

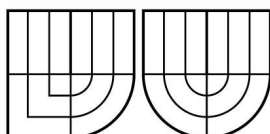
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS



MINI STEREOZESILOVAČ

MINIATURE STEREOAMPLIFIER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

ZDENĚK DOKULIL

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

ING. LADISLAV KÁŇA

SUPERVISOR

BRNO 2008

Originální zadání

Licenční smlouva

ABSTRAKT

Úkolem této práce bylo navrhnout a zkonstruovat koncový stereofonní zesilovač se síťovým napájením optimalizovaný pro dosažení co nejmenších rozměrů, vybavený korektorem hloubek a výšek, regulátorem hlasitosti, umlčovačem a indikací limitace. Bylo požadováno užití integrovaného výkonového zesilovače.

Vlastní obvodové řešení je založeno na stejnosměrně řízeném integrovaném korekčním předzesilovači LM1036, koncovém stupni TDA7262 a řadě podpůrných obvodů pro realizaci přepínání umlčení, teplotních ochran a indikátoru limitace.

Realizovaný vzorek zesilovače má výstupní výkon $2 \times 20 \text{ W}$, odstup signálu od šumu 83,7 dB a frekvenční charakteristiku v tolerančním pásmu 3 dB v rozsahu 16 až 20 000 Hz.

ABSTRACT

The aim of this thesis was to design and construct a mains powered stereo power amplifier with minimal overall dimensions, equipped with a mute and tone/volume control circuit. The usage of an integrated power amplifier circuit was required.

The circuit solution is based on a DC controlled integrated tone and volume control circuit LM1036, power amplifier TDA7262 and a number of supporting circuits for mute switching and temperature protection.

An assembled sample of amplifier has 2×20 watts of output power, SNR 83,7 dB and a flat frequency response within the range of 3 dB for inputs from 16 to 20 000 Hz.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Mini stereo zesilovač“ 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 tohoto projektu 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

podpis autora

OBSAH

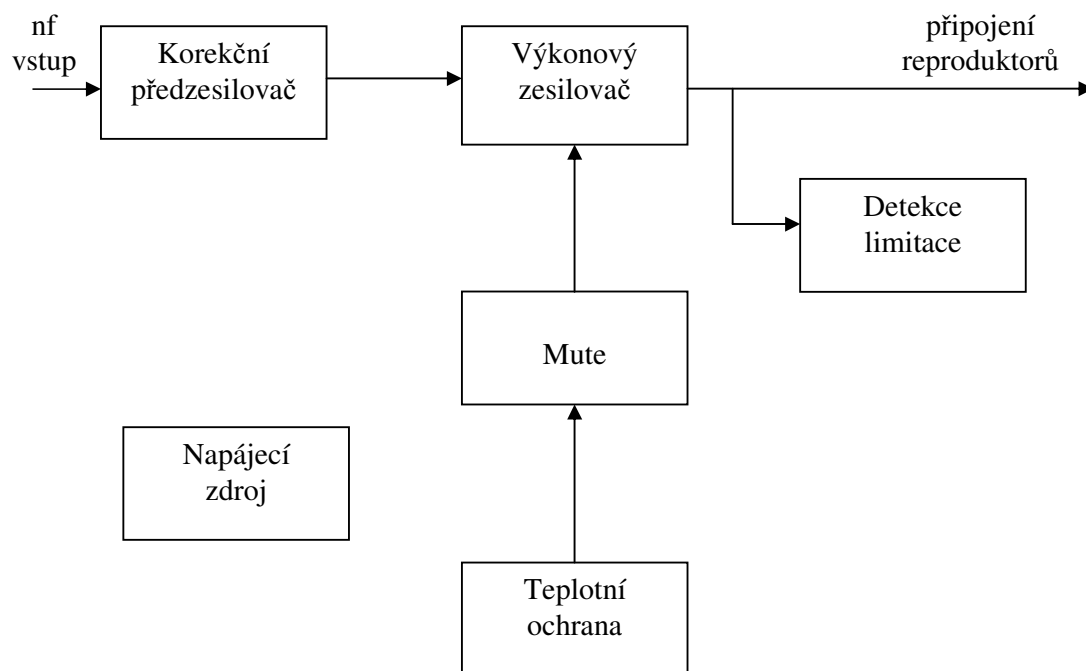
1	Úvod.....	6
2	Obecný návrh zesilovače	6
2.1	Korekční předzesilovač	8
2.2	Výkonový zesilovač TDA 7262	11
2.3	Limitace.....	11
2.3.1	Limitace obecně	11
2.3.2	Detekce limitace.....	13
2.4	Teplotní ochrana	13
2.5	Napájecí zdroj.....	14
3	Hardwarové řešení.....	16
3.1	Celkové zapojení.....	16
3.2	Korekční předzesilovač	18
3.3	Výkonový zesilovač.....	19
3.4	Obvod ztišení (MUTE).....	21
3.5	Detekce limitace	23
3.6	Teplotní ochrana	25
3.7	Napájecí zdroje	26
4	Sestavení	28
4.1	Teplotní ochrana	28
4.2	Chladič	29
4.3	Úprava zapojení ztišení	31
5	Desky plošných spojů	32
5.1	Rozdělení na 2 desky	32
5.2	Propojení desek.....	32
5.3	Základní deska	32
5.4	Deska ovládacích prvků	35
6	Měření	37
7	Závěr	40
8	Seznam použité literatury.....	41
9	Přílohy	42
9.1	Schéma zapojení základní desky	42
9.2	Schéma zapojení čelního panelu.....	43
9.3	Použité měřicí přístroje	44

1 Úvod

Úkolem této práce je návrh koncového stereofonního zesilovače se síťovým napájením s ohledem na minimalizaci výsledných rozměrů při stavbě. Má být využit některý z integrovaných výkonových zesilovačů, byl zvolen obvod TDA 7262. Zesilovač musí obsahovat korektor hloubek i korektor výšek, a samozřejmě také regulaci hlasitosti. Dále musí obsahovat funkci umlčení - MUTE s indikací zapnutí této funkce, indikaci zapnutí zesilovače a indikaci limitace. Na vstupu budou použity konektory RCA (jinak nazývané CINCH), TRS 3,5“ a 6,35“ (jinak nazývané jako Jack). Pro výstup pak budou použity konektory TRS 6,35“ a plochý kolík.

2 Obecný návrh zesilovače

Blokové schéma je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1.: Blokové schéma zesilovače

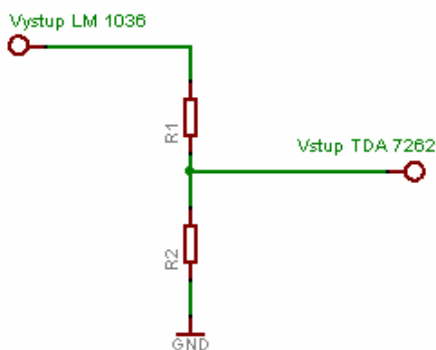
Na vstup korekčního předzesilovače je přiváděn signál s linkovou úrovní 0,775 V pro plné vybuzení. Výstupní napětí na výkonovém zesilovači může být maximálně 15V od středu napájecího napětí (umělé země), které bude 30V. Známe také zesílení TDA 7262, které je podle katalogového listu [2] $A = 36 \text{ dB}$. Z daných hodnot nyní můžeme spočítat maximální vstupní napětí pro výkonový zesilovač podle vzorce:

$$A = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \quad [\text{dB}; \text{V}; \text{V}] \quad (1.1)$$

$$36 \text{ dB} = 20 \log \frac{15 \text{ V}}{U_1} \quad (1.2)$$

$$U_1 = \frac{15}{10^{\frac{36}{20}}} = 0,238 \text{ V} \quad (1.3)$$

Pokud by toto napětí bylo překračováno, docházelo by k limitaci, proto budeme muset výstupní napětí korekčního předzesilovače snížit, což provedeme pomocí vhodného odporového děliče. Celkovou hodnotu odporového děliče budeme volit kolem 5-6 k Ω – vyhoví tak vzhledem k zanedbatelnému výstupnímu odporu obvodu korekčního zesilovače LM1036, který činí 20 Ω i vůči vstupní impedanci výkonového zesilovače TDA 7262, která činí 200 k Ω . Obě hodnoty jsou převzaty z katalogového listu [1] [2].



Obr. 2.: Schéma použitého odporového děliče

Požadované napětí je tedy 0,238 V, maximální napětí na výstupu LM 1036 je 0,775 V. Pro splnění celkové hodnoty děliče volíme odpory 1k8 a 3k9, s těmito hodnotami dostáváme výslednou hodnotu podle vzorce:

$$U_2 = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times U_0 \quad [\text{V}, \Omega, \text{V}] \quad (1.4)$$

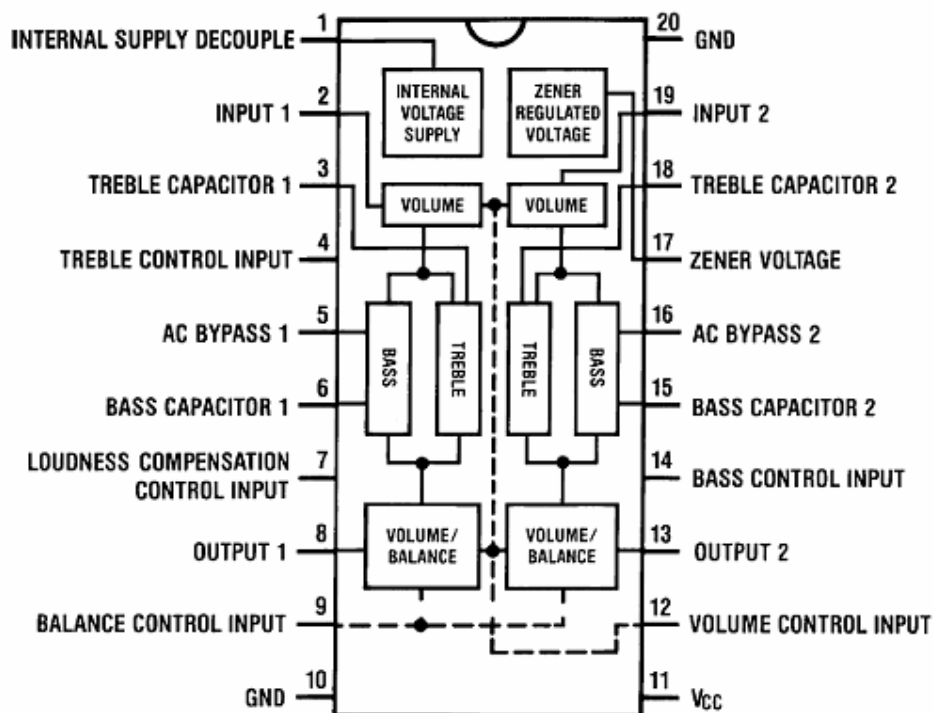
Po dosazení:

$$U_2 = \frac{1800}{1800 + 3900} \times 0,775 \text{ V} = 0,245 \text{ V} \quad (1.5)$$

Toto napětí je sice vyšší, než bylo původně požadované, ale k limitaci bude při vybuzení signálem o úrovni 0,775V docházet až v krajní poloze regulátoru hlasitosti a tato limitace bude znázorněna indikační LED diodou.

2.1 Korekční předzesilovač

Tento blok je řešen integrovaným obvodem LM 1036. Tento obvod obsahuje všechny požadované bloky – regulaci hlasitosti, výšek i hloubek, obsahuje také regulaci stereováhy, ale tato možnost nebude využita a bude ponecháno nastavení 1:1. Blokové schéma vnitřní struktury tohoto obvodu je znázorněno na obr. 3.



Obr. 3.: Vnitřní struktura LM1036

Překlad popisu jednotlivých vývodů:

Internal supply decouple – odrušení vnitřního napájení

Input 1,2 – vstup signálu

Treble capacitor 1,2 – kondenzátor filtru výšek

Treble control input – vstup regulace výšek

AC bypass 1,2 – filtrační kondenzátor umělé země

Bass capacitor 1,2 – kondenzátor filtru hloubek

Loudness compensation control input – ovládání fyziologické regulace hlasitosti

Output 1,2 – výstupní signál

Balance control input – vstup regulace stereováhy

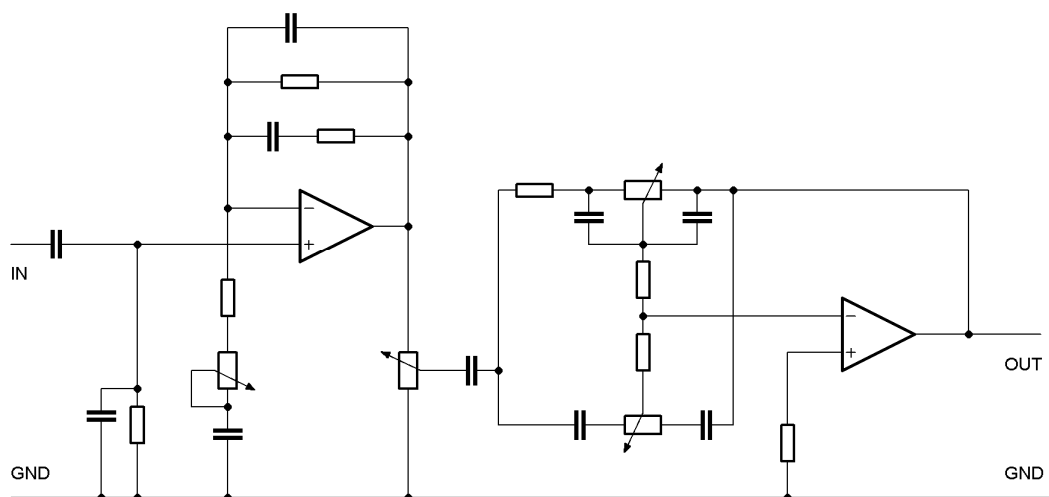
GND – zem

Zener voltage – referenční napětí

Bass control input – vstup regulace hloubek

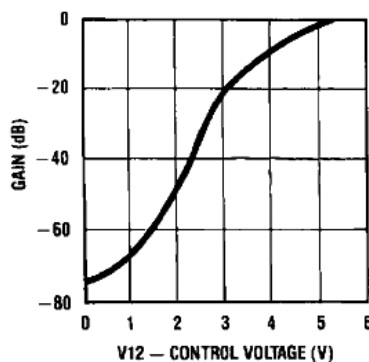
Volume control input – vstup regulace hlasitosti

Výhodou tohoto obvodu je jednoduchost zapojení, vše je v jediném integrovaném obvodu s minimálním množstvím okolních součástek a také možnost využití jednoduchých lineárních potenciometrů / trimrů pro nastavení požadovaných parametrů. Při použití tohoto integrovaného obvodu se značně zjednoduší zapojení, oproti klasickému zapojení korekčního předzesilovače s OZ, například podle literatury [3], (viz obr. 4.) to bude činit o 20 pasivních součástek méně.



Obr. 4.: Schéma jednoduchého korekčního zesilovače

Maximální útlum výstupní hlasitosti je vyčten z grafu (obr. 5.) a pro tento integrovaný obvod činí asi 75 dB.



Obr. 5.: Útlum korekčního zesilovače LM1036, převzato z literatury [1]

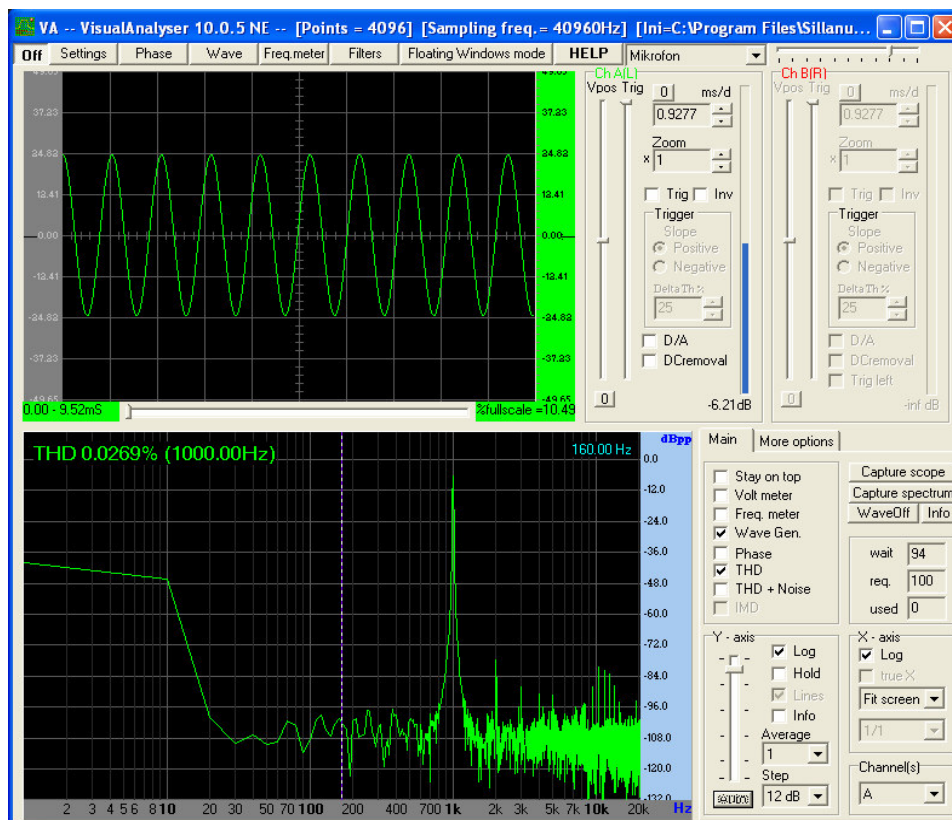
2.2 Výkonový zesilovač TDA 7262

Jedná se o integrovaný výkonový stereofonní nízkofrekvenční zesilovač 2 x 20W, který plně odpovídá požadavkům HI-FI normy. Tento obvod je vybaven vestavěnou ochranou proti přehřátí i proti zkratu na výstupu. Je také vybaven funkcí stand-by, což je obdoba funkce MUTE, jako například u obvodů LM3886. Tuto funkci může využít například k opožděnému připojení reproduktorů, aby nedocházelo k nepříjemnému lupnutí v reproduktorech po zapnutí zesilovače vlivem přechodových jevů v obvodech korekčního předzesilovače nebo zdroji signálu. My funkci stand-by využijeme pro obvod MUTE (viz obr. 1.: blokové schéma koncového zesilovače), aktivujeme ji přivedením vývodu číslo 3 obvodu TDA7262 přes rezistor o hodnotě 15 Ω na zem.

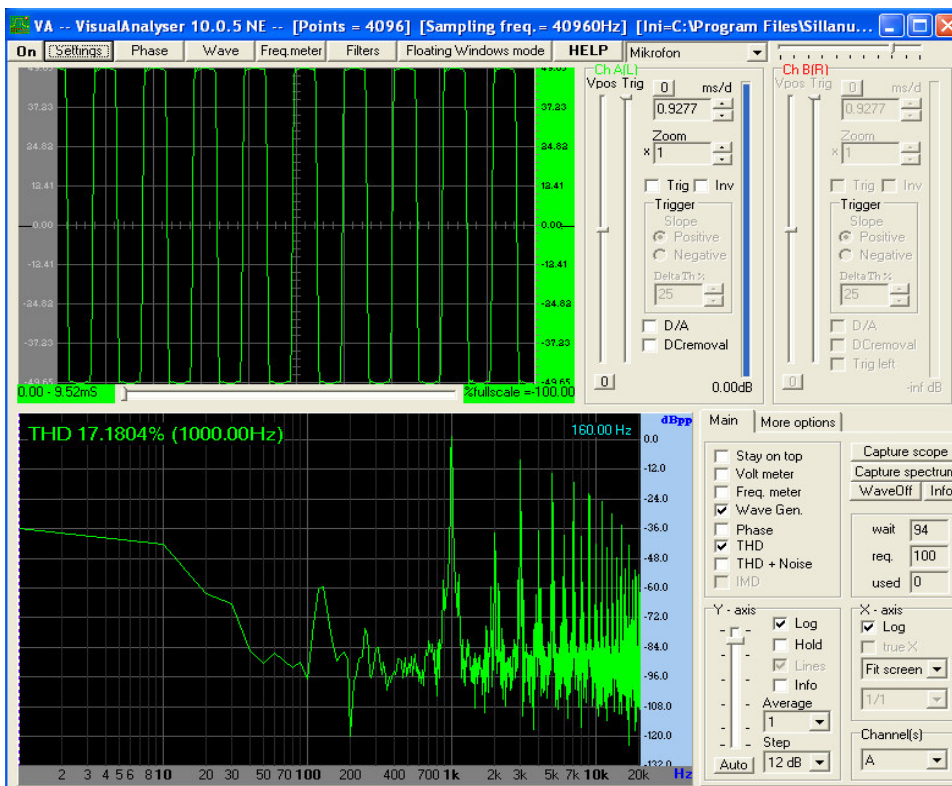
2.3 Limitace

2.3.1 Limitace obecně

Pokud zesilovač pracuje v limitaci, jeho výstupní napětí na reprosvorkách se přiblíží napětí napájecímu, výkonový stupeň již není schopen přenést signál v nezkreslené podobě, protože amplituda bude omezena právě na hodnotě blízké napájecímu napětí - signál bude tzv. "oříznut". Na reprosvorkách se objeví úseky, které budou mít charakter stejnosměrného napětí. Amplituda je tedy omezena hranicí napájecího napětí a signál tak na krátkou dobu není harmonický, ale stejnosměrný, dojde k nelineárnímu zkreslení a do spektra signálu budou přidruženy vyšší harmonické frekvence, což představuje velké nebezpečí pro výškové reproduktory, protože ty na takové výkony nejsou konstruovány. Proto je vhodné limitaci zamezit například připojením limiteru do obvodu k zesilovači nebo limitaci alespoň indikovat.



Obr. 6.: Nezkreslený signál



Obr. 7.: Zkreslení signálu při limitaci

Na obr. 6. vidíme nezkreslený signál (horní část) a jeho kmitočtové spektrum (spodní část), kdežto na obr. 7. vidíme v horní části signál v limitaci a níže spektrum tohoto signálu. Zde je jasně patrné, že ve spektru není zastoupena pouze vstupní frekvence 1kHz, ale je bohaté na vyšší harmonické frekvence, které vznikají jako důsledek zkreslení při limitaci. Obrázky 6. a 7. jsou snímky okna programu Visual Analyser při buzení zvukové karty počítače harmonickým signálem o frekvenci 1kHz.

2.3.2 Detekce limitace

Použitým způsobem detekce limitace je porovnání výstupního napětí výkonového zesilovače s přednastaveným napětím, které je o něco málo menší, než napájecí napětí, jeho přesná hodnota bude určena při měření a upravena trimrem. Pokud hodnota výstupního napětí překročí hodnotu přednastavenou, může již docházet k limitaci. V mém zapojení, kdy jsou použity komparátory a jeden operační zesilovač. Jedná se o čtyřnásobný komparátor LM 339 a operační zesilovač LM 358, který porovnává napětíové úrovně jak v kladné tak v záporné části periody obou kanálů. Tímto je zajištěno, že limitace bude signalizována, i pokud k ní dojde pouze v jedné části periody u jednoho (libovolného) kanálu.

2.4 Teplotní ochrana

Součástí mého zapojení je také teplotní ochrana, sloužící pro detekci přehřátí chladiče integrovaného zesilovače. V zapojení je využita část obvodu LM358, zapojená jako komparátor s hysterezí.

Jako senzor umístěný u chladiče je použit NTC termistor. Při zvyšující se teplotě bude jeho odpor klesat a napětí na něm také, dojde k překlopení komparátoru a vlivem zpětné vazby se posune teplota (resp. napětí na termistoru), při níž bude obvod překlopen zpět. Touto zpětnou vazbou bude zabráněno kolísání - překlápění na hranici kritické teploty.

Sepnutí komparátoru bude mít za následek 2 věci – rozsvícení LED diody, která signalizuje přehřátí, tato bude svítit dokud se obvod nepřeklopí zpět, poté automaticky zhasne. Druhý efekt bude ztišení výkonového zesilovače, čímž dojde k chladnutí chladiče. K tomuto bude využito samotné ovládání MUTE, LM 358 přivede signál logická 1 na vstup „reset“ druhé části obvodu CMOS 4013 (viz kapitola 3.6), čímž dojde ke ztišení koncového stupě

podobně jako při stisku tlačítka MUTE. Po zhasnutí signalizační LED diody přehřátí bude možné zesilovač zapnout stlačením MUTE.

2.5 Napájecí zdroj

Pro napájení stereo zesilovače bude použit toroidní transformátor se třemi sekundárními vinutími 22,5 V / 1,2 A; 9 V / 0,8 A; 14 V / 0,8 A. Tento transformátor mi byl pro danou práci přidělen vedoucím semestrální práce. Pro napájení samotného výkonového zesilovače TDA 7262 bude použito vinutí s výstupním napětím 22,5 V. Po usměrnění a vyfiltrování dostaneme napětí dle vzorce:

$$U = (U_1 - (2 \times U_d)) \times \sqrt{2} \quad [\text{V}] \quad (1.6)$$

Po dosazení potom dostáváme:

$$U = (22,5 - (2 \times 0,6)) \times \sqrt{2} = 30 \text{ V} \quad (1.7)$$

Napětí 30V je pro napájení obvodu vhodné. Pro napájení přídavných obvodů, tedy korekční předzesilovač LM1036, obvod pro detekci limitace LM339, klopný obvod CMOS 4013 (ztišení zesilovače), LM358 (součást detekce limitace a teplotní ochrana), bude použito vinutí s výstupním napětím 9 V, jenž bude po usměrnění a vyfiltrování mít cca 11 V.

Výpočet podle vzorce 1.6:

$$U = (9 - (2 \times 0,6)) \times \sqrt{2} = 11 \text{ V} \quad (1.8)$$

Minimální a maximální napájecí napětí pro dané obvody jsou uvedena v tab. 1.

Obvod	$U_{\min}$ [V]	$U_{\max}$ [V]
TDA 7262	8	32
LM 358	3	32
LM 339	2	36
LM 1036	9	16
CMOS 4013	3	18

Tab. 1.: Minimální a maximální napájecí napětí použitých integrovaných obvodů

Třetí sekundární vinutí s výstupním napětím 14 V nebude použito, protože pro naše zapojení není vhodné - toto vinutí by po usměrnění a vyfiltrování mělo 18,1 V.

Výpočet podle vzorce 1.6:

$$U = (14 - (2 \times 0,6) \times \sqrt{2}) = 18,1 \text{ V} \quad (1.9)$$

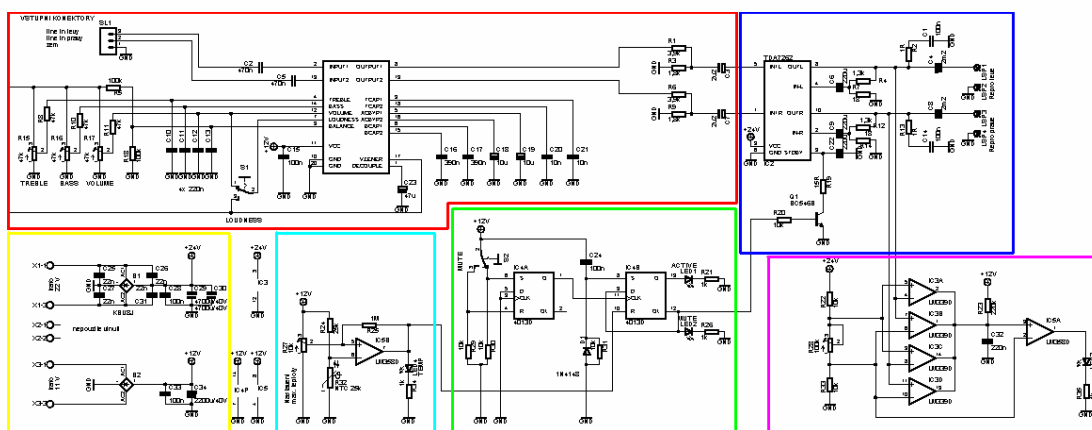
Dané napětí by sice bylo možné použít pro napájení integrovaných obvodů LM 358 i LM 339, ale pro napájení LM 1036 a CMOS 4013 by bylo nutné snížit napájecí napětí, což je s daným transformátorem zcela zbytečné. Vývody i tak zapojíme do svorkovnice, aby nemohlo dojít k jejich zkratu a přetížení transformátoru.

Zatímco u napájení výkonového zesilovače budou muset být součástky dimenzované na maximální výkon i slabé přetížení transformátoru, napájení přídavných obvodů bude řešeno pouze pro skutečný odběr připojených obvodů, protože proudová spotřeba jednotlivých integrovaných obvodů bude v řádu miliampér, což umožní použít například filtrační kondenzátor s nižší kapacitou a tím i menšími rozměry – velikost zařízení je jedním z hlavních požadavků na konstrukci. Hodnoty jednotlivých součástek budou řešeny v kapitole 3.7.

3 Hardwarové řešení

3.1 Celkové zapojení

Na obr. 8. je zapojení koncového zesilovače barevně rozděleno do bloků, které budou dále podrobně rozebírány (kap. 3.2 až 3.7). Odporový dělič, který je zde přidružen ke korekčnímu předzesilovači, byl již kompletně vyřešen v kapitole 2.1, a také pro jeho jednoduchost mu nebude věnována celá kapitola.



Obr. 8.: Schéma zapojení koncového zesilovače

Popis:

Červený rámeček – korekční předzesilovač (kapitola 3.2)

Tmavě modrý rámeček – výkonový zesilovač (kapitola 3.3)

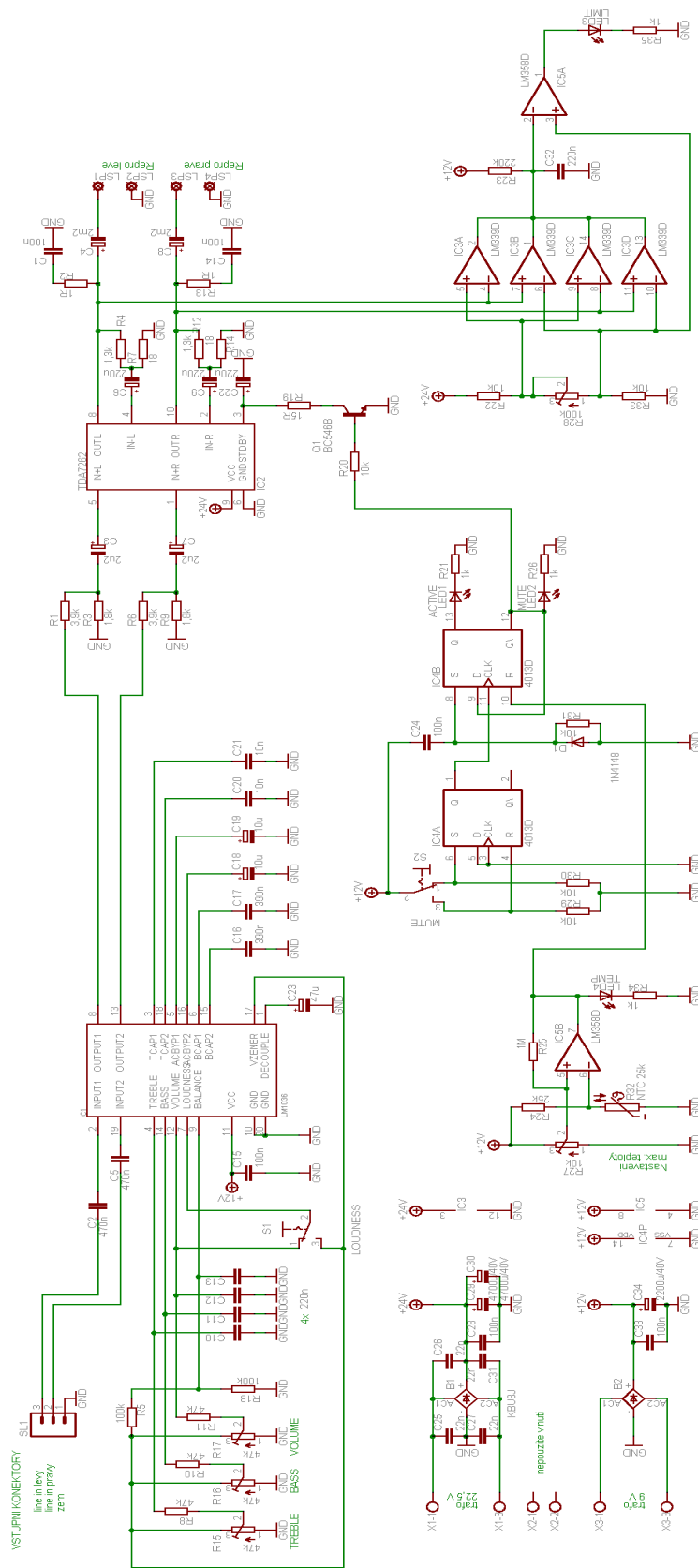
Žlutý rámeček – napájecí zdroj (kapitola 3.4)

Světle modrý rámeček – teplotní ochrana transformátoru (kapitola 3.5)

Zelený rámeček – tlačítko ztišení zesilovače (MUTE) (kapitola 3.6)

Fialový rámeček – detekce limitace (kapitola 3.7)

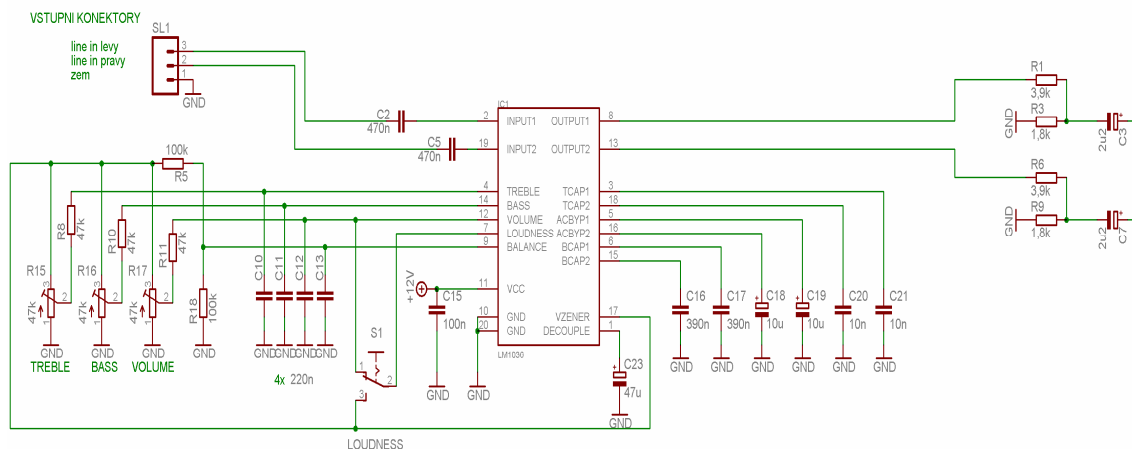
Samotné schéma koncového zesilovače je přiloženo na další straně, pro jeho velikost by při zmenšení jen na část stránky nebylo čitelné.



Obr. 9.: Schéma zapojení koncového zesilovače

NF ZESILOVAC		Celkové schéma zapojení	
ZDENEK OKULL 2007			
TITLE: PA3		REV: projekt	
Document Number:		Sheet: 1/1	
Date: 19.12.2007 20:35:49			

3.2 Korekční předzesilovač



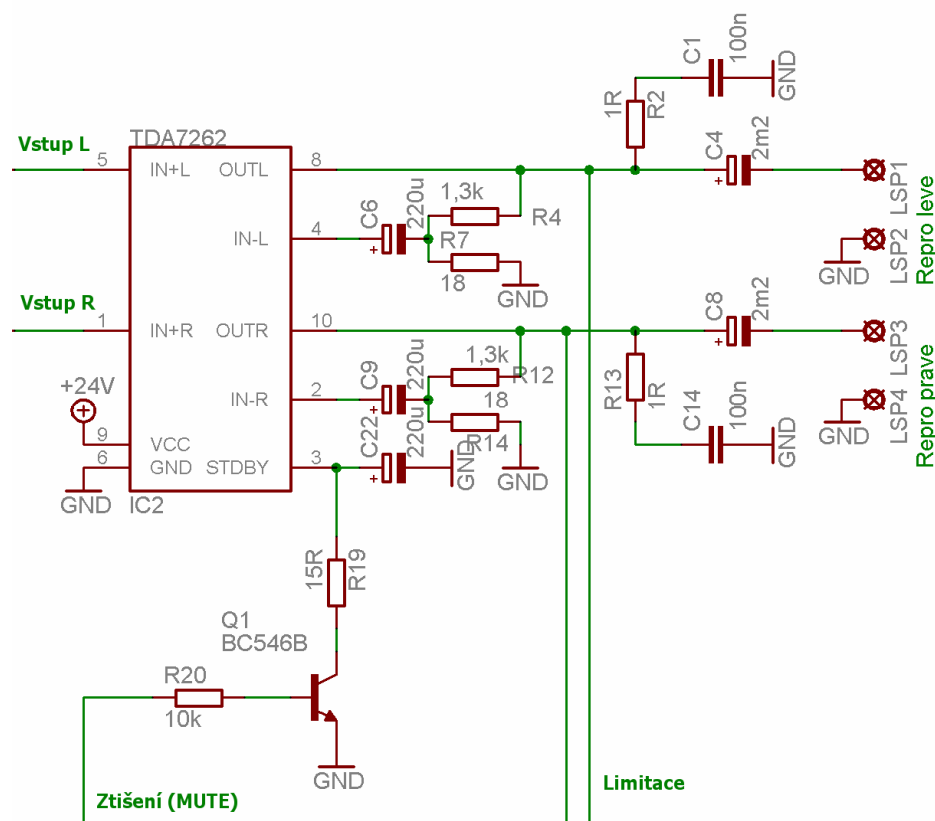
Obr. 10.: Schéma zapojení korekčního předzesilovače LM 1036

Tento blok je realizován pomocí jednoho obvodu LM1036 a dále již jen pasivními součástkami. Přestože tento obvod disponuje čtyřmi regulovatelnými funkcemi, tj. ovládání výšek, hloubek, hlasitosti a regulaci stereováhy, budou využity pouze první tři jmenované, regulace stereováhy není požadována a proto nebude využita. Zapojení bylo proto upraveno a místo trimru je zde použit odporový dělič, jak je jasné patrné ze schématu. Použitím dvou shodných odporů, v našem případě 2x 100 kΩ, dosáhneme rozdělení referenčního napětí 1:1 a tím pádem i vyvážení stereováhy přesně doprostřed. Použít by šel samozřejmě také trimr, jako pro zbylé tři funkce, ale jeho nastavení by bylo pracné a s největší pravděpodobností by nebylo ani úplně přesné.

Obvod také disponuje přepínačem fyziologické regulace hlasitosti (spínač S1). To je důležité při malých výkonech zesilovače. V případě, že je zvuk slabý, lidské ucho vnímá intenzitu rozdílných kmitočtů různě – zvuky o nižší frekvenci jsou potlačovány. Proto při přepnutí tohoto spínače dojde k vyrovnání tohoto efektu bez nutnosti korekce hloubek.

V pravé horní části schématu se nalézá odporový dělič, který je připojen na výstup tohoto korekčního předzesilovače. Přiřazen zde byl proto, aby bylo možné využít prakticky celý rozsah potenciometru pro regulaci hlasitosti i při plném vybuzení 0,775 V, díky tomuto děliči bude nebezpečí limitace až téměř v krajní poloze ovladače. Pokud by k ní přesto došlo, bude detekována LED diodou – více v kapitole 3.5.

3.3 Výkonový zesilovač

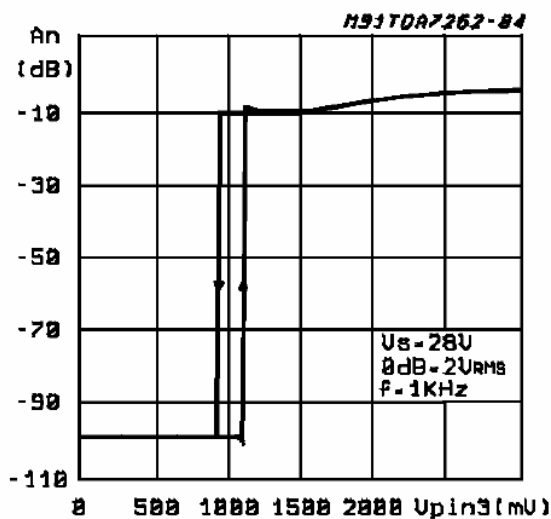


Obr. 11.: Schéma zapojení TDA 7262

Hlavním článkem koncového zesilovače je výkonový stupeň – v tomto případě je řešen obvodem TDA 7262. Jedná se o stereofonní výkonový zesilovač 2 x 20 W se zesílením podle katalogového listu [2] $A = 36$ dB. Regulace hlasitosti je již vyřešena korekčním předzesilovačem, samotný TDA 7262 tuto funkci ani nenabízí, pokud bychom použili samotný zesilovač bez předzesilovače, bylo by nutné regulovat hlasitost dvojitým logaritmickým potenciometrem na vstupech signálu.

Reproduktory jsou připojeny k výstupům IO přes vazební kondenzátory C4 a C8, které oddělují stejnosměrnou složku signálu. Použití těchto kondenzátorů zabrání zničení připojených reproduktorů v případě, že by došlo k proražení obvodu TDA 7262 a na výstup by se tak dostalo stejnosměrné napětí. V takovém případě by došlo k vybití kondenzátoru, což by způsobilo lupnutí v reproduktorech, ale stejnosměrný proud by již dále nemohl téci, a tak by byly ochráněny.

TDA 7262 je dále vybaveno funkcí stand-by, čehož je využito obvodem pro ztišení (MUTE). Tato funkce je aktivována připojením vývodu číslo 3 k zemi, což je realizováno NPN tranzistorem BC 546B, který je řízen obvodem CMOS 4013 (kapitola 3.4). Přivedením napětí na bázi tranzistoru dojde k jeho sepnutí, přes odpor R19 dojde k vybití kondenzátoru C22 a poklesu napětí pod hranici 0,45 V (hodnota podle katalogového listu [2]) a tím i aktivaci stand-by – tedy ke ztišení zesilovače.

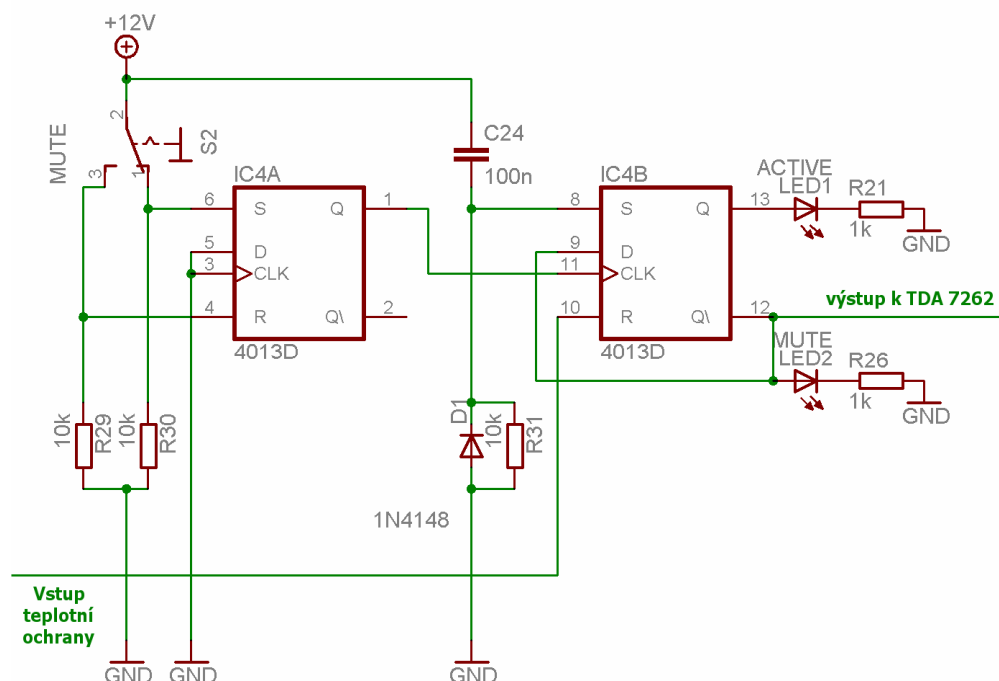


Obr. 12.: Závislost ztišení na napětí na pinu č. 3

Z grafu na obr. 12, který je převzat z literatury [2] je sice patrné, že ke ztišení dojde již při napětí cca 0,9 V, ale podle katalogového listu [2] je jako minimální hodnota uvedeno napětí 0,45 V. Při sepnutí tranzistoru Q1 do saturace bude napětí na pinu 3 TDA 7262 přibližně 0,25 V.

Z pinů 8 a 10, tedy výstupního signálu k reproduktorům, odebíráme signál k detekci limitace, tento signál odebereme ještě před připojením oddělovacích kondenzátorů C4 a C8, abychom získali skutečné výstupní napětí výkonového zesilovače a mohli tak limitaci detekovat.

3.4 Obvod ztišení (MUTE)



Obr. 13.: Tlačítko pro ztišení zesilovače – MUTE

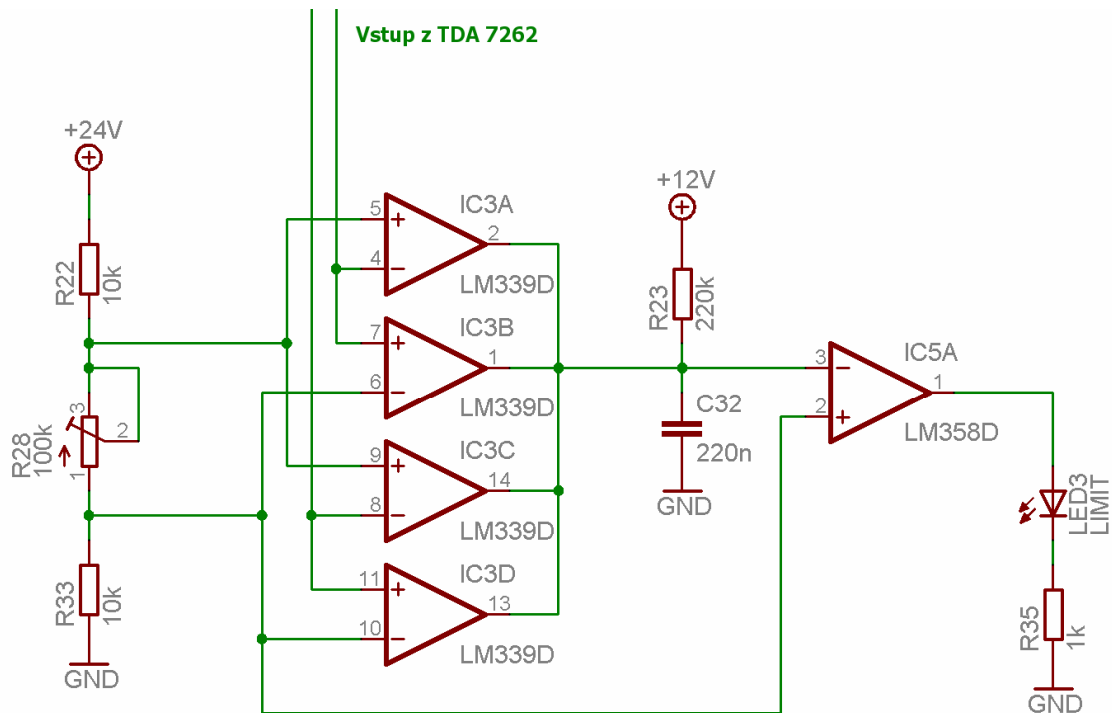
První část obvodu, na schématu označená jako IC4A, je použita jako součást bezzákmitového tlačítka. Při stisku běžného tlačítka dojde k zákmitu na kontaktech, toto je pro jednoduché aplikace (žárovka, LED dioda) nepostřehnutelné. Nicméně použité obvody jsou schopné zpracovat vysoké vstupní frekvence, takže by toto zakmitání mohlo být implementováno jako mnohonásobné stlačení spínače a tím by došlo k několikanásobnému překlopení obvodu, což by mělo za následek několikeré ztišení a zapnutí výstupu zesilovače, přičemž výsledný stav by byl nejistý a záleželo by na náhodě, ke kolika zákmitům na kontaktech by došlo. Této situaci je zabráněno právě první částí obvodu. Je-li spínač S2 v základní poloze, je na výstupu Q1 logická hodnota jedna. Pokud je spínač sepnut, přivedeme napětí na vstup R (reset) a hodnota Q1 bude v danou chvíli – po dobu stlačení spínače S2 – logická nula. Tímto je vytvořen řídicí signál pro druhou část obvodu.

V pravé části schématu je použita druhá část CMOS 4013, tedy IC4B. Tato část je použita jako klopný obvod, jehož hodnota se mění hodinovým signálem přivedeným na vstup CLK. RC člen C24 / R31 zajistí po připojení napájecího napětí k automatickému nastavení

logické 1 na výstup Q2. Zde je umístěna LED dioda signalizující zapnutí zesilovače. V případě přivedení pulsu do CLK se obvod překlápí a na výstupu Q2 bude logická 0, ale na výstupu Q\2 bude logická 1. To bude mít za následek sepnutí tranzistoru Q1 a ztišení výkonového zesilovače a zároveň se sepnutím tranzistoru bude rozsvícena LED dioda LED2, která signalizuje právě ztišení. Při dalším stisknutí tlačítka S2 přijde na CLK další puls, což způsobí překlopení obvodu zpět, tedy $Q2 = 1$ a $Q\backslash 2 = 0$, což umožní běžný provoz výkonového zesilovače.

Na schématu je také vstup z teplotní ochrany. Je přiveden na vstup R obvodu IC4B. Pokud je zde přiveden signál o úrovni 1, způsobí to překlopení obvodu do hodnoty $Q2 = 0$ a tedy $Q\backslash 2 = 1$. Výsledek bude stejný jako při klasickém ztišení, tedy rozsvícení LED diody signalizující ztišení a samotné ztišení zesilovače. Aby bylo patrné, že nedošlo jen ke ztišení, ale došlo k rozepnutí tepelnou ochranou, je toto signalizováno samostatnou LED diodou, ale toto je řešeno v kapitole 3.6.

3.5 Detekce limitace



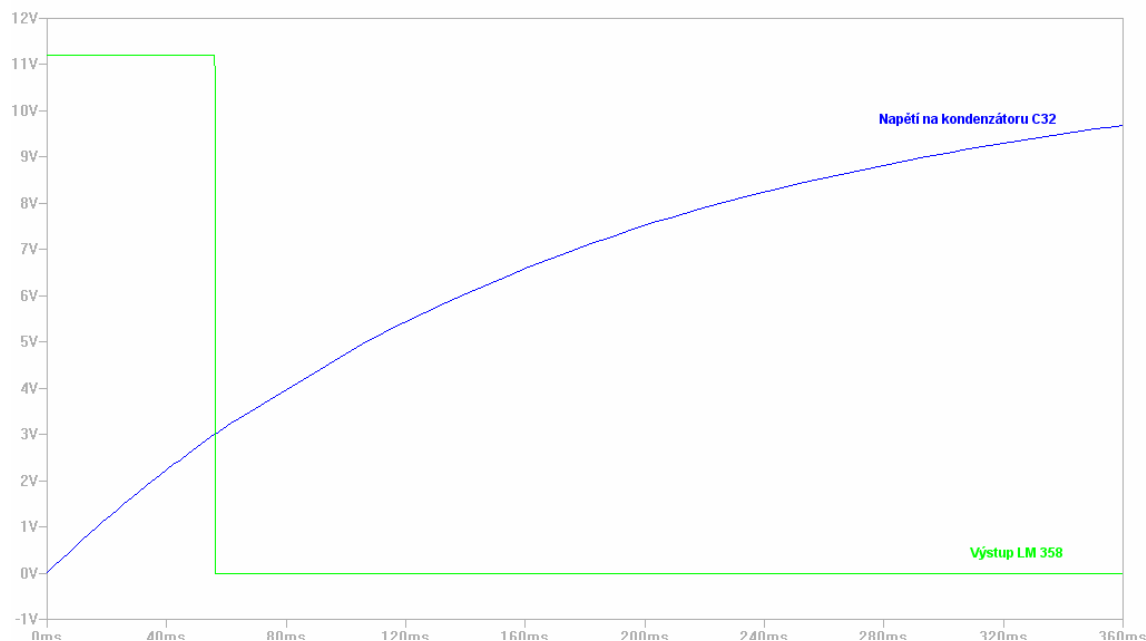
Obr. 14.: Schéma zapojení detekce limitace

Na obr. 14 je uvedeno schéma zapojení detektoru limitace. Mezní napětí, při jejichž překročení se rozsvěcí kontrolka limitace, jsou určena odporovým děličem R22, R28 a R33. Odhadnutá hodnota je cca 3 V pro minimum a 27 V pro maximum pro napájecí napětí 30 V. Trimrem R28 je možné nastavit současně obě mezní napětí, což bylo provedeno při ožívování zesilovače, kdy jsem vybudil za kontroly osciloskopem zesilovač nf generátorem na mez limitace a nastavil jsem trimr tak, aby se kontrolka limitace právě rozsvítila při dosažení limitace.

Vlastní srovnávání napětí na výstupu IO výkonového zesilovače TDA7262 s mezními napětími provádí čtyřnásobný komparátor LM339 (IC3), vybavený výstupy s otevřeným kolektorem. Obvody IC3A a IC3B sledují levý kanál a obvody IC3C a IC3D sledují pravý kanál.

Při překročení libovolné z mezí spíná výstupní tranzistor příslušné části IC3 a vybíjí kondenzátor C32. Pokud limitace trvá, je ve špičkách signálu kondenzátor periodicky vybíjen;

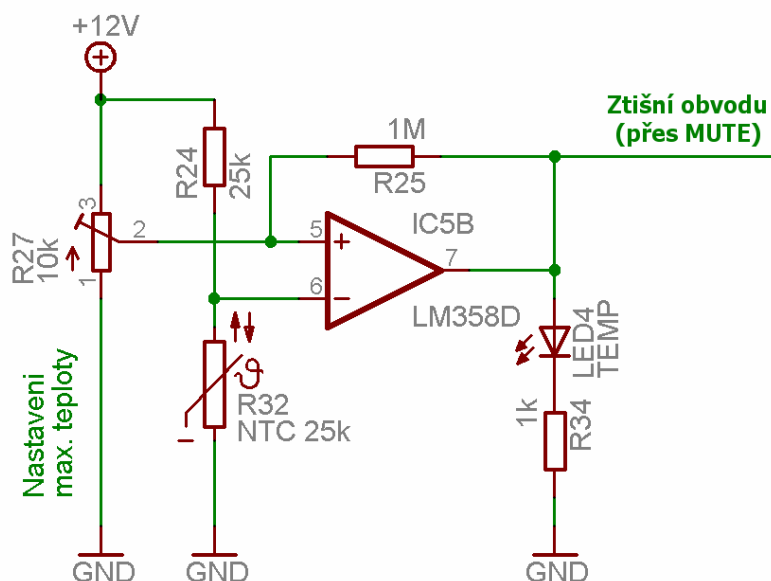
v opačném případě bude napětí na C32, nabíjeném trvale přes rezistor R23, postupně růst (viz simulace na obr. 15).



Obr. 15.: Napětí na kondenzátoru C32 a výstupu OZ v závislosti na čase od odeznění limitace

Pokud napětí na C32 poklesne pod cca. 3 V, překlopí se výstup OZ IC5A zapojeného jako komparátor bez hystereze do úrovně H a rozsvítí se kontrolka LED3. Po cca. 55 ms od odeznění limitace napětí na C32 stoupne nad komparační úroveň a LED3 zhasíná. Jako referenční napětí použijeme pro úsporu součástek spodní mezní napětí z děliče R33/R28/R22; jeho velikost určuje jen délku svitu LED3 po odeznění limitace a tedy není kritická.

3.6 Teplotní ochrana



Obr. 16.: Schéma teplotní ochrany transformátoru

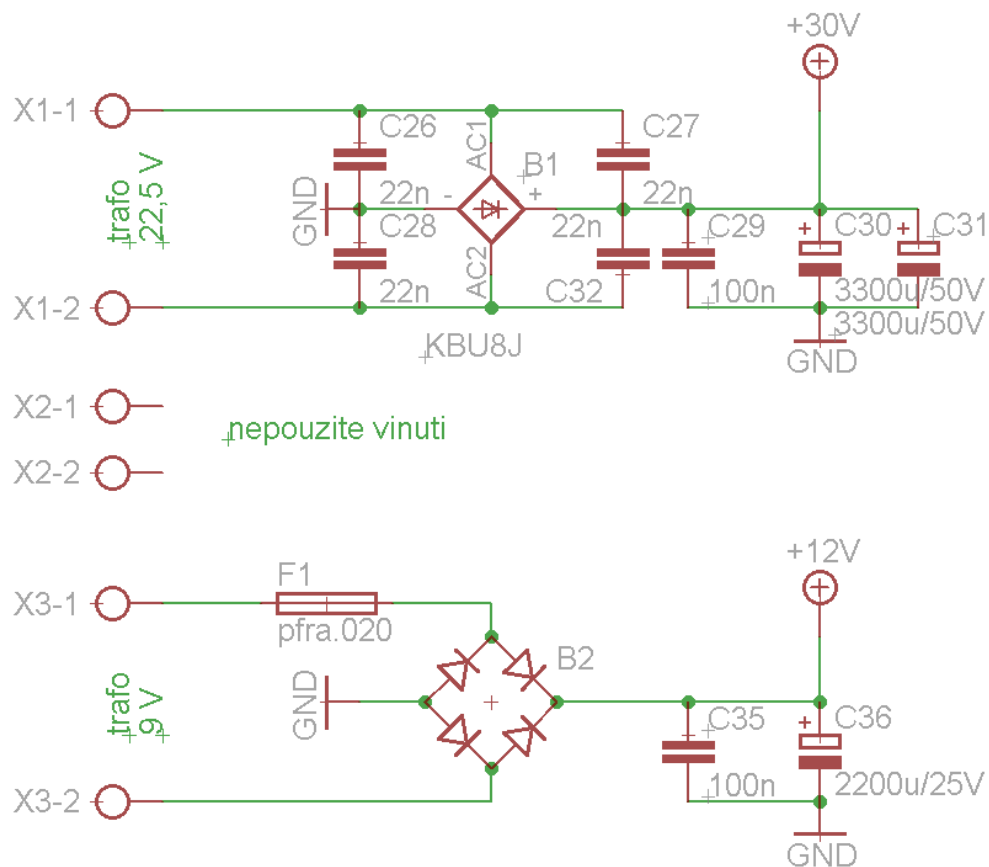
Pro teplotní ochranu výkonového prvku TDA 7262 byla použita část operačního zesilovače LM358. Pro nastavení referenčního napětí zde slouží trimr R27. Pro snímání teploty bude na povrchu chladiče umístěn termistor s negativní teplotní charakteristikou, tj. při zvyšující se teplotě bude jeho odpor klesat. Jelikož je použit jako součást odporového děliče R24-R32, bude při klesajícím odporu klesat také napětí na tomto termistoru. Toto napětí je snímáno obvodem LM358 a pokud jeho hodnota klesne pod hodnotu, jenž je snímána z trimru R27, dojde k překlopení obvodu a na výstupu se objeví IC5B logická hodnota 1. To bude mít za následek rozsvícení signalizace přehřátí a zároveň automatické ztišení výkonového zesilovače, což sníží přívod tepla a chladič tak bude moci chladnout.

Rezistor R25 zajišťuje hysterezi obvodu, takže dojde-li k aktivaci, posune se hranice napětí, které potřebné pro překlopení zpět, na vyšší hodnotu, než je potřeba k samotné aktivaci. Tím je zajištěno, že se chladič bude moci ochladit pod kritickou teplotu a při následném sepnutí nedojde okamžitě k přehřátí.

Naprostoj stejným způsobem je řešeno spínání přídatných ventilátorů, které mají zvýšit pohyb vzduchu kolem chladiče, aby nedocházelo k jeho přehřátí a tak zbytečnému ztišení zesilovače. Zde je pomocí trimru nastaveno napětí tak, aby nebyly větráčky zbytečně,

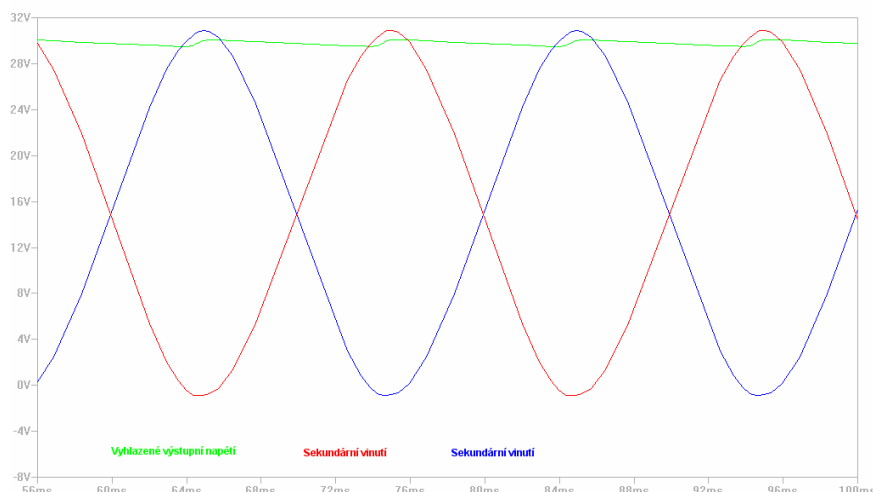
když není třeba ochlazovat chladič, protože má přiměřenou teplotu. Teplota bude nastavena na cca 55°C, kdy větráky sepnou a pomůžou tak ke snížení teploty chladiče.

3.7 Napájecí zdroje



Obr. 17.: Schéma zapojení napájecích zdrojů

Pro napájení koncového zesilovače budeme potřebovat 2 napájecí zdroje, jak již bylo řečeno v kapitole 2.5. Po dvoucestném usměrněním Graetzovým můstkem a vyhlazením filtračními kondenzátory dostaneme průběh napětí, jako je zobrazen na obr. 18.



Obr. 18.: Graf výstupního napětí

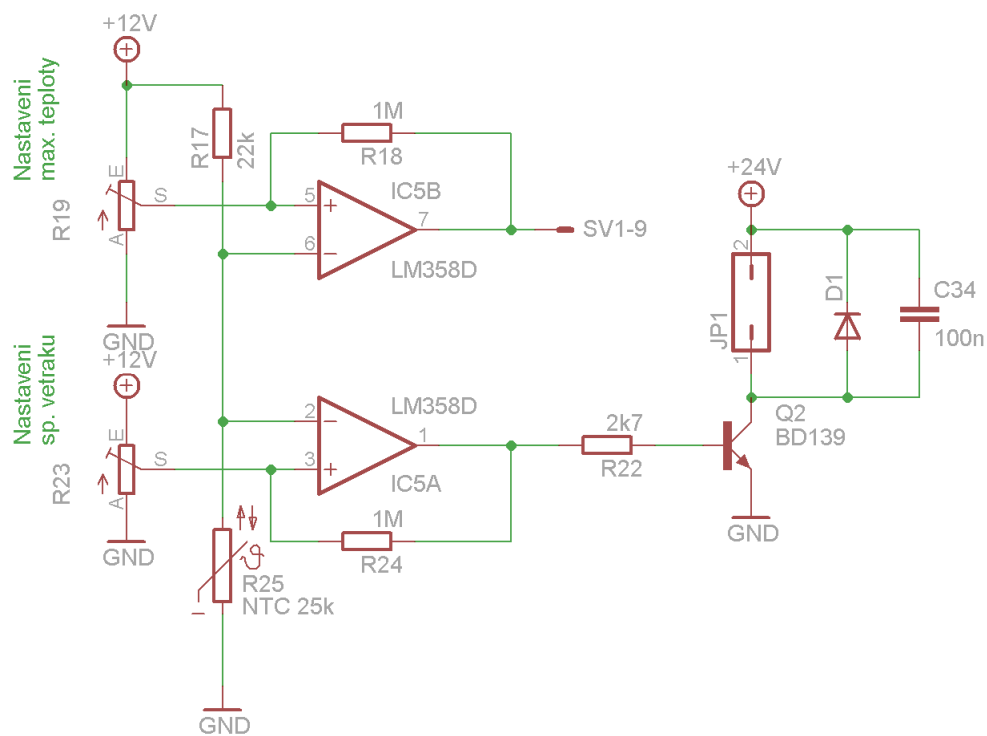
Tento graf byl simulován pro sekundární vinutí 22,5 V a odběr výkonového zesilovače 1 A. Při nižším odběru by bylo napětí samozřejmě ještě mnohem méně zvlněné. Podobně se bude chovat i výstupní napětí dosažené pomocí vinutí 9 V, nicméně odběr zbylých integrovaných obvodů bude minimální, takže bude stačit použít elektrolytický kondenzátor 2200uF, který na vyfiltrování bude bez problémů stačit.

Kondenzátory C25, C26, C27 a C31 jsou zde použity pro potlačení rušení vznikajícího při sepnutí resp. rozepnutí usměrňovací diody Graetzova usměrňovacího můstku. Jsou zařazeny pouze u vinutí 22,5 V, které napájí samotný výkonový zesilovač. U druhého vinutí nejsou potřeba, protože budou spínány pouze malé proudy a zbylé obvody napájené tímto zdrojem nejsou na rušení tolik náchylné, resp. nebudou přenášet rušení do výsledného signálu.

4 Sestavení

4.1 Teplotní ochrana

Oproti původnímu návrhu byl do schématu přidán ještě jeden obvod LM358 zapojený jako komparátor. Důvodem pro jeho přidání bylo kladení důrazu na minimalizaci rozměrů, přesně podle zadání. Aby bylo možné umístit zesilovač do zvolené krabičky, bylo nutné zmenšit i zvolený chladič, výpočet v kapitole 4.2. Nicméně zmenšení a umístění chladiče do krabičky by takřka jistě mělo za následek přehřívání a tím pádem i odpojování zesilovače teplotní ochranou, což je značně nežádoucí. Z tohoto důvodu byly na desku přidány vývody pro dva miniaturní větráčky, 40x40mm, které mají za úkol zvýšit proudění vzduchu kolem chladiče, to bylo zmíněno již v kapitole 3.1.



Obr. 19.: Nové zapojení teplotní ochrany

Z obrázku je patrné nové zapojení teplotní ochrany. Jelikož byla druhá část obvodu LM358 již použita v zapojení pro detekci limitace, musel být přidán další obvod. Vzhledem k možnosti využití jednoho teplotního čidla (termistoru) a také logickému uspořádání, byla druhá teplotní ochrana vyměněna za část, která měla na starosti limitaci – ta byla tedy

přesunuta na nově přidaný integrovaný obvod a původní se nyní věnuje již jen ochraně proti přehřátí zesilovače. Celá tato záměna neměla vliv na velikost zařízení, byly použity SMT součástky a stávající čidlo. Také zvýšení ceny finálního výrobku bylo minimální, pohybuje se kolem 10Kč za součástky řízení a asi 100 Kč za ventilátory.

4.2 Chladič

Podle katalogového listu [2] je maximální celkový ztrátový výkon jednoho kanálu zesilovače TDA7262 při nejnejpříznivějších podmínkách roven 12 W. Při využití obou kanálů stereozesilovače tedy musíme odvádět ztrátový výkon 24 W.

Katalogový list dále uvádí maximální teplotu přechodu 145 °C (při vyšší teplotě se aktivuje vnitřní tepelná pojistka

IO) a tepelný odpor přechod - pouzdro 2,5 K/W.

Bude-li teplota okolí 40 °C a chceme-li udržet teplotu přechodu pod 140 °C, aby se v normálním provozu nikdy neaktivovala vnitřní tepelná pojistka IO, musí být celkový tepelný odpor systému přechod - okolí nižší než

$$R_{th,celk.} = \frac{\Delta T}{P_{max}} = \frac{t_{prechodu-max} - t_{okoli}}{P_{max}} = \frac{100}{24} = 4,16 \quad [K/W; K; W] \quad (4.1)$$

Celkový tepelný odpor je určen součtem tepelných odporů přechod - pouzdro, pouzdro - chladič a chladič - okolí, z nichž je první dán konstrukcí IO a druhý určen zvoleným způsobem připevnění IO k chladiči. IO můžeme připevnit k chladiči neizolovaně (chladičí plocha IO je spojena se zemí); při použití teplovodivé pasty bude tepelný odpor spoje pouzdro - chladič cca. 0,15 K/W [8]. Nyní můžeme vypočítat tepelný odpor chladič - okolí a podle požadované hodnoty vybrat vhodný chladič.

$$R_{th,chladič} = R_{th,celk} - R_{th,prechod,pouzdro} - R_{th,pouzdro,chladič} = 4,16 - 2,5 - 0,15 \quad [K/W] \quad (4.2)$$

Vyhoví standardní profilový černěný hliníkový chladič typu CHL20D/100 BLK z nabídky Elektronika Zdeněk Krčmář s katalogovým tepelným odporem 1,5 K/W.

Nyní můžeme odvodit i požadovanou teplotu chladiče pro vypnutí elektronické tepelné ochrany (kapitola 3.6).

Teplota chladiče bude o $(R_{th,přechod-pouzdro} + R_{th,pouzdro-chladič}) \cdot P$ nižší než je teplota přechodu IO. Požadujeme-li vypnutí při teplotě přechodu 140 °C i při nejvyšším ztrátovém výkonu IO, nastavíme vypínací teplotu na:

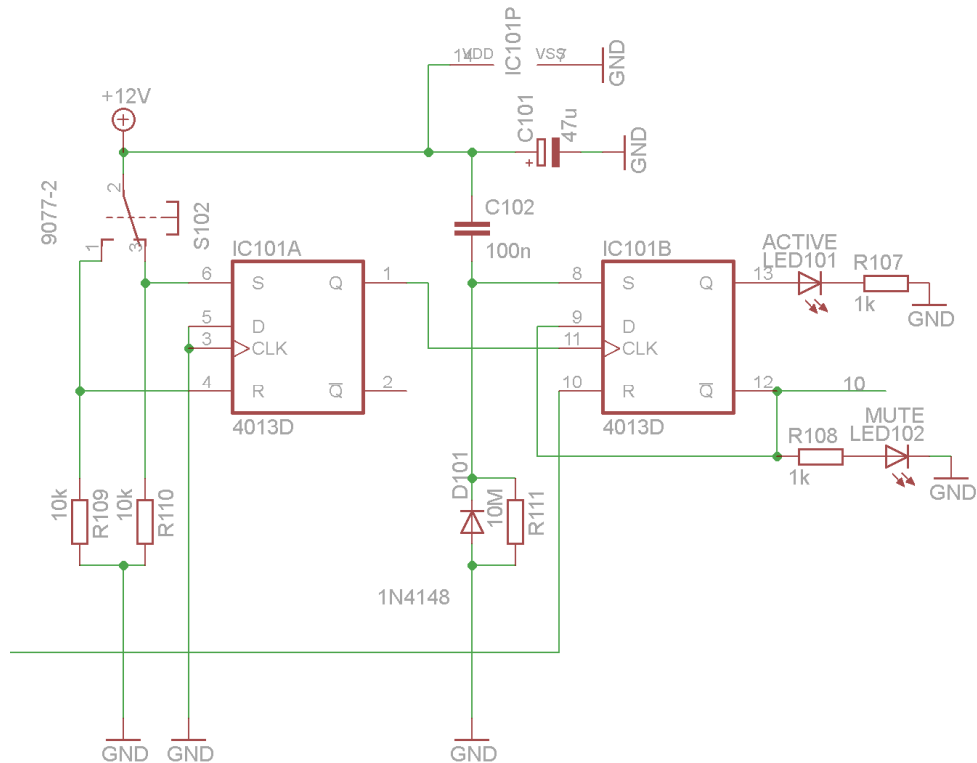
$$t_{vyp} = t_{max} - (R_{th,přechod,pouzdro} + R_{th,pouzdro,chladič}) \cdot P_{max} = 140 - 2,65 \cdot 24 = 76,4$$

[°C; °C, K/W;W] (4.3)

Vzhledem k těsnému umístění chladiče uvnitř přístrojové skříňky může být chlazení zvláště při vyšších teplotách okolí nedostatečné. Proto je na DPS připraven podle teploty chladiče spínaný výstup pro ventilátory.

4.3 Úprava zapojení ztišení

Po sestavení zesilovače a jeho oživení vyvstal problém, že po zapnutí je automaticky ztišen. O jeho odmlčení se měl starat RC člen R111 – C102.



Obr. 20.: Obvod ztišení

Experimentálně bylo určeno, že pro správnou funkci by vyhověla záměna C102 za hodnotu 470uF, což však vzhledem k použití SMT kondenzátoru ve velikosti 0805 nebylo možné, proto byl vyměněn odpor R111 z původních 10 kΩ za odpor 10 MΩ. Po této záměně se po zapnutí zesilovač sám automaticky přepne do běžného režimu a není tak nutný zásah obsluhy.

5 Desky plošných spojů

5.1 Rozdělení na 2 desky

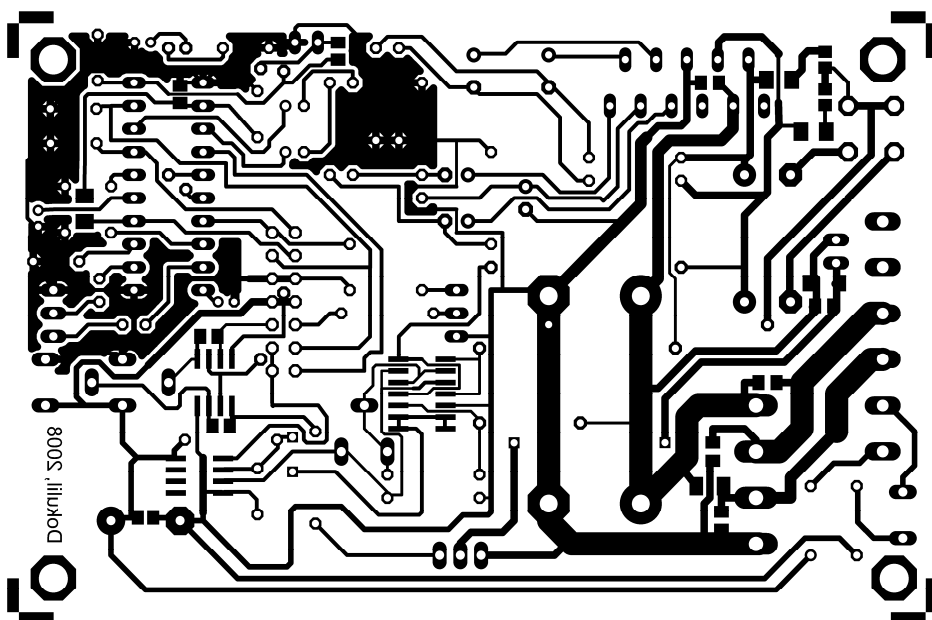
Při několika pokusech o přibližné sestavení – kvůli velikosti krabičky a rozdělení desek jsem dospěl k názoru, že bude použita krabička s označením KK07-160, o rozměrech 217x162x70mm (hloubka x šířka x výška), kterou distribuuje Elektronika Zdeněk Krčmář. Pro tento rozměr se zdá být nejlepší rozdělení na 2 desky plošných spojů. Jedná se o základní desku, která nese většinu elektroniky, včetně napájecích obvodů, a přední panel, na němž jsou umístěny ovládací prvky, indikační LED a ve zbývajícím prostoru obvod ztišení.

5.2 Propojení desek

Toto propojení je realizováno pomocí plochého 14ti žilového kabelu se samořeznými konektory. Toto propojení bylo zvoleno pro jeho nezáměnnost a možnost rychlé demontáže – rozpojení desek. Nejedná se o kabel odolný proti rušení, ale vzhledem k tomu, že zde není připojen žádný nf signál, nemá toto žádný vliv na funkci. Jednou z dalších výhod jsou fyzické rozměry konektorů, které napomáhají minimalizovat rozměry zařízení.

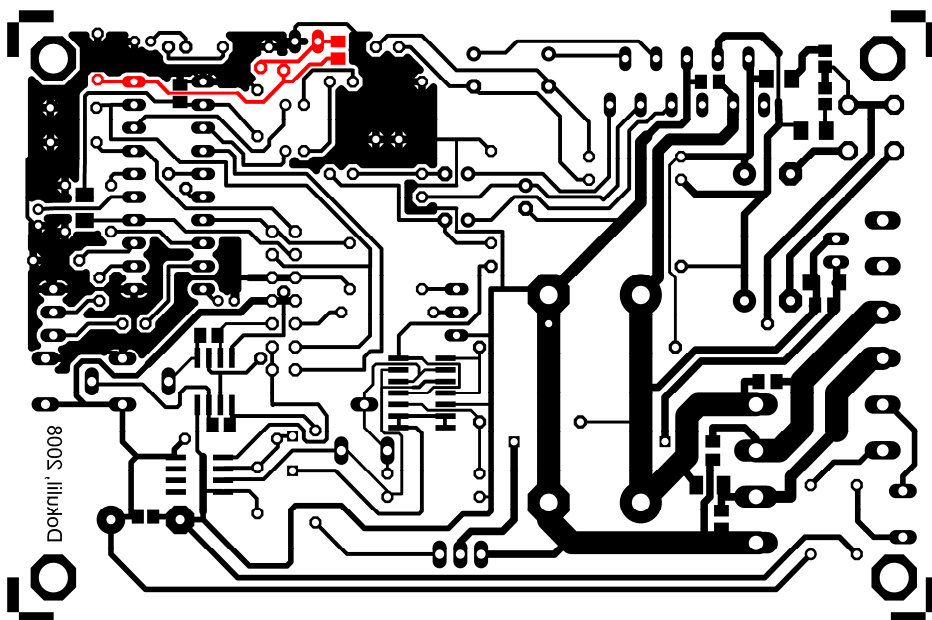
5.3 Základní deska

Na základní desku byly umístěny tyto části (dle rozdělení v předchozích kapitolách): napájecí zdroje, korekční předzesilovač, výkonový zesilovač, detekce limitace, obvod tepelné ochrany a pochopitelně konektor pro připojení druhé desky.



Obr. 21.: Předloha základní desky

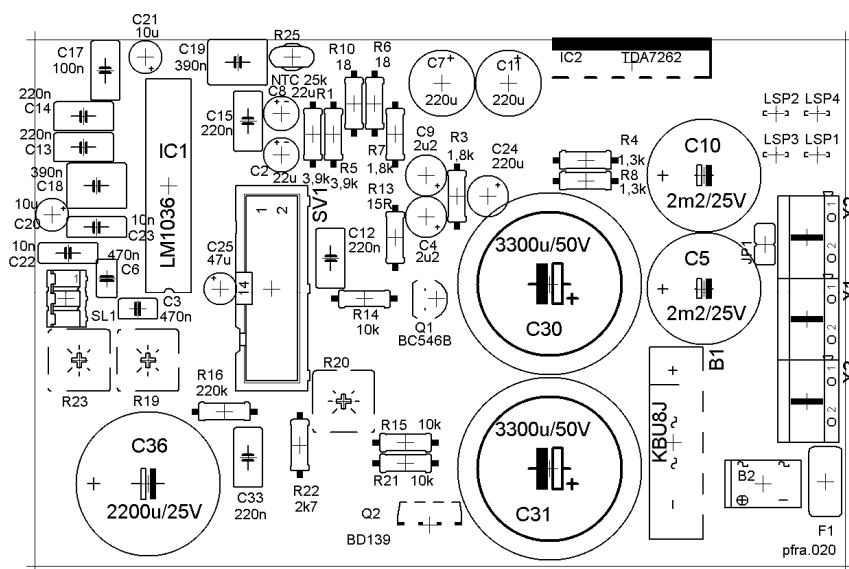
Podle obrázku 21. vypadá použitá předloha základní desky, bohužel zde došlo při poslední úpravě k chybě, která nebyla odhalena před osazením. Tato chyba je znázorněna na obr. 22.



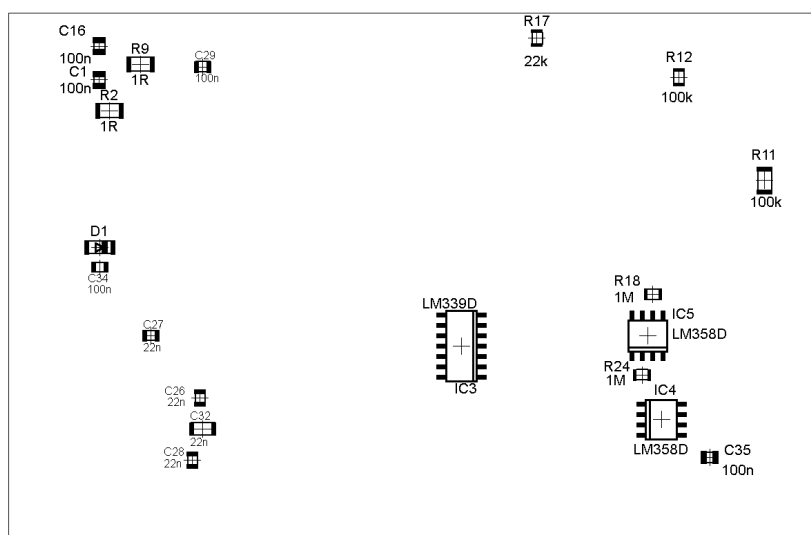
Obr. 22.: Chybné spoje na základní desce

Mezi červeně znázorněnými cestičkami na desce, v místech drátových propojek, je jen minimální vzdálenost, kterou nebylo možné odleptat. Ke zjištění této chyby došlo až po zapájení součástek, tedy nebylo možné udělat desku novou. Oprava spočívá v provizorním mechanickém přerušení na již stávající desce.

Při výrobě bylo použito jednostranné desky, protože kromě minimalizace rozměrů bylo třeba brát zřetel také na snížení výrobní ceny. Bylo však použito jak klasických, tak také SMT součástek, proto je na obr. 23 osazovací plán klasických součástek a obr. 24 osazovací plán pro SMT součástky.

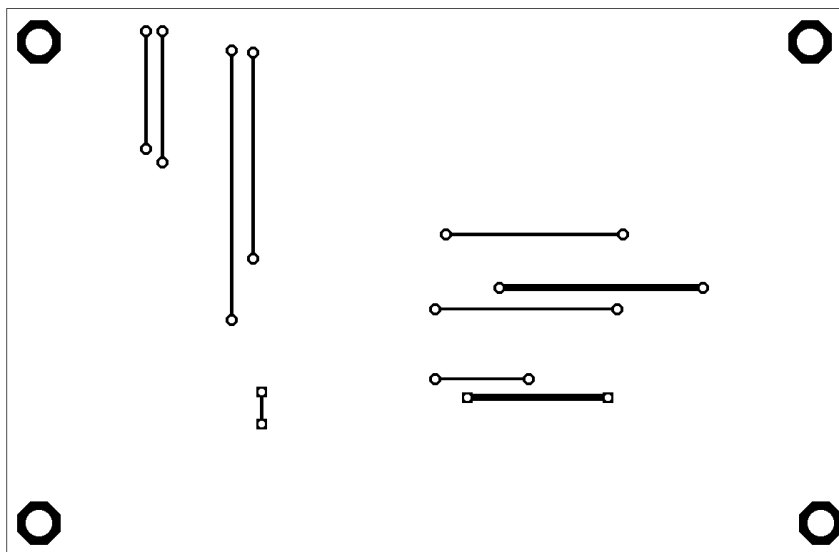


Obr. 23.: Osazovací plán klasických součástek



Obr. 24.: Osazovací plán SMT součástek

Dále bylo nutné použít u základní desky 10 drátových propojek. Vzhledem k překrývání těchto propojek se součástkami z obr. 23. jsem přistoupil k vlastnímu osazovacímu plánu pro tyto propojky. Je vyobrazen na obr. 25.



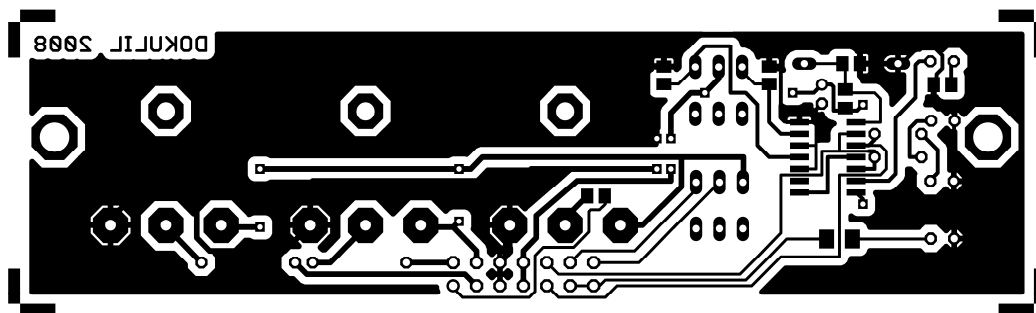
Obr. 25.: Osazovací plán drátových propojek.

5.4 Deska ovládacích prvků

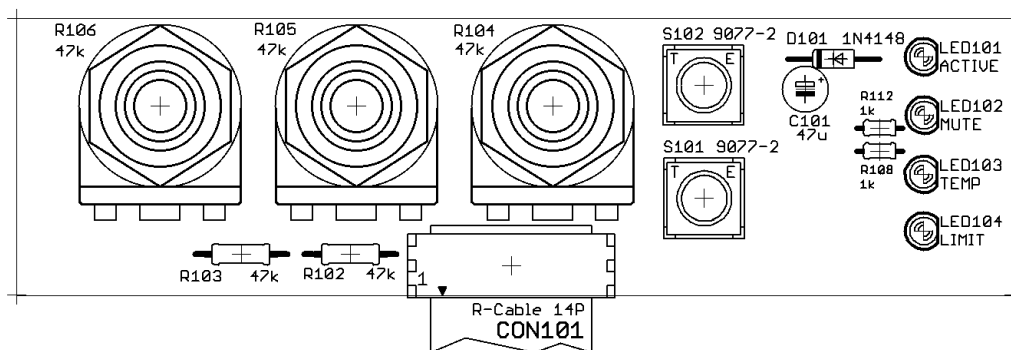
Tato deska je přichycena k přednímu panelu zvolené krabičky KK07-160, jsou na ní umístěny ovládací prvky, indikační LED diody a obvod CMOS 4013, který se stará o ztišení zesilovače. Byl zde umístěn jak vzhledem k využití místa na této desce, tak vzhledem k tomu, že je zde tlačítko MUTE. Tento obvod signál z překlápění přepínače zpracuje a dále již jen vysílá signál k samotnému TDA7262, který funkci MUTE obsahuje.

Na předním panelu jsou umístěny 4 indikační LED diody, a to:

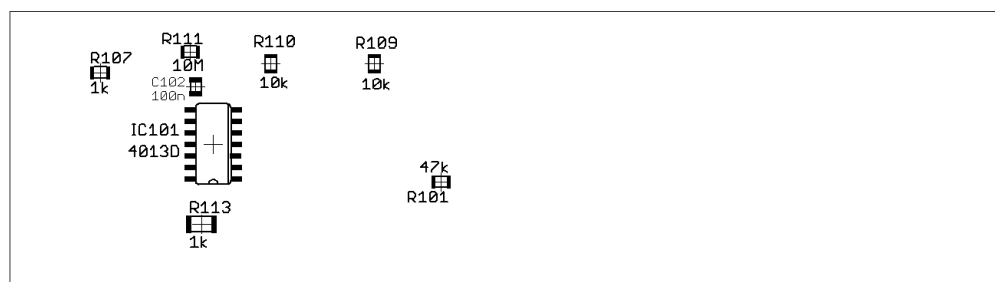
- LED indikující zapnutí přístroje
- LED indikující ztišení zesilovače
- LED indikující přehřátí chladiče a ztišení
- LED indikující limitaci



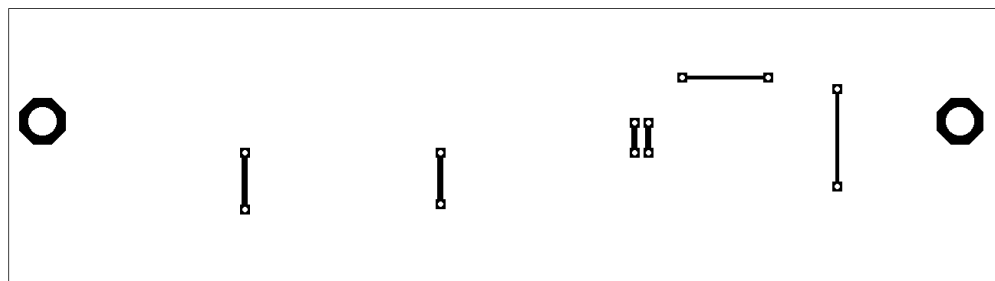
Obr. 26.: Předloha předního panelu



Obr. 27.: Osazovací plán klasických součástek



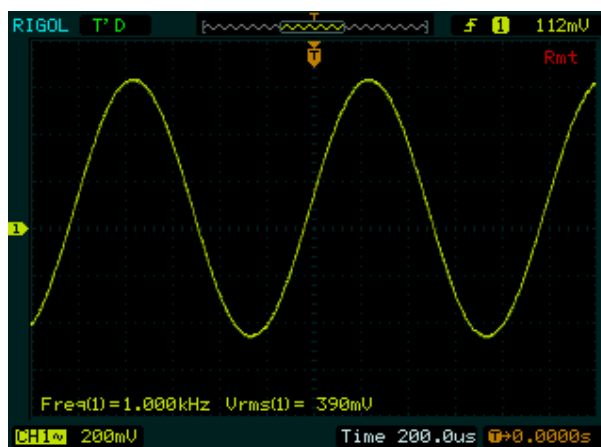
Obr. 28.: Osazovací plán SMT součástek



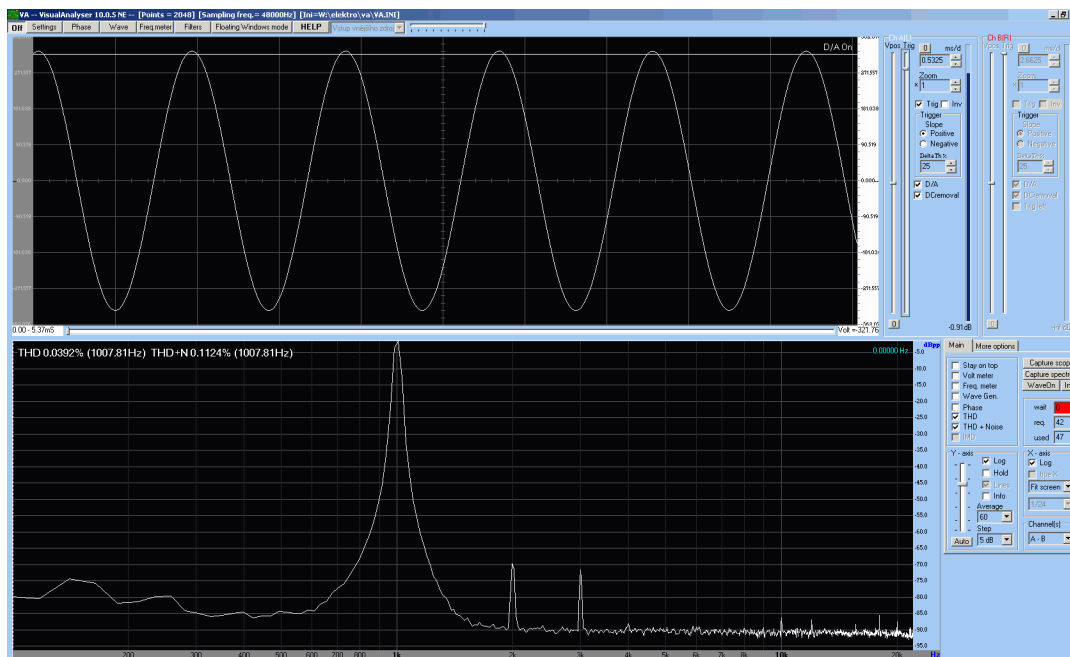
Obr. 29: Osazovací plán drátových propojek

Na obr. 27. jsou znázorněny 3 potenciometry, tyto jsou připevněny přímo k desce, jejich osa vede skrze ni. Toto je voleno kvůli vzhledu výrobku, kdyby byly potenciometry připevněny k čelní straně krabičky, byly by vidět upevňovací prvky a byl by tak narušen vzhled čelní části. Při mnou zvolném řešení budou na předním panelu pouze hmatníky potenciometrů a přepínačů, indikační LED a 2 hlavičky šroubků upevňujících přední panel.

6 Měření



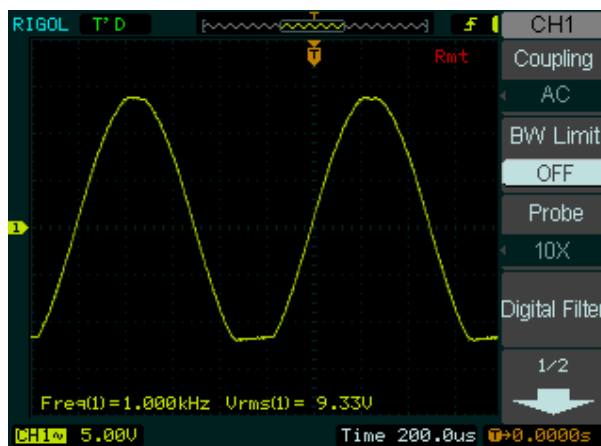
Obr. 30.: Výstupní signál 1kHz



Obr. 31.: Zkreslení zesilovače.

Na obrázcích 30 a 31 jsou výsledky měření signálu 1 kHz. Na prvním z nich je použit osciloskop, je patrné, že sinusový průběh není výrazně zkreslen. Na druhém je pak použit program Visual Analyser, který v počítači analyzoval signál přijatý přes zvukovou kartu. Z frekvenční charakteristiky je patrné, že jsou v signálu přítomny parazitní složky, a to první a druhá harmonická frekvence. Jejich intenzita je však potlačena o 70dB, což je slušný výsledek.

Na obrázku 32 je osciloskopem naměřená limitace, při tomto měření byl také nastaven potenciometr R20 do polohy, kde korektně pomocí LED na čelním panelu limitaci znázorňuje.



Obr. 32.: Naměřená limitace

Při měření odstupu signál / šum, byly naměřeny tyto hodnoty:

Stav	$U_{\text{výst}} [\text{mV}]$	$U_{\text{výst,im}} [\text{V}]$	Odstup [dB]
Mute	0,011	8,95	118,21
Aktivní	0,580	8,95	83,77

Tab. 6.1: Odstup signál / šum

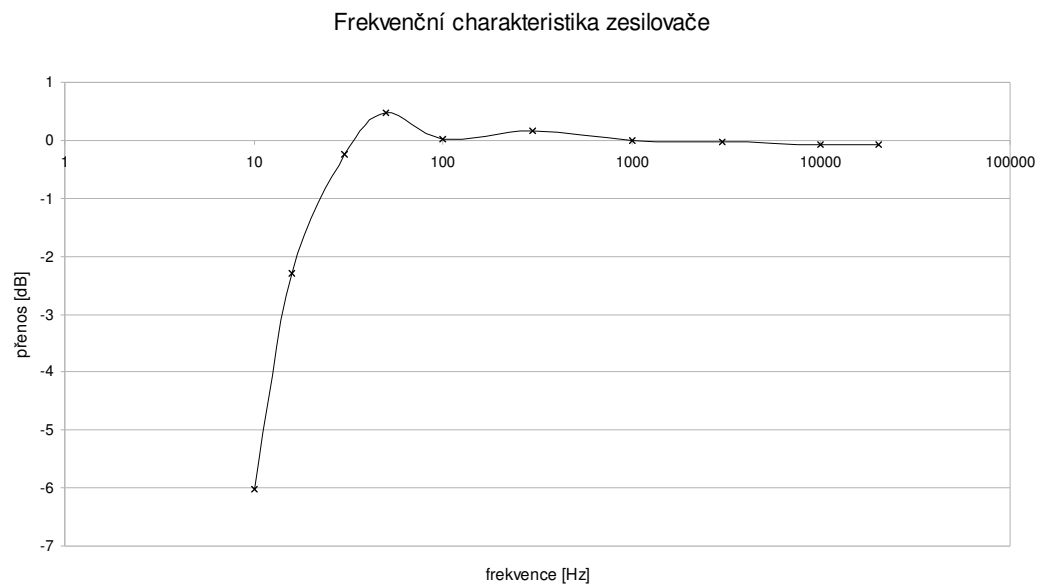
Odstup signál / šum spočítán dle vzorce:

$$A = 20 \log(U_{\text{výst}} / U_{\text{výst,im}}) \quad [\text{dB}; \text{V}; \text{V}] \quad (6.1)$$

Naměřená frekvenční charakteristika zkonstruovaného zesilovače (měření proběhlo při výstupním napětí 1V RMS na zátěži 4 ohmy):

f [Hz]	A [dB]
10	-6,02
16	-2,3
30	-0,232
50	0,463
100	0,01
300	0,173
1000	0,00
3000	-0,03
10000	-0,07
20000	-0,08

Tab. 6.2: Naměřené hodnoty pro frekvenční charakteristiku



Graf 6.1: Graf frekvenční charakteristiky zesilovače

7 Závěr

Integrované zesilovače umožňují zapojení koncových zesilovačů značně zjednodušit oproti například tranzistorovým zapojením. Tyto obvody stačí doplnit několika pasivními součástkami a získáme funkční zesilovač – pochopitelně se jedná pouze o základní verzi, bez doplňkových funkcí, na které byl v této práci brán zřetel.

Byl splněn cíl bakalářské práce - teoreticky navrhnout a zkonstruovat stereo zesilovač miniaturních rozměrů, za použití některého z integrovaných zesilovačů. Při svém návrhu jsem použil výkonový zesilovač TDA 7262, který je stereofonní, což umožnilo minimalizaci rozměrů a úsporu prostoru oproti použití dvou monofonních obvodů, jako jsou například LM3886. Další úspora místa se podařila pomocí použití integrovaného korekčního zesilovače LM1036.

Při samotné konstrukci byl splněn předpoklad rozdělení zapojení na několik desek z důvodu maximální možné úspory místa. Díky použití SMT součástek bylo možné celý zesilovač umístit na pouhé dvě desky o rozměrech 100x65 mm (hlavní deska) a 110 x 31 mm (přední panel). Díky tomuto rozdělení bylo možné umístit zesilovač do krabičky o vnějších rozměrech pouze 217x162x70mm (hloubka x šířka x výška).

Při oživování se vyskytly některé problémy, které však byly operativně vyřešeny. Jednalo se například o změnu hodnoty odporu pro automatické odumlčení po zapnutí přístroje nebo neúmyslné spojení dvou cestiček na desce se zesilovačem, tento problém byl vyřešen přerušením dotčené cestičky a jejím nahrazením drátovou propojkou.

Právě poslední jmenovaný problém, který vznikl při zásahu do již nakreslené desky by byl při příští konstrukci vyřešen již v rámci návrhu, tedy úpravou předlohy pro výrobu DPS. Náprava by byla provedena zkrácením drátové propojky a tím pádem oddálením pájecí plošky od sousední cestičky.

I přes tuto komplikaci byl však zesilovač uveden do provozu a bezproblémově plní svou funkci, zmíněné úpravy byly nepatrné a u takto složitého zařízení se malé problémy při oživování daly očekávat.

8 Seznam použité literatury

[1] Naciona Semiconductor. Katalogový list LM 1036 [online]. 1995. Dostupný z WWW: <<http://cache.national.com/ds/LM/LM1036.pdf>>.

[2] STMicroelectronics. Katalogový list TDA 7262 [online]. 2003. Dostupný z WWW: <<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/1475.pdf>>.

[3] KOTISA, Zdeněk. NF zesilovače : Integrované výkonové zesilovače. Praha : BEN, 2002. 85 s.

[4] National Semiconductor. Katalogový list LM339 [online]. 2004. Dostupný z WWW: <<http://cache.national.com/ds/LM/LM139.pdf>>.

[5] National Semiconductor. Katalogový list LM358 [online]. 2005. Dostupný z WWW: <<http://cache.national.com/ds/LM/LM158.pdf>>.

[6] Texas Instruments. Katalogový list CMOS 4013 [online]. 2005. Dostupný z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/schs023d/schs023d.pdf>>.

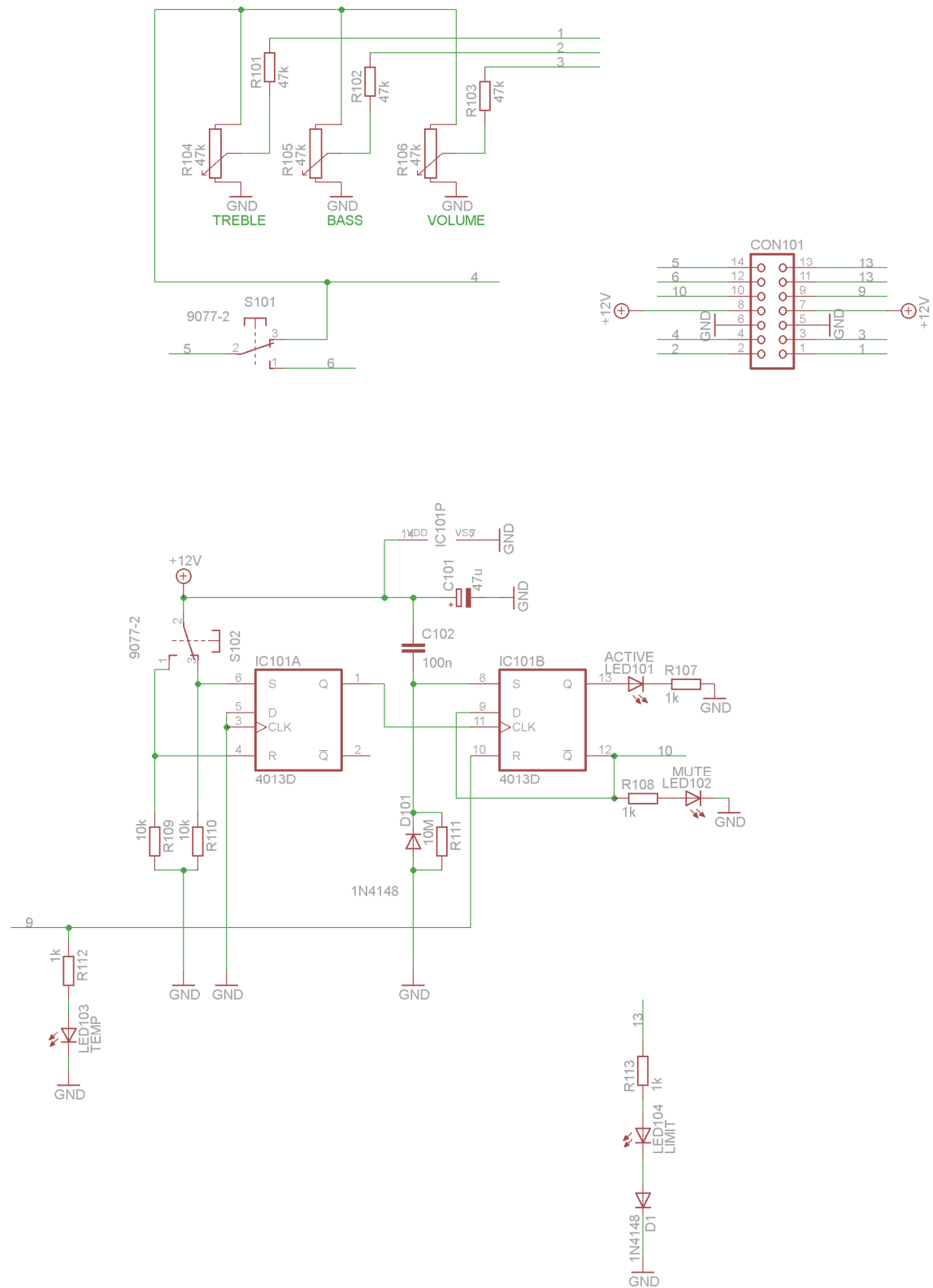
[7] KOTISA, Zdeněk. NF zesilovače : Předzesilovače. Praha : BEN, 2001. 90 s.

[8] HOROWITZ, Paul, HILL, Winfield. The Art of Electronics. Cambridge University Press, 1989. 1125s.

9.1 Schéma zapojení základní desky



9.2 Schéma zapojení čelního panelu



9.3 Použité měřicí přístroje

Osciloskop Rigol DS1042CD

Osciloskop Tektronix 2221

Napájecí zdroj Amrel PPS-1002

Napájecí zdroj Diametral P230R51D

Multimetr HP34401A

Generátor Motech FG-503

Oddělovací transformátor

SW Visual Analyser 10.1