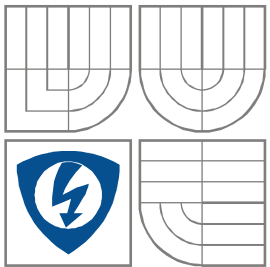




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

AKTIVNÍ STUDIOVÉ REPRODUKTORY

ACTIVE STUDIO SPEAKERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Adam Bartoš

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Lubomír Brančík, CSc.



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Adam Bartoš

ID: 164240

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Aktivní studiové reproduktory

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce navrhnete blokovou a obvodovou strukturu integrovaného audio zesilovače v konfiguraci bi-amp ve třídě D, který by integroval vstupní analogové obvody - předzesilovač a frekvenční výhybku, regulaci hlasitosti a koncový stupeň ve třídě D. Dále navrhnete ozvučnici pro vybrané typy reproduktorů. Zadáním je požadován návrh reprosoustavy pro použití ve studiu. Modul doplňte návrhem vhodného napájecího zdroje. Funkci vybraných zapojení ověřte simulacemi v PSpice.

V praktické části práce vytvořte kompletní konstrukční podklady k realizaci návrhu (schéma zapojení, návrh desky plošného spoje, rozložení a soupiska součástek, rozměry ozvučnice, atd.). Navržený modul audio zesilovače a reprosoustavy realizujte formou funkčního prototypu a experimentálním měřením ověřte jeho činnost. Výsledky měření zpracujte formou standardního protokolu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WIRSUM, S. Abeceda nf techniky. Praha: BEN – technická literatura, 2003.

[2] ŠTĀL, P. Výkonové audio zesilovače pracující ve třídě D. BEN – technická literatura, Praha, 2008.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 26.5.2016

Vedoucí práce: prof. Ing. Lubomír Brančik, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D., předseda oborové rady

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

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou nízkofrekvenčných zosilňovačov v triede D a ich využití v aktívnych reprosústavách typu bi-amp. Zaoberá sa teda taktiež konštrukciou pásmového rozdelenia signálu, zhotoveného pomocou digitálneho signálového procesoru (DSP) naprogramovaného ako horné a dolné priepusti a konštrukciou samotných reproduktorových ozvučníc. Táto práca obsahuje kompletne konštrukčné podklady pre zhotovenie daného výrobku a merania na funkčnom prototypu. Návrh celkového zapojenia je možné vidieť v blokovej schéme a podrobnejšie v schémach jednotlivých modulov.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

nízkofrekvenčný výkonový zosilňovač, trieda D, frekvenčná výhybka, digitálny signálový procesor (DSP), 2-pásmová aktívna reprosústava, simulácia, schéma, konštrukčné podklady

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with problematics of low frequency amplifiers in D class and their usage in active bi-amp speaker systems. It also deals with construction of so called band crossovers, made using digital signal processors (DSP) that are used as high and low pass filters, and with construction of speaker boxes itself. This work contains simulations of power supply, preamplifier with crossover and volume regulation and power amplifier in app PSpice and simulation of speakers in app Amplion. The draft of an overall diagram can be seen in block scheme and further in schematics of separate modules.

KEYWORDS

low frequency power amplifier, class D, frequency crossover, digital signal procesor (DSP), 2-way active speaker system, simulation, schematics, construction documentation

BARTOŠ, A. *Aktivní studiové reproduktory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2016. 39 s., 28 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: prof. Ing. Lubomír Brančík, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Aktivní studiové monitory jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Chcel by som sa poďakovať vedúcemu prof. Ing. Lubomírovi Brančíkovi, CSc. za pomoc pri riešení problémov, ktoré sa vyskytli počas písania tejto práce, ďalej A. Vanžurovi a J. Voráčovi za promptné zhotovenie DPS v dielni UREL a rady pri ich návrhu, Petrovi Molnárovi a Jánovi Babačovi za poskytnutie autolakovne a jej vybavenia pri striekaní reprobredne, Jánovi Horňákovi a jeho firme za zhotovenie hliníkového panelu, Tiborovi Bartošovi za MDF materiál na konštrukciu a jeho napílenie, Ivanovi Bartošovi za pomoc pri jeho brúsení, Marekovi z firmy Camtech za vyfrézovanie prednej a zadnej MDF dosky, Vladovi Kulíkovi za vypalovanie laserom.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| Úvod | 1 |
| 1 Nízkofrekvenčné Výkonové zosilňovače | 2 |
| 1.1 Definícia zosilňovačov všeobecne..... | 2 |
| 1.2 Porovnanie pracovnej triedy AB a D..... | 4 |
| 2 Jednotlivé moduly elektronickej časti reproduktorovej sústavy | 7 |
| 2.1 Moduly napájacích zdrojov | 8 |
| 2.1.1 Popis zapojenia | 8 |
| 2.2 Modul digitálneho signálového procesora (DSP)..... | 9 |
| 2.2.1 Schéma zapojenia | 10 |
| 2.2.2 Programovanie pomocou Sigma Studio | 10 |
| 2.2.3 Zmerané reálne parametre | 11 |
| 2.2.4 Prototyp DSP modulu | 13 |
| 2.3 Modul výkonového zosilňovača | 14 |
| 2.3.1 Popis TDA8954 [1]..... | 14 |
| 2.3.2 Vlastnosti TDA8954 [1] | 14 |
| 2.3.3 Bloková schéma TDA8954..... | 15 |
| 2.3.4 Schéma zapojenia | 16 |
| 2.3.5 Skúšobný reťazec..... | 16 |
| 2.3.6 Prototypový modul | 16 |
| 3 Ozvučnica pre reproduktory | 22 |
| 3.1 Reproduktory | 22 |
| 3.1.1 Rozdelenie reproduktorov [7]..... | 22 |
| 3.1.2 Parametre reproduktorov [7]..... | 23 |
| 3.1.3 TS parametre reproduktorov - Thiele & Small..... | 23 |
| 3.1.4 Elektrodynamické reproduktory | 24 |
| 3.2 Ozvučnice | 25 |
| 3.2.1 Typy ozvučníc..... | 25 |
| 3.3 Výber reproduktorov..... | 26 |
| 3.3.1 Basový reproduktor..... | 26 |
| 3.3.2 Výškový reproduktor | 27 |
| 3.4 Návrh ozvučnice | 28 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.4.1 | Stavebný materiál | 28 |
| 3.4.2 | Rozmery, tvar a typ ozvučnice | 28 |
| 3.4.3 | Simulácia v programe Amplion..... | 29 |
| 3.4.4 | Umiestnenie výškového reproduktoru | 31 |
| 3.5 | Konštrukcia reprobredne..... | 31 |
| 3.6 | Konštrukcia zadného panelu..... | 33 |
| 3.7 | Merania reprobredne | 34 |
| 4 | Záver | 36 |
| | Literatúra | 38 |
| | Zoznam symbolov, veličín a skratiek | 39 |
| A | Návrh zariadenia | 40 |
| A.1 | Schéma napájacieho zdroja DSP | 40 |
| A.2 | DPS napájacieho zdroja DSP..... | 40 |
| A.3 | Osadzovací plán dosky napájacieho zdroja DSP | 40 |
| A.4 | Schéma napájacieho zdroja zosilňovača..... | 41 |
| A.5 | DPS napájacieho zdroja zosilňovača | 41 |
| A.6 | Osadzovací plán dosky napájacieho zdroja zosilňovača - TOP | 42 |
| A.7 | Osadzovací plán dosky napájacieho zdroja zosilňovača - BOTTOM | 42 |
| A.8 | Schéma modulu DSP | 43 |
| A.9 | DPS modulu DSP - TOP..... | 44 |
| A.10 | DPS modulu DSP - BOTTOM | 44 |
| A.11 | Osadzovací plán dosky DSP - TOP | 45 |
| A.12 | Osadzovací plán dosky DSP - BOTTOM..... | 45 |
| A.13 | Schéma koncového zosilňovača | 46 |
| A.14 | DPS koncového zosilňovača - TOP..... | 47 |
| A.15 | DPS koncového zosilňovača - BOTTOM | 47 |
| A.16 | Osadzovací plán DPS koncového zosilňovača - TOP | 48 |
| A.17 | Osadzovací plán DPS koncového zosilňovača - BOTTOM..... | 48 |
| B | Zoznam súčiastok | 49 |
| B.1 | Zoznam súčiastok napájacieho zdroja DSP | 49 |
| B.2 | Zoznam súčiastok napájacieho zdroja zosilňovača | 49 |
| B.3 | Zoznam súčiastok DSP | 49 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| B.4 | Zoznam súčiastok koncového zosilňovača | 51 |
| C | Reproduktory, Ozvučnica | 53 |
| C.1 | Nákres a rozmery reproduktora Seas CA18RNX [mm] | 53 |
| C.2 | Vlastnosti a parametre reproduktora Seas CA18RNX | 53 |
| C.3 | Nákres a rozmery reproduktora Seas 27TFFC [mm]..... | 54 |
| C.4 | Vlastnosti a parametre reproduktora Seas 27TFFC | 55 |
| C.5 | Konštrukčné nákresy reprobredne - predná stena | 56 |
| C.6 | Konštrukčné nákresy reprobredne - bočné steny + priečka | 57 |
| C.7 | Konštrukčné nákresy reprobredne - zadné stena..... | 58 |
| C.8 | 3D vizualizácia vnútra reprobredne - priečky | 59 |
| D | Zadný panel | 60 |
| E | Fotogaléria procesu výroby | 62 |

ZOZNAM OBRÁZKOV

| | | |
|--------------|---|----|
| Obrázok 1.1 | Prechodové skreslenie [2] | 4 |
| Obrázok 1.2 | Trieda AB [11] | 5 |
| Obrázok 1.3 | Popis fungovania triedy D [2] | 5 |
| Obrázok 1.4 | Generovanie výstupného signálu u triedy D [2] | 6 |
| Obrázok 2.1 | Celková bloková schéma zariadenia | 7 |
| Obrázok 2.4 | Bloková schéma vnútorného zapojenia obvodu ADAU1701 [12] | 9 |
| Obrázok 2.6 | Programovacie rozhranie Sigma Studio..... | 10 |
| Obrázok 2.7 | Nastavenie Linkwitz-Riley výhybky | 11 |
| Obrázok 2.8 | Frekvenčná a fázová (čiarkovane) charakteristika - priamy priechod signálu..... | 12 |
| Obrázok 2.9 | Celkové harmonické skreslenie THD - priamy priechod signálu | 12 |
| Obrázok 2.10 | Úroveň šumu - priamy priechod signálu..... | 12 |
| Obrázok 2.11 | Frekvenčná a fázová (čiarkovane) charakteristika - použitie funkcií DSP | 13 |
| Obrázok 2.12 | Prototyp DSP - vrchná strana dosky | 13 |
| Obrázok 2.14 | Bloková schéma vnútorného zapojenia TDA8954 [1]..... | 15 |

| | |
|--|----|
| Obrázok 2.16 Bloková schéma zapojenia meracieho reťazca | 16 |
| Obrázok 2.17 Prototypový modul koncového zosilňovača v SE zapojení | 17 |
| Obrázok 2.18 Simulácia výstupného LC filtra, cievka 22 μ H..... | 17 |
| Obrázok 2.19 Ďalšie testované cievky vo výstupnom filtri..... | 18 |
| Obrázok 2.20 Maximálny výkon bez skreslenia..... | 19 |
| Obrázok 2.21 Limitácia | 19 |
| Obrázok 2.23 Zmeraný frekvenčný priebeh | 20 |
| Obrázok 2.24 Zmerané skreslenie THD | 20 |
| Obrázok 2.25 Zmeraná úroveň šumu..... | 20 |
| Obrázok 2.26 Spektrum výstupného signálu pri budení 1kHz..... | 21 |
| Obrázok 2.27 Spektrum výstupného signálu - zosilňovač v limitácii | 21 |
| Obrázok 3.1 Konštrukcia elektrodynamického reproduktora [8] | 24 |
| Obrázok 3.2 Reproduktor Seas CA18RNX [11] | 26 |
| Obrázok 3.3 Frekvenčná a impedančná charakteristika Seas CA18RNX [11] | 26 |
| Obrázok 3.4 Reproduktor Seas 27TFFC [12]..... | 27 |
| Obrázok 3.5 Frekvenčná a impedančná charakteristika reproduktora Seas 27TFFC [12] | 27 |
| Obrázok 3.6 Vizualizácia návrhu ozvučnice v programe Solidworks..... | 28 |
| Obrázok 3.7 TS parametre reproduktoru Seas CA18RNX zadané v programe Amplion | 29 |
| Obrázok 3.8 Simulácia v programe Amplion pre rôzne ladenia rezonancie bassreflexu | 30 |
| Obrázok 3.9 Simulácia v programe Amplion pre rôzne objemy ozvučnice | 30 |
| Obrázok 3.10 Rozmery a celkový vzhľad hotovej reprobredne | 31 |
| Obrázok 3.11 Otvor na osadenie zadného panelu..... | 32 |
| Obrázok 3.12 Vizualizácia zadného panelu v programe Solidworks | 33 |
| Obrázok 3.13 Hotový panel s popiskami a vyvrtanými dierami slúžiacimi na uchytenie jednotlivých modulov | 34 |
| Obrázok 3.14 Meranie reprobredne signálom Square Noise, uhol 0° | 35 |

ZOZNAM TABULIEK

| | |
|---|----|
| Tabuľka 1.1 Porovnanie triedy AB a D | 6 |
| Tabuľka 2.1 Parametre integrovaného obvodu TDA8954 [1]..... | 15 |

ÚVOD

Cieľom tejto práce bolo navrhnuť celkovú koncepciu a skonštruovať funkčný prototyp aktívnej reproduktorovej sústavy typu bi-amp určenej pre použitie v štúdiu. Toto určenie zadalo podmienky spracovania, ktoré nevyžadovali vysoký výkon, tak ako je tomu u reprosústav určených pre ozvučenie voľných priestranstiev (PA), ale hlavne kvalitu prednesu a vyvážený frekvenčný priebeh. Práca obsahuje návrh všetkých modulov tejto koncepcie reproduktorovej sústavy a to reproduktorovej ozvučnice, napájacieho zdroja, DSP procesora a koncového zosilňovača. Obsahuje taktiež namerané parametre hotového prototypu, merania jednotlivých modulov a celkové zhodnotenie vybraného riešenia. V prílohách sú uvedené kompletne konštrukčné podklady na zhotovenie vyvinutého riešenia.

1 NÍZKOFREKVENČNÉ VÝKONOVÉ ZOSILŇOVAČE

Uvedieme charakteristiku hlavného a najzložitejšieho prvku tejto bakalárskej práce.

1.1 Definícia zosilňovačov všeobecne

Sú to zariadenia, ktoré slúžia na výkonové zosilnenie signálu do nich privádzaného, zvyšujú amplitúdu striedavého elektrického signálu. Používajú sa v oblastiach nízkofrekvenčnej techniky - elektroakustiky, ale aj vo vysokofrekvenčnej technike a pri regulovaní a riadení rôznych strojov.

Rozdeľujú sa na tieto hlavné triedy:

1. podľa použitých aktívnych súčiastok:
 - elektrónkové
 - s bipolárnymi tranzistormi
 - s unipolárnymi tranzistormi (MOSFET)
 - s integrovanými obvodmi
2. podľa druhu a frekvencie vstupného signálu:
 - nízkofrekvenčné (20 Hz ~ 20 kHz, elektroakustika)
 - vysokofrekvenčné (viac ako 20 kHz, bezdrôtový prenos správ, telekomunikácie)
 - impulzné (číslicové a výpočtové systémy, impulz. prenosové systémy, rádiolokácia, TV technika, ...)
 - jednosmerné (regulačné a meracie zariadenia)
3. podľa veľkosti vstupného (budiaceho) signálu:
 - predzosilňovače – zosilňujú signály na malé úrovne
 - výkonové zosilňovače – zosilňujú signály z predzosilňovača na požadovanú úroveň
4. podľa šírky prenášaného pásma:
 - úzkopásmové
 - širokopásmové

5. podľa väzby medzi zosilňovacími vstupmi:
 - s RC väzbou (kapacitná väzba) najpoužívanejšia, najmä pri NF
 - s transformátorovou väzbou
 - s priamou väzbou
6. podľa zapojenia tranzistora:
 - so spoločným emitorom **SE**
 - so spoločnou bázou **SB**
 - so spoločným kolektorom **SC**
7. podľa polohy kľudového pracovného bodu (pracovnej triedy):
 - zosilňovač triedy A, B, AB, C, D, G, H, T

Základné parametre zosilňovača určuje:

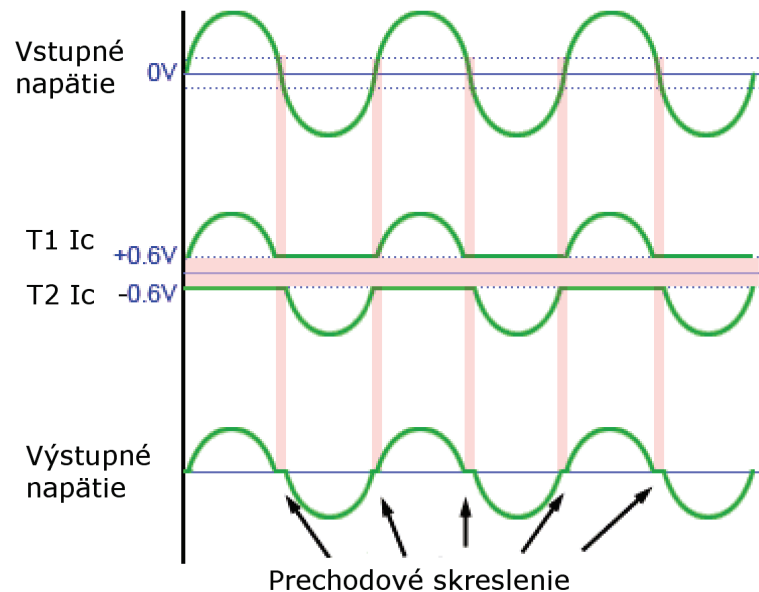
- zosilnenie
 - môže byť napät'ové, prúdové a výkonové (väčšinou sa udáva v dB a potom ho nazývame **ziskom** zosilňovača):

$$A_U = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} \text{ [dB]} \quad \left| \quad A_I = 20 \cdot \log \frac{I_2}{I_1} \text{ [dB]} \quad \right| \quad A_P = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \text{ [dB]}$$

- odolnosť proti rozkmitaniu (stabilita)
- šírka pásma (kmitočtový rozsah spracovateľného signálu)
 - určená medznými frekvenciami, pri ktorých dochádza k poklesu zosilnenia o 3dB voči referenčnej úrovni
- skreslenie
 - ideálne by mal mať zosilňovač absolútne lineárny priebeh zosilnenia, avšak toto sa nedá docieľiť, pretože by sme museli vždy dosiahnuť rovnaké podmienky (teplota, frekvencia, úroveň signálu)
 - nelineárne skreslenie
 - tvarové - zmena tvaru vstupného signálu v dôsledku nelinearity súčiastok
 - intermodulačné - vzniká pri vstupnom signále obsahujúcom dve rozdielne frekvencie
 - lineárne
 - frekvenčné - závislosť zosilnenia od frekvencie
 - fázové - fázový posun medzi vstupným a výstupným signálom

- prechodové - hlavne u triedy B, vzniká pri prechode nulou, pretože nie každý tranzistor vedie presne pol cyklu
- činiteľ harmonického skreslenia - udáva o koľko percent sa odlišuje výstupný signál od vstupného, u Hi-Fi zariadení býva v rádoch desiatin percenta, skreslenie nad 1 % je počuteľné a rozoznáme ho sluchom

[5]



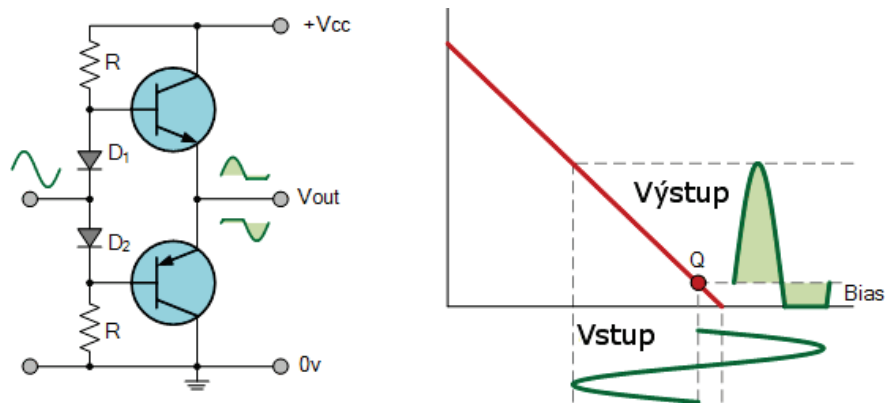
Obrázok 1.1 Prechodové skreslenie [2]

1.2 Porovnanie pracovnej triedy AB a D

Pracovnú triedu zosilňovača určuje poloha kľudového pracovného bodu na prevodnej charakteristike tranzistora. Prevodnú charakteristiku tranzistora určuje závislosť prúdu kolektorom tranzistoru na prúde jeho bázou. Porovnáme iba triedy AB a D, ktoré sa momentálne využívajú hlavne u NF zosilňovačov nižšieho výkonu (do 100W). U profesionálnych zosilňovačov určených pre vyššie výkony sa využíva aj tried G, H, avšak čím ďalej tým viac zariadení je navrhnutých v triede D, prípadne kombinovanej s triedou T.

- **trieda AB**

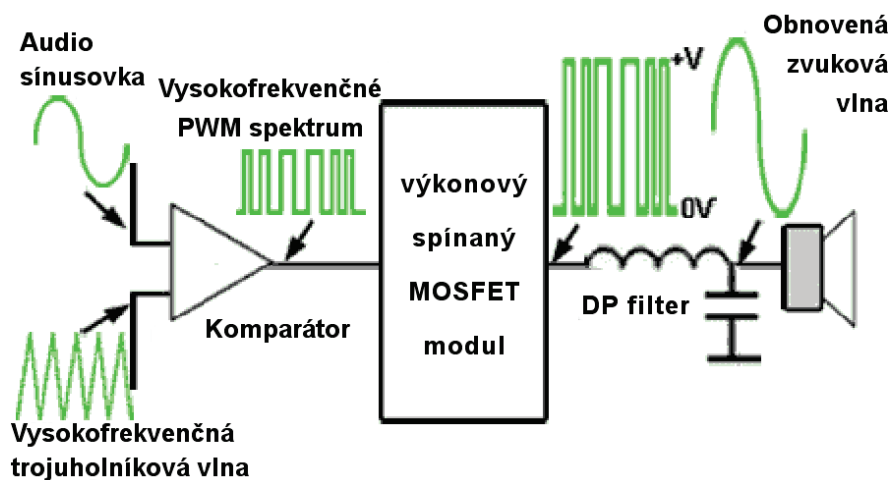
Využíva výhody tried A a B, pracuje s pracovným bodom medzi triedou A a B. Využíva malý kľudový prúd. Tým, že je pracovný bod umiestnený tesne pred bod zániku kolektorového prúdu, dosiahne sa pomerne nízkeho skreslenia, avšak zníži sa oproti triede B účinnosť. V zapojení push-pull každý z tranzistorov spracováva mierne viac ako polovicu cyklu (viac ako u triedy B, ale menej ako u triedy A). Tým pádom nie je potrebné použiť fázový invertor, môže byť použitý NPN a PNP pár tranzistorov a dosiahne sa nízke prechodové skreslenie. Táto trieda je u zosilňovačov bežnej konštrukcie najviac používanou.



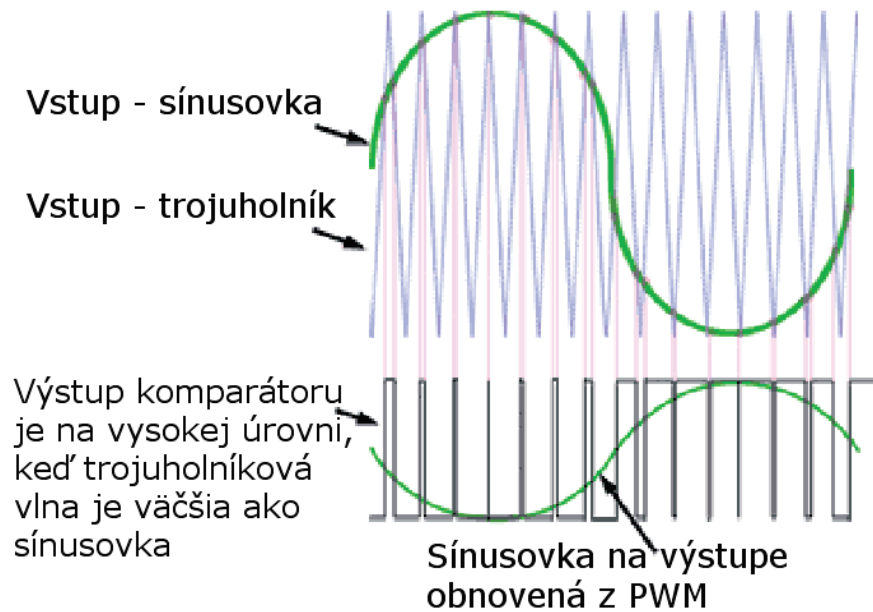
Obrázok 1.2 Trieda AB [11]

- **trieda D**

Zosilňovač v tejto triede pracuje v spínacom režime a využívajú techniku pulzne-šírkovej modulácie PWM. Tieto zosilňovače sa využívajú hlavne kvôli ich vysokej účinnosti a ušetrení veľkosti chladiča. Jeho účinnosť závisí hlavne na vlastnostiach koncových výkonových MOSFET tranzistorov a na kvalite výstupného filtra. Straty na tranzistoroch vznikajú hlavne kvôli kapacite samotného prechodu tranzistora, ale aj kvôli spínacím a vypínacím časom tranzistoru. Ďalej nemôžeme zanedbať odpor kanála DS v zopnutom stave - $R_{DS(on)}$. Princíp fungovania triedy D je možné ľahko pochopiť z nasledujúceho obrázku.



Obrázok 1.3 Popis fungovania triedy D [2]



Obrázok 1.4 Generovanie výstupného signálu u triedy D [2]

V nasledujúcej tabuľke porovnáme hlavné rozdiely týchto 2 tried.

Tabuľka 1.1 Porovnanie triedy AB a D

| trieda AB | trieda D |
|----------------------------|---------------------------|
| nižšia účinnosť (cca 60 %) | vysoká účinnosť (80-90 %) |
| lineárny režim | spínaný režim |
| vyššia kvalita zvuku | nižšia kvalita zvuku |
| nízke skreslenie | vyššie skreslenie |

V danej aplikácii by bolo najvhodnejšie použiť triedu T, ktorú vytvorila firma Tripath vývojom svojich čipov s audiofilskou kvalitou. Tie dosahujú nižšie skreslenie ako čipy v triede D, hlavne na vyšších tónoch, čo značne zlepšuje kvalitu prednesu.

2 JEDNOTLIVÉ MODULY ELEKTRONICKEJ ČASTI REPRODUKTOROVEJ SÚSTAVY

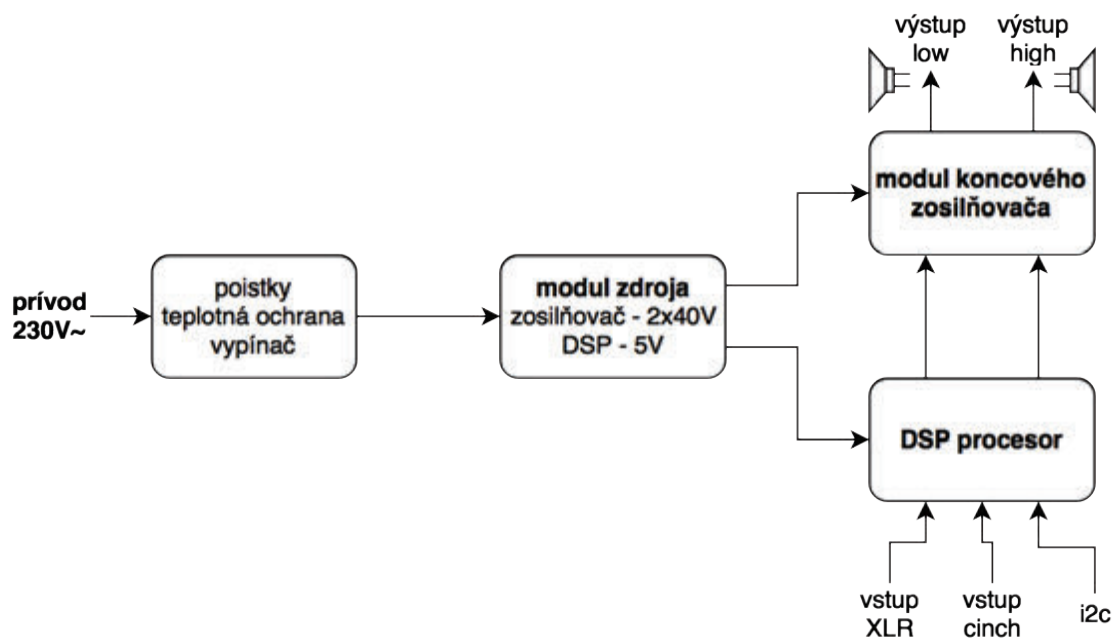
V nasledujúcej kapitole budú bližšie popísané jednotlivé moduly zrejme z nasledujúcej blokovej schémy.

Napájanie pre každý modul je oddelené, kvôli rozdielnym druhom napájania (symetrické / nesymetrické).

Modul zosilňovača a modul Digitálneho Signálového Procesora (ďalej DSP) je taktiež na samostatných plošných spojoch jednak z dôvodu vývoja, kedy kvôli zmene v jednom module nebolo treba znova vyrábať celý modul, ale hlavne kvôli tomu, že zosilňovače v triede D pracujú na vysokých kmitočtoch a tak by mohli spôsobiť problémy s rušením obvodov, ktoré sa nachádzajú v ich tesnej blízkosti.

Jednotlivé dosky plošných spojov sú na mosadzných distančných stĺpkoch, avšak sú oddelené plastovými podložkami a izolačnými medzerami okolo skrutiek. To zaručuje spojenie zeme iba tam, kde je to potrebné a nevznikajú tak zemné slučky.

Použitie modulu DSP miesto klasickej výhybky pomocou operačných zosilňovačov bolo spôsobené mnohými výhodami tohto digitálneho riešenia pri pomerne dobrom zachovaní kvality zvuku. Toto DSP je možné programovať v reálnom a je tak možné ľahko meniť parametre výhybky a ekvalizérov pri ladení reprobredne, čo by u analógového riešenia bolo sprevádzané zmenami hodnôt súčiastok, čo je veľmi pomalé a nákladné riešenie.



Obrázok 2.1 Celková bloková schéma zariadenia

2.1 Moduly napájacích zdrojov

Zabezpečujú napájanie všetkých modulov, výkonového zosilňovača a DSP. Napájacie zdroje obsahujú iba jednoduché usmernenie pomocou Graetzovho mostíka a následné vyfiltrovanie napájacieho napätia pomocou elektrolytických a keramických kondenzátorov. Modul DSP obsahuje stabilizátor napätia, takže nie je potrebné napätie stabilizovať na doske zdroja.

2.1.1 Popis zapojenia

Napájací modul pre zosilňovač poskytuje usmernenie a vyfiltrovanie napájacieho napätia z toroidného transformátora 230 / 2 x 22-35 V (100-300VA), umiestneného mimo dosky a pripojeného pomocou konektorov faston, pre modul výkonového zosilňovača, ktorý vyžaduje symetrické napájanie približne 2 x 25-42 V=. Je použité usmernenie klasickým Graetzovým mostíkom a vyfiltrovanie elektrolytickými kondenzátormi typu snap-in.

Napájací modul pre DSP produkuje taktiež nestabilizované napätie, pretože modul DSP obsahuje regulátor s nízkym úbytkom napätia, ktorý je schopný spracovať napätie 5-15 V=. Napätie z malého transformátora do DPS 230 / 5 V umiestneného na plošnom spoji je teda iba usmernené a vyfiltrované.

Výpočet kapacity filtračných kondenzátorov [7]

Integrovaný obvod výkonového zosilňovača môže byť citlivý na zvlnenie napájacieho napätia a preto je uvažované maximálne zvlnenie 7%. Maximálny stály odoberaný prúd je približne 2A z každej vetvy a napätie 40V.

$$C_{celk} = \frac{k \cdot I}{U_{zvl}} = \frac{9 \cdot 2000}{25 \cdot 0,07} = 10286 \text{ } \mu\text{F na vetvu} \implies 2 \times 10000 \text{ uF / 63 V}$$

C_{celk} - celková kapacita filtračných kondenzátorov [μF]

k - konštanta zjednodušujúca výpočet, pre zvlnenie 7% $\implies k=9$

I - prúd odoberaný zo zdroja pri maximálnej záťaži [mA]

U_{zvl} - zvlnenie napätia [V]

Kondenzátory sú použité typu snap-in (priemyslové) pre dosiahnutie čo najnižšieho ekvivalentného sériového odporu (ESR) a najdlhšej životnosti. Trafo stačí použiť s výkonom približne 150VA, pretože hudobný signál obsahuje hlavne špičkový odber výkonu a ten pokryjú filtračné kondenzátory. Väčší transformátor avšak nie je na škodu, ale je zbytočné ho kupovať. V danom prototypu je použité toroidné trafo s výkonom 300 VA.

Schémy zapojenia je možné nájsť v prílohe.

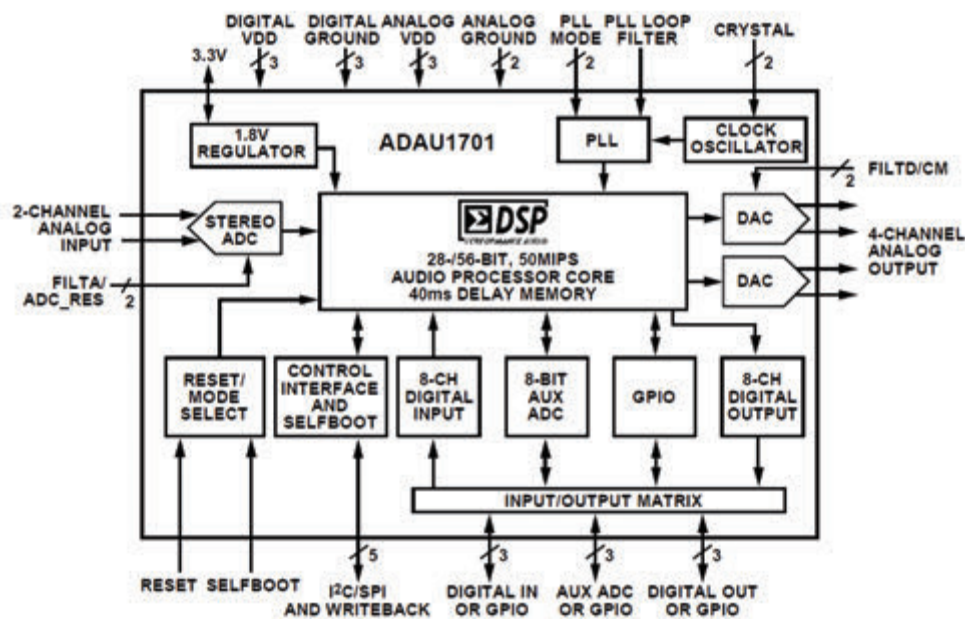
2.2 Modul digitálneho signálového procesora (DSP)

Ako vstup do DSP je využitý signál s linkovou úrovňou s pomocou konektorov XLR a Jack 6,3 mm- symetrický a Cinch - nesymetrický. Symetrický XLR vstup je použitý z dôvodu kompatibility s väčšinou profesionálnych zariadení, ktoré používajú tento štandardizovaný konektor. Konektor je kombinovaný s konektorom typu Jack 6,3mm, ktorý sa tiež často vyskytuje u všetkých druhov zvukovej techniky. Ako nesymetrický vstup je použitý konektor typu cinch, ktorý sa nachádza zväčša u HiFi zariadení.

DSP procesor bol zvolený typ ADAU1701 od výrobcu Analog Devices, ku ktorému je dodávané jednoduché grafické rozhranie na programovanie a bohatá dokumentácia. Procesor má vlastnú pamäť, ktorá je využívaná na programovanie v reálnom čase. Pre trvalé uloženie nastavení je využitá E2PROM pamäť 24AA256, ktorá je pripojená externe a procesor z nej sám bootuje, ak nie je pripojený počítač na programovanie.

Operačné zosilňovače sú Analog Devices AD8606 v púzdre SMD, kvôli výborným parametrom a tým pádom vysokej kvalite prenášaného zvuku. SMD púzdro bolo zvolené kvôli možnosti povrchovej montáže medzi vývodmi väčších fóliových kondenzátorov a tak možnosti ušetrenia miesta na plošnom spoji. OZ musia byť typu rail to rail, kvôli nízkemu napájacíemu napätiu 3,3 V. Ak by bolo potrebné mať na výstupe DSP modulu vyššiu úroveň signálu, je možné použiť klasické OZ, napr. OPA2134, TL072, avšak bolo by potrebné upraviť napájací zdroj a do modulu dodávať aj symetrické napätie o veľkosti potrebnej pre daný typ OZ.

DSP procesor je programovateľný pomocou zbernice I²C, ktorá je k počítaču pripojená cez USBi prevodník – dosičku od firmy Cypress, čo je kópia originálneho prevodníku od Analog Devices. Na programovanie v počítači slúži jednoduché grafické rozhranie Sigma Studio, ktoré obsahuje veľké množstvo predpripravených modulov na upravovanie signálu a je funkčný aj s týmto neoriginálnym prevodníkom.



Obrázok 2.2 Bloková schéma vnútorného zapojenia obvodu ADAU1701 [12]

Processor obsahuje taktiež general purpose input-output (GPIO) piny, ktoré sú využité ako informačný výstup pomocou LED diód – indikácia prebudenia (limit) a digitálne ovládanie hlasitosti s klasickým potenciometrom (DSP obsahuje AD prevodník na niektorých GPIO pinoch).

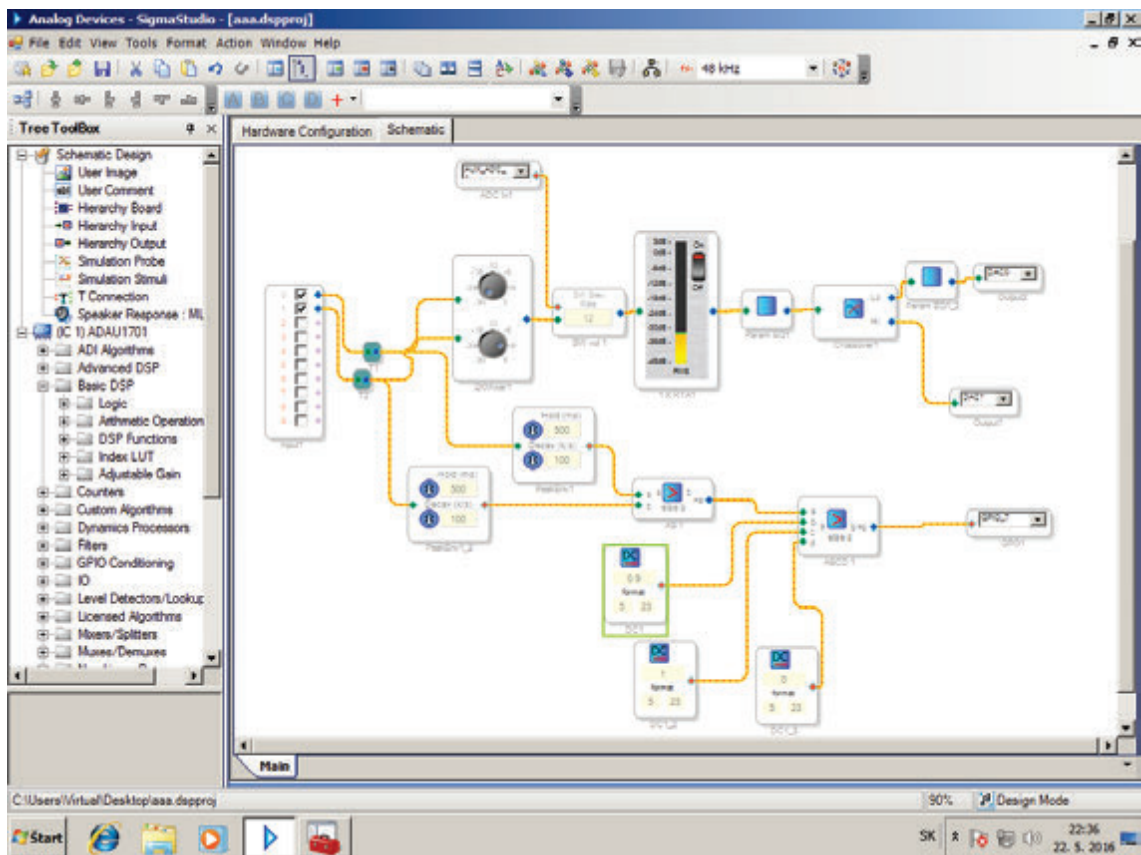
Všetky kondenzátory s výnimkou keramických a elektrolytických kondenzátorov pripojených k napájacím vývodom DSP a OZ, ktoré slúžia proti možnému rozkmitaniu, sú fóliové polypropylénové kondenzátory od výrobcu WIMA, ktoré oproti použitiu elektrolytických kondenzátorov zaručujú vyššiu kvalitu zvuku a dlhšiu trvanlivosť parametrov kondenzátora.

Na rozdelenie signálu je použitá výhybka typu Linkwitz-Riley so strmou 24dB/okt a na vyrovnanie frekvenčnej charakteristiky parametrické ekvalizéry. Processor je nastavený tak, aby slúžil aj ako limiter/kompresor pre obmedzenie výkonu idúceho do jednotlivých reproduktorov.

2.2.1 Schéma zapojenia

Schéma vychádza z opensource projektu FreeDSP a datového listu DSP ADAU1701. Je upravená špeciálne pre požiadavky tohto projektu. Schému je možné nájsť v prílohe v čitateľnej veľkosti.

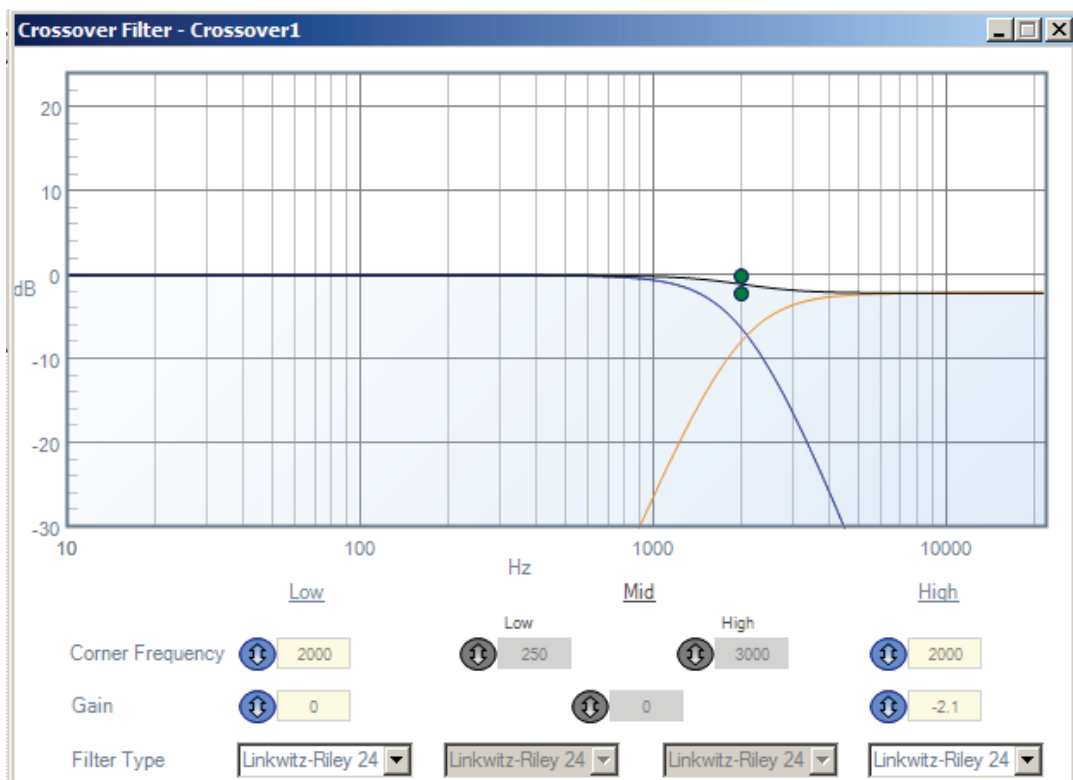
2.2.2 Programovanie pomocou Sigma Studio



Obrázok 2.3 Programovacie rozhranie Sigma Studio

Program Sigma Studio vyvinutý pre DSP procesory rady ADAUxxx obsahuje veľmi jednoduché grafické rozhranie, kde stačí vybrať požadované bloky a pospájať ich vodičmi. Následne po kliknutí na vybraný blok sa otvorí rozhranie napr. ako na Obrázku 2.7 a je možné nastaviť parametre signálového procesoru. DSP obsahuje taktiež rôzne aritmeticko-logické funkcie, ktoré boli využité na indikáciu prebudenia - LIMIT, funkcie na úpravu signálu - výhybka Linkwitz-Riley a parametrický ekvalizér.

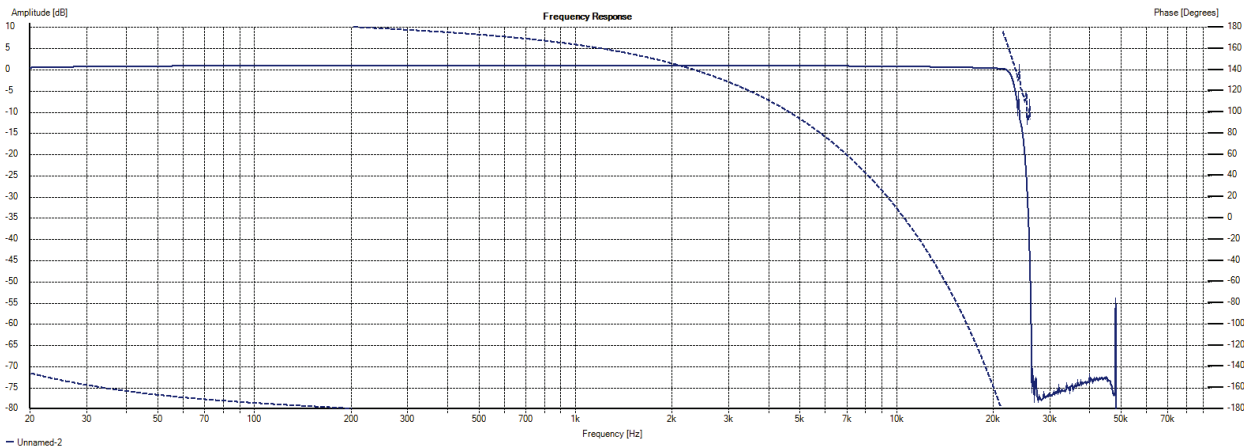
Časť GPIO pinov je využiteľná ako AD prevodník alebo ako výstup. Jeden pin bol použitý na pripojenie klasického potenciometra a digitálnu reguláciu hlasitosti priamo v DSP, druhý na indikáciu prebudenia pomocou LED diódy.



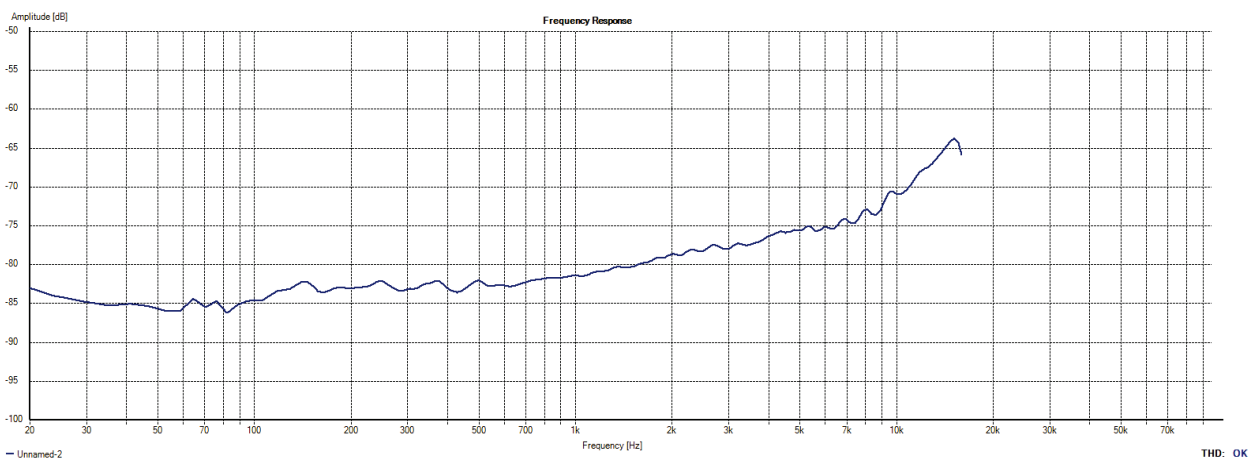
Obrázok 2.4 Nastavenie Linkwitz-Riley výhybky

2.2.3 Zmerané reálne parametre

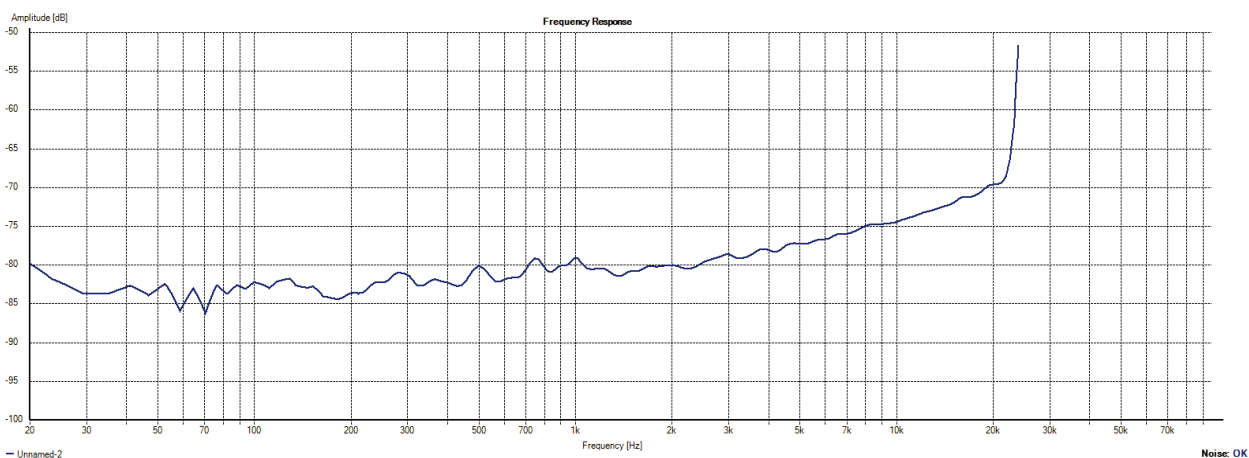
Ako je vidno na nasledovných grafoch, daný obvod DSP procesora pri svojej cene (10€) dosahuje výborných parametrov. Možnosti konfigurovania sú takmer nekonečné, limitom je iba výkon čipu. Bola zmeraná frekvenčná charakteristika, ktorá končí na 22 kHz, čo sedí so vzorkovacou frekvenciou 44.1 kHz. Celkové harmonické skreslenie aj šum dosahujú malých hodnôt.



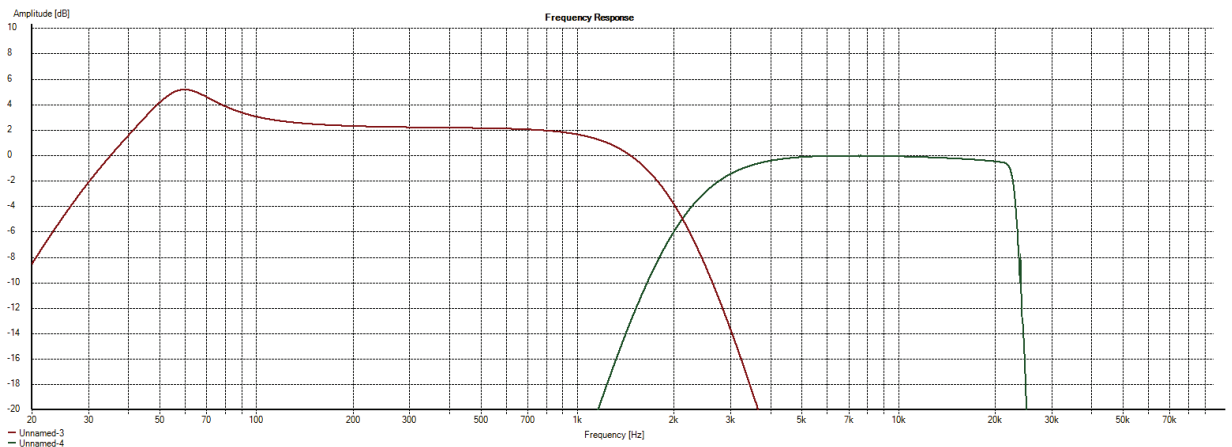
Obrázok 2.5 Frekvenčná a fázová (čiarkovane) charakteristika - priamy prechod signálu



Obrázok 2.6 Celkové harmonické skreslenie THD - priamy prechod signálu



Obrázok 2.7 Úroveň šumu - priamy prechod signálu



Obrázok 2.8 Frekvenčná a fázová (čiarkovane) charakteristika - použitie funkcií DSP

Posledný meraný graf znázorňuje použitie funkcií DSP ako je výhybka a ekvalizér. Obvod celkovo dosahuje veľmi nízku úroveň šumu a skreslenia v porovnaní s drahými továrenskými výrobkami, čo ho predurčuje na použitie v profi reprosústavách. Obvod by bol schopný dosiahnuť aj vyššieho frekvenčného rozsahu, ak by bolo upravené nastavenie vzorkovacej frekvencie a výstupných filtrov na operačných zosilňovačoch.

2.2.4 Prototyp DSP modulu

Prototyp bol zhotovený v dielni UREL, plošný spoj je obojstranný a prekovený, spodná strana je takmer celá vylíata med'ou a uzemnená na viacerých miestach, aby bolo zaručené minimálne prenikanie rušenia z procesoru do signálových ciest. Modul pracuje po miernom upravení I²C komunikácie bezproblémovo a je ho možné programovať aj v reálnom čase. Ďalšie fotografie je možné nájsť v prílohe.



Obrázok 2.9 Prototyp DSP - vrchná strana dosky

2.3 Modul výkonového zosilňovača

V semestrálnom projekte bol vybraný obvod TPA3116, ktorý avšak po dôkladnom preskúmaní dosahoval iba veľmi malý výkon do záťaže 8Ω a zároveň sa nedal mostíkovať, ale zapojiť iba paralelne, takže vyšší výstupný výkon do 8Ω sa nedá dosiahnuť žiadnou úpravou zapojenia. Nakoniec padlo rozhodnutie zvoliť iný integrovaný obvod a výkonové zosilnenie zabezpečuje integrovaný obvod TDA8954 od výrobcu NXP. Obvod bol po hľadaní v databázach rôznych výrobcov vybraný vzhľadom k jednoduchému zapojeniu - nie je potrebné pripájať ďalšie tranzistory a kvôli dostatočujúcim parametrom. Pri plnom výkone a nízkom skreslení dosahuje výkonu približne $80W/8\Omega$ (RMS) - zmerané pri napájaní $\pm 40V$. V nasledujúcich odstavcoch si uvedieme hlavné vlastnosti tohto integrovaného obvodu.

2.3.1 Popis TDA8954 [1]

Stereo alebo mono vysokoúčinný zosilňovač v triede D v integrovanom púzdre. Navrhnutý na dosiahnutie výkonov $2 \times 210 W$ do 4Ω záťaže v stereo Single-Ended (SE) zapojení alebo $1 \times 420 W$ do 8Ω záťaže v mono Bridge-Tied Load (BTL) zapojení. Kombinuje výhodné vlastnosti D triedy (účinnosť $\approx 93\%$ do 4Ω záťaže) s HiFi kvalitou zvuku porovnateľnou so zosilňovačmi v triede AB.

Zosilňovač pracuje v rozmedzí napätí $\pm 12.5 V$ to $\pm 42.5 V$ a má nízky kludový prúdový odber. Ako je zjavné z grafov v datasheete, zosilňovač dosahuje pomerne nízkeho skreslenia do výkonu približne $300 W$ (8Ω), následne skreslenie prudko narastá. Taktiež je zrejmé, že zosilňovač má vyššie skreslenie hlavne na vysokých tónoch, čo je charakteristické pre D triedu. Najvyššiu účinnosť zosilňovač dosiahne pri najvyššom výkone.

Obsahuje dva piny na monitorovanie tepelnej ochrany - Thermal Fold Back (TFB), nadprúdovej ochrany - Over Current Protection (OCP) a iných ochranných obvodov.

2.3.2 Vlastnosti TDA8954 [1]

výkon pri skreslení 10%:

SE $2 \times 210 W$, $RL = 4 \Omega$ ($V_{DD} = 41 V$; $V_{SS} = -41 V$)

SE $2 \times 235 W$, $RL = 3 \Omega$ ($V_{DD} = 39 V$; $V_{SS} = -39 V$)

SE $2 \times 150 W$, $RL = 6 \Omega$ ($V_{DD} = 41 V$; $V_{SS} = -41 V$)

BTL $1 \times 420 W$, $RL = 8 \Omega$ ($V_{DD} = 41 V$; $V_{SS} = -41 V$)

symetrické napájacie napätie od $\pm 12.5 V$ do $\pm 42.5 V$

stereo plne symetrické vstupy, pri stereo SE aj mono BTL zapojení

nízky šum, zapnutie aj vypnutie bez puknutia do reproduktorov

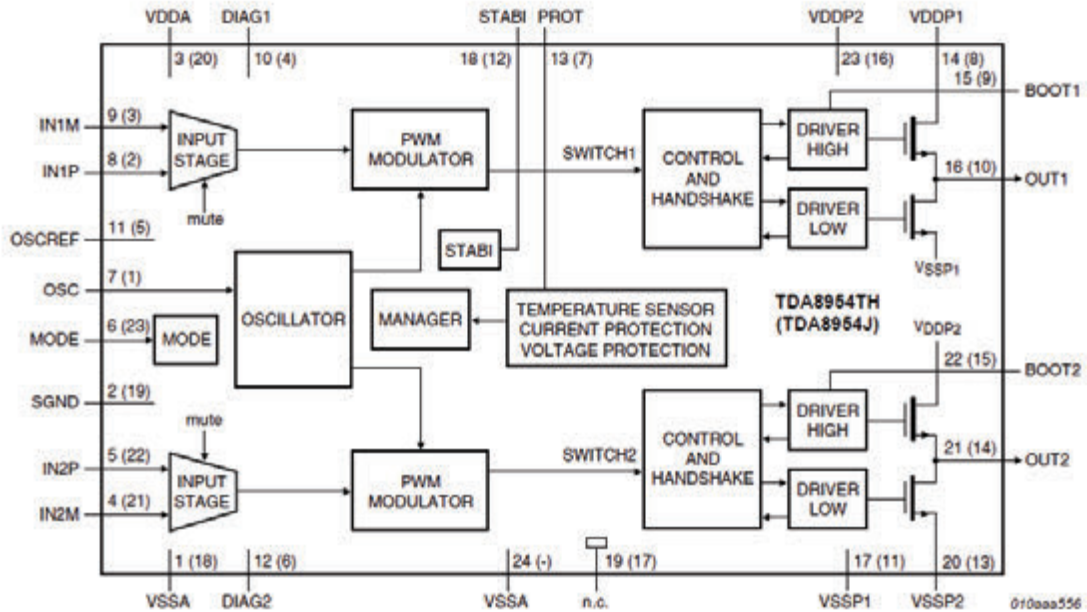
2-pin diagnostika ochranných obvodov

vysoká účinnosť $\approx 93\%$

napäťový a prúdový limiter na výstupe, , ochrana proti skratu

teplotná spätná väzba - obmedzenie výkonu pri prekročení určitej teploty

2.3.3 Bloková schéma TDA8954



Obrázok 2.10 Bloková schéma vnútorného zapojenia TDA8954 [1]

Tabuľka 2.1 Parametre integrovaného obvodu TDA8954 [1]

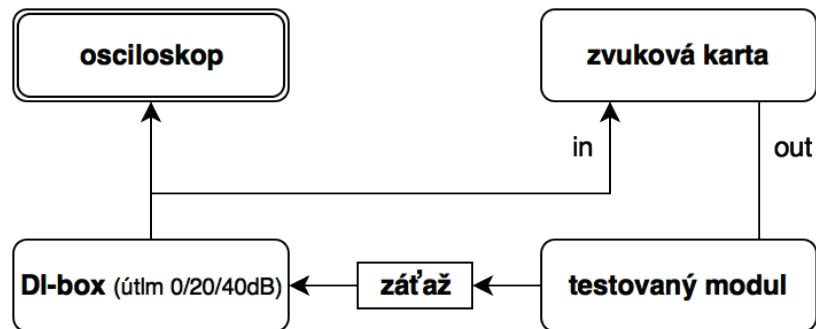
| | min | nom | max | jednotky |
|---|----------|------|----------|----------|
| napájacie napätie | ±12,5 | ±41 | ±42,5 | V |
| offset na výstupe (MUTE) SE | -150(37) | - | +150(37) | mV |
| offset na výstupe (MUTE) BTL | -210(30) | - | +210(30) | mV |
| kľudový prúd v kladnej vetve | | 50 | 60 | mA |
| kľudový prúd v zápornej vetve | | 65 | 75 | mA |
| zosilnenie | 29 | 30 | 31 | dB |
| trvalý výstupný výkon SE 4 Ω THD+N = 0,5%, V = ±41 V, f = 1 kHz | | 160 | | W |
| trvalý výstupný výkon BTL 8 Ω THD+N = 0,5%, V = ±41 V, f = 1 kHz | | 330 | | W |
| presluchy | | -70 | | dB |
| celkové harmonické skreslenie THD | | 0,03 | 0,1 | % |
| vstupná impedancia | 45 | 56 | | kΩ |
| frekvencia oscilátoru | 290 | 335 | 365 | kHz |
| aktivácia tepelnej ochrany | | 154 | | °C |
| účinnosť | | 93 | | % |

2.3.4 Schéma zapojenia

Schéma zapojenia vychádza zo vzorového zapojenia v datasheetovom liste obvodu TDA8954, ktoré je overené a funkčné a využíva sa aj v mnohých hobby projektoch. Kvôli dobrej čitateľnosti je uvedená iba v prílohách.

2.3.5 Skúšobný reťazec

Na meranie parametrov vyhotovených prototypov zosilňovača bola použitá zvuková karta pripojená k počítaču a programy HOLMImpulse a ARTA. Zvuková karta je schopná pracovať na maximálnej vzorkovacej frekvencii 96 kHz, čo znamená merací rozsah 0 - 48 kHz. Všetky komponenty meracieho reťazca sú vypísané pod obrázkom.



Obrázok 2.11 Bloková schéma zapojenia meracieho reťazca

zát'az = odpory 4 x 33 Ω / 15 W paralelne alebo 10 Ω / 150W

osciloskop Tektronix TDS2014C a Tektronix 2445

RC generátor Tesla BM534

zvuková karta Focusrite Scarlett 18i8 a **DI-box** BSS AR133

napájanie trafo toroid 2x25V 300VA

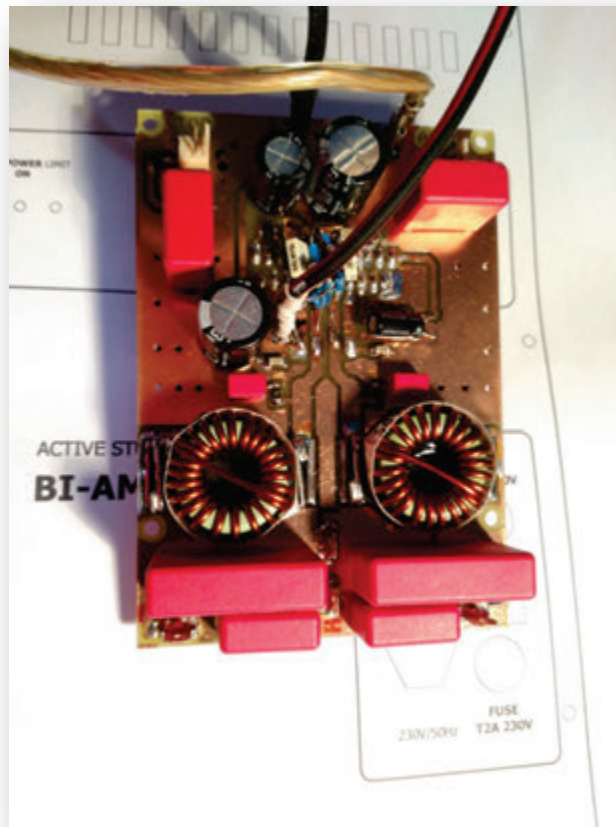
2.3.6 Prototypový modul

Plošný spoj prototypu modulu výkonového zosilňovača bol vyhotovený ako obojstranný a prekovený s čo najväčšou zemnou plochou, kvôli zamedzeniu rušenia do okolia, keďže zosilňovač generuje na výstupe z princípu frekvenciu 340 kHz o značnej amplitúde. Jeho zapojenie je totožné s vyššie uvedenou schémou.

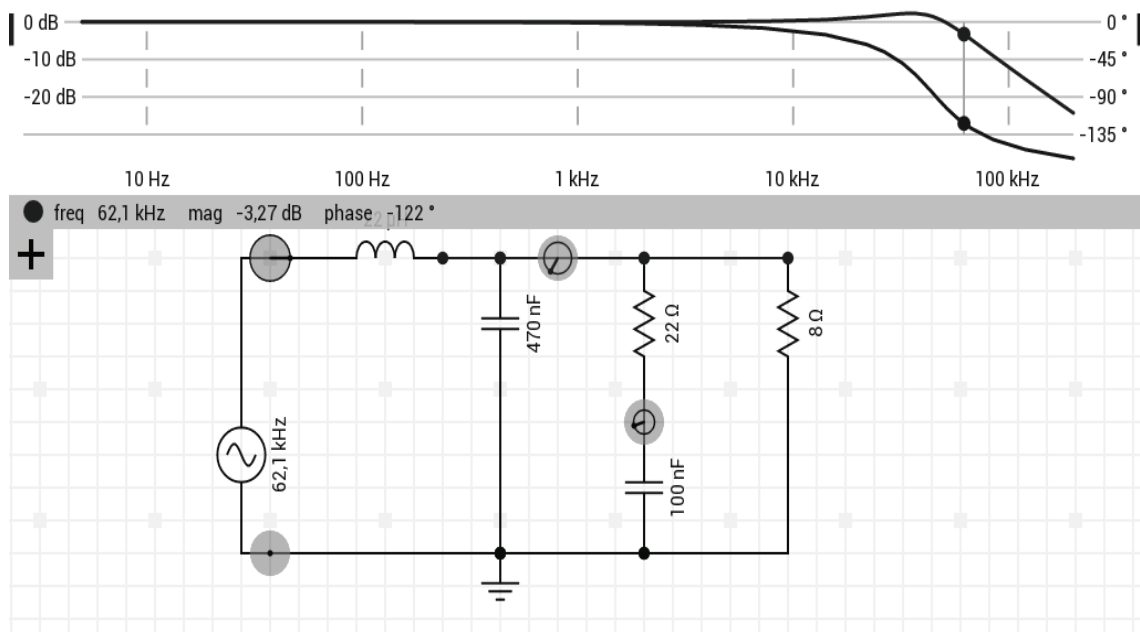
Výstupné cievky majú v prototypu železo-prachové jadro, ktoré spôsobuje značné zahrievanie cievky. Boli testované aj iné jadrá - feritové a kvalitnejšie železné, ktoré sa hriali iba mierne. Taktiež boli testované aj rôzne hodnoty indukčnosti.

Bootstrap kondenzátory sú pripojené priamo na nožičky čipu, aby nebolo potrebné zložito ťahať cesty medzi nožičkami integrovaného obvodu a pady mohli ostať oválne, kvôli dobrému pájkovaniu.

Modul bol testovaný v zapojení SE aj BTL kvôli efektu "pumpovania" uvedenom v datasheete, avšak pri meraniach sa kvôli dobrej filtrácii zdroja a dostatočnom výkone transformátora tento efekt neprejavil.



Obrázok 2.12 Prototypový modul koncového zosilňovača v SE zapojení



Obrázok 2.13 Simulácia výstupného LC filtra, cievka 22 μ H



●feritové jadro



železné jadro●

Obrázok 2.14 Ďalšie testované cievky vo výstupnom filtri

Železné jadrá sa vo všeobecnosti na danej frekvencii zahrievajú omnoho viac ako feritové, avšak pomerne výrazne záleží na type jadra. Najvýraznejšie sa hriali cievky Bourns PM2120, ktoré boli testované ako prvé. Následne boli testované aj feritové jadrá a železné jadro typu T106-2, ktoré sa takmer nehriali a dalo sa pozorovať lepšie ofiltrovanie PWM frekvencie samotného zosilňovača.

Jadro T106-2 od firmy Micrometals bolo použité aj pri meraniach. Bola vyskúšaná vyššia hodnota indukčnosti cievky LC filtra - 37 μH , čo sa kladne prejavilo na úbytku šumu. Pre danú hodnotu indukčnosti cievky bolo potrebné navinúť približne 1,8m izolovaného medenného drátu o priemere 1,2 mm. Odpor vinutia je pri použití daného priemeru drátu 20 m Ω . Zníženie deliacej frekvencie vôbec nevádi, keďže navrhnutý dolnopriepustný LC filter z datasheetu má zbytočne vysokú medznú frekvenciu.

Nasledujúce merania ukazujú meranie maximálneho výkonu zosilňovača a chovanie sa zosilňovača v limitácii. Merania boli zhotovené iba so sínusovým signálom, pretože zvuková karta neposkytovala dostatočne kvalitný výstup signálu s obdĺžnikovým tvarom a generátor Tesla poskytuje iba sínusový signál.

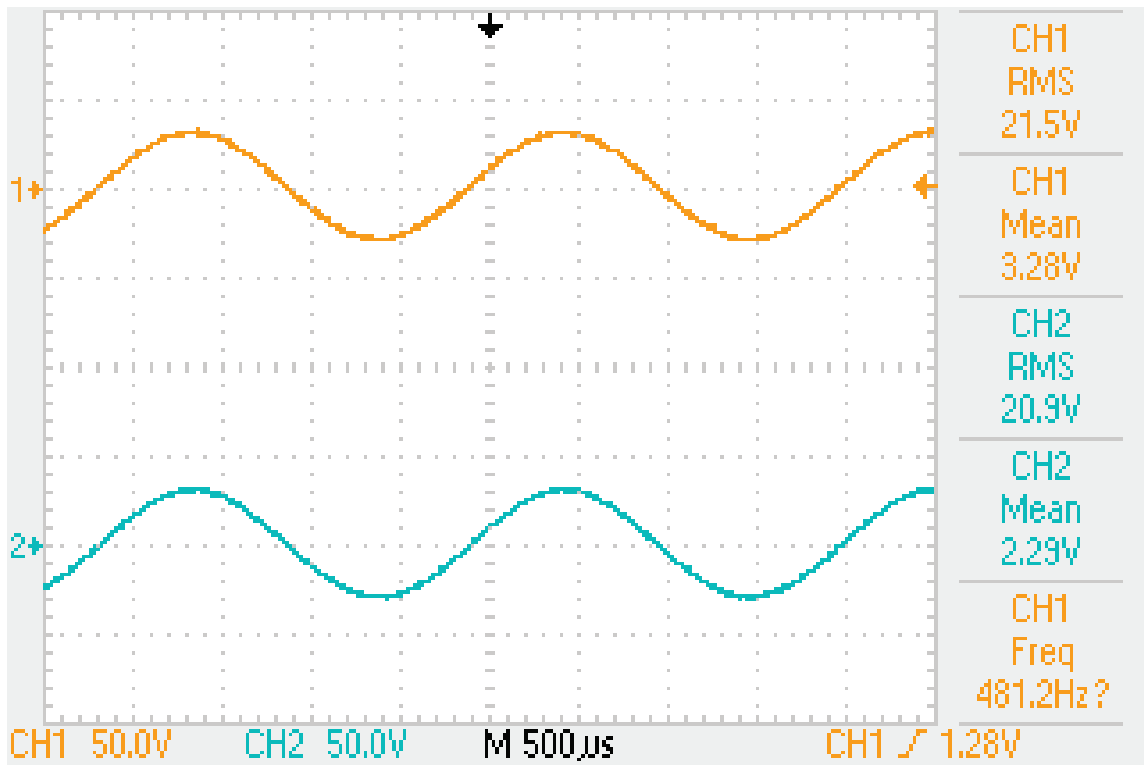
Meranie zosilňovača bolo vyskúšané aj v režime BTL, avšak zlepšenie vlastností, ako je uvádzané v datasheete, sa výrazne neprejavilo. Pri meraní režimu BTL museli byť použité 2 sondy, nebolo možné zapojiť iba jednu sondu, pretože by bol vyskratovaný výstup integrovaného obvodu signálovou zemou generátoru.

Namerané hodnoty: maximálny výkon - 57,8 W / 8 Ω na kanál pri 500Hz

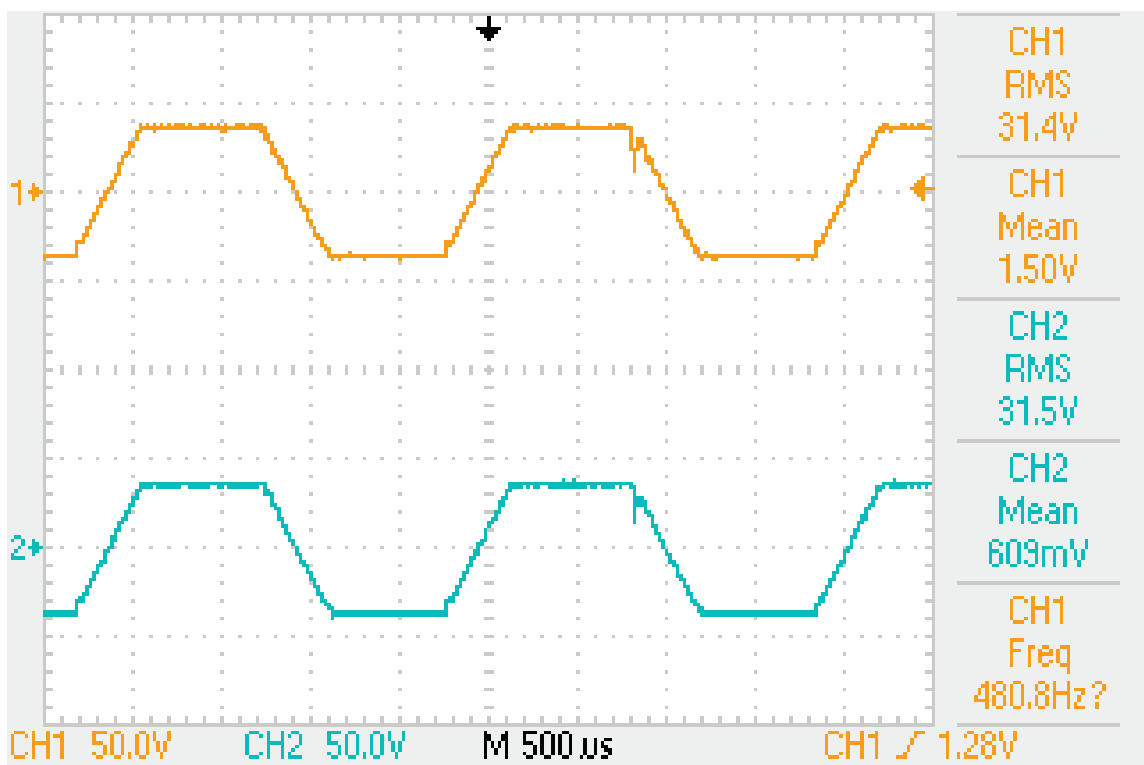
šum na výstupe - 400mV p-p, skratovaný vstup

$$THD = 10^{\frac{[dB]}{20}} \cdot 100 = 10^{\frac{-70}{20}} \cdot 100 = 0,032 \%$$

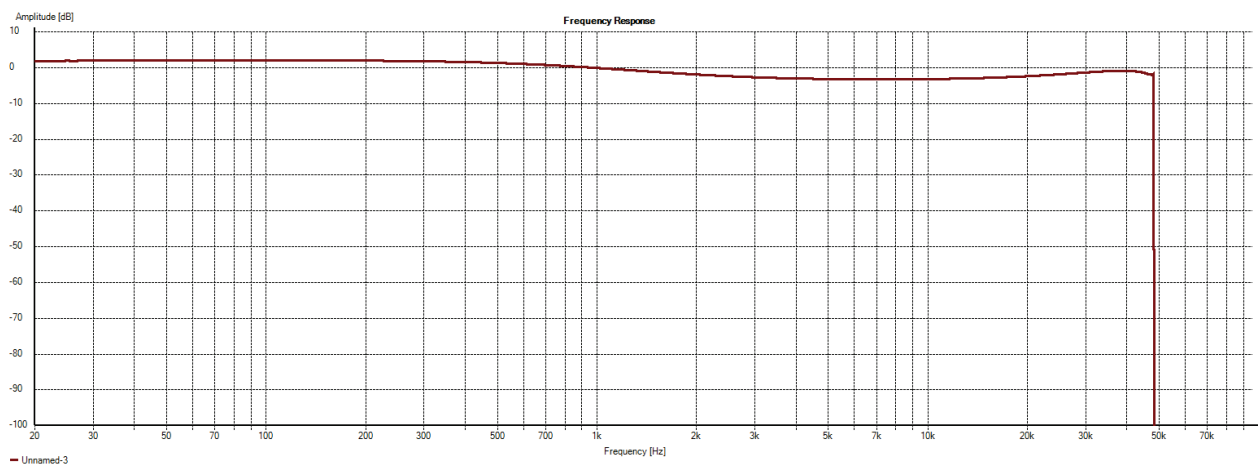
Šum aj skreslenie na nižších a vyšších frekvenciách značne narastalo. Najnižších hodnôt dosahovali na 1 kHz v rádoch stotín percenta. Priemerné skreslenie dosahovalo 0,032 %, čo približne sedí s hodnotou udávanou v dátovom liste. Mierne zvýšenie skreslenia a šumu mohla spôsobiť použitá zvuková karta a DI-box.



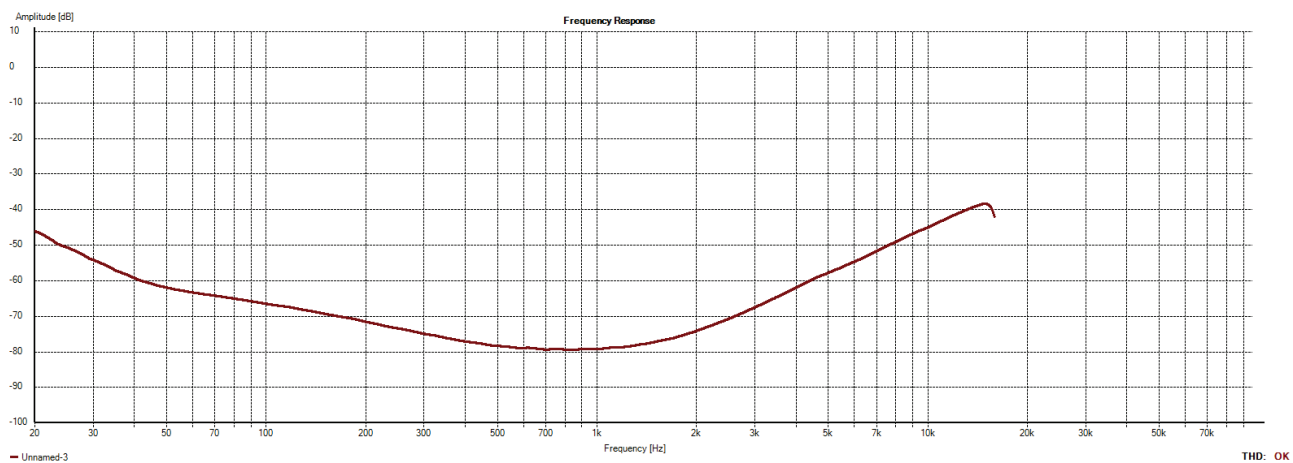
Obrázok 2.15 Maximálny výkon bez skreslenia



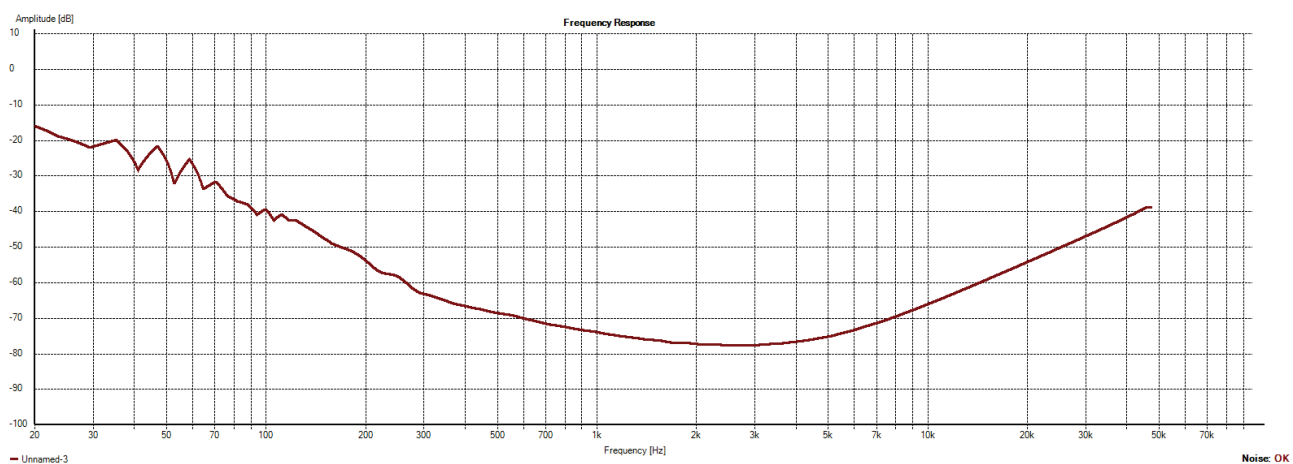
Obrázok 2.16 Limitácia



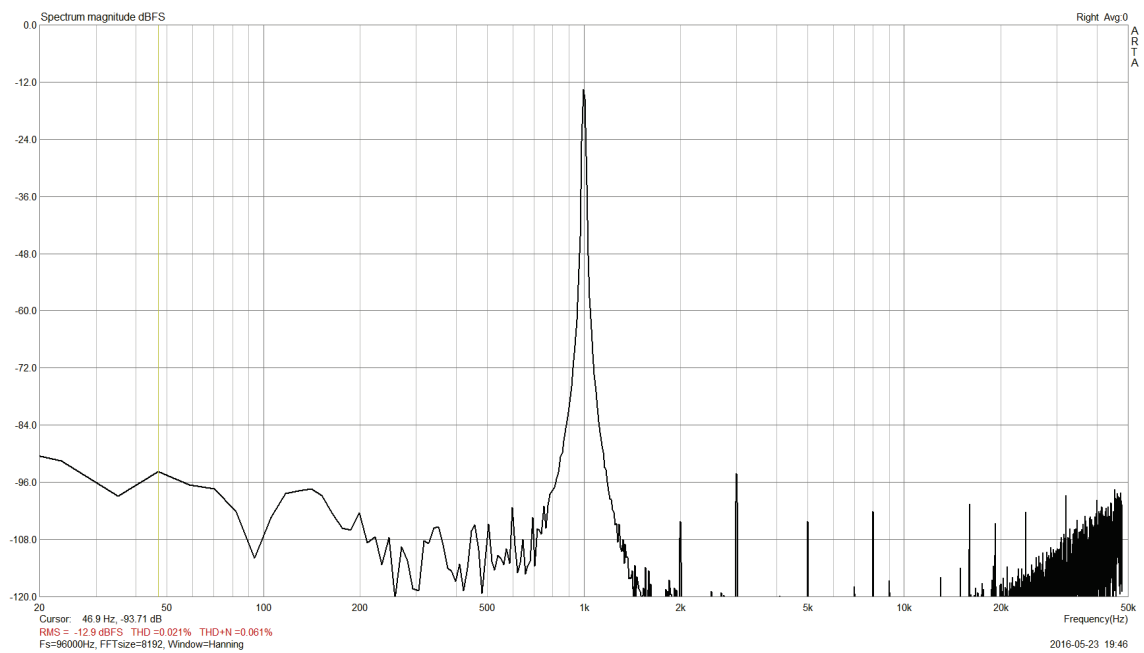
Obrázok 2.17 Zmerany frekvenčný priebeh



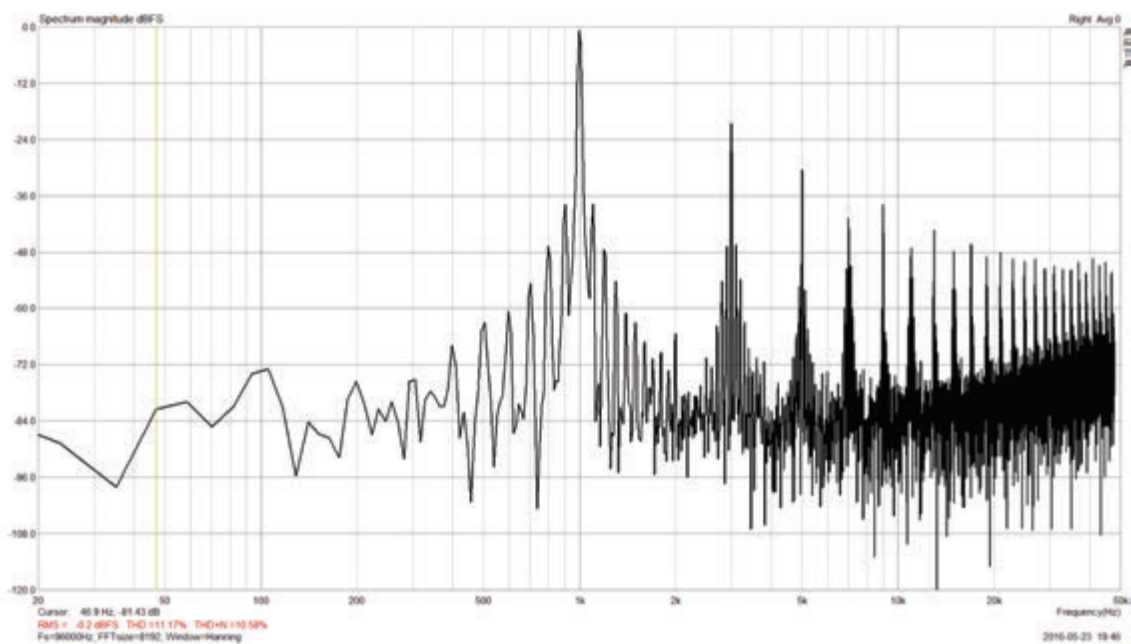
Obrázok 2.18 Zmerané skreslenie THD



Obrázok 2.19 Zmeraná úroveň šumu



Obrázok 2.20 Spektrum výstupného signálu pri budení 1kHz



Obrázok 2.21 Spektrum výstupného signálu - zosilňovač v limitácii

3 OZVUČNICA PRE REPRODUKTORY

V nasledujúcej kapitole rozoberieme charakteristiku použitých reproduktorov a ozvučnice a taktiež spôsob simulácie použitej na určenie objemu reprobedne. Bolo potrebné zladiť frekvenčné charakteristiky obidvoch reproduktorov, tak aby spolu dávali čo najviac vyrovnanú frekvenčnú charakteristiku, ktorá je u štúdiových reproduktorov dôležitá a preto boli vybraté čo najkvalitnejšie reproduktory, aby nebolo potrebné robiť veľké úpravy pomocou DSP a kvalita reprodukcie bola dostačujúca.

3.1 Reprodukory

Sú to zariadenia, ktoré pomocou kmitania membrány premieňajú elektrický signál na signál akustický.

3.1.1 Rozdelenie reproduktorov [7]

- Spôsob vyžarovania
 - **priamovyžarujúce** - membrána je spojená s vonkajším prostredím priamo
 - **nepriamovyžarujúce** - membrána je spojená s vonkajším prostredím pomocou zvukovodu
- Oblasť vyžarovaných kmitočtov
 - **širokopásmové** - vyžarujú takmer celé počutelné pásmo a tak sa je možné vyhnúť použitiu viacerých reproduktorov a výhybky, využívajú sa hlavne v lacnejších zariadeniach spotrebnej elektroniky, gitarových kombách a rozhlasoch v budovách
 - **subbasové** - určené pre najnižšie kmitočtové pásmo do približne 150 Hz, osádzajú sa do samostatných ozvučníc
 - **basové** - určený pre nižšie kmitočtové pásmo, zväčša do 300-1000 Hz, podľa priemeru
 - **stredobasové** - zastávajú úlohu basového aj stredobasového reproduktoru a preto majú kmitočtové pásmo siahajúce až do asi 3000Hz, použitie v dvojpásmových sústavách
 - **stredové** - určené pre kmitočtové pásmo 300-4000 Hz, majú menší rozsah pohybu ako basový a musia byť od neho oddelené, kvôli zamedzeniu vzájomného pohybu, používajú sa hlavne v 3 a viac pásmových sústavách
 - **výškové** - určené pre frekvencie od 1500 Hz, kvôli malej veľkosti membrány sú veľmi smerové, existuje viacero druhov tvaru membrány (kužeľovitý, kupolovitý) a princípu funkcie (elektrodynamický, piezo-elektrický, pruhový, elektrostatický)

3.1.2 Parametre reproduktorov [7]

Uvedieme štandardné parametre, ktoré sa uvádzajú v technickej dokumentácii k reproduktorom.

- **menovitý (štandardný) príkon**
- **krátkodobý maximálny príkon**
- **menovitá impedancia**
- **kmitočtová charakteristika** - závislosť hladiny akustického tlaku v určitom bode pred reproduktorom (väčšinou v jeho akustickej osi) pri konštantnom budiacom napätí na jeho svorkách
- **smerová charakteristika** - závislosť hladiny akustického tlaku pred reproduktorom na uhle, ktorý zvierajú spojnica referenčného bodu reproduktora a bodu v ktorom je meraný akustický tlak, s osou reproduktora
- **kmitočtový rozsah** - rozsah kmitočtov určený výrobcom pre ktorých reprodukciu je daný reproduktor stavaný
- **rezonančný kmitočet** - najnižší kmitočet, pri ktorom impedancia reproduktora dosahuje maximálnu hodnotu
- **charakteristická citlivosť** - priemerná veľkosť efektívnej hodnoty akustického tlaku v akustickej ose reproduktora vo vzdialenosti 1m od referenčného bodu pri budení šumom v celkom kmitočtovom rozsahu s príkonom 1W
- **vyžarovací uhol** - uhol medzi akustickou osou reproduktora a smerom, v ktorom klesne hodnota hladiny akustického tlaku o 10dB oproti hodnote nameranej v akustickej ose reproduktora
- **celkové harmonické skreslenie** - pomer efektívnej hodnoty výstupného akustického tlaku všetkých vyšších harmonických zložiek k priemernej hodnote prvej harmonickej zložky

3.1.3 TS parametre reproduktorov - Thiele & Small

Parametre, ktoré charakterizujú chovanie reproduktorov na nízkych kmitočtoch a využívajú sa hlavne na simuláciu a výpočet reproduktorových ozvučníc. Zisťujú sa zväčša pomocou zmerania impedančnej charakteristiky reproduktora pred a po pridaní (prilepení) hmotnosti (záťaž) na membránu. Uvedieme hlavné parametre, ktoré sa využívajú na simuláciu reproduktorových ozvučníc pomocou počítačových programov.

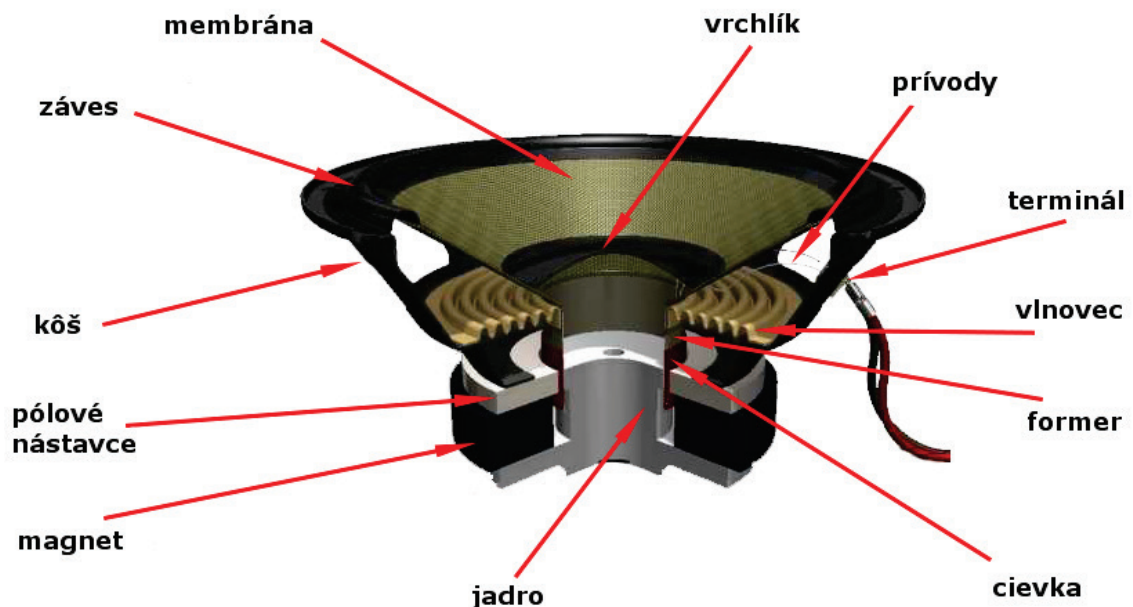
- **Q_{ms}** - mechanický činiteľ akosti (mechanické tlmenie), mechanické straty, ktoré ovplyvňujú pohyb membrány
- **Q_{es}** - elektrický činiteľ akosti, tlmenie pohybu cievky
- **Q_{ts}** - celkový činiteľ akosti
- **EBP** - pomer parametrov f_s a Q_{es} , orientačne hovorí o vhodnosti daného reproduktora do určitej ozvučnice, okolo 50 a menej - uzavretá, 60-90 - môžu byť použité obidva typy, okolo 100 a viac - bassreflex/horn/bandpass

- **f_s** - rezonančný kmitočet reproduktora vo voľnom priestore, uvádza sa v Hz, je výsledkom pomeru medzi hmotnosťou kmitacieho systému M_{ms} a poddajnosti zavesenia C_{ms} . Na tomto kmitočte má reproduktor maximálnu impedanciu Z_{max} . Vložením reproduktora do ozvučnice jeho f_s vzrastie. Pod touto frekvenciou účinnosť meniča prudko klesá.
- **V_{as}** - ekvivalentný objem, vyjadruje objem vzduchu, ktorý má rovnakú poddajnosť ako zavesenie reproduktora C_{ms} pri pôsobení plochy S_d [l]
- **M_{ms}, M_{md}, M_{air}** - hmotnosť kmitacieho systému vrátane vzduchového stĺpca, bez vzduchového stĺpca, hmotnosť vzduchového stĺpca [g]
- **D_d, S_d** - efektívny priemer a plocha membrány [cm, cm²]
- **R_e, Z_{max}, Z** - jednosmerný odpor cievky, maximálna impedancia na rezonančnej frekvencii, nominálna impedancia
- **SPL, SPL_{max}** - citlivosť pri buzení 1 W, maximálny akustický tlak
- **X_{max}** - maximálna lineárna výchylka kmitacieho systému v jednom smere

[10]

3.1.4 Elektrodynamické reproduktory

Popíšeme konštrukciu najpoužívanejšieho typu reproduktorov, ktoré sú použité aj v tejto bakalárskej práci.



Obrázok 3.1 Konštrukcia elektrodynamického reproduktora [8]

- **kôš** - spája všetky diely reproduktora, musí byť dostatočne pevný, vyrobený z lisovaného plechu alebo je odlievaný
- **magnetický systém** - skladá sa z permanentného magnetu nachádzajúceho sa medzi pólovými nastavcami a z jadra magnetu, ktoré môže byť u výkonnejších reproduktorov duté, aby sa lepšie odvádzalo teplo z cievky
- **vlnovec** - upevňuje membránu o kôš a zaručuje jej presné vystredenie, môže byť vyrobený z gumy, tkaniny, papiera alebo peny
- **cievka** - je navinutá na formeri a zabezpečuje pohyb membrány vytváraním magnetického poľa v magnetickom systéme, väčšinou je vinutá medenným alebo hliníkovým drôtom a zaliata lakom. Former je u menej výkonných reproduktorov vyrobený z papiera, u výkonnejších z kaptonu alebo hliníka. Cievka je následne pripojená k terminálu pomocou ohybných prívodov.
- **membrána** - mení mechanickú energiu na akustické vlnenie, môže mať rôzny tvar podľa typu reproduktora. Väčšina membrán je vyrobená z papiera, ktorý je lacný. Kvôli zaisteniu vyššej tuhosti býva papier ešte dodatočne lakovaný. U drahších reproduktorov sa používajú aj uhlíkové vlákna a kovové membrány, prípadne sendvičové konštrukcie skladajúce sa z viacerých vrstiev materiálu.

[9]

3.2 Ozvučnice

Rozlišujeme rôzne typy ozvučníc, uvedieme a charakterizujeme 5 základných, z ktorých vychádzajú ďalšie typy.

3.2.1 Typy ozvučníc

- **otvorená** - môže vzniknúť akustický skrat
- **uzatvorená** - energia zadnej vlny sa premení v teplo, zníženie účinnosti, zvyšuje rezonančný kmitočet reproduktora
- **bassreflexová** - využíva nátrubok, ktorý vytvorí ďalší rezonančný obvod, ktorý je potrebné naladiť na rovnaký kmitočet, nad rezonančným kmitočtom je zvuk z nátrubku vo fáze so signálom vyžiareným z prednej strany reproduktora. Má výhody vo väčšej účinnosti, menšom potrebnom objeme ozvučnice, nižšom dolnom medznom kmitočte, avšak aj nevýhody vo veľkom skreslení pod rezonančným kmitočtom a v zložitejšom návrhu.
- **band-pass** - má minimálne 2 komory, reproduktor(y) sa inštalujú na priečku medzi komorami, funguje ako filter typu pásmová priepusť
- **horn** - nepriamovyžarujúca ozvučnica, ktorá má pred reproduktorom vytvarovaný zvukovod zvyšujúci účinnosť

[6]

3.3 Výber reproduktorov

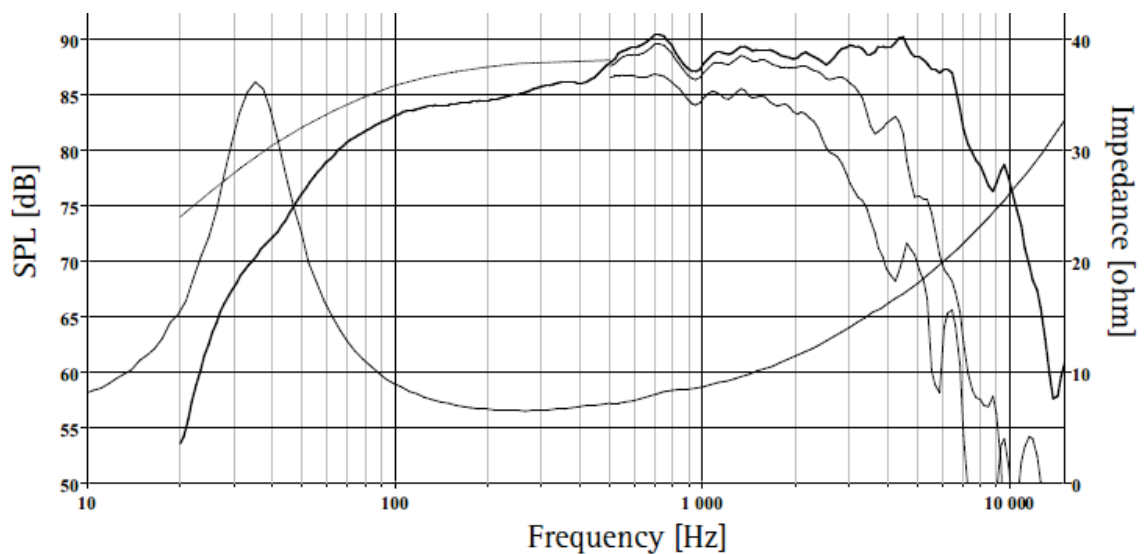
Aby mohli byť tieto reproduktory použité na posluh v blízkom poli, je potrebné zachovať malú vzdialenosť medzi výškovým a basovým reproduktorom a tak vytvoriť teoretický bodový zdroj zvuku. To je dosiahnuté hlavne použitím basového reproduktora s malým priemerom, ktorý taktiež zabezpečí kvalitnejší prednes stredového pásma, ktoré je u tohto typu reprodrední dôležité. Pri použití bassreflexovej ozvučnice je možné aj pri použití malého priemeru reproduktora a malého objemu ozvučnice dosiahnuť uspokojivé výsledky v podaní nižších frekvenčných zložiek reprodukovanejho pásma.

3.3.1 Basový reproduktor

Výber basového reproduktora padol na reproduktor **Seas CA18RNX**, ktorého parametre dosahujú výborných kvalít pre dané použitie. Simuláciou bolo taktiež overené, že reproduktor v ozvučnici o objeme 18 l dosiahne kmitočet 50 Hz so znížením úrovne akustického tlaku iba o 1,7 dB.



Obrázok 3.2 Reproduktor Seas CA18RNX [13]



Obrázok 3.3 Frekvenčná a impedančná charakteristika Seas CA18RNX [13]

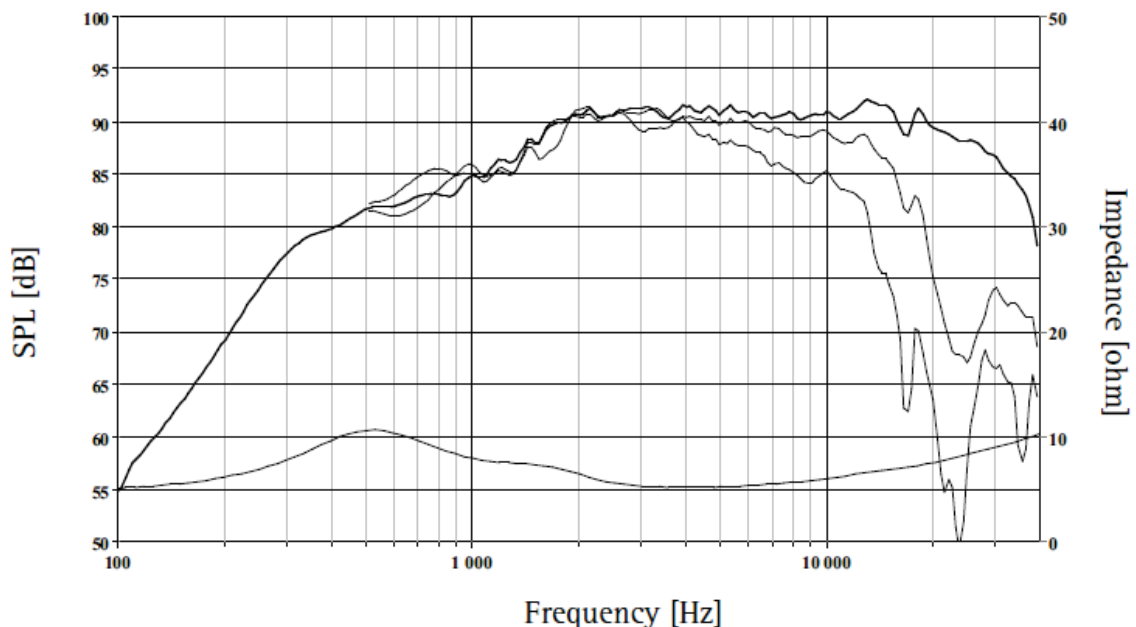
3.3.2 Výškový reproduktor

Ako výškový reproduktor bol v prvotnom návrhu použitý Seas 27TFFC, ktorý by mal so svojim spodným deliacim kmitočtom približne 2000Hz vyhovovať na použitie spolu s vybraným basovým reproduktorom. Deliaci kmitočty by malo byť možné ešte znížiť, kvôli použitiu vysokej strmosti delenia výhybky, avšak súčasne so znižovaním deliaceho kmitočtu sa zvyšuje aj miera skreslenia, keďže výškový reproduktor by dosahoval väčšie výchylky a to je nežiadúce.

Vyššia impedancia reproduktora nie je problémom, kvôli dodanému výkonu zo zosilňovača, keďže veľká väčšina výkonového spektra zvukového signálu sa vyžiarí na nižších frekvenciách pomocou basového reproduktora.



Obrázok 3.4 Reproduktor Seas 27TFFC [14]



Obrázok 3.5 Frekvenčná a impedančná charakteristika reproduktora Seas 27TFFC [14]

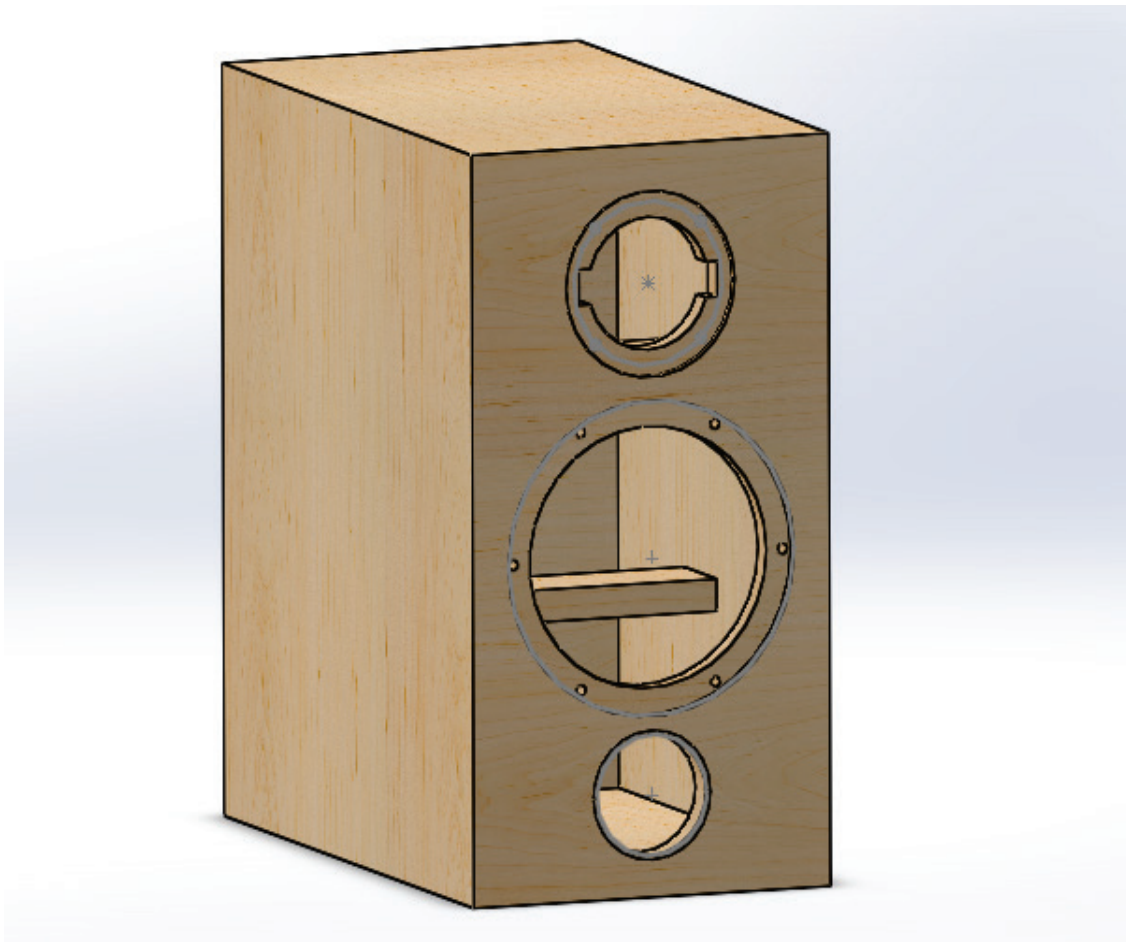
Ďalšie parametre basového a výškového reproduktora sú uvedené v prílohe.

3.4 Návrh ozvučnice

Návrh ozvučnice bol rozdelený na výber stavebného materiálu, zvolenie tvaru a typu ozvučnice a výpočtu jej vnútorného objemu. Presné rozmery a kompletný stavebný výkres ozvučnice (reprobedne) je uvedený v prílohe.

3.4.1 Stavebný materiál

Ako stavebný materiál sa zväčša používajú tuhé a ťažké materiály s veľkým vnútorným tlmením. Ako príklad možno uviesť MDF, DTD, preglejka, u lacnejších reproduktorov ABS plast. V tejto konštrukcii je použitý materiál MDF. Na vnútorné vytlmenie ozvučnice bude použitý vatelín, ktorý má dostatočnú účinnosť tlmenia vo veľkom frekvenčnom rozsahu.



Obrázok 3.6 Vizualizácia návrhu ozvučnice v programe Solidworks

3.4.2 Rozmery, tvar a typ ozvučnice

Tvar ozvučnice vychádza z typických konštrukcií aktívnych štúdiových reproduktorov. Na prednej stene sa nachádza basový a výškový reproduktor, ktorý je zapustený v korpuse, tak aby sa zamedzilo neželaným difrakciám. Pod basovým reproduktorom sa nachádza výúst bassreflexového nátrubku.

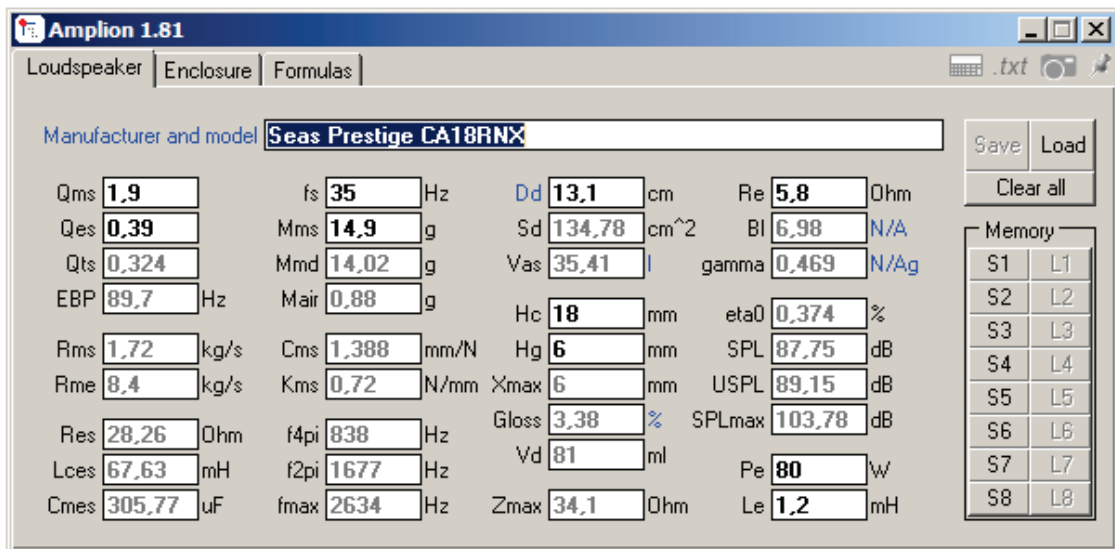
Reproduktory sú upevnené pomocou zárezných matíc so závitom na skrutky M4 a M5.

Optimálne rozmery ozvučnice a bassreflexového nátrubku sú vypočítané z potrebného objemu pre basový reproduktor, ktorý bol zistený simuláciou pomocou programu Amplion.

Ozvučnica je typu bassreflex, preto, aby sa pri malom objeme a malej ploche basového reproduktora dosiahlo dostatočné podanie spodného pásma kmitočtov.

3.4.3 Simulácia v programe Amplion

Simuláciou bolo zistené najlepšie ladenie bassreflexu, tak aby bol dosiahnutý čo najmenší objem a čo najvyrovnanejšia frekvenčná charakteristika basového reproduktora.

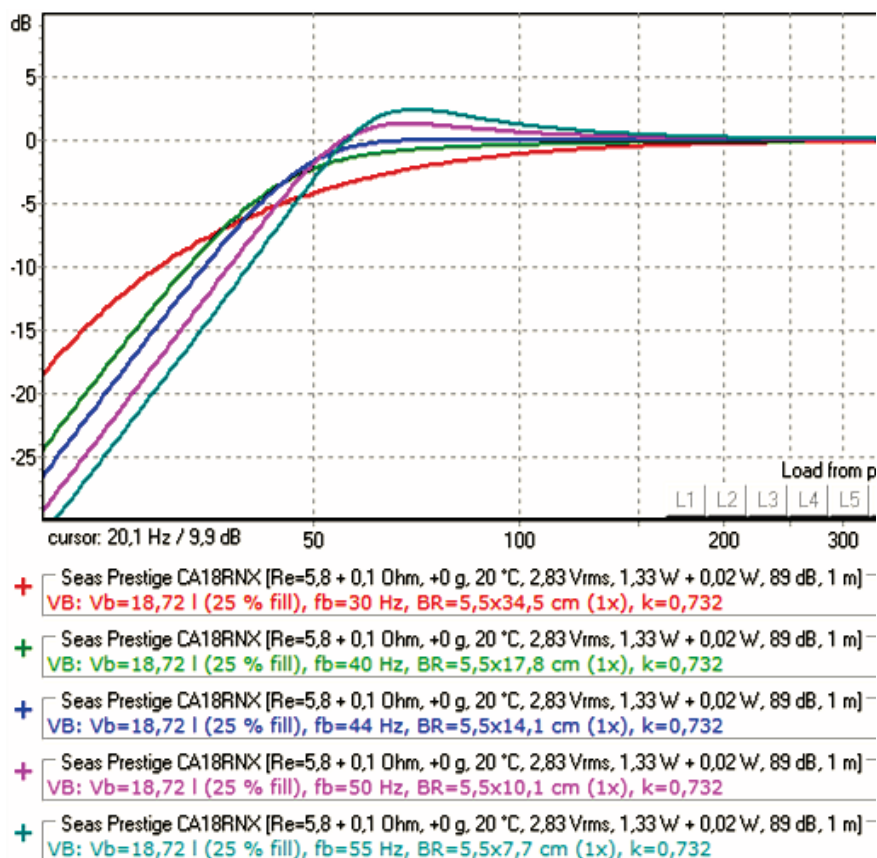


Obrázok 3.7 TS parametre reproduktora Seas CA18RNX zadané v programe Amplion

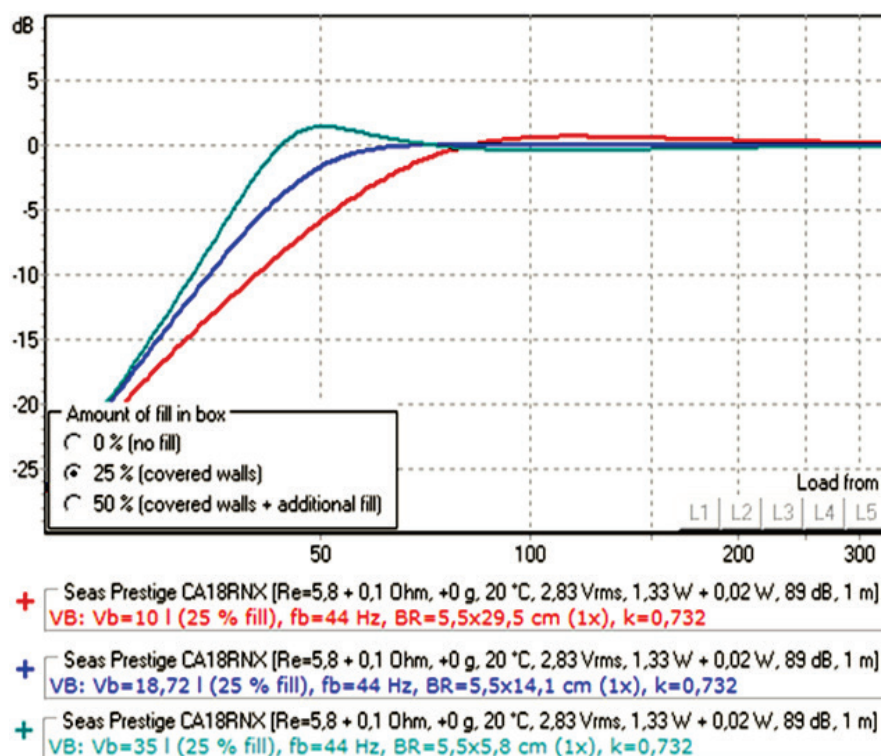
Pre zachovanie malých rozmerov reprobredne a vhodných konštrukčných rozmerov bol zvolený objem približne 18,72 l a ozvučnica typu bassreflex s ladením na rezonančnú frekvenciu 44 Hz. Bassreflexový nátrubok bol použitý s priemerom 5,5 cm a dĺžkou približne 14 cm. Boli overené rôzne možnosti ladenia a objemov reprobredne, čo je možné vidieť na nasledovných obrázkoch.

Vybraná možnosť dosahuje výborných parametrov - na frekvencii 50 Hz dosahuje frekvenčná charakteristika podľa simulácie pokles iba 1,7 dB, čo by bolo v prípade uzavretej ozvučnice nemožné dosiahnuť pri tak malom objeme reprobredne a s tak malým priemerom basového reproduktora.

Pri ladení pomocou programu Amplion bolo uvažované aj vnútorné tlenie ozvučnice pomocou vatelínu, ktoré zabralo približne 25% objemu, čo sa tiež značne prejaví do výpočtu dĺžky bassreflexového nátrubku.



Obrázok 3.8 Simulácia v programe Amplion pre rôzne ladenia rezonancie bassreflexu



Obrázok 3.9 Simulácia v programe Amplion pre rôzne objemy ozvučnice

3.4.4 Umiestnenie výškového reproduktora

Výškový reproduktor je umiestnený v osi spolu s basovým reproduktorom. Vzďialenosť stredov basového a výškového reproduktora vypočítame podľa nasledovného vzťahu, pričom budeme uvažovať deliacu frekvenciu približne 2000 Hz. Vzďialenosť môžeme uvažovať ako 1/4 alebo 5/4 vlnovej dĺžky vlny, ktorú budú hrať obidva reproduktory - tj. deliacu frekvenciu výhybky.

$$\begin{aligned} \text{vzďialenosť reproduktorov} &= \text{vlnová dĺžka} / 4 = \\ &= (\text{rýchlosť zvuku} / \text{deliaca frekvencia}) / 4 = \\ &= (340 / 2000) / 4 = 0,0425 \text{ m} \\ \text{alebo} &= 5 \times 0,0425 \text{ m} = 0,2125 \text{ m} = \mathbf{21,25 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Stačí dodržať približnú vzďialenosť, pretože deliaca frekvencia výhybky nie je presne daná a je predmetom ladenia. Posunutie deliacej frekvencie o 500 Hz spôsobí posunutie výškového reproduktora o približne 4 cm (vzďialenosť 17 cm).

3.5 Konštrukcia reprobredne

Rozmery ozvučnice boli zvolené z daného objemu približne 18,72 l a hrúbky MDF dosky 18 mm nasledovne:



Obrázok 3.10 Rozmery a celkový vzhľad hotovej reprobredne

Kvôli zadnému panelu a osadeniu jednotlivých modulov bola reprobédňa predĺžená o 8,5 cm oproti pôvodnému návrhu. Výškový aj basový reproduktor sú zapustené do prednej steny, kvôli zmenšeniu vplyvu difrakcií na hranách dreva na kvalitu zvuku. Zapustenie, jednotlivé diery a otvor na zadný panel boli vyfrézované pomocou CNC frézy, ktorá bola riadená výstupom z programu Solidworks v ktorom bol tento model nakreslený.

Jednotlivé dosky sú lepené na tupo a spoje boli vybrúsené do roviny. Následne prebehlo tmelenie spojov a nerovností a ďalšie brúsenie postupne jemnejším šmirgľovým papierom.

Následne bola bedňa nastriekaná základnou čiernou farbou PUR na MDF typu PFP 746.23, znova prebrúsená a nakoniec nastriekaná vrchným štruktúrnym lakom Z7G/RAL9005.

Kompletné konštrukčné podklady, vrátane okótovaných vnútorných rozmerov, na výrobu samotnej reprobédne - dreva sú dostupné v prílohe.



Obrázok 3.11 Otvor na osadenie zadného panelu

3.6 Konštrukcia zadného panelu

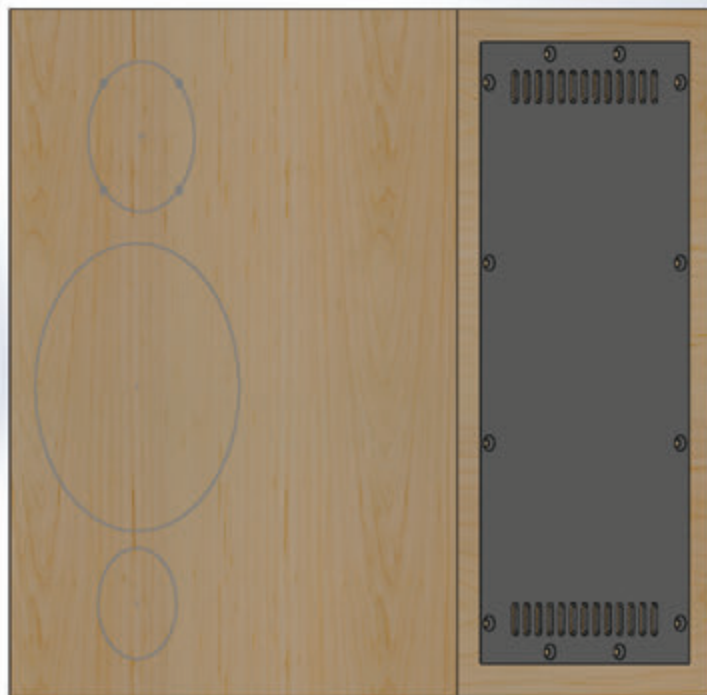
Všetky elektronické moduly vrátane napájacieho trafá sú upevnené na samostatne odnímateľnom hliníkovom plechu, ktorý tvorí zadnú stenu reprobodne. Panel je dostatočne hrubý a slúži aj ako chladič pre modul výkonového zosilňovača. Do hliníka boli vytvorené diery pomocou CNC vysekávačky. Na vrchu a na spodu plechu sú pozdĺžne otvory slúžiace na prirodzenú cirkuláciu vzduchu, ktorou sa chladia všetky moduly a transformátory.

Panel je nastriekaný čiernym matným sprejom a obsahuje popisky navrhnuté v programe CorelDraw, ktoré boli prenesené na panel pomocou laserovej vypalovačky. Taktiež väčšina plošných spojov bola vytvorených pomocou vypálenia obrazca a následného vyleptania. Pre trvanlivejšie a dlhodobo odolné popisky by bolo vhodné nechať hliníkový plech naeloxovať čiernou farbou, avšak pre prototypovú výrobu postačí aj obyčajná farba v spreji, ktorá dosahuje pri vypalovaní popiskov laserom dostatočnú kvalitu.

Panel obsahuje informačné LED diódy, potenciometer hlasitosti, chladiace otvory, napájací konektor 230 V, poistky, hlavný vypínač a vstupné konektory.

Plošné spoje sú prichytené pomocou mosadzných distančných stĺpikov medzi ktorými je umiestnená plastová podložka, ktoré zamedzuje elektrickému kontaktu plošného spoja a hliníkového plechu zadného panelu.

Kvôli použitiu kvalitného toroidného transformátora sa brum neindukuje ani do basového reproduktora, ani do jednotlivých modulov na zadnom paneli.



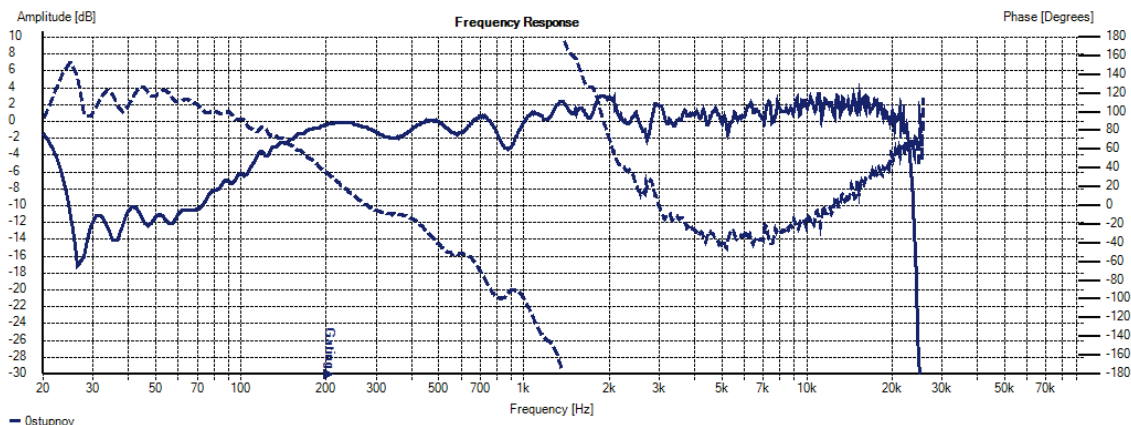
Obrázok 3.12 Vizualizácia zadného panelu v programe Solidworks



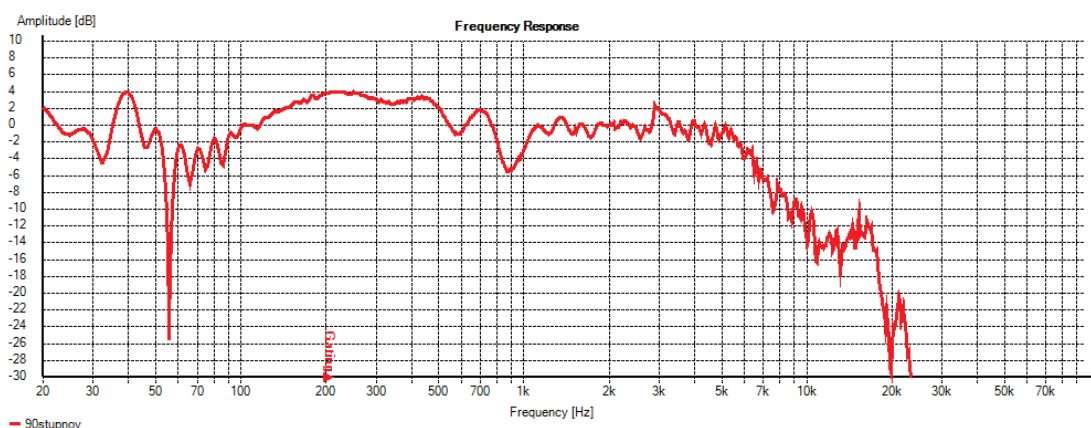
Obrázok 3.13 Hotový panel s popiskami a osadenými modulmi, pripevnený na zadnej strane reprodredne

3.7 Merania reprodredne

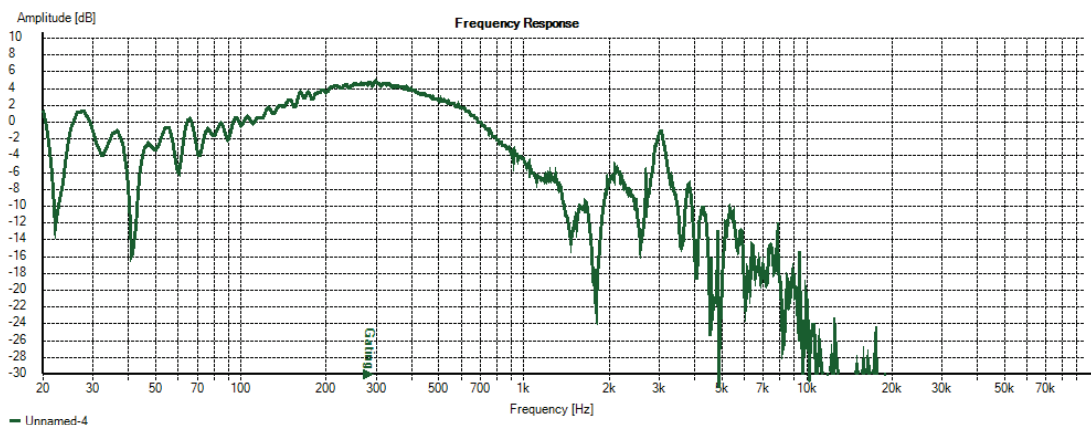
Merania boli zhotovené pomocou zvukovej karty Focusrite Scarlett 18i8 a meracieho mikrofónu Megaton M-1 skalibrovaného pomocou dodanej kalibračnej krivky. Mikrofón bol umiestnený vo vzdialenosti 1 m v osi výškového reproduktora a celé meranie prebehlo vo voľnom priestore. Mikrofón bol následne umiestnený aj v rôznych uhloch okolo reprodredne, aby mohla byť zmeraná vyžarovacia charakteristika.



Obrázok 3.14 Meranie reprobredne signálom Square Noise, uhol 0°



Obrázok 3.15 Meranie reprobredne signálom Square Noise, uhol 90°



Obrázok 3.16 Meranie reprobredne signálom Square Noise, uhol 180°

Ako je možno vidieť na týchto meraniach, reprobredňu sa podarilo vyladiť na pomerne rovnú charakteristiku. Polarita výškového reproduktora musela byť otočená. Všetky merania prebehli s nastavením gate od približne 200 Hz, pretože prebiehali v pomerne rušnom a nie úplne akusticky vhodnom prostredí. Taktiež použitý merací mikrofón nemeria presne pod kmitočtom 100 Hz a nad kmitočet 10 kHz.

4 ZÁVER

V bakalárskej práci bolo dosiahnuté zhrnutie všetkých teoretických poznatkov potrebných na celkový návrh zariadenia. Bol vytvorený prvotný návrh zariadenia - napájacie zdroje, modul DSP, výkonový zosilňovač a to ako schémy, rozloženie a zoznam súčiastok, tak aj podklady na výrobu plošných spojov. Tento návrh bol otestovaný a problematické časti upravené. Následne boli zhotovené kompletne konštrukčné podklady pre výrobu elektronickej časti, ktoré sú zverejnené v prílohe.

Taktiež boli vybraté obidva reproduktory, z ktorých basový bol odsimulovaný v programe Amplion a zistili sme tak orientačnú veľkosť reproduktorovej ozvučnice a frekvenčnú charakteristiku na nízkych kmitočtoch. Bola skonštruovaná ozvučnica, prebehlo jej brúsenie a následné nastriekanie. Zvnútra bola vyplnená tlmiacim materiálom a osadená reproduktormi.

Prebehla výroba modulov DSP a zosilňovača, ich ladenie do funkčnej podoby. Provizórne bol vyrobený panel na ktorý sa osadili vyrobené moduly a zmerala sa frekvenčná charakteristika reprobedne, ktorá bola následne mierne doladená posuvom deliaceho kmitočtu výhybky a ekvalizáciou pomocou DSP procesora. Moduly boli upevnené a umiestnené tak, aby nevznikali zemné slučky a daný výrobok produkoval čo najmenej šumu a brumu.

Pri konštrukcii DSP procesora nastal problém s komunikáciou pomocou I²C zbernice, ktorý bol pravdepodobne spôsobený iba novšou verziou programovacieho rozhrania Sigma Studio a neoriginálneho USB prevodníka. DSP procesor inak funguje bezproblémovo, s takmer žiadnym šumom a výbornou kvalitou zvuku.

Zosilňovač nemá predpokladané a deklarované kvalitatívne parametre, najmä v oblasti vysokých tónov, ktoré sú značne skreslené. Boli testované rôzne úpravy výstupného LC filtru (rôzne typy a hodnoty cievok), úpravy vstupného zapojenia - SE a BTL, prizemnenie vstupu cez kondenzátor, kvôli nesymetrickému výstupu z DSP procesoru, úprava signálovej zeme, avšak stále pretrvávala takmer rovnaká úroveň šumu. Skúšobne bol zostrojený modul TDA8950 zo stránky buildaudioamps.com ako referenčný a osadený čipom TDA8954, ktorý po zmeraní vykazoval rovnaké parametre ako navrhnutý modul v tejto práci. Pravdepodobnou príčinou problému tak ostáva použitie čipu TDA8954 miesto TDA8950, ktorý má síce katalógovo rovnaké zapojenie, ale pravdepodobne má reálne horšie parametre. Pre porovnanie integrovaného obvodu TDA8954 s iným riešením bol otestovaný modul s čipom TA2022 od dnes už neexistujúcej firmy Tripath, ktorý takmer vôbec neprodukoval šum a mal lepšiu kvalitu prednesu. Vyplyva to hlavne z jeho prevádzkovej triedy T.

Reproduktor dosahuje výkonu približne 60W na kanál (120W celkovo), frekvenčný rozsah je 40Hz - 20 kHz (± 3 dB). Celkovo je prednes veľmi kvalitný pri použití zosilňovača Tripath a vyladení s DSP procesorom na čo najrovnejšiu frekvenčnú charakteristiku. Konštrukčne výrobok po vzhľadovej aj funkčnej stránke splnil očakávania s výnimkou zosilňovača s obvodom TDA8954.

Do budúcnosti je možné výrobok ľahko rozšíriť o ďalšie potenciometre na úpravu parametrov DSP alebo pridať LED diódy na rôznu indikáciu jednoduchým pripojením na vyvedené GPIO piny. Plánujem tiež ešte upraviť dosku a pridať digitálny AES/SPDIF vstup, tak aby nenastávala zbytočná strata kvality signálu konverziou AD a

DA prevodníkmi zvukovej karty a DSP procesora. DSP procesor to podporuje a stačí tak iba pridať pár súčiastok a čip zabezpečujúci konverziu digitálneho signálu rôznych formátov. Program pre DSP procesor je možné nájsť v elektronickej prílohe spolu s ovládačmi prevodníka a programovacím rozhraním Sigma Studio.

Všetky merania boli zhotovené v domácich podmienkach a nebolo použité žiadne špeciálne vybavenie - spektrálny analyzátor pomocou zvukovej karty a počítača, priebehy - digitálny osciloskop Tektronix, meranie frekvenčnej charakteristiky kalibrovaným elektretovým mikrofónom vo voľnom priestore na záhrade...

Taktiež väčšina konštrukčných prác, až na vysekávanie hlavných dier do hliníkového panela, rezanie dosiek a ich frézovanie, boli robené tzv. doma na kolene. Jednoduchšie plošné spoje boli vyrobené vypalovaním predlohy laserom alebo nažehlovaním.

LITERATÚRA

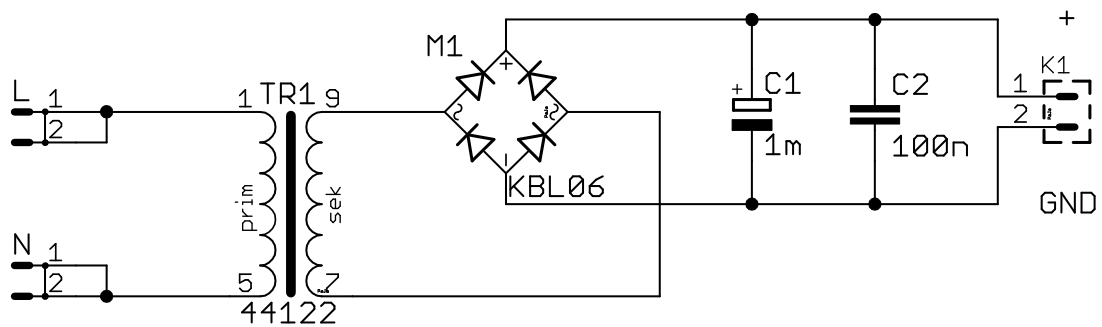
- [1] Product data sheet: TDA8954, 2 × 210 W class-D power amplifier. NXP, Rev. 01 — 24 December 2009. Dostupné z: <http://shramot.eu/bakalarka/datasheety/TDA8954.pdf>
- [2] Coates, E. *Amplifiers: Power Amplifiers*. AC THEORY MODULE 05.PDF [online]. Dostupné z: <http://www.learnabout-electronics.org/Amplifiers/amplifiers56.php>
- [3] International Rectifier, Application Note AN-1071: *Class D Audio Amplifier Basic*.
- [4] *Amplifier* [online], posledná aktualizácia 3. december 2015, Wikipedia. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Amplifier>
- [5] Kratochvíl, T.: *prednášky z kurzu Nízko-frekvenční a audio elektronika*. Ústav radioelektroniky FEKT VUT v Brně, 2015.
- [6] Schimmel, J.: *prednášky z kurzu Elektroakustika - Reprodukory a sluchátka, reproduktorové soustavy*. FEKT VUT v Brně, 2015.
- [7] *Filtrovní kondenzátor* [online], Kutilův koutek, Dostupné z: <http://www.dmaster.wz.cz/postupy/filtr/filtr.htm>
- [8] Obrázok: *konštrukcia elektrodynamického reproduktora*, Dostupné z: <http://exclamationaudio.com/wp-content/uploads/2015/05/Speaker-construction.jpg>
- [9] *Reproduktor (elektroakustický menič)* [online], posledná aktualizácia 22. marec 2014, Wikipedia. Dostupné z: [https://sk.wikipedia.org/wiki/Reproduktor_\(elektroakustick%C3%BD_meni%C4%8D\)](https://sk.wikipedia.org/wiki/Reproduktor_(elektroakustick%C3%BD_meni%C4%8D))
- [10] *Význam TS parametrů* [online], audioweb.cz, Dostupné z: <http://www.audioweb.cz/viewtopic.php?id=15624>
- [11] Obrázok: *trieda AB výkonového zosilňovača*. Dostupné z: <http://electronics.stackexchange.com/questions/195449/class-ab-amplifier>
- [12] Product data sheet: ADAU1701, SigmaDSP 28-/56-Bit Audio Processor with Two ADCs and Four DACs. Analog Devices, Inc. 2007-2011. Dostupné z: <http://shramot.eu/bakalarka/datasheety/ADAU1701.pdf>
- [13] Product data sheet: Seas Prestige CA18RNX. Seas, Jul 2007-1, W18-201. Dostupné z: http://shramot.eu/bakalarka/datasheety/H1215_CA18RNX_Datasheet.pdf
- [14] Product data sheet: Seas Prestige 27TFFC. Seas, Jul 2007-1, T27-701. Dostupné z: http://shramot.eu/bakalarka/datasheety/h0881_27tffc_datasheet.pdf

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

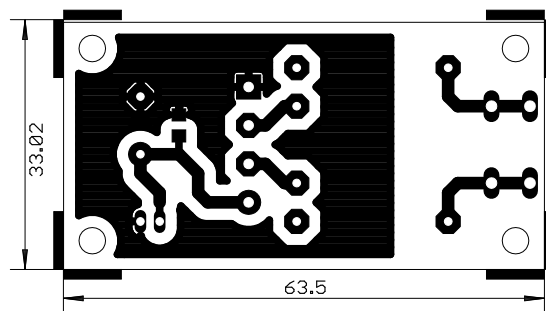
| | |
|----------------|--|
| pinout | rozloženie vstupných a výstupných vývodov danej súčiastky |
| I _c | kolektorový prúd tranzistora |
| NF | nízkofrekvenčný |
| HiFi | High Fidelity - vysoká vernosť prenosu |
| DSP | digitálny signálový procesor |
| DPS | doska plošných spojov |
| OZ | operačný zosilňovač |
| AD | analógovo-digitálny, napr. prevod |
| THD | Total Harmonic Distortion - celkové harmonické skreslenie, udávané v % |
| ESR | ekvivalentný sériový odpor |

A NÁVRH ZARIADENIA

A.1 Schéma napájacieho zdroja DSP

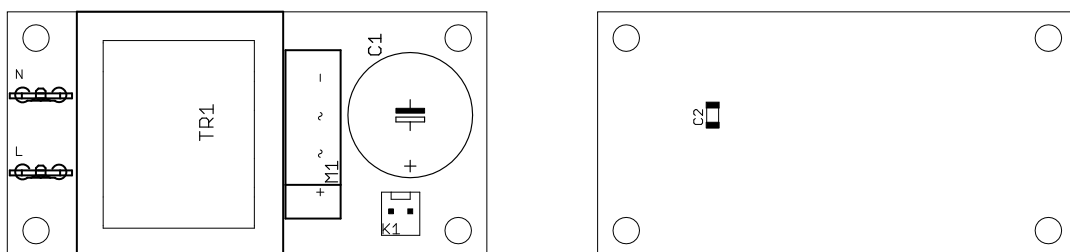


A.2 DPS napájacieho zdroja DSP

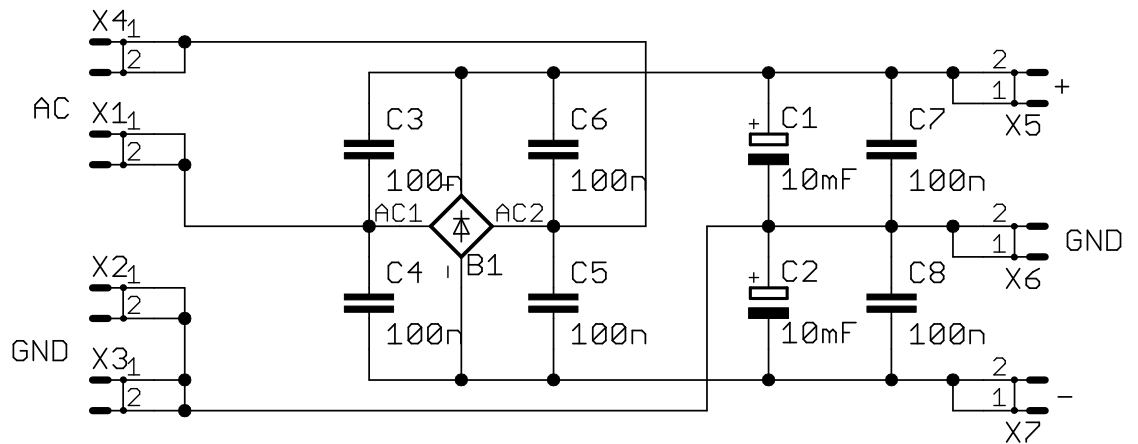


Rozmer dosky 63,5 x 33,0 [mm], mierka M1:1

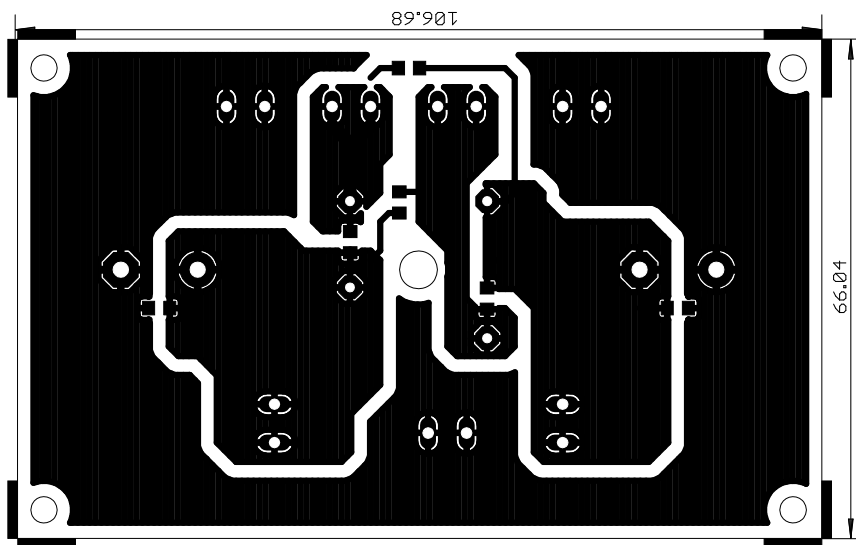
A.3 Osadzovací plán dosky napájacieho zdroja DSP



A.4 Schéma napájacieho zdroja zosilňovača

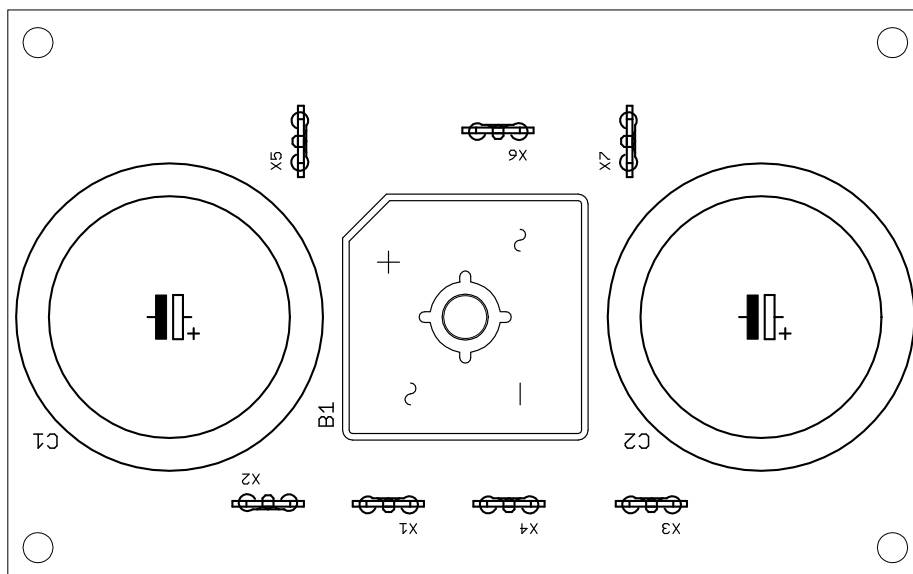


A.5 DPS napájacieho zdroja zosilňovača

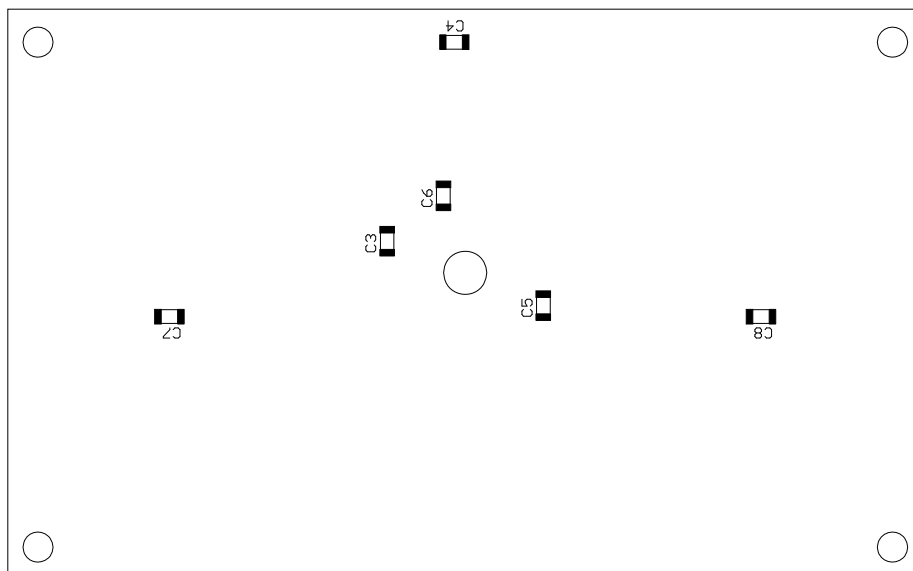


Rozmer dosky 106,7 x 66,0 [mm], mierka M1:1

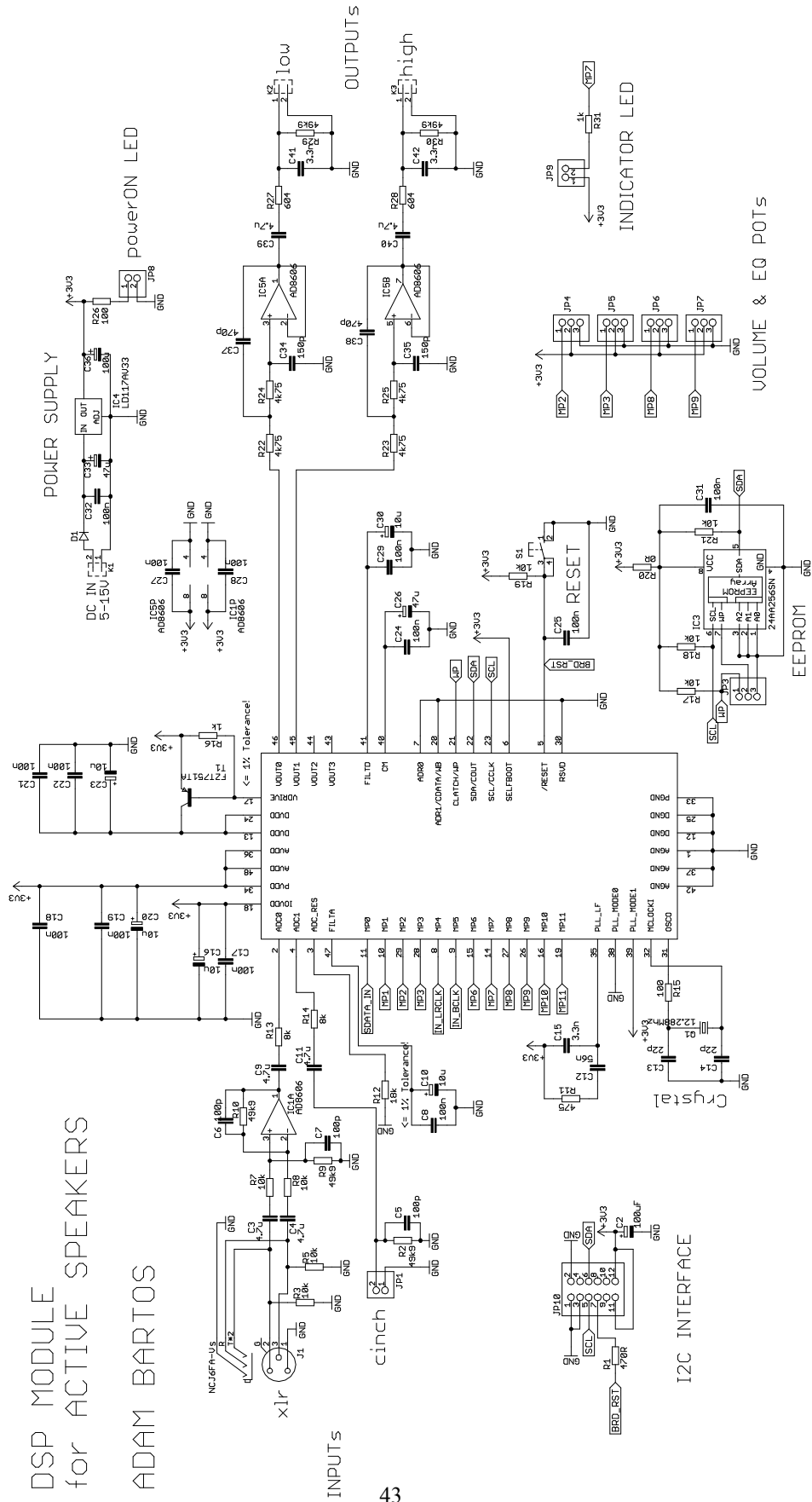
A.6 Osadzovací plán dosky napájacieho zdroja zosilňovača - TOP



A.7 Osadzovací plán dosky napájacieho zdroja zosilňovača - BOTTOM

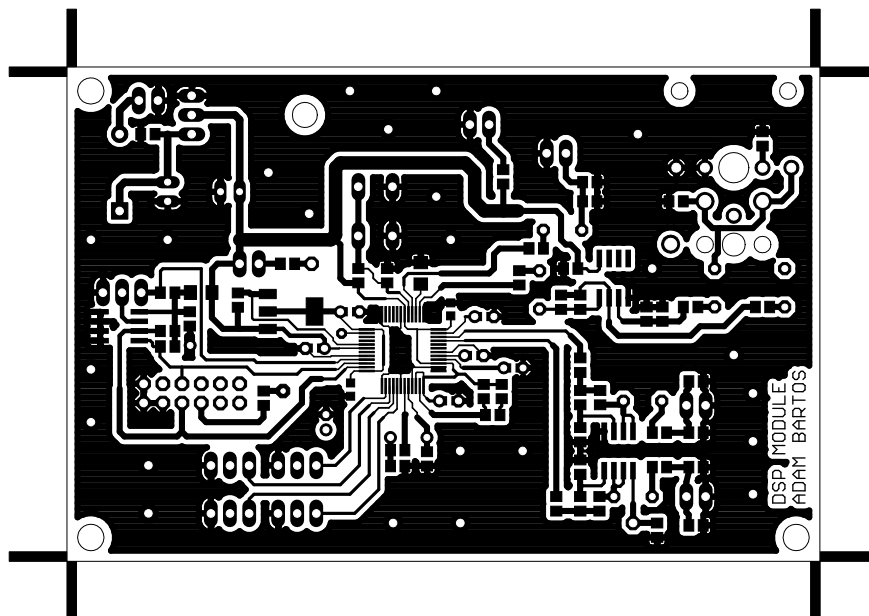


A.8 Schéma modulu DSP



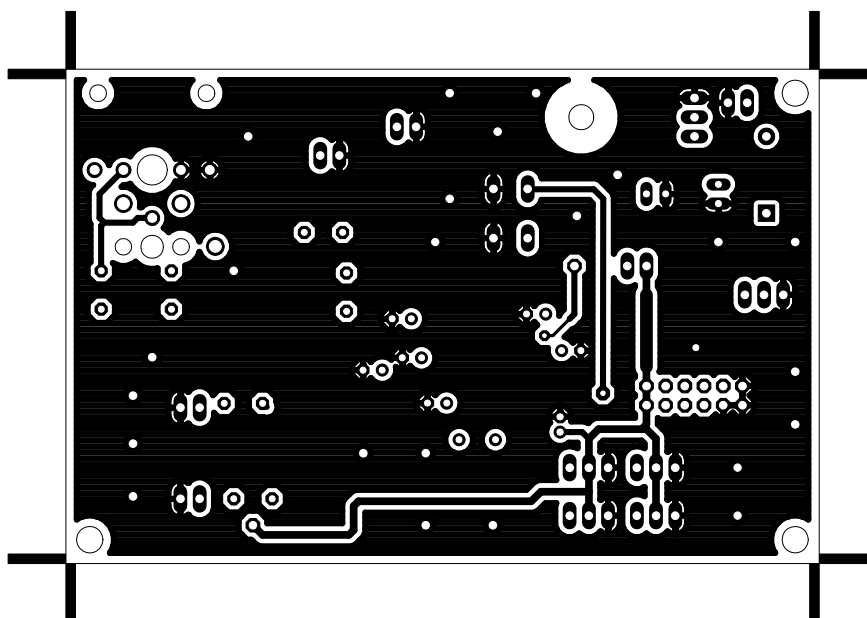
DSP MODULE
for ACTIVE SPEAKERS
ADAM BARTOS

A.9 DPS modulu DSP - TOP



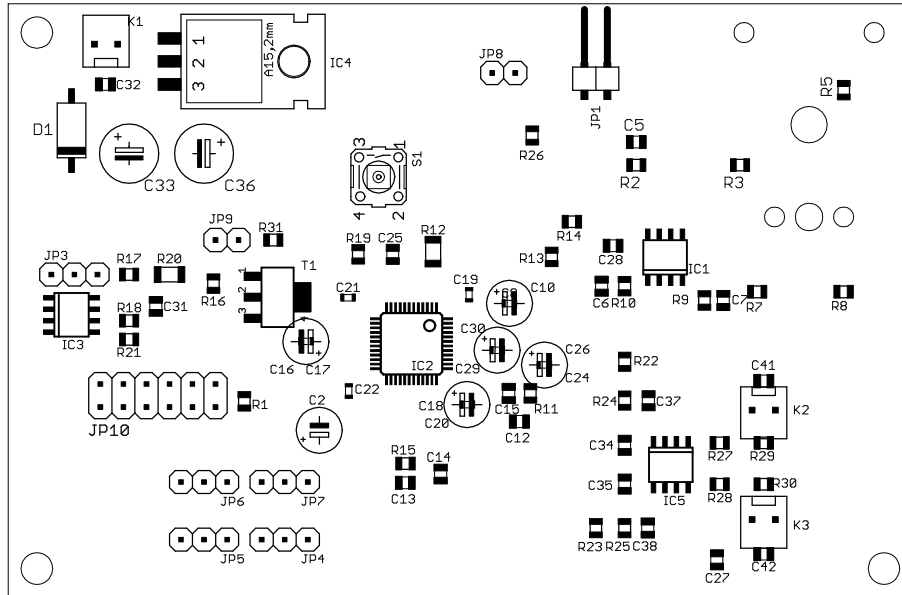
Rozmer dosky 99,7 x 65,4 [mm], mierka M1:1

A.10 DPS modulu DSP - BOTTOM

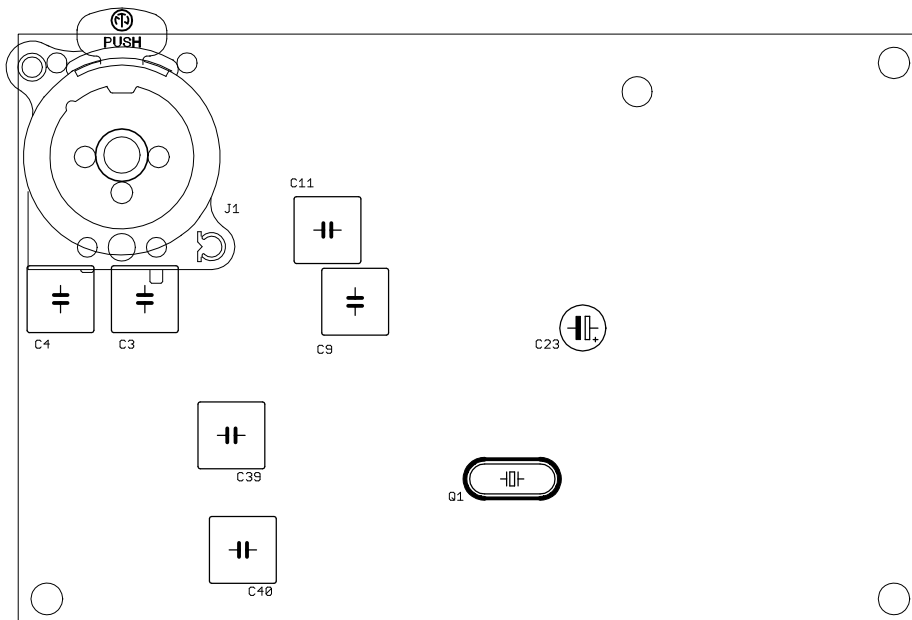


Rozmer dosky 99,7 x 65,4 [mm], mierka M1:1

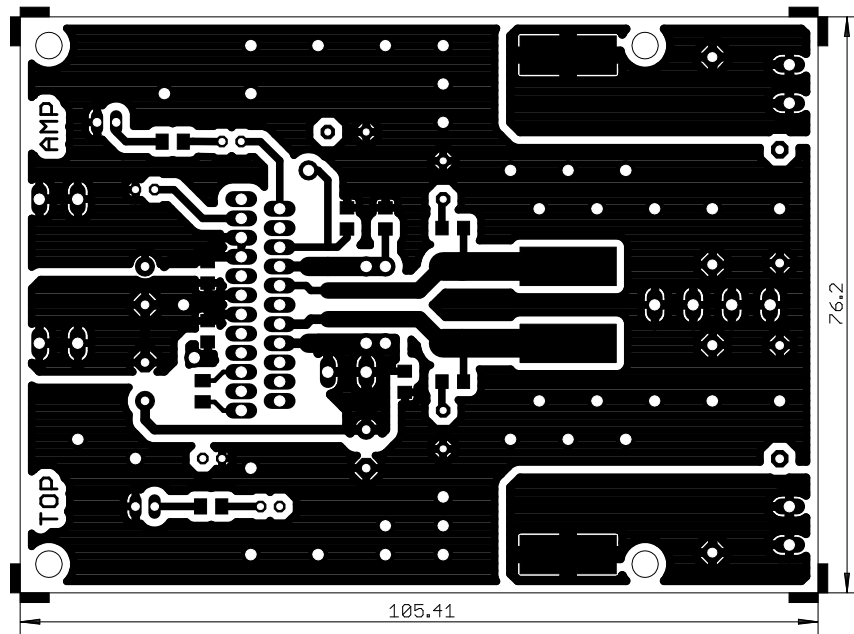
A.11 Osadzovací plán dosky DSP - TOP



A.12 Osadzovací plán dosky DSP - BOTTOM

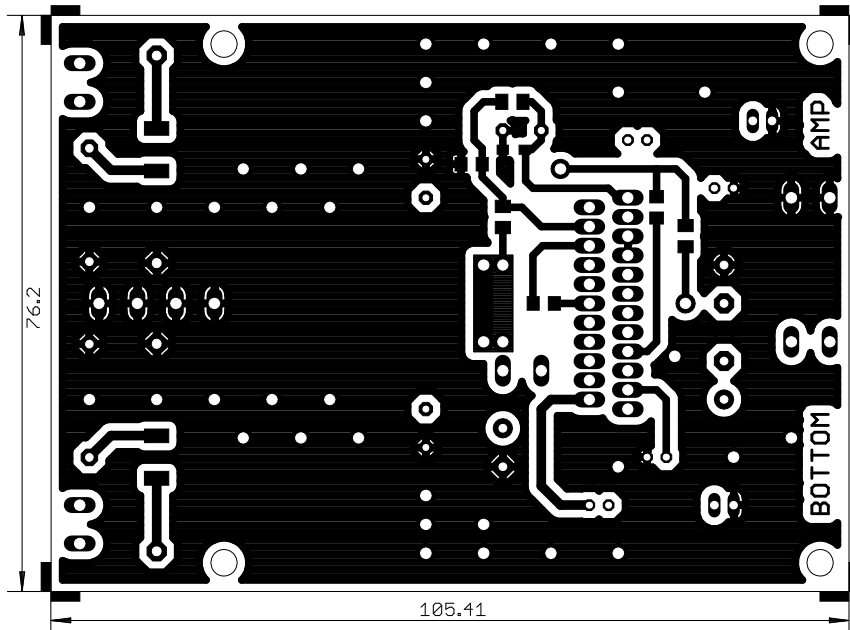


A.14 DPS koncového zosilňovača - TOP



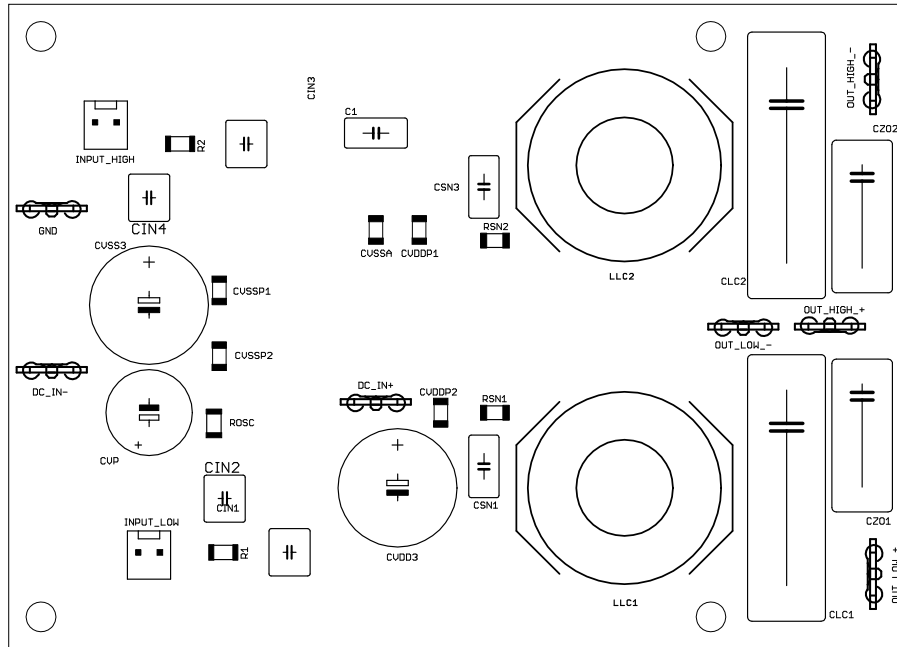
Rozmer dosky 105,4 x 76,2 [mm], mierka M1:1

A.15 DPS koncového zosilňovača - BOTTOM

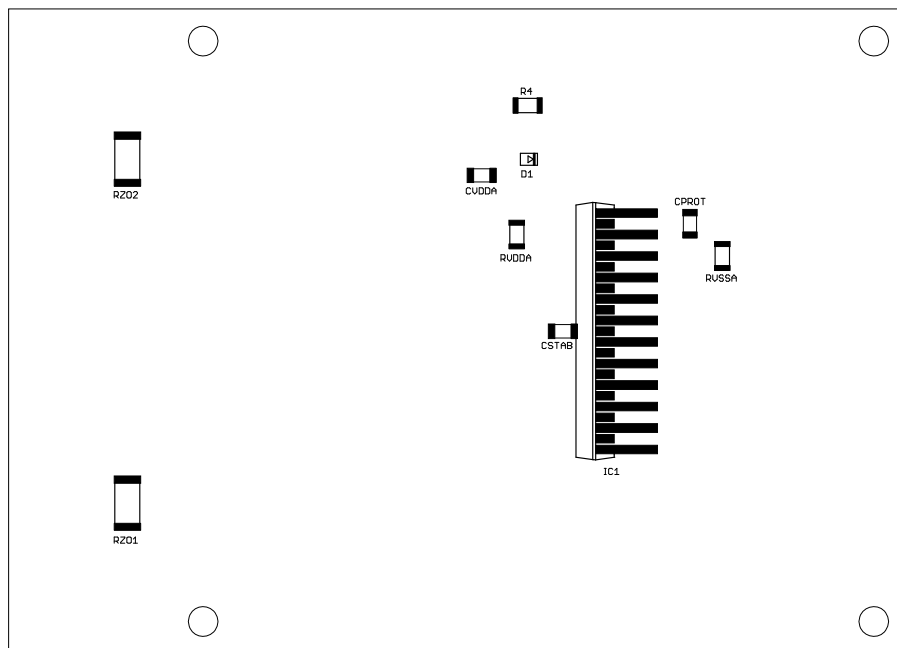


Rozmer dosky 105,4 x 76,2 [mm], mierka M1:1

A.16 Osadzovací plán DPS koncového zosilňovača - TOP



A.17 Osadzovací plán DPS koncového zosilňovača - BOTTOM



B ZOZNAM SÚČIASTOK

B.1 Zoznam súčiastok napájacieho zdroja DSP

| Súčiastka | Hodnota/typ | Označenie/púzdro | Popis |
|-----------|-------------|------------------|--------------------------------------|
| K1 | | PSH02-02P | Konektory so zamkom - vidlica - 2pin |
| L, N | FASTON | ST4,8 | faston konektor |
| C2 | 100n | C-EUC1206 | keramický kondenzátor |
| C1 | 1m | CPOL-EUE7.5-16 | elektrolytický kondenzátor |
| TR1 | | TRHEI304-1 | transformátor do DPS 5V |
| M1 | KBL06 | D-B250C6000 | graetzov usmerňovací mostík |

B.2 Zoznam súčiastok napájacieho zdroja zosilňovača

| Súčiastka | Hodnota/typ | Označenie/púzdro | Popis |
|-------------------------------|-------------|------------------|-------------------------------------|
| B1 | 10A mostík | FBM | Graetzov usmerňovací mostík |
| X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7 | FASTON | ST4,8 | faston konektor |
| C3, C4, C5, C6, C7, C8 | 100n | C-EUC1206 | keramický kondenzátor |
| C1, C2 | 10mF | CPOL-EUE10-35 | elektrolytický kondenzátor, snap-in |

B.3 Zoznam súčiastok DSP

| Súčiastka | Hodnota/typ | Označenie/púzdro | Popis |
|------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| C2 | 100uF | CPOL-EUE2-5 | elektrolytický kondenzátor |
| C3 | 4.7u | C-EU050- 075X075 | fóliový kondenzátor |
| C4 | 4.7u | C-EU050- 075X075 | fóliový kondenzátor |
| C5, C6, C7 | 100p | C-EUC0805 | fóliový kondenzátor |
| C8 | 100n | C-EUC0603K | keramický kondenzátor |
| C9 | 4.7u | C-EU050- 075X075 | fóliový kondenzátor |
| C10 | 10u | CPOL-EUE2.5-5 | elektrolytický kondenzátor |
| C11 | 4.7u | C-EU050- 075X075 | fóliový kondenzátor |
| C12 | 56n | C-EUC0805 | keramický kondenzátor |
| C13, C14 | 22p | C-EUC0805 | keramický kondenzátor |

| | | | |
|-------------------------|-----------|--------------------|--|
| C15 | 3.3n | C-EUC0805 | keramický kondenzátor |
| C16 | 10u | CPOL-EUE2.5-5 | elektrolytický kondenzátor |
| C17, C18, C19 | 100n | C-EUC0603K | keramický kondenzátor |
| C20 | 10u | CPOL-EUE2.5-5 | elektrolytický kondenzátor |
| C21, C22 | 100n | C-EUC0603K | keramický kondenzátor |
| C23 | 10u | CPOL-EUE2.5-5 | elektrolytický kondenzátor |
| C24 | 100n | C-EUC0603K | keramický kondenzátor |
| C25 | 100n | C-EUC0805 | keramický kondenzátor |
| C26 | 47u | CPOL-EUE2.5-5 | elektrolytický kondenzátor |
| C27, C28 | 100n | C-EUC0805 | keramický kondenzátor |
| C29 | 100n | C-EUC0603K | keramický kondenzátor |
| C30 | 10u | CPOL-EUE2.5-5 | elektrolytický kondenzátor |
| C31, C32 | 100n | C-EUC0805 | keramický kondenzátor |
| C33 | 47u | C-EL_2,5 | elektrolytický kondenzátor |
| C34, C35 | 150p | C-EUC0805 | fóliový kondenzátor |
| C36 | 100u | C-EL_2,5 | elektrolytický kondenzátor |
| C37, C38 | 470p | C-EUC0805 | fóliový kondenzátor |
| C39, C40 | 4.7u | C-EU050-075X075 | fóliový kondenzátor |
| C41, C42 | 3.3n | C-EUC0805 | fóliový kondenzátor |
| D1 | | D_10, DO41 | univerzálna dióda |
| IC1 | AD8606 | AD8607R, SO8 | precízny nízkonapäťový, nízkošumový, CMOS, Rail-to-Rail OZ |
| IC2 | ADAU1701 | ADAU1701, LQFP-48 | DSP procesor |
| IC3 | 24AA256SN | 24AA256SN, SO-08 | Serial EEPROM |
| IC4 | LD117AV33 | LD117AV33, TO220L1 | 3,3V regulátor napätia, nízky úbytok |
| IC5 | AD8606 | AD8607R,SO8 | precízny nízkonapäťový, nízkošumový, CMOS, Rail-to-Rail OZ |
| J1 | NCJ6FA-V | NCJ6FA-V | XLR - 6,3mm Jack kombo |
| JP1 | | PINHD-1X2/90 | rad pinov |
| JP3, JP4, JP5, JP6, JP7 | | PINHD-1X3 | rad pinov |
| JP8, JP9 | | PINHD-1X2 | rad pinov |
| JP10 | | PINHD-2X6 | rad pinov |
| K1, K2, K3 | | PSH02-02P | Konektor so zámkom - vidlica - 2pin |
| Q1 | 12.288Mhz | HC49S | kryštál |
| R1 | 470R | R-EU_R0805 | rezistor |

| | | | |
|--------------------------|----------|--------------------|----------------|
| R2, R9, R10, R29, R30 | 49k9 | R-EU_R0805 | rezistor |
| R3, R5, R7, R8, R21 | 10k | R-EU_R0805 | rezistor |
| R11 | 475R | R-EU_R0805 | rezistor |
| R12 | 18k | R-EU_R1206 | rezistor |
| R13, R14 | 8k | R-EU_R0805 | rezistor |
| R15, R26 | 100R | R-EU_R0805 | rezistor |
| R16 | 1k | R-EU_R0805 | rezistor |
| R17, R18, R19 | 10k | R-EU_R0805 | rezistor |
| R20 | 0R | R-EU_R1206 | rezistor |
| R22, R23, R24, R25 | 4k75 | R-EU_R0805 | rezistor |
| R27, R28 | 604R | R-EU_R0805 | rezistor |
| R31 | 1k | R-EU_R0805 | rezistor |
| S1 | | 10-XX, B3F-10XX | tlačítko |
| T1 | FZT751TA | FZT789A, SOT223 | PNP tranzistor |

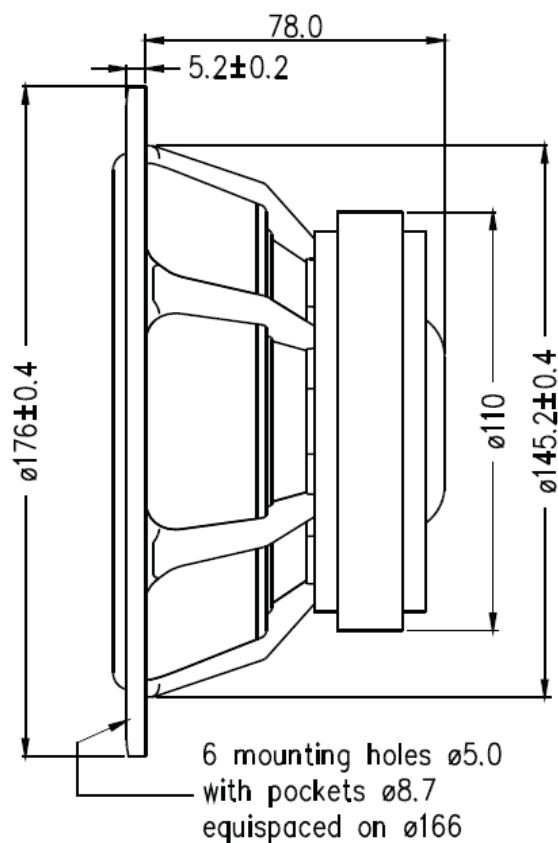
B.4 Zoznam súčiastok koncového zosilňovača

| Súčiastka | Hodnota/typ | Označenie/púzdro | Popis |
|---|-------------|------------------|--|
| INPUT_HIGH, INPUT_LOW | | PSH02-02P | Konektor so zámkom - vidlica - 2pin |
| DC_IN+, DC_IN-, GND, OUT_HIGH_+, OUT_HIGH_-, OUT_LOW_+, OUT_LOW_- | FASTON | ST4,8 | faston konektor |
| IC1 | | TDA8954J | integrováný D zosilňovač |
| CVDDP1, CVDDP2, CVSSP1, CVSSP2 | 100n | C-EUC1206 | keramický kondenzátor |
| CZO1, CZO2 | 100n MKP | C-EU150-072X183 | MKP fóliový kondenzátor |
| RVDDA, RVSSA | 10R | R-EU_M1206 | rezistor |
| RZO1, RZO2 | 22R | R-EU_R2512 | rezistor |
| C1 | 220n | C-EU050-035X075 | fóliový kondenzátor |
| CVDDA, CVSSA | 220n | C-EUC1206 | keramický kondenzátor |
| CSN1, CSN3 | 220p MKP | C-EU050-035X075 | MKP fóliový kondenzátor |
| CVP | 22u/160V | CPOL-EUE5-10.5 | elektrolytický kondenzátor low-ESR |
| LLC1, LLC2 | 22uH | PM2120 | POWER INDUCTOR |
| R4 | 27k4 | R-EU_M1206 | rezistor |

| | | | |
|---------------------------|----------|--------------------|---------------------------------------|
| ROSC | 30k | R-EU_M1206 | rezistor |
| CIN1, CIN2, CIN3, CIN4 | 470n | C-EU025-060X050 | fóliový kondenzátor |
| CSTAB | 470n | C-EUC1206 | keramický kondenzátor |
| CLC1, CLC2 | 470n MKP | C-EU275-093X316 | MKP fóliový kondenzátor |
| CVDD3, CVSS3 | 470u/63V | CPOL-EUE5-13 | elektrolytický kondenzátor low-ESR |
| CPROT | 47p | C-EUC1206 | keramický kondenzátor |
| D1 | 5V1 | DIODE-SOD323- W | zenerova dióda 5,1V |
| R1, R2 | 5k6 | R-EU_M1206 | rezistor |
| RSN1, RSN2 | 5k6 | R-EU_R1206 | rezistor |

C REPRODUKTORY, OZVUČNICA

C.1 Nákres a rozmery reproduktora Seas CA18RNX [mm]



[13]

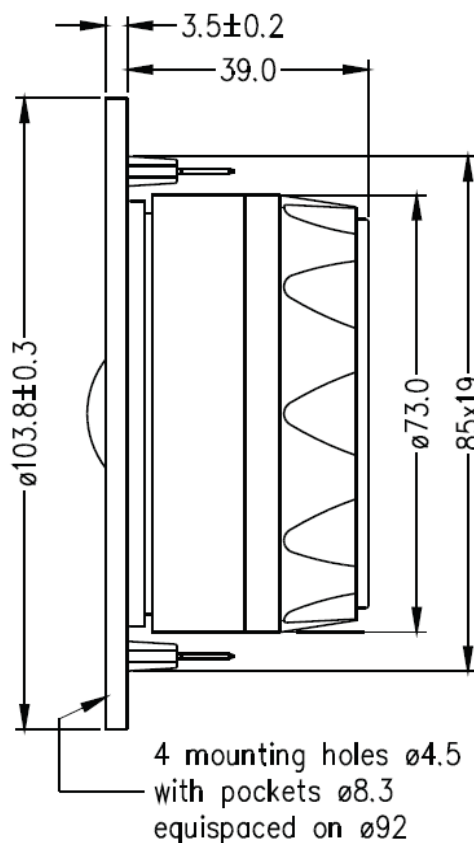
C.2 Vlastnosti a parametre reproduktora Seas CA18RNX

| označenie | Názov parametru | hodnota | jednotka |
|---------------------|------------------------------|---------|----------|
| P | trvalý príkon | 80 | W |
| P_{\max} | krátkodobý | 250 | W |
| Z | nominálna impedancia | 8 | Ω |
| f_{rozsah} | odporúčany frekvenčný rozsah | 45-3000 | Hz |
| SPL | citlivosť (2,83 V/1 m) | 88,5 | dB |
| | Lineárna výchylka cievky | 12 | mm |
| X_{\max} | Maximálna výchylka | 22 | mm |
| f_s | Rezonančná frekvencia | 35 | Hz |
| | Priemer cievky | 39 | mm |

| | | | |
|-----|--|------|-----------------|
| | Výška vinutia | 18 | mm |
| | Výška vzduchovej medzery | 6 | mm |
| | Váha | 1,91 | kg |
| Re | DC odpor cievky | 5,8 | Ω |
| Qms | Mechanický Q faktor | 1,90 | - |
| Qes | Elektrický Q faktor | 0,37 | - |
| Qts | Celkový Q faktor | 0,31 | - |
| Vas | Ekvivalentný objem | 33 | l |
| Sd | Efektívna plocha vzduchového valca | 136 | cm ² |
| Mms | Hmotnosť kmitacieho systému | 14 | g |
| L | Indukcia cievky | 1,2 | mH |
| | Hustota magn. poľa vo vzduchovej medzere | 1,00 | T |

[13]

C.3 Nákres a rozmery reproduktora Seas 27TFFC [mm]



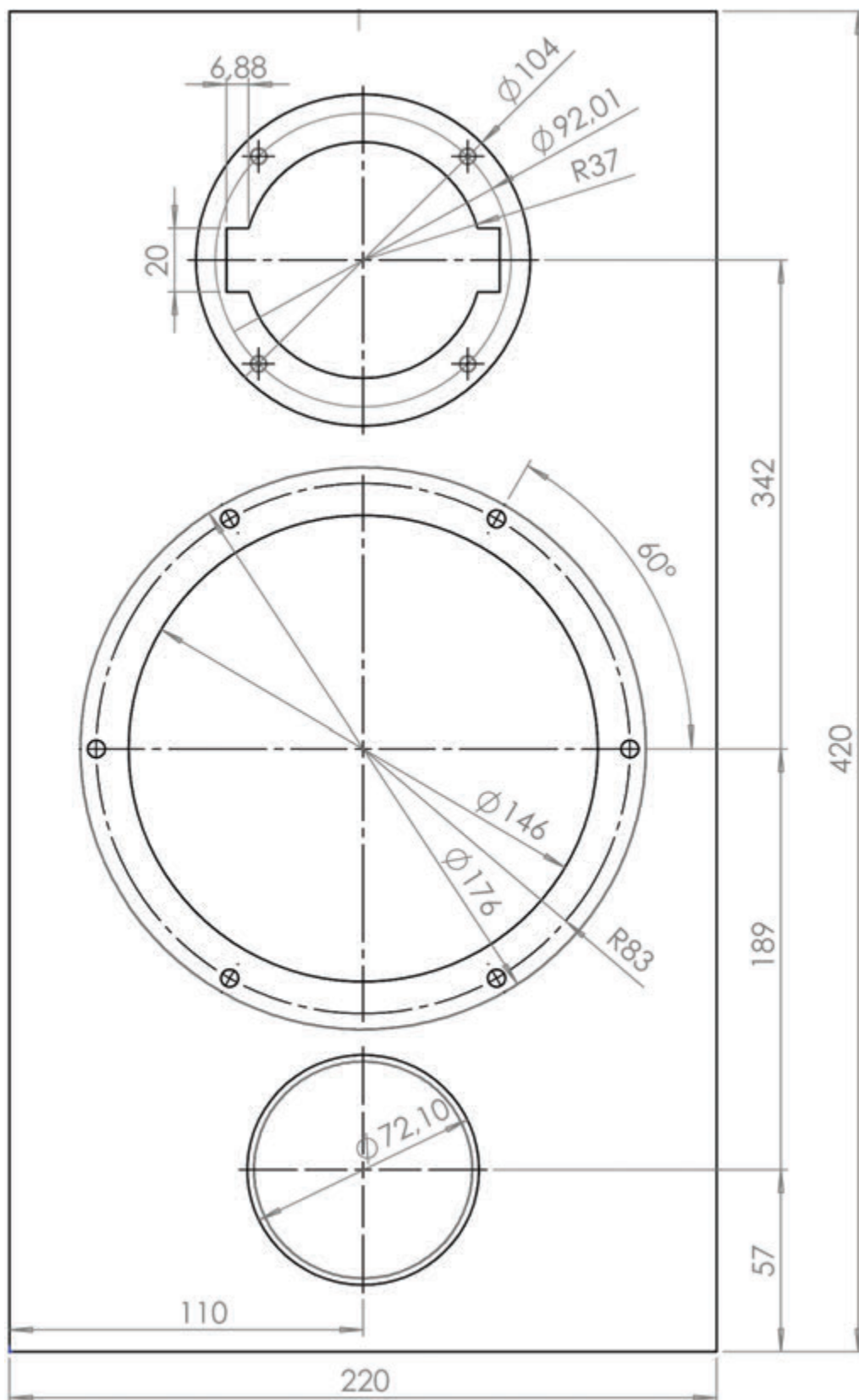
[14]

C.4 Vlastnosti a parametre reproduktora Seas 27TFFC

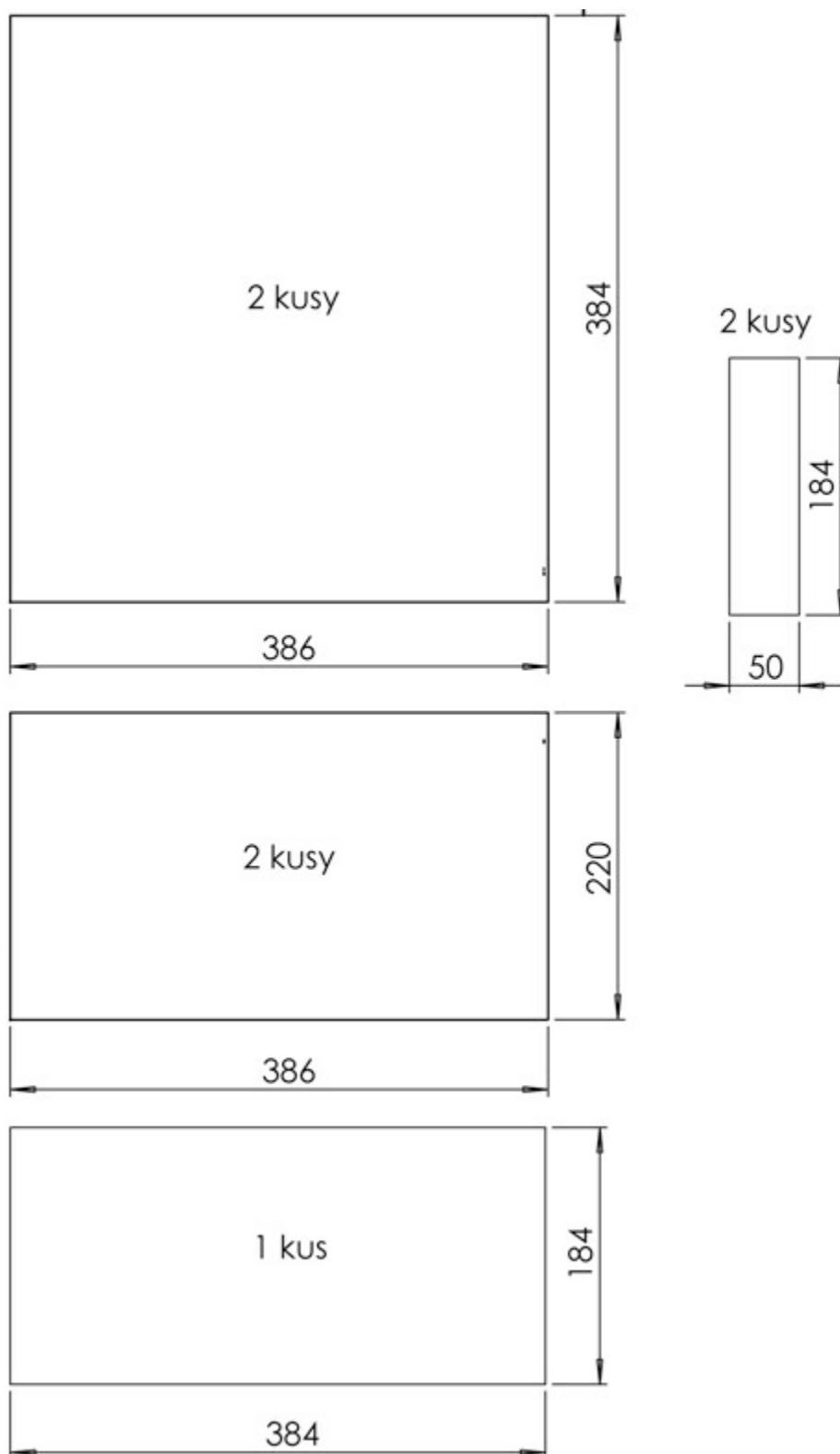
| označenie | Názov parametru | hodnota | jednotka |
|---------------------|--|------------|-----------------|
| P | trvalý príkon | 80 | W |
| P _{max} | krátkodobý | 200 | W |
| Z | nominálna impedancia | 6 | Ω |
| f _{rozsah} | odporúčaný frekvenčný rozsah | 2000-30000 | Hz |
| SPL | citlivosť (2,83 V/1 m) | 91 | dB |
| | Lineárna výchylka cievky | 0,5 | mm |
| f _s | Rezonančná frekvencia | 550 | Hz |
| | Priemer cievky | 26 | mm |
| | Výška vinutia | 1,5 | mm |
| | Výška vzduchovej medzery | 6 | mm |
| | Váha | 0,52 | kg |
| Re | DC odpor cievky | 4,8 | Ω |
| | Faktor sily | 3,5 | - |
| Sd | Efektívna plocha vzduchového valca | 7,6 | cm ² |
| Mms | Hmotnosť kmitacieho systému | 0,25 | g |
| L | Indukcia cievky | 0,05 | mH |
| | Hustota magn. poľa vo vzduchovej medzere | 1,8 | T |

[14]

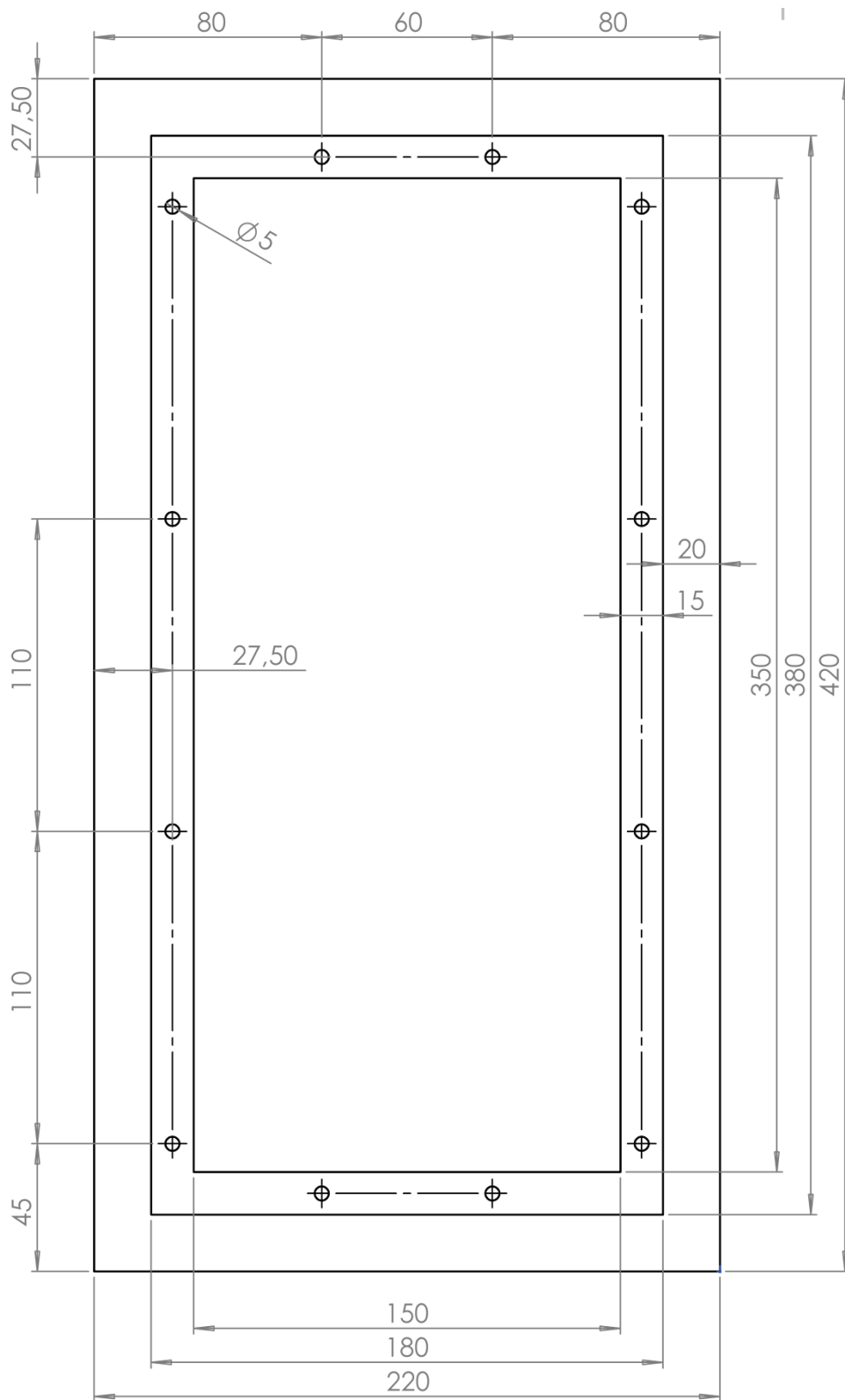
C.5 Konštrukčné nákresy reprobredne - predná stena



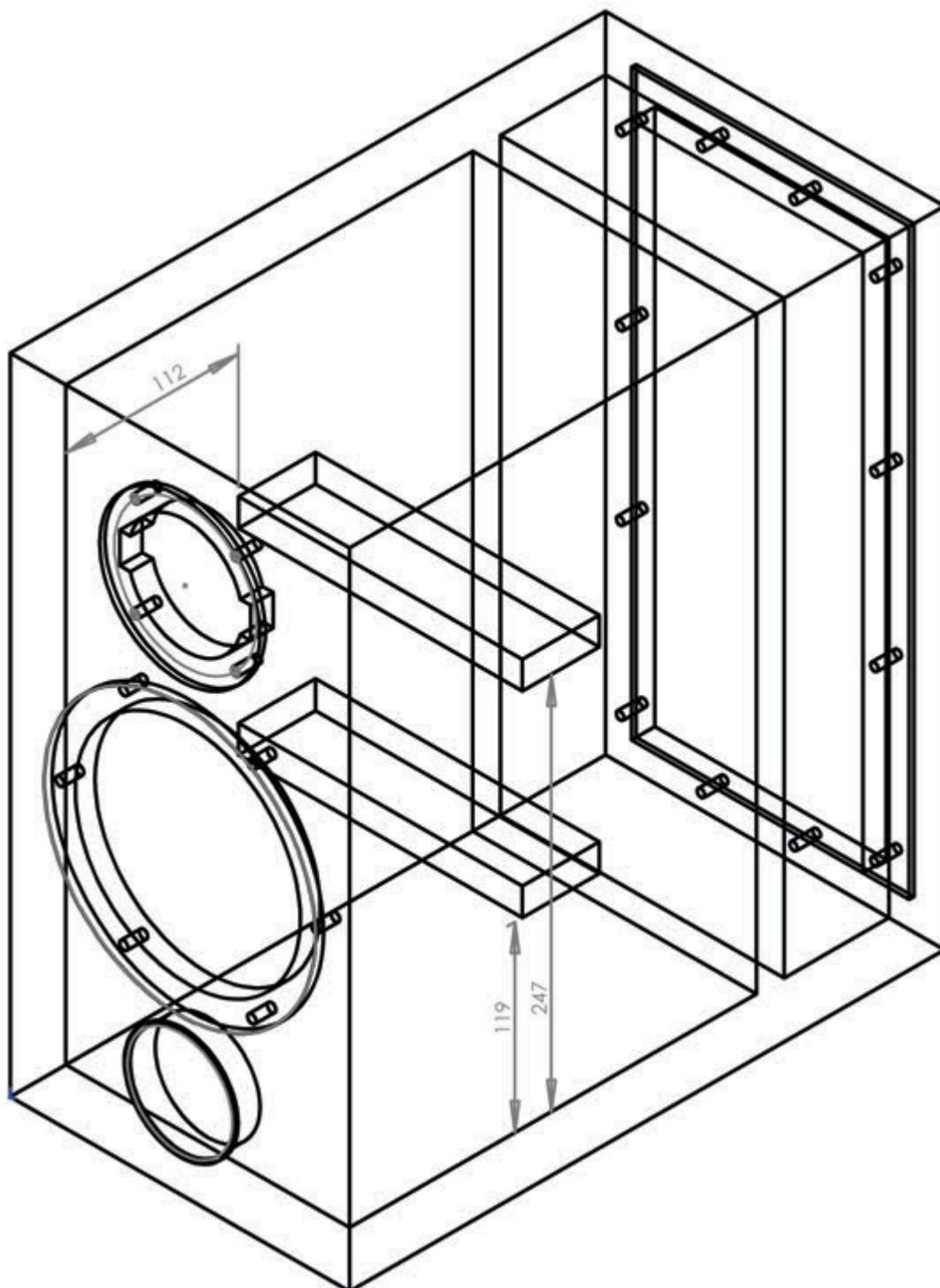
C.6 Konštrukčné nákresy reprobredne - bočné steny + priečka



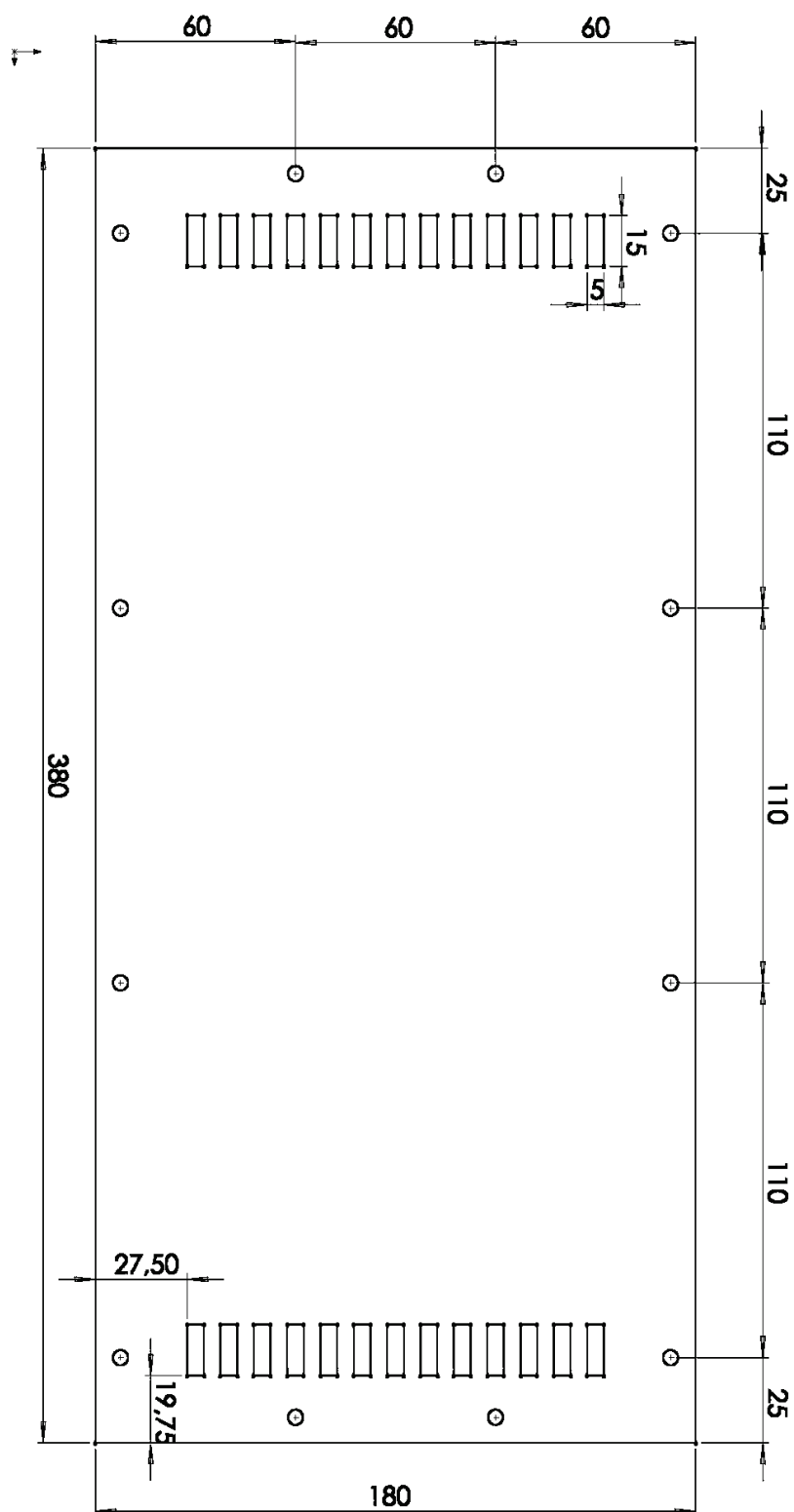
C.7 Konštrukčné nákresy reprobredne - zadné stena



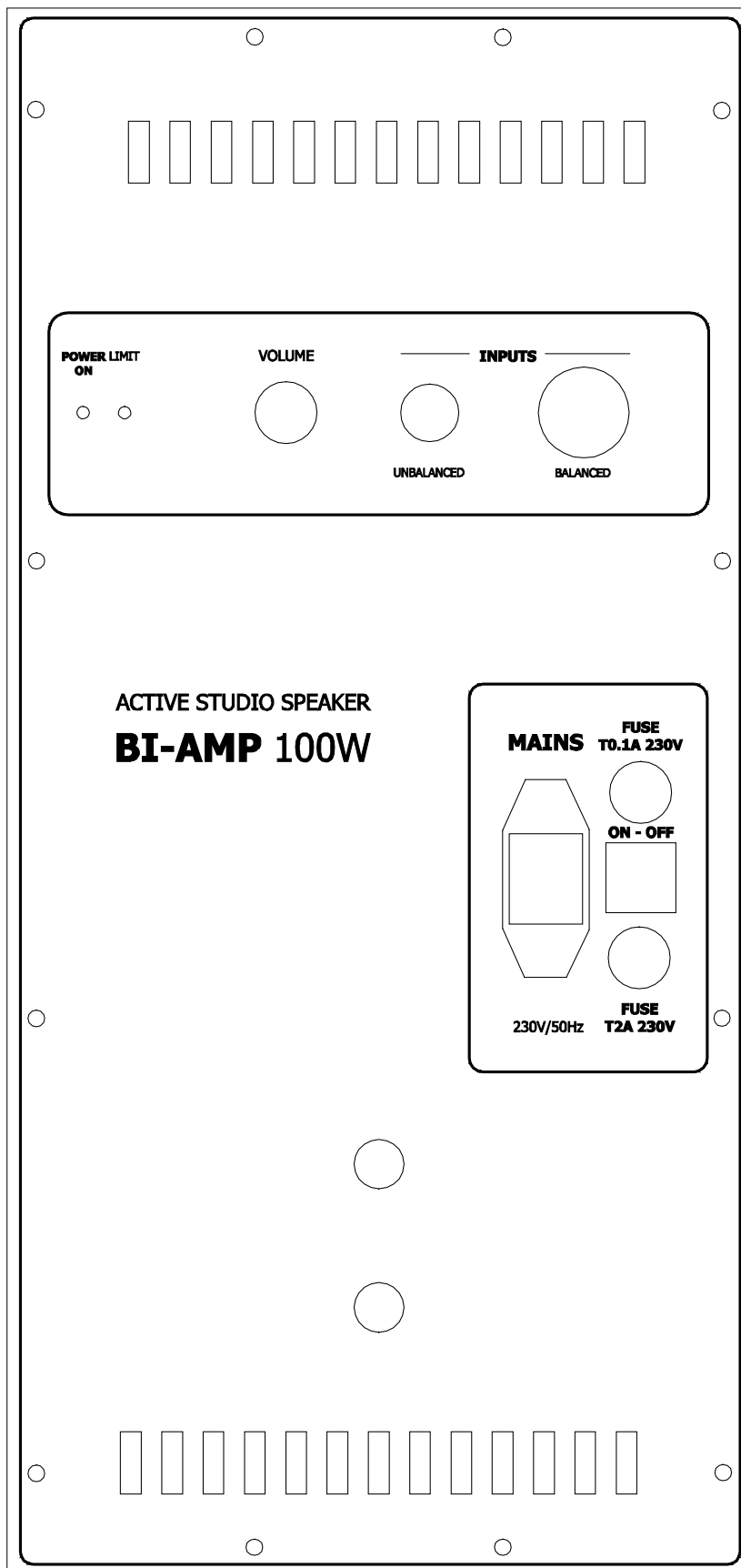
C.8 3D vizualizácia vnútra reprobredne - priečky



D ZADNÝ PANEL



Podklady pre vysekávačku hliníkového plechu - Solidworks/AutoCAD



Podklady pre vypalovanie popisov laserom - CorelDRAW

E FOTOGALÉRIA PROCESU VÝROBY

