



Středoškolská technika 2017

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Stereo zesilovač s FM rádiem

Marek Štampoch

Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, Jičín

Pod Koželuhy 100, Jičín

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Jičíně dne 6. 3. 2017

Marek Štampoch

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Janu Blažkovi za pedagogickou a odbornou pomoc a za cenné rady při zpracování mé maturitní práce.

Děkuji také Bc. Miloslavu Bretovi za pomoc při měření.

Anotace

Předmětem této práce je stavba zesilovače pro dvojici reproduktorů a subwoofer. Zesilovač by měl být schopný určitým způsobem upravit vstupní signál. Cílem je navrhnout a sestavit tento zesilovač tak, aby splňoval požadavky zadání za použití běžně dostupných součástek. Je zde nastíněna problematika celé konstrukce. V práci jsou popsány metody řešení, návrhu a realizace. Součástí jsou výsledky z měření jednotlivých částí, které určují parametry zesilovače.

Klíčová slova

Stereo; zesilovač; FM přijímač; ATmega328; Baxandall; Sallen–Key

Annotation

This work is realization amplifier for a pair of speakers and a subwoofer. The amplifier should be able in some way to modify the input signal. The goal is to design and build this amplifier to meet the stated requirements using Commercially available components. There is the issue of the structure. The paper Describes the methods of solution design and Implementation. Part of the results of measurements of Individual parts that define the parameters of the amplifier.

Keywords

Stereo; amplifier; FM receiver; ATmega328; Baxandall; Sallen-Key

Obsah

1	Úvod	1
2	Analýza problému.....	2
2.1	Obecná definice zesilovače a jeho vlastnosti	2
2.1.1	Tranzistorové zesilovače.....	2
2.1.2	Operační zesilovače	2
2.2	Problematika konstrukce	3
3	Požadavky na řešení	3
3.1	Technické parametry	4
3.2	Blokové schéma	5
4	Popis funkce jednotlivých bloků	6
4.1	Zdroj	6
4.1.1	Sít', filtr a transformátor.....	6
4.1.2	Usměrnění, filtrace a stabilizace.....	7
4.2	Rádio	9
4.2.1	Popis přijímače	9
4.2.2	Obvod Si4703	9
4.2.3	Zobrazovač Nokia 5110.....	10
4.2.4	Mikroprocesor.....	11
4.3	Zpracování signálu	14
4.3.1	Vstupy	14
4.3.2	Korekční předzesilovač.....	16
4.3.3	Aktivní propust 2. řádu	20
4.4	Koncové zesilovače	22
4.5	Zesilovač pro sluchátka	24
4.6	Bargraf.....	26
5	Desky tištěných spojů.....	29
5.1	Návrh.....	29
5.2	Výroba.....	29
6	Skříň	30
6.1	Výroba.....	30
6.2	Osazení	30

7	Závěr.....	31
8	Seznam obrázků.....	32
9	Seznam tabulek.....	33
10	Seznam použitých pramenů a literatury	34
11	Přílohy	36

1 ÚVOD

V posledních desetiletích dochází k velkému rozvoji reprodukce audio signálu. S nástupem využívání techniky se lidstvo snaží nejen zachytit a zachovat nahrávky lidského hlasu a audia obecně, ale i zkvalitnit jeho celkovou reprodukci. V dnešní době miniaturizace se bohužel dostáváme k tomu, že kvalita reprodukce se snižuje vlivem zmenšování rozměrů a snižování ceny. Digitalizace přináší pohodlí a přehlednost nahrávek. Vlivem ztrátové komprese však jejich kvalita značně upadá. Existují samozřejmě i bezztrátové metody, ale ty nejsou mezi uživateli tak rozšířené.

Nejen tyto prvky ovlivňují celkovou reprodukci zvuku. I když je k dispozici kvalitní nahrávka, všechno selže díky levnému zesilovači. Právě ten je základem každého audio systému a na jeho kvalitě závisí celkový dojem z poslechu. A není od věci zmínit, že staré elektronkové a tranzistorové zesilovače zprostředkovaly audio signál mnohem lépe, než ty dnešní - moderní. Je jasné, že kvalita zesilovače je závislá i na jeho ceně. Profesionální aparatury jsou nesmírně drahé a obyčejný člověk si jen stěží může něco takového dovolit.

Cílem této práce je navrhnout a sestavit zesilovač pro poslech hudby v domácnosti z cenově dostupných součástek. Takový, který by spojil více zařízení v jeden celek a přitom obsahoval všechny podstatné funkce.

2 ANALÝZA PROBLÉMU

V této kapitole jsou uvedeny základní informace, týkající se zesilovačů.

2.1 OBECNÁ DEFINICE ZESILOVAČE A JEHO VLASTNOSTI

Zesilovač je elektronické zařízení, které slouží k zesílení vstupního signálu. Patří do kategorie aktivních dvojbranů. To znamená, že zapojení obsahuje dvě vstupní svorky a dvě výstupní. Obvykle je jeden vodič společný.

2.1.1 Tranzistorové zesilovače

U tranzistorových zesilovačů se používají tři základní zapojení. Jde o zapojení se společným kolektorem, společným emitorem a společnou bází.

V NF oblasti se používá zapojení se společným emitorem. Tento jednoduchý zesilovač má největší výkonové zesílení, které se v katalogu uvádí jako proudový zesilovací činitel (h_{21}). Určuje poměr kolektorového a bázového proudu.

Mezi další vlastnosti patří malý vstupní odpor (řádově ve stovkách Ω), relativně velký výstupní odpor (desítky $k\Omega$). Otáčí též fázi napětí o 180° [1].

Podle nastavení pracovního bodu se používají různé třídy zesilovačů. Je zbytečné se jimi nyní zabývat. V mé práci je použita pouze třída AB ve všech koncových stupních. Je ovšem součástí integrovaných obvodů, a proto nebylo nutné řešit správné nastavení. Třída AB byla nejpoužívanějším řešením. Dnes ji však vytlačuje mnohem efektivnější třída D, která funguje na principu komparace audia a nosného trojúhelníkového signálu. Použité tranzistory jsou vždy sepnuty v saturaci, tudíž jejich ztrátový výkon je velmi malý. Třída A se vyznačuje lineárním průběhem a malým zkreslením, ale malou účinností. Třída B má vyšší účinnost. Trpí však velkým přechodovým zkreslením. Použitím dvou tranzistorů ve třídě AB se tyto nedostatky částečně eliminují.

2.1.2 Operační zesilovače

Operační zesilovač je polovodičová součástka, která je schopná stejnosměrného i střídavého zesílení. Je základním prvkem analogových elektronických obvodů. V současné době patří mezi nepoužívanější integrované obvody, protože umožňuje snadnější stavbu různých elektronických obvodů. Často se vyskytuje v zesilovačích jako náhrada za diskrétní polovodičové součástky, jako jsou tranzistory.

Ideální operační zesilovač vykazuje nekonečně velké zesílení, nekonečný vstupní odpor a nulový výstupní odpor. Skutečný operační zesilovač se těmito hodnotám pouze

blíží. Vstupní odpor se pohybuje v řádech stovek $k\Omega$ a výstupní v jednotkách Ω . Napěťové zesílení může být kolem desítek tisíc. Operační zesilovač má frekvenční charakteristiku podobnou dolní propusti. Pro vyšší kmitočty se zesílení snižuje se strmostí 20 dB/dek. Při určitém kmitočtu, říká se mu tranzitní kmitočet, je zesílení $A = 1$ a obvod se chová už jen jako sledovač. Hodnota tranzitního kmitočtu bývá víc jak 1 MHz. V NF technice tak tento problém řešit nemusíme.

2.2 PROBLEMATIKA KONSTRUKCE

Celý koncept zesilovače je jednoznačný - zesilovat vstupní signál a přizpůsobit ho k reprodukci. Je mnoho cest, jak se dá takový zesilovač realizovat. Ty jednodušší obsahují jeden aktivní prvek, který zesílí vstupní signál pouze napěťově. Po přidání proudového zesílení lze připojit sluchátka nebo reproduktory. Takový zesilovač už je sám o sobě schopný reprodukce zvuku. K tomuto zapojení se dají přidávat různé korekční obvody, modulace, regulace hlasitosti nebo přepínání vstupů. Pak už je třeba přidat i vlastní zdroj. Vznikne tak zesilovač, který dokáže ozvučit například obývací pokoj stejně jako profesionální domácí kino.

Zde však nastává problém při konstrukci. Všechny části se musí napájet, je třeba je mezi sebou propojit a zajistit vzájemnou kompatibilitu. Vlastní kapitolou jsou nepříznivé vlastnosti. Například šum, síťový brum nebo známé lupnutí v reproduktorech, které se ozývá při zapnutí zesilovače. S těmito problémy jsem se potýkal také.

3 POŽADAVKY NA ŘEŠENÍ

Celé zapojení je realizováno s ohledem na dosavadní znalosti NF obvodů a na dostupnost většiny součástek. Aby mohl zesilovač fungovat i samostatně bez vnějších zařízení, bylo nutné ho vybavit určitými prvky. Zde jsou uvedeny konkrétní požadavky na vyvíjené zařízení:

- vlastní napájecí zdroj,
- přijímač FM rádia - sledování informací na zobrazovači,
- přepínání mezi linkovými vstupy a jejich slučování,
- předzesilovač s vlastní regulací hlasitosti,
- korekce signálu - basy, výšky, balance,
- frekvenční výhybka pro basový reproduktor,
- koncové zesilovače pro reproduktory,
- koncový zesilovač pro sluchátka.

3.1 TECHNICKÉ PARAMETRY

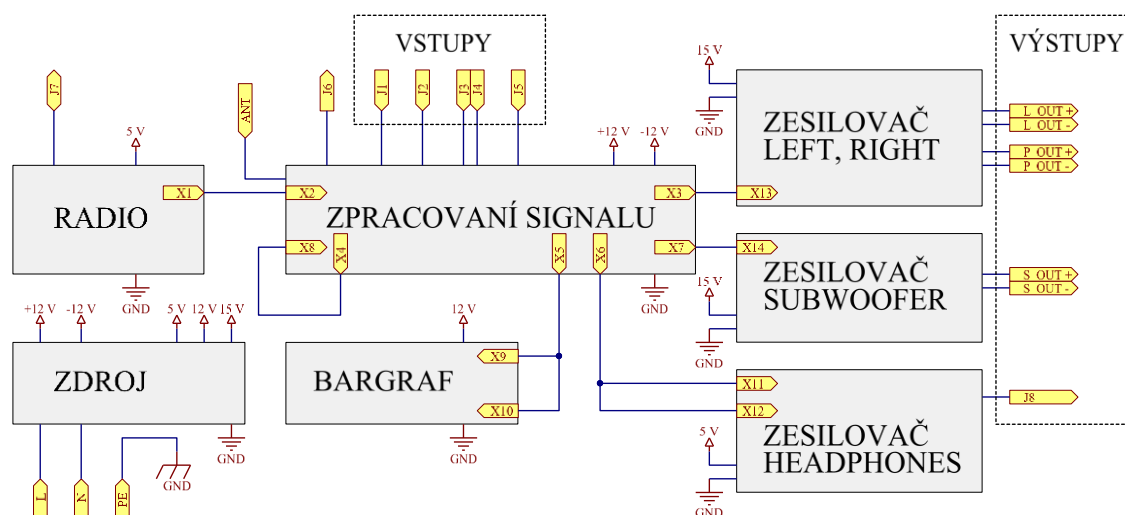
V následující tabulce tab. 1 jsou uvedeny požadované technické parametry, které byly dodrženy.

Napájení	230 V
Počet kanálů	2 + 1
Maximální zesílení	56
Zisk	+6 dB - předzesílení
	+29 dB - koncové zesilovače
	+20 dB - sluchátkový zesilovač
	+18 dB - filtr 2. řádu
	±15 dB - korekční zesilovač
Výkon	22 W - každý kanál

Tab. 1: Základní parametry zesilovače

3.2 BLOKOVÉ SCHÉMA

Funkce celého zapojení se dá snadno popsat blokovým schématem, které je uvedeno na obr. 1.



Obr. 1: Blokové schéma zesilovače

Zesilovač se skládá ze sedmi funkčních bloků, které jsou dále rozděleny na jednotlivé desky plošných spojů. Celá koncepce je tedy modulární s možností výměny jednotlivých celků. Jsou spojeny propojkami s určitým typem konektoru (2pinový, 3pinový, 4pinový). Každý je určen na jinou část signálové cesty, tudíž je nejde omylem zaměnit. Takto se lze napojit na libovolnou část zesilovače například pro zjišťování chyb.

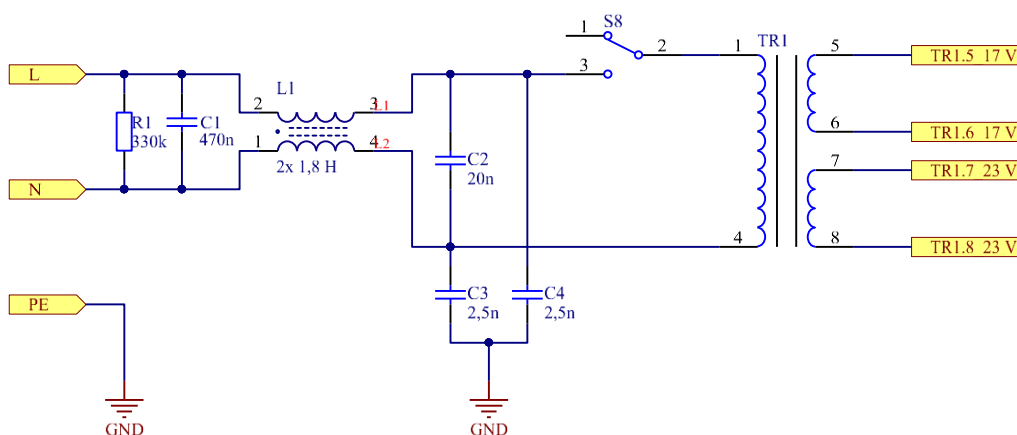
4 POPIS FUNKCE JEDNOTLIVÝCH BLOKŮ

V následujících kapitolách jsou podrobně rozebrány jednotlivé bloky tvořící zesilovač.

4.1 ZDROJ

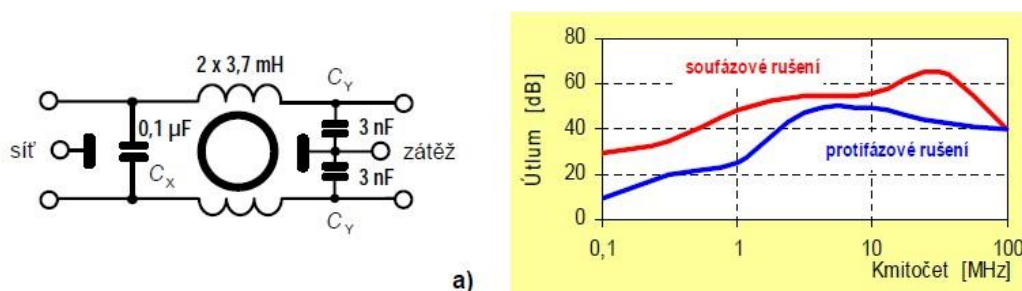
Podstatnou částí každého zařízení je jeho zdroj. Zprostředkovává napájecí napětí pro všechny obvody, a proto jsou na něj kladeny velké nároky. V mém případě musí kvalitně filtrovat střídavé napětí, ze kterého vytváří stabilizované stejnosměrné napětí o jmenovitých hodnotách.

4.1.1 Síť, filtr a transformátor



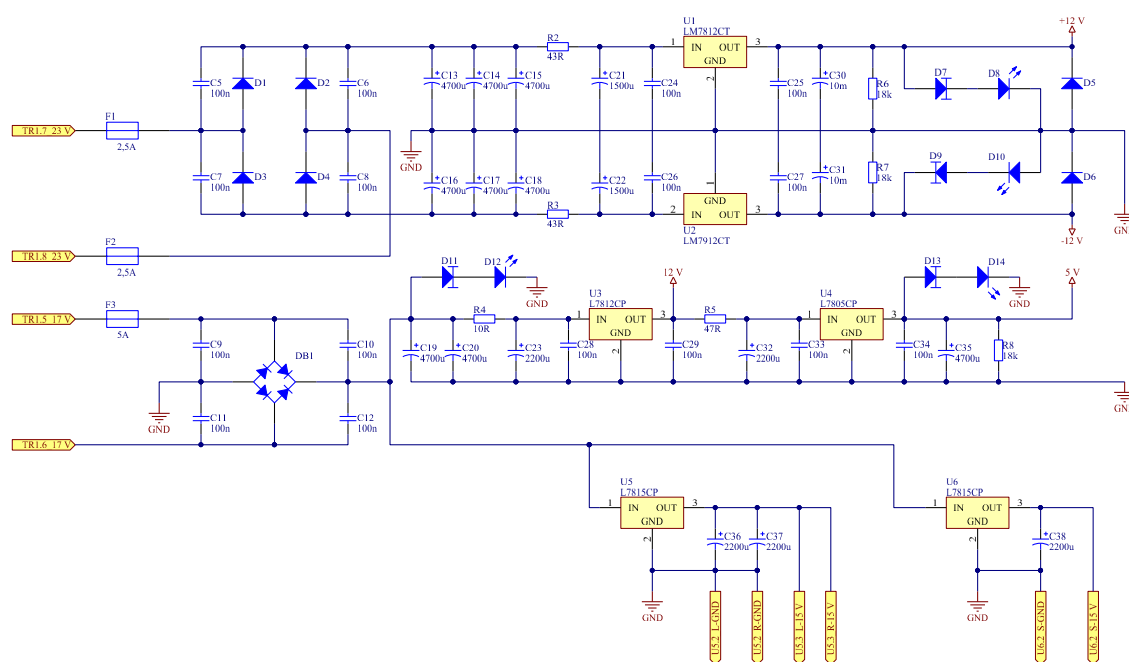
Obr. 2: Síťový filtr

Střídavé napětí se přivádí ze sítě přes filtr a spínač S_8 na transformátor TR_1 . Filtr tvoří kondenzátor C_1 s vybíjecím rezistorem R_1 . Dvojitá tlumivka L_1 , kterou tvoří dvě vinutí na společném toroidním jádře, zabraňuje vstupu rušení. Tři kondenzátory v jednu pouzdře odstraňuje další typy rušení. Průběh je patrný na obr. 3. Jedná se především o soufázové a protifázové rušení [2].



Obr. 3: Zapojení filtru s útlumovou frekvenční charakteristikou [2]

4.1.2 Usměrnění, filtrace a stabilizace



Obr. 4: Stabilizační část zdroje

Transformované střídavé napětí o velikosti 23 V je přivedeno přes pojistky F_1 a F_2 na čtveřici usměrňovacích diod, které tvoří dvoucestný usměrňovací můstek. Diody D_1 a D_2 propustí kladnou půlvlnu, naopak diody D_3 a D_4 zápornou půlvlnu. Kondenzátory C_5 až C_8 opět zabraňují rušení. Na výstupu je první vyhlazení pulzního průběhu kondenzátory C_{13} až C_{18} . Stejnoseměrné napětí zde dosahuje 30 V. Dále už je všechno napětí stejnosměrné. Zapojením společné země mezi kondenzátory je napětí symetricky rozděleno na ± 15 V. Následují dva RC filtry (dolní propust) R_2 , C_{21} a R_3 , C_{22} s mezním kmitočtem 2,5 Hz. Zvýšením hodnoty rezistoru R_2 (R_3) se mezní kmitočet sníží, ale zvýší se tím vnitřní odpor zdroje. Úbytek napětí, který vzniká na odporu, by byl příliš velký. Zde by bylo vhodnější zařadit LC filtry. Tlumivka, která by nahradila rezistor, má odpor vinutí blízky nule. Střídavý odpor je mnohem větší, a tak by filtr fungoval efektivněji. Následují samotné stabilizátory napětí U_1 a U_2 , které na výstupu dávají symetrické napětí ± 12 V. Blokující kondenzátory C_{24} až C_{27} zabraňují rozkmitání stabilizátorů, kondenzátory C_{30} a C_{31} filtrují výstupní napětí a udržují stabilitu při proudivé špičce. Diody D_5 a D_6 jsou ryze ochranné, slouží pro ochranu při induktivní zátěži, která byla připojena při zkoušení zdroje. Indikační diody D_8 a D_{10} signalizují přítomnost napětí a funkci zdroje. Proudové diody D_7 a D_9 omezují proud, který teče do LED, na 5 mA. To bohatě stačí pro úplný svit.

Druhá část zdroje je připojena na silnější vinutí transformátoru a slouží pro napájení koncových zesilovačů. Pojistka F_3 chrání celé napájení zesilovačů a je dimenzovaná pro velké proudové špičky. Pro větší zátěž je zde zařazen Graetzův můstek v pouzdru s chladičskou plochou a je přišroubován na dno skříně. Keramické kondenzátory C_9 až C_{12} zde

opět odstraňují rušení. Následuje dvojice kondenzátorů C_{19} a C_{20} , ty slouží k filtraci. Dolní propust složená z R_4 a C_{23} má mezní kmitočet 8 Hz. Stabilizátor U_3 vytváří napětí 12 V. To je záměrně odděleno od druhé části zdroje, jelikož symetrické napětí slouží i pro externí zařízení. Filtr stejného typu, složený ze součástek R_5 a C_{32} , je nastavený na frekvenci 1,6 Hz. Stabilizátor U_4 vytváří napětí 5 V. Stabilitu zajišťují keramické kondenzátory C_{28} , C_{29} , C_{33} a C_{34} . Jsou umístěné co možná nejbliže, aby správně plnily svou funkci. Filtrace 5V větve je zajištěna kondenzátorem C_{35} . Diody D_{12} a D_{14} opět signalizují správnou funkci zdroje. Proudové diody D_{11} a D_{13} omezují proud, který jimi protéká, na 5 mA. Rezistory R_6 , R_7 a R_8 vybíjí kondenzátory ve zdroji.

Tyto větve nejsou příliš zatěžovány. Na rozdíl od části, která je určena pro koncové zesilovače. Stabilizátory U_5 a U_6 spolu s kondenzátory C_{36} , C_{37} a C_{38} vytváří tvrdý zdroj pro tři koncové zesilovací stupně. Napětí má velikost 15 V.

Hlavní indikaci zapnutí zajišťuje čtvercová LED D_{15} . Skládá se ze čtyř samostatných diod. Každé dvě jsou spojeny a přes rezistory R_9 a R_{10} zapojeny na 5 V. Proudové zatížení jednotlivých větví je uvedeno v tabulce tab. 2.

Napětí	Průběžné zatížení	Maximální zatížení	Pojistka
+12 V	50 mA	1 A	2,5 A
-12 V	50 mA	1 A	2,5 A
5 V	60 -100 mA	1 A	5 A
12 V	100 mA	1 A	
15 V	0,3 - 4 A	5 A	

Tab. 2: Parametry zdroje

Nabíjecí proud kondenzátorů je špičkově velmi velký, proto jsou zařazeny silnější pojistky. Zapojením za kondenzátory by se tato potřeba eliminovala.

4.2 RÁDIO

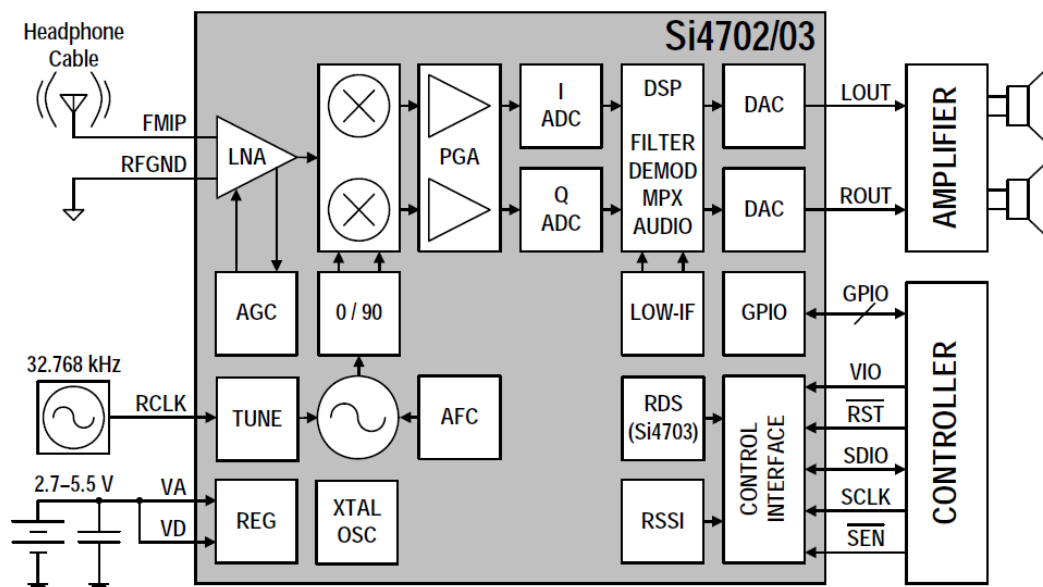
Jednotlivé části rádia jsou popsány v následujících kapitolách.

4.2.1 Popis přijímače

Jedná se o mikroprocesorem řízený modul pro příjem FM rádia v pásmu 86 až 108 MHz. Obsahuje integrovaný obvod Si4703. Informace se přenášejí na zobrazovač Nokia 5110. Ovládání zajišťuje 6 samostatných tlačítek a dvojčinný enkodér.

4.2.2 Obvod Si4703

Digitální přijímač U₁₀ s širokým pásmem frekvencí (Broadcast FM radio tuner for portable applications) je jednoduché řešení na bázi softwarového rádia (SDR). Vyznačuje se funkcemi jako automatické vyhledávání stanic, ladění přesných kmitočtů pomocí VCO, řízení hlasitosti, příjem RDS, adaptivní potlačení šumu [3].



Obr. 5: Vnitřní zapojení obvodu Si4703 [3]

Všechny funkce obslouží mikroprocesor za pomoci knihovny. Ta je volně k dispozici pro platformu Arduino [4].

4.2.3 Zobrazovač Nokia 5110

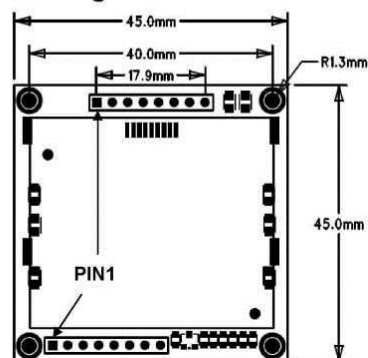
Velmi jednoduchý a často používaný displej s rozlišením 84 x 48 pixelů, který vychází z řady telefonů firmy Nokia, pronikl díky levné úpravě výrobcem mezi běžné uživatele. Ovládání zajišťuje mikroprocesor za pomoci vlastní knihovny, která je opět volně dostupná [5]. Obvod je připojen k mikroprocesoru na piny D₁₀, D₁₁, D₁₂, D₁₃, A₀, A₁. Výstupní pin D₁₀ řídí podsvícení za pomoci pulzně šířkové modulace (PWM) a díky vnitřní konstrukci snese napětí 5 V. Popis těchto pinů a vlastnosti displeje jsou uvedeny na obr. 6.

Obr. 6: Specifikace LCD 5110 [7]

Specification:

Interface	SPI serial connection
Operating voltage	2.7V to 3.3V
Operating current	<5mA (Backlight off), <20mA (Backlight on)
Operating temperature	0 to 50 Degree Celsius
Storage temperature	-10 to 70 Degree Celsius
Size (L x W x H)	45X45X5mm
LCD Controller	Philips PCD8544

Pin Assignment:



Pin	Name	Description
1	VCC	2.7 to 3.3V
2	GND	Ground
3	SCE	Chip enable (Active Low)
4	RES	Reset (Active Low)
5	D/C	Data/Command selection Low- Write data, High - Write command
6	SDIN	Serial input
7	SCLK	Clock input
8	LED	Active High 2.7 to 5V

Zobrazovač je společně s přijímačem napájen ze stabilizátoru LM317 s označením U₇. Cílem bylo nastavit tento stabilizátor na 3,3 V. Rezistor R₁₃ jsem zvolil 10kΩ, což je vzhledem k obvyklým hodnotám poměrně dost. Je to proto, že jsem použil trimr TR₁ s hodnotou 18kΩ. Protéká jím součet řídicího proudu I_Q a proudu děličem I_D. Zmíněný I_Q je v řádech μA [6]. Proud I_D lze spočítat ze vztahu (1) a potřebný R_{TR} ze vztahu (2).

$$I_D = \frac{U_K}{R_{13}} = \frac{1,25}{10000} = 0,000125 \text{ A} \quad (1)$$

$$R_{TR} = \frac{U_{OUT} - U_K}{I_Q + I_D} = \frac{3,3 - 1,25}{0,000125 + 0,000100} = 9111 \Omega \quad (2)$$

Celkový proud, který teče trimrem, je 225 μA a ze vztahu zjistíme, že trimr TR₁ bude nastavený přibližně do poloviny. Ve skutečnosti je natočený o něco více, protože

proud I_Q je závislý na zátěži. Tak se dá snadno nastavit hodnota výstupního napětí cca na 3,08 V. Pro kontrolu se zobrazuje na displeji při inicializaci procesoru.

Displej má své vlastní napájení (3 V). Data, která do něho proudí, jsou však v 5V logice Arduina, a tak bylo třeba na každý datový vodič zařadit dělič napětí. Ten je složený z dvojice rezistorů tak, aby signál napětově přizpůsobil. Je to nejjednodušší řešení, ale není ideální. Lepší by bylo místo rezistorů R_{20} až R_{24} použít 3V zenerovy diody, nebo celé spojení realizovat přes tranzistory. Na tomto řešení je založený převodník, ale vzhledem k náročnějšímu zapojení a nutnosti úpravy tištěného spoje jsem od převodníku upustil.

4.2.4 Mikroprocesor

Celé rádio je řízené mikroprocesorem. Jedná se o Arduino Pro-mini s procesorem ATmega 328. Ten zajišťuje veškerou komunikaci a obsluhuje šest tlačítek.

Ovládání hlasitosti realizují tlačítka TL_1 a TL_2 . První z nich hlasitost o jedna sníží, druhé o jedna zvýší. Výchozí hodnota je nastavená na hodnotu 8, maximálně lze nastavit hodnotu 15.

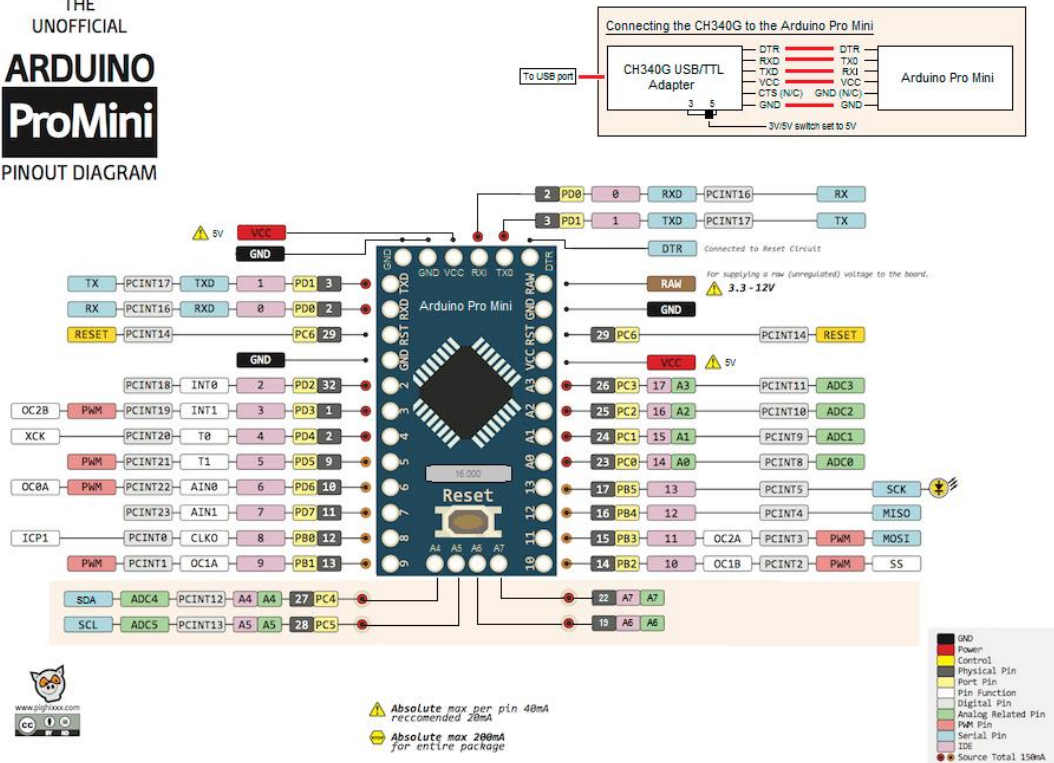
Tlačítka TL_3 a TL_4 slouží k automatickému vyhledávání stanic. Po stisknutí tlačítka TL_3 rádio automaticky vyhledá následující stanici, tlačítko TL_4 vyhledá stanici předchozí. Tlačítka TL_5 a TL_6 slouží k posouvání stanic o 0,1 MHz nahoru nebo dolů. Výchozí frekvence je nastavená na 87,60 MHz.

Enkodérem EN_1 se nastavuje kontrast displeje. Ten se vlastnostmi displeje mění, proto je třeba ho nastavovat ručně. Jeho stisknutím se dá přepínat mezi režimy podsvícení a to 0 %, 40 % a 100 % svitu.

Všechna tlačítka definují svým sepnutím na vstupu logickou nulu. Aby byl stav definován i v době, kdy není tlačítko sepnuto, je programem zařazen interní, tzv. PULLUP, rezistor. Pro jednoduché konstrukce je tato volba ideální. V praxi se spíš používá zapojení s externím rezistorem. Paralelně k tlačítku se často připojuje kondenzátor, aby se zabránilo zákmitům. V mém případě to není potřeba, jelikož v programové smyčce je zařazeno zpoždění a tak procesor případné zákmity nevyhodnocuje.

Na obr. 7 je vidět rozložení vývodů Arduina a jejich funkce.

THE
UNOFFICIAL
**ARDUINO
ProMini**
PINOUT DIAGRAM

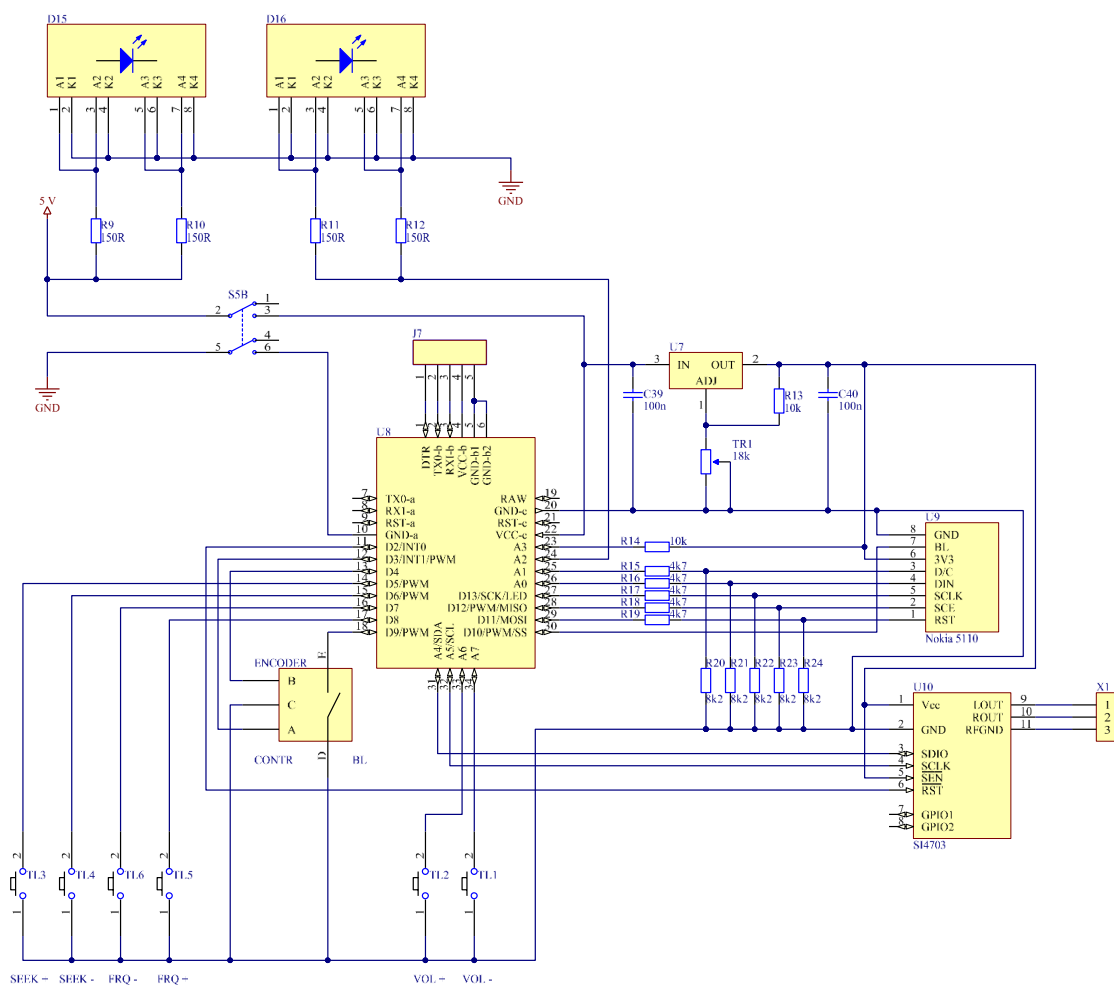


Obr. 7: Zapojení vývodů - Arduino Pro-mini, CH340G [8]

Programování je možné přes převodník CH340G USB/TTL. Ten není součástí práce, a proto se mu nebudeme více věnovat. Celý program je k dispozici jako příloha.

Celé zapojení mikroprocesoru včetně připojených periférií je uvedeno na obr. 8. Z obrázku vyplývá, že je kapacita mikroprocesoru maximálně využita.

Obr. 8: Zapojení mikroprocesoru včetně příslušenství



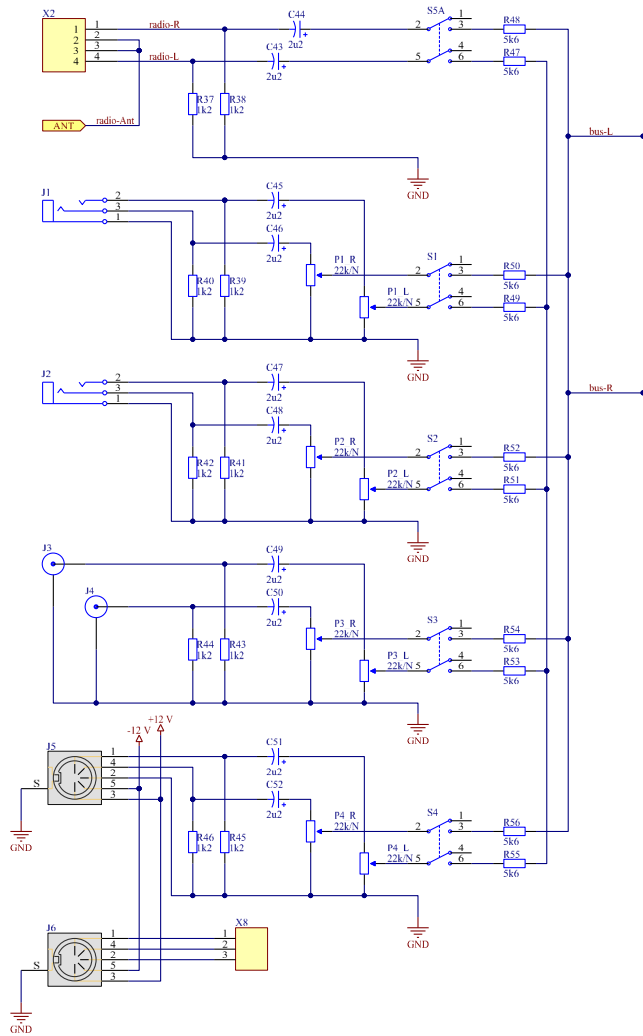
4.3 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

Všechna zapojení pro úpravu signálu jsou shodná pro levý i pravý kanál. V následujících kapitolách se objevují čísla součástek pro levý kanál, pro pravý kanál jsou uváděna v závorkách.

4.3.1 Vstupy

Zesilovač je vybaven čtyřmi identickými linkovými vstupy $J_1, J_2, J_3 + J_4, J_5$ a linkou přivedenou z modulu rádia na konektor X_2 . Součástí konektoru je i vodič pro anténu, který je veden na port ANT. Mezi jednotlivými vstupy lze přepínat přepínači S_1 až S_5 . Každý vstup, kromě rádia, má ještě vlastní regulaci hlasitosti. To zajišťují tahové potenciometry P_1 až P_4 . Jde o modely TESLA 22k/N. Písmeno N udává, že potenciometry mají lineární průběh. Z důvodu lepší dostupnosti jsou použity právě lineární. Pro audio signál jsou však vhodnější potenciometry s logaritmickým průběhem.

Všechny čtyři bloky na vstupu jsou identické a tak uvádím popis pouze pro první vstup. Signál přichází z konektoru J_1 na vstupní rezistory R_{39} (R_{40}). Ty udávají vstupní odpor zesilovače a definují napěťovou úroveň, když není připojené žádné zařízení. Přes kondenzátory C_{45} (C_{46}) prochází pouze signál, oddělují tak stejnosměrnou složku, na potenciometr P_1 . Tím lze nastavit hlasitost jednotlivých vstupů zvlášť a tak přizpůsobit úroveň různých zdrojů signálu. Jde o pasivní regulaci, neboť se pouze zvyšuje útlum. Dále signál prochází přes přepínač S_1 a součtové rezistory R_{50} (R_{51}) na společnou sběrnici všech vstupů. Na obr. 9 je vidět celkové zapojení všech vstupů.

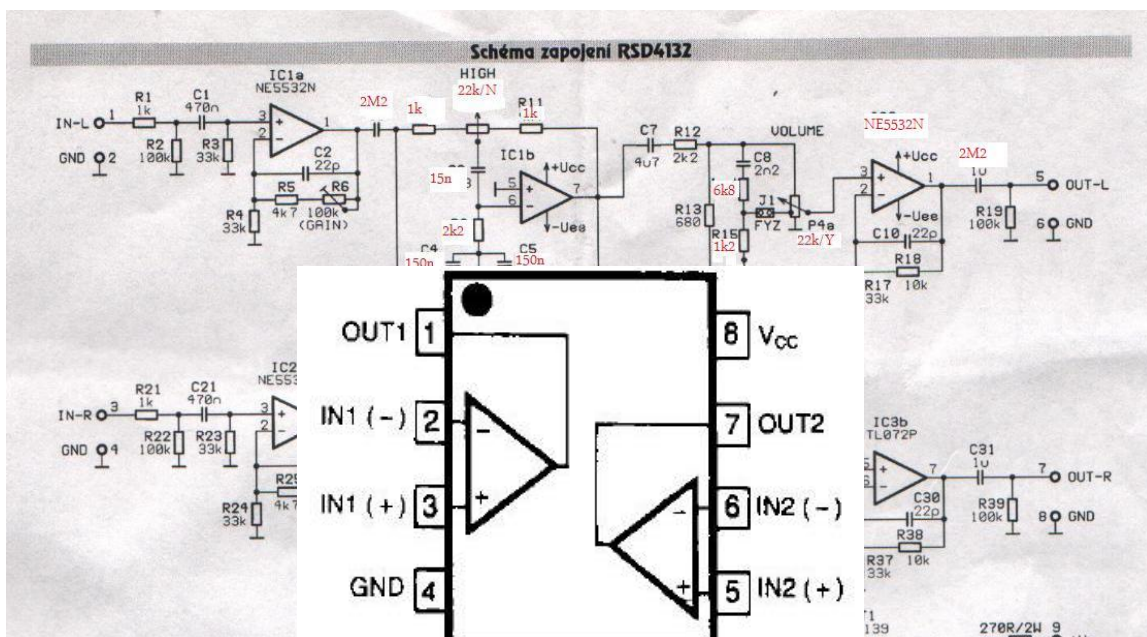


Obr. 9: Schéma zapojení jednotlivých vstupů a výstupu signálu

4.3.2 Korekční předzesilovač

Zapojení vychází z webu audioweb.cz [10]. V konečném zapojení došlo k vyřazení části pro fyziologickou regulaci a k úpravě předzesilovače.

Obr. 10: Schéma zapojení s úpravou pro potenciometry 22k/N [10]



Předzesilovač tvoří trojce operačních zesilovačů U₁₃, U₁₄ a U₁₅ typu NE5532P, jehož pinout je na obr. 11. Jeden tento obvod obsahuje dva operační zesilovače s nízkým šumem, proto je vhodný pro audiotechniku. Lepším ekvivalentem je obvod OPA228 nebo AD8597 [9].

Obr. 11: Vnitřní zapojení obvodu NE5532P

Nejdříve je signál zesílen invertujícím zesilovačem. Ten tvoří vstupní vazební kondenzátor C₅₃ (C₅₄), operační zesilovač U_{13A} (U_{13B}), kondenzátor C₅₅ (C₅₆) blokující zákmitý a udržující celkovou stabilitu a dělič složený z potenciometru P_{5_L} (P_{5_R}) a rezistoru R₅₉ (R₆₀). Potenciometr nastavuje zesílení v rozsahu 0 až -18. Maximální zesílení je patrné ze vztahu (3) a maximální zisk ze vztahu (4).

$$A_M = -\frac{P_5}{R_{59(60)}} = -\frac{22\,000}{1\,200} \doteq -18 \quad (3)$$

$$a_M = 20 \log A_M = 20 \log(18) \doteq 25 \text{ dB} \quad (4)$$

Tady je naopak lineární potenciometr výhodou. Jde o hlavní regulátor hlasitosti celého zesilovače (master volume).

Následuje dvoupásmový korektor zapojený ve dvojité zpětné vazbě operačního zesilovače U_{14A} (U_{14B}). Signál prochází přes svitkové vazební kondenzátory C_{57} (C_{58}) a rozdělí se podle kmitočtu. Vyšší kmitočty využívají zpětnou vazbu sestavenou z rezistorů R_{61} (R_{62}), R_{63} (R_{64}) a potenciometru P_{6_L} (P_{6_R}) díky kondenzátoru C_{59} (C_{60}). Naopak nižší kmitočty prochází přes zpětnou vazbu tvořenou rezistory R_{65} (R_{66}), R_{67} (R_{68}), potenciometrem P_{7_L} (P_{7_R}) a kondenzátory C_{61} (C_{62}) a C_{63} (C_{64}). Z toho vyplývá, že potenciometr bude ovlivňovat zesílení. Jeho výchozí poloha je uprostřed jeho dráhy a při fyzickém posunutím doleva je dané pásmo zeslabeno, posunutím doprava je zesíleno a to ve skutečném rozsahu od -15 dB do +15 dB. Z následujících vztahů vyplývají hodnoty zeslabení a zesílení samotného korekčního členu pro obě pásma:

- maximální zesílení A_{Hmax} a zisk a_{Hmax} hloubek:

$$A_{Hmax} = -\frac{P_6 + R_{63(64)}}{R_{61(62)}} = -\frac{22\,000 + 1\,000}{1\,000} = -23 \quad (5)$$

$$a_{Hmax} = 20 \log A_{Hmax} = 20 \log(23) \doteq 27 \text{ dB} \quad (6)$$

- maximální zeslabení A_{Hmin} a útlum a_{Hmin} hloubek:

$$A_{Hmin} = -\frac{R_{63(64)}}{P_6 + R_{61(62)}} = -\frac{1\,000}{22\,000 + 1\,000} = -\frac{1}{23} \quad (7)$$

$$a_{Hmin} = 20 \log A_{Hmin} = 20 \log\left(\frac{1}{23}\right) \doteq -27 \text{ dB} \quad (8)$$

- maximální zesílení A_{Vmax} a zisk a_{Vmax} výšek:

$$A_{Vmax} = -\frac{P_7 + R_{67(68)}}{R_{65(66)}} = -\frac{22\,000 + 2\,200}{2\,200} = -11 \quad (9)$$

$$a_{Vmax} = 20 \log A_{Vmax} = 20 \log(11) \doteq 21 \text{ dB} \quad (10)$$

- maximální zeslabení A_{Vmin} a útlum a_{Vmin} výšek:

$$A_{Vmin} = -\frac{R_{67(68)}}{P_7 + R_{65(66)}} = -\frac{2\,200}{22\,000 + 2\,200} = -\frac{1}{11} \quad (11)$$

$$a_{Vmin} = 20 \log A_{Vmin} = 20 \log \left(\frac{1}{11} \right) \doteq -21 \text{ dB} \quad (12)$$

To jsou však pouze orientační hodnoty. Ve skutečnosti se ještě uplatní R_{69} (R_{70}) a reaktance všech kondenzátorů. Ve výsledku vychází maximální útlum -15 dB a maximální zisk +15 dB.

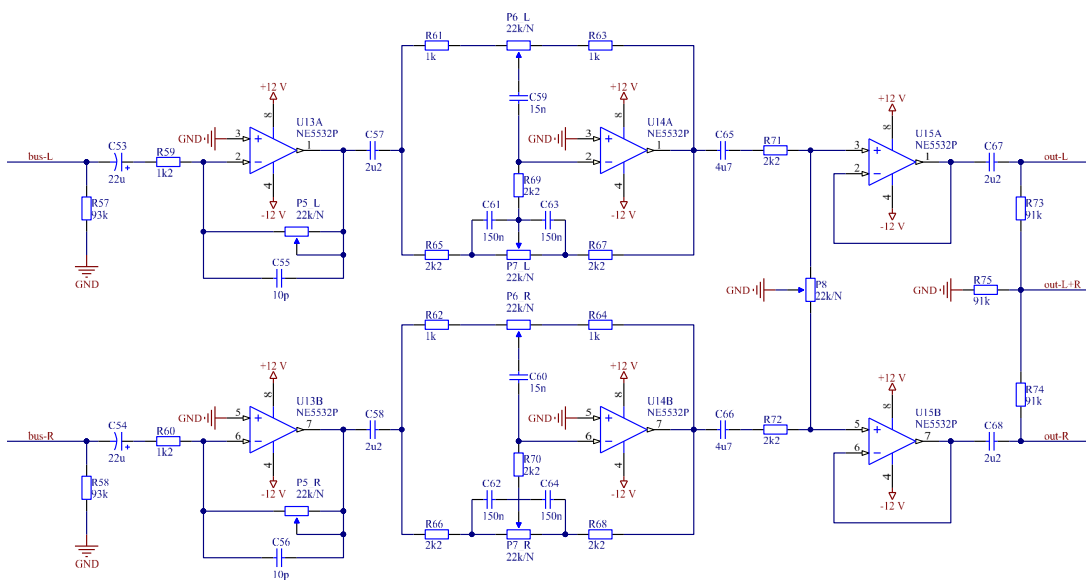
Kondenzátor C_{65} (C_{66}), který je zařazen za korektorem, spolu s rezistorem R_{71} (R_{72}) zabezpečují vazbu mezi operačními zesilovači a slouží k ochraně, aby potenciometr P_8 nezkratoval korektor. Tento potenciometr nastavuje vyvážení obou kanálů. Výchozí poloha je opět uprostřed s tím, že posunem vlevo se postupně utlumí pravý kanál a naopak.

Zařazení napěťového sledovače je spíše preventivní. Přizpůsobí výstup a neumožní zatížení korekčních obvodů. Opět zde figurují vazební kondenzátory C_{67} (C_{68}). Součtové rezistory R_{73} , R_{74} a R_{75} vytváří monofonní signál pro aktivní dolní propust. Signály out-L a out-R se dále rozvádí po zesilovači. Konektorem X_3 je signál přiváděn na vstup koncových zesilovačů, konektorem X_4 na výstupní konektor J_6 (propojkou X_8) jako výstupní signál LINE_OUT, konektorem X_5 je signál přiváděn na vstup bargrafu a konektorem X_6 na vstupní svorky sluchátkového zesilovače.

Měřením, ve kterém se uplatní i útlumy na součtových rezistorech a kapacitních vazbách, docházíme k závěru, že celkové zesílení korekčního bloku (včetně předzesilovače) je +6 dB. Výsledek je zjištěný z charakteristik, které jsou zařazeny jako příloha. Z nich se dají zjistit všechny průběhy signálu upraveného korekčním předzesilovačem. Započítáním konstantního zesílení koncových zesilovačů (určeno výrobcem) dostaneme maximální zisk v celém frekvenčním spektru přibližně 35 dB. To pro běžný poslech naprosto stačí. Za předpokladu dodržení linkové normy u velikosti amplitudy, která se pohybuje asi okolo 200 mV, stačí pětina zisku. Je volena jistá rezerva

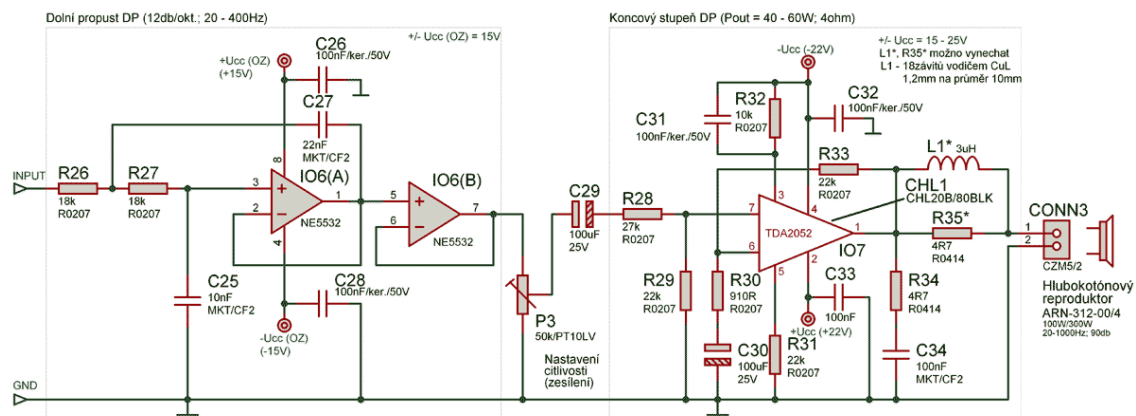
a to i z důvodu, že při nižším zesílení nedochází k tak velkému zkreslení. Zapojení, včetně předzesilovače, je na obr. 12.

Obr. 12: Úplné schéma zapojení korekčního předzesilovače



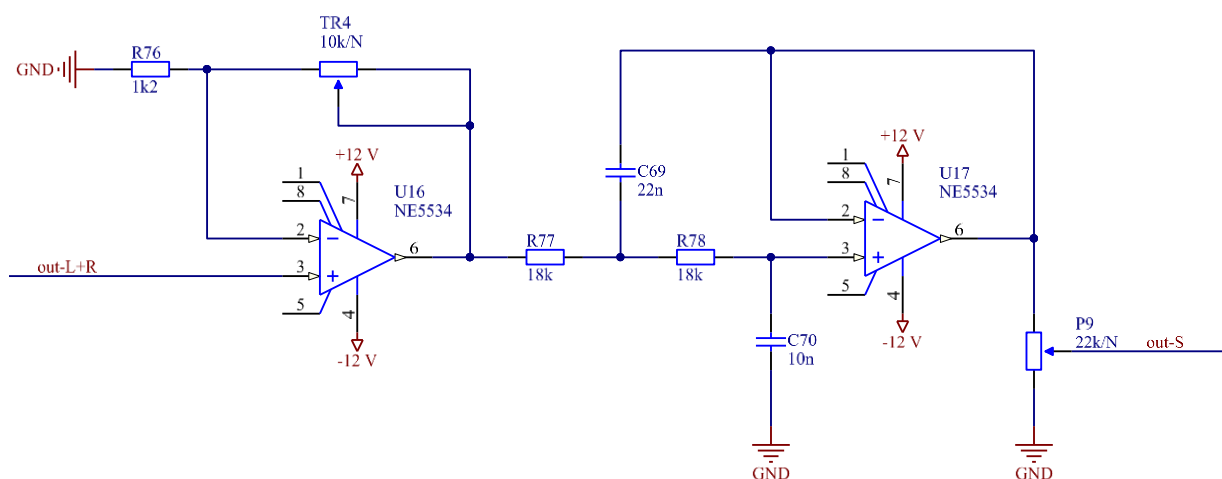
4.3.3 Aktivní propust 2. řádu

Zapojení dolní propusti druhého řádu vychází ze stránek vyvoj.hw.cz, kde se autor zabývá stavbou tří-kanálové výhybky [11] a je uvedeno na obr. 13.



Obr. 13: Převzaté schéma zapojení aktivní dolní propusti [11]

V mém zapojení, které je na obr. 14, je převzatá pouze část obsahující dolní propust. Ta je doplněná o zesilovač a potenciometr pro regulaci hlasitosti.



Obr. 14: Upravené schéma zapojení dolní propusti a zesilovače

Signál přichází ze součtových rezistorů na neinvertující vstup operačního zesilovače U16. Rezistor R76 a trimr TR4 nastavují zesílení podle vztahu:

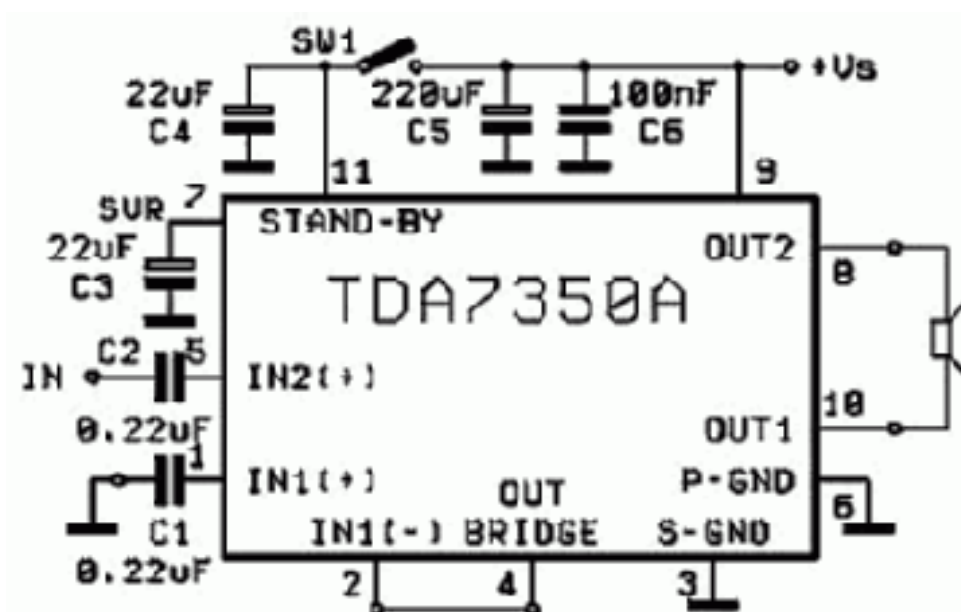
$$A = 1 + \frac{TR_4}{R_{76}} = 1 + \frac{10\,000}{1\,200} = \frac{28}{3} \quad (13)$$

$$a = 20 \log A = 20 \log \left(\frac{28}{3} \right) \doteq 19,4 \text{ dB} \quad (14)$$

Jak je patrné ze vztahu (14), signál je zesílen téměř o 20 dB. Součtové rezistory však tvoří dělič a sníží úroveň signálu přesně o třetinu. Celkové zesílení je tedy přibližně 10 dB, což je vidět v přiložené charakteristice. Následuje samotná dolní propust druhého řádu se sklonem -40 dB/dek. Je tvořena rezistory R_{77} a R_{78} , kondenzátory C_{69} a C_{70} a operačním zesilovačem U_{17} . Jde tedy o aktivní propust. Její zesílení $A = 1$ už nijak nezasahuje do zesílení. Operační zesilovač zabraňuje zatížení propusti, a proto se její vlastnosti nemění. Je nastavena na mezní kmitočet $f_m = 400$ Hz, při kterém je útlum $a = -3$ dB a fáze $\varphi = 90^\circ$ [11]. Potenciometr P_9 slouží k nastavení hlasitosti nízkých kmitočtů a dá se interpretovat jako regulátor hlasitosti pro subwoofer. Konektorem X_7 signál přechází do koncového zesilovače.

4.4 KONCOVÉ ZESILOVAČE

Tři identické koncové zesilovače pro levý kanál, pravý kanál a subwoofer tvoří monolitické zesilovače třídy AB typu TDA7350. Jde o obvody, které se používají především v autorádiích, ale najdou uplatnění i jinde. Jejich výhodou je bezpochyby jednoduché zapojení. To vychází z katalogového listu. Lze zvolit mezi stereofonním režimem nebo monofonním režimem (režim BRIDGE). Zapojení v režimu BRIDGE je na obr. 15. Já používám právě tento režim, neboť lze dosáhnout při napájecím napětí 18 V maximálního výkonu 22 W. Pro obyčejné domácí reproduktory tento výkon naprosto vyhovuje.

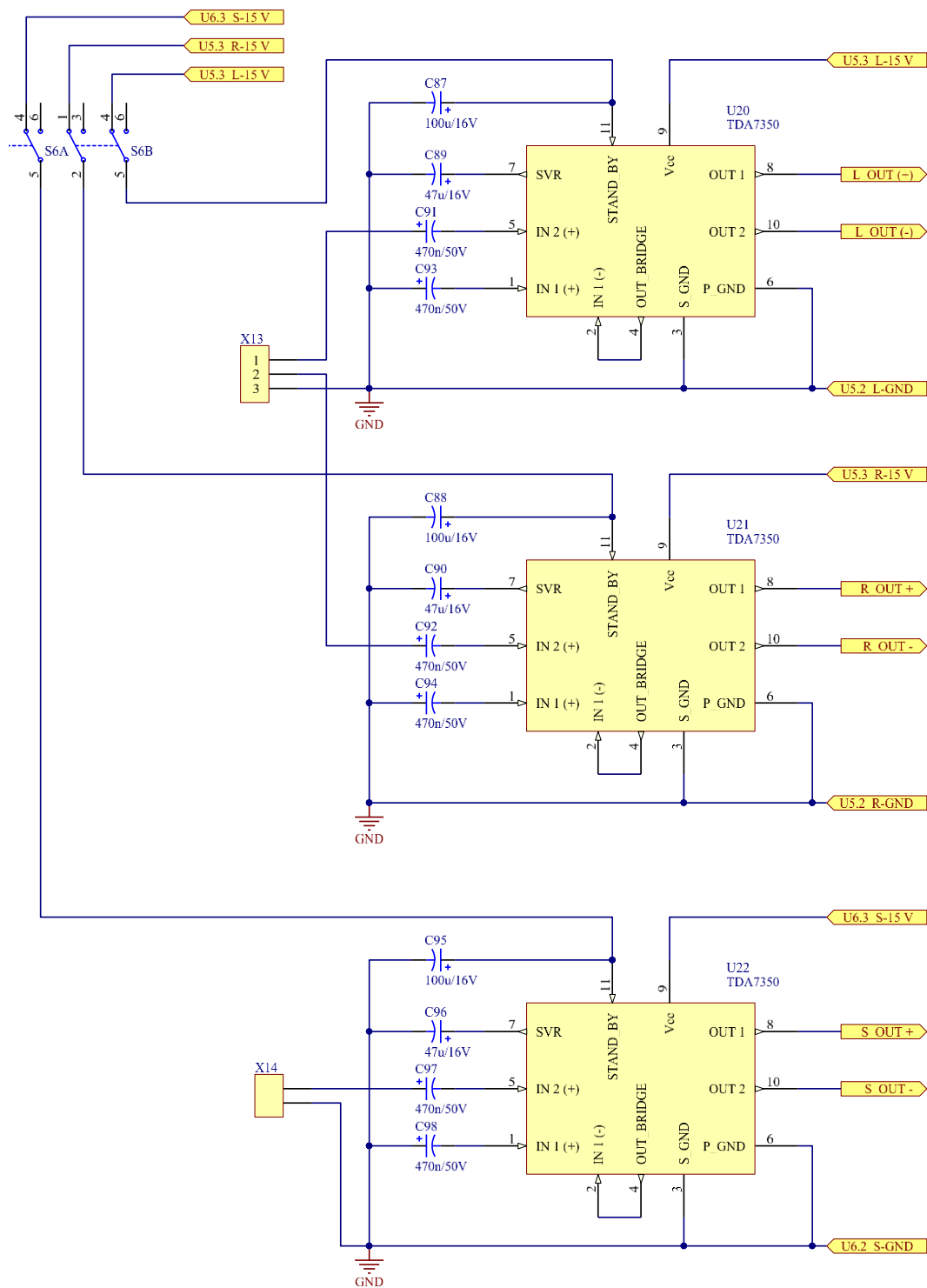


Obr. 15: Zapojení obvodu TDA7350 [12]

Při návrhu jsem vycházel ze zapojení, které se používá v autorádiích, a ze zdroje [12].

Stereofonní signál přichází z konektoru X₁₃ a prochází přes kondenzátor C₉₁ (C₉₂) na neinvertující vstup zesilovače. Přivedením napájecího napětí na vstup STAND-BY se aktivuje koncový stupeň. Odpojením se obvod vypne. Toho jsem využil jako funkci MUTE. Spínač S₆ tak synchronně vypne všechny tři koncové zesilovače. Na rozdíl od odpojení napájecího napětí nenastane nepříjemné prasknutí v reproduktorech. Malou prodlevu zde zajišťuje kondenzátor C₈₇ (C₈₉) a vylepšuje tak funkci tlačítka MUTE.

Signál pro subwoofer vstupuje konektorem X14. Jinak je zapojení identické. Zapojení všech tří zesilovačů s funkcí MUTE je na obr. 16.



Obr. 16: Schéma zapojení koncových zesilovačů

4.5 ZESILOVAČ PRO SLUCHÁTKA

Sluchátkový zesilovač neklade tak vysoké nároky na výkon. Obecně stačí kolem 1 W. Proto jsem zvolil velice rozšířený zesilovač LM386. Vyznačuje se velkým napěťovým zesílením. To lze nastavit velice snadno zařazením kondenzátoru nebo rezistoru do speciální zpětné vazby, nebo zpětnou vazbu nechat úplně rozpojenou, a tím ponechat základní zesílení.

Zapojení vychází z datasheetu a ze zdroje [13]. Jedná se o klasické zapojení doplněné o snížení šumu rezistorem R_{83} (R_{84}) a kondenzátorem C_{77} (C_{78}). Tato úprava je podrobně popsána v Radioamatérském zpravodaji [14]. Jak je vidět v tab. 3, zesílení se dá nastavit propojkami SJ_1 (SJ_2) a SJ_3 (SJ_4) a popisuje ho následující tabulka:

A	SJ_1 (SJ_2)	SJ_3 (SJ_4)
20	OPEN	OPEN
50	CLOSE	OPEN
200	OPEN	CLOSE

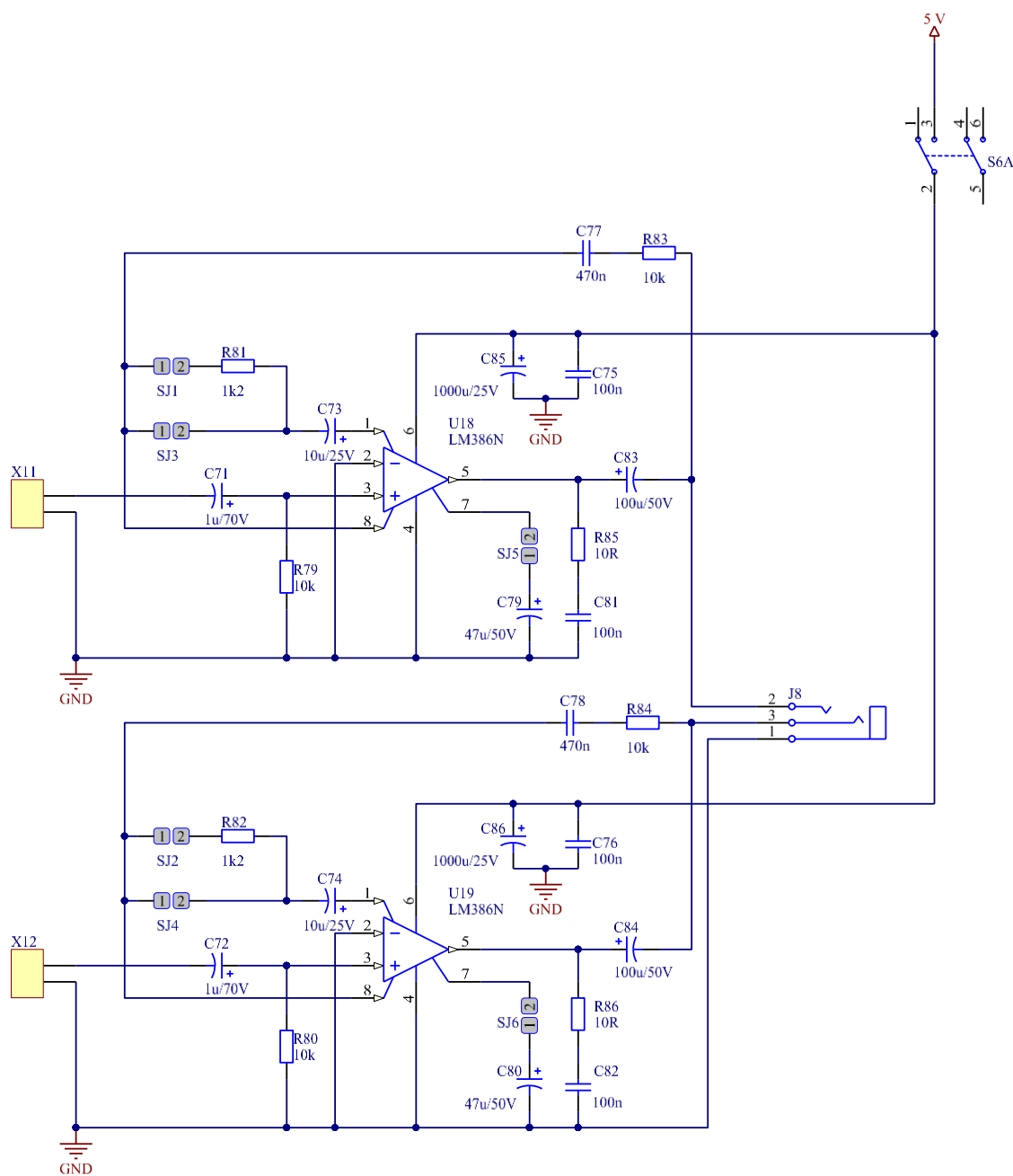
Tab. 3: Varianty zesílení sluchátkového zesilovače

Po vyzkoušení všech variant jsem ponechal základní zesílení i s ohledem na relativně nízký šum a stabilitu.

Přepnutím přepínače S_6 se přivede napájení 5 V pro zesilovače U_{18} a U_{19} . Kondenzátory C_{85} (C_{86}) vyhlazují napětí a kondenzátory C_{75} (C_{76}) zabraňují rozkmitání a vstupu rušení.

Na obr. 17 je vidět, že signál je přiváděn z konektrem X_{11} (X_{12}) a přes kondenzátor C_{71} (C_{72}) na neinvertující vstup zesilovače. Propojka SJ_5 (SJ_6) je spojena a tím je připojen kondenzátor C_{79} (C_{80}), který zajišťuje lepší vlastnosti zesilovače.

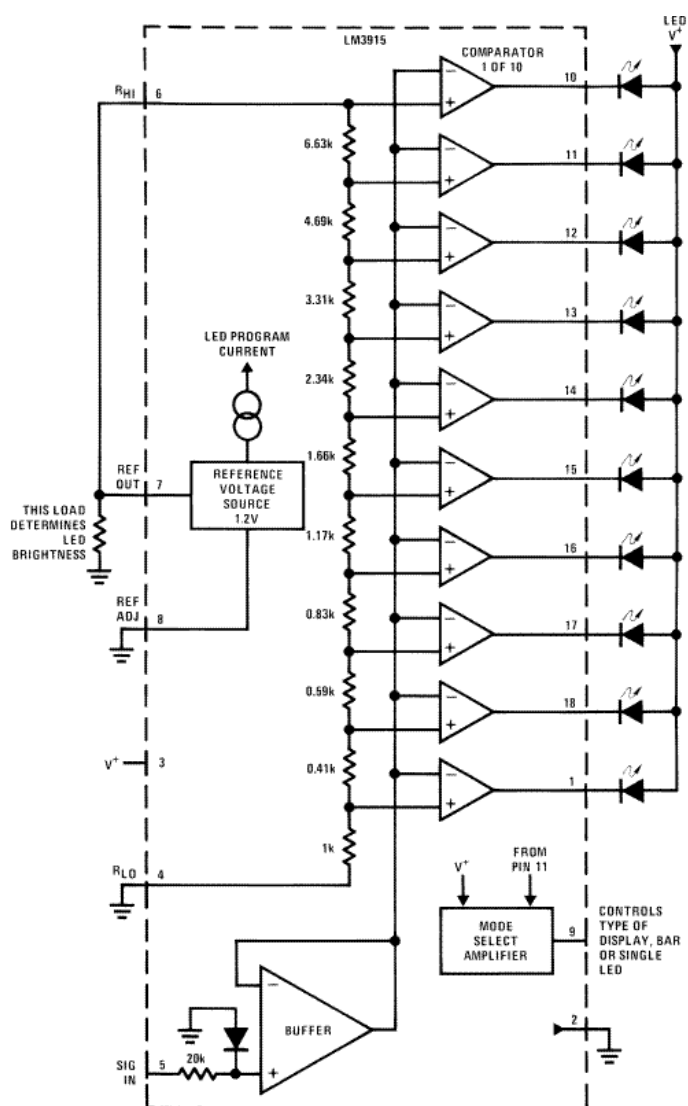
Obr. 17: Schéma zesilovače pro sluchátka



4.6 BARGRAF

Indikátor vybuzení, bargraf, slouží k zobrazení velikosti amplitudy výstupního signálu. Je složen z deseti diod, osmi žlutých a dvou červených. Každá z nich je pro útlum o -3 dB, popřípadě zisk o +3 dB. Všechny žluté diody svítí v případě, když je výstupní signál rovný vstupnímu. Při nastavení maximálního zesílení svítí tedy všechny diody.

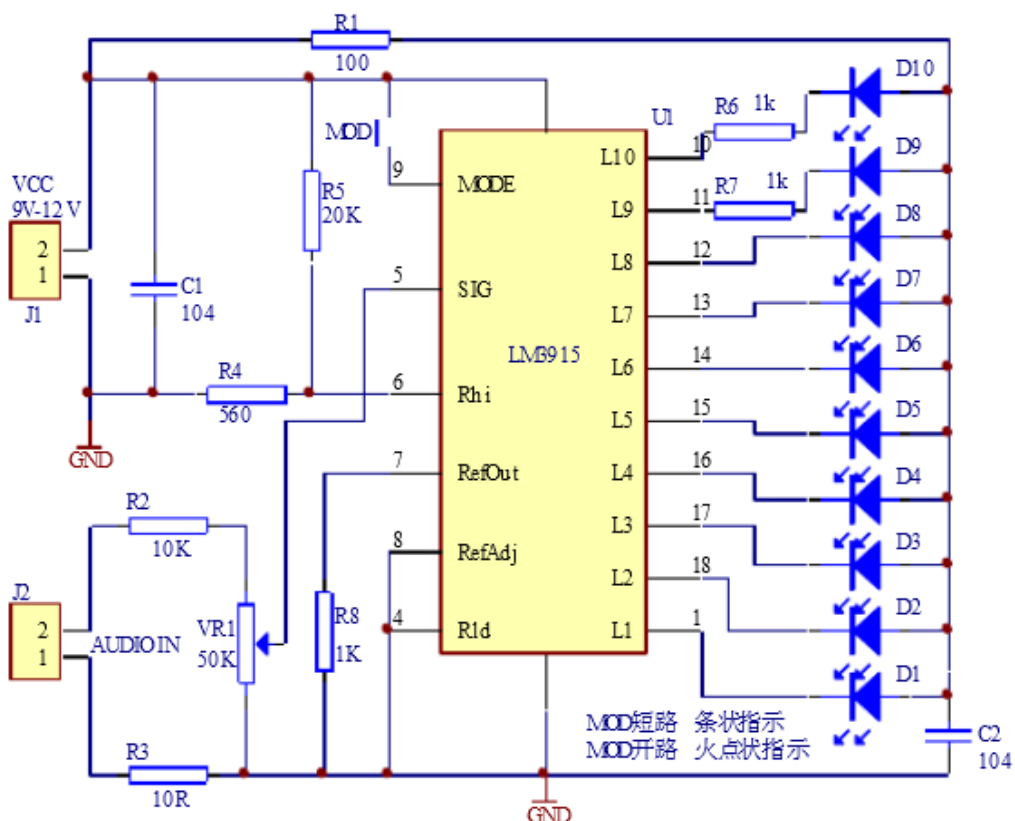
Základem je integrovaný obvod LM3915, jehož vnitřní zapojení je uvedeno na obr. 18. Obsahuje deset komparátorů, logaritmický dělič a zdroj konstantního proudu pro LED indikátory.



Obr. 18: Vnitřní zapojení obvodu LM3915 [16]

Připojením pinu 9 na napájecí napětí lze přepnout z bodové indikace do pásmové.

Konstrukce vychází ze zapojení na obr. 19. To je upravené pro menší velikost signálu, než uvádí autor. Tím je také zajištěno správné zobrazení pro $A = 1$. Schéma bylo součástí stavebnice, kterou jsem zakoupil u výrobce. Jak jsem později zjistil, vlastní úpravy nestačí pro ideální funkci. Vznikl návrh vlastního zapojení i s tištěným spojem. Ten byl ale rozměrově mnohem větší a do zesilovače se při stávajících rozměrech otvorů nevešel. Použil jsem tedy celou stavebnici dodanou výrobcem.



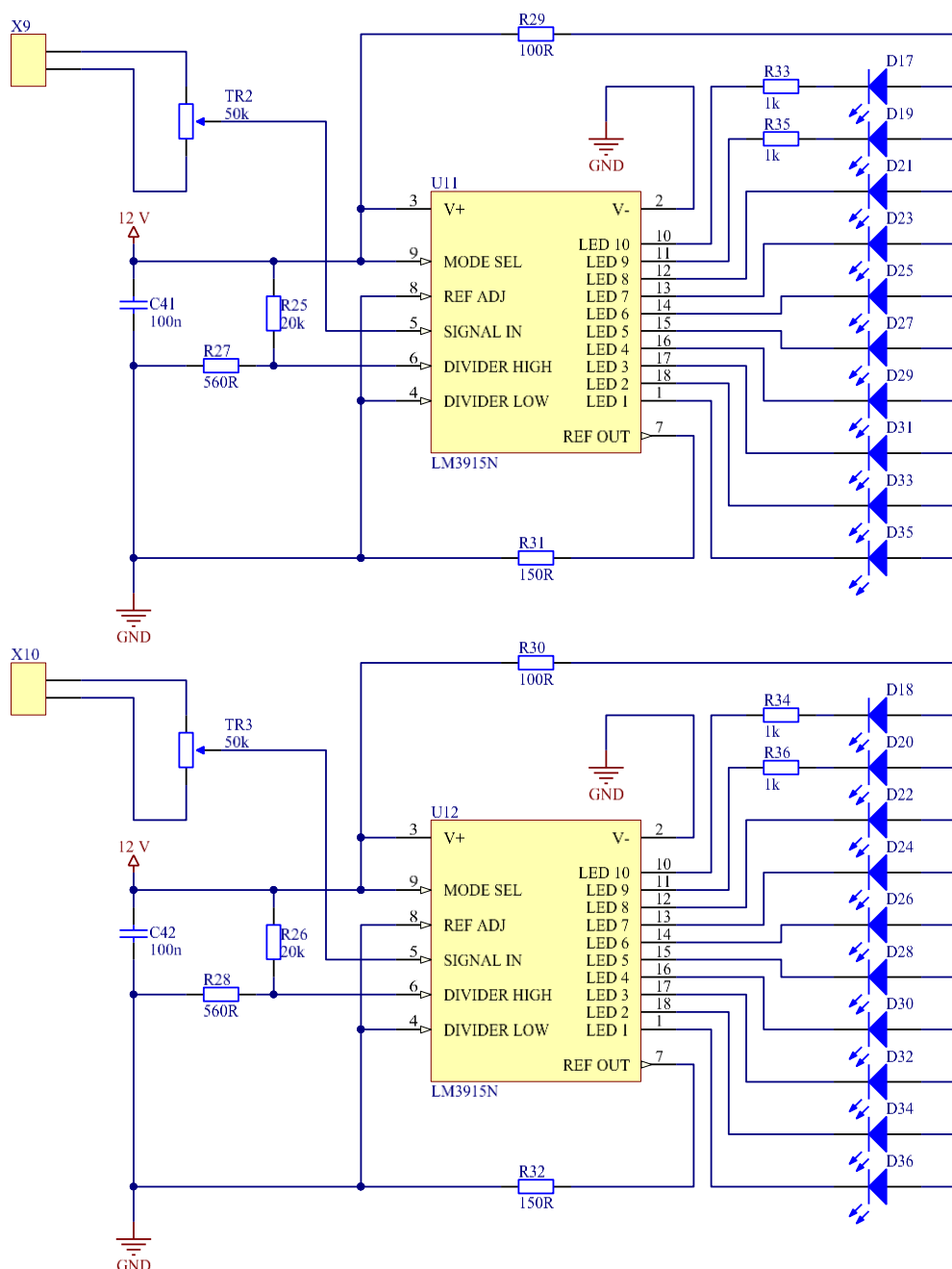
Obr. 19: Původní schéma zapojení od výrobce stavebnice

Indikátor obsahuje dva tištěné spoje. Pro levý a pravý kanál jsou dvě identické zapojení. Signál vstupuje konektorem X₉ (X₁₀) a je přímo přiveden na vstup 5 (SIGNAL IN), jelikož je trimr TR2 (TR3) nastavený do krajní polohy. Dělič rezistorů R₂₅ (R₂₆) a R₂₇ (R₂₈) nastavuje horní hranici napětí pro vnitřní kvantovací dělič, jehož horní vývod je přístupný na pinu 6 (DRIVER HIGH). Toto napětí zjistíme vztahem (15). Jde o maximální velikost amplitudy signálu, kterou je indikátor schopný zobrazit.

$$\begin{aligned}
 U_{HI} &= U \cdot \frac{R_{27(28)}}{R_{27(28)} + R_{25(26)}} \\
 &= 12 \cdot \frac{560}{560 + 20\,000} \doteq 0,327 \text{ V}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Kvantovací dělič je druhým koncem připojen na zem. Rezistor R₃₁ (R₃₂) nastavuje proud pro jednotlivé LED, ponechal jsem hodnotu od výrobce. Rezistor R₂₉ (R₃₀) je zařazen jako dodatečná ochrana LED. Rezistory R₃₃ až R₃₆ snižují napětí pro červené LED.

Obr. 20: Schéma zapojení dvou indikátorů vybuzení



5 DESKY TIŠTĚNÝCH SPOJŮ

5.1 NÁVRH

Všechny vyrobené tištěné spoje jsou výsledkem dlouhého bádání a vytváření nevhodnějších variant v programu DesignSpark PCB. Kromě zmíněné stavebnice jsem všechny navrhl podle vlastní představy, a proto nejspíše nesplňují všechny kritéria návrhu. Jde o jednostranné tištěné spoje, na které jsou osazovány součástky metodou THT i SMT. Právě použití SMD součástek vedlo k jisté úspoře místa. Především se jedná o rezistory, některé keramické kondenzátory a proudové diody.

Takto navrhnuté desky jsou po výrobě mírně upraveny. Některé součástky jsou vynechány, některé naopak přidány. Došlo například k zásadním změnám v předzesilovači. Proto původní návrh DPS nesouhlasí s konečnou podobou výrobku, ani se schématem. To bylo upraveno podle skutečného zapojení.

Všechny návrhy DPS jsou k dispozici jako příloha.

5.2 VÝROBA

Samotná výroba probíhala skutečně v domácích podmínkách. Vytisknutý návrh na obyčejném nebo lesklém papíře jsem zmenšil podle velikosti cuprexitové desky. Tu bylo potřeba nejprve přesně uříznout. K tomu jsem použil svoji modelářskou cirkulárku. Když byl papír s předlohou připraven, bylo potřeba toner z tiskárny přenést na desku. Existuje mnoho variant přenosu. Zde jsem použil odzkoušenou metodu přežehlování. Předlohu jsem přiložil na desku a žehličkou jsem celý komplet pod mírným tlakem zahříval po takovou dobu, která je nutná pro obtisknutí toneru na měděnou vrstvu. Takto upravenou desku jsem zbavil papíru a ponořil do chemické lázně chloridu železitého (FeCl_3), který odstraní nechráněnou měď. Po dokončení chemické reakce jsem acetonem odstranil toner. Tím je deska připravená k další úpravám.

Za předpokladu, že DPS obsahuje součástky osazované metodou THT, musí se provrtat díry pro vývody. Já vrtání provádím vrtáčkem o průměru 1 mm (podle potřeby 2 mm nebo 3 mm). Ten je upnutý do frézky, která vrtá při otáčkách kolem $25\,000\text{ min}^{-1}$.

Poté nastává fáze očištění, osazení a letování. Je jasné, že se začíná od nejmenších SMD součástek až po ty největší.

DPS jsou ve skříní uchyceny pomocí šroubů a distančních maticek.

Celá výroba není tak složitá. Hlavní předností je možnost přizpůsobení desky omezeným možnostem, speciálním součástkám nebo dodatečným úpravám.

6 SKŘÍŇ

Skříň je navržena podle vlastní fantazie a svým vzhledem připomíná spotřebiče používané převážně ve 20. století.

6.1 VÝROBA

Výkres je tvořen v programu Solid Edge ST6. Jde o studentskou verzi známého programu od firmy Siemens. Využil jsem znalostí z 1. ročníku, a tak vznikl výkres potřebný k vyrobení celé skříně. Výkresová dokumentace je součástí příloh.

Samotná skříň je dělaná na zakázku dle výkresu. Vyvrtání DPS a jejich osazení jsem provedl sám. Stejně tak jako nanášení barvy přes všechny šrouby a spojovací materiál. Chladič je přizpůsobený tvaru skříně.

6.2 OSAZENÍ

V čelním panelu jsou umístěné ovládací součástky, displej i indikátory. Pro lepší orientaci jsou přidány popisky vlastní výroby. Jsou zhotovené ve volně dostupném programu Gimp2 a vytištěné na křídový papír. Nalepeny jsou pomocí oboustranné lepicí pásky.

Zadní panel obsahuje vstupní a výstupní konektory, prostor pro zmíněný chladič a síťový konektor standardizovaného typu.

7 ZÁVĚR

Cílem této práce byla realizace zesilovače, který slouží převážně k reprodukci hudby v domácnosti. Při návrhu a celkové realizaci byly splněny veškeré požadavky. Desky plošných spojů jsou vlastní výroby a osazení příslušnými součástkami proběhlo bez problému, stejně jako oživení a otestování jednotlivých částí.

Měření všech charakteristik probíhalo na vývojové desce ELVIS II od National Instruments a pomocí diagnostických zařízení v laboratořích školy. Tak bylo možné velice přesně označit všechny dráhy potenciometrů a vyrobit k nim příslušné stupnice. K průběžnému měření sloužil také vlastní osciloskop. Všechny charakteristiky jsou uvedené jako příloha. Vycházejí z nich závěry a základní informace, ze kterých jsou získány parametry zesilovače.

Při návrhu a realizaci jsem se dopustil několika chyb. První z nich spočívá nespojení všech společných vodičů v jednom místě. To má za následek slabý brum v reproduktorech. Experimentováním s přepojením zemí signálových přepínačů se mi však podařilo brum snížit na téměř neslyšitelnou úroveň. Další chyba byla v použití špatného typu transformátoru, který měl spojený jeden konec vinutí s kostrou. Tento problém měl za následek zkrat. Proto jsem ho musel vyměnit za transformátor s vyšším napětím, na které nejsou koncové stupně stavěny. Zařazením stabilizátorů se tento problém vyřešil, nepatrně se však zhoršily vlastnosti zesilovače.

Celá stavba proběhla v několika měsících. Jen některé součástky bylo třeba zakoupit nové, a tak se celková cena nevyšplhala příliš vysoko. Je velice těžké ji odhadnout. Pro domácí podmínky se zesilovač výborně hodí. Je vybaven všemi typy konektorů, se kterými se lze v domácnosti setkat, a tak je jeho použití velice široké. Dají se k němu připojit další periferie, kterým poskytuje kromě audio signálu i symetrické napájení.

Výhody zesilovače jsou hlavně v jeho univerzálním použití, robustním provedení a relativně velkém výkonu.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1:	Blokové schéma zesilovače.....	5
Obr. 2:	Síťový filtr.....	6
Obr. 3:	Zapojení filtru s útlumovou frekvenční charakteristikou [2].....	6
Obr. 4:	Stabilizační část zdroje.....	7
Obr. 5:	Vnitřní zapojení obvodu Si4703 [3].....	9
Obr. 6:	Specifikace LCD 5110 [7].....	10
Obr. 7:	Zapojení vývodů - Arduino Pro-mini, CH340G [8].....	12
Obr. 8:	Zapojení mikroprocesoru včetně příslušenství.....	13
Obr. 9:	Schéma zapojení jednotlivých vstupů a výstupu signálu.....	15
Obr. 10:	Schéma zapojení s úpravou pro potenciometry 22k/N [10].....	16
Obr. 11:	Vnitřní zapojení obvodu NE5532P.....	16
Obr. 12:	Úplné schéma zapojení korekčního předzesilovače.....	19
Obr. 13:	Převzaté schéma zapojení aktivní dolní propusti [11].....	20
Obr. 14:	Upravené schéma zapojení dolní propusti a zesilovače.....	20
Obr. 15:	Zapojení obvodu TDA7350 [12].....	22
Obr. 16:	Schéma zapojení koncových zesilovačů.....	23
Obr. 17:	Schéma zesilovače pro sluchátka.....	25
Obr. 18:	Vnitřní zapojení obvodu LM3915 [16].....	26
Obr. 19:	Původní schéma zapojení od výrobce stavebnice.....	27
Obr. 20:	Schéma zapojení dvou indikátorů vybuzení.....	28

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Základní parametry zesilovače	4
Tab. 2: Parametry zdroje.....	8
Tab. 3: Varianty zesílení sluchátkového zesilovače	24

10 SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ A LITERATURY

- [1] Bipolární tranzistory[online] SPŠE Mohelnice [cit. 2017.02.12] Dostupné z:
<http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/tranzistory-bip.htm>
- [2] Síťové filtry [online] VÚT Brno [cit. 2017.02.16] Dostupné z:
<http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node21>
- [3] Si4703 [online]SparkFun [cit. 2017.02.16] Dostupné z:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/Si4702-03-C19-1.pdf>
- [4] Si4703 - knihovna [online] GitHub [cit. 2017.02.16] Dostupné z:
<https://github.com/mathertel/Radio>
- [5] LCD 5110 - knihovna [online] Arduino návody [cit. 2017.02.16] Dostupné z:
<http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/lcd-displej-nokia-5110.html>
- [6] LM317 [online] Datasheet [cit. 2017.02.18] Dostupné z:
<http://html.alldatasheet.com/html-pdf/8619/NSC/LM317/156/4/LM317.html>
- [7] Parametry LCD 5110 [online] PhotoBucket[cit. 2017.02.18] dostupné z:
http://i11119.photobucket.com/albums/k636/mib_instruments/diy/LCDC2A0SPEC.jpg
- [8] Arduino Pro-mini [online] ROBU - robotics [cit. 2017.02.18] Dostupné z:
<https://aws.robust.in/wp-content/uploads/2016/03/promini.png>
- [9] Srovnání OZ [online] Audio fórum [cit. 2017.02.18] Dostupné z:
<http://hifi.slovanet.sk/bb/viewtopic.php?t=13608&sid=b4ff8ebda7105e969e648ffa551239aa>
- [10] Zpětnovazební korektor [online] AudioWeb [cit. 2017.02.18] Dostupné z:
<http://www.audioweb.cz/viewtopic.php?id=10407>
- [11] Dolní propust 2. řádu [online] HW.cz [cit.2017.02.19] Dostupné z:
<http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/konstrukce/tri-kanalova-vykonova-aktivni-reproduktorova-vyhybka.html>
- [12] TDA7350 [online] RadioMuseum [cit. 2017.02.19] Dostupné z:
http://www.radiomuseum.org/images/tubeenvdiag_klein/tda7350_umgeb1.png
- [13] LM386 - zapojení [online] Elektro bastlárna [cit. 2017.02.19] Dostupné z:
<http://www.ebastlirna.cz/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=52483>
- [14] LM386 - snížení šumu [online] Radioamatérský zpravodaj [cit. 2017.02.19] Dostupné z: <http://www.radio.qrp.cz/2/clanky/lm386.htm>
- [15] LM386 - zesílení [online] OK1CDJ - blog [cit. 2017.02.19] Dostupné z:
<http://blog.ok1cdj.com/2012/11/jednoduchy-univerzalni-zesilovac-s-lm386.html>
- [16] LM3915 [online] Electrical Engineering [cit. 2017.02.20] Dostupné z:
<http://electronics.stackexchange.com/tags/lm3915/info>
- [17] NE5532P [online] Datasheet [cit. 2017.02.20] Dostupné z:
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/27244/TI/NE5532.html>
- [18] NE5534 [online] Datasheet [cit. 2017.02.20] Dostupné z:
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/27246/TI/NE5534.html>

- [19] LM3915 [online] Datasheet [cit. 2017.02.20] Dostupné z:
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/558236/TI/LM3915.html>
- [20] TDA7350 [online] Datasheet [cit. 2017.02.20] Dostupné z:
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25143/STMICROELECTRONICS/TDA7350.html>
- [21] LM78xx [online] Datasheet [cit. 2017.02.20] Dostupné z:
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/9037/NSC/LM78XX.html>

11 PŘÍLOHY

- Příloha 1: Seznam použitých součástek
- Příloha 2: Zdrojový kód
- Příloha 3: Návrhy DPS
- Příloha 4: Charakteristiky
- Příloha 5: Výkres skříně
- Příloha 6: Fotodokumentace
- Příloha 7: Blokové schéma
- Příloha 8: Schéma zdroje
- Příloha 9: Schéma zpracování signálu
- Příloha 10: Schéma koncových zesilovačů
- Příloha 11: Schéma přijímače a indikátoru vybuzení

Příloha 1: Seznam použitých součástek

Označení	Popis (hodnota)
R1	330k
R2	43R
R3	43R
R4	10R
R5	47R
R6	18k
R7	18k
R8	18k
R9	150R
R10	150R
R11	150R
R12	150R
R13	10k
R14	10k
R15	4k7
R16	4k7
R17	4k7
R18	4k7
R19	4k7
R20	8k2
R21	8k2
R22	8k2
R23	8k2
R24	8k2
R25	20k
R26	20k
R27	560R
R28	560R
R29	100R
R30	100R
R31	150R
R32	150R
R33	1k
R34	1k
R35	1k
R36	1k
R37	1k2
R38	1k2
R39	1k2
R40	1k2

R41	1k2
R42	1k2
R43	1k2
R44	1k2
R45	1k2
R46	1k2
R47	5k6
R48	5k6
R49	5k6
R50	5k6
R51	5k6
R52	5k6
R53	5k6
R54	5k6
R55	5k6
R56	5k6
R57	93k
R58	93k
R59	1k2
R60	1k2
R61	1k
R62	1k
R63	1k
R64	1k
R65	2k2
R66	2k2
R67	2k2
R68	2k2
R69	2k2
R70	2k2
R71	2k2
R72	2k2
R73	91k
R74	91k
R75	91k
R76	1k2
R77	18k
R78	18k
R79	10k
R80	10k
R81	1k2
R82	1k2

R83	10k
R84	10k
R85	10R
R86	10R
TR1	18k
TR2	50k
TR3	50k
TR4	10k
P1	22k/N
P2	22k/N
P3	22k/N
P4	22k/N
P5	22k/N
P6	22k/N
P7	22k/N
P8	22k/N
P9	22k/N
C1	470n
C2	20n
C3	2,5n
C4	2,5n
C5	100n
C6	100n
C7	100n
C8	100n
C9	100n
C10	100n
C11	100n
C12	100n
C13	4m7/25 V
C14	4m7/25 V
C15	4m7/25 V
C16	4m7/25 V
C17	4m7/25 V
C18	4m7/25 V
C19	4m7/25 V
C20	4m7/25 V
C21	1m5/25 V
C22	1m5/25 V
C23	2m2
C24	100n

C25	100n
C26	100n
C27	100n
C28	100n
C29	100n
C30	10m/25 V
C31	10m/25 V
C32	2m2/16 V
C33	100n
C34	100n
C35	4m7/6,3 V
C36	2m2/16 V
C37	2m2/16 V
C38	2m2/16 V
C39	100n
C40	100n
C41	100n
C42	100n
C43	2u2/10 V
C44	2u2/10 V
C45	2u2/10 V
C46	2u2/10 V
C47	2u2/10 V
C48	2u2/10 V
C49	2u2/10 V
C50	2u2/10 V
C51	2u2/10 V
C52	2u2/10 V
C53	22u/16 V
C54	22u/16 V
C55	22n
C56	22n
C57	2u2
C58	2u2
C59	15n
C60	15n
C61	150n
C62	150n
C63	150n
C64	150n
C65	4u7
C66	4u7
C67	2u2
C68	2u2

C69	22n
C70	10n
C71	1u/70 V
C72	1u/70 V
C73	10u/25 V
C74	10u/25 V
C75	100n
C76	100n
C77	470n
C78	470n
C79	47u/50 V
C80	47u/50 V
C81	100n
C82	100n
C83	100u/50 V
C84	100u/50 V
C85	1m/25 V
C86	1m/25 V
C87	100u/16 V
C88	100u/16 V
C89	47u/16 V
C90	47u/16 V
C91	470n/50 V
C92	470n/50 V
C93	470n/50 V
C94	470n/50 V
C95	100u/16 V
C96	47u/16 V
C97	470n/50 V
C98	470n/50 V
F1	2,5 A
F2	2,5 A
F3	5 A
D1	1N4007
D2	1N4007
D3	1N4007
D4	1N4007
D5	1N4007
D6	1N4007
D7	610-CMJ4500TR,5 mA
D8	LED, 3 mm, Green
D9	610-CMJ4500TR,5 mA

D10	LED, 3 mm, Green
D11	610-CMJ4500TR,5 mA
D12	LED, 3 mm, Green
D13	610-CMJ4500TR,5 mA
D14	LED, 3 mm, Green
D15	LED, 15x15 mm, Green
D16	LED, 15x15 mm, Green
D17	LED, 2x5 mm, Red
D18	LED, 2x5 mm, Red
D19	LED, 2x5 mm, Red
D20	LED, 2x5 mm, Red
D21	LED, 2x5 mm, Orange
D22	LED, 2x5 mm, Orange
D23	LED, 2x5 mm, Orange
D24	LED, 2x5 mm, Orange
D25	LED, 2x5 mm, Orange
D26	LED, 2x5 mm, Orange
D27	LED, 2x5 mm, Orange
D28	LED, 2x5 mm, Orange
D29	LED, 2x5 mm, Orange
D30	LED, 2x5 mm, Orange
D31	LED, 2x5 mm, Orange
D32	LED, 2x5 mm, Orange
D33	LED, 2x5 mm, Orange
D34	LED, 2x5 mm, Orange
D35	LED, 2x5 mm, Orange
D36	LED, 2x5 mm, Orange
DB1	SEMIKRON, SKD 25/16
U1	LM7812CT
U2	LM7912CT
U3	LM7912CP
U4	LM7805CP
U5	LM7815CP
U6	LM7815CP
U7	LM317N
U8	Arduino Pro-mini
U9	Display 5110 Nokia
U10	Si7403
U11	LM3915N
U12	LM3915N
U13	NE5532P
U14	NE5532P

U15	NE5532P
U16	NE5534
U17	NE5534
U18	LM386N
U19	LM386N
U20	TDA7350
U21	TDA7350
U22	TDA7350
SJ1	2pin Jumper
SJ2	2pin Jumper
SJ3	2pin Jumper
SJ4	2pin Jumper
SJ5	2pin Jumper
SJ6	2pin Jumper
X1	3pin konektor
X2	4pin konektor
X3	3pin konektor
X4	3pin konektor
X5	3pin konektor
X6	3pin konektor
X7	2pin konektor
X8	3pin konektor
X9	2pin konektor
X10	2pin konektor
X11	2pin konektor
X12	2pin konektor
X13	3pin konektor
X14	2pin konektor
S1	Tesla – ISOSTAT
S2	Tesla – ISOSTAT
S3	Tesla – ISOSTAT
S4	Tesla – ISOSTAT
S5	Tesla – ISOSTAT
S6	Tesla – ISOSTAT
S7	Tesla – ISOSTAT
S8	Tesla – ISOSTAT
EN1	Enkoder, rotační, RE20
TL1	Tesla – ISOSTAT
TL2	Tesla – ISOSTAT

TL3	Tesla – ISOSTAT
TL4	Tesla - ISOSTAT
TL5	Tesla - ISOSTAT
TL6	Tesla - ISOSTAT
TL7	Tesla - ISOSTAT
J1	3.5 mm, stereo jack
J2	3.5 mm, stereo jack
J3	Cinch
J4	Cinch
J5	Tesla - DIN5
J6	Tesla - DIN5
J7	5pin konektor

Příloha 2: Zdrojový kód

```
/*
 *           MAREK ŠTAMPOCH
 *           VOŠ a SPŠ, Jičín           EA4
 *
 *           IMP 2017
 *
 *           FM_RADIO - Arduino Pro Mini - ATmega328
 *
 *-----*
 */

#include <Arduino.h>                // vkládání knihoven
#include <Wire.h>
#include <radio.h>
#include <SI4703.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_PCD8544.h>
#include <RDSParser.h>
#include <Encoder.h>

#define LCD_BACKLIGHT 10            // definování proměnných
#define FIX_BAND    RADIO_BAND_FM
#define FIX_STATION 8760            // výchozí frekvence (87.60 MHz)
#define FIX_VOLUME  8              // výchozí úroveň hlasitosti
#define BTN1 A7                    // přiřazování pinů do proměnných
#define BTN2 A6
#define BTN3 6
#define BTN4 5
#define BTN5 7
#define BTN6 8
#define BTN7 9
#define LED A2
#define RST 11
#define CE 12
#define DC A1
#define DIN A0
#define CLK 13
#define VCC_IN    A3
#define VCC_CONST 4800UL

SI4703 radio;                       // základní inicializace knihoven
RDSParser rds;

Encoder enc(3, 4);
Adafruit_PCD8544 display = Adafruit_PCD8544 (RST, CE, DC, DIN, CLK);
```

```

enum SCAN_STATE {
    STATE_START,
    STATE_NEWFREQ,
    STATE_WAITFIXED,
    STATE_WAITRDS,
    STATE_PRINT,
    STATE_END
};

SCAN_STATE state;
uint16_t g_block1;
static int8_t LcdContlnit = 55;
int32_t encRef = enc.read();
int32_t pod = 1;

/*
-----*
*/

// příjem RDS
void RDS_process(uint16_t block1, uint16_t block2, uint16_t block3, uint16_t
block4)
{
    rds.processData(block1, block2, block3, block4);
}

void DisplayServiceName(char *name) { // vypsání RDS
    display.fillRect(0, 40, 128, 10, WHITE);
    display.setCursor(3, 40);
    display.print(F("RDS: "));
    display.print(name);
    display.display();
}

/*
-----*
*/

void setup() { // inicializace procesoru

    pinMode(LCD_BACKLIGHT, OUTPUT); // definice pinů
    pinMode(BTN1, INPUT_PULLUP); // připojení pullup rezistorů
    pinMode(BTN2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(BTN3, INPUT_PULLUP);
    pinMode(BTN4, INPUT_PULLUP);
    pinMode(BTN5, INPUT_PULLUP);
    pinMode(BTN6, INPUT_PULLUP);
    pinMode(BTN7, INPUT_PULLUP);
    pinMode(VCC_IN, INPUT); // definice pinů
    pinMode(LED, OUTPUT);
}

```



```

analogWrite(LCD_BACKLIGHT, 0);           // definice podsvícení LCD
display.begin();
display.setRotation(2);                   // definice otočení LCD
display.setContrast(55);                  // definice hodnoty kontrastu
display.clearDisplay();                  // smazání celého LCD

display.setTextColor(BLACK);             // zobrazení textu iRadio
display.setCursor(2, 2);
display.setTextSize(2);
display.print(F("iRadio"));
display.display();

int voltage = analogRead(VCC_IN);        // zobrazení hodnoty napětí
display.fillRect(3, 40, 128, 10, WHITE);
display.setCursor(3,40);
display.setTextSize(1);
display.print(F("Vcc = "));
display.print(voltage*VCC_CONST/1000000);
display.print(F("."));
display.print((voltage*VCC_CONST/100000)%10);
display.print((voltage*VCC_CONST/10000)%10);
display.print(F(" V"));
display.display();

display.setCursor(3, 20);                // zobrazení textu při inicializaci
display.setTextSize(1);
display.print(F("LOADING"));
display.display();
delay(250);

display.print(F("."));
display.display();
delay(200);

display.print(F("."));
display.display();
delay(200);

display.print(F("."));
display.display();
delay(400);

radio.debugEnable();
radio.init();
delay(50);

```

```

radio.setMono(false); // definice výchozího stavu rádia
radio.setMute(false);
radio.setBandFrequency(FIX_BAND, FIX_STATION);
radio.setVolume(FIX_VOLUME);
radio.attachReceiveRDS(RDS_process);
rds.attachServiceNameCallback(DisplayServiceName);

display.fillRect(3, 40, 128, 10, WHITE); // smazání části displeje
display.display();
}

/*
*-----*
*/

void loop() { // hlavní smyčka
  Display(); // zobrazení informací
  Vol(); // nastavení hlasitosti
  Scan(); // vyhledávání stanice
  Stanice(); // nastavení stanice

  Contrast(); // nastavení kontrastu
  Podsv(); // nastavení podsvícení

  radio.checkRDS(); // příjem RDS

  digitalWrite(LED,LOW); // zhasnutí indikační LED
  delay(20); // časové zpoždění
}

/*
*-----*
*/

void Display() { // zobrazení statického textu
  long vol = radio.getVolume();
  display.fillRect(0, 20, 69, 10, WHITE);
  display.setCursor(3, 20);
  display.setTextSize(1);
  display.print(F("VOLUME: "));
  display.print(vol);

  long freq = radio.getFrequency();
  char s[12];
  radio.formatFrequency(s, sizeof(s));
  display.fillRect(0, 30, 128, 10, WHITE);
  display.setCursor(3, 30);
  display.print(F("FM "));
  display.print(s);
}

```

```

    display.display();
}

void Vol() {                                     // ovládání hlasitosti
    if (analogRead(BTN1) == LOW) {
        digitalWrite(LED,HIGH);
        int v = radio.getVolume();
        if (v < 15) radio.setVolume(++v);
        delay(100);
    }

    if (analogRead(BTN2) == LOW) {
        digitalWrite(LED,HIGH);
        int v = radio.getVolume();
        if (v > 0) radio.setVolume(--v);
        delay(100);
    }
}

void Scan() {                                    // ovládání skenování stanic
    if (digitalRead(BTN4) == LOW) {
        digitalWrite(LED,HIGH);
        radio.seekUp ();
        radio.clearRDS();
    }

    if (digitalRead(BTN3) == LOW) {
        digitalWrite(LED,HIGH);
        radio.seekDown ();
        radio.clearRDS();
    }
}

void Stanice() {                                 // ovládání nastavení frekvence
    if (digitalRead(BTN6) == LOW) {
        digitalWrite(LED,HIGH);
        radio.setFrequency(radio.getFrequency() + 10);
        radio.clearRDS();
    }

    if (digitalRead(BTN5) == LOW) {
        digitalWrite(LED,HIGH);
        radio.setFrequency(radio.getFrequency() - 10);
        radio.clearRDS();
    }
}

```

```

void Contrast() { // nastavení kontrastu
  int32_t encNew = enc.read() + LcdContlnit*4;
  if (encNew < 0) encNew = 20*4;
  if (encNew > 99*4) encNew = 99*4;
  display.setContrast(encNew/4);
  int DisplayCont = (encNew/4);
}

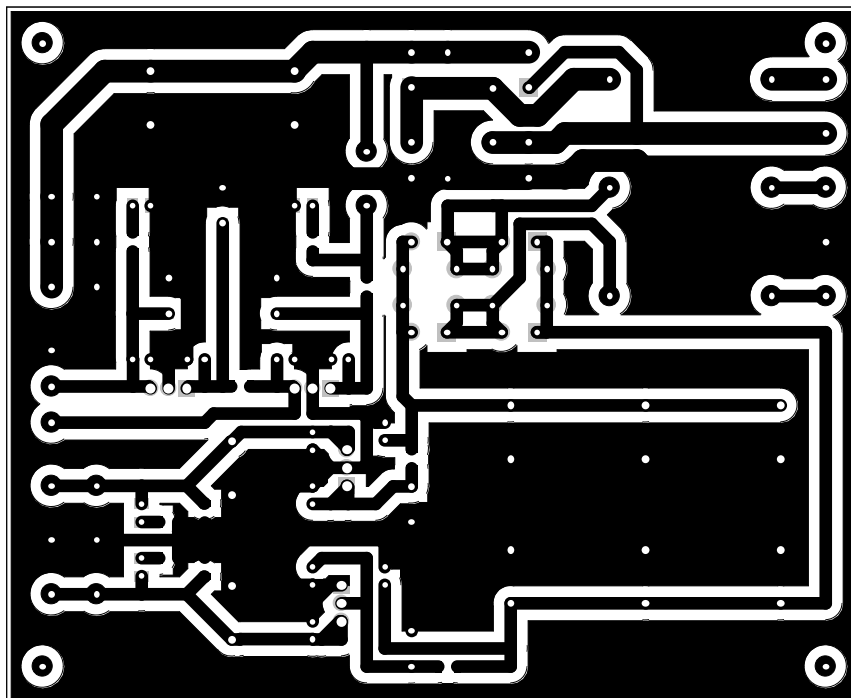
void Podsv() { // nastavení podsvícení
  if (digitalRead(BTN7) == LOW && pod == 2 ) {
    pod = 1;
    analogWrite(LCD_BACKLIGHT, 0);
    delay (100);
  }

  if (digitalRead(BTN7) == LOW && pod == 1 ) {
    pod = 0;
    analogWrite(LCD_BACKLIGHT, 200);
    delay (100);
  }

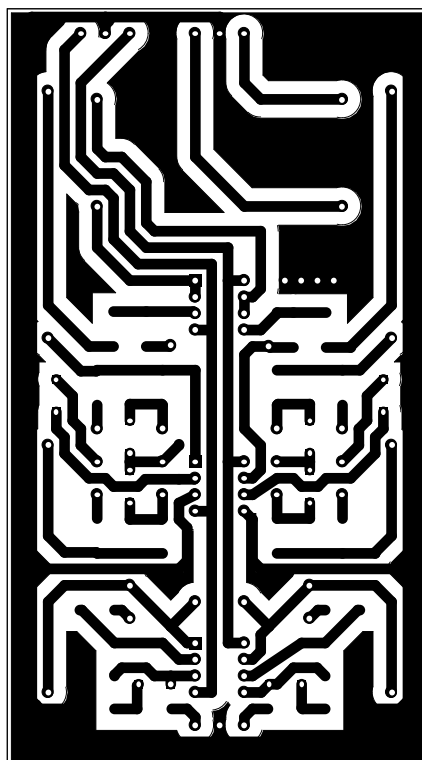
  if (digitalRead(BTN7) == LOW && pod == 0 ) {
    pod = 2;
    analogWrite(LCD_BACKLIGHT, 255);
    delay (100);
  }
}

```

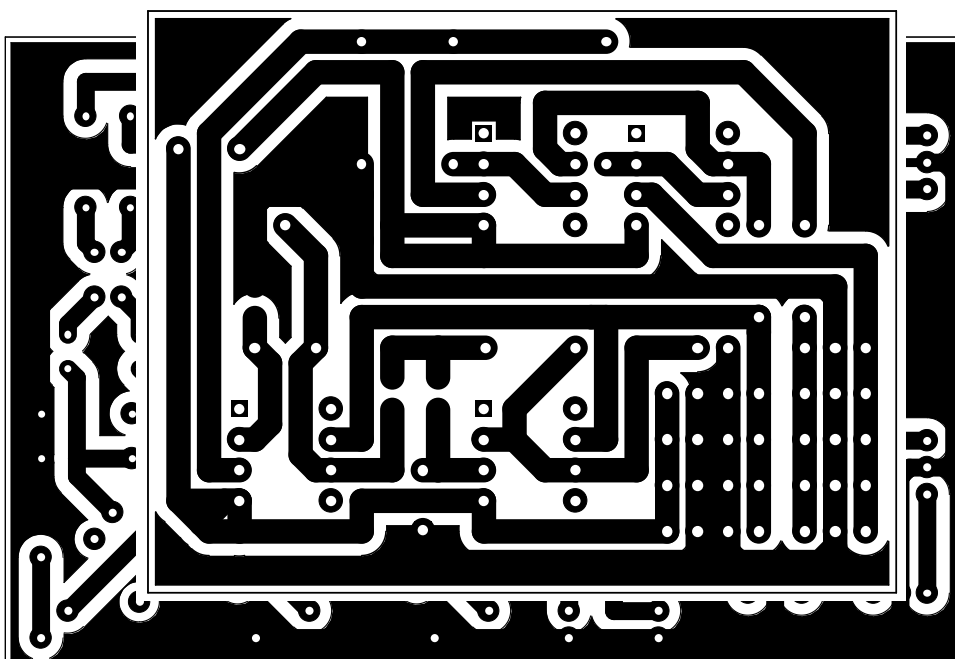
Příloha 3: Návrhy DPS



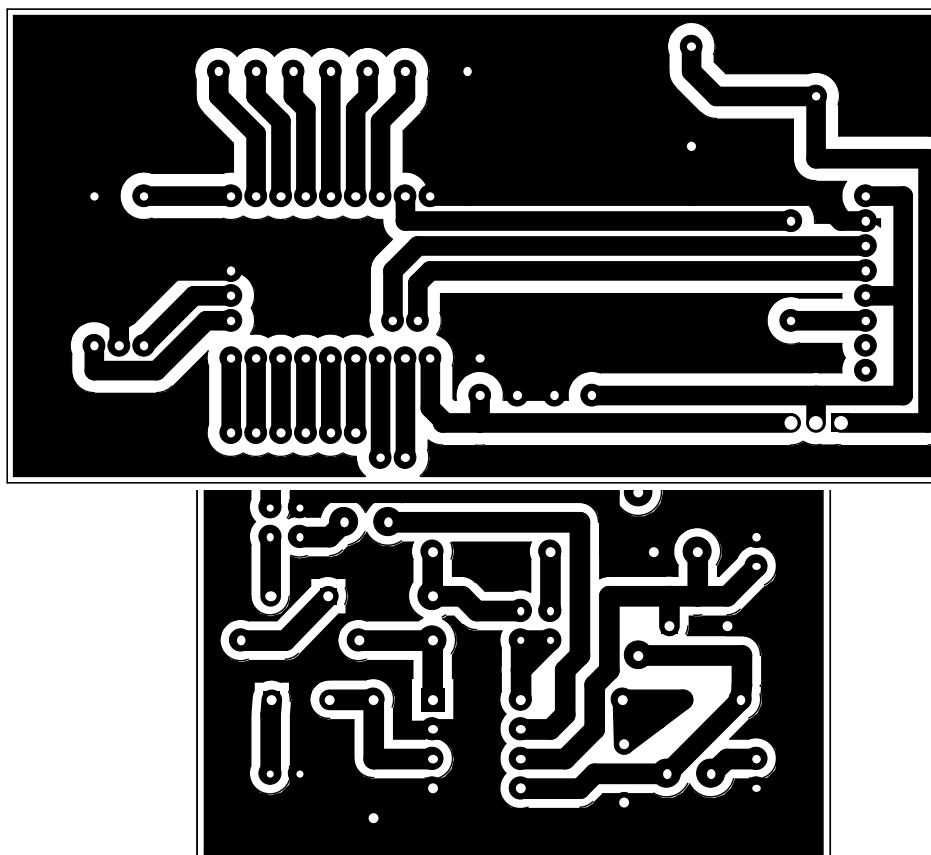
DPS - zdroj



DPS - korekční zesilovač



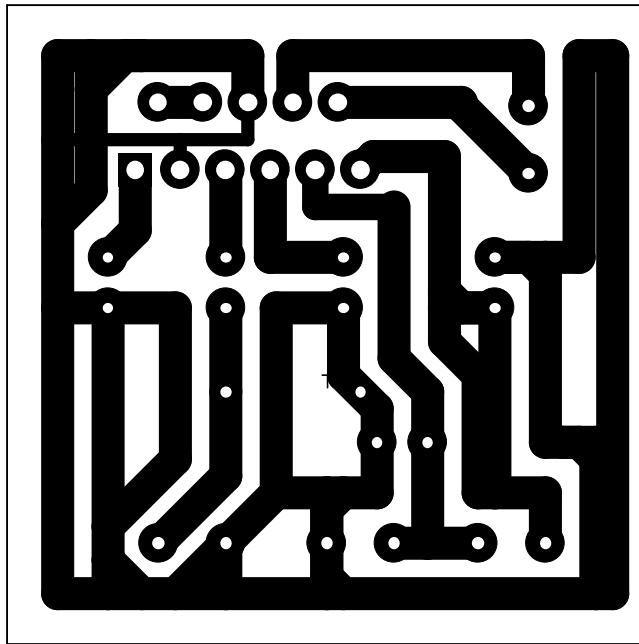
DPS - vstupní deska



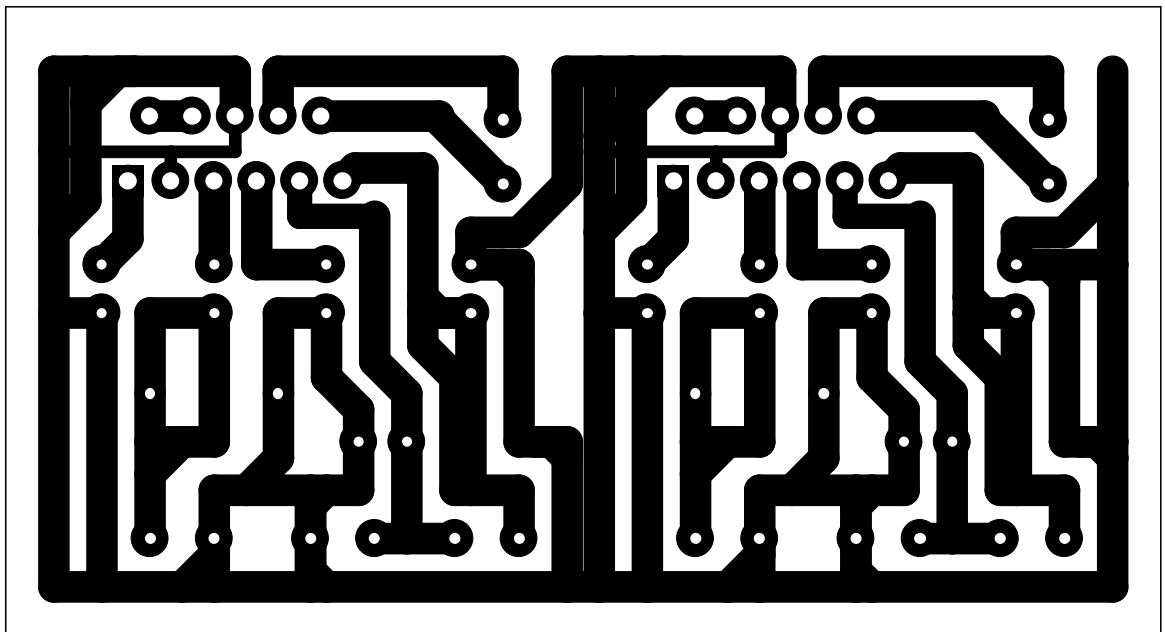
DPS - zesilovač pro sluchátka

DPS - filtr 2. řádu

DPS - rádio

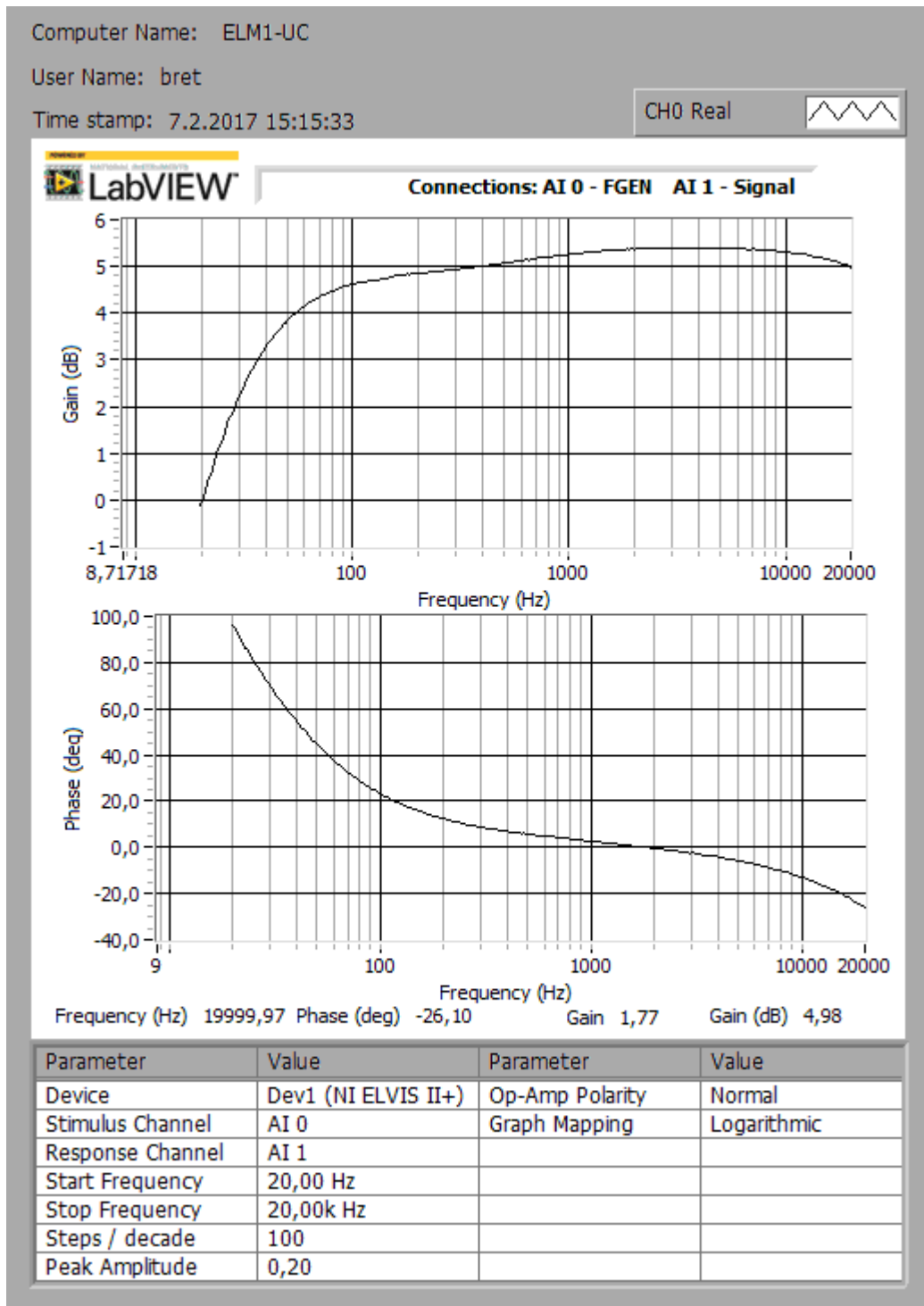


DPS - koncový zesilovač



DPS - koncové zesilovače

Příloha 4: Charakteristiky



Frekvenční charakteristika zesilovače - max. zesílení

Computer Name: ELM1-UC

User Name: bret

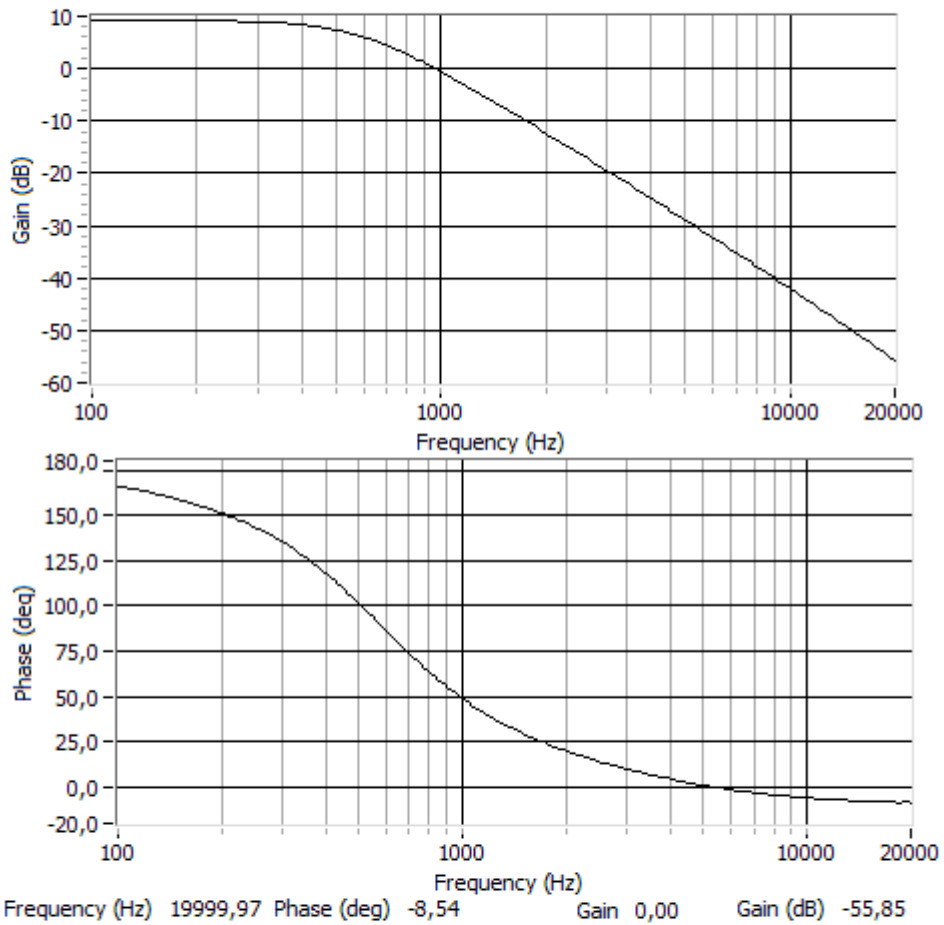
Time stamp: 21.12.2016 16:20:36

CH0 Real



LabVIEW

Connections: AI 0 - FGEN AI 1 - Signal



Parameter	Value	Parameter	Value
Device	Dev1 (NI ELVIS II+)	Op-Amp Polarity	Inverted
Stimulus Channel	AI 0	Graph Mapping	Logarithmic
Response Channel	AI 1		
Start Frequency	20,00 Hz		
Stop Frequency	20,00k Hz		
Steps / decade	100		
Peak Amplitude	1,00		

Frekvenční charakteristika dolní propusti 2. řádu

Computer Name: ELM1-UC

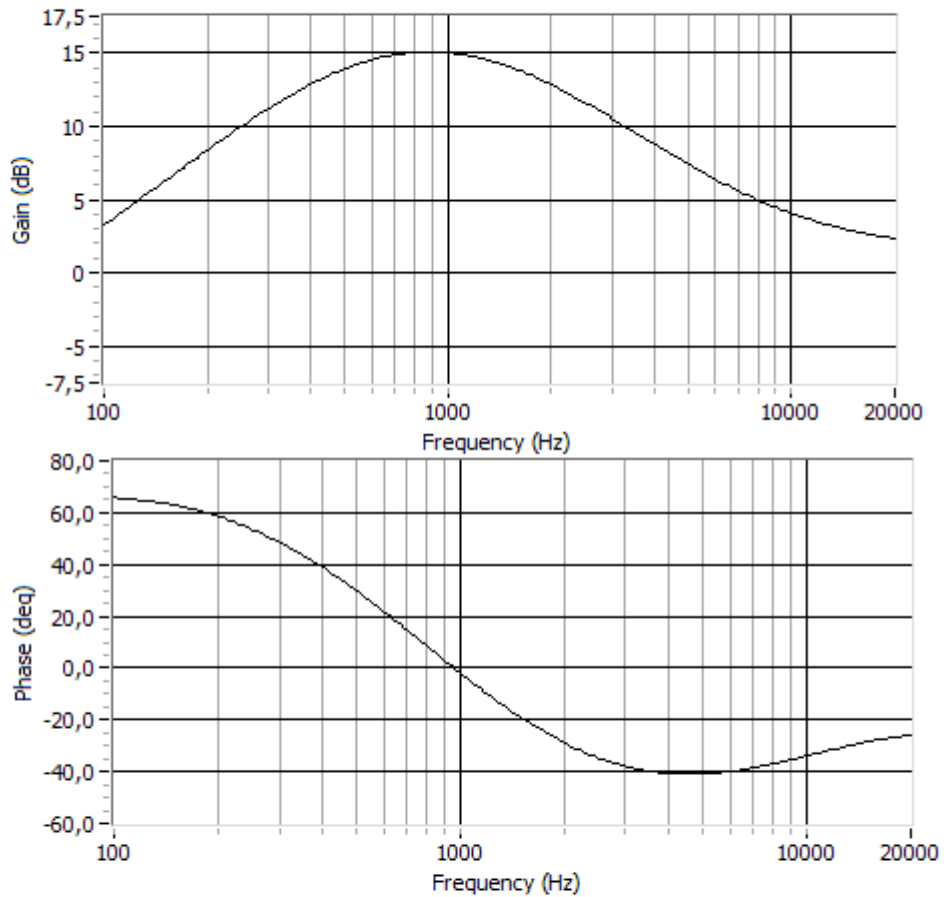
User Name: bret

Time stamp: 21.12.2016 15:53:54

CH0 Real



Connections: AI 0 - FGEN AI 1 - Signal



Frequency (Hz) 19999,97 Phase (deg) -25,95 Gain 1,31 Gain (dB) 2,35

Parameter	Value	Parameter	Value
Device	Dev1 (NI ELVIS II+)	Op-Amp Polarity	Inverted
Stimulus Channel	AI 0	Graph Mapping	Logarithmic
Response Channel	AI 1		
Start Frequency	20,00 Hz		
Stop Frequency	20,00k Hz		
Steps / decade	100		
Peak Amplitude	1,00		

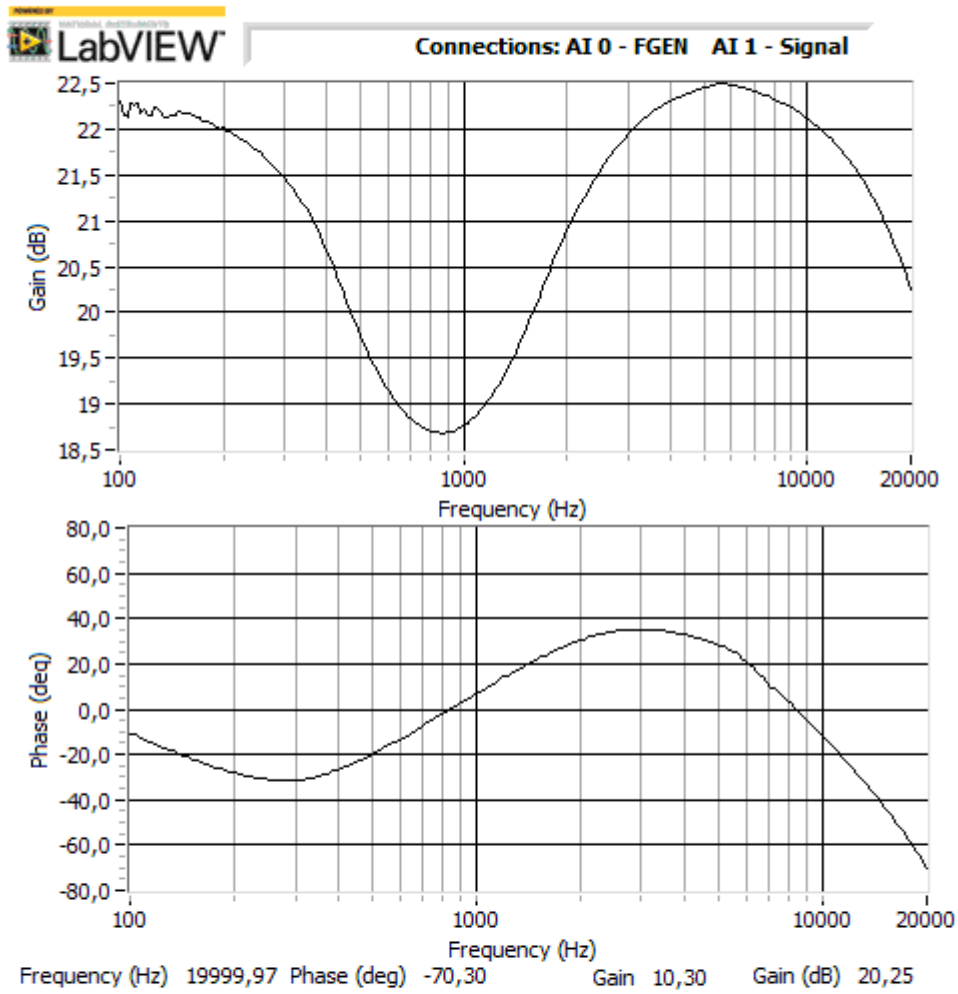
Frekvenční charakteristika - korekce - basy min. zesílení, výšky min. zesílení

Computer Name: ELM1-UC

User Name: bret

Time stamp: 21.12.2016 16:00:13

CH0 Real



Parameter	Value	Parameter	Value
Device	Dev1 (NI ELVIS II+)	Op-Amp Polarity	Inverted
Stimulus Channel	AI 0	Graph Mapping	Logarithmic
Response Channel	AI 1		
Start Frequency	20,00 Hz		
Stop Frequency	20,00k Hz		
Steps / decade	100		
Peak Amplitude	1,00		

Frekvenční charakteristika - korekce - basy max. zesílení, výšky max. zesílení

Computer Name: ELM1-UC

User Name: bret

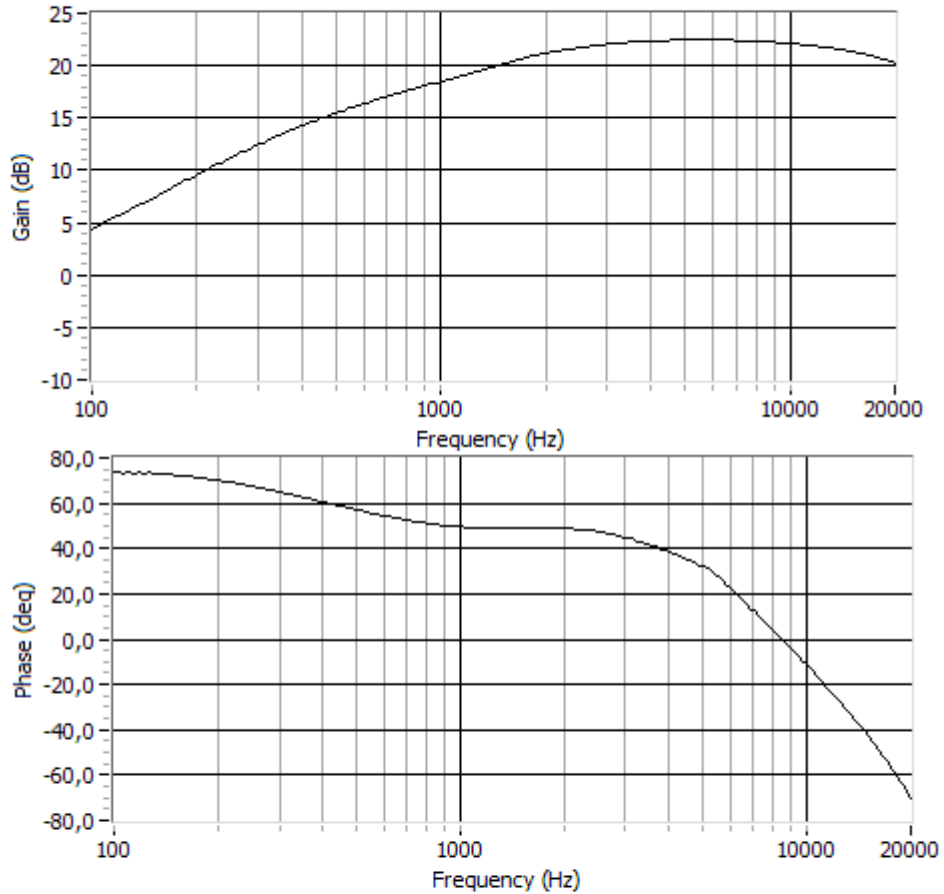
Time stamp: 21.12.2016 16:03:49

CH0 Real



LabVIEW

Connections: AI 0 - FGEN AI 1 - Signal



Frequency (Hz) 19999,97 Phase (deg) -70,09 Gain 10,29 Gain (dB) 20,24

Parameter	Value	Parameter	Value
Device	Dev1 (NI ELVIS II+)	Op-Amp Polarity	Inverted
Stimulus Channel	AI 0	Graph Mapping	Logarithmic
Response Channel	AI 1		
Start Frequency	20,00 Hz		
Stop Frequency	20,00k Hz		
Steps / decade	100		
Peak Amplitude	1,00		

Frekvenční charakteristika - korekce - basy min. zesílení, výšky max. zesílení

Computer Name: ELM1-UC

User Name: bret

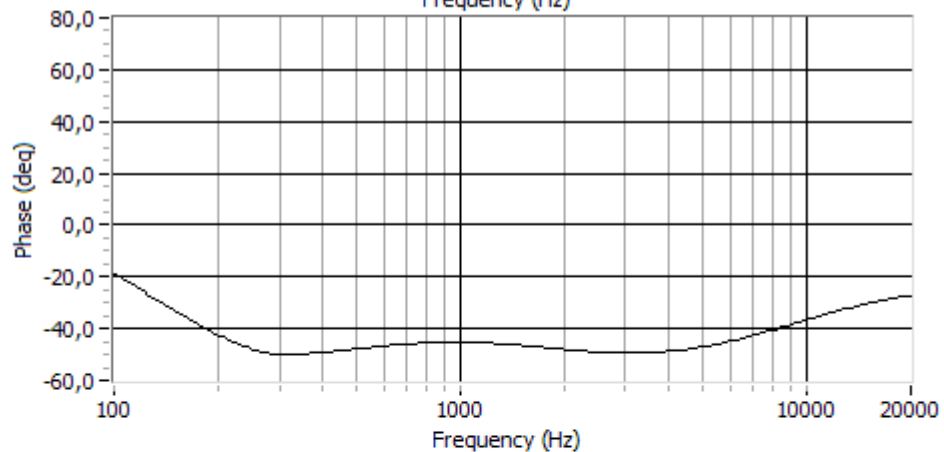
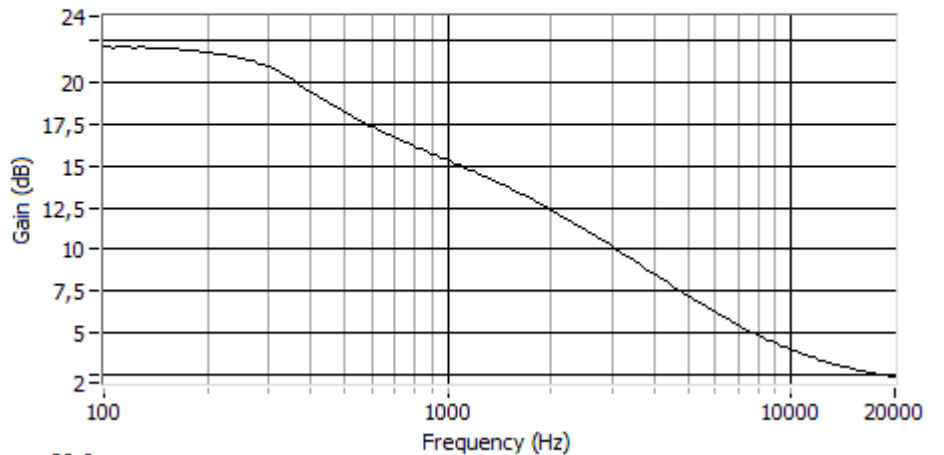
Time stamp: 21.12.2016 16:05:58

CH0 Real



LabVIEW

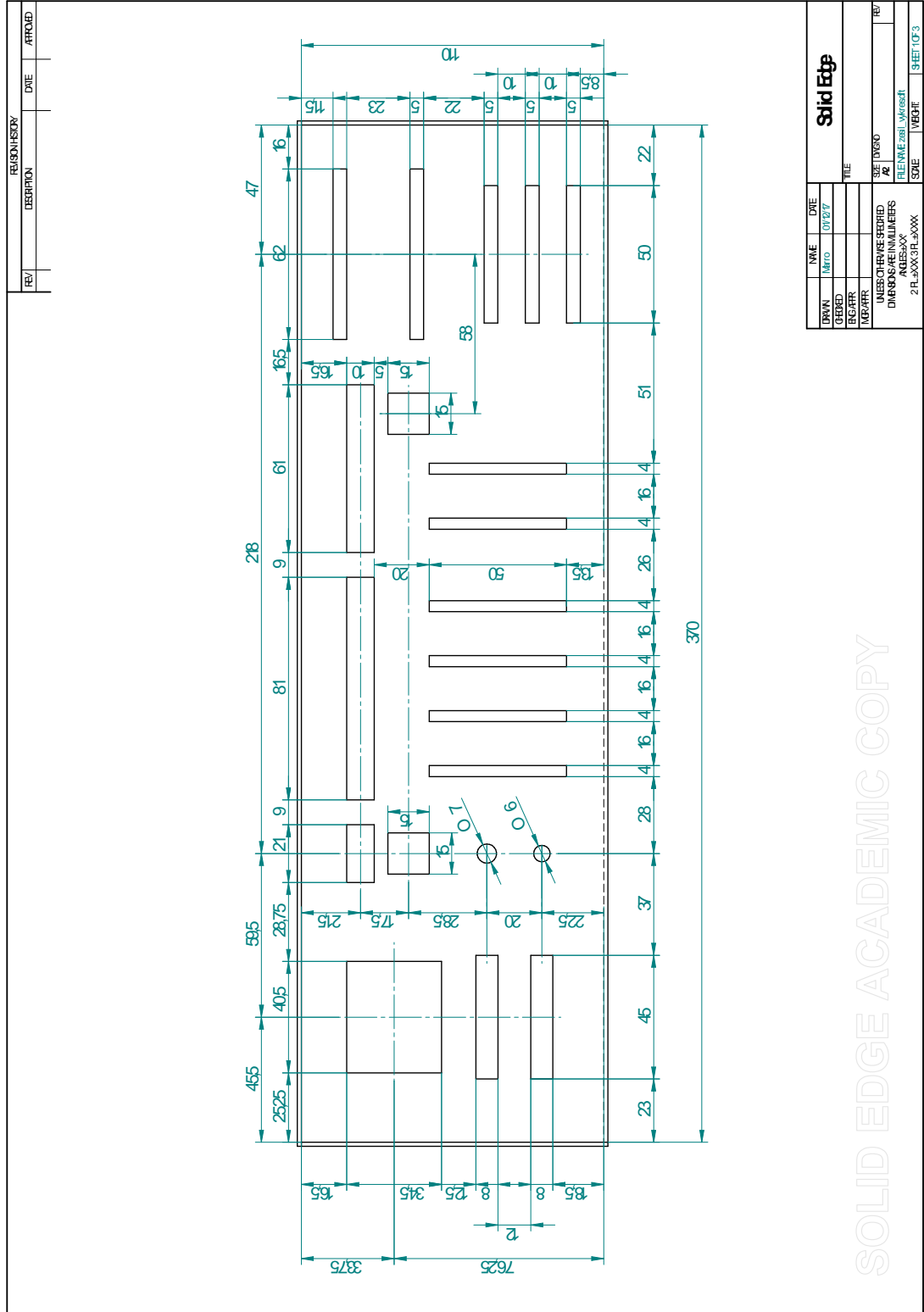
Connections: AI 0 - FGEN AI 1 - Signal



Frequency (Hz) 19999,97 Phase (deg) -27,30 Gain 1,31 Gain (dB) 2,33

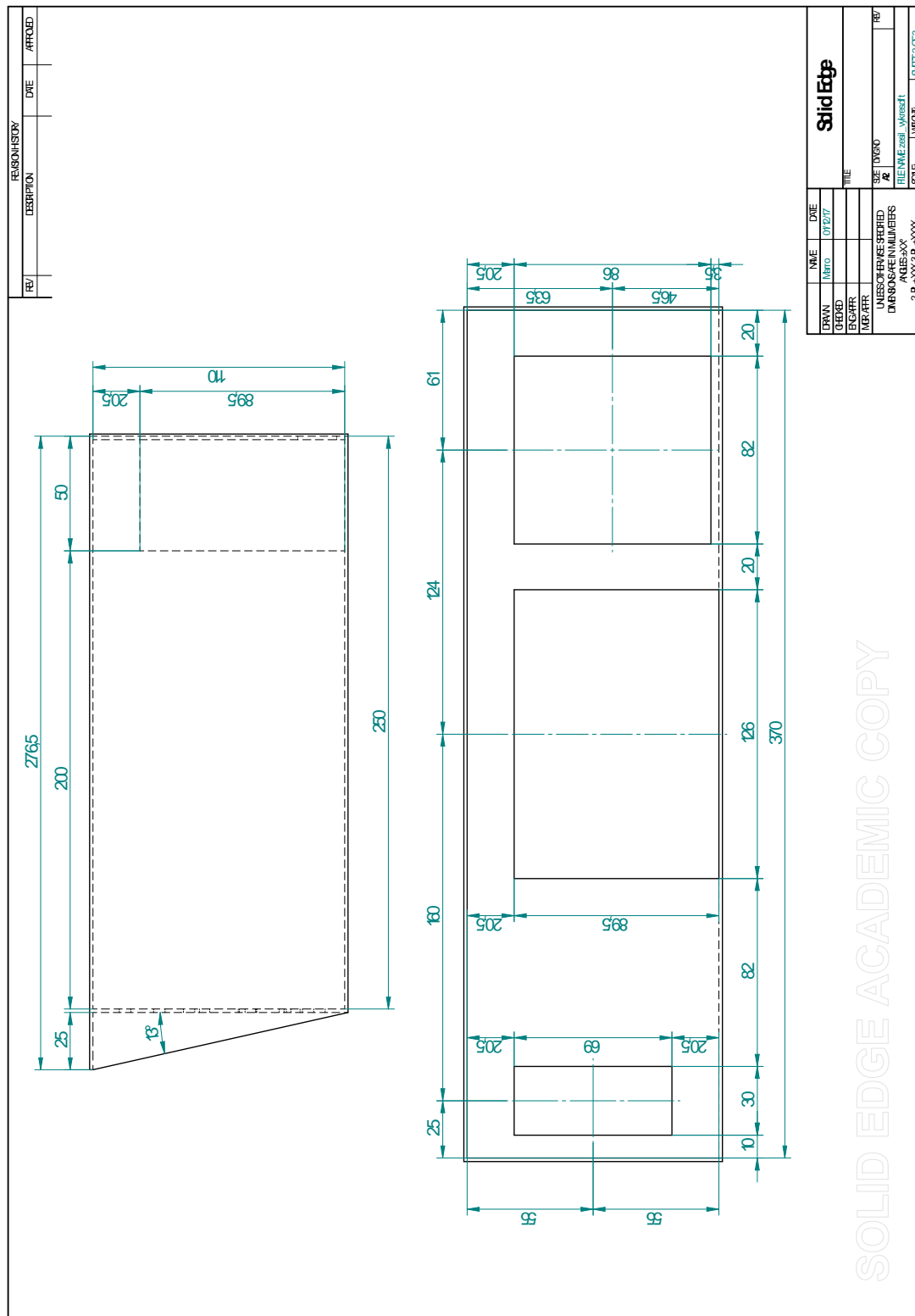
Parameter	Value	Parameter	Value
Device	Dev1 (NI ELVIS II+)	Op-Amp Polarity	Inverted
Stimulus Channel	AI 0	Graph Mapping	Logarithmic
Response Channel	AI 1		
Start Frequency	20,00 Hz		
Stop Frequency	20,00k Hz		
Steps / decade	100		
Peak Amplitude	1,00		

Frekvenční charakteristika - korekce - basy max. zesílení, výšky min. zesílení



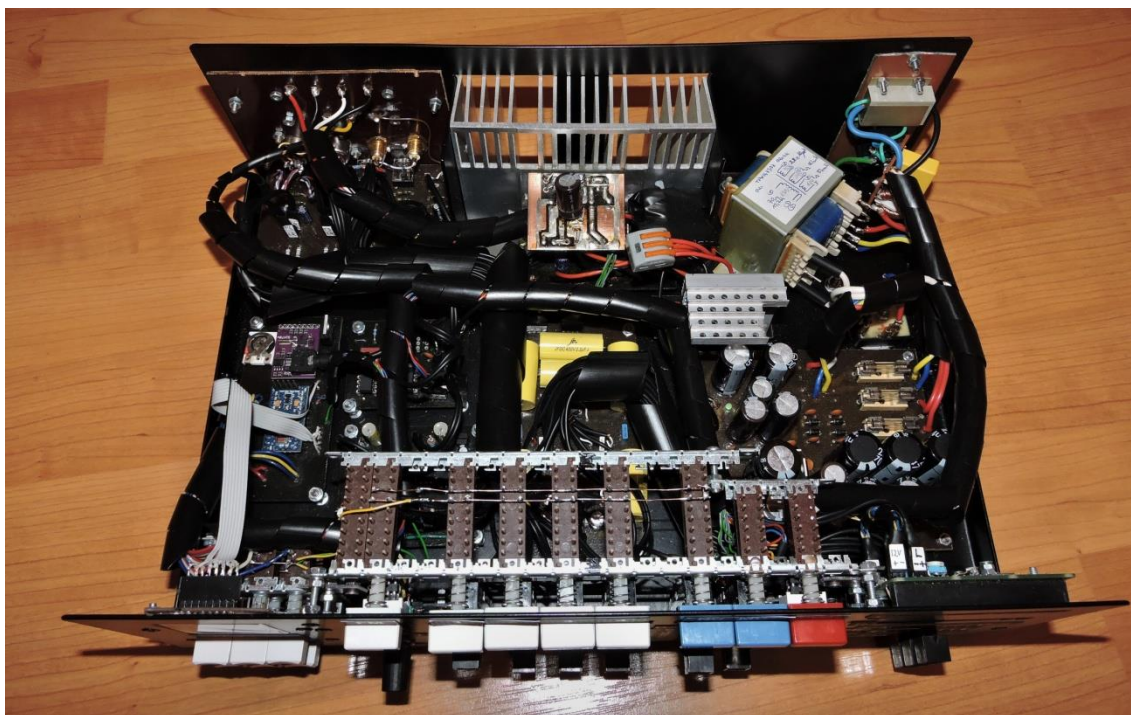
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Výkres přední strany skříně



Výkres zadní strany skříně a boční strany skříně

Příloha 6: Fotodokumentace



Vnitřní uspořádání zesilovače



Celkový pohled na zesilovač

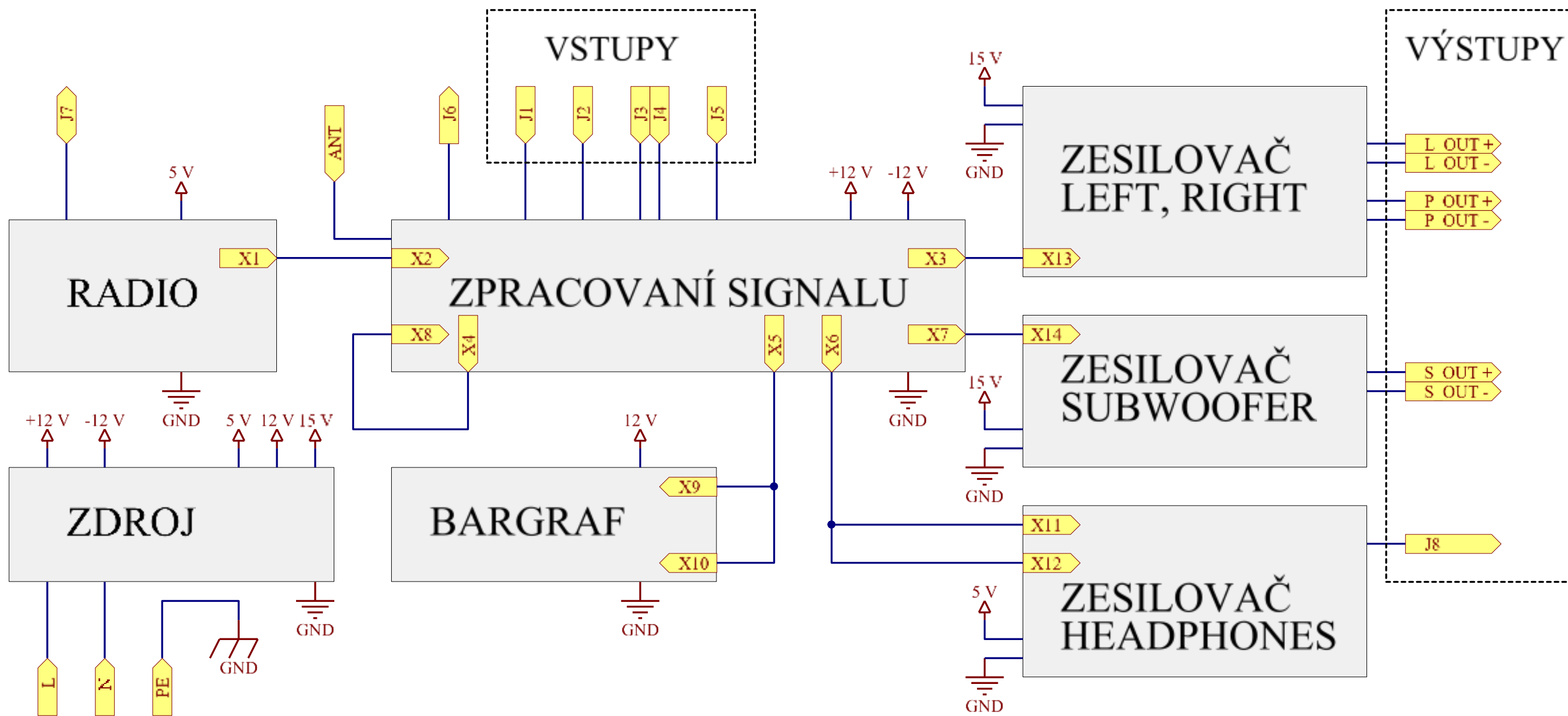


Pohled na přední panel zesilovače

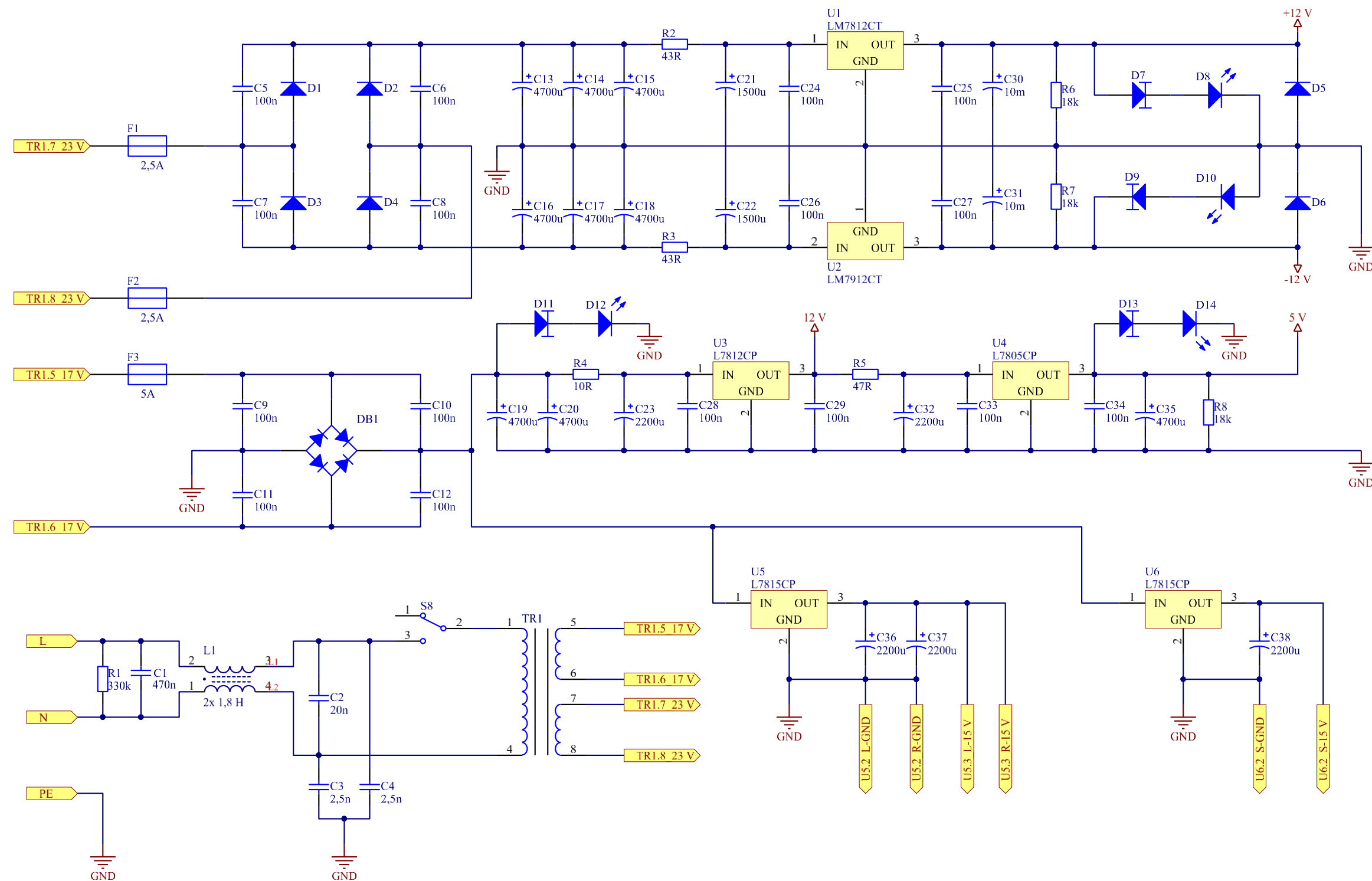


Pohled na zadní panel zesilovače

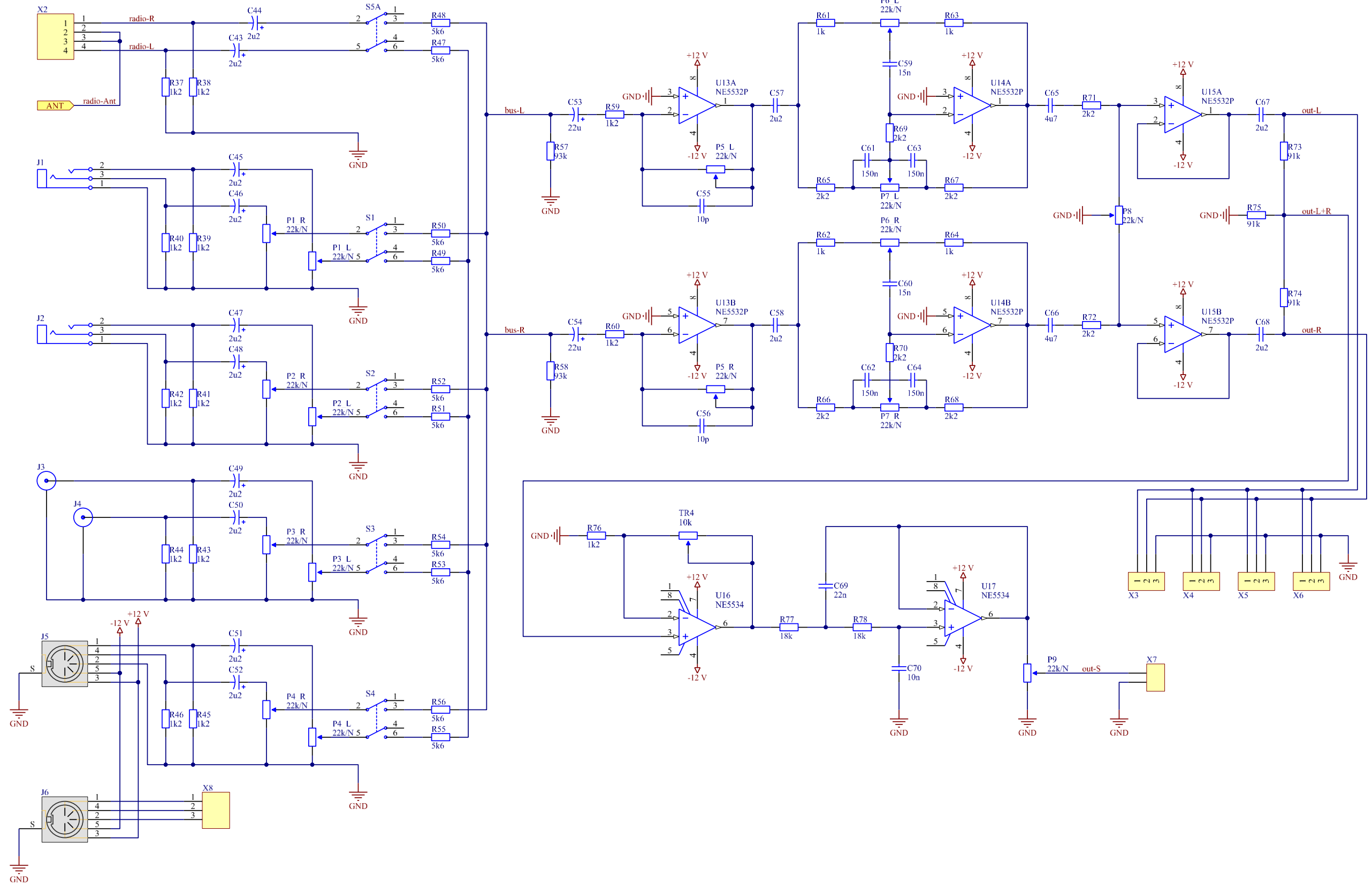
Příloha 7: Blokové schéma



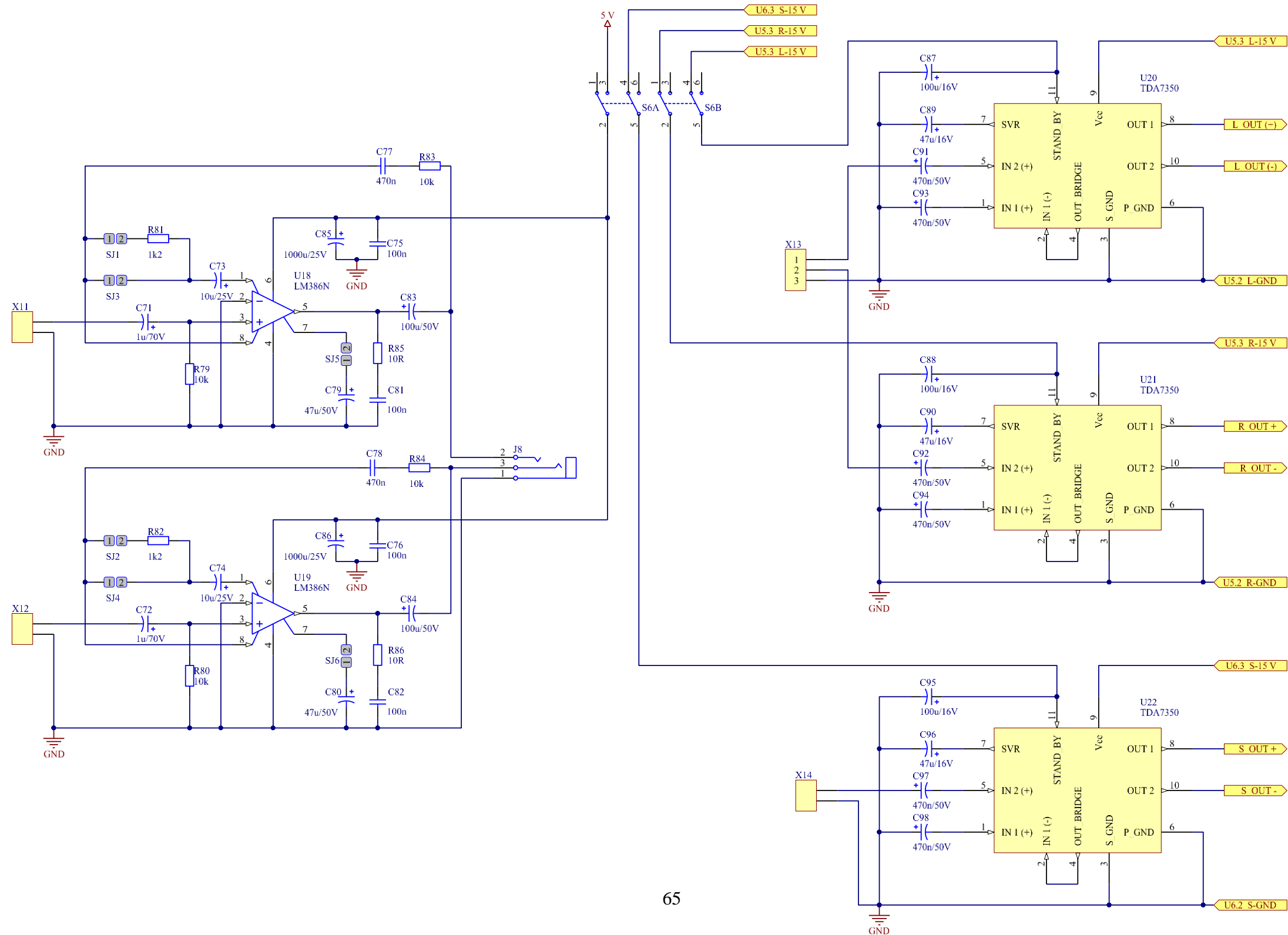
Příloha 8: Schéma zdroje



Příloha 9: Schéma zpracování signálu



Příloha 10: Schéma koncových zesilovačů



Příloha 11: Schéma přijímače a indikátoru vybuzení

