



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

STEREOFONNÍ AUDIO ZESILOVAČ S VÝSTUPNÍM VÝKONEM 2 X 120 W / 4 OHMY VE TŘÍDĚ AB

CLASS AB STEREO AUDIO AMPLIFIER WITH OUTPUT POWER 2 X 120 W / 4 OHMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matúš Pavlovič

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**
specializace Zvuková produkce a nahrávání
Ústav telekomunikací

Student: Matúš Pavlovič

ID: 212570

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Stereofonní audio zesilovač s výstupním výkonem 2 x 120 W / 4 ohmy ve třídě AB

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce navrhnete blokovou a obvodovou strukturu stereofonního audio zesilovače ve třídě AB s výstupním výkonem cca 2 x 120 W / 4 ohmy a nízkým harmonickým a intermodulačním zkreslením, který by integroval vstupní analogové obvody s přepínatelnou citlivostí, indikaci úrovně vybuzení, frekvenční korekce, koncový stupeň v diskrétním provedení a ochranu zesilovače a připojených reproduktorů.

V praktické části práce vytvořte kompletní konstrukční podklady k realizaci návrhu (schéma zapojení, návrh desky plošného spoje, rozložení a soupiska součástek, atd.). Navržený audio zesilovač realizujte formou funkčního prototypu a experimentálními měřeními v laboratoři audio elektroniky ověřte jeho činnost. Výsledky měření zpracujte formou standardního protokolu o měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] WIRSUM, S. Abeceda nf techniky. Praha: BEN – technická literatura, 2003.
- [2] KOTISA, Z. NF zesilovače – 3. díl Tranzistorové výkonové zesilovače. BEN – technická literatura, Praha, 2003.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 31.5.2022

Vedoucí práce: prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

V tejto bakalárskej práci sa budeme zaoberať návrhom stereofónneho zosilňovača s výkonovým stupňom v pracovnej triede AB s menovitým výkonom $2 \times 120 \text{ W} / 4 \Omega$. Samotný audio zosilňovač sme sa rozhodli koncipovať do blokov, pričom jednotlivé bloky môžeme v prípade potreby rozšíriť o ďalšie. V prvej kapitole si navrhujeme kmitočtové korekcie pre audio zosilňovač s použitím operačných zosilňovačov. V druhej kapitole si navrhujeme indikáciu vybudenia audio zosilňovača, za použitia integrovaného obvodu LM3915 v zapojení s LED diódami. V tretej kapitole si navrhujeme samotný výkonový stupeň audio zosilňovača pracujúceho v triede AB s výkonom 120 W. V štvrtej kapitole si navrhujeme ochranu pripojenej reprosústavy k zosilňovaču. V šiestej kapitole navrhujeme napájacie obvody pre audio zosilňovač. V ďalších kapitolách bude popísaná realizácia a meranie navrhnutého audio zosilňovača.

Kľúčové slová

Stereofónny zosilňovač, kmitočtové korekcie, ochrana reprosústavy, indikácia vybudenia.

Abstract

In this bachelor thesis we will deal with the design of a stereo amplifier with a power stage in working class AB with a nominal power of $2 \times 120 \text{ W} / 4 \Omega$. We decided to design the audio amplifier itself into blocks, while we can expand the individual blocks by others if necessary. In the first chapter we propose frequency corrections for an audio amplifier using operational amplifiers. In the second chapter we will propose an indication of the excitation of the audio amplifier, using the integrated circuit LM3915 in connection with LED diodes. In the third chapter we will design the power stage of the audio amplifier operating in class AB with a power of 120 W. In the fourth chapter we will design the protection of the connected speaker to the amplifier. In the sixth chapter we will design the power circuits for the audio amplifier. The next chapters will describe the implementation and measurement of the proposed audio amplifier.

Keywords

Stereo amplifier, frequency corrections, speaker protection, excitation indication.

Bibliografická citácia

PAVLOVIČ, Matúš. *Stereofonní audio zesilovač s výstupním výkonem 2 x 120 W / 4 ohmy ve třídě AB* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-30]. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/141292>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Matúš Pavlovič*

VUT ID studenta: *212570*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2021/22*

Téma závěrečné práce: *STEREOFONNÍ AUDIO ZESILOVAČ S
VÝSTUPNÍM VÝKONEM 2 X 120 W / 4 OHMY VE TŘÍDĚ AB*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 31.5. 2022

podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D. za metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a cenné rady pri tvorbe mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa: 31.5. 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK.....	10
1. ÚVOD.....	11
2. NASTAVENIE CITLIVOSTI, FREKVENČNÉ KOREKCIE	13
2.1 POPIS OBVODU FREKVENČNÝCH KOREKCIÍ.....	13
2.2 NÁVRH KMITOČTOVÝCH KOREKCIÍ	13
3. INDIKÁCIA VYBUDENIA.....	18
3.1 POPIS OBVODU INDIKÁCIE VYBUDENIA.....	18
3.2 NÁVRH OBVODU INDIKÁCIE VYBUDENIA	18
4. VÝKONOVÝ STUPEŇ	20
4.1 POPIS OBVODU VÝKONOVÉHO STUPŇA	20
4.2 NÁVRH OBVODU VÝKONOVÉHO STUPŇA	20
5. OCHRANA ZOSILŇOVAČA A PRIPOJENEJ REPROSÚSTAVY.....	25
5.1 POPIS OBVODU OCHRANY ZOSILŇOVAČA A PRIPOJENEJ REPROSÚSTAVY	25
5.2 NÁVRH OBVODU OCHRANY ZOSILŇOVAČA A PRIPOJENEJ REPROSÚSTAVY	25
6. NAPÁJACIE ZDROJE.....	27
6.1 ZDROJ SYMETRICKÉHO NAPÄTIA PRE VÝKONOVÝ STUPEŇ.....	27
6.2 ZDROJ SYMETRICKÉHO NAPÄTIA PRE KMITOČTOVÉ KOREKCIE.....	28
7. PRAKTICKÁ ČASŤ.....	30
7.1 PRAKTICKÁ ČASŤ VÝROBY KMITOČTOVÝCH KOREKCIÍ.....	30
7.1 PRAKTICKÁ ČASŤ VÝROBY INDIKÁCIE VYBUDENIA	31
7.2 PRAKTICKÁ ČASŤ VÝROBY VÝKONOVÉHO STUPŇA.....	32
8. NAMERANÉ HODNOTY AUDIOZOSILŇOVAČA	34
8.1 MERANIE MODULOVÝCH KMITOČTOVÝCH CHARAKTERISTÍK	34
8.2 MERANIE MAXIMÁLNEHO ZOSILNENIA AUDIOZOSILŇOVAČA	39
9. ZÁVER.....	41
LITERATURA.....	42
SEZNAM PŘÍLOH.....	43

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Návrh blokovej schémy audio zosilňovača s výkonom 2x 120 W/ 4 Ω	12
Obrázek 2 Návrh kmitočtových korekcií audiozosilňovača	14
Obrázek 3 Schéma kmitočtových korekcií v programe Microcap	16
Obrázek 4 Modulová kmitočtová charakteristika kmitočtových korekcií v programe Microcap	17
Obrázek 5 Návrh dosky plošných spojov kmitočtových korekcií (Pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmer 149,86 x 45,39 mm, M 1:1).....	17
Obrázek 6 Zapojenie obvodu indikácie vybudenia na kontaktnom poli	19
Obrázek 7 Návrh indikácie vybudenia audiozosilňovača	19
Obrázek 8 Návrh dosky indikácie vybudenia audiozosilňovača (pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmer 53,34 x 36,83 mm, M 1:1).....	19
Obrázek 9 Návrh výkonového stupňa zosilňovača	21
Obrázek 10 Schéma koncového stupňa v programe Microcap	23
Obrázek 11 Modulová kmitočtová charakteristika výkonového stupňa audio zosilňovača v programe Microcap	24
Obrázek 12 Návrh dosky plošných spojov výkonového stupňa (pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmery 99,06 x 63,50 mm, M 1:1).....	24
Obrázek 13 Návrh ochrany zosilňovača a pripojenej reprosústavy	26
Obrázek 14 Návrh dosky plošných spojov ochrany zosilňovača a pripojenej reprosústavy (pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmer 74,60 x 33,01 mm, M 1:1)	26
Obrázek 15 Návrh zdroja symetrického napätia pre koncový stupeň	27
Obrázek 16 Návrh dosky plošných spojov zdroja symetrického napätia pre koncový stupeň (pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmer 112,70 x 68,57 mm, M 1:1)	28
Obrázek 17 Návrh dosky plošných spojov zdroja symetrického napätia pre kmitočtové korekcie (pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmer 80,01 x 30,48 mm, M 1:1)	29
Obrázek 18 Fotodokumentácia z laboratória obvodu kmitočtových korekcií audio zosilňovača pripojeného na stabilizované zdroje, generátor, a osciloskop	30
Obrázek 19 Snímka osciloskopu vstupných a výstupných napätí obvodu kmitočtových korekcií.	31
Obrázek 20 Doska plošných spojov indikácie vybudenia koncového stupňa.	31
Obrázek 21 Doska plošných spojov koncového stupňa audio zosilňovača pripojeného na stabilizované zdroje.....	32
Obrázek 22 Pohľad na meracie pracovisko, na ktorom používame generátor Tesla BM534, osciloskop Kikusui 7060A, 4 Ω záťaž, a koncový stupeň audiozosilňovača.	33
Obrázek 23 Meranie audiozosilňovača v priestore Ústavu radioelektroniky FEKT VUT v Brne	34
Obrázek 24 Schéma zapojenia kmitočtových korekcií audiozosilňovača.....	44
Obrázek 25 Schéma zapojenia výkonového stupňa audiozosilňovača	45
Obrázek 26 Schéma zapojenia indikácie vybudenia	46
Obrázek 27 Schéma zapojenia ochrany pripojenej reprosústavy audiozosilňovača	46
Obrázek 28 Schéma zapojenia zdroja symetrického napätia pre koncový stupeň	46
Obrázek 29 Schéma zapojenia zdroja symetrického napätia pre kmitočtové korekcie	47
Obrázek 30 Návrh spojov kmitočtových korekcií, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 149,86 x 45,39 mm, M 1:1).....	48
Obrázek 31 Návrh spojov koncového stupňa, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 99,06 x 63,50 mm, M 1:1).....	48
Obrázek 32 Návrh spojov indikácie vybudenia, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 53,34 x 36,83 mm, M 1:1).....	49

Obrázek 33 Návrh spojov ochrany pripojenej reprosústavy, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 74,60 x 33,01 mm, M 1:1).....	49
Obrázek 34 Návrh spojov symetrického zdroja pre koncový stupeň, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 112,70 x 68,57 mm, M 1:1).....	49
Obrázek 35 Návrh spojov symetrického zdroja pre kmitočtové korekcie, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 79,38 x 30,48 mm, M 1:1)	50
Obrázek 36 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov kmitočtových korekcií (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)	51
Obrázek 37 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov výkonového stupňa audiozosilňovača (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)	52
Obrázek 38 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov indikácie vybudenia audiozosilňovača, (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)	52
Obrázek 39 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov ochrany pripojenej reprosústavy audiozosilňovača, (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)	52
Obrázek 40 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov symetrického zdroja pre koncový stupeň, (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)	53
Obrázek 41 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov symetrického zdroja pre kmitočtové korekcie, (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1).....	53

SEZNAM TABULEK

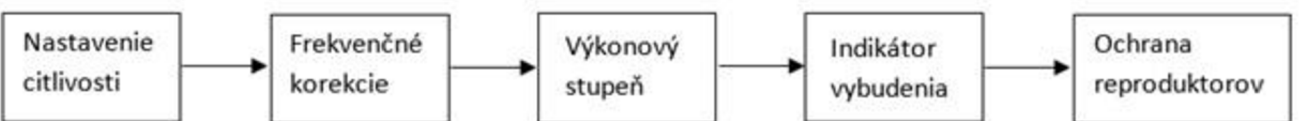
Tabulka 1 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky bez korekcií	35
Tabulka 2 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky so zdôraznením hlbokých kmitočtov	36
Tabulka 3 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky s potlačením hlbokých kmitočtov	37
Tabulka 4 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky so zdôraznením vysokých kmitočtov	38
Tabulka 5 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky s potlačením vysokých kmitočtov	39
Tabulka 6 Zoznam súčiastok kmitočtových korekcií.....	54
Tabulka 7 Zoznam súčiastok výkonového stupňa	55
Tabulka 8 Zoznam súčiastok indikácie vybudenia	56
Tabulka 9 Zoznam súčiastok ochrany zosilňovača a pripojenej reprosústavy	57
Tabulka 10 Zoznam súčiastok symetrického zdroja pre koncový stupeň	57
Tabulka 11 Zoznam súčiastok symetrického zdroja pre kmitočtové korekcie.....	57

1. ÚVOD

Cieľom tejto práce je navrhnuť stereofónny zosilňovač s výkonovým stupňom v pracovnej triede AB, spolu s kmitočtovými korekciami, indikáciou vybudenia výkonového stupňa a obvodom na ochranu reprosústavy. Návrh stereofónneho zosilňovača som si vybral, nakoľko audiotechnika ma baví a zaujíma, a taktiež som nenašiel na komerčnom trhu audio zosilňovač ktorý by obsahoval všetky moduly v jednom celku. Pri návrhu som prišiel k záveru, že jednotlivé časti audio zosilňovača chcem navrhnuť modulárne, tak aby sa dali v prípade potreby rozšíriť o ďalšie časti.

V jednotlivých kapitolách si popíšeme každú časť audio zosilňovača, návrh, popis činnosti a požadované parametre. Bloková schéma obsahuje niekoľko modulov:

- Regulácia citlivosti
- Kmitočtové korekcie
- Indikátor vybudenia
- Výkonový stupeň
- Ochrana výkonového stupňa
- Ochrana pripojenej reprosústavy



Obrázek 1 Návrh blokovej schémy audio zosilňovača s výkonom 2x 120 W/ 4 Ω.

2. NASTAVENIE CITLIVOSTI, KMITOČTOVÉ KOREKCIE

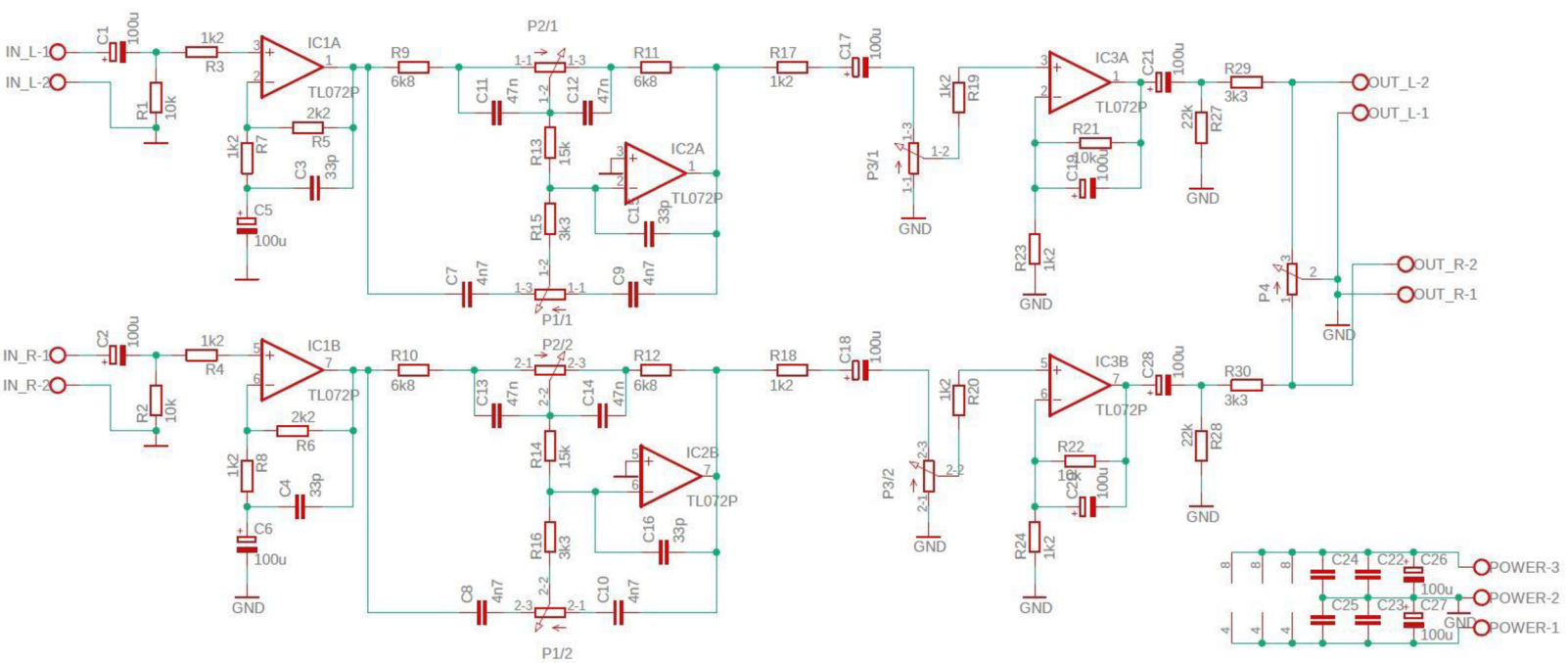
V tejto kapitole navrhujeme kmitočtové korekcie pre stereofónny zosilňovač vrátane regulácie hlasitosti nízko-frekvenčného signálu.

2.1 Popis obvodu kmitočtových korekcií

Cieľom návrhu korekčného obvodu bola požiadavka regulovať amplitúdu stereofónneho signálu rôznych kmitočtov vzhľadom k referenčnému kmitočtu a pritom zabezpečiť aj možnosť regulovať samotnú amplitúdu signálu. Možnosť regulácie bola navrhnutá prostredníctvom operačných zosilňovačov pre ich elektrické parametre, jednoduché zapojenie a nízke skreslenie. Kmitočtové korekcie sme navrhli s použitím troch operačných zosilňovačov na 1 kanál, pričom prvý operačný zosilňovač má za úlohu zosilniť vstupný signál – slúži na kompenzáciu útlmu pasívneho korekčného členu. Druhý operačný zosilňovač zabezpečuje impedančné prispôsobenie kmitočtových korekcií. Tretí operačný zosilňovač má za úlohu zosilniť kmitočtovo upravený signál za účelom prispôsobenia k citlivosti koncového stupňa zosilňovača. Veľkosť amplitúdy výstupného signálu regulujeme pomocou potenciometra P_3 .

2.2 Návrh kmitočtových korekcií

Navrhnutá elektrická schéma bola nakreslená v programe EAGLE a následne bola v tomto programe navrhnutá doska plošných spojov. Na obrázku č.2 môžeme vidieť schému korekcií [4].



Obrázek 2 Návrh kmitočtových korekcii audiozosiľňovača.

Vstupný signál privádzame na svorky *IN_L/IN_R*. Kondenzátory *C₁* a *C₂* nám slúžia na oddelenie jednosmernej zložky od striedavej. Vstupný signál zosilňujeme operačným zosilňovačom *IC1A*, *IC1B*, pričom zosilnenie sme nastavili spätnou väzbou rezistormi *R₅* a *R₇* pre ľavý kanál, *R₆* a *R₈* pre pravý kanál. Výsledné zosilnenie ľavého kanálu sme vypočítali pomocou rovnice 1.1 [4.]:

(1.1)

$$A_u = 1 + \frac{R_5}{R_7} = 1 + \frac{2200}{1200} = 2.8$$

Kondenzátory *C₃* a *C₄* slúžia ako záporná spätná väzba na zabezpečenie stability a bránia rozkmitaniu operačného zosilňovača. Kondenzátory *C₅* a *C₆* nám slúžia ako frekvenčne závislá spätná väzba. Na výstupe operačného zosilňovača *IC1A*, *IC1B* je pripojený korekčný člen. Obvod korekčného člena v ľavom kanáli je realizovaný nasledovne :

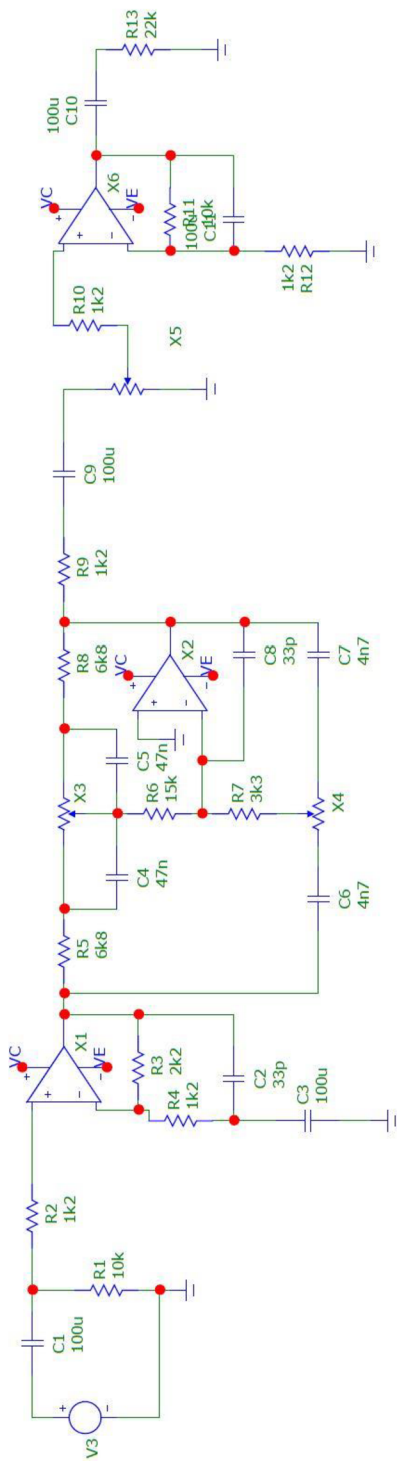
Reguláciu nízkych frekvencií realizujeme rezistormi *R₉*, *R₁₃*, *R₁₁*, potenciometrom *P2/I* a kondenzátormi *C₁₁* a *C₁₂*.

Reguláciu vysokých frekvencií realizujeme rezistorom *R₁₅*, potenciometrom *P1/I* a kondenzátormi *C₇* a *C₉*.

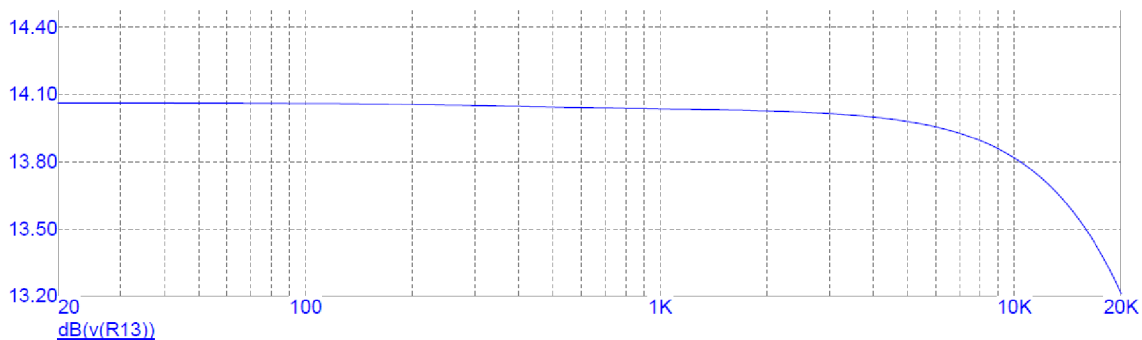
Keď nastavíme bežec na potenciometroch *P1* a *P2* do stredu odporovej dráhy, tak bude zosilnenie nízkych a vysokých frekvencií 0 dB, takže nebude dochádzať k poklesu a ani zosilneniu signálu (rovná modulová kmitočtová charakteristika). Ak posunieme bežec na potenciometri *P1* k rezistoru *R₉*, tak zosilnenie nízkych (basových) frekvencií sa zvýši. Ak presunieme bežec na potenciometri *P1* ku kondenzátoru *C₈*, tak príde k zvýšeniu zosilnenia vysokých frekvencií.

Kondenzátory *C₁₅* a *C₁₆* zvyšujú frekvenčnú stabilitu operačného zosilňovača *IC2A*, *IC2B*. Za kmitočtovými korekčiami sú osadené oddeľovacie kondenzátory *C₁₇* pre ľavý kanál a *C₁₈* pre pravý kanál, ktoré nám oddeľujú jednosmernú zložku od striedavej, pričom zabraňujú prechodu jednosmernej zložky na potenciometer *P3* a tým zabránime možnému vzniku nežiadúcich rušivých vplyvov. Potenciometer *P3* nám slúži na reguláciu zosilnenia signálu v ľavom a pravom kanáli – slúži nám na reguláciu hlasitosti. Za potenciometrom *P3* je osadený operačný zosilňovač *IC3A*, *IC3B* ktorý nám zosilňuje výstupný signál na výstupe korekcií a to v pomere rezistorov *R₂₁* a *R₂₃*. Výstupné napätie zodpovedá vstupnému napätiu nutnému pre vybudenie koncového stupňa na menovitý výkon. Rezistory *R₂₉* a *R₃₀* slúžia ako ochrana výstupu operačného zosilňovača *IC3A*, *IC3B* proti skratu. Potenciometrom *P4* regulujeme zosilnenie ľavého a pravého kanála – vyváženie stereofónneho signálu.

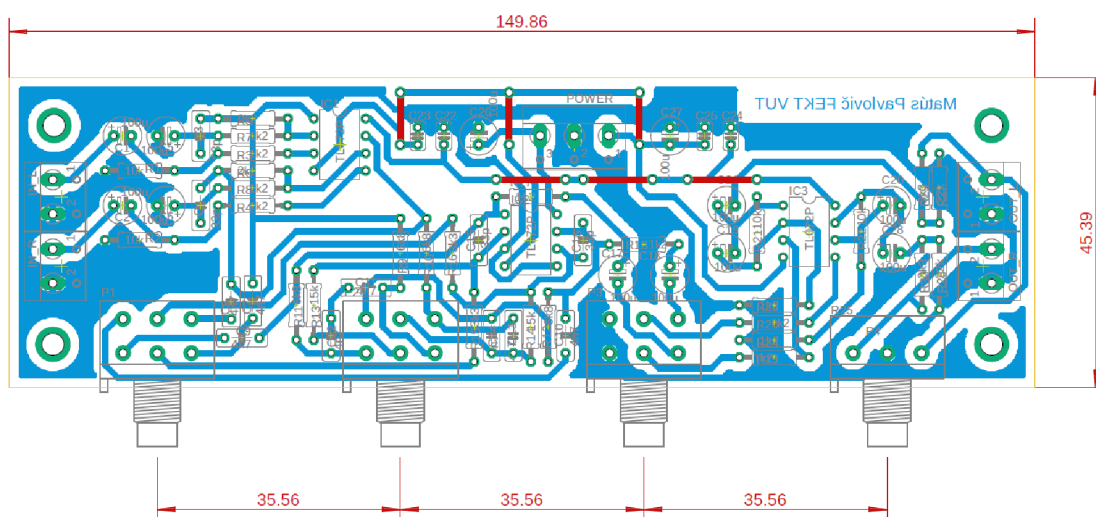
Funkčnosť obvodu kmitočtových korekcií audio zosilňovača sme si overili v programe Microcap, v ktorom sme jeho činnosť nasimulovali.



Obrázek 3 Schéma kmitočtových korekcií v programe Microcap



Obrázek 4 Modulová kmitočtová charakteristika kmitočtových korekcií v programe Microcap



Obrázek 5 Návrh dosky plošných spojov kmitočtových korekcií (Pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmer 149,86 x 45,39 mm, M 1:1)

Parametre kmitočtových korekcií :

- Napájacie napätie : +/- 12 V
- Kmitočtová charakteristika 20 Hz – 20 000 Hz
- Vstupná impedancia : 10 k Ω
- Výstupná impedancia : 5 k Ω
- Zdôraznenie a potlačenie korekcií : ± 14 dB

3. INDIKÁCIA VYBUDENIA

Obvod indikácie vybudenia u nízkofrekvenčných zosilňovačov slúži na indikáciu úrovne audio signálu. Spočiatku sme používali ručičkové indikátory v podobe tzv. VU metrov, v súčasnosti čoraz viac narazíme na zobrazenie úrovne pomocou LED diód. Z konštrukčného hľadiska tento obvod môže byť realizovaný minimálne 2 možnosťami.

Tou prvou je použitie tranzistora, ktorému budeme na bázu privádzať audio signál ktorý budeme indikovať, pričom na bázu tranzistora bude do série pripojený rezistor, pričom hodnota napätia bude postupne narastať na ďalšom tranzistore. Tento rezistor umiestnený v báze tranzistora bude určovať hodnotu napätia od ktorého má daná LED dióda svietiť.

Druhá možnosť je použitie integrovaných obvodov, ktoré boli navrhnuté práve pre tento účel. Jedným z nich je aj obvod LM3915 s ktorým sme navrhli naše zapojenie indikácie. Ide o 18 pinový integrovaný obvod, ktorý môže byť v DIL aj v SMD vyhotovení.

3.1 Popis obvodu indikácie vybudenia

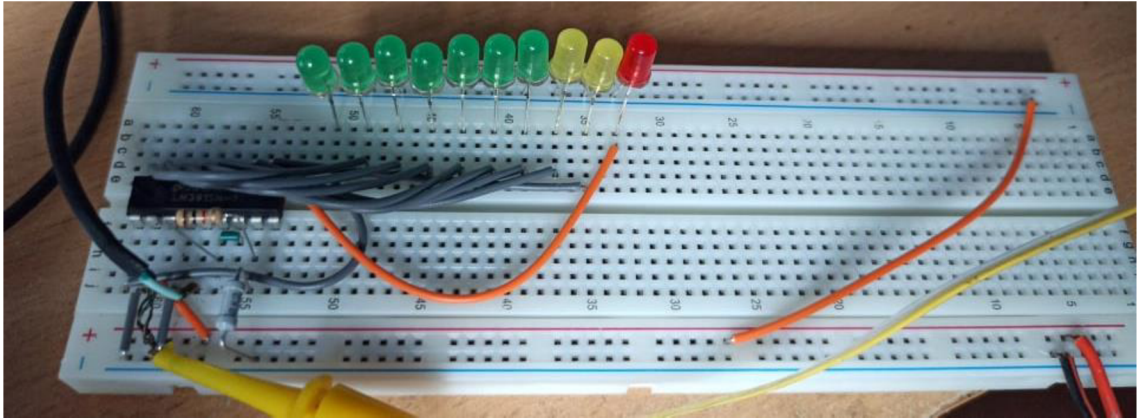
Integrovaný obvod LM3915 pracuje nasledovne : Obsahuje 10 operačných zosilňovačov, ktoré slúžia ako napäťové komparátory, pričom s narastajúcim napätím na vstupných pinoch budú výstupné piny postupne spínané na zem, pričom na tieto vývody pripájame katódy LED diód, ktoré postupne budú rozsvetované.

Výhodou takéhoto zapojenia je jeho jednoduchosť, prehľadnosť a funkčnosť. Integrovaný obvod LM3915 obsiahne rozsah zosilnenia 30dB, pričom každý vývod (LED dióda) predstavuje zmenu v audio signáli o 3dB.

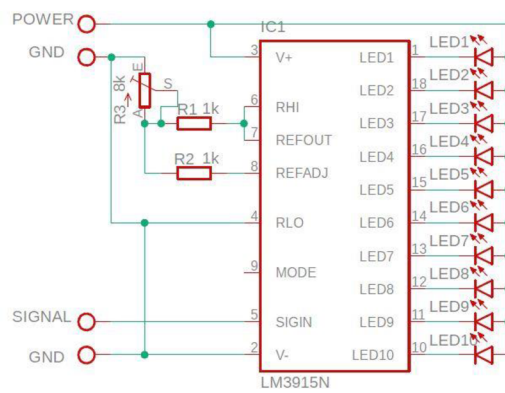
3.2 Návrh obvodu indikácie vybudenia

Pri návrhu obvodu sme vychádzali z odporúčaného zapojenia výrobcu [8]. Obvod sme navrhli vo verzii mono (pre 1 kanál), pričom pre naše potreby budeme potrebovať 2 takéto moduly. Schému a rovnako aj dosku plošných spojov sme spracovali v programe EAGLE.

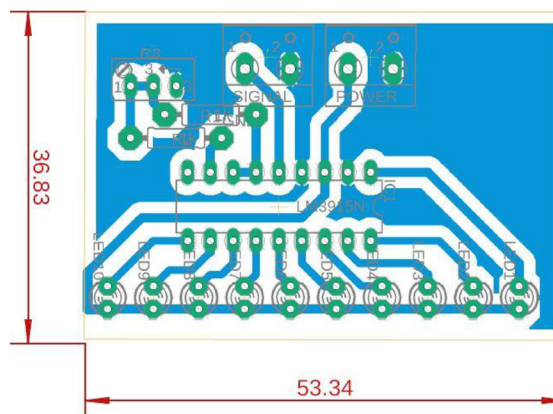
Funkčnosť obvodu sme si overili zapojením súčiastok na kontaktnom poli.



Obrázek 6 Zapojenie obvodu indikácie vybudenia na kontaktnom poli



Obrázek 7 Návrh indikácie vybudenia audiozosilňovača



Obrázek 8 Návrh dosky indikácie vybudenia audiozosilňovača (pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmer 53,34 x 36,83 mm, M 1:1)

4. VÝKONOVÝ STUPEŇ

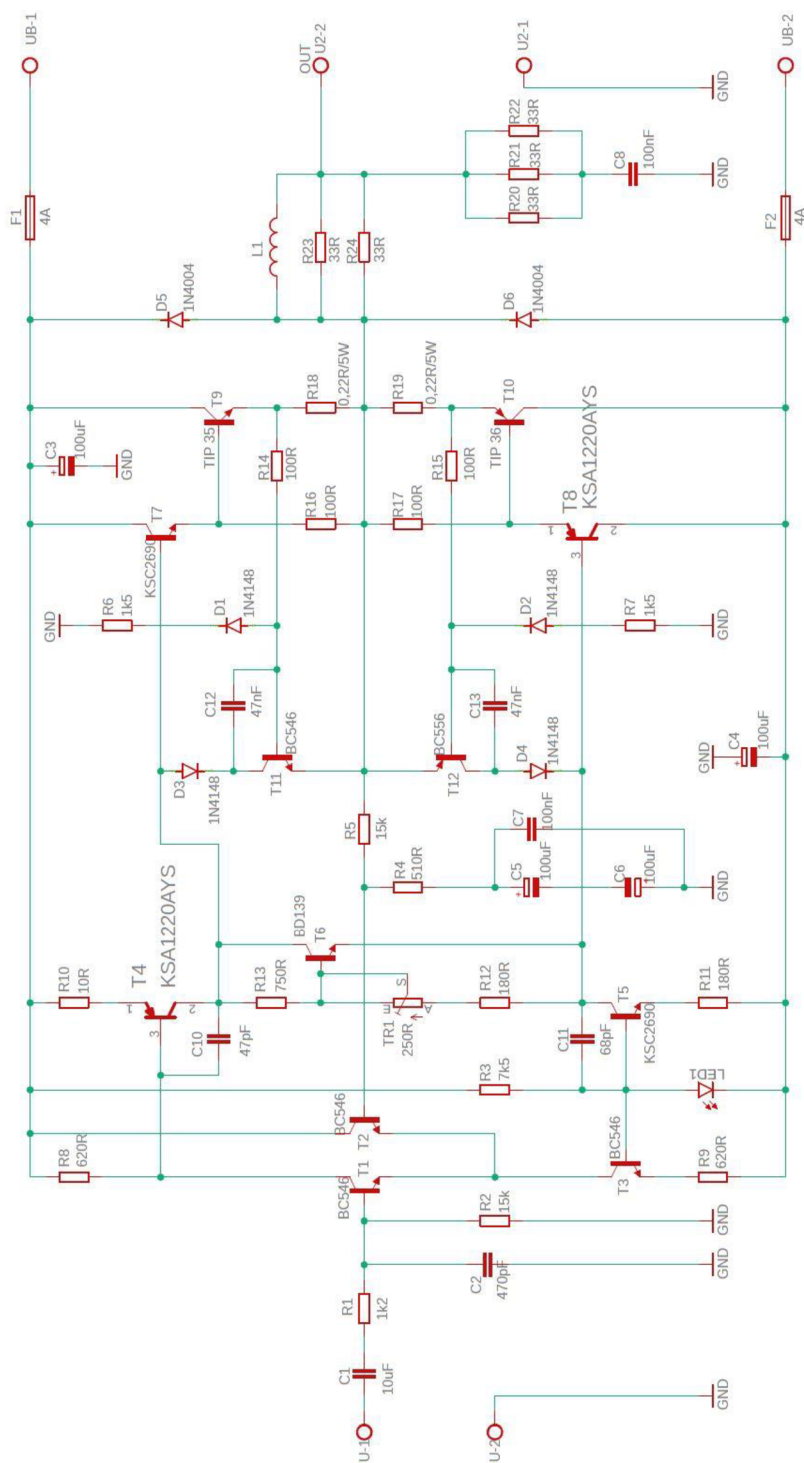
V tejto kapitole navrhujeme výkonový stupeň pre stereofónny zosilňovač. Schému zapojenia budeme navrhovať ako jeden kanál, pričom do samotného audio zosilňovača osadíme 2 rovnaké moduly, ktoré budú plniť funkciu stereo zosilňovača.

4.1 Popis obvodu výkonového stupňa

V našom návrhu nám pôjde o zosilnenie vstupného signálu (amplitúdy) a jeho dodanie do záťaže s požadovaným výkonom, pričom požadujeme dodržať fázu signálu, čo najmenšie harmonické a intermodulačné skreslenie, ďalej šírku pásma a účinnosť. Pre nami zadané parametre a podmienky sme zvolili pre výkonový stupeň symetrické napájanie, nakoľko výkonové tranzistory sú v komplementárnom zapojení a odpadá nutnosť použitia kondenzátora na výstupe.

4.2 Návrh obvodu výkonového stupňa

Návrh, respektíve samotná schéma a doska plošných spojov bola navrhnutá v programe EAGLE. Na obrázku č. 9 môžeme vidieť návrh výkonového stupňa audioszilňovača. [5].

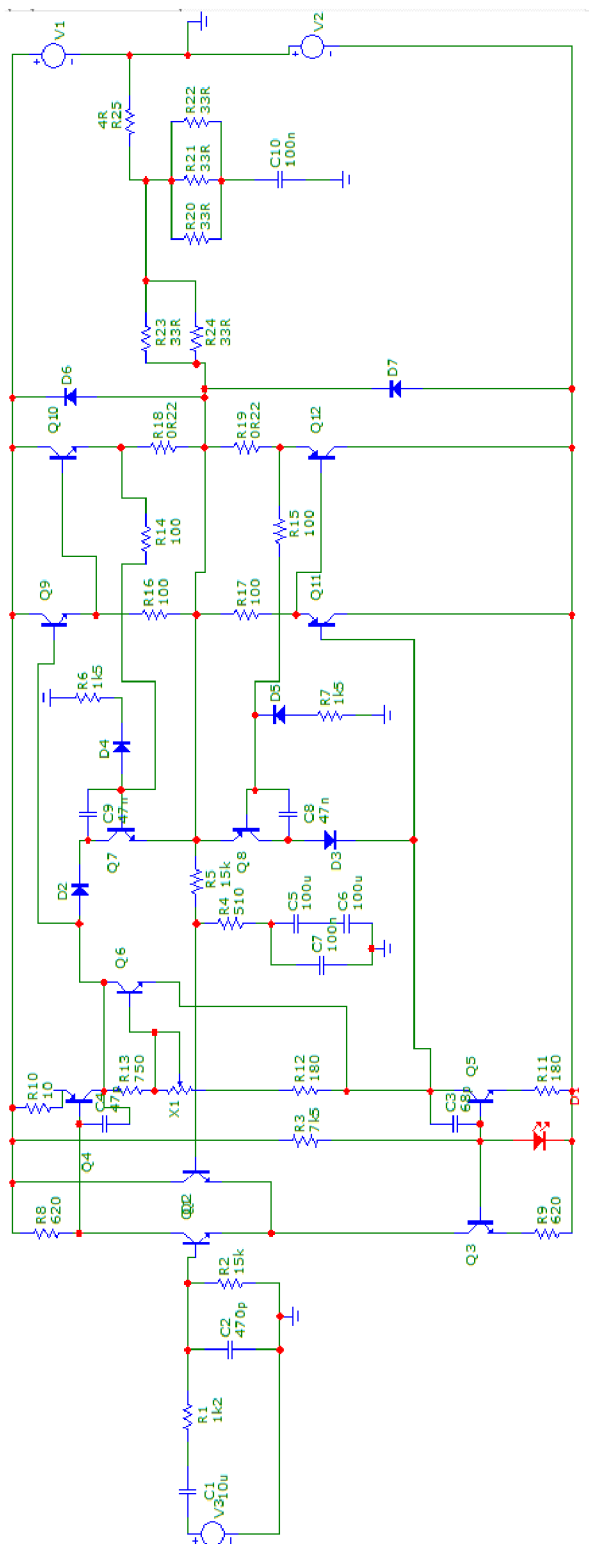


Obrázek 9 Návrh výkonového stupňa zosilňovača

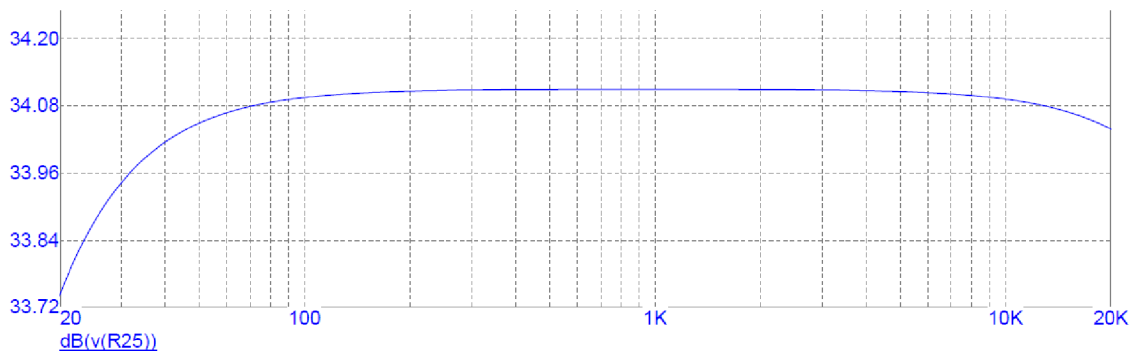
Za vstupnou svorkou je kondenzátor C_1 , ktorý slúži na oddelenie jednosmernej zložky od striedavej, následne rezistor R_1 a kondenzátor C_2 slúžia ako dolná priepust, ktorá potláča frekvencie vyššie ako 220 kHz a zvyšuje stabilitu zosilňovača. Tranzistory

T_1 a T_2 slúžia ako diferenciálny zosilňovač. Tranzistor T_1 je zapojený so spoločným emitorom, tranzistor T_2 so spoločnou bázou. Na toto zapojenie narazíme vo väčšine nízkofrekvenčných zosilňovačov. Tranzistor T_3 plní funkciu prúdového zdroja, ktorý napája tranzistory T_1 a T_2 . Veľkosť prúdu sme nastavili LED diódou LED_1 (červená) a rezistorom R_9 . Hodnota rezistoru R_3 určuje prúd LED diódou približne 5mA. Na rezistore sa vplyvom prietoku prúdu vytvorí úbytok napätia, ktorý určuje pracovný bod tranzistoru T_4 , ktorý plní funkciu vstupného napäťového zosilňovača. Tranzistor T_5 funguje ako prúdový zdroj pre tranzistor T_4 . Kondenzátory C_{10} a C_{11} slúžia na frekvenčnú kompenzáciu a zvyšujú stabilitu obvodu. Tranzistory T_7 a T_8 tvoria budiaci stupeň. V bázach týchto tranzistorov je taktiež obvod nadprúdovej poistky, pozostávajúci z diód D_1, D_2, D_3, D_4 a kondenzátormi C_{12} a C_{13} . Tranzistory T_7 a T_8 , rovnako tak aj T_9 a T_{10} , a taktiež T_{11} a T_{12} sú zapojené do Darlingtonovho zapojenia, pomocou ktorého dosahujeme veľké prúdové zosilnenie. Rezistormi v bázach a emitoroch tranzistorov na výkonových stupňoch určujeme pracovné body samotných tranzistorov. Na výstupe koncového zosilňovača je Boucherotov člen, ktorý zvyšuje stabilitu samotného zosilňovača. Pozostáva z rezistorov $R_{20}, R_{21}, R_{22}, R_{23}$, a R_{24} , a kondenzátora C_8 . Diódy D_5 a D_6 slúžia na potlačenie napäťových špičiek, ktoré vznikajú vplyvom indukčnosti basových reproduktorov.

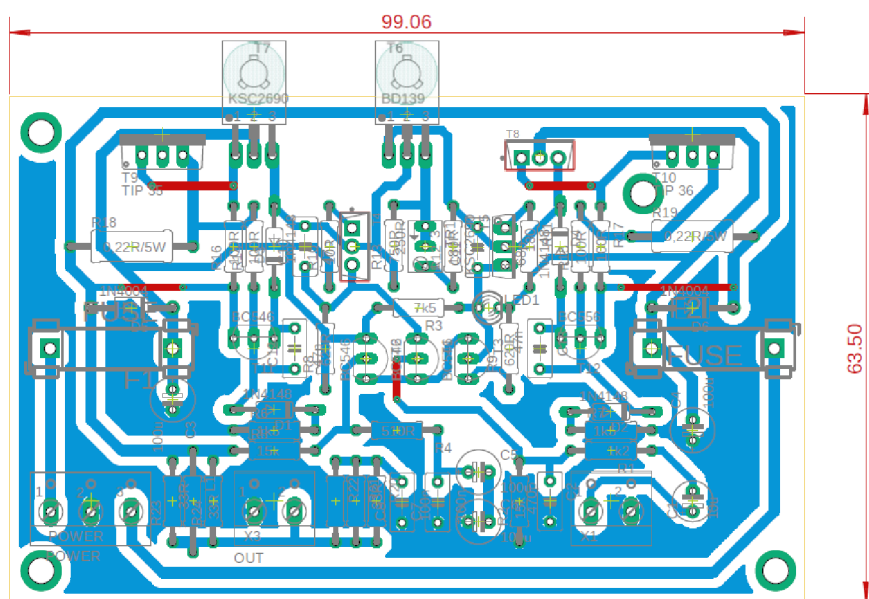
Funkčnosť obvodu výkonového stupňa audioszilňovača sme si pred výrobou odsimulovali v programe Microcap.



Obrázek 10 Schéma koncového stupňa v programe Microcap



Obrázek 11 Modulová kmitočtová charakteristika výkonového stupňa audio zosilňovača v programe Microcap



Obrázek 12 Návrh dosky plošných spojov výkonového stupňa (pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmery 99,06 x 63,50 mm, M 1:1)

Parametre výkonového stupňa :

- Napájacie napätie : max. ± 40 V
- Menovitý výstupný výkon 120 W/4 Ω
- Kmitočtová charakteristika : 20 Hz – 20 000 Hz
- Vstupná citlivosť pre menovitý výst. výkon : 0,6 V

5. OCHRANA ZOSILŇOVAČA A PRIPOJENEJ REPROSÚSTAVY

V tejto kapitole navrhujeme ochranu k zosilňovaču pripojenej reprosústavy. Úlohou tejto ochrany je oneskorene pripojiť reprosústavu k zosilňovaču, čím zabránime prechodu neustáleného napätia zosilňovača (napät'ovej špičky), ktorá môže vzniknúť pri zapnutí zosilňovača. Na tento jav môžeme naraziť pri niektorých zosilňovačoch, kde pri zapnutí môžeme na reprosústavách počuť takzvané „lupnutie“, čo poškodzuje najmä hĺbkový reproduktor.

5.1 Popis obvodu ochrany zosilňovača a pripojenej reprosústavy

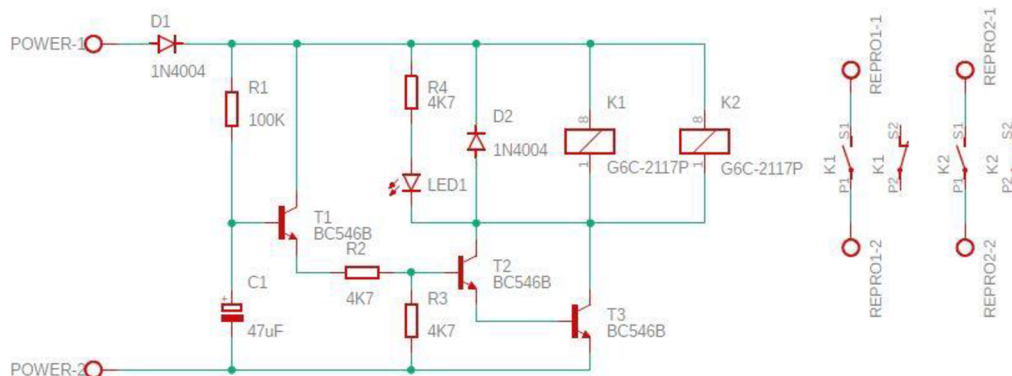
Obvod ochrany zosilňovača a pripojenej reprosústavy je veľmi jednoduchý. Používa princíp použitia tranzistora ako spínača. V okamihu, keď na obvod pripojíme napätie, dôjde k nabíjaniu kondenzátora C_1 cez rezistor R_1 . V okamihu nabitia kondenzátora C_1 sa tranzistor T_1 zopne, a následne zopne tranzistory T_2 a T_3 . Tranzistor T_3 zopne relé, čo zároveň signalizuje aj LED dióda.

Oneskorenie pripojenia sústavy môžeme vypočítať, prípadne aj meniť pomocou časovej konštanty podľa rovnice 1.2 :

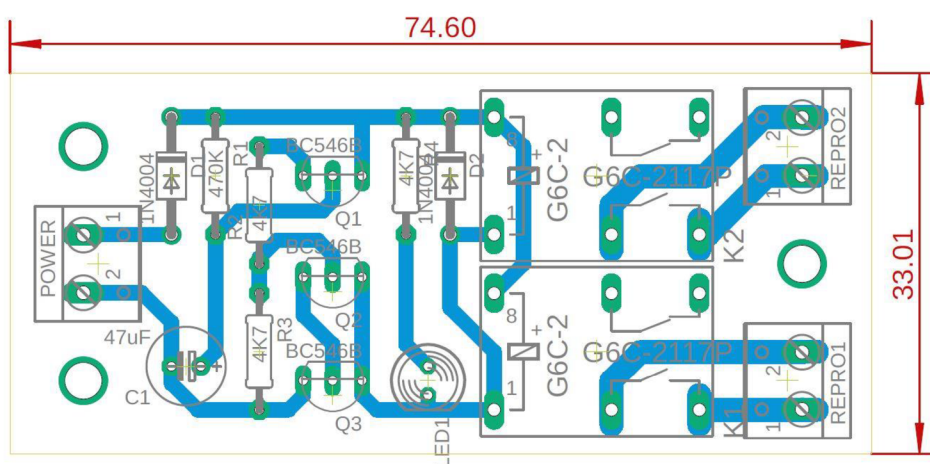
$$\tau = R_1 \cdot C_1 = 100 \cdot 10^3 \cdot 0,47 \cdot 10^{-6} = 4,7 \text{ s} \quad (1.2)$$

5.2 Návrh obvodu ochrany zosilňovača a pripojenej reprosústavy

Návrh, respektíve samotná schéma a doska plošných spojov bola realizovaná v programe EAGLE. Na obrázku č.13 môžeme vidieť navrhnutú ochranu zosilňovača a pripojenej reprosústavy [7].



Obrázek 13 Schéma ochrany zosilňovača a pripojenej reprosústavy



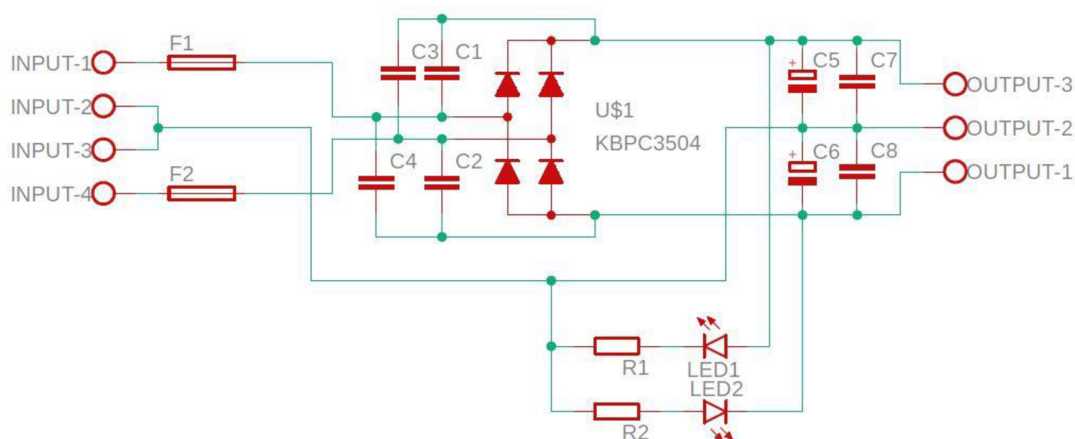
Obrázek 14 Návrh dosky plošných spojov ochrany zosilňovača a pripojenej reprosústavy (pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmer 74,60 x 33,01 mm, M 1:1)

6. NAPÁJACIE ZDROJE

Pre potrebu napájania koncového stupňa audio zosilňovača bolo potrebné zabezpečiť symetrický zdroj s napätím min. $\pm 36V$, max. $\pm 40V$. Pre kmitočtové korekcie symetrický stabilizovaný zdroj s napätím $\pm 12V$. Pre indikáciu vybudenia koncového stupňa a taktiež pre obvod ochrany zosilňovača a pripojenej sústavy nesymetrické napájanie s napätím 12 V.

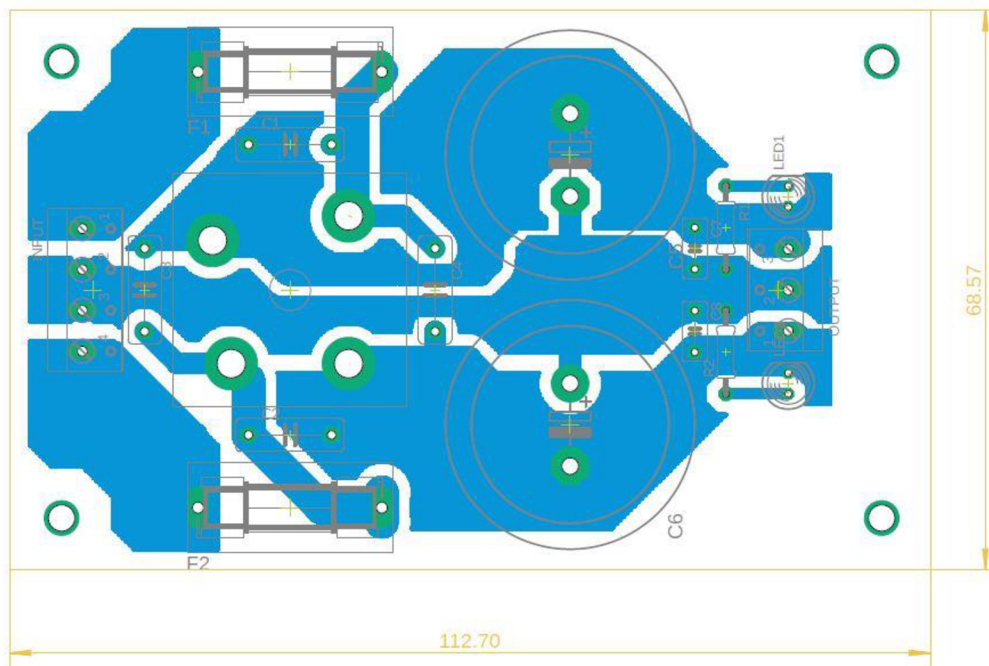
6.1 Zdroj symetrického napätia pre výkonový stupeň

Pri návrhu zdroja bolo potrebné zvoliť transformátor s minimálne dvomi vinutiami na sekundárnej strane, pre možnosť vytvorenia symetrického zdroja. Pre náš návrh sme zvolili toroidný transformátor 2x 26 V, 450 VA, ktorý má dostatočne veľký výkon na napájanie celého audio zosilňovača. Výhodou toroidného transformátora je menší magnetický rozptyl, čiže nižšie rušenie nízkofrekvenčného signálu. Na usmernenie napätia sme použili usmerňovací mostík KBPC3504, ktorého parametre sú dostatočne dimenzované na naše požiadavky. Na odstránenie prechodových javov pri usmerňovaní napätia sme použili kondenzátory $C_1 - C_4$. Za spomínaným usmerňovacím mostíkom sme navrhli filtračné elektrolytické kondenzátory C_5 a C_6 . Kapacita každého tohto kondenzátora bola navrhnutá 10 000 μF , a sú určené na maximálne napätie 63 V. Na doske sú 2 LED diódy, ktoré indikujú prítomnosť kladného a záporného napätia



Obrázek 15 Návrh schémy zdroja symetrického napätia pre koncový stupeň

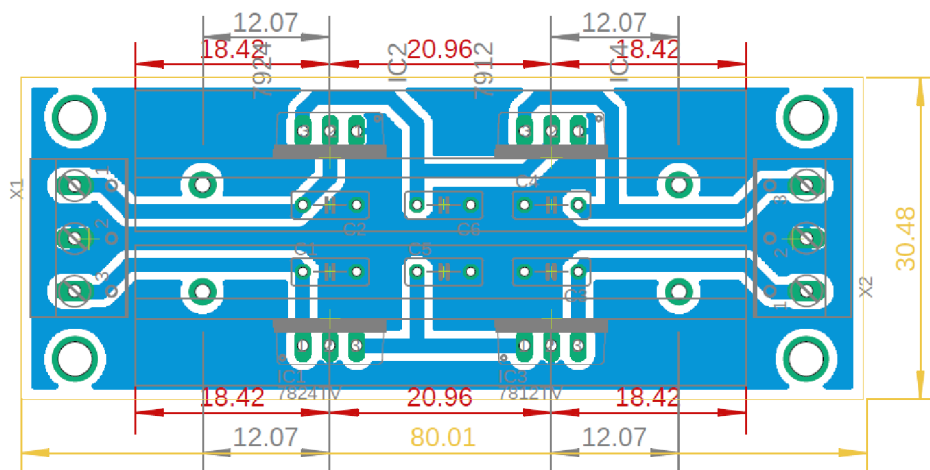
Návrh dosky plošného spoja sme realizovali v programe Eagle. Pri návrhu dosky bolo potrebné dodržať čo najširšie spoje, nakoľko predpokladáme, že pri maximálnom výkone môže zdrojom tiecť prúd až 8 A.



Obrázek 16 Návrh dosky plošných spojov zdroja symetrického napätia pre koncový stupeň (pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmer 112,70 x 68,57 mm, M 1:1)

6.2 Zdroj symetrického napätia pre kmitočtové korekcie

Na napájanie kmitočtových korekcií, ktoré obsahujú integrované obvody TL072 sme použili symetrický zdroj o napätí $\pm 12V$ na základe odporúčaní výrobcu. Zdroj sme navrhli na samostatnú dosku, aby sme zamedzili rušeniu kmitočtových korekcií. Napájanie tohto zdroja sme odvodili zo zdroja symetrického napätia pre koncový stupeň. Hlavnými súčiastkami obvodu sú stabilizátory kladného napätia LM7824 a LM7812, a stabilizátory záporného napätia LM7924 a LM7912. Na vstupe a výstupe stabilizátorov blokujú kondenzátory C_1 až C_6 rušivé napätia. Vstup aj výstup sme realizovali svorkovnicou do dosiek plošných spojov. Stabilizátory sme osadili chladičom z dôvodu nutného odvádzania tepelných strát.



Obrázek 17 Návrh dosky plošných spojov zdroja symetrického napätia pre kmitočtové korekcie (pohľad TOP, zo strany súčiastok, rozmer 80,01 x 30,48 mm, M 1:1)

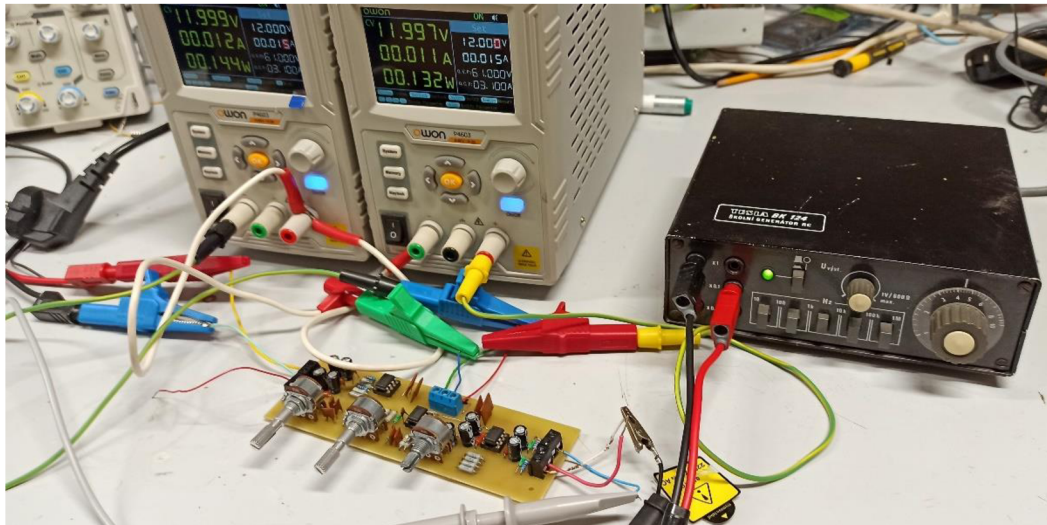
7. PRAKTICKÁ ČASŤ

Po úspešnom návrhu a odsimulovaní jednotlivých častí audio zosilňovača sme prešli k jeho praktickému zhotoveniu. Časť dosiek plošných spojov bola zhotovená fotocestou na Ústave radioelektroniky FEKT VUT v Brne a časť dosiek sme vyrobili fotocestou v domácich podmienkach.

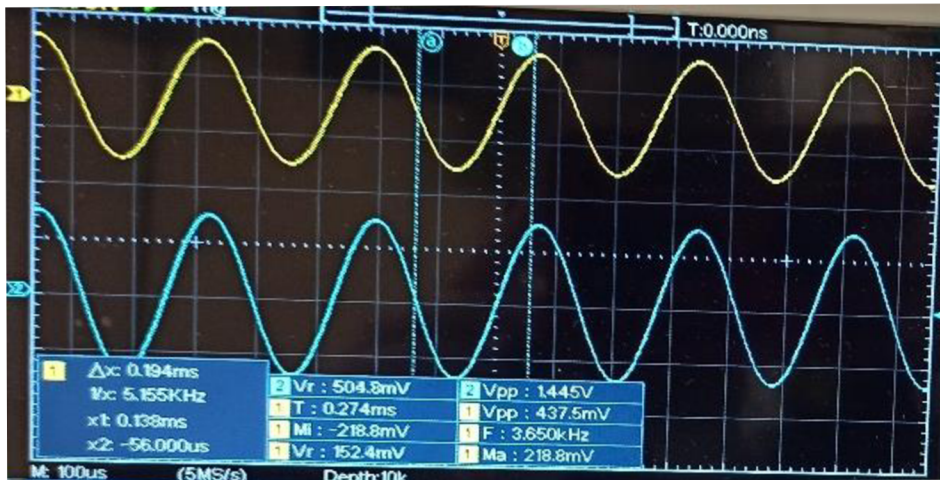
7.1 Praktická časť výroby kmitočtových korekcií

Po vyleptaní a vyvrtaní otvorov na doske plošných spojov nasledovala vizuálna kontrola spojov, na výskyt prípadných skratov. Po tejto vizuálnej kontrole sme začali so samotným osadzovaním jednotlivých súčiastok, podľa návrhu rozloženia súčiastok, ktorý je uvedený v prílohe tejto práce. Na osadenie operačných zosilňovačov na dosku plošných spojov sme použili päťce. Po osadení dosky súčiastkami nasledovala vizuálna kontrola kvality spojov.

Následne sme dosku plošných spojov pripojili na laboratórny zdroj s prúdovou ochranou za účelom oživenia. Po oživení sme pripojili harmonický generátor a digitálny osciloskop, aby sme overili funkčnosť tohto modulu.



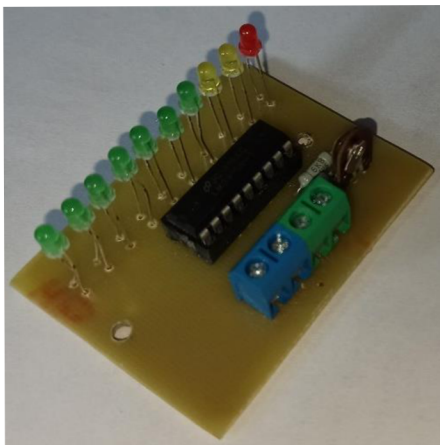
Obrázek 18 Fotodokumentácia z laboratória obvodu kmitočtových korekcií audio zosilňovača pripojeného na stabilizované zdroje, generátor, a osciloskop



Obrázek 19 Snímka osciloskopu vstupných a výstupných napätí obvodu kmitočtových korekcií.

7.1 Praktická časť výroby indikácie vybudenia

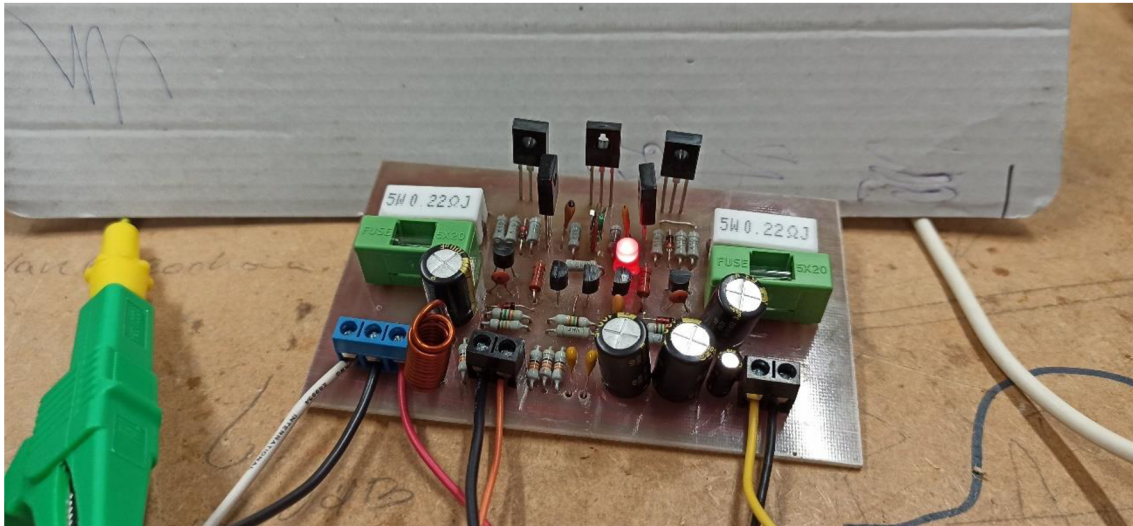
Po osadení obvodu na kontaktné pole, a následnom vyleptaní dosiek plošných spojov sme sa pustili do osadzovania súčiastkami aj dosky indikácie vybudenia. Integrované obvody LM3915 sme osadili na päťce. Po najspájkovaní a vizuálnej kontrole spojov sme moduly pripojili na zdroj, priviedli audio signál, a overili sme ich funkčnosť.



Obrázek 20 Doska plošných spojov indikácie vybudenia koncového stupňa.

7.2 Praktická časť výroby výkonového stupňa

Z praktickej časti sme sa dostali na výrobu najnáročnejších modulov audiozosilňovača. Po vyleptaní dosiek sme sa pustili postupne do osadzovania výkonového stupňa. Ako prvé som začal osadzovať rezistory, pričom všetky súčiastky som pred osadením premeral, a skontroloval či ich skutočná hodnota zodpovedá požadovanej. Po premeraní a osadení rezistorov sme pokračovali s kondenzátormi. Pri osadzovaní tranzistorov som zmeral ich parametre a následne „pároval“ tie, ktoré mali rovnaké parametre, a to najmä tranzistory T_1 , T_2 , T_7 , T_8 , T_9 a T_{10} . Keď sme osadili všetky súčiastky, a skontrolovali sme kvalitu spojov, nasledovalo pripojenie na laboratórne zdroje. Pomocou trimra pri tranzistore T_6 sme nastavili kľudový prúd tranzistorov.



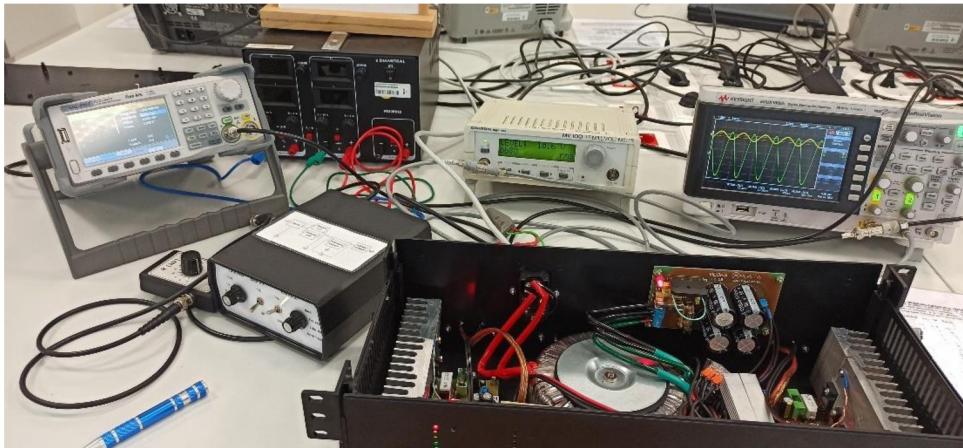
Obrázek 21 Doska plošných spojov koncového stupňa audio zosilňovača pripojeného na stabilizované zdroje.



Obrázek 22 Pohľad na meracie pracovisko, na ktorom používame generátor Tesla BM534, osciloskop Kikusui 7060A, $4\ \Omega$ záťaž, a koncový stupeň audiozosilňovača.

8. NAMERANÉ HODNOTY AUDIOZOSILŇOVAČA

Po úspešnom osadení a oživení všetkých modulov audiozosilňovača nasledovalo už samotné meranie. Pri meraní sme sa zamerali na meranie modulových kmitočtových charakteristík audiozosilňovača, meranie harmonického skreslenia audiozosilňovača a maximálny výkon audiozosilňovača



Obrázek 23 Meranie audiozosilňovača v priestore Ústavu radioelektroniky FEKT VUT v Brne

Použité prístroje pri meraní :

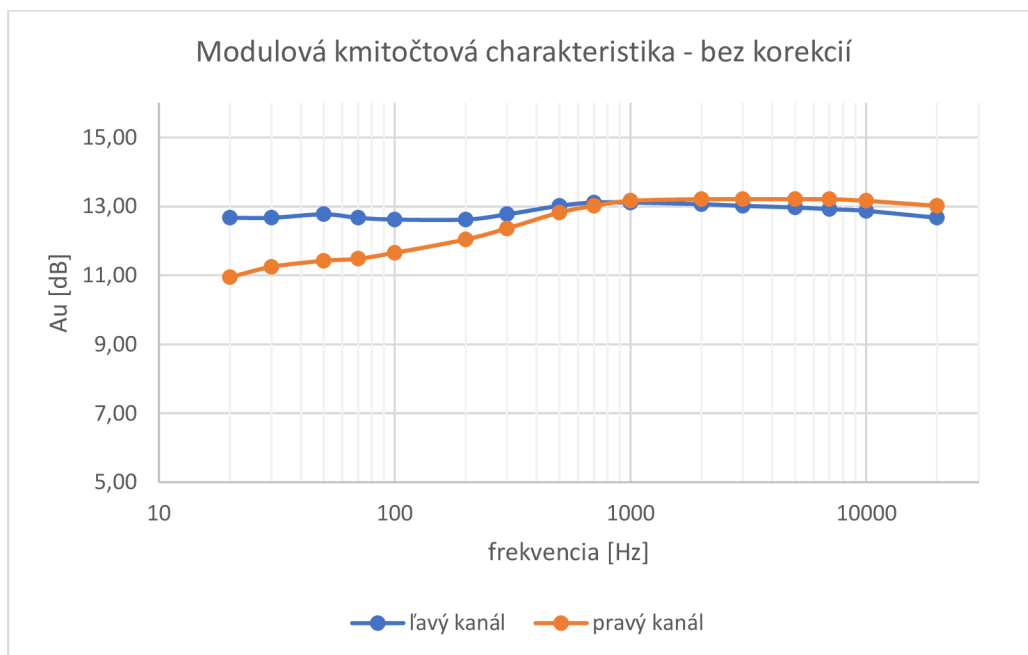
- Nízkofrekvenčný funkčný generátor Agilent 33220A
- Nízkofrekvenčný milivoltmeter Grundig MV100
- Digitálny osciloskop Agilent DSO 3102A 100 MHz

8.1 Meranie modulových kmitočtových charakteristík

Meranie modulových kmitočtových charakteristík sme spravili pre ľavý aj pravý kanál, najprv bez kmitočtových korekcií, a postupne aj s korekciami, a to s potlačením hlbokých frekvencií, so zdôraznením hlbokých frekvencií, s potlačením vysokých frekvencií a so zdôraznením frekvencií.

frekvencia f [Hz]	ľavý kanál		pravý kanál	
	U2 [V]	Au [dB]	U2 [V]	Au [dB]
20	1,72	12,67	1,41	10,94
30	1,72	12,67	1,46	11,25
50	1,74	12,77	1,49	11,42
70	1,72	12,67	1,5	11,48
100	1,71	12,62	1,53	11,65
200	1,71	12,62	1,6	12,04
300	1,74	12,77	1,66	12,36
500	1,79	13,02	1,75	12,82
700	1,81	13,11	1,79	13,02
1000	1,81	13,11	1,82	13,16
2000	1,8	13,06	1,83	13,21
3000	1,79	13,02	1,83	13,21
5000	1,78	12,97	1,83	13,21
7000	1,77	12,92	1,83	13,21
10000	1,76	12,87	1,82	13,16
20000	1,72	12,67	1,79	13,02

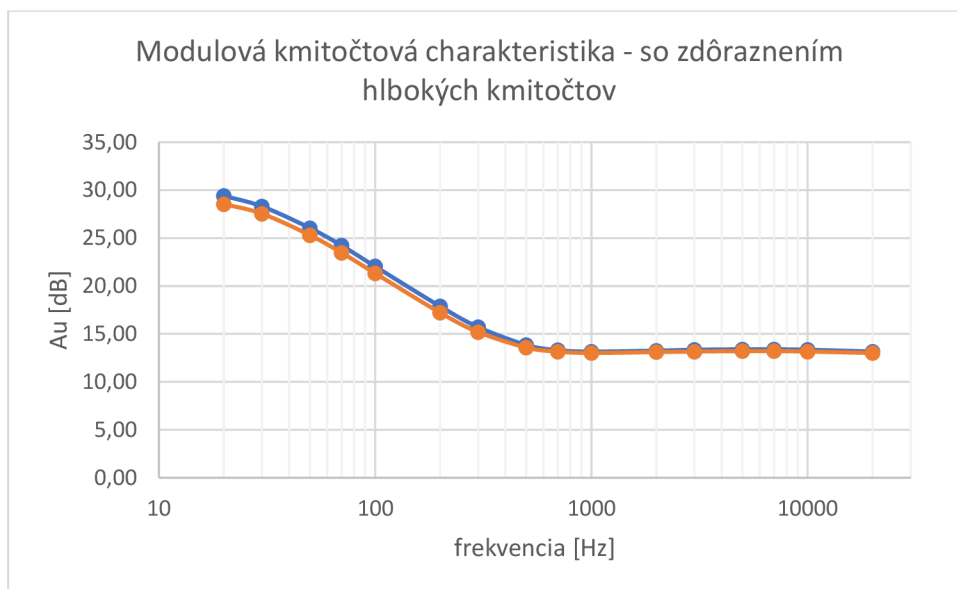
Tabulka 1 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky bez korekcií



Graf 1 Modulová kmitočtová charakteristika – bez korekcií

Tabulka 2 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky so zdôraznením hlbokých kmitočtov

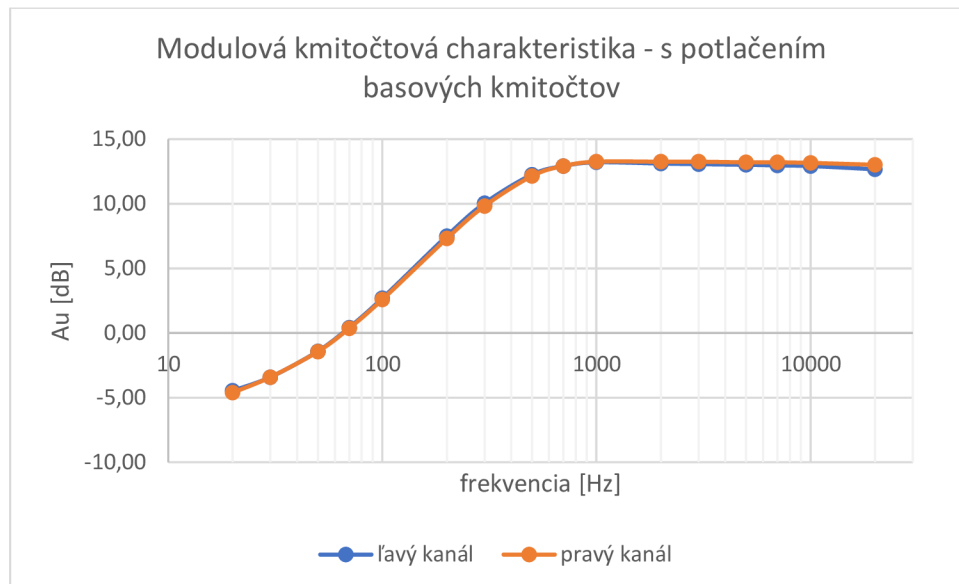
frekvencia	ľavý kanál zdôraznenie hlbokých kmitočtov		pravý kanál zdôraznenie hlbokých kmitočtov	
	f [Hz]	U2 [V]	Au [dB]	U2 [V]
20	11,8	29,40	10,7	28,55
30	10,4	28,30	9,53	27,54
50	8,02	26,04	7,36	25,30
70	6,5	24,22	5,96	23,46
100	5,06	22,04	4,66	21,33
200	3,13	17,87	2,9	17,21
300	2,44	15,71	2,3	15,19
500	1,97	13,85	1,91	13,58
700	1,85	13,30	1,82	13,16
1000	1,82	13,16	1,79	13,02
2000	1,84	13,26	1,81	13,11
3000	1,86	13,35	1,82	13,16
5000	1,87	13,40	1,83	13,21
7000	1,87	13,40	1,83	13,21
10000	1,86	13,35	1,82	13,16
20000	1,82	13,16	1,79	13,02



Graf 2 Modulová kmitočtová charakteristika - so zdôraznením hlbokých kmitočtov

Tabulka 3 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky s potlačením hlbokých kmitočtov

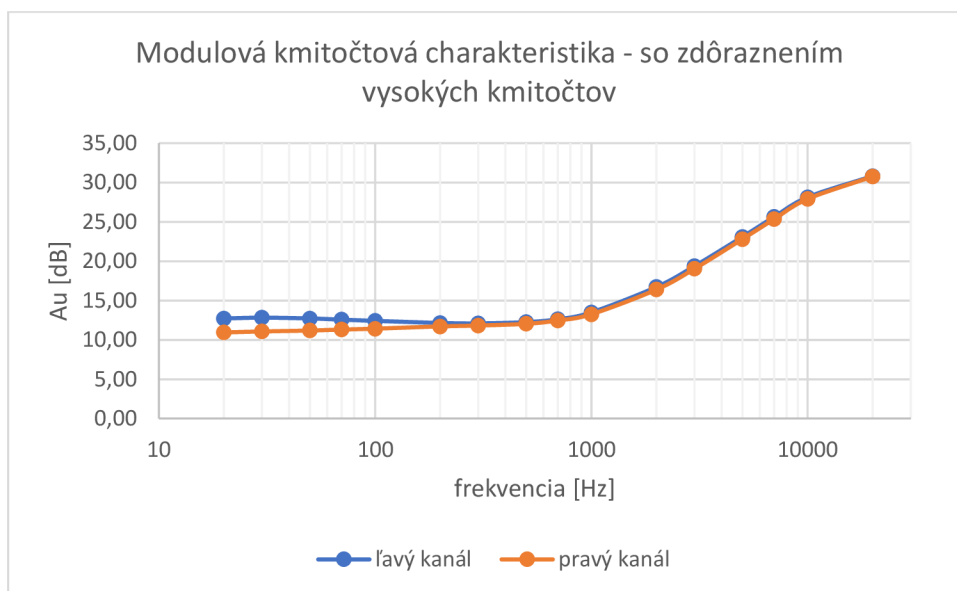
frekvencia	ľavý kanál - potlačenie hlbokých kmitočtov		pravý kanál potlačenie hlbokých kmitočtov	
	U2 [V]	Au [dB]	U2 [V]	Au [dB]
20	0,239	-4,47	0,235	-4,62
30	0,27	-3,41	0,27	-3,41
50	0,34	-1,41	0,339	-1,44
70	0,42	0,42	0,417	0,36
100	0,545	2,69	0,539	2,59
200	0,949	7,50	0,928	7,31
300	1,27	10,03	1,24	9,83
500	1,64	12,26	1,62	12,15
700	1,77	12,92	1,77	12,92
1000	1,83	13,21	1,84	13,26
2000	1,81	13,11	1,84	13,26
3000	1,8	13,06	1,84	13,26
5000	1,79	13,02	1,83	13,21
7000	1,78	12,97	1,83	13,21
10000	1,77	12,92	1,82	13,16
20000	1,72	12,67	1,79	13,02



Graf 3 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky s potlačením hlbokých kmitočtov

Tabulka 4 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky so zdôraznením vysokých kmitočtov

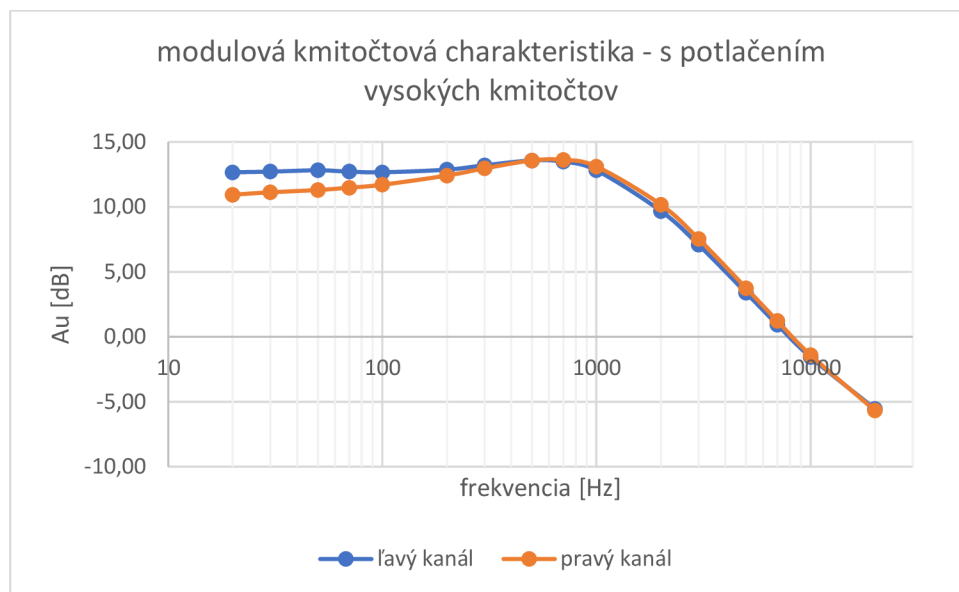
frekvencia	ľavý kanál – zdôraznenie vysokých frekvencií		pravý kanál – zdôraznenie vysokých frekvencií	
	U2 [V]	Au [dB]	U2 [V]	Au [dB]
20	1,73	12,72	1,41	10,94
30	1,75	12,82	1,43	11,07
50	1,73	12,72	1,45	11,19
70	1,7	12,57	1,47	11,31
100	1,67	12,41	1,49	11,42
200	1,62	12,15	1,54	11,71
300	1,61	12,10	1,56	11,82
500	1,64	12,26	1,6	12,04
700	1,71	12,62	1,68	12,46
1000	1,89	13,49	1,84	13,26
2000	2,74	16,71	2,64	16,39
3000	3,72	19,37	3,58	19,04
5000	5,71	23,09	5,53	22,81
7000	7,64	25,62	7,4	25,34
10000	10,2	28,13	9,95	27,92
20000	13,9	30,82	13,8	30,76



Graf 4 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky s potlačením hlbokých kmitočtov

Tabulka 5 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky s potlačením vysokých kmitočtov

frekvencia	ľavý kanál s potlačením vysokých kmitočtov		pravý kanál s potlačením vysokých kmitočtov	
	U2 [V]	Au [dB]	U2 [V]	Au [dB]
20	1,72	12,67	1,41	10,94
30	1,73	12,72	1,44	11,13
50	1,75	12,82	1,47	11,31
70	1,73	12,72	1,5	11,48
100	1,72	12,67	1,54	11,71
200	1,76	12,87	1,67	12,41
300	1,83	13,21	1,78	12,97
500	1,91	13,58	1,91	13,58
700	1,89	13,49	1,92	13,62
1000	1,75	12,82	1,81	13,11
2000	1,22	9,69	1,29	10,17
3000	0,904	7,08	0,952	7,53
5000	0,591	3,39	0,616	3,75
7000	0,445	0,93	0,46	1,21
10000	0,334	-1,57	0,34	-1,41
20000	0,211	-5,56	0,208	-5,68



Graf 5 Meranie modulovej kmitočtovej charakteristiky s potlačením vysokých kmitočtov

8.2 Meranie maximálneho zosilnenia audiozosilňovača

Za cieľom zistiť maximálny výkon audiozosilňovača sme nastavili hodnoty potenciometrov na maximálnu úroveň, a zároveň sme zvyšovali vstupné napätie až

do okamihu, kedy sme mohli vidieť osciloskope, že dochádza k orezávaniu výstupného signálu. Odčítali sme hodnotu napätia a dosadili sme ho do rovnice 1.3 :

(1.3)

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{21,8^2}{4} = 118,81 \text{ W}$$

9. ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo navrhnuť stereo zosilňovač s frekvenčnými korekciami, indikáciou vybudenia a ochranou zosilňovača a pripojenej reprosústavy. Zosilňovač bol pre svoju kompaktnosť navrhnutý blokovo, aby v prípade potreby rozšírenia bolo možné jednotlivé bloky doplniť, prípadne vymeniť za iné. V prvej kapitole sme navrhli kmitočtové korekcie pre audio zosilňovač s použitím operačných zosilňovačov. V druhej kapitole sme navrhli indikáciu vybudenia audio zosilňovača, za použitia integrovaného obvodu LM3915 v zapojení s LED diódami. V tretej kapitole sme navrhli samotný výkonový stupeň audio zosilňovača pracujúceho v triede AB s výkonom 120 W. V štvrtej kapitole sme navrhli ochranu pripojenej reprosústavy k zosilňovaču. V šiestej kapitole sme navrhli napájacie obvody pre audio zosilňovač. Pre každý blok sme navrhli dosku plošných spojov, ktorá bola následne zhotovená na Ústave radioelektroniky FEKT VUT v Brne. Pre potreby audio zosilňovača sme navrhli napájací zdroj, ktorý sa skladá z transformátora a 2 dosiek plošných spojov. Funkčnosť kmitočtových korekcií audio zosilňovača, a koncového stupňa audio zosilňovača sme overili simuláciami v programe Microcap. Pri meraní sme overili splnenie zadefinovaných parametrov, a to boli konkrétne : šírka prenosového pásma 20 Hz až 20 kHz, maximálny výstupný výkon 2×120 W a nízke harmonické a intermodulačné skreslenie. Naš maximálny výkon dosahuje 118,81 W. Celkové skreslenie THD+N dosahuje úroveň 0,084 %.

Pri oživovaní bakalárskej práce nastala komplikácia zlej polarizácie tranzistora T_{12} , v dôsledku čoho nemohol audioszilňovač plnohodnotne zosilňovať. Po odstránení tejto závady sa už nevyskytovali závažné problémy. Koncové stupne audioszilňovača obsahujú aj termistor, ktorý som osadil na pozíciu rezistora R_{13} . Úlohou termistora je v prípade nadmerného prehrievania koncového stupňa stabilizovať prúd v obvode budiacich tranzistorov.

Do budúcnosti by som chcel audioszilňovač vylepšiť o účinnejšie chladenie, nakoľko pri plnom výkone je aktuálne chladenie pri dlhšom čase nedostatočné. Výsledným dielom tejto práce je plne funkčný audio zosilňovač.

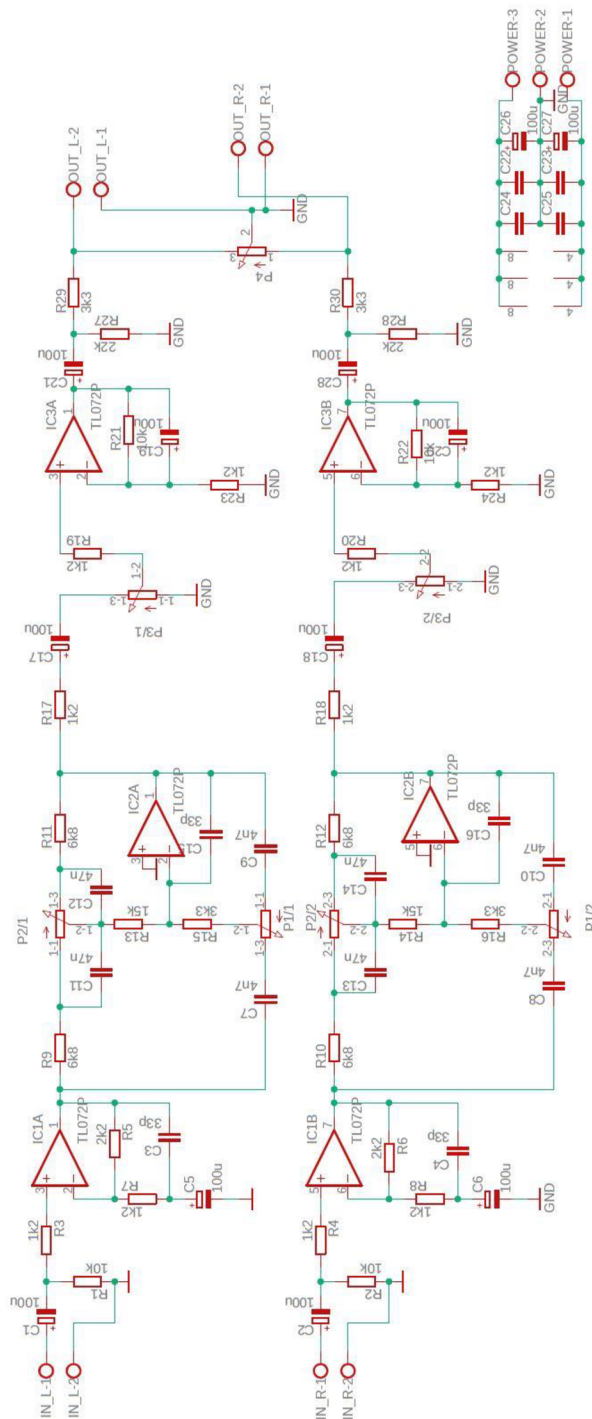
LITERATURA

- [1] WIRSUM, Siegfried. *Abeceda nf techniky*. Praha: BEN - technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-26-0.
- [2] KOTISA, Zdeněk. *NF zesilovače*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-065-2
- [3] LIMANN, Otto a Horst PELKA. *Elektronika bez balastu*. Bratislava: Alfa, 1990. ISBN 80-05-00643-8.
- [4] GROLMUS, Jozef. *Korekcny predzosilnovac* [online]. [cit. 2021-09-20]. Dostupné z: www.zosilnovace.eu/korekcnypredzosilnovac
- [5] GROLMUS, Jozef. *Zosilnovac UNI 100W* [online]. [cit. 2021-09-21]. Dostupné z: www.zosilnovace.eu/zosilnovac_uni_100
- [6] *NE085 Obvod oneskoreného pripojenia reproduktorov* [online]. [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.avelmak.sk/index.php?lm=142&pg=det&article=5612>
- [7] *Indikácia vybudenia LM3915* [online]. [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://www.homemade-circuits.com/lm3915-ic-datasheet-pinout-application-circuits/>
- [8] *Symetrický zdroj NE 069* [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.avelmak.sk/index.php?lm=143&pg=det&article=16398>

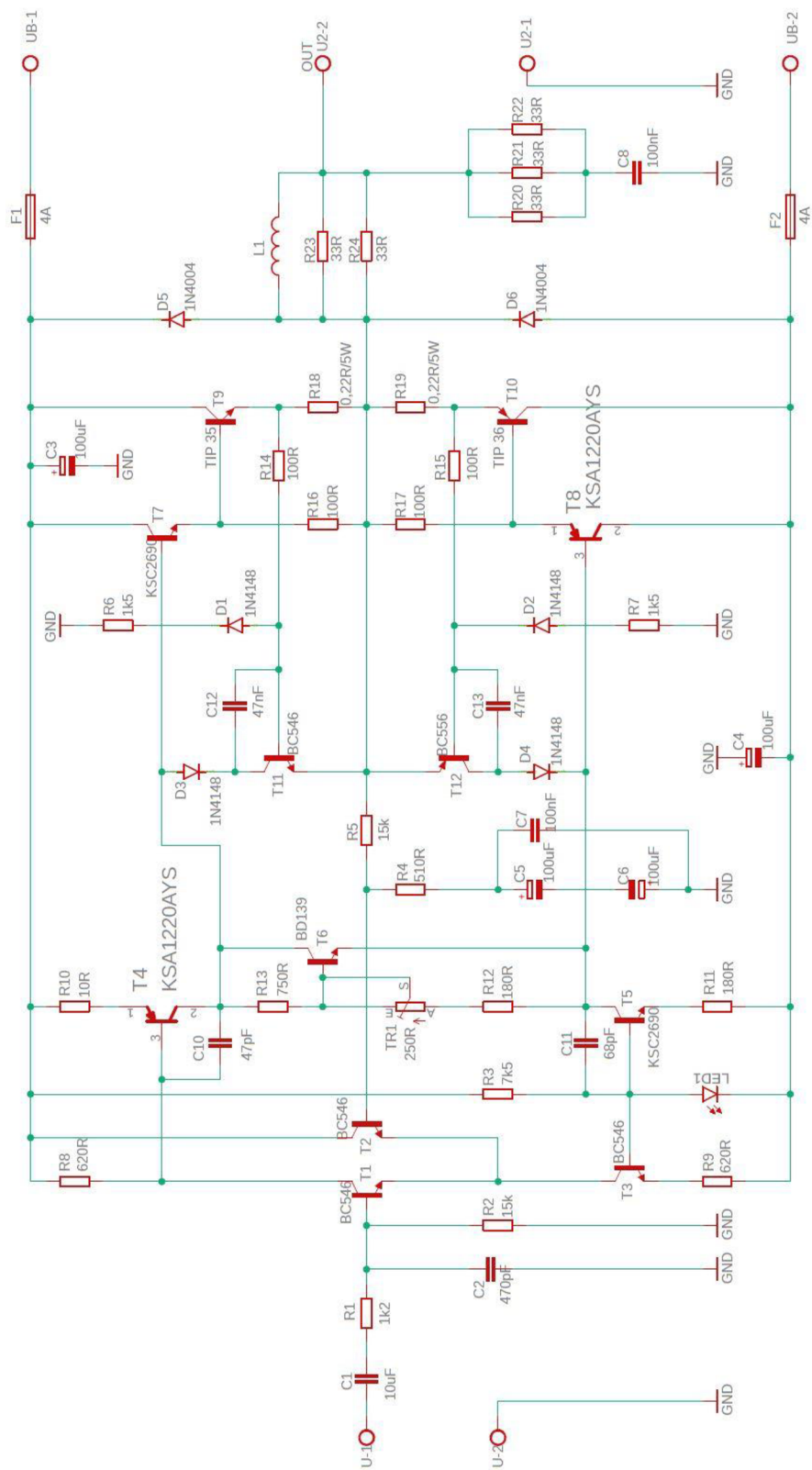
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - SCHÉMY ZAPOJENIA BLOKOV AUDIOZOSILŇOVAČA	44
PŘÍLOHA B - NÁVRH DOSIEK PLOŠNÝCH SPOJOV AUDIOZOSILŇOVAČA	48
PŘÍLOHA C - ROZLOŽENIE SÚČIASTOK NA DOSKÁCH PLOŠNÝCH SPOJOV	51
PŘÍLOHA D - ZOZNAMY SÚČIASTOK BLOKOV AUDIOZOSILŇOVAČA	54

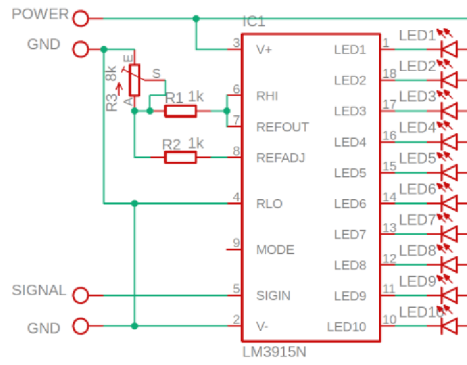
Příloha A - Schémy zapojenia blokov audiozosilňovača



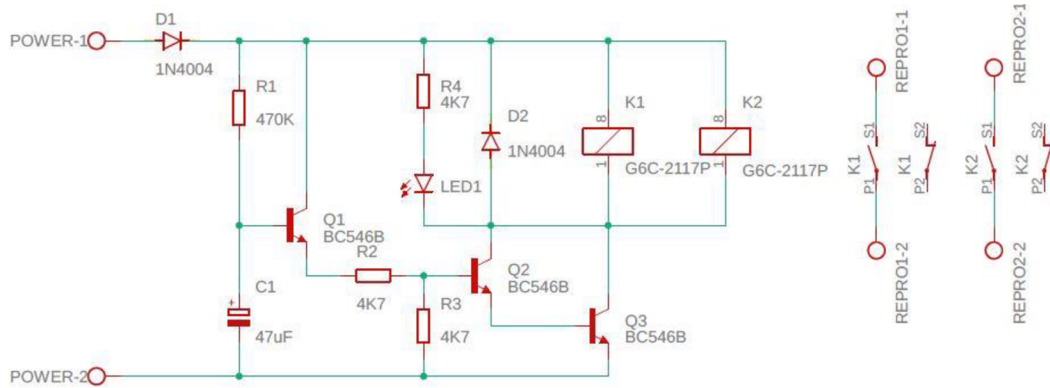
Obrázek 24 Schéma zapojenia kmitočtových korekcií audiozosilňovača



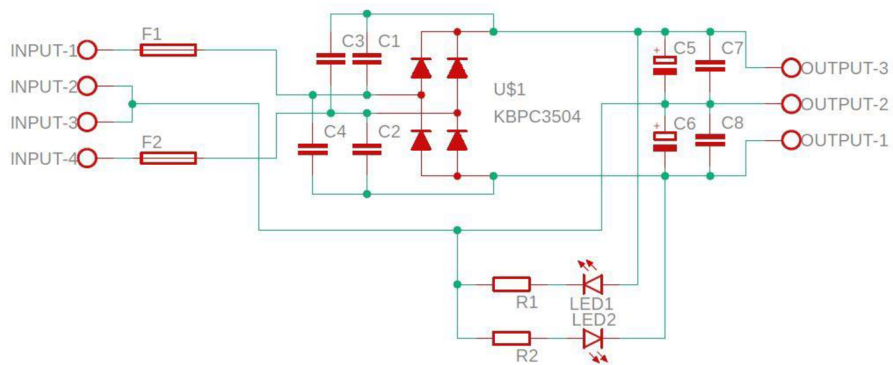
Obrázek 25 Schéma zapojenia výkonového stupňa audiozosilňovača



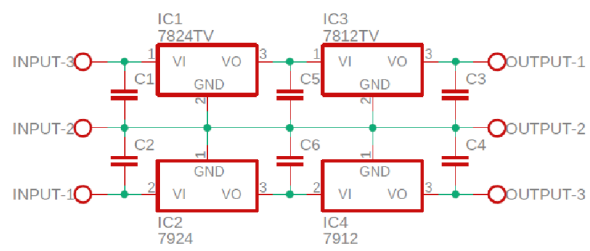
Obrázek 26 Schéma zapojenia indikácie vybudenia



Obrázek 27 Schéma zapojenia ochrany pripojenej reprosústavy audiozosilňovača

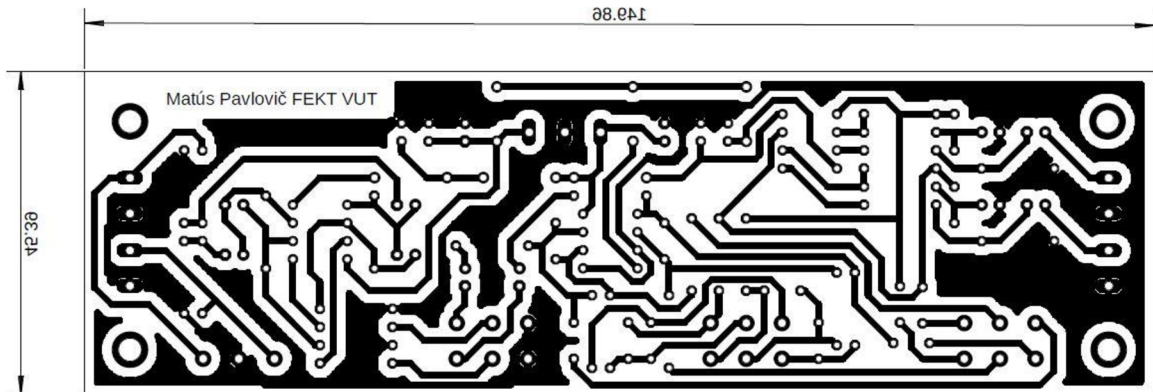


Obrázek 28 Schéma zapojenia zdroja symetrického napätia pre koncový stupeň

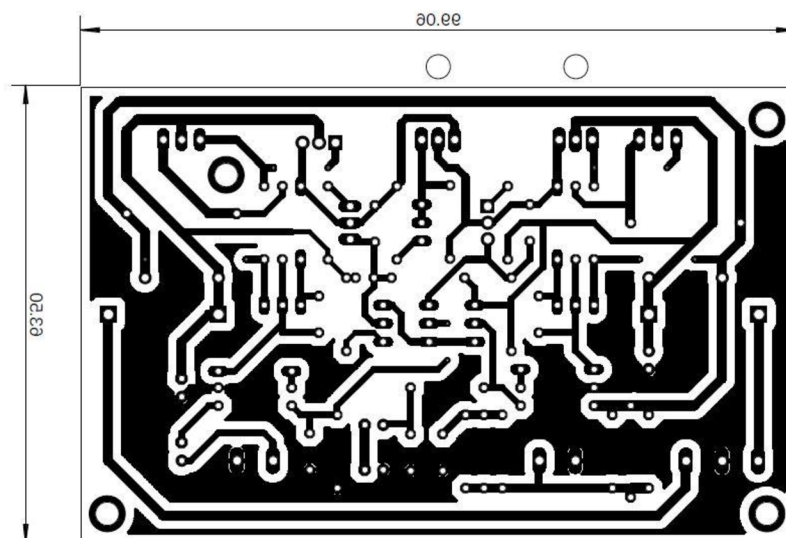


Obrázek 29 Schéma zapojenia zdroja symetrického napätia pre kmitočtové korekcie

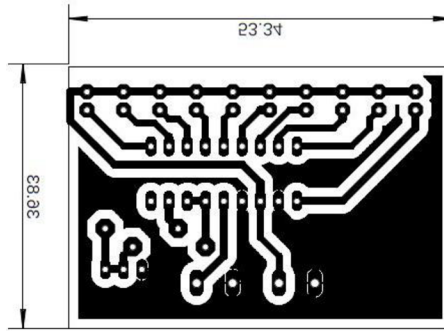
Příloha B - Návrh dosiek plošných spojov audiozosilňovača



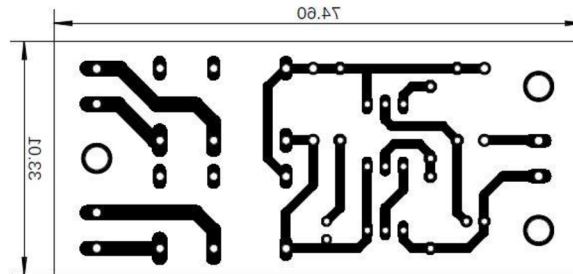
Obrázek 30 Návrh spojov kmitočtových korekcií, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 149,86 x 45,39 mm, M 1:1)



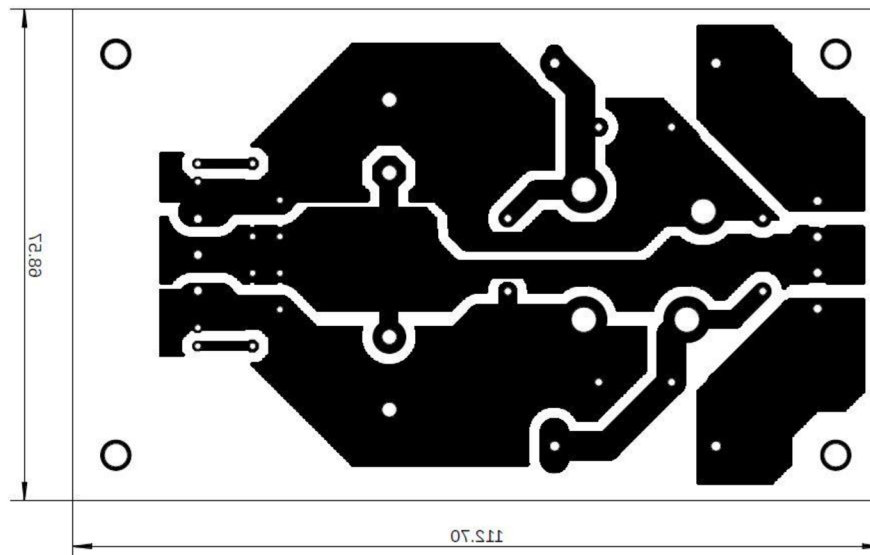
Obrázek 31 Návrh spojov koncového stupňa, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 99,06 x 63,50 mm, M 1:1)



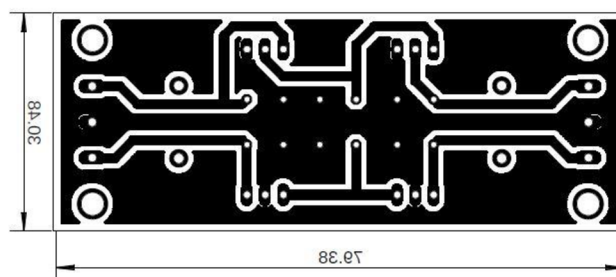
Obrázek 32 Návrh spojov indikácie vybudenia, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 53,34 x 36,83 mm, M 1:1)



Obrázek 33 Návrh spojov ochrany pripojenej reprosústavy, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 74,60 x 33,01 mm, M 1:1)

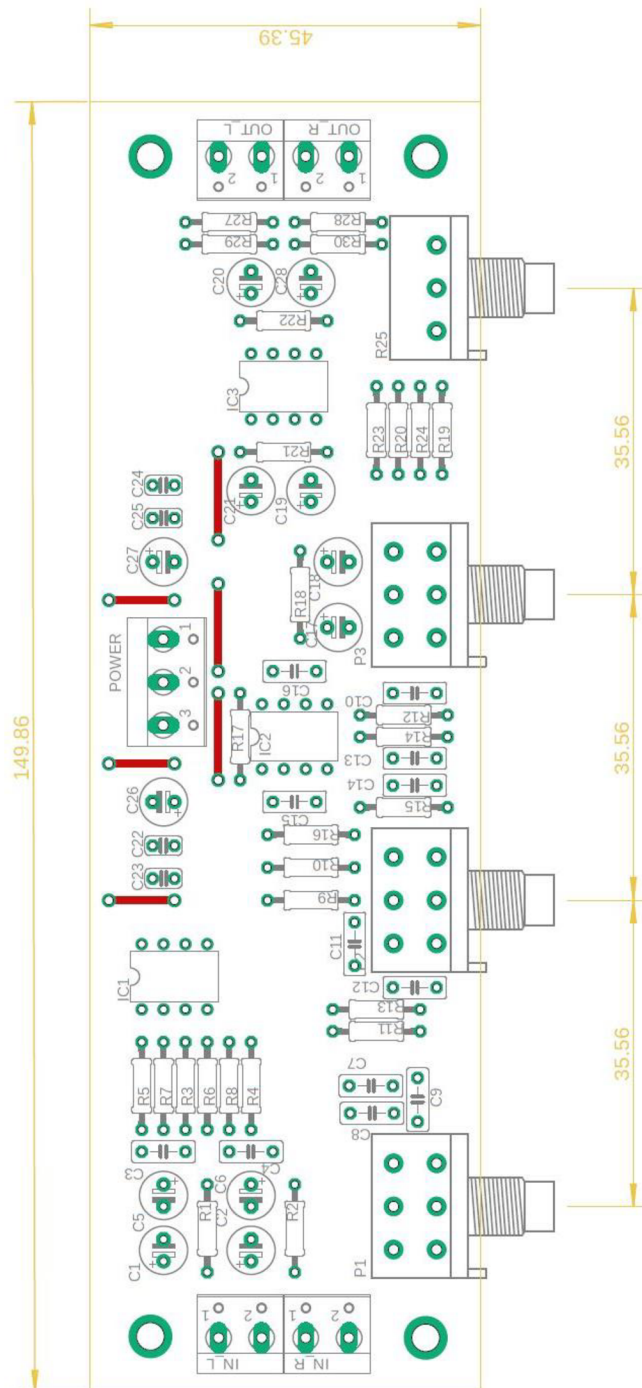


Obrázek 34 Návrh spojov symetrického zdroja pre koncový stupeň, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 112,70 x 68,57 mm, M 1:1)

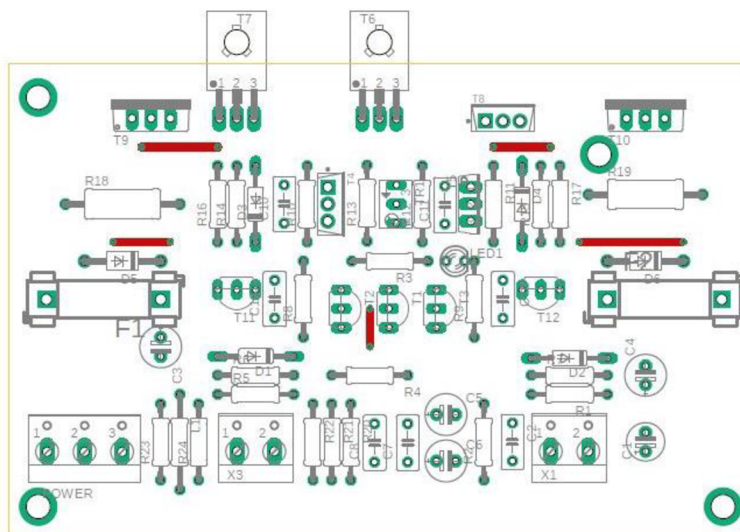


Obrázek 35 Návrh spojov symetrického zdroja pre kmitočtové korekcie, (pohľad BOTTOM, zo strany spojov, rozmery 79,38 x 30,48 mm, M 1:1)

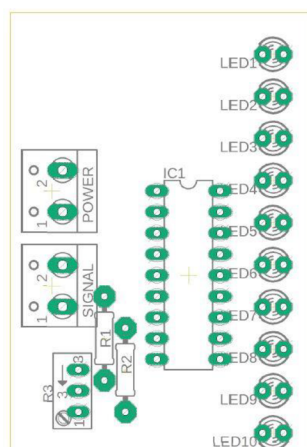
Příloha C - Rozložení súčiastok na doskách plošných spojov



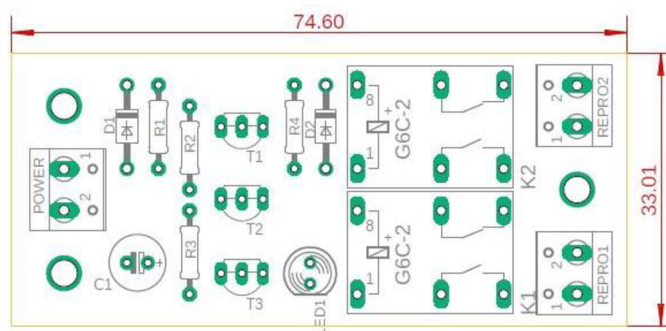
Obrázek 36 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov kmitočtových korekcií (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)



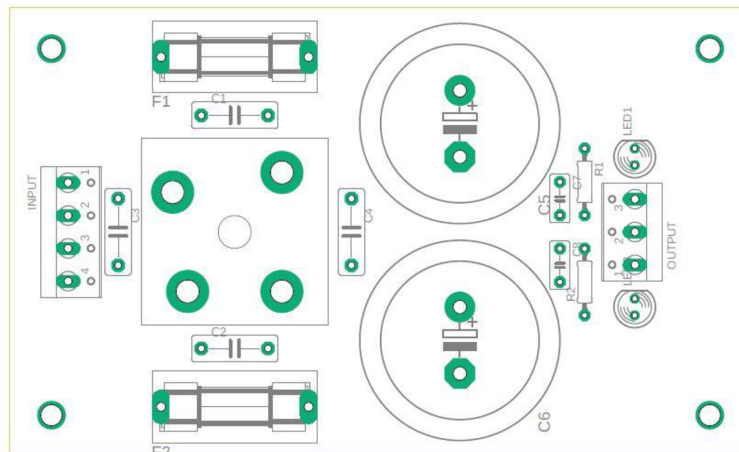
Obrázek 37 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov výkonového stupňa audiozosilňovača (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)



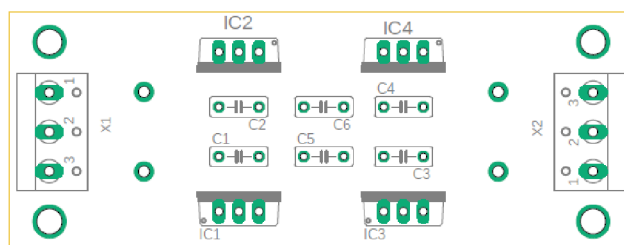
Obrázek 38 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov indikácie vybudenia audiozosilňovača, (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)



Obrázek 39 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov ochrany pripojenej reprosústavy audiozosilňovača, (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)



Obrázek 40 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov symetrického zdroja pre koncový stupeň, (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)



Obrázek 41 Rozloženie súčiastok na doske plošných spojov symetrického zdroja pre kmitočtové korekcie, (pohľad TOP, zo strany súčiastok, M 1:1)

Příloha D - Zoznamy súčiastok blokov audiozosilňovača

Tabulka 6 Zoznam súčiastok kmitočtových korekcií

Názov súčiastky	Hodnota súčiastky
R1	10k
R2	10k
R3	1k2
R4	1k2
R5	2k2
R6	2k2
R7	1k2
R8	1k2
R9	6k8
R10	6k8
R11	6k8
R12	6k8
R13	15k
R14	15k
R15	3k3
R16	3k3
R17	1k2
R18	1k2
R19	1k2
R20	1k2
R21	10k
R22	10k
R23	1k2
R24	1k2
R27	22k
R28	22k
R29	3k3
R30	3k3
C1	100 μ
C2	100 μ
C3	33p
C4	33p
C5	100 μ
C6	100 μ
C7	4n7
C8	4n7
C9	4n7
C10	4n7
C11	47n
Pokračovanie na ďalšej strane	

Názov súčiastky	Hodnota súčiastky
C12	47n
C13	47n
C14	47n
C15	33p
C16	33p
C17	100 μ
C18	100 μ
C19	100 μ
C20	100 μ
C21	100 μ
C22	100n keramický
C23	100n keramický
C24	100n keramický
C25	100n keramický
C26	100 μ
C27	100 μ
C28	100 μ
P1	2x47k/N
P2	2x47k/N
P3	2x10k/G
P4	10k/N
IC1,IC2, IC3	NE5532

Tabulka 7 Zoznam súčiastok výkonového stupňa

Názov súčiastky	Hodnota súčiastky
R1	1k2
R2	15k
R3	7k5
R4	510R
R5	15k
R6	1k5
R7	1k5
R8	620R
R9	620R
R10	10R
R11	180R
R12	180R
R13	750R
R14	100R
R15	100R
R16	100R
R17	100R
R18	0,22R/5W
R19	0,22R/5W
Pokračovanie na ďalšej strane	

Názov súčiastky	Hodnota súčiastky
R20	33R
R21	33R
R22	33R
R23	33R
R24	33R
C1	10 μ
C2	470p
C3	100 μ
C4	100 μ
C5	100 μ
C6	100 μ
C7	100n
C8	100n
C9	100n
C10	47p
C11	68p
C12	47n
C13	47n
T1	BC546
T2	BC546
T3	BC546
T4	KSA1220
T5	KSC2690
T6	BD139
T7	KSC2690
T8	KSA1220
T9	TIP 35
T10	TIP 36
T11	BC546
T12	BC556
FUSE	4A F
TR1	250R
L1	12z/1mm \varnothing 5mm

Tabulka 8 Zoznam súčiastok indikácie vybudenia

Názov súčiastky	Hodnota súčiastky
IC1	LM3915
R1	1k
R2	1k
R3	8k trimer
LED1	3mm zelená
LED2	3mm zelená
LED3	3mm zelená
LED4	3mm zelená
Pokračovanie na ďalšej strane	

Názov súčiastky	Hodnota súčiastky
LED5	3mm zelená
LED6	3mm zelená
LED7	3mm zelená
LED8	3mm oranžová
LED9	3mm oranžová
LED10	3mm červená

Tabulka 9 Zoznam súčiastok ochrany zosilňovača a pripojenej reprosústavy

Názov súčiastky	Hodnota súčiastky
R1	100k
R2	4k7
R3	4k7
R4	4k7
C1	47 μ
D1	1N4004
D2	1N4004
T1	BC546
T2	BC546
T3	BC546
K1	Relé G6C-2117
K2	Relé G6C-2117

Tabulka 10 Zoznam súčiastok symetrického zdroja pre koncový stupeň

Názov súčiastky	Hodnota súčiastky
C1	100n
C2	100n
C3	100n
C4	100n
C5	10 000 μ F
C6	10 000 μ F
C7	15n
C8	15n
F1	5x20mm 8A
F2	5x20mm 8A
D1-D4	KBPC3504
R1	3k9
R2	3k9

Tabulka 11 Zoznam súčiastok symetrického zdroja pre kmitočtové korekcie

Názov súčiastky	Hodnota súčiastky
C1	100n
C2	100n
C3	100n
C4	100n
Pokračovanie na ďalšej strane	

Názov súčiastky	Hodnota súčiastky
C5	100n
C6	100n
IC1	LM7824
IC2	LM7924
IC3	LM7812
IC4	LM7912