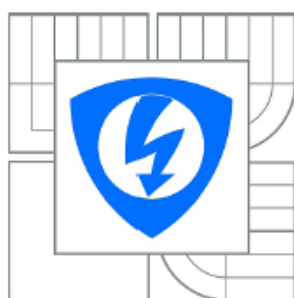




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MATICOVÝ SLUCHÁTKOVÝ ZESILOVAČ PRO STUDIOVÝ MONITORING

MATRIX HEADPHONE AMPLIFIER FOR STUDIO MONITORING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

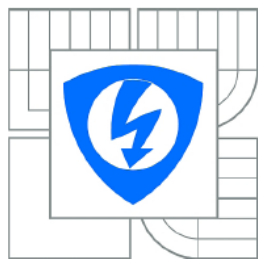
VÁCLAV ŠTĚRBA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. TOMÁŠ KRATOCHVÍL, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Václav Štěřba

ID: 115133

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Maticový sluchátkový zesilovač pro studiový monitoring

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce navrhnete obvodové zapojení maticového sluchátkového zesilovače pro studiový monitoring. Při návrhu vycházejte z požadavku až 4 kanálového linkového vstupu s oddělenou regulací zisku pro každý vstup a společného a individuálního nastavení celkového zesílení až 4 výstupů pro studiová sluchátka. Předpokládejte možnost jednoduchého směšování vybraných vstupů na vybraný výstup. Návrh doplňte vhodným napájecím zdrojem s možností dálkového napájení po kabelu.

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

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] WIRSUM, S. Abeceda nf techniky. Praha: BEN - technická literatura, 2003.
- [2] VLACHÝ, V. Praxe zvukové techniky. Praha: Muzikus, 2000.
- [3] METZLER, B. Audio Measurement Handbook. Beaverton: Audio Precision, Inc., 1993.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

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

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem maticového sluchátkového zesilovače pro studiový monitoring. Jedná se o účelové zařízení pro míchání více zvukových kanálů do sluchátek interpretů, které se využívá při pořizování zvukových nahrávek ve studiu. Základ tohoto zařízení obsahuje vstupní část pro linkový audio signál, směšovací část, která slouží k nastavení úrovně jednotlivých vstupů pro každý výstup, část zesilovače s nastavením úrovně výstupního signálu pro každý výstup a výstupní část pro připojení sluchátek.

Zařízení využívá připojení k sběrnici linkového vícekanálového audio signálu, která také zajišťuje dálkové napájení všech připojených zařízení. Jedná se o náhradní řešení monitoringu jinak sestaveného ze samostatných malých mixážních pultů, které umožňuje jednoduché a rychlé připojení požadovaného počtu monitorovacích bodů.

Klíčová slova

Sběrnice, matrix, operační zesilovač, bipolární tranzistor, sluchátka, symetrické napájení, usměrňovač, blokové schéma, schéma zapojení.

Abstract

This bachelor's thesis describes the design of a matrix headphone amplifier for studio monitoring. The proposed amplifier is a purpose-built device to be used in studio sound recording for the mixing of multiple audio channels directed to the interpreters' or performers' headsets. The device is basically composed of the following parts: An input section for the audio line, a mixing section which secures the setting of individual input levels for each output, an amplifier section allowing the setting of the output signal level for each output, and an output section enabling the connection of headphones.

The equipment utilizes a connection to a multi-channel audio signal bus; this bus also provides for remote power supply to all the connected devices. The solution described in the thesis can be defined as alternative monitoring that facilitates quick and easy connection of a required number of monitoring points (in other cases, such monitoring is usually realized by means of individual small mixing consoles).

Key words

Bus, matrix, operational amplifiers, bipolar transistor, headphones, symmetrical power supply, rectifier, block diagram, circuit diagram.

Bibliografická citace

ŠTĚRBA, V. *Maticový sluchátkový zesilovač pro studiový monitoring*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 46 s., 2 s. příloh.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Maticový sluchátkový zesilovač pro studiový monitoring 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 26. května 2011

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu doc. Ing. Tomáši Kratochvílovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne 26. května 2011

.....
podpis autora

Obsah

Úvod	9
1. Popis řešení	10
1.1 Popis známých způsobů řešení a problémové situace	10
1.2 Návrh integrace užitečných funkcí do jednoho celku	10
1.3 Způsoby napájení	11
2. Vstupní jednotka	12
2.1 Popis vstupní části	12
2.2 Maticový směřovač	13
3. Budící část mixu	15
3.1 Popis budící části	15
3.2 Výpočet hodnot použitých součástek	15
4. Koncový stupeň mixu	18
4.1 Popis koncového stupně	18
5. Návrh konstrukce mixu	23
5.1 Mechanické uspořádání částí mixu	23
5.2 DPS MATRIX HEADPHONE	24
6. Simulace	25
6.1 AC analýza	25
6.2 Časová analýza	29
6.3 DC analýza	29
7. Výsledky měření	30
8. Napájecí zdroj	35
8.1 Volba typu napájecího zdroje	35
8.2 Jištění	35
8.3 Usměrňovač a filtrace	35
8.4 Stabilizátor	37
8.5 Schéma zapojení napájecího zdroje	38
8.6 DPS napájecího zdroje	39
9. Fotografická dokumentace	41
10. Závěr	45
Použitá literatura	46
Příloha A: Schéma zapojení mixu	47
Příloha B: Seznam součástek	48

Seznam obrázků

Obrázek 1: Mixážní pult do 10-ti vstupů pro jednoduché aplikace.....	10
Obrázek 2: blokové schéma částí jednotky s vyznačením směru signálu.	11
Obrázek 3: Schéma propojení signálových cest a napájení více jednotek.	11
Obrázek 4: Vstupní část mixážní jednotky.....	13
Obrázek 5: Maticový směšovač.....	14
Obrázek 6: Budící blok mixu osazený operačními zesilovači.	17
Obrázek 7: Koncový stupeň s komplementárními tranzistory.	20
Obrázek 8: Schéma zapojení maticového sluchátkového zesilovače.....	22
Obrázek 9: Mechanické uspořádání bloků mixu.	23
Obrázek 10: DPS MATRIX HEADPHONE -top strana.....	24
Obrázek 11: DPS MATRIX HEADPHONE -bottom strana.....	24
Obrázek 12: DPS - osazení součástek mixu.	25
Obrázek 13: Přenosová charakteristika s nastavením 0% : 0%.	26
Obrázek 14: Přenosová charakteristika s nastavením 50% : 0%.	26
Obrázek 15: Přenosová charakteristika s nastavením 100% : 0%.	26
Obrázek 16: Přenosová charakteristika s nastavením 0% : 50%.	27
Obrázek 17: Přenosová charakteristika s nastavením 50% : 50%.	27
Obrázek 18: Přenosová charakteristika s nastavením 100% : 50%.	27
Obrázek 19: Přenosová charakteristika s nastavením 0% : 100%.	28
Obrázek 20: Přenosová charakteristika s nastavením 50% : 100%.	28
Obrázek 21: Přenosová charakteristika s nastavením 100% : 100%.	28
Obrázek 22: Analýza v časové oblasti.	29
Obrázek 23: DC analýza simulovaného kanálu a nastavení pracovních bodů.	29
Obrázek 24: Měření průchodu signálu při stažené hlasitosti výstupu.	30
Obrázek 25: Měření přeslechu na vedlejším kanále.....	30
Obrázek 26: Měření průchodu signálu při maximální hlasitosti dvou výstupů.....	31
Obrázek 27: Průběhy signálů po odstranění příčiny zkreslení.....	31
Obrázek 28: Porovnání frekvenčních charakteristik se zátěží 50Ω a bez zátěže.	33
Obrázek 29: Útlum výstupního signálu na frekvenci 100kHz.....	34
Obrázek 30: Útlum výstupního signálu na frekvenci 500kHz.....	34
Obrázek 31: Útlum výstupního signálu na frekvenci 1MHz.....	34
Obrázek 32: Vyznačení průběhů napětí na dílčích částech zdroje.	36
Obrázek 33: Stabilizátor s pevným napětím.	37
Obrázek 34: Typické zapojení stabilizátoru s doporučenými hodnotami součástek ..	37
Obrázek 35: Schéma zapojení napájecího zdroje se stabilizátory 7815 a 7915.....	38
Obrázek 36: DPS napájecího zdroje -top strana.	39
Obrázek 37: DPS napájecího zdroje -bottom strana.	39
Obrázek 38: DPS - osazení součástek napájecího zdroje.....	40
Obrázek 39: Pohled na mixážní jednotku s připojovacím kabelem.....	41
Obrázek 40: Pohled na zadní část mixu s výstupními konektory.....	41
Obrázek 41: Pohled na ovládací panel mixu.	42
Obrázek 42: Pohled na osazenou DPS mixu.....	42
Obrázek 43: Pohled na napájecí zdroj –horní pohled.....	43
Obrázek 44: Pohled na napájecí zdroj –přední strana.....	43
Obrázek 45: Pohled na napájecí zdroj –zadní strana.	44
Obrázek 46: Konečné schéma zapojení pro návrh DPS	47

Seznam tabulek

tabulka 1: Data výrobce pro bipolární výkonový tranzistor NPN BD137	20
tabulka 2: Data výrobce pro bipolární výkonový tranzistor PNP BD140	21
tabulka 3: Teplotní charakteristiky tranzistoru BD 137	21
tabulka 4: Charakteristické vlastnosti tranzistoru BD 137 při teplotě pouzdra 25°C .	21
tabulka 5: Naměřené hodnoty modulové kmitočtové charakteristiky.	32
tabulka 6: Naměřené hodnoty harmonického zkreslení.	33

Úvod

Tato práce je zaměřena na problematiku studiového monitoringu při pořizování audio záznamů, zejména hudby. Jelikož hovoříme o studiovém monitoringu, nebudeme se proto zaměřovat na problematiku monitoringu při různých live záznamech, při záznamech reportáží, či záznamech hudby v prostorách mimo studia s pevně instalovanými hudebními nástroji (např. varhany apod.). Tyto případy zpravidla vyžadují zcela individuální řešení dané situace.

Základními předpoklady pro pořízení kvalitního audio záznamu jsou dobré akustické podmínky prostoru, kde má nahrávka vzniknout. Dále musí být vytvořeny optimální podmínky pro interprety hudby. Tam patří zejména poslechové podmínky. Ty musí být řešeny tak, aby měl interpret dobrý přehled o tom, jak je jeho výkon prezentován a také aby optimálně vnímal okolí, což představuje další interprety, nebo hudební podklad, který interpreta doprovází v jeho výkonu při pořizování nahrávky. Takový hudební podklad může představovat například rytmická či melodická linka nahrávky, nebo jejich vzájemná kombinace, popřípadě zpěv, mluvené slovo či jiná varianta. V případě, že interpret poslouchá zvukový podklad a ten doplňuje vlastním výkonem, tak potřebuje v poslechu určitou akustickou hladinu podkladu a určitou hladinu svého vlastního výkonu. To si je interpret schopen pro svůj vlastní poslech nastavit optimálně sám.

Vlastní nastavení poslechu je prováděno pomocí mixážního zařízení, které má interpret pro tento účel zapojené na signálovou cestu podkladu a vlastní nahrávané stopy. Tyto signály jsou mu posílány ze zvukové režie a on si pro vlastní poslech nastavuje jejich vzájemnou úroveň na regulátorech hlasitosti mixážního zařízení, které posílá výsledný signál do sluchátek, nebo například do odposlechového reproduktoru.

V případě, že se zvukový podklad skládá z více částí (stop), pak je často vhodné regulovat i jejich vzájemné poměry hlasitostí. Tím ovšem vzrůstají požadavky na zvýšení počtu signálových cest, potřebné kabeláže a výbavy interpretova mixážního zařízení, kde si tyto poměry nastavuje.

Pokud je interpretů v daný okamžik při pořizování záznamu více, pak se tyto nároky násobí jejich počtem. S přibývajícím počtem kabeláže a připojovaných zařízení se také zvyšuje náročnost na správné propojování a směrování signálů a tím i riziko poruch.

Tato práce se zaměřuje na snížení těchto rizik, zjednodušení instalace a vzájemného propojování, zjednodušení ovládání na ty části, které se opravdu využívají a tím zpřehlednění obsluhy a také na snížení nákladů pro sestavení rozsáhlejšího monitoringu.

1. Popis řešení

1.1 Popis známých způsobů řešení a problémové situace

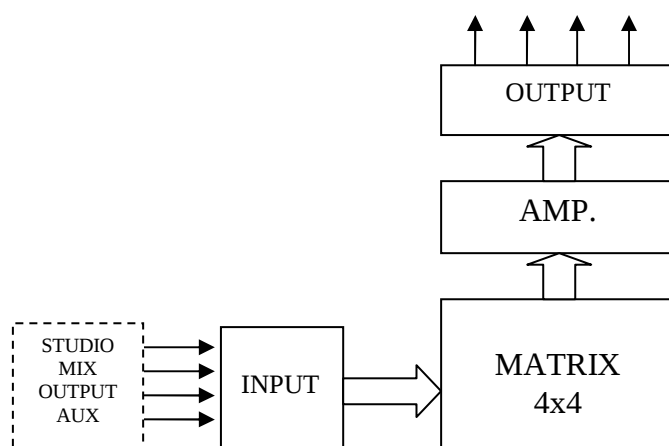
Pro běžné řešení míchání alespoň čtyř vstupních signálů se využívají mixážní pulty s malým počtem vstupů viz. obrázek 1, ale ty mívají zpravidla pouze jeden výstup pro připojení sluchátek a velmi často žádné, nebo jen minimální směřování do AUX pro další zpracování signálu pro využití k monitoringu. V takovém případě by musel mít každý interpret k dispozici jedno takové zařízení, což je velice nepraktické pro vzájemné propojování a také vyžaduje vyšší pořizovací náklady.



Obrázek 1: Mixážní pult do 10-ti vstupů pro jednoduché aplikace [1].

1.2 Návrh integrace užitečných funkcí do jednoho celku

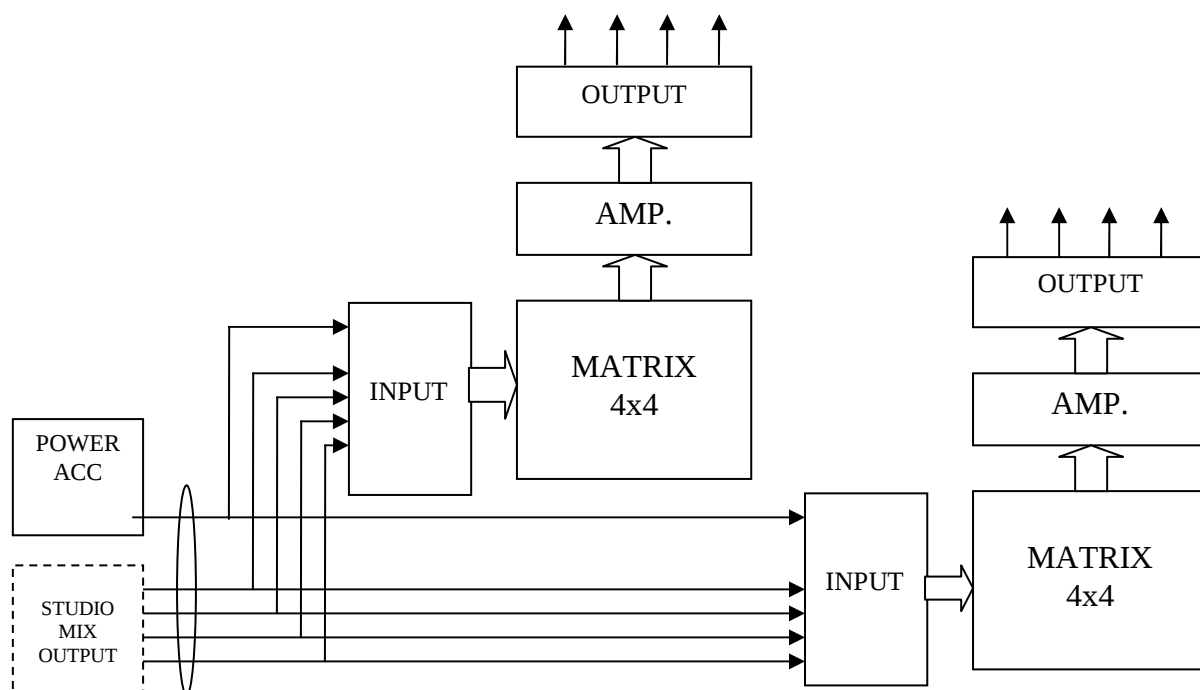
Pro řešení této problematiky byl zvolen návrh mixážní jednotky, která bude schopna směřovat čtyři nezávislé signálové cesty a umožňovat vzájemné kombinování a nastavování jejich úrovní do čtyř výstupních cest pro připojení sluchátek pro čtyři interprety. Návrh tohoto řešení je v základním popisu na obrázku 2.



Obrázek 2: blokové schéma částí jednotky s vyznačením směru signálu.

1.3 Způsoby napájení

V případě používání samostatných mixážních zařízení je nutné spolu s propojováním signálových cest řešit také napájení jednotlivých zařízení. To opět přináší další komplikace s rozvodem síťového napájení a nutnost použití další kabeláže. Tuto problematiku je vhodné řešit dálkovým napájením po kabelu spolu s přívodem signálových cest. Optimální umístění napájecího zdroje a vstupního napájecího bodu bude v místě vstupu signálních cest do hlavní kabeláže. Tím zajistíme pohodlnou dostupnost napájení pro všechny mixážní jednotky používané u všech připojovacích bodů.



Obrázek 3: Schéma propojení signálových cest a napájení více jednotek.

2. Vstupní jednotka

2.1 Popis vstupní části

Vstupní část mixážní jednotky (obr. 4) je tvořena aktivními prvky. Předpokládejme, že vstupní signály budou přivedeny z AUX výstupů mixu režie a jejich úroveň bude max. 0,775V. Mixážních jednotek může být připojeno paralelně ke zdroji signálu více, proto je vhodné použít impedanční převodník, který nebude zatěžovat zdroj signálu impedancí, která by komplikovala připojení dalších zařízení. Impedanční člen tvoří operační zesilovač v neinvertujícím zapojení [2]. Zesílení impedančního členu je rovno jedné, tudíž nedochází ke změně úrovně vstupního signálu, ale v dalších obvodech je možnost použít nižší hodnoty odporů v řádech desítek $k\Omega$ a tím eliminovat případný brum. Signál dále zpracováváme pomocí HPF filtru, který nám odstraňuje rušivé frekvence na nízkých kmitočtech [3]. Filtr je vhodné nastavit na mezní kmitočet 20 -25 Hz. Jedná se tedy o tzv. ruchový filtr [3]. Strmost HPF filtru je +12dB/okt. Hodnotu vhodné kapacity C4 a C5 určíme tak, aby bylo možné použít vyšší hodnoty odporů a nesnižovala se tak příliš vstupní impedance na U2. Vhodnou velikostí kapacity jsou stovky nF pro které jsou odpovídající hodnoty odporů v řádech desítek $k\Omega$.

Mezní frekvence filtru nechť je 25Hz a C4,C5 je 330nF.

Hodnoty odporů R3 a R14 dále určíme ze vztahů [3]:

$$R2 = \frac{0,7071}{C \cdot 2\pi \cdot f}$$

$$R2 = \frac{0,7071}{330 \cdot 10^{-9} \cdot 2\pi \cdot f} = 13641\Omega$$

$$R5 = \frac{1,414}{C \cdot 2\pi \cdot f}$$

$$R5 = \frac{1,414}{330 \cdot 10^{-9} \cdot 2\pi \cdot f} = 27278\Omega$$

(1.1)

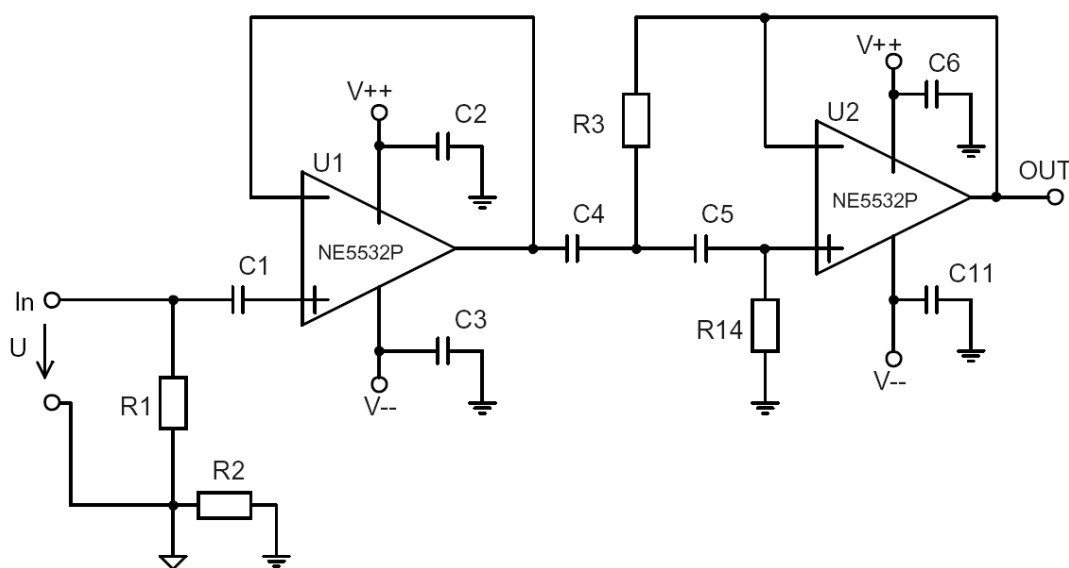
$$f = \frac{0,7071}{330 \cdot 10^{-9} \cdot 2\pi \cdot 15 \cdot 10^3} = 23Hz$$

$$f = \frac{1,414}{330 \cdot 10^{-9} \cdot 2\pi \cdot 27 \cdot 10^3} = 25Hz$$

Vypočítané hodnoty součástek musíme konfrontovat s hodnotami součástek výrobní řady a zvolit vyhovující hodnotu. Zpětným propočtem můžeme ověřit, zda-li je zvolená hodnota součástek vyhovující.

Pro monitoring interpretů je vhodné zdůraznění nižších frekvencí v okolí 100Hz z důvodu lepšího vnímání doprovodné rytmiky při playbacku.

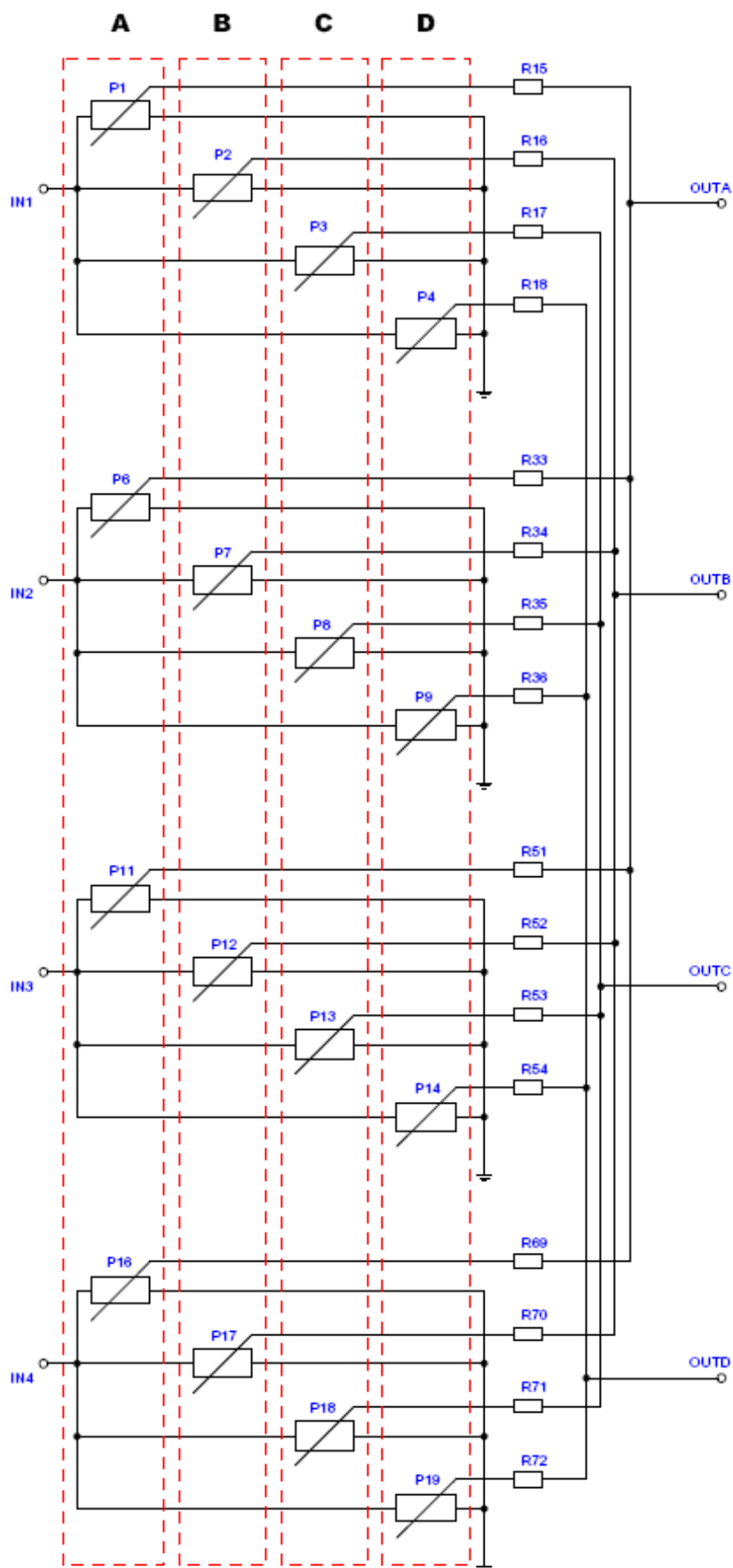
Zdůraznění nižších frekvencí v okolí 100Hz lze upravit snížením hodnot odporů HPF filtru.



Obrázek 4: Vstupní část mixážní jednotky.

2.2 Maticový směšovač

Maticový směšovač (obr. 5) tvoří čtveřice potenciometrů P1 – P4, které nastavují úroveň signálu pro každý výstupní kanál zvlášť. Odporů R15 – R18 upravují regulaci úrovně signálů potenciometrů P1 – P4, aby nedocházelo ke skokové změně a zároveň omezují vzájemné ovlivňování kanálů [4]. Hodnoty odporů R15 – R18 jsou přibližně trojnásobkem hodnot potenciometrů P1 – P4, jejichž velikost lze volit v řádu desítek $k\Omega$, typicky 10-25 $k\Omega$ [4]. Zvolíme hodnotu 10 $k\Omega$, abychom předcházeli vysokým impedancím a následně šumu [4]. R15 je tedy 33 $k\Omega$. Vstupní blok a maticový směšovač bude vázaný kapacitní vazbou C12, který odděluje případnou ss složku (viz. celkové schéma). Každý výstupní kanál sdružuje čtveřici potenciometrů vstupních kanálů (viz. obrázek 5, bloky **A,B,C,D**). Tento celek pak tvoří distribuční matici 4 x 4 pro míchání čtyř vstupních kanálů do čtyř výstupních kanálů.



Obrázek 5: Maticový směšovač.

3. Budící část mixu

3.1 Popis budící části

V budící části se míchaný signál vhodně zesílí, aby jej bylo možné dále zpracovat v koncovém stupni zesilovače a provede se korekce pro omezení vysokých kmitočtů a tím šířky pásma, kterou potřebujeme v budiči zpracovat, tj. 20kHz.

Pro budící část budou použity operační zesilovače v invertujícím zapojení (obrázek 6).

Odpor R4 a kondenzátor C9 jsou zapojeny jako RC článek ve zpětné vazbě operačního zesilovače.

3.2 Výpočet hodnot použitých součástek

Hodnoty R4 a C9 zvolíme tak, abychom omezili šířku pásma na maximální mez max. 20 kHz, kterou vnímá lidské ucho. Mezní kmitočet dolní propusti tedy nastavíme na cca 20 kHz.

Hodnoty součástek určíme ze vztahu:

$$f_m = \frac{1}{2\pi \cdot RC} \quad (3.1)$$

Hodnota odporu R4 všem také určuje zesílení operačního zesilovače U3. Budeme požadovat zisk jednotlivých stupňů budiče alespoň 10dB (typická hodnota zisku v konstrukcích mixážních zařízení např. Soundcraft) [4]. Poměr úrovní napětí na vstupu a výstupu operačního zesilovače určíme ze vztahu [5]:

$$K_U = \frac{U_2}{U_1}$$
$$10dB = 10^{\frac{10}{20}} = \frac{3,16}{1} \quad (3.2)$$

Přenos zpětnovazebního členu je vodivostí zpětnovazebního odporu R4

$$\beta_u = \frac{1}{R_4} \quad (3.3)$$

a podílem napětí na zpětné vazbě a výstupního napětí:

$$\beta_u = \frac{U_{zV}}{U_2} \quad (3.4)$$

Hodnotu zpětnovazebního odporu R_4 můžeme vypočítat ze vztahu:

$$A = \frac{A_0}{1 - \beta \cdot A_0}$$

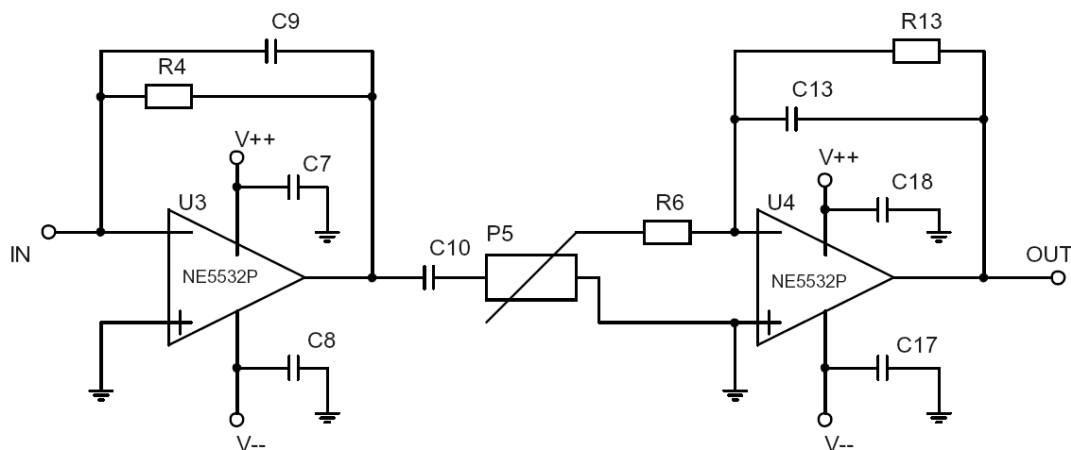
$$R_{zV} = \frac{A \cdot A_0}{A_0} - A_0 \quad (3.5)$$

Za předpokladu, že operační zesilovač má zesílení řádově 10^5 tak hodnota zpětné vazby bude mít hodnotu řádově $100k\Omega$ a měla by přibližně odpovídat trojnásobku hodnoty vstupního odporu R_{15} (viz. obrázek 5 a 16), tedy odporu $33k\Omega$. Po dosazení této hodnoty do vzorce pro výpočet mezní frekvence zpětnovazebního RC článku dostaneme odpovídající hodnotu kondenzátoru C_9 . Ta bude v řádech desítek pF .

$$f_m = \frac{1}{2\pi \cdot RC} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot f_m}$$

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 20000} = 80 pF \quad (3.6)$$

Hodnota $80 pF$ není ve výrobní řadě, proto volíme hodnotu kapacity tak abychom s ohledem na toleranci součástek nezpůsobili snížení šířky pásma pod $20kHz$. Vhodná hodnota C je $68 pF$.



Obrázek 6: Budící blok mixu osazený operačními zesilovači.

C10 je vazební prvek mezi U3 a U4, kde C10 omezuje přenos ss složky do U4. Potenciometr P5 nastavuje výstupní úroveň požadovaného signálu pro koncový stupeň. Odpor R6 upravuje vstupní impedanci U4 a v poměru 1/3 s odporem R13 zapojeným ve zpětné vazbě určují zisk budícího operačního zesilovače U4 (uvažujeme obdobný případ vstupní a ZV impedance, jako u U3). Ten určíme ze vztahu:

$$A_U[dB] = 20 \log \left(\frac{R_{ZV}}{R_{IN}} \right)$$

$$A_U[dB] = 20 \log \left(\frac{R_6}{R_{13}} \right) = 20 \log \left(\frac{100}{33} \right) \cong 10dB$$

(3.7)

4. Koncový stupeň mixu

4.1 Popis koncového stupně

Koncový stupeň bude řešen pomocí tranzistorového zesilovače ve třídě AB (obr 7). Odpor R7 tvoří vazbu mezi budičem a koncovým stupněm. Diody D1 a D4 nastavují předpětí na bázi tranzistorů Q1 a Q2. Potřebné předpětí báze je provedeno zapojením křemíkových diody do budícího obvodu. Ty mají v propustném směru stejnou hodnotu propustného napětí a vzhledem k jejich malému diferenciálnímu odporu prakticky neovlivňují vstupní střídavý signál [4]. Oba koncové tranzistory budíme stejným budičem. Parametry tranzistorů určíme podle předpokládaného zatížení impedancí cca 32 ohmů a výkonem cca 150mW, což jsou parametry použitých sluchátek [6]. Maximální limitní výkon dodávaný do zátěže bude při napájecím napětí 30V určen vztahem [7]:

$$P_L = \frac{(\pm U_N \cdot \pi)^2}{32 \cdot R_z}$$

$$P_L = \frac{(\pm 15 \cdot \pi)^2}{32 \cdot 32} = 2,17W$$
(4.1)

Výkonová rezerva je vysoká a aby nedošlo k přetížení zátěže, vybavíme koncový stupeň omezovacím odporem R12, který také bude chránit tranzistory proti zkratu na výstupu. Hodnota odporu bude menší, než impedance zátěže, aby nebyla příliš velká výkonová ztráta na tomto rezistoru při běžném provozu do zátěže. Optimálně 10Ω.

Pro požadovanou efektivní hodnotu napětí na požadované zátěži platí vztah [7]:

$$P_z = \frac{U_{ef}^2}{R_z} \Rightarrow U_{ef} = \sqrt{P_z \cdot R_z}$$

$$U_{ef} = \sqrt{0,15 \cdot 32} = 2,19V$$
(4.2)

Ze zdroje teče proud v jedné polovině periody. Proto je střední proud koncovými tranzistory dán vztahem [8]:

$$I_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_s}{R_z} = \frac{k_t U_{ef}}{2 \cdot R_z}$$
(4.3)

Činitel tvaru pro sinusový průběh je:

$$k_t = \left(\frac{2}{\pi} \right) \cdot \sqrt{2}$$

$$k_t = 0,9$$

(4.4)

Pro určení použití chladiče je důležité stanovit maximální ztrátový výkon [7]:

$$P_{ZD} = \frac{\sqrt{2} \cdot 4 \cdot P_L}{\pi}$$

$$P_{ZD} = \frac{\sqrt{2} \cdot 4 \cdot 2,17}{\pi} = 3,9W$$

(4.5)

Výkon zdroje je vypočítaný pro maximální výkon koncového stupně pro danou zátěž.

Velmi důležité při návrhu je hodnota ztrátového výkonu na tranzistoru. Tento výkon je rovný integrálu součinu plochy napětí a proudu v jedné periodě signálu. Pro zjednodušení výpočtu a pro dosažení maximální hodnoty z výsledku volíme sinusový signál [7]. Ten vytváří ztrátu na jednom tranzistoru pro požadované maximální vybuzení zátěže [7]:

$$P_{TR} = I_{Z \max} \cdot \left(\frac{U_{ZD}}{\pi} - \frac{U_{Z \max}}{4} \right) = I_Z \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{U_{ZD}}{\pi} - \frac{U_Z \cdot \sqrt{2}}{4} \right)$$

$$P_{TR} = 0,068 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{15}{\pi} - \frac{2,17 \cdot \sqrt{2}}{4} \right) \cong 0,4W$$

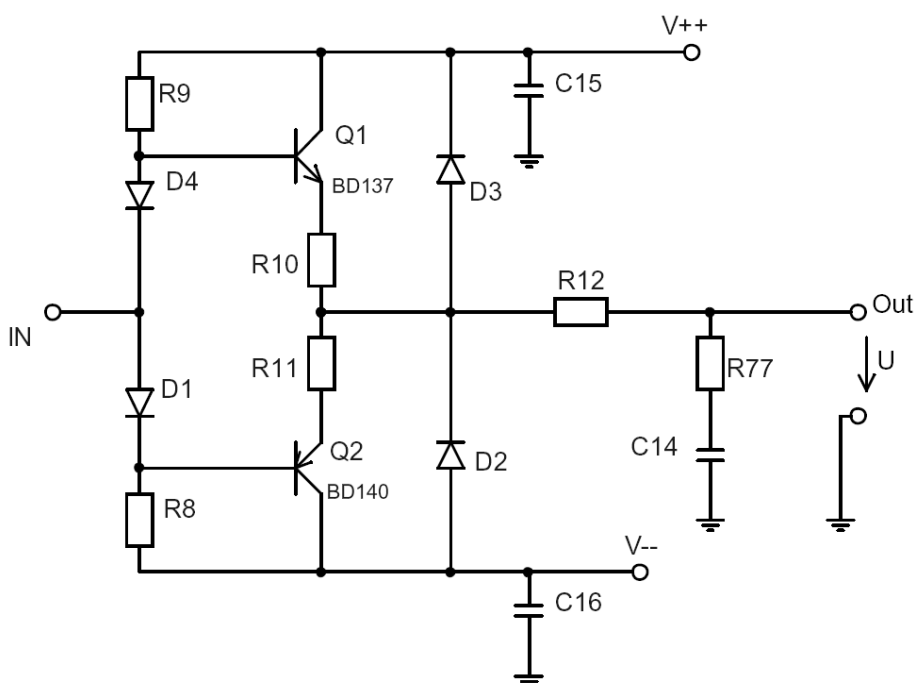
(4.6)

Vzhledem k velikosti ztrátového výkonu na tranzistoru nebude chladič nutný.

Jako ochrana proti přepětí na výstupu při připojování indukční zátěže, kdy se dostávají na výstup napěťové špičky, které mohou prorazit koncové tranzistory, slouží diody D2 a D3. Rezistory R10 a R11 zavádí lokální zpětnou vazbu a linearizují činnost tranzistorů Q1 a Q2 [5]. Jejich hodnoty mohou být malé do 10Ω. Proti nežádoucím rozkmitům koncového stupně bude vhodné použít tzv. Boucherotův článek [4], což je sériové zapojení kapacity a rezistoru, které simuluje připojení zátěže na vyšších frekvencích, kde klesá činitel tlumení zesilovače a ze strany

zátěže se tak může dostávat naindukované rušení zpět skrze výstup a ovlivňovat tak zpětnou vazbu. Typické hodnoty pro tento článek jsou 100Ω a 100nF . [4]

Jelikož rychlost přeběhu na koncovém stupni bude jiná, než rychlost přeběhu na budícím OZ, zavedeme zpětnou vazbu z výstupu koncového stupně na invertující vstup budícího OZ přes odpor R13 a tím zamezíme rozkmitům zesilovače způsobené touto nerovností přeběhů [4].



Obrázek 7: Koncový stupeň s komplementárními tranzistory.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	BD135		–	45	V
	BD137		–	60	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	BD135		–	45	V
	BD137		–	60	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	5	V
I_C	collector current (DC)		–	1.5	A
I_{CM}	peak collector current		–	2	A
I_{BM}	peak base current		–	1	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{mb} \leq 70\text{ °C}$	–	8	W
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
T_j	junction temperature		–	150	°C
T_{amb}	operating ambient temperature		–65	+150	°C

tabulka 1: Data výrobce pro bipolární výkonový tranzistor NPN BD137 [9].

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	BD136		–	–45	V
	BD138		–	–60	V
	BD140		–	–100	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	BD136		–	–45	V
	BD138		–	–60	V
	BD140		–	–80	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	–5	V
I_C	collector current (DC)		–	–1.5	A
I_{CM}	peak collector current		–	–2	A
I_{BM}	peak base current		–	–1	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{mb} \leq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	8	W
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	$^{\circ}\text{C}$
T_j	junction temperature		–	150	$^{\circ}\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		–65	+150	$^{\circ}\text{C}$

tabulka 2: Data výrobce pro bipolární výkonový tranzistor PNP BD140 [9].

THERMAL CHARACTERISTICS

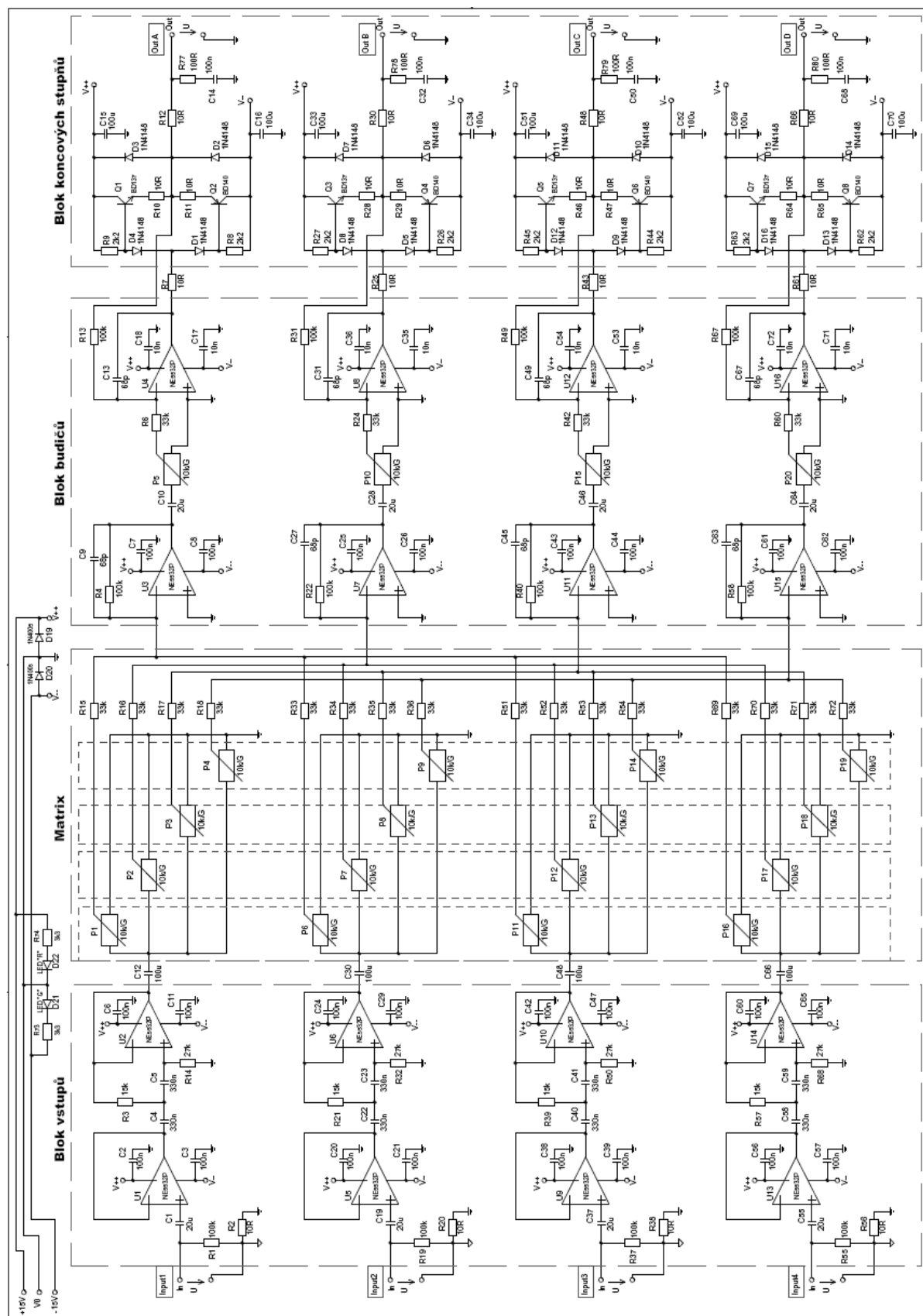
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-a}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	100	K/W
$R_{th\ j-mb}$	thermal resistance from junction to mounting base		10	K/W

tabulka 3: Teplotní charakteristiky tranzistoru BD 137 [9].

CHARACTERISTICS $T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}$	–	–	100	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}; T_j = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	–	10	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$	–	–	100	nA
h_{FE}	DC current gain	$V_{CE} = 2\text{ V};$ (see Fig.2)				
		$I_C = 5\text{ mA}$	40	–	–	
		$I_C = 150\text{ mA}$	63	–	250	
		$I_C = 500\text{ mA}$	25	–	–	
	DC current gain BD135-10; BD137-10; BD139-10 BD135-16; BD137-16; BD139-16	$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 2\text{ V};$ (see Fig.2)	63	–	160	
			100	–	250	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}$	–	–	0.5	V
V_{BE}	base-emitter voltage	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 2\text{ V}$	–	–	1	V
f_T	transition frequency	$I_C = 50\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ $f = 100\text{ MHz}$	–	190	–	MHz
$\frac{h_{FE1}}{h_{FE2}}$	DC current gain ratio of the complementary pairs	$ I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 2\text{ V}$	–	1.3	1.6	

tabulka 4: Charakteristické vlastnosti tranzistoru BD 137 při teplotě pouzdra 25 $^{\circ}\text{C}$ [9].



5. Návrh konstrukce mixu

5.1 Mechanické uspořádání částí mixu

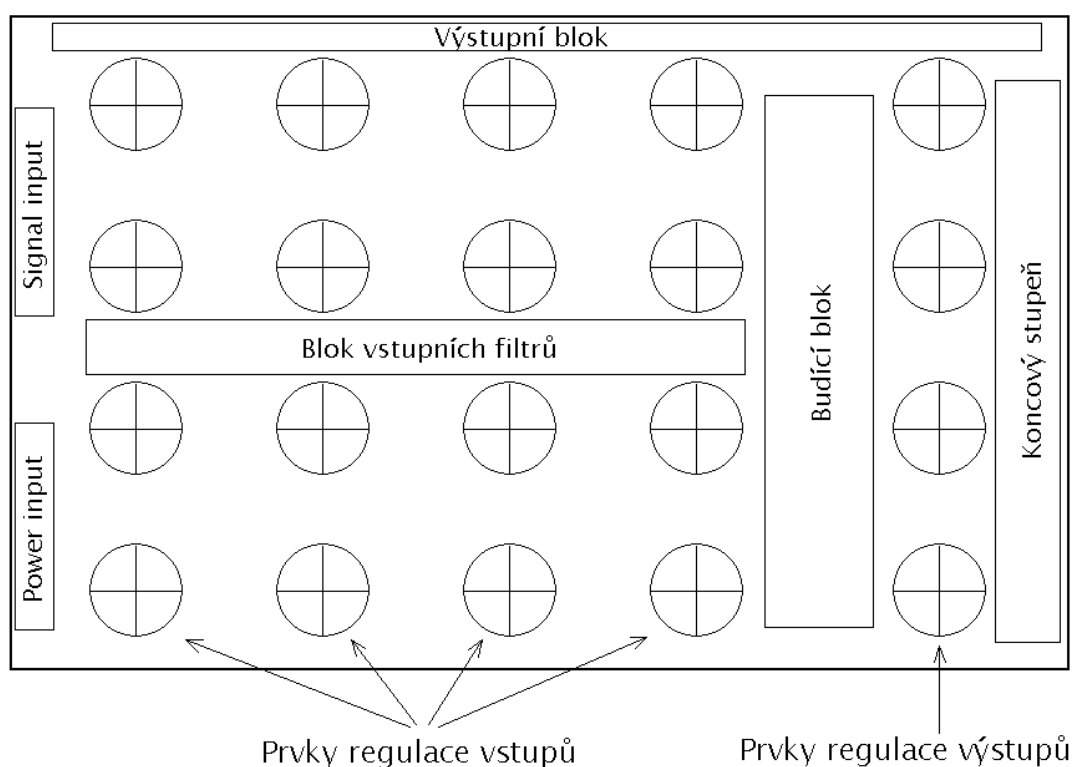
Součástky budou osazeny na dvouvrstvé DPS s rozměry 175mm x 106mm, která bude upevněna v přístrojové krabici KP23. DPS mixu bude k přístrojové krabici přišroubována pomocí distančních sloupků. Regulační prvky budou pevně přišroubovány k DPS mixu a jejich mechanické ovládání bude vyvedeno pomocí vlastních hřídelí na horní straně přístrojové krabice. Operační zesilovače budou osazeny v patcích, které budou naletovány na DPS. Koncové tranzistory budou napájeny přímo na DPS současně s ostatními součástkami.

Připojovací kabel bude napojen na svorkovnice vstupních signálů a napájení a bude vyveden skrz kabelovou průchodku ven z přístrojové krabice.

Jeho volný konec bude osazen konektorem XLR – 7pin pro připojení do páteřního rozvodu signálu a napájení.

Na přední straně mixu budou umístěny kontrolní LED stavu napájení.

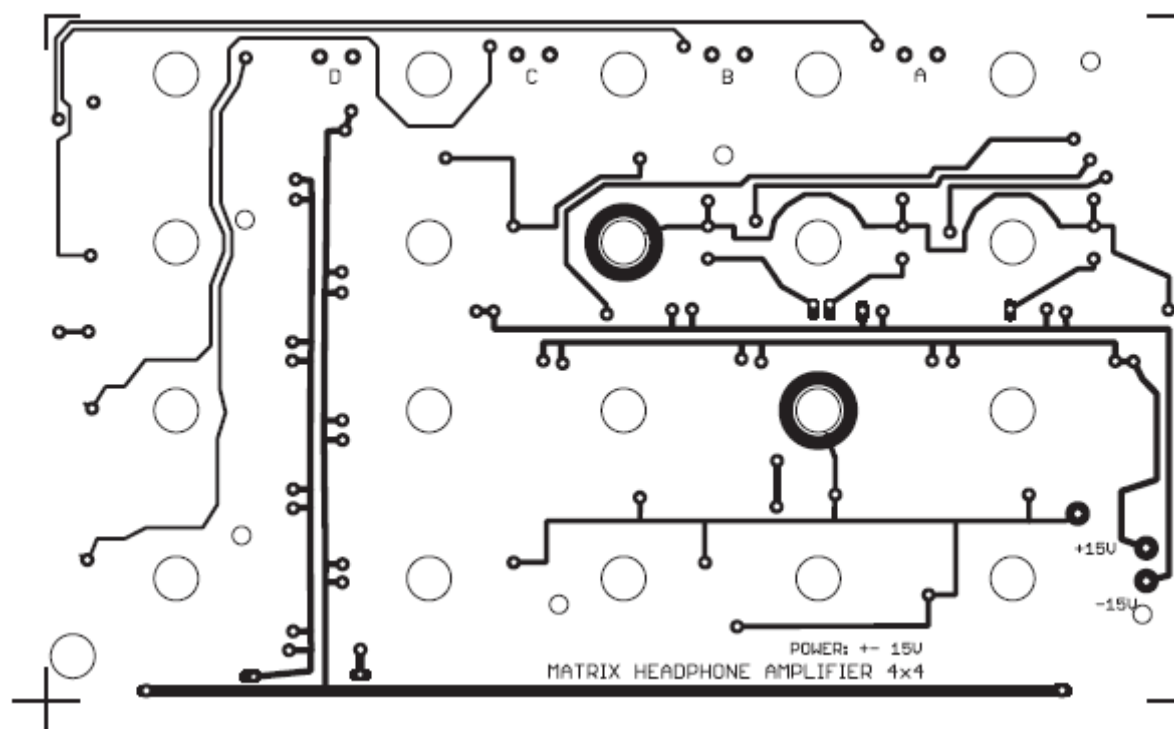
Součástky budou na DPS osazeny dle obrázku 12- osazení součástek mixu.



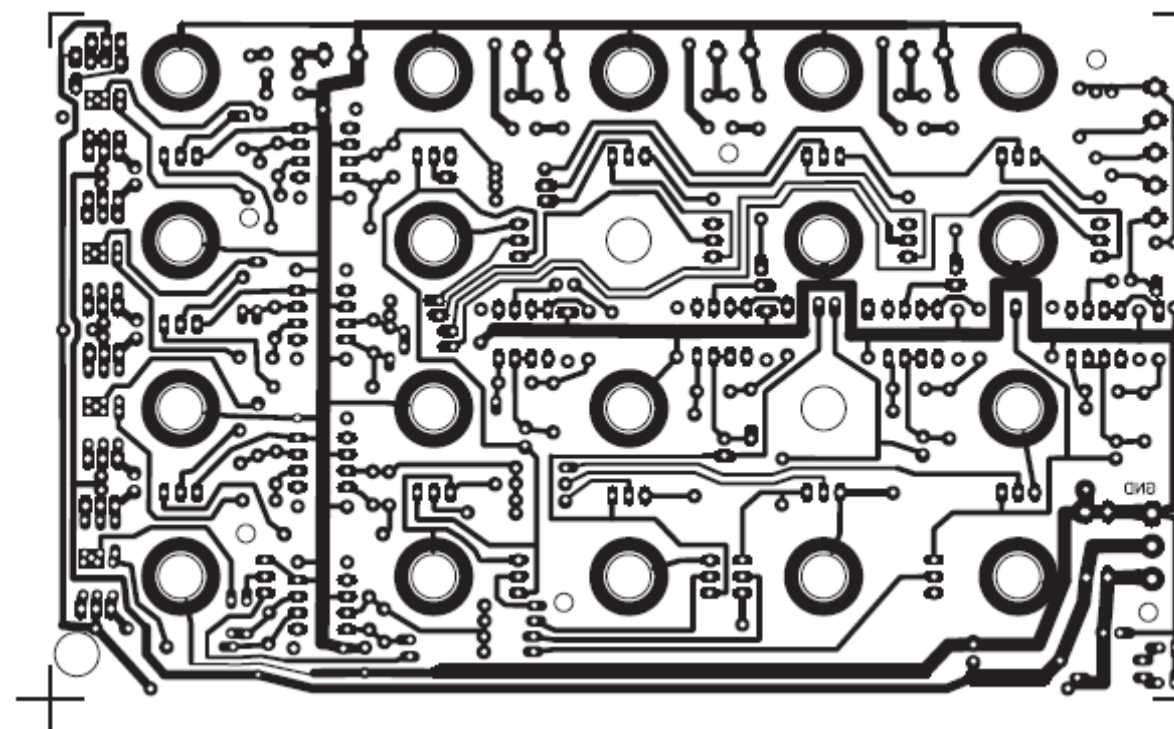
Obrázek 9: Mechanické uspořádání bloků mixu.

5.2 DPS MATRIX HEADPHONE

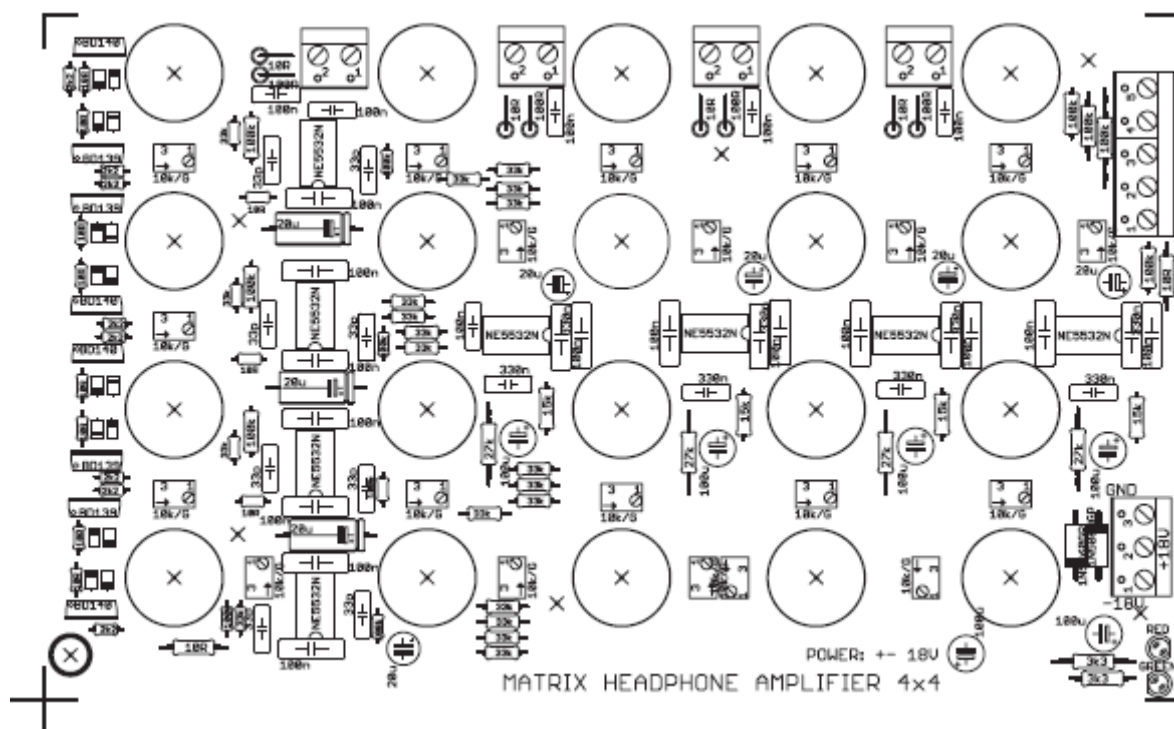
DPS MATRIX HEADPHONE byla navržena v programu Eagle. Velikost 1:1.



Obrázek 10: DPS MATRIX HEADPHONE -top strana.



Obrázek 11: DPS MATRIX HEADPHONE -bottom strana.



Obrázek 12: DPS - osazení součástek mixu.

6. Simulace

6.1 AC analýza

Navržené schéma zapojení bylo podrobena simulacím v PSpice pro zjištění teoretické výsledné funkce návrhu a možnost optimalizace zapojení.

Na obrázcích 13 - 21 jsou znázorněny výsledky AC analýzy přenosových charakteristik A_u [dB] v kmitočtovém pásmu 10Hz – 30kHz a to pro různé nastavení úrovní regulačních prvků (potenciometrů). Tyto hodnoty nastavení (0 – 100%) jsou uvedeny u jednotlivých obrázků. Jsou zde zobrazeny charakteristiky jednotlivých aktivních bloků mixu.

V1 – výstupní signál impedančního přizpůsobení

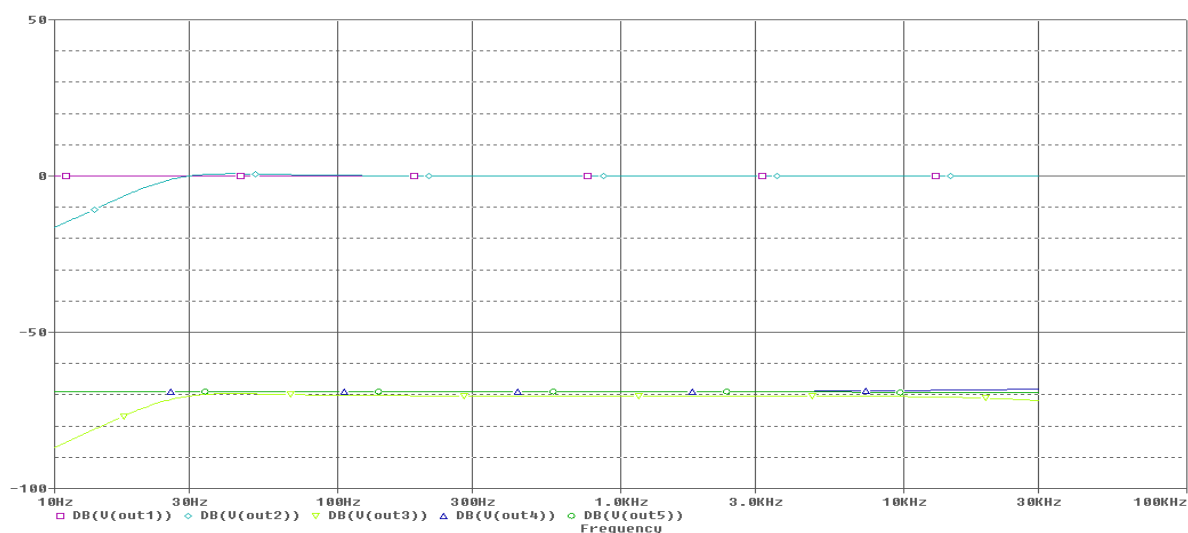
V2 – výstupní signál vstupního HF filtru

V3 – výstupní signál 1.stupně budiče koncového stupně před regulátorem

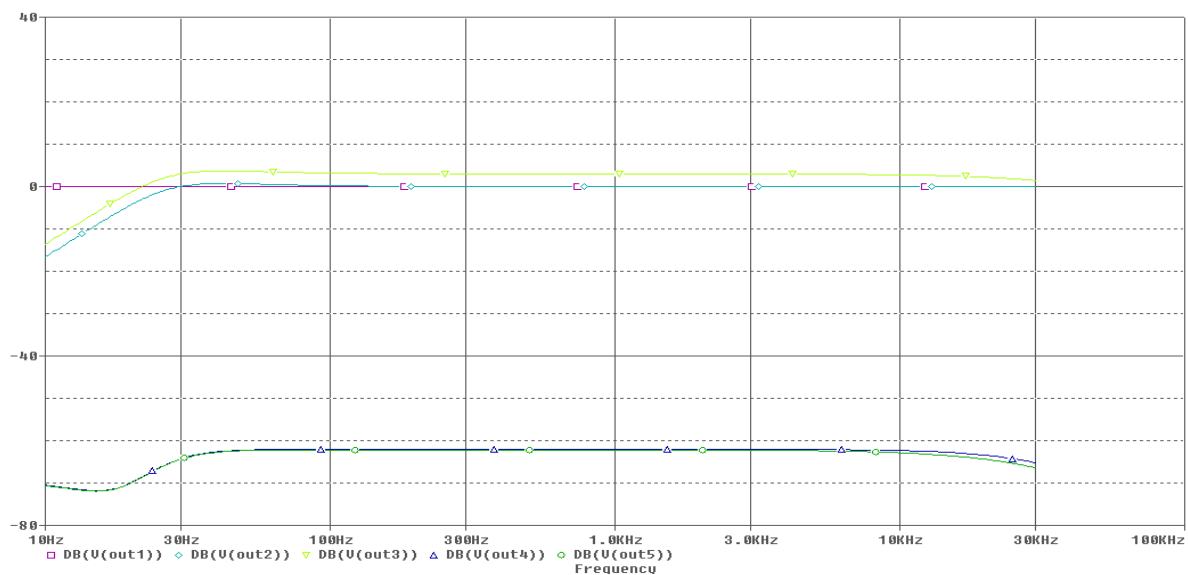
V4 – výstupní signál budiče koncového stupně

V5 – výstupní signál koncového stupně bez připojené zátěže

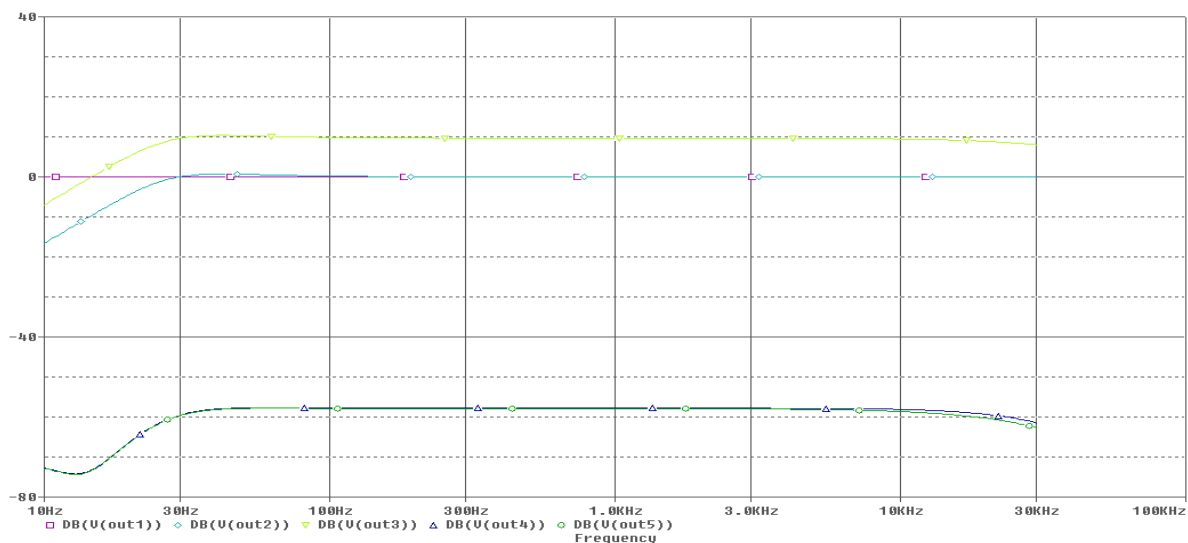
Na obrázku 23 je schéma jednoho kanálu s vyznačením výstupních bodů simulace.



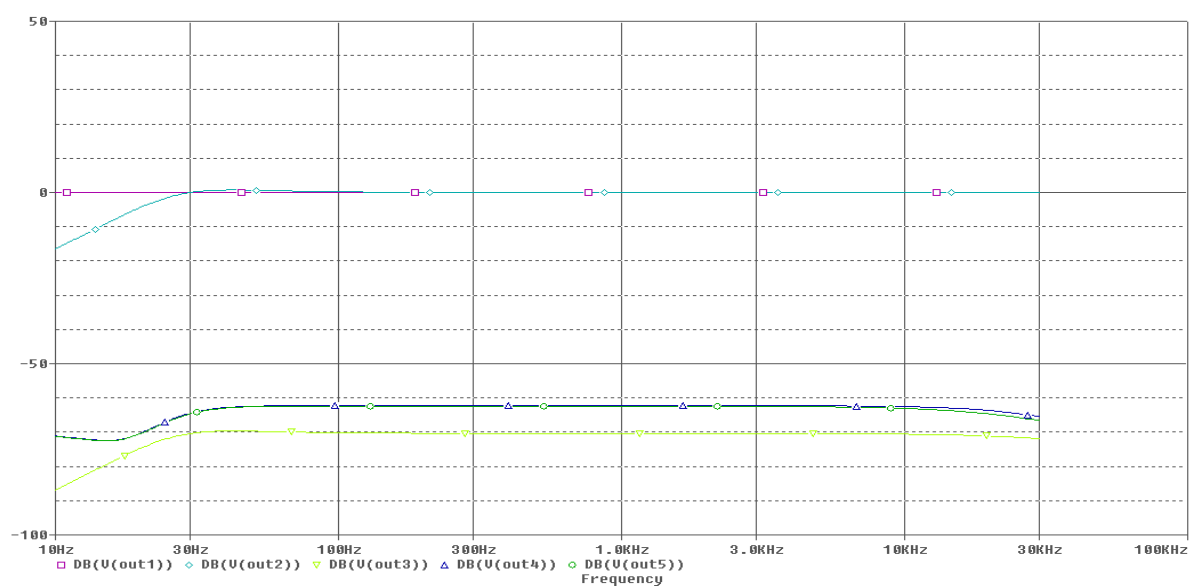
Obrázek 13: Přenosová charakteristika s nastavením potenciometrů 0% : 0%.



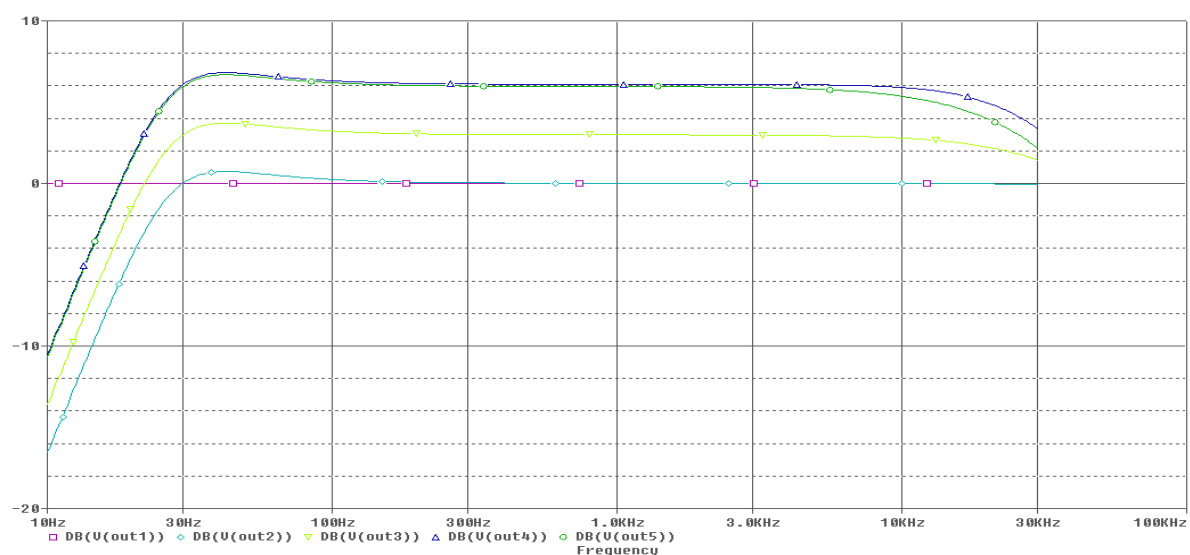
Obrázek 14: Přenosová charakteristika s nastavením potenciometrů 50% : 0%.



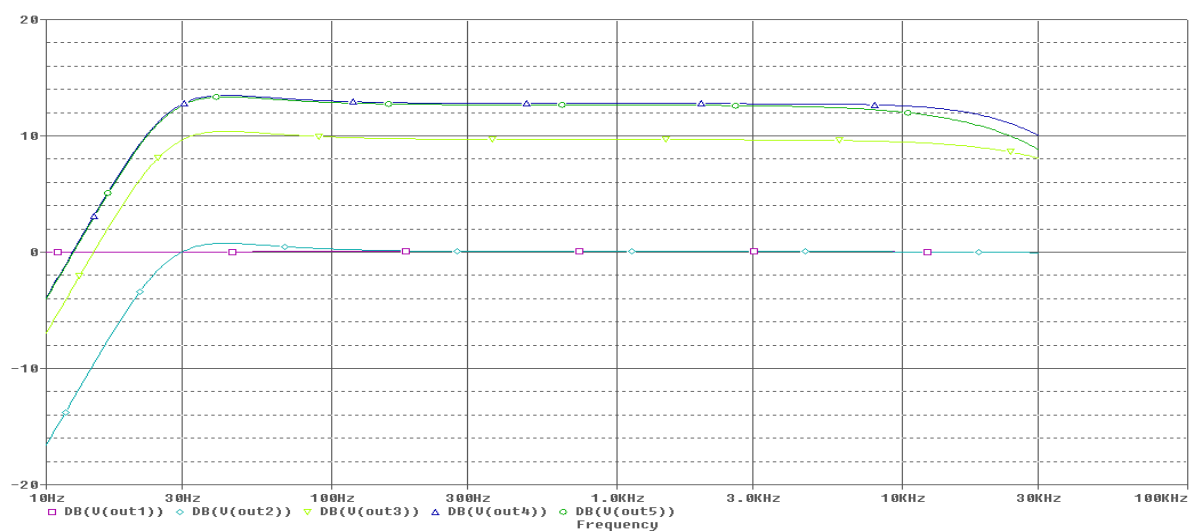
Obrázek 15: Přenosová charakteristika s nastavením potenciometrů 100% : 0%.



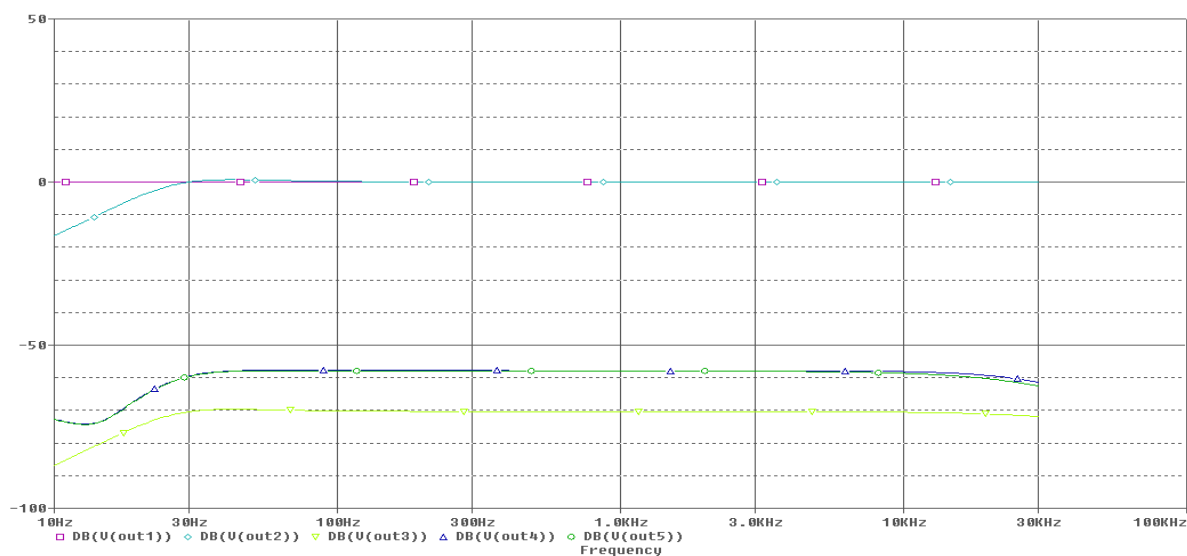
Obrázek 16: Přenosová charakteristika s nastavením potenciometrů 0% : 50%.



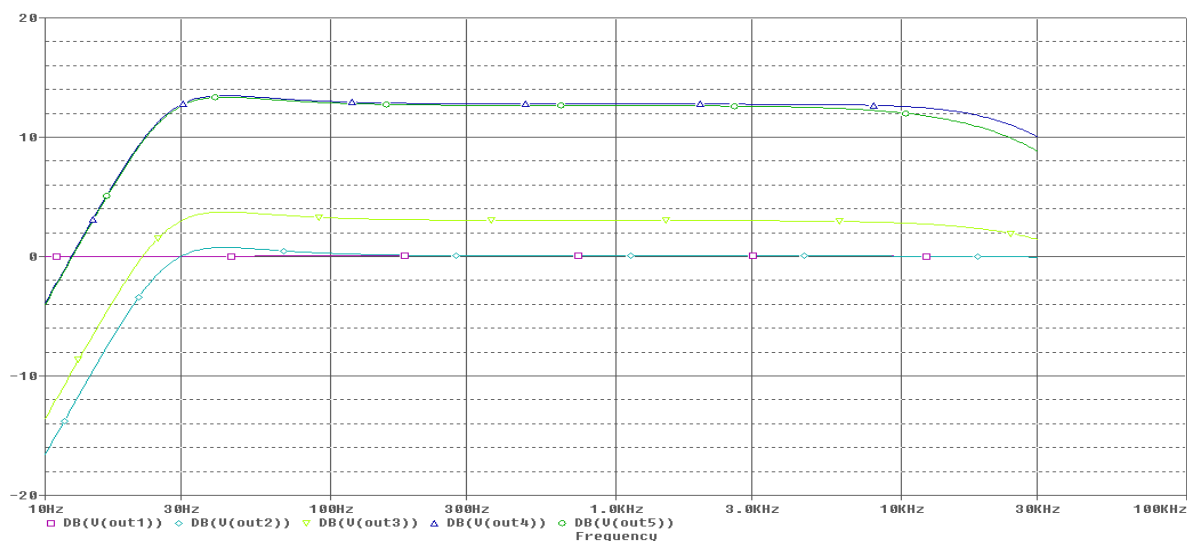
Obrázek 17: Přenosová charakteristika s nastavením potenciometrů 50% : 50%.



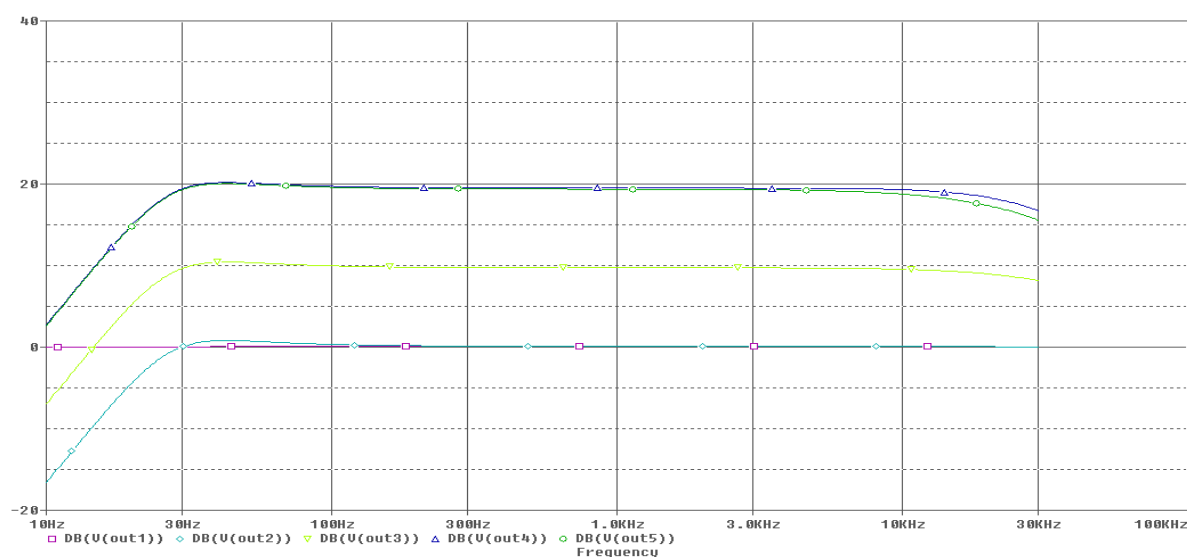
Obrázek 18: Přenosová charakteristika s nastavením potenciometrů 100% : 50%.



Obrázek 19: Přenosová charakteristika s nastavením potenciometrů 0% : 100%.

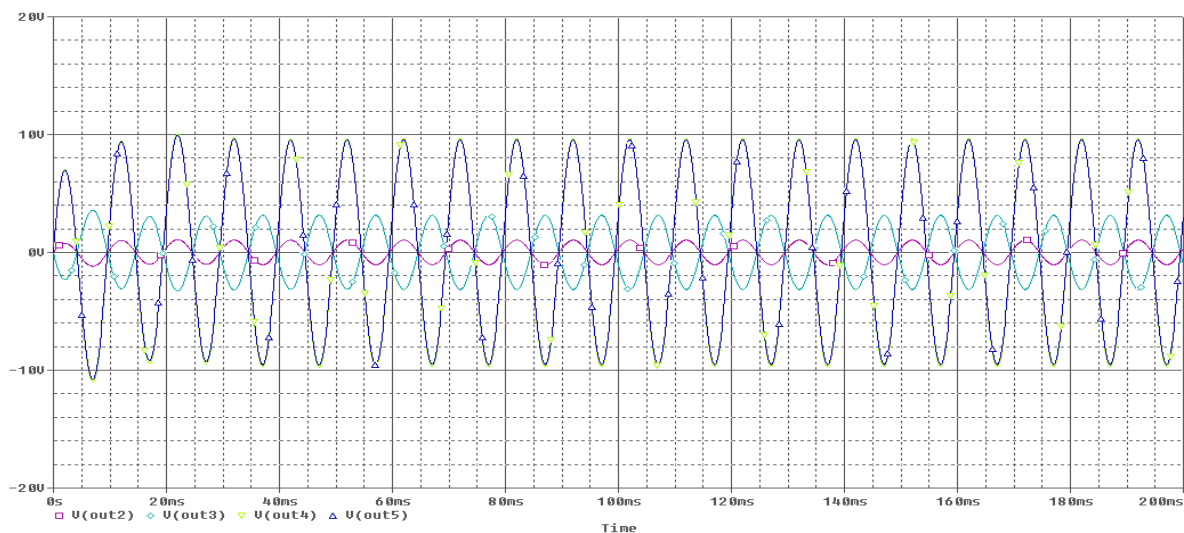


Obrázek 20: Přenosová charakteristika s nastavením potenciometrů 50% : 100%.



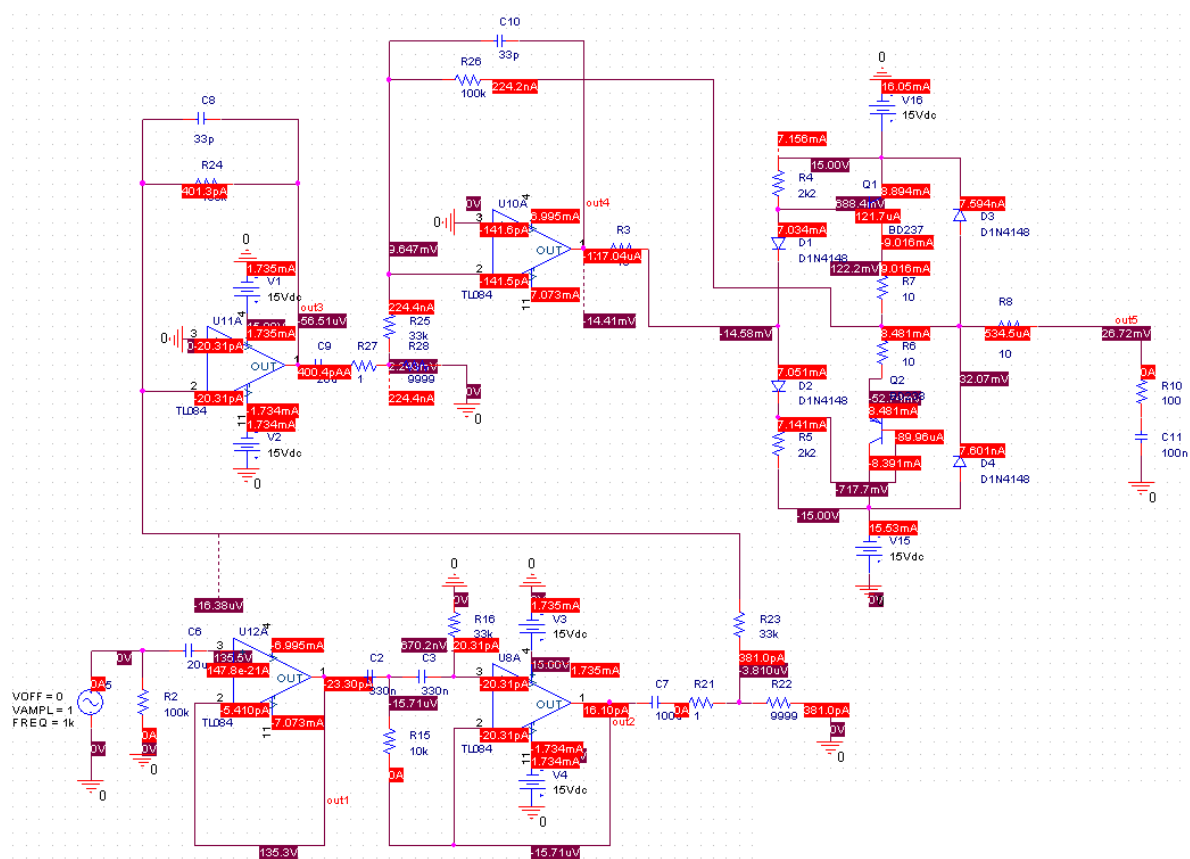
Obrázek 21: Přenosová charakteristika s nastavením potenciometrů 100% : 100%.

6.2 Časová analýza



Obrázek 22: Analýza v časové oblasti.

6.3 DC analýza

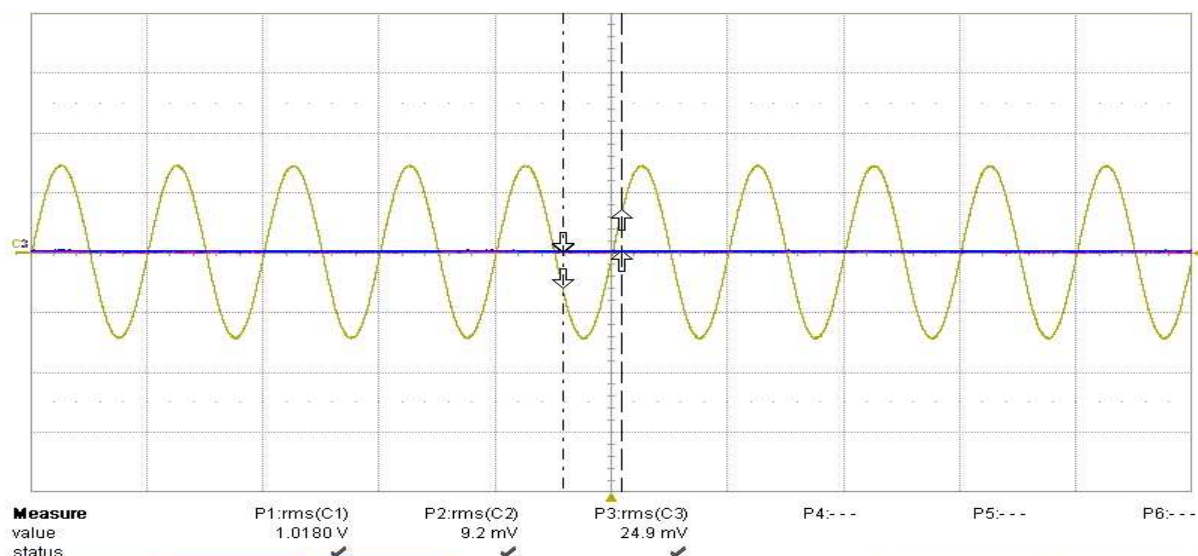


Obrázek 23: DC analýza simulovaného kanálu a nastavení pracovních bodů.

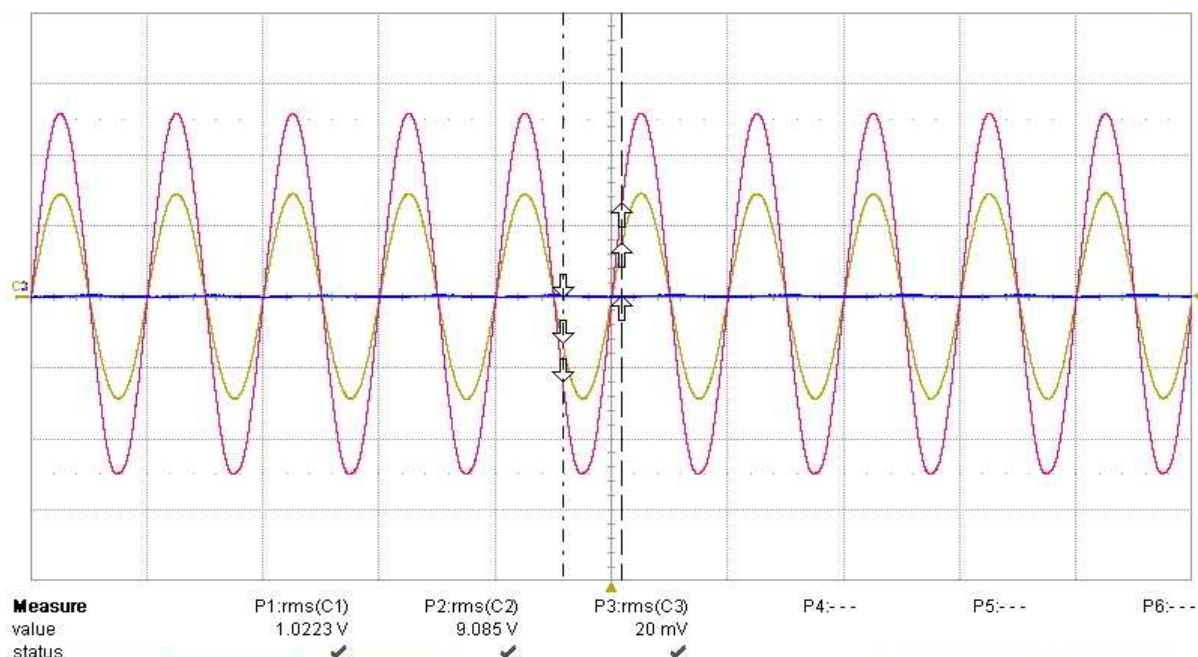
***Výstupní body simulací jsou vyznačeny na obrázku 23.**

7. Výsledky měření

Modulová kmitočtová charakteristika $A_u = f(U_2/U_1)$



Obrázek 24: Měření průchodu signálu při stažené hlasitosti výstupu.



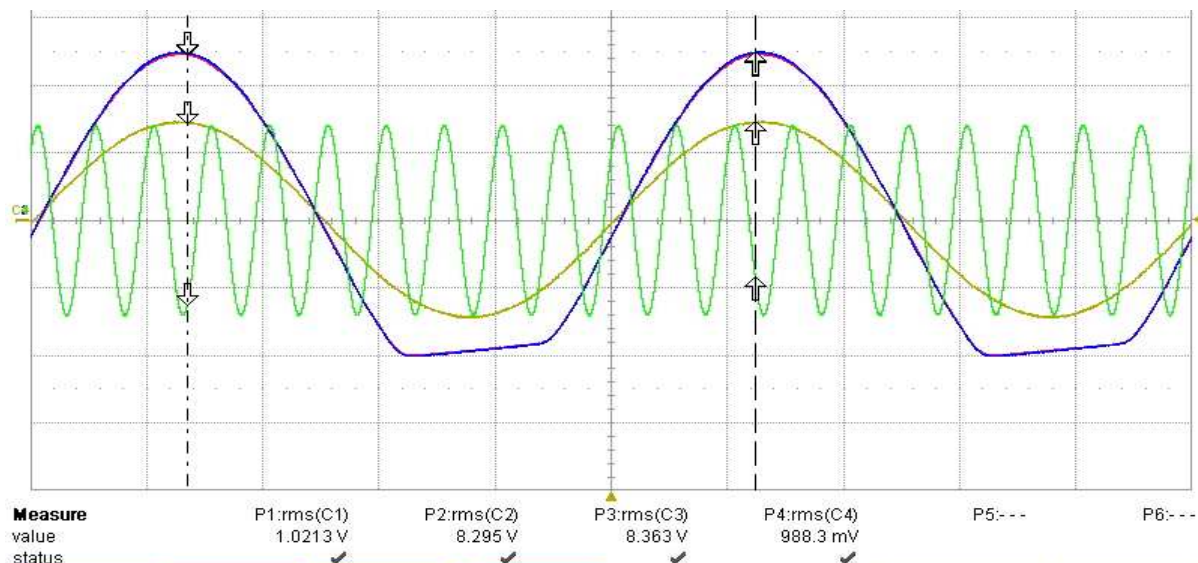
Obrázek 25: Měření přeslechu na vedlejším kanále při maximálním vybuzení konce.

Žlutá- vstupní signál

Červená- výstupní signál na stejném kanále při plném vybuzení.

Modrá – úroveň přeslechu na vedlejším kanále při maximálním vybuzení výstupu.

Přeslech na vedlejším kanále při maximálním vybuzení zůstal na úrovni šumu, který byl detekován při minimálním buzení konce.



Obrázek 26: Měření průchodu signálu při maximální hlasitosti dvou výstupů (při maximálním buzení vstupu vedlejšího kanálu jiným signálem).

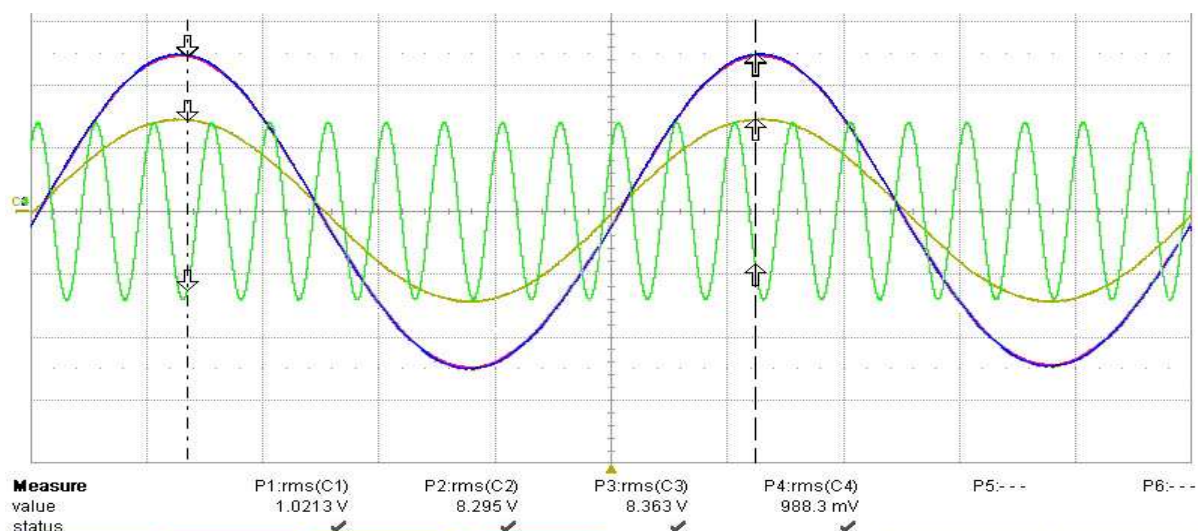
Žlutá- vstupní signál 1. Kanálu (1V RMS / 1kHz)

Zelená - vstupní signál 2. Kanálu (1V RMS / 10kHz)

Červená, modrá – Výstupní signál kanálu 1 a 2 buzené 1. Vstupem

Při nastavení maximální úrovně 1.vstupu buzeného harmonickým signálem 1kHz a směřovaného do dvou výstupů, nebyl na výstupních signálech patrný superponovaný druhý signál 10kHz, kterým byl buzen druhý vstupní kanál. Signál z 1. vstupu tak nebyl na obou výstupech jiným signálem z 2. vstupu ovlivněn.

Bylo zjištěno, že nahodile vzniklé ořezy na výstupních signálech vznikají na vstupní kapacitě prvního OZ. Snížením vstupní impedance všepropustného článku připojením odporu 33k mezi neinvertující vstup a zem byt tento problém odstraněn (viz obr. 27).



Obrázek 27: Průběhy signálů po odstranění příčiny zkreslení.

Naměřené hodnoty modulové kmitočtové charakteristiky na výstupu osciloskopu:

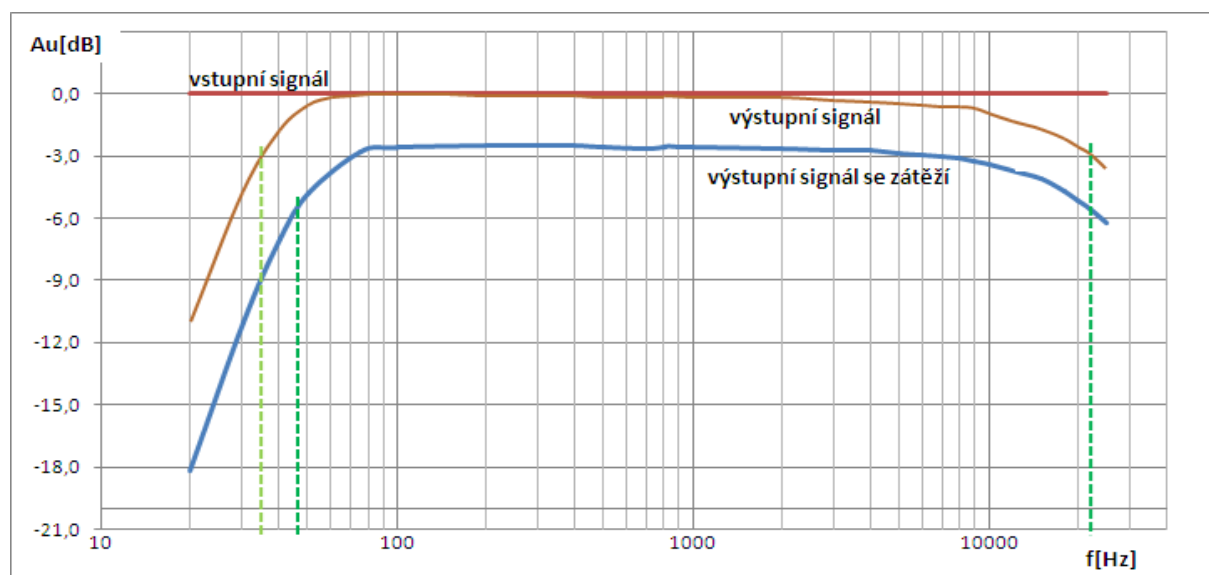
Bez zátěže

f[Hz]	U1[V]	U2[V]	Au[dB]
20	0	0,306	-10,995
30	0	0,604	-4,73144
40	0	0,84	-1,7662
50	0	0,96	-0,57448
60	0	1	-0,211
70	0	1,015	-0,07853
80	0	1,022	-0,01739
90	0	1,024	0
100	0	1,024	0
125	0	1,019	-0,04354
150	0	1,017	-0,06102
200	0	1,014	-0,0873
300	0	1,012	-0,10486
400	0	1,01	-0,12246
500	0	1,001	-0,20211
800	0	1,007	-0,14893
1000	0	1,005	-0,16662
2000	0	1	-0,211
3000	0	0,99	-0,30046
4000	0	0,98	-0,39084
5000	0	0,97	-0,48218
6000	0	0,96	-0,57448
7000	0	0,955	-0,62101
8000	0	0,95	-0,66778
9000	0	0,945	-0,71481
10000	0	0,92	-0,95384
12000	0	0,883	-1,32014
15000	0	0,848	-1,68146
18000	0	0,803	-2,16925
20000	0	0,767	-2,58022
22000	0	0,74	-2,90174
25000	0	0,682	-3,63548

S zátěží 50 ohmů

f[Hz]	U1[V]	U2[V]	Au[dB]
20	0	0,147	-18,2019
30	0	0,304	-11,0568
40	0	0,47	-7,0133
50	0	0,6	-4,79155
75	0	0,75	-2,78127
100	0	0,764	-2,61537
200	0	0,773	-2,51036
300	0	0,772	-2,52197
400	0	0,771	-2,53359
500	0	0,766	-2,59192
700	0	0,761	-2,65065
800	0	0,769	-2,55687
900	0	0,768	-2,56854
1000	0	0,768	-2,56854
2000	0	0,762	-2,63887
3000	0	0,756	-2,70978
4000	0	0,751	-2,76931
5000	0	0,743	-2,86542
6000	0	0,737	-2,93821
7000	0	0,73	-3,02391
8000	0	0,72	-3,14782
9000	0	0,71	-3,27352
10000	0	0,7	-3,40107
12000	0	0,673	-3,75511
15000	0	0,645	-4,13817
18000	0	0,603	-4,74643
20000	0	0,577	-5,1455
22000	0	0,553	-5,53089
25000	0	0,512	-6,2316

tabulka 5: Naměřené hodnoty modulové kmitočtové charakteristiky.



Obrázek 28: Porovnání frekvenčních charakteristik se zátěží 50Ω a bez zátěže.

Měření harmonického zkreslení

Při měření harmonického zkreslení byl zesilovač buzen harmonickým signálem $f=1\text{kHz}$ při hodnotě $U_1=1\text{V}$ a zátěži 50ohmů. generovaný funkčním generátorem Black Star LDO-100 s $\text{THD}+\text{NGEN}=0,004\%$. K měření byl použit nízkofrekvenční selektivní milivoltmetr Grundig MV 100, který byl připojen na výstupní svorky koncového zesilovače. Harmonické zkreslení bylo měřeno pro více úrovní výstupního výkonu. Poslední změřená hodnota harmonického zkreslení byla měřena pro jmenovitý výkon.

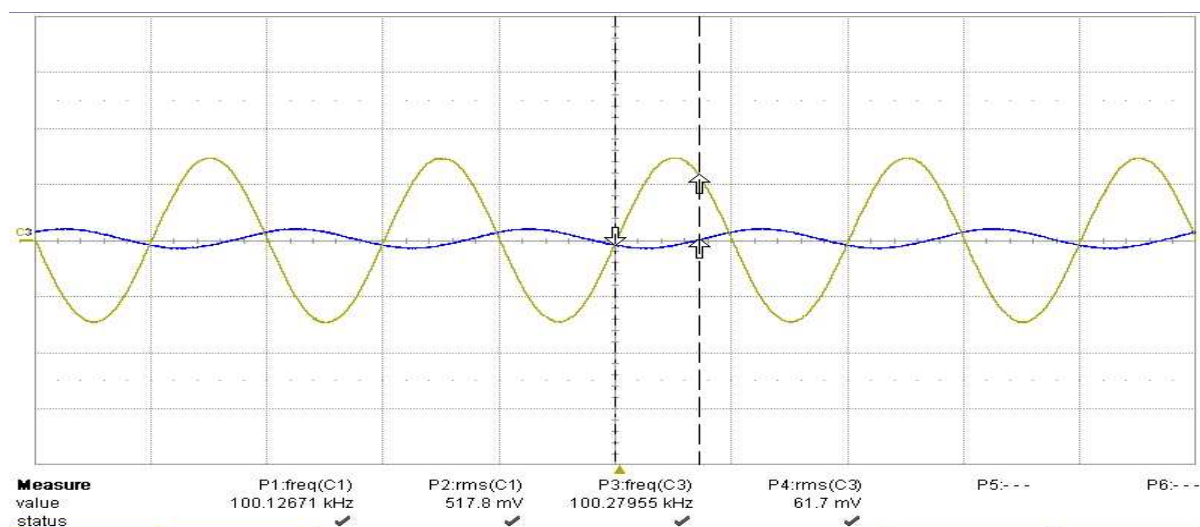
U_1 [V]	U_2 [V]	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
1	1,058	0,013	0,001	0,021

tabulka 6: Naměřené hodnoty harmonického zkreslení.

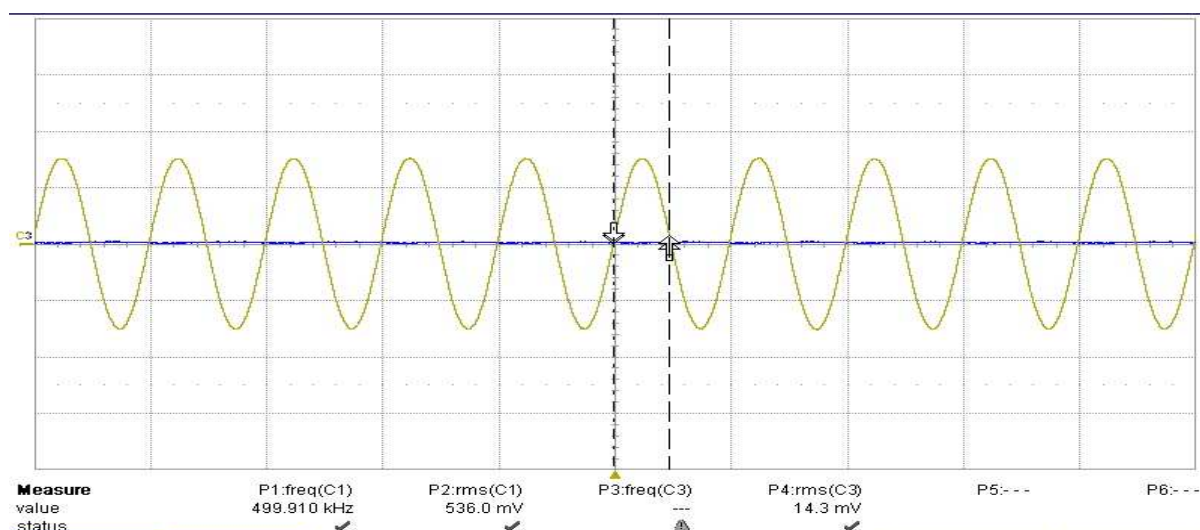
U_1	Vstupní napětí
U_2	Výstupní napětí
k_2	Harmonická složka 2F
k_3	Harmonická složka 3F
THD+N	Harmonické zkreslení s šumem

POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE:

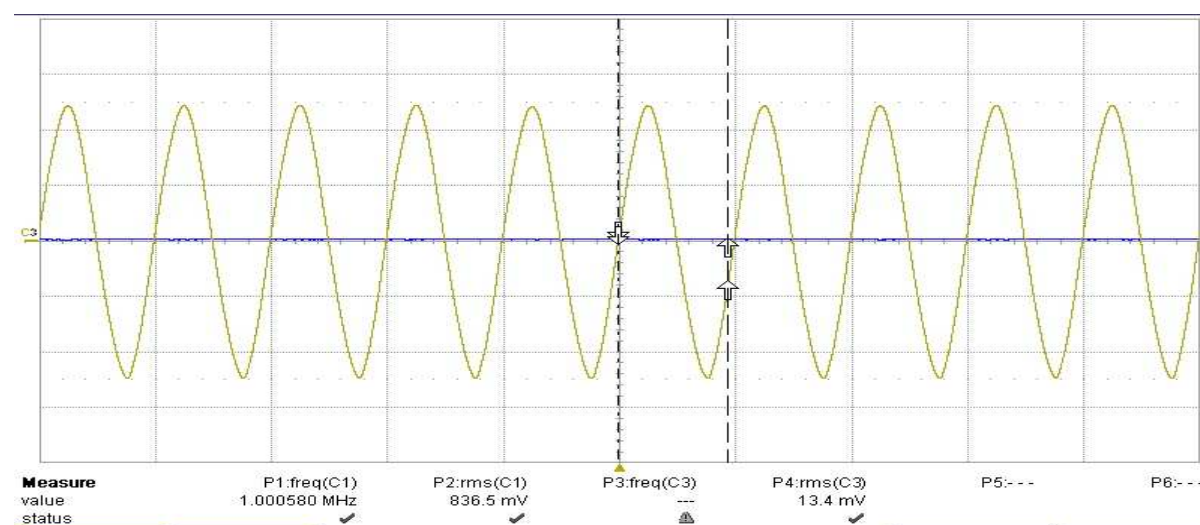
Nízkofrekvenční funkční generátor Agilent 33220A
 Digitální osciloskop Osciloskop LeGroy WaveJet 300A
 Generátor Black Star LDO-100
 Nízkofrekvenční milivoltmetr Grundig MV100
 Proměnný odpor - 100 kW



Obrázek 29: Útlum výstupního signálu na frekvenci 100kHz.



Obrázek 30: Útlum výstupního signálu na frekvenci 500kHz.



Obrázek 31: Útlum výstupního signálu na frekvenci 1MHz.

8. Napájecí zdroj

8.1 Volba typu napájecího zdroje

Při návrhu napájecího zdroje bude uvažováno jeho výstupní napětí, způsob stabilizace napětí, umístění zdroje a způsob napájení mixážních jednotek. Umístění napájecího zdroje bude vhodné volit tak, abychom mohli zajistit připojení mixážních jednotek v různých bodech signálové sběrnice spolu s připojením napájecího napětí. Z toho důvodu bude vhodné umístit napájecí zdroj v režii s napojením na páteřní kabelovou trasu v bodě vstupu signálových cest do této kabeláže. Vzhledem v návrhu obvodu mixážní jednotky a z důvodu dálkového napájení, které bude vedeno k mixážním jednotkám paralelně se signálovou sběrnicí, bude vhodné volit symetrické napájení, které bude eliminovat vznik rušení. Bude uvažováno s připojením alespoň dvou mixážních jednotek na signálovou sběrnici, proto je třeba volit výkon transformátoru s ohledem na tuto skutečnost. Vhodnou volbou je výběr trafo z katalogu s hodnotami 34VA, 230V/2x18V/1A.

8.2 Jištění

Primární vinutí je třeba chránit proti přetížení přístrojovou pojistkou, jejíž hodnotu určíme ze vztahu:

$$I_p = \frac{34}{230} = 0147mA \quad (5.1)$$

Její hodnotu je třeba volit vyšší s ohledem na možné kolísání napětí v síti a na případné špičky při uvádění do provozu. Vhodná hodnota pojistky bude 20mA.

8.3 Usměrňovač a filtrace

Sekundární napětí usměrníme můstkovým usměrňovačem v zapouzdřeném provedení –WW+ s hodnotami 2A/ 600VAC [10] pro dostatečnou proudovou i napěťovou rezervu. Každou diodu usměrňovače přemostíme keramickým kondenzátorem cca 10nF, abychom tím kompenzovali komutační špičky vznikající při usměrňování [4].

Výstupní napětí z usměrňovače filtruje elektrolytický filtrační kondenzátor. Slouží jako zásoba energie při poklesu střídavého napětí k nule. Čím větší je jeho kapacita, tím lépe je výstupní napětí vyhlazené. Čím větší proud ze zdroje odebíráme, tím větší musí být tato kapacita. Doporučuje se ji volit 1 až 2 mF na každý ampér odebíraného

proudu [11]. Pro napětí 15V, proud 1A a zvlnění 2% ji můžeme také přesněji určit ze vztahu [12]:

$$C = \frac{60 \cdot I_{20}}{p \cdot f \cdot U_{20}} \quad (5.2)$$

Pro dosažení hladší filtrace je možné snížit zvlnění a tím dostaneme potřebnou hodnotu kapacity.

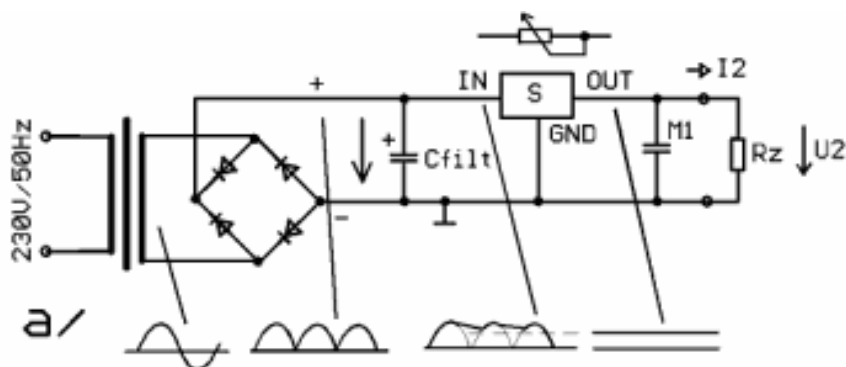
Napětí na sekundárním vinutí transformátoru udáváme v efektivní hodnotě. Filtrační kondenzátor se nabíjí na maximální hodnotu tohoto napětí, které je $\sqrt{2}$ krát větší. Od tohoto napětí odečteme předpokládaný úbytek napětí na usměrňovači. U můstkového usměrňovače pracují vždy 2 diody v sérii, na každé diodě se ztrácí na PN přechodu zhruba 0,7 V.

Sekundární vinutí trafo má hodnotu 2x 18V. napětí na filtračním kondenzátoru tedy bude:

$$U_c = U_s \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot U_d$$

$$U_c = 18 \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot 0,7 = 24V \quad (5.3)$$

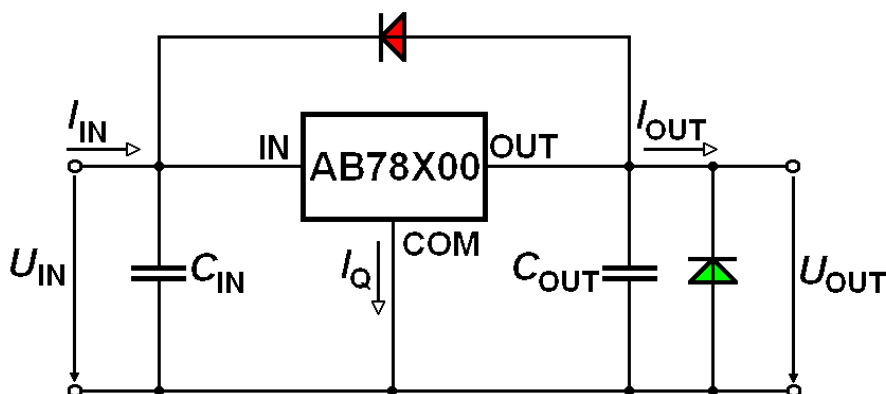
Filtrační kondenzátory budou voleny s ohledem na hodnotu napětí s vhodnou rezervou. Hodnota 35V bude dostatečná.



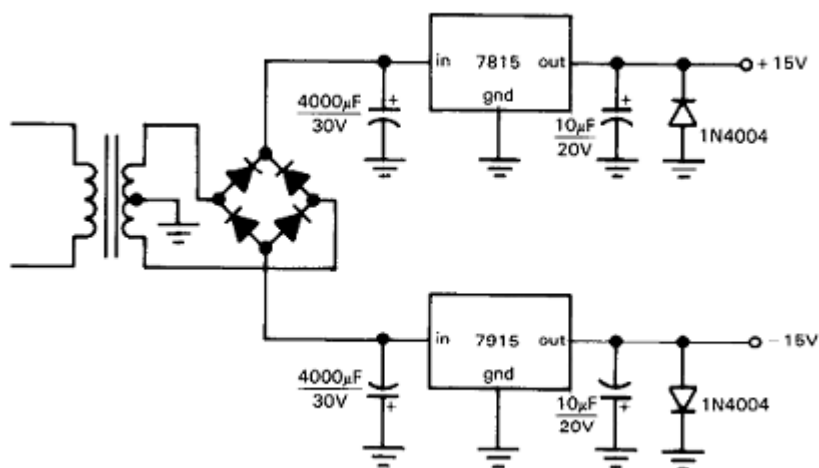
Obrázek 32: Vyznačení průběhů napětí na dílčích částech zdroje [10].

8.4 Stabilizátor

Pro stabilizaci sekundárního napětí bude vhodný výběr tříprvkových stabilizátorů s pevným napětím řady AB7815 pro stabilizaci kladného napětí a AB7915 pro stabilizaci záporného napětí s použitím ochranných diod (viz. obr. 20). Diody chrání stabilizátor proti zkratu a proti přepólování. Lze použít 1N4004, nebo 1N4005 [11]. Rozdíly jsou v maximálním reverzním napětí, proud je 1A.



Obrázek 33: Stabilizátor s pevným napětím [11].



Obrázek 34: Typické zapojení stabilizátoru s doporučenými hodnotami součástek [12]

www.electronics-lab.com

Je vhodné také doplnit paralelně k filtračním kapacitám malé hodnoty keramických kondenzátorů cca 100nF, abychom omezili vf rušení stabilizátoru. Správný chod zdroje budou signalizovat LED diody, které připojíme paralelně k výstupní filtraci stabilizátoru. Jelikož je hodnota výstupního napětí 15V, musíme k LED diodám předřadit omezovací odpory, jejichž hodnotu získáme ze vztahu

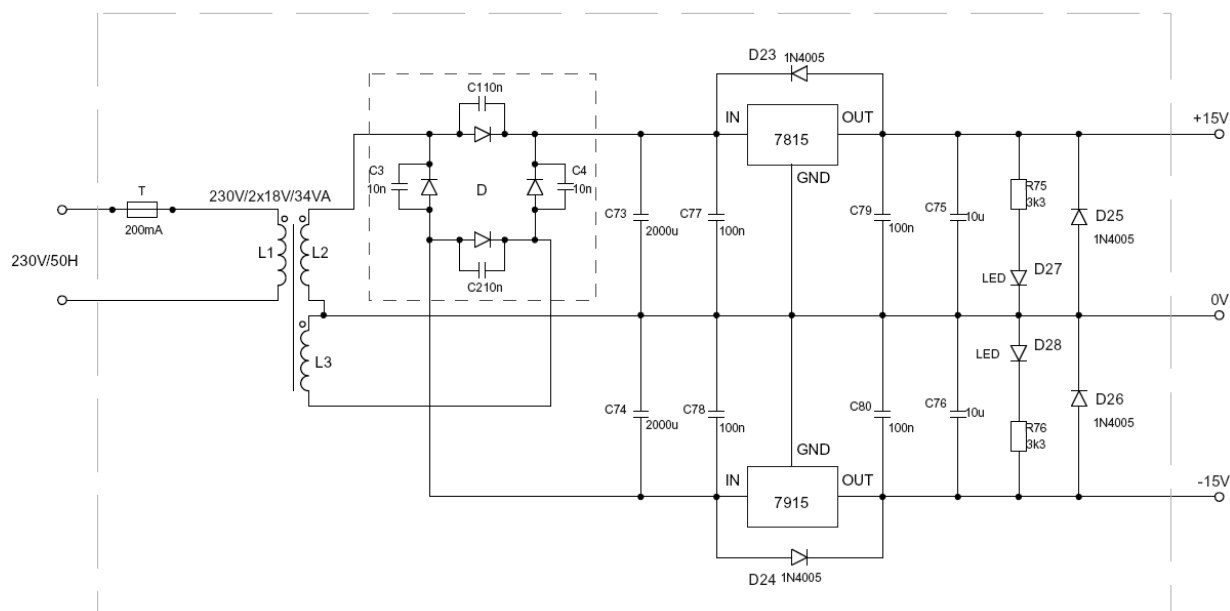
$$R_{LED} = \frac{U_{15} - U_{LED}}{I_{LED}}$$

Pro signalizaci budou dostatečné hodnoty LED 5-20mA /2V. Nebudeme zatěžovat diody maximálním proudem a proto můžeme vypočítanou hodnotu omezovacích odporů volit vyšší.

$$R_{LED} = \frac{15 - 2}{5 \cdot 10^{-3}} \geq 2600\Omega$$

8.5 Schéma zapojení napájecího zdroje

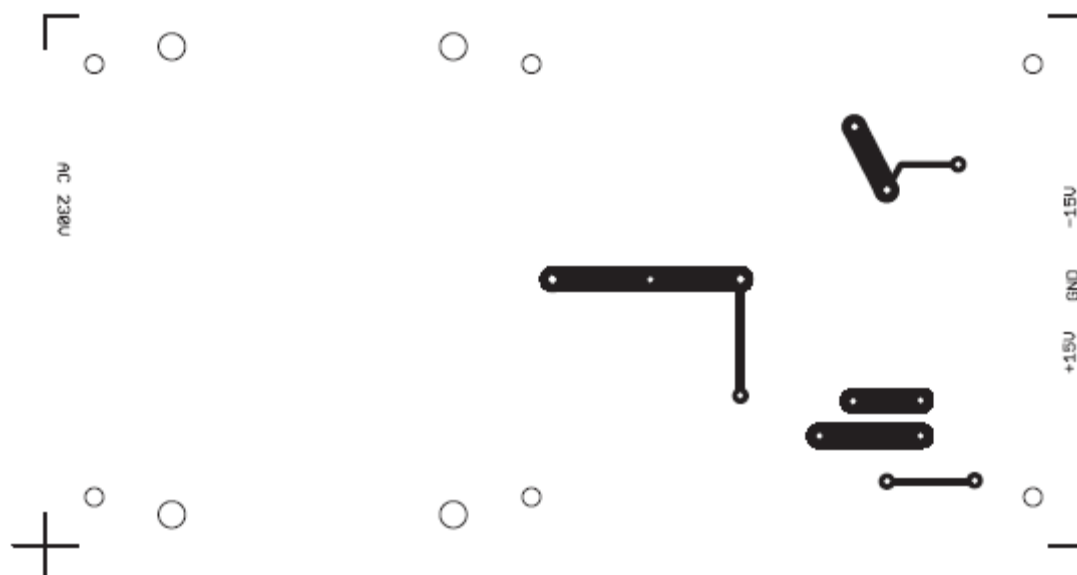
Výsledné schéma napájecího zdroje vychází z typických zapojení stabilizátoru AB 78XX a AB79XX. V sekundární části za transformátorem je můstkový usměrňovač, který je doplněn o kapacity připojené paralelně k diodám usměrňovače pro kompenzaci komutačních špiček. Zapojení obsahuje ochranné diody proti přepólování a proti zkratu D23 – D26. Pro eliminaci VF rušení na stabilizátoru jsou doplněny kapacity na vstupních a výstupních svorkách stabilizátoru a pro indikaci chodu zdroje v obou polaritách jsou na výstupu signalizační LED diody.



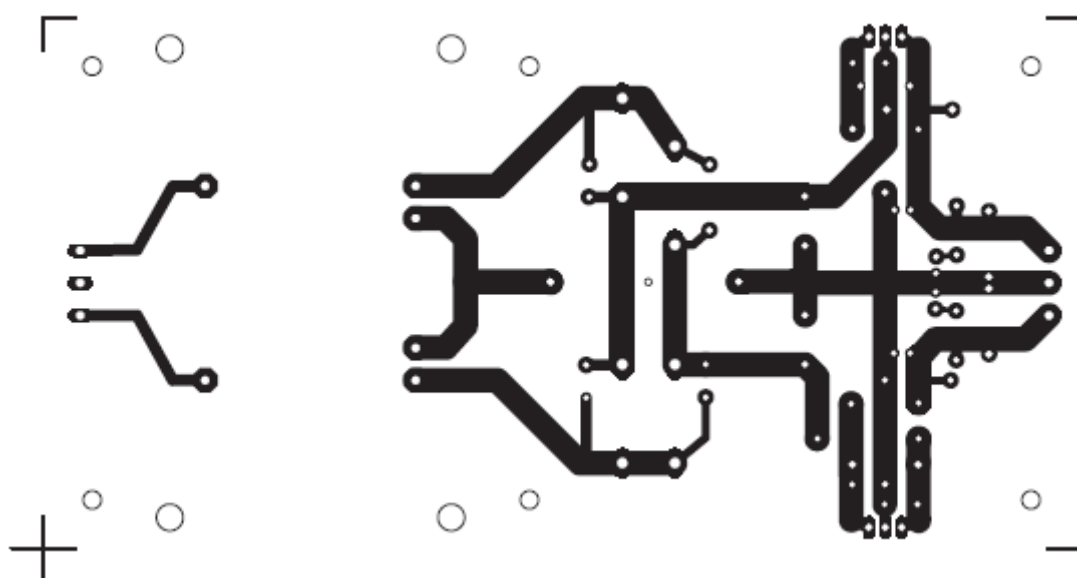
Obrázek 35: Schéma zapojení napájecího zdroje se stabilizátory 7815 a 7915.

8.6 DPS napájecího zdroje

DPS napájecího zdroje byla navržena v programu Eagle. Velikost 1:1.



Obrázek 36: DPS napájecího zdroje -top strana.

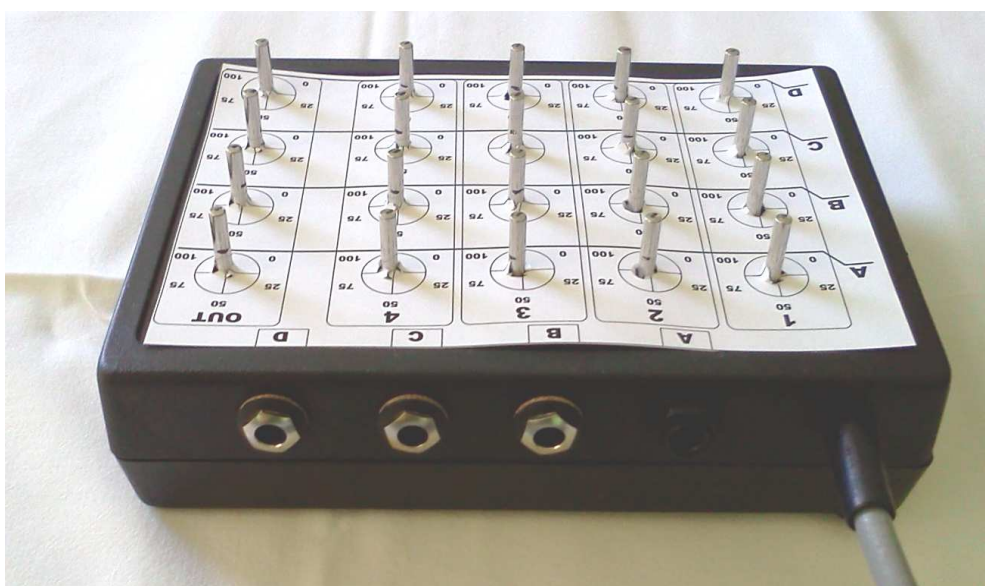


Obrázek 37: DPS napájecího zdroje -bottom strana.

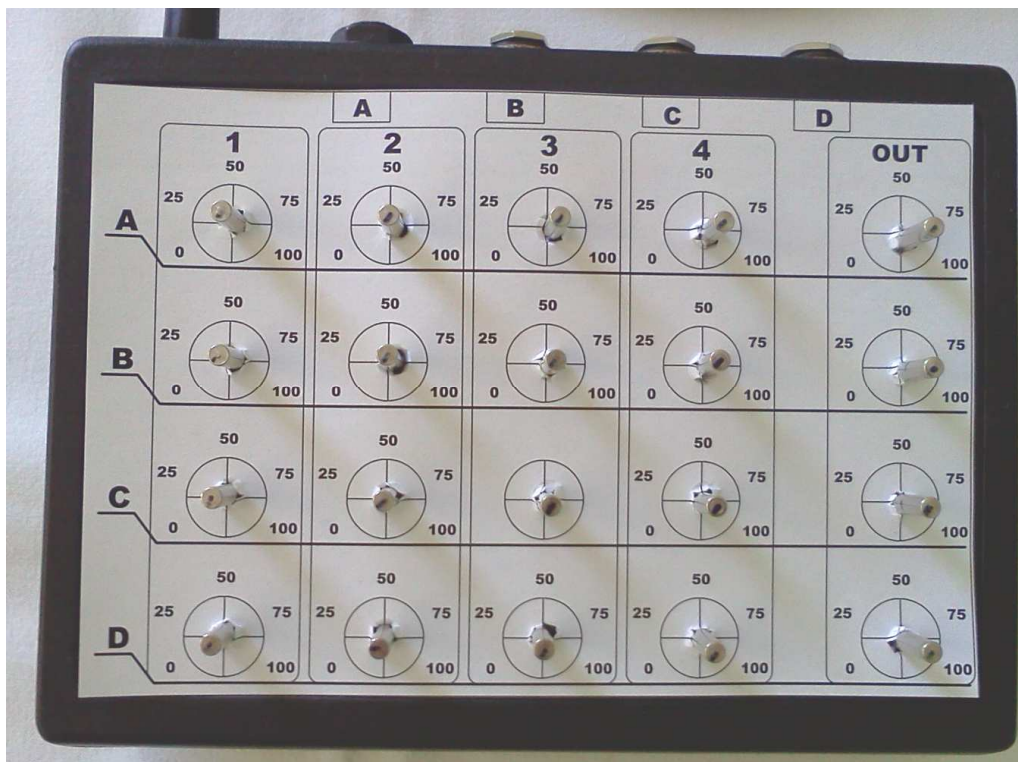
9. Fotografická dokumentace



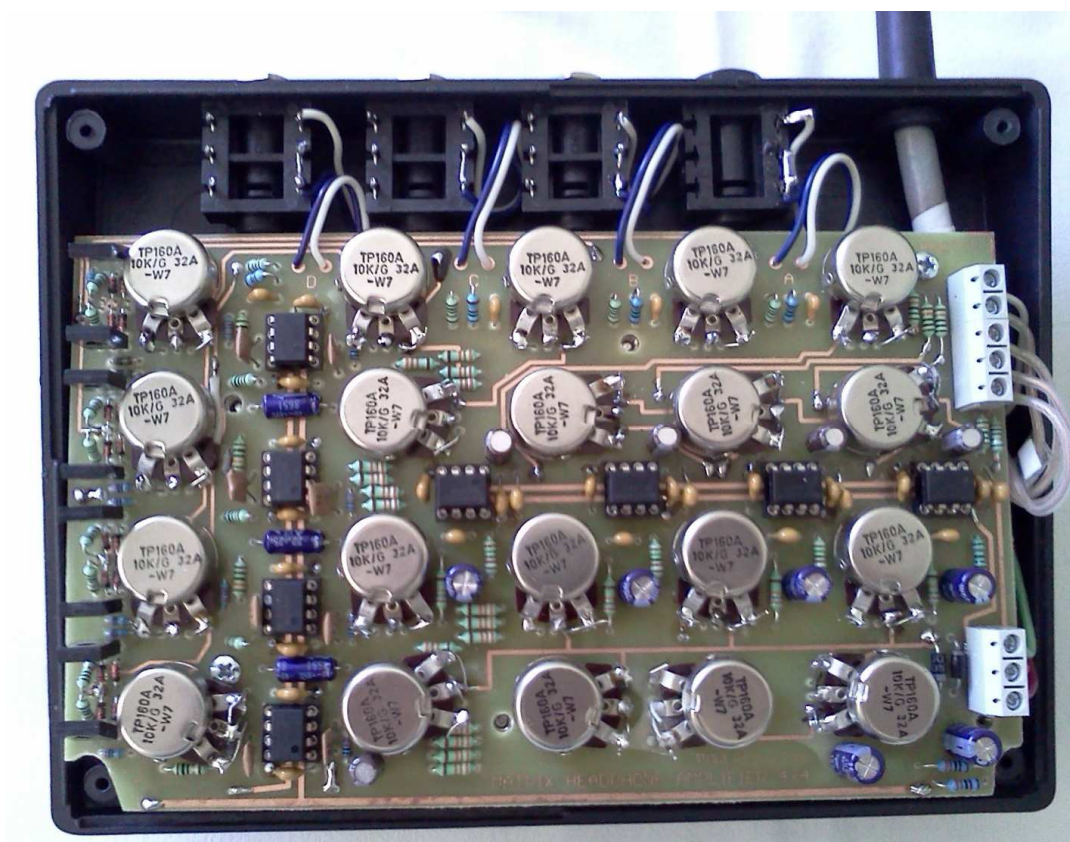
Obrázek 39: Pohled na mixážní jednotku s připojovacím kabelem.



Obrázek 40: Pohled na zadní část mixu s výstupními konektory.



Obrázek 41: Pohled na ovládací panel mixu.



Obrázek 42: Pohled na osazenou DPS mixu.



Obrázek 43: Pohled na napájecí zdroj –horní pohled.



Obrázek 44: Pohled na napájecí zdroj –přední strana.



Obrázek 45: Pohled na napájecí zdroj –zadní strana.

10. Závěr

V první části této práce byl proveden rozbor problému studiového monitoringu, nastínění typických situací a varianty jejich řešení. Na základě těchto poznatků byl proveden návrh maticového sluchátkového zesilovače pro studiový monitoring. Návrh byl zaměřen na řešení míchání signálu ze společné sběrnice pro čtyři signálové cesty s možností routování výsledných mixů do čtyř sluchátkových výstupů. Byly navrženy jednotlivé bloky tohoto maticového zesilovače, vstupní impedanční převodník, hornopropustní filtr HPF druhého řádu se strmostí 12dB/dek, maticový směšovač, budicí blok, koncový stupeň a napájecí zdroj zařízení. Byly provedeny výpočty součástek obvodového zapojení, zakreslení schémat jednotlivých bloků s popisem funkcí a vyhotoveno celkové schéma zapojení. K mixážní jednotce byl navržen typ napájecího zdroje a vyhotoveno celkové schéma zapojení tohoto napáječe. Hodnoty navržených součástek jsou uvedeny ve výsledném schématu zapojení (viz. Příloha A). V této práci byly dále provedeny simulace navržených obvodů (AC analýza, DC analýza, analýza v časové oblasti). Byly provedeny návrhy desek plošných spojů pro mixážní jednotku i pro napájecí zdroj, na jejichž základě byla provedena výroba DPS a osazení navrženými součástkami.

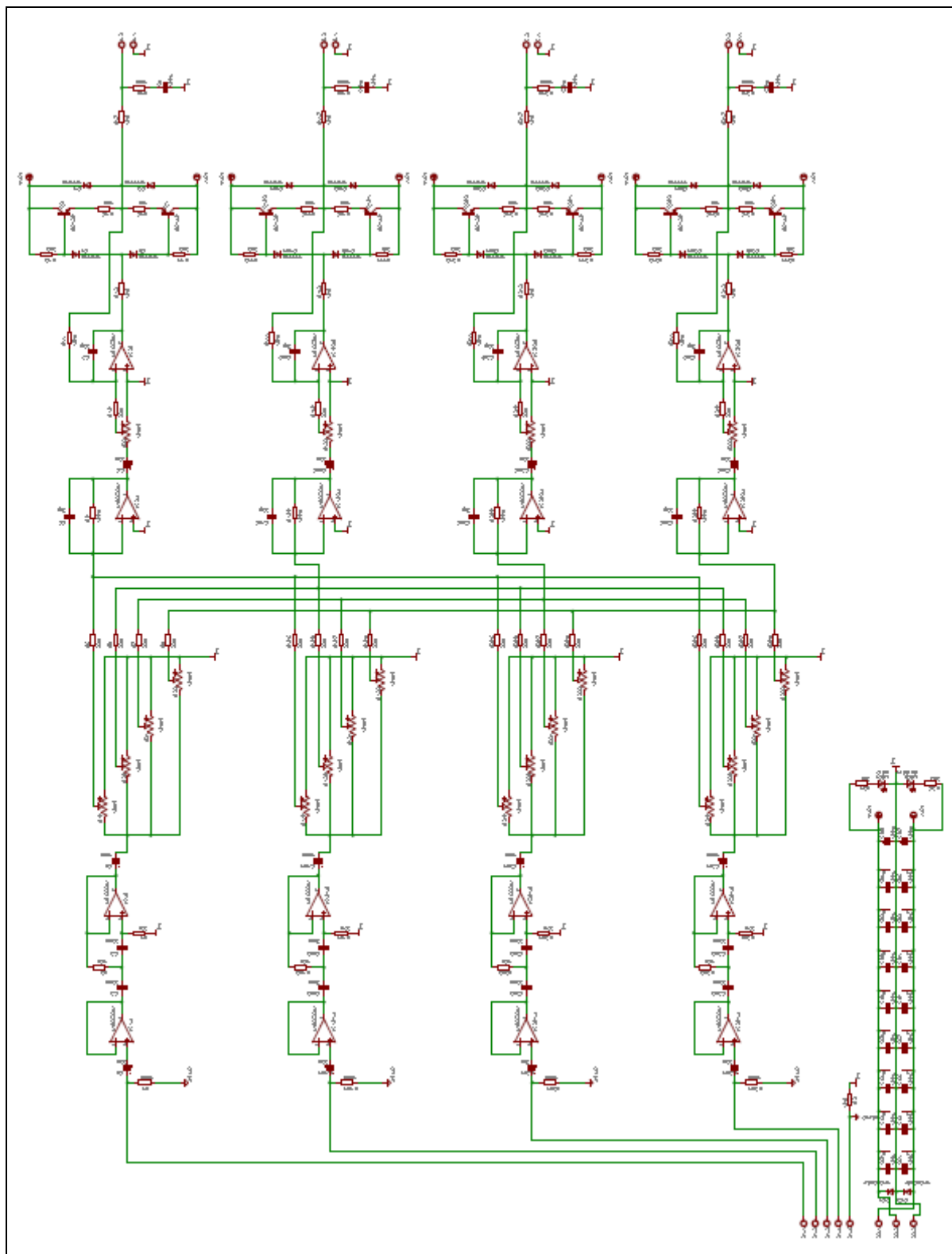
Oživování výrobku probíhalo bez závažných komplikací s výjimkou špatného osazení tranzistorů koncového stupně. Tato chyba vznikla z důvodu záměny pořadí pinů tranzistorů pořízených kusů oproti údajům z katalogu součástek, které byly od jiného výrobce. Opětovným správným osazením tranzistorů byl výrobek úspěšně uveden do provozu. Oživení napájecího zdroje probíhalo bez komplikací. Výrobek byl podroben měřením ve školní laboratoři. Při měření modulové kmitočtové charakteristiky byly v nějakém čase pozorovány ořezy výstupních signálů. Bylo zjištěno, že toto není způsobeno teplotní destabilizací koncového stupně, jak se nejprve zdálo, ale tím, že nebyl nastaven klidový nulový potenciál na vstupu nepropustného článku (1. OZ). Tato nestabilita vstupu byla ošetřena úpravou vstupní impedance OZ odporem 33k, který zajistil potřebnou stabilitu vstupu. Uvedený problém je zaznamenán ve výsledcích měření. Výsledky měření byly zpracovány a jsou zaznamenány v této práci. Výsledky analýzy jsou s porovnáním s naměřenými hodnotami odpovídající.

Navržený a sestavený výrobek je po drobných odladěních popsanych výše plně funkční a jeho parametry vyhovují původním požadavkům.

Použitá literatura

- [1] Huhubneiny Tymos [online], [cit. prosinec 2010]. Webové stránky společnosti. Dostupné na [www: ttp://hudebniny.tymos.cz](http://hudebniny.tymos.cz)
- [2] MALINA V., Poznáváme elektroniku III, nakladatelství Kopp, České Budějovice, 1997
- [3] KRATOCHVÍL T., Nízkofrekvenční elektrotechnika, přednášky. Elektronické skriptum. Ústav radioelektroniky FEKT VUT v Brně.
- [4] HRUBÝ F., Elektro bastlírna, webový portál, praktické rady, webové fórum. Dostupné na [www: < http://www.elektroworld.info/ >](http://www.elektroworld.info/)
- [5] BRANČIK, L., DOSTAL, T. Analogové elektronické obvody přednášky [online], Brno: Vysoké učení technické v Brně, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007, https://www.feec.vutbr.cz/et/skripta/urel/Analogove_elektronicke_obvody_P.pdf
- [6] AKG [online], [cit. prosinec 2010]. Webové stránky společnosti. Dostupné na WWW: [< http://www.elektroworld.info/ >](http://www.elektroworld.info/)
- [7] Wikipedia, otevřená encyklopedie, [cit. prosinec 2010], Nízkofrekvenční zesilovače. Dostupné na [www: <http://www.wikipedia.com/>](http://www.wikipedia.com/).
- [8] SBORNÍK PRACÍ ČLENŮ POBOČKY, [cit. prosinec 2010], Pobočka ČSVTS při k. p. TESLA Přelouč, červenec 1981.
- [9] Dokumentace výrobce k IO TDA7293. Dostupné na [www: <http://www.datasheetcatalog.com>](http://www.datasheetcatalog.com)
- [10] TZBinfo, [cit. prosinec 2010], Teoretická základna, Dostupné na [www: <http://www.tzb-info.cz>](http://www.tzb-info.cz)
- [11] ŠEBESTA J., [cit. prosinec 2010], KNEZ - Napájení elektronických zařízení. Elektronické skriptum, Ústav radioelektroniky FEKT VUT v Brně.
- [12] Electronics-lab [online], [cit. prosinec 2010], Dostupné na [www: www.electronics-lab.com](http://www.electronics-lab.com)

Příloha A: Schéma zapojení mixu



Obrázek 46: Konečné schéma zapojení pro návrh DPS

Příloha B: Seznam součástek

Seznam součástek:

Partlist mixážní jednotky

Part	Value	Device	Package	Library	Sheet
C1	22u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	rc1	5x
C2	330n	C-EU075-032X103	C075-032X103	rc1	8x
C4	100u	CPOL-EUE2.5-6	E2,5-6	rc1	4x
C5	33p	C-EU050-025X075	C050-025X075	rc1	8x
C6	22u	CPOL-EUE15-5AXIAL	E15-5	rc1	3x
C50	100n	C-EU075-032X103	C075-032X103	rc1	20x
C66	100u	CPOL-EUE2.5-6	E2,5-6	rc1	2x
D1	1N4148	DIODE-D-5	D-5	diode	16x
D52	1N4005	DIODE-D-5	D-5	diode	2x
IC1	NE5532N	NE5532N	DIL08	linear	8x
xx	patice pro NE5532N				8x
LED1	RED	LED3MM	LED3MM	led	1
LED2	GREEN	LED3MM	LED3MM	led	1
Q1	BD140	BD140	T0126AV	transistor-power	4x
Q2	BD139	BD139	T0126AV	transistor-power	4x
R1	100k	R-EU_0207/7	0207/7	rc1	12x
R2	10R	R-EU_0207/10	0207/10	rc1	16x
R3	15k	R-EU_0207/7	0207/7	rc1	4x
R4	27k	R-EU_0207/12	0207/12	rc1	(4x)
R5	33k	R-EU_0204/7	0204/7	rc1	20x
R13	2k2	R-EU_0204/5	0204/5	rc1	8x
R17	10R	R-EU_0207/5V	0207/5V	rc1	4x
R18	100R	R-EU_0207/5V	0207/5V	rc1	4x
R19	10k/G	TRIM_US-B64Y	B64Y	pot	20x
X1		W237-05P	W237-5P	con-wago-508	1
X2		W237-03P	W237-133	con-wago-508	1

Partlist napájecího zdroje

Part	Value	Device	Package	Library	Sheet
C1	10n	C-EU075-032X103	C075-032X103	rc1	4x
C5	100n	C-EU075-032X103	C075-032X103	rc1	4x
C9	2200u	CPOL-EUE7.5-16	E7,5-16	rc1	2x
C11	10u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	rc1	2x
C12	10u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	rc1	1
D1	1N4005	BY251	D0201-15	diode	8x
IC1	7815T	7815T	T0220H	linear	1
IC2	7915T	7915T	T0220H	linear	1
LED1	GREEN	LED3MM	LED3MM	led	1
LED2	RED	LED3MM	LED3MM	led	1
R1	3k3	R-EU_0207/7	0207/7	rc1	2x
R3	3k9	R-EU_0207/10	0207/10	rc1	2x
TR1		EI60-2	EI60-2	trafo	1
X1		W237-103	W237-103	con-wago-500	1
X2		W237-103	W237-103	con-wago-500	1