý zesilovač je tedy sestaven z integrovaných obvodů (IO1 a IO2) typu TDA 2040, dále ochrannými diodami typu 1N4001 (D1, D2 a D3, D4). Filtraci SS složky zajišťují vstupní kondenzátory (C17 a C18). Filtraci a odrušení napájení, také zajišťují kondenzátory (C5, C6, C8, C9 a C15, C16, C11, C12). Odpory (R1, R2 a R4, R5) u tohoto zesilovače nastavují zesílení, protože se jedná o neinvertující zapojení operačního zesilovače. Dále (R3, C10 a R6, C14) jsou pásmová zadrž, aby reproduktor nehrál vysoké tóny.

4.3. Návrh schématu pro 2 indikátory vybuzení

Indikátory vybuzení jsou taktéž stejné a jeden je převrácený kvůli barevnému sledu LED diod. Každý se skládá ze základního zesilovače třídy AB a takový zesilovač musí mít. Hlavní tranzistor (T1 a T13), nastavení pracovního bodu zajišťují odpory (R50, R52 a R58, R56) o omezení proudu do kolektoru a o nastavení zesílení se starají odpory (R49 a R59), teplotní ochranu zajišťují (R51 a R57) a na vstupu je klasicky kapacita (C22 a C30) pro odfiltrování SS složky. Indikátor má dále vstupní trimr (R54 a R55) pro nastavení intenzity a velikosti vybuzení diod. (C20, C21 a C28, C29) Slouží k rozkmitu. Další část jsou ochranné diody (D14, D15 a D46, D45) s kombinací kapacit (C23, C24 a C31, C32), které hlídají prostřední 0. Pokud je tam nějaké jiné napětí, tak ho odvedou na příslušnou polaritu. Tranzistor (T2 a T13) s odporem (R53 a R60) fungují jako tranzistorový spínač. Dále už je jen 10x2 stejných bloků a ty se skládají z

tranzistorů (T3 - T12 a T15 - T24) tyto tranzistory jsou zapojeny jako spínače pro LED diody. Odpory (R9 - R18 a R39 - R48) jsou na omezení proudu do báze tranzistoru. Další odpory (R29 - R38 a R19 - R28) jsou na omezení proudu do LED diod (D16 - D25 a D26 - D35). Diody (D5 - D13 a D36 - D44) fungují jako napěťový dělič pro spínání báze tranzistoru a rozsvícení LED diod.

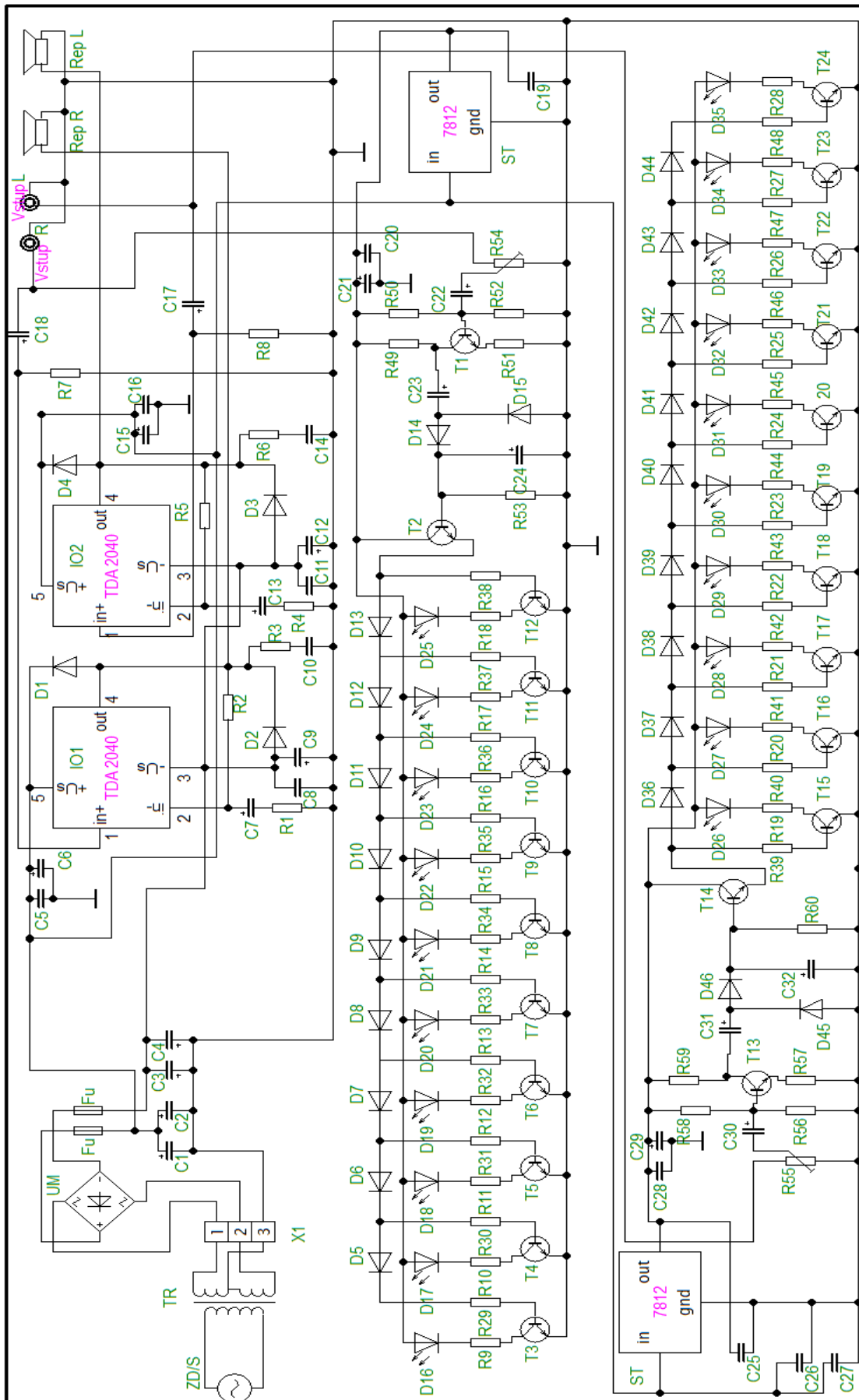
4.4. Seznam použitých součástek a výčet jejich hodnot

Všechny odpory mého zapojení jsou do výkonové ztráty 1W a s tolerancí 1%, ale určitě by neměl být problém použít do 0,6W a jinou toleranci. Občas jsem někde výjimečně použil odpory do 0,6W a 1% z důvodu, že do 1W konkrétní odporové hodnoty nebyly na skladě a proto bylo nutno koupit jiné.

U diod lze použít i více typů místo BAT 43 můžeme dát (BAT46, BAT85, 1N5819, KAS21, KAS22,). Diody 1N1418 se dají vyměnit i s (1N4150, 1N4151, 1N4448)

Tranzistory mají také více možností, za BC550C lze (BC459C) a za BC547B můžeme (BC238)

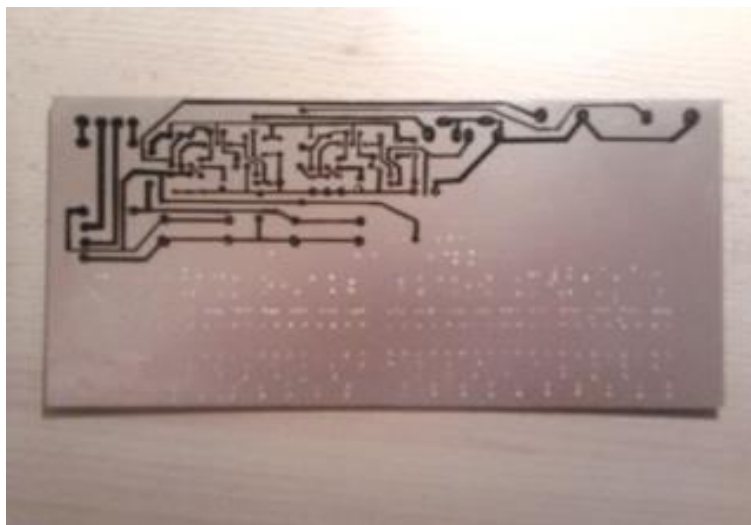
Kondenzátory	T1, T13, T3, - T12, T15, - T24 =
C1 - C4 = 2200 μF 50V	BC547B TO92
C5, C8, C10, C11, C14, C16, C19, C20,	Rezistory
C25, C26, C27, C28 = 100nF	R1, R13 = 680Ω
C6, C9, C12, C15 = 100μF 25V	R2, R5, R7, R8 = 22KΩ
C7, C13 = 22μF 25V	R3, R6, = 1Ω
C17, C18 = 1μF 50V	R9 - R28 = 470Ω
C21, C29 = 220μF 25V	R29 - R48 = 4k7Ω
C22, C24, C30, C32 = 10μF 25V	R49, R59 = 1KΩ
C23, C31 = 4,7μF 50V	R50, R58 = 33KΩ
Diody	R51, R57 = 68Ω
D1-D4 = 1N4001	R53, R60 = 18KΩ
D5 - D13, D36 - D44 = 1N4148	R54, R55 (Trimry) = 220KΩ
D14, D15, D45, D46 = BAT 43	R56, R52 = 2k7Ω
D16 - D35 = LED dioda	
Tranzistory	
T2, T14 = BC550C TO92	



Obr. 1: Schéma zapojení zesilovače, zdroje a indikátorů vybuzení

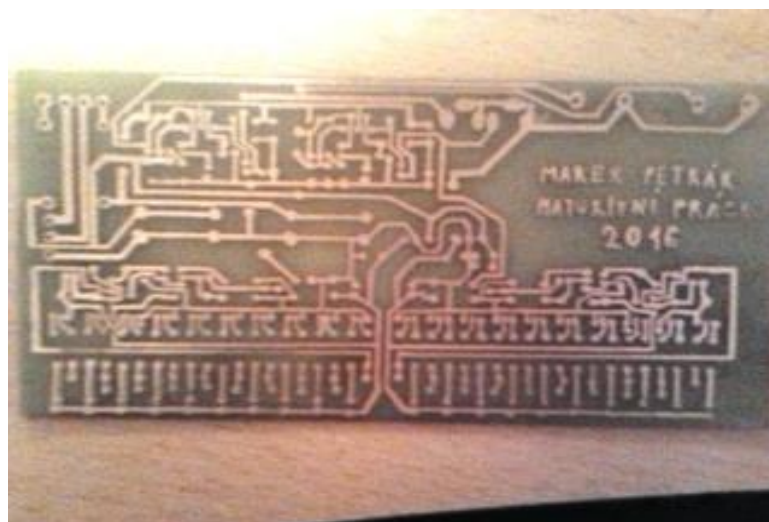
5. Výroba desky plošných spojů

Na základě celkového schématu jsem provedl návrh desky plošných spojů, který jsem si vytisknul v měřítku odpovídající Cuprexitu a to cca 200x100 mm. Vytisknutý návrh jsem přilepil na každé straně a důlčičkem jsem si vyklepал všechny body, kde se bude později vrtat. Poté jsem nakreslil propojení mezi body podle schématu. Kreslení desky plošných spojů a vydůlčikované propoje můžeme vidět na obrázku č. 2.



Obr. 2: Označení desky – body propojení, kreslení vodivých cest

Když bylo vše nakresleno a zkontrolováno, mohlo se začít leptat. Pro leptání desky plošných spojů jsem použil FeCl_3 (roztok chloridu železitého), který desku vyleptal za cca 20 minut. Po vyleptání a očištění bylo provedeno vrtání (to můžeme vidět na obrázku č. 3).



Obr. 3: Vyleptaná deska plošných spojů, vrtání děr

6. Osazení desky plošných spojů

Po kompletním vyvrtání jsem přistoupil k osazování. Raději jsem pracoval pomalu a pečlivě, aby bylo vše správně osazeno. Nejprve se osadil napájecí zdroj (obrázek č. 4), který jsem následně odzkoušel a proměřil. Při odměření vše fungovalo, jak mělo a proto bylo možné dál osazovat, jak samotný zesilovač, tak i indikátory vybuzení.

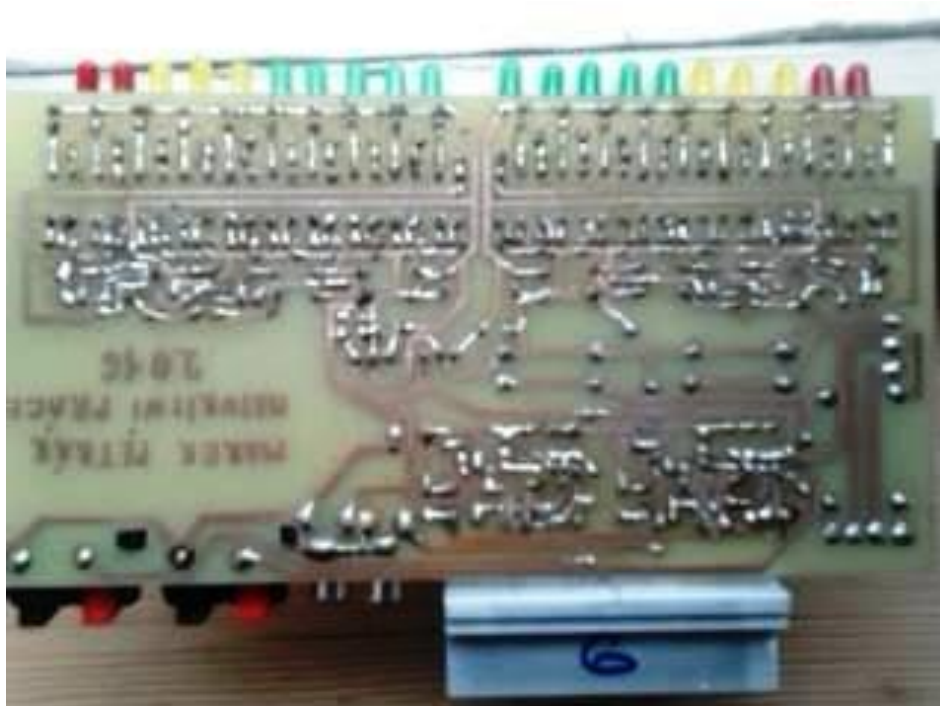


Obr. 4: Osazení napájecího zdroje

Na obrázku číslo 5 je vidět, jak vypadá hotová a celá deska plošných spojů osazená z přední strany, ještě bez chladiče, na obrázku číslo 6 můžeme vidět hotovou desku plošných spojů ze spodní strany už i s chladičem. Po kompletním osazení desky plošných spojů je třeba zkontrolovat veškeré součástky, zda jsou správně umístěny a nikde se nespojily jejich cestičky plošné spoje. Pokud je všechno zkontrolováno a v pořádku, může přijít první celková zkouška. A tímto byly výkonový zesilovač se zdrojem a dvěma indikátory vybuzení hotovy a mohl jsem přistoupit k odměření vlastností a zkušebnímu provozu.

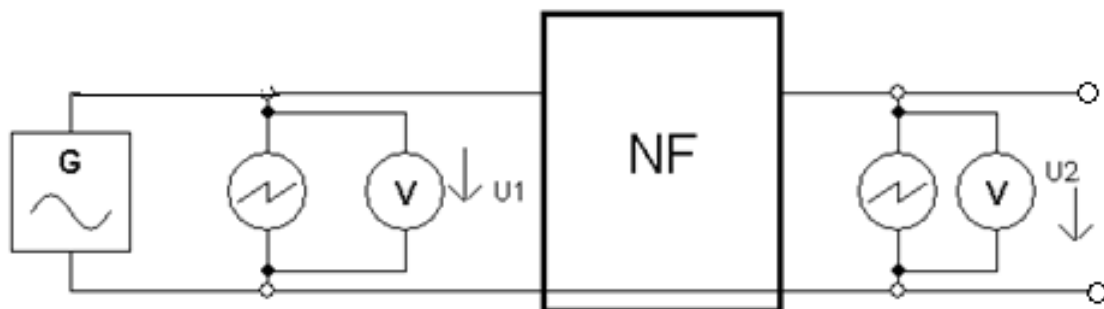


Obr. 5: Osazení desky plošných spojů – přední strana



Obr. 6: Osazení desky plošných spojů – spodní strana

7. Ověřování vlastnosti zesilovače



Obr. 7: Schéma pro ověření vlastností zesilovače

7.1. Měření transformátoru a zdroje na desce plošných spojů

Zapojení samotného zdroje na desce plošných spojů vidíme na obrázku č. 4. Tento zdroj byl zapojen a vyzkoušený, aby se zjistilo, jestli funguje sám o sobě a zda funguje správně transformátor. V zapojení transformátor a zdroj na desce plošných spojů na prázdko se naměřilo na sekundární cívce proti zemi 2x 14V i když je psáno, že maximální napětí na sekundární cívce je 2x12V. Na usměrňovacím můstku bylo naměřeno +18,8V a -18,8V. Zesilovač je schopen pracovat od 4,5V do 20V symetrického napájení. Takže 19V je ideální ale při zatížení to o něco poklesne. Napětí na dvou stabilizátorech každý pro svůj indikátor vybuzení, bylo 12,1V a indikátory pracují na 12V.

7.2. Naměřené hodnoty na zesilovači

K zesilovači byl připojený generátor frekvence. Do nízkofrekvenčního výkonového zesilovače byl puštěn různý kmitočet a sledovalo se výstupní napětí, které se měřilo vysokofrekvenčním voltmetrem. Zmíněný nízkofrekvenční výkonný zesilovač má pracovat v rozsahu 22Hz až 22kHz a v tabulce 2 můžeme vidět, že i ve větším frekvenčním pásmu zesilovač pracuje ještě slušně.

Tabulka 2 : Měření frekvenční amplitudové charakteristiky

f (Hz)	U_2 (V)
20	0,235
30	0,260
50	0,271
100	0,275
300	0,286
500	0,287
1000	0,281

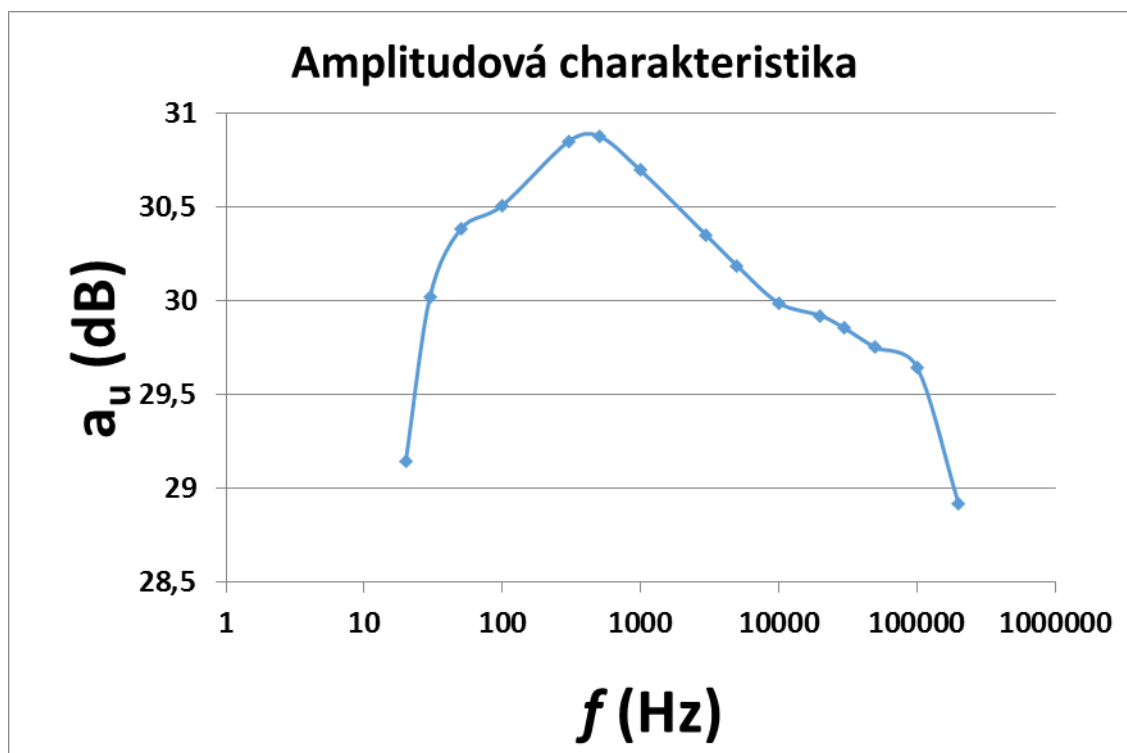
3000	0,270
5000	0,265
10000	0,256
20000	0,257
30000	0,255
50000	0,252
100000	0,249
200000	0,228

7.3. Vypočet amplitudové charakteristiky

Tabulka 3 : Vypočtené hodnoty amplitudové charakteristiky

f (Hz)	$ A_U $ (-)	a_U (dB)
20	28,66	29,15
30	31,71	30,02
50	33,05	30,38
100	33,54	30,51
300	34,88	30,85
500	35,00	30,88
1000	34,27	30,70
3000	32,93	30,35
5000	32,32	30,19
10000	31,59	29,99
20000	31,34	29,92
30000	31,10	29,85
50000	30,73	29,75
100000	30,37	29,65
200000	27,80	28,88

8. Grafická závislost



Obr. 8 : Frekvenční závislost napěťového zisku

9. Závěr

Realizace výkonového zesilovače se povedla. Dosahuje slušných vlastností. Jako na celek jsem k tomu vyrobil i krabici, ve které je vše uloženo a tudíž i ochráněno před jakýmkoliv nebezpečím, ať už lidí nebo samotného zesilovače. Zesilovač dobře pracuje i na kmitočtech vyšších, než odpovídá akustickému pásmu.

Při návrhu obvodového schématu jsem se rozhodl, že na indikátory vybuzení bude přiveden vstupní signál zesilovače. To má za následek, že při malém vstupním signálu jsou indikátory vybuzení nečinné. Aby začaly pracovat, musí na ně být přiveden větší vstupní signál. Větší vstupní signál rozbliká indikátory vybuzení. Pokud by někomu vadilo, že indikátory vybuzení pracují až na velké hlasitosti, muselo by se na indikátory vybuzení místo vstupního signálu do indikátorů přivést výstupní signál ze zesilovače a citlivost pak nastavit trimry, které jsou součástí indikátorů.

10. Zdroje a použité materiály

1. Pietschmann, D.: Laboratorní úloha nízkofrekvenční zesilovač [online]. Vyšší odborná škola, Střední průmyslová škola a Střední odborná škola služeb a cestovního ruchu, Varnsdorf, 2012. [Cit. 20. 9. 2014]. Dostupné z URL:
www.intranet.skolavdf.cz/index.php?p=4100
2. Fusek, L.: Nízkofrekvenční zesilovač [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky, Zlín, 2006. [Cit. 14. 2. 2016]. Dostupné z URL:
http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/668/fusek_2006_bp.pdf?sequence=1