



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Úprava regulace vstupní citlivosti výkonového zesilovače Yamaha CP2000

Autor práce: Michal Medek
Vedoucí práce: Ing. Ladislav Zuzjak

Plzeň 2018

Abstrakt

Tato práce pojednává o návrhu a konstrukci předzesilovače nahrazujícího původní nevyhovující regulaci vstupní citlivosti výkonového zesilovače Yamaha CP2000, který je používán v akustických laboratořích na Fel Zču. Realizace je provedena za pomoci digitálního řízení napětím řízených zesilovačů.

Klíčová slova

napětím řízený zesilovač, zisk, předzesilovač, regulace vstupní citlivosti

Abstract

Medek, Michal. *Redesign of input stage of the power amplifier Yamaha CP 2000 [Úprava regulace vstupní citlivosti výkonového zesilovače Yamaha CP2000]*. Pilsen, 2018. Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Ladislav Zuzjak

This bachelor thesis discuss design and implementation of preamplifier replacing the original inadequate regulation of input sensitivity of the Yamaha CP2000 power amplifier, which is used in acoustic laboratories at the Faculty of Eletrical Engineering. Implementation si carried by digitally controlled voltage controled amplifiers.

Keywords

Voltage controled amplifier, gain, preamplifier, regulation of input sensitivity

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 11. června 2018

Michal Medek

.....

Podpis

Obsah

Seznam obrázků	v
Seznam tabulek	vi
Seznam symbolů a zkratk	vii
1 Úvod	1
2 Popis vstupní části zesilovače Yamaha CP2000	2
3 Metody řízení zisku	4
3.1 Pasivní předzesilovač	4
3.2 aktivní předzesilovač	5
4 Návrh nového předzesilovače	7
4.1 Vstupní obvody	8
4.2 Napětím řízený zesilovač	9
4.3 Analogové zpracování řídicího napětí	10
4.4 výstupní obvody	11
4.5 digitální část	12
4.6 Napájecí obvody	13
5 Závěr	16
Reference, použitá literatura	17
Přílohy	19
A Schémata zapojení a seznam součástek	19
B desky plošných spojů	26
C Specifikace výkonového zesilovače Yamaha CP2000	31

Seznam obrázků

2.1	Vstupní obvod jednoho z kanálů YamahaCP2000 Převzato z [14] 	2
2.2	Blokové schéma výkonového zesilovače Yamaha CP2000 Převzato z [14] 	3
3.1	Sériový dělič	4
3.2	dvoupólový rotační přepínač od výrobce Goldpoint Převzato z [16] 	5
3.3	Náznak řešení víceúrovňové regulace zisku pasivním předzesilovačem	6
4.1	Blokové schéma nového předzesilovače	7
4.2	Zjednodušené schéma kanálu vstupního obvodu	8
4.3	Principiální schéma zapojení THAT 1246 Převzato z [4] 	9
4.4	Schéma THAT 2180 s pomocnými obvody	9
4.5	Zapojení obvodů analogového zpracování řídicího napětí Převzato z [7] 	10
4.6	Zjednodušené schéma kanálu výstupního obvodu.	11
4.7	Schéma zapojení digitální části předzesilovače	12
4.8	Schéma zapojení rotačního enkodéru	13
4.9	Vstupního registru MCP4822 Převzato z [12] 	13
4.10	Navržený klasický symetrický napájecí zdroj +15V.	14
4.11	Navržený napájecí zdroj pro digitální část zesilovače.	15
A.1	Kompletní schéma zařízení 1/2	20
A.2	Kompletní schéma zařízení 2/2	21
B.1	Návrh plošného spoje předzesilovače TOP(nahoře) a BOT(dole)	27
B.2	Návrh plošného spoje TOP (vlevo) a BOT (vpravo) pro vstupní a výstupní obvody	28
B.3	Návrh plošného spoje pro rotační enkodéry TOP(vlevo) a BOT(vpravo)	29
B.4	Návrh plošného spoje pro zdroj BOT(nahoře) TOP(dole)	30
C.1	Specifikace výkonového zesilovače Yamaha CP2000 Převzato z [14] 	32

Seznam tabulek

A.1 Seznam součástí	25
-------------------------------	----

Seznam symbolů a zkratek

OZ	Operační zesilovač.
VCA	Voltage Controlled Amplifier. Napětím řízený zesilovač.
SPI	Serial Peripheral Interface. Sériové periferní rozhraní
ESD	Electrostatic Discharge. Elektrostatický výboj
RFI	Radio Frequency Interference. Radiofrekvenční rušení
SNR	Signal to Noise Ratio. Odstup signálu od šumového pozadí.
k	Konstanta vyjadřující velikost kroku regulace zisku.
kc	Konstanta řídicího napětí THAT 2180
muc	Mikrokontrolér. microcontroller

1

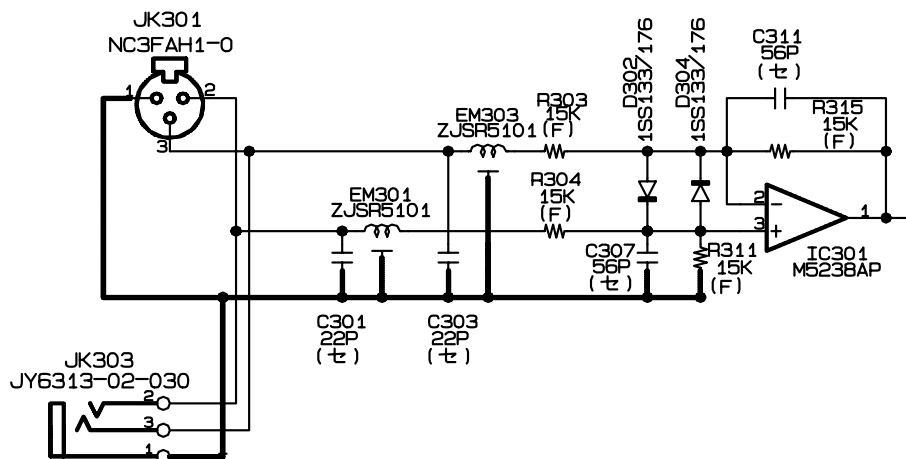
Úvod

Tato práce si dává za cíl navrhnout a zrealizovat úpravu regulace vstupní citlivosti pro výkonový zesilovač Yamaha CP2000. Původní spojitě řízení není vhodné pro měření v akustických komorách Fel Zču a je třeba navrhnou nové řízení, které umožní regulaci vstupní citlivosti definovaných krocích a zajistí souběh regulací obou kanálů. První část práce se věnuje krátkému rozboru Výkonového zesilovače Yamaha CP2000 za účelem získání potřebných informací pro návrh nového zesilovače. Další část se věnuje rešerši použitelných metod realizace. Zároveň je v ní provedena krátká diskuse výhod, či nevýhod jednotlivých metod. Hlavní část práce se věnuje návrhu a realizaci předzesilovače se zvoleným způsobem řízení. Jsou zde po blocích popsány jednotlivé části nového zesilovače včetně následné konstrukce. V závěru jsou krátce konzultovány dosažené výsledky.

2

Popis vstupní části zesilovače Yamaha CP2000

Yamaha CP2000 je profesionální dvoukanálový výkonový zesilovač určený zejména pro ozvučování větších prostor, který byl uveden na trh v roce 2000. Zisk zesilovače je pevně nastaven na hodnotu 33,8 dB. Při vyřazení řídicích prvků, tedy nastavení do polohy "0" odpovídá vstupní citlivost zařízení standardizované hodnotě pro profesionální techniku +4 dBu. Kompletní specifikace obvodu lze nalézt v příloze C.1. Celý zesilovač je mechanicky koncipován jako standardizovaná 19" 2U Racková jednotka. Blokové schéma obvodu je zobrazeno na obr. 2.2.

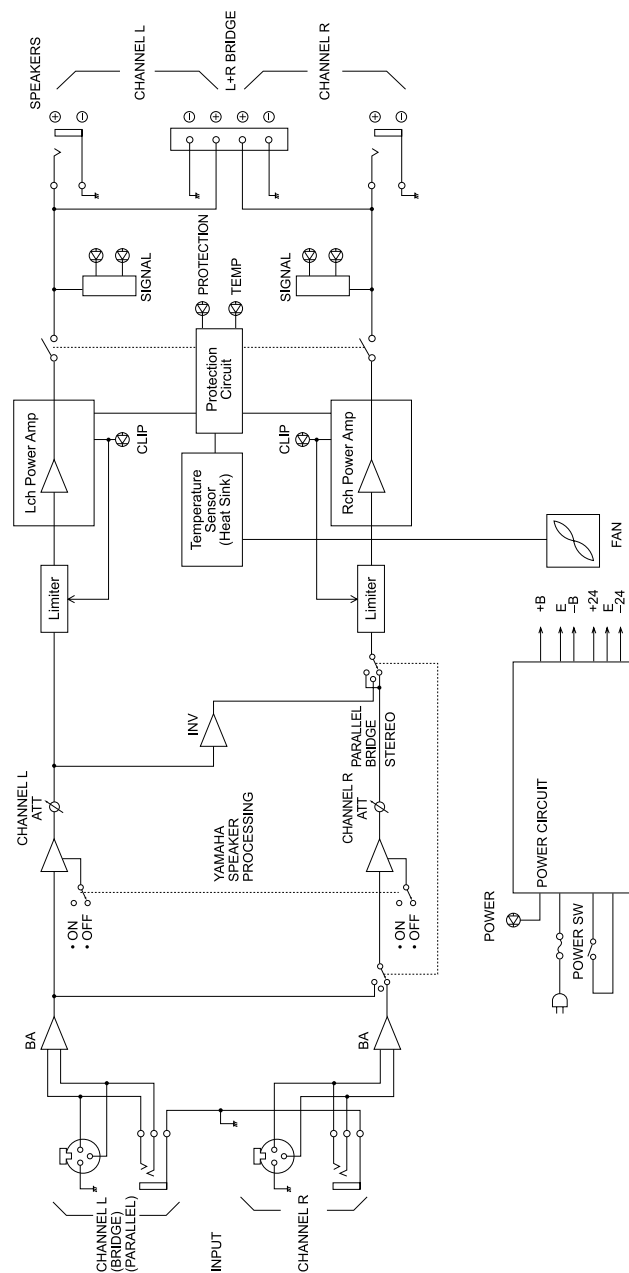


Obr. 2.1: Vstupní obvod jednoho z kanálů YamahaCP2000 [Převzato z [14]]

Schéma zapojení kanálu vstupního obvodu lze nalézt na obr. 2.1. Výkonový zesilovač CP2000 disponuje pouze symetrickými vstupy tvořenými konektory XLR a TRS. Vstupní LC filtr snižuje mezní frekvenci vstupního signálu, a tím snižuje vliv VF rušení. Diody D302 a D304 realizují jednoduchou ochranu vstupních J-FET transistorů proti případným rozdílům napětí mezi vstupy. Kondenzátory C311 a C307 brání rozkmitání zesilovače v

případě výskytu parazitních kapacit na vstupech. K transformaci symetrického signálu na nesymetrický je použit OZ M5238AP, který je zapojen jako rozdílový zesilovač. vzhledem k shodným hodnotám přilehlých rezistorů realizuje zapojení jednotkový zisk[14].

V signálové cestě se dále nachází filtr topologie Sallen-keys druhého řádu, který slouží jako ekvalizér k reproduktorům Yamaha S115 a S112. Filtr lze použít jiných reproduktorů přemostit pomocí přepínače na zadním panelu[15]. Následuje samotné řízení realizované jako pasivní předzesilovač regulující citlivost výkonové části zesilovače v 31 logaritmicky členěných krocích. Zesilovač lze pomocí přepínače na zadním panelu provozovat v režimech STEREO, MONO a BRIDGE[15][14].



Obr. 2.2: Blokové schéma výkonového zesilovače Yamaha CP2000 |Převzato z [14]

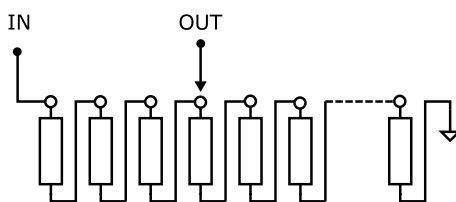
3

Metody řízení zisku

Stěžejní úkol této práce je volba vhodného druhu regulace citlivosti pro navrhovanou úpravu zesilovače. Nové řízení musí být schopné provádět regulaci vstupní citlivosti výkonového zesilovače Yamaha CP2000 v rozsahu alespoň 100 dB a v krocích definovaných podle požadavků měřících metod. Zároveň je nutné zajistit možnost regulovat každý kanál zvlášť a v případě potřeby zajistit souběh regulace obou kanálů. Vzhledem k tomu, že s níže popsányými metodami řízení se pojí velká prostorová náročnost a množství ovládacích prvků, bylo rozhodnuto pojmout úpravu regulace citlivosti jako samostatný předzesilovač s vlastním šasi a napájecím zdrojem.

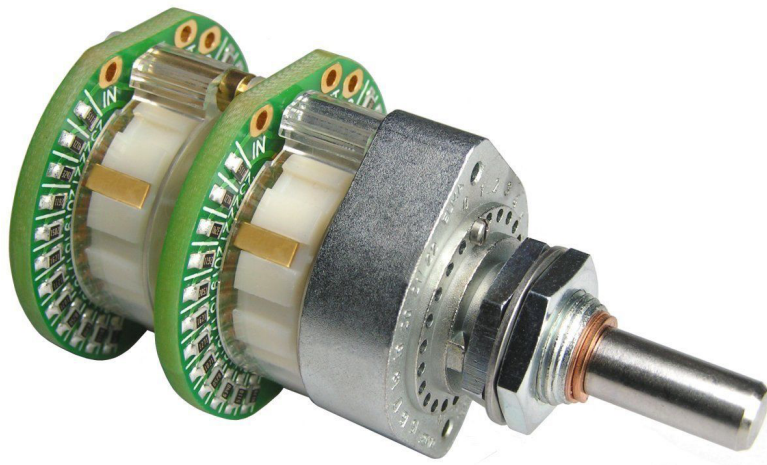
3.1 Pasivní předzesilovač

Nejjednodušší možný princip regulace představuje tzv. pasivní předzesilovač. Takto je i realizováno původní řízení výkonové zesilovače YamahaCP2000. Pasivní předzesilovače se skládá pouze z ovládacího prvku, kterým může být mimo jiné například potenciometr. Největší výhodou potenciometru je samozřejmě možnost spojitě regulace, avšak pro navrhovaný předzesilovač není příliš vhodný. Potenciometry vykazují poměrně velké tolerance v odporových drahách a je tak problém dosáhnou souběhu kanálů. Dalším problémem je teplotní nestálost potenciometrů. Částečným řešením je použití teplotně stálejších např. cermetových potenciometrů, avšak u zařízeních pro měřící účely je vhodnější využít jiné řešení. Přijmutím diskretních kroků místo spojitě regulace je možné dosáhnout vyšší přesnosti a lepšího souběhu kanálů. Zapojení pak lze realizovat například v sériové topologii děličů zobrazené na obr. 3.1[1].



Obr. 3.1: Sériový dělič

Přepínání jednotlivých rezistorů je možné několika způsoby a výběr závisí převážně na počtu požadovaných poloh. Například od 12 do 48 poloh jsou na trhu dostupné speciální rotační přepínače. Pro ilustraci je na obr. 3.2 dvupolový přepínač od společnosti Goldpoint level controls, která se specializuje na realizaci pasivních předzesilovačů. Na trhu se vyskytují zejména v již popsaném sériovém zapojení od jednopólových, až do osmi pólových variant. Většina výrobců nabízí předpřipravené verze s THT, nebo SMD rezistory realizující přepínač s logaritmickou funkcí. Zároveň je ale možné zakoupit přepínač bez rezistorů a realizovat libovolné úrovně. Cena přepínače několikanásobně převyšuje cenu logaritmického potenciometru.[1] [16].



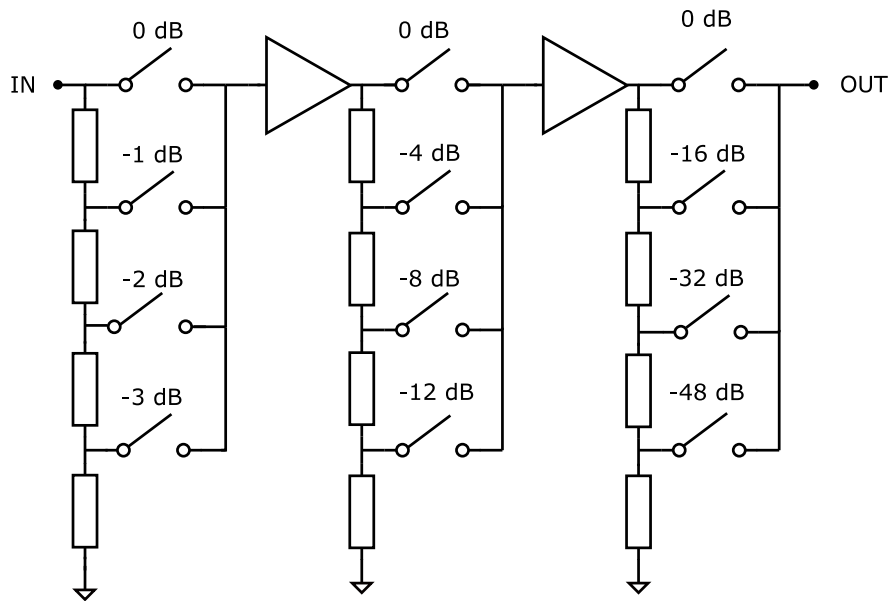
Obr. 3.2: dvupolový rotační přepínač od výrobce Goldpoint |Převzato z [16]|

Pro větší počet stupňů pak lze použít elektromagnetických relé s vhodně zvoleným systémem spínání. Takto lze teoreticky realizovat libovolný počet stupňů. Oproti mechanickým přepínačům však relé přináší několik podstatně komplikujících návrh obvodu. Výše uvedené sériové zapojení děličů by vyžadovalo jedno relé na stupeň řízení, což představuje nemalé prostorové a finanční nároky. Zmenšení jejich počtu lze dosáhnout například binárním řízením spínání pomocí mikrokontroléru. Klasická R-2R síť není příliš vhodná z důvodu komplikovaného přechodu mezi úrovní např. 0111 a 1000, kdy dochází z důvodu rozdílných časů sepnutí ke vzniku nepředvídatelného přechodného jevu. Je tedy nutné založit řízení na logaritmické rezistorové síti. Druhou možností jak snížit počet spínacích prvků je rozdělení řízení na několik stupňů, což však již nelze realizovat pasivně bez vzájemného zatěžování jednotlivých stupňů[1].

3.2 aktivní předzesilovač

Přechodem na aktivní koncepci lze k předchozí úvaze přidat aktivní prvek tak, aby nedocházelo k zatěžování předchozích stupňů. Příklad předzesilovače je pak zobrazen na obr. 3.1. Zapojením napětových sledovačů je provedena transformace impedance a díky tomu nedochází k zatěžování předchozích stupňů. Uvedený příklad realizuje řízení od

0 dB až po -63 dB pomocí ve třech nezávislých úrovních, přičemž pro realizaci za použití přímého řízení bez mikrokontroléru je zapotřebí celkem 12 relé, nebo tří rotačních přepínačů. Tento typ zapojení však trpí celou řadou nedostatků. Realizace děličů s rozlišením 1 dB je přibližně aproximovatelná pouze za použití rezistorů řady E196 s tolerancemi pod 1%, což podstatně zvyšuje cenu celého zařízení. Dále je nutné držet celkový odpor děličů co nejmenší, kvůli snížení vlivu tepelného šumu vznikajícího průchodem signálu skrz rezistory[1].



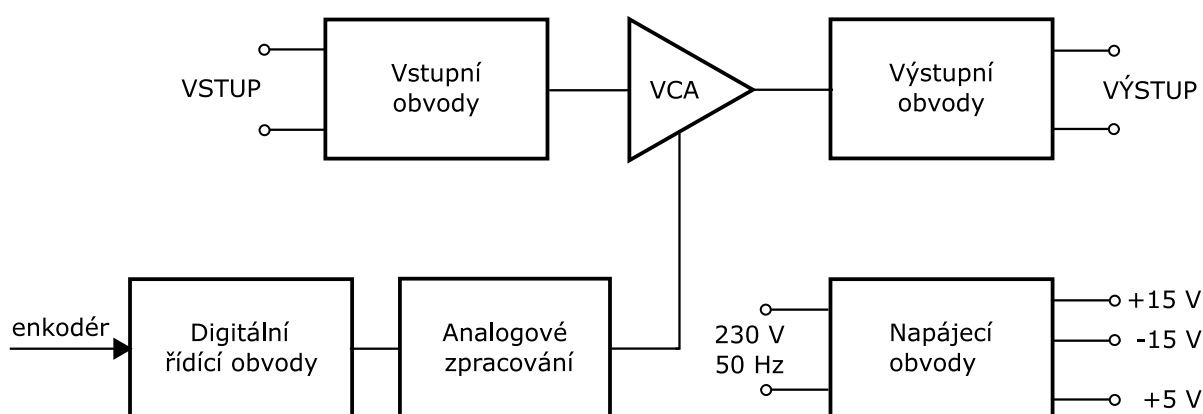
Obr. 3.3: Náznak řešení víceúrovňové regulace zisku pasivním předzesilovačem

Odlišný přístup pro realizaci aktivního předzesilovače představuje použití specializovaných napěťově řízených zesilovačů (VCA). Obvod VCA v principu funguje jako čtyř kvadrantová analogová násobička s proudovým vstupem a výstupem. V závislosti na lineární změně řídicího napětí dochází k exponenciální změně proudu na výstupu. V kombinaci s digitálním řízením lze pak realizovat n-úrovňovou na sobě nezávislou regulaci velmi jednoduše přímo uvnitř mikrokontroléru. VCA pro audio aplikace nabízí především firma THAT Corporation, jejichž VCA jsou podle informací z katalogového listu[5] schopné řídit zisk v rozsahu 130 dB. Nevýhodou VCA je poměrně velká cena, potřeba pomocných obvodů pro obsluhu proudového vstupu, výstupu a velká teplotní závislost, kterou je nutné kompenzovat.

Pro konstrukci zesilovače bylo nakonec zvoleno řešení pomocí napěťově řízených zesilovačů. Způsob je sice obtížný na návrh, ale následné řízení lze velmi jednoduše naprogramovat. Navíc pokud by v budoucnu bylo vyžadováno odlišných úrovní zisku, je možné mikrokontrolér snadno vyjmout z patice a přeprogramovat bez jakýchkoliv změn v zapojení.

4

Návrh nového předzesilovače

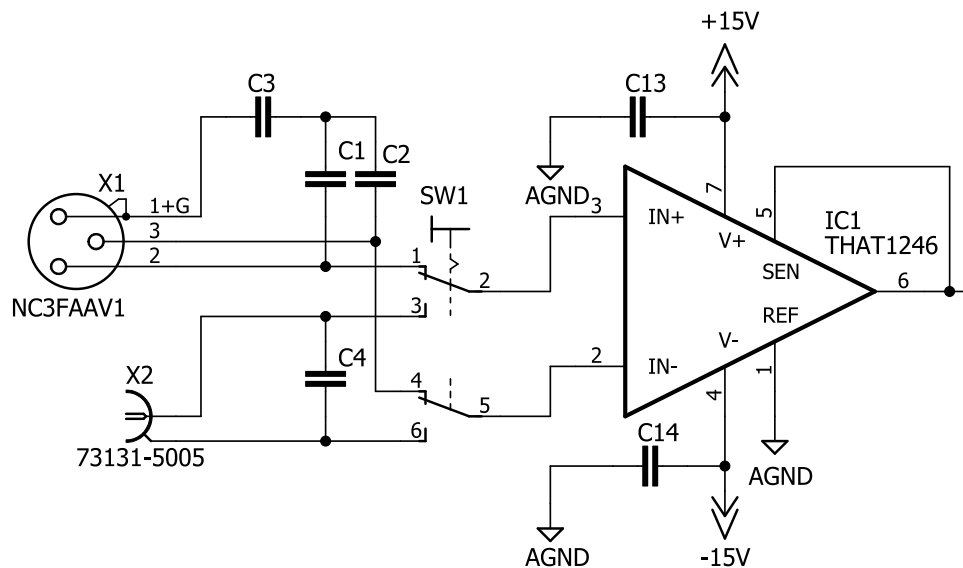


Obr. 4.1: Blokové schéma nového předzesilovače

Navrhovaný předzesilovač lze podle obr.4.1 rozdělit do šesti bloků, které jsou v následující kapitole podrobně popsány. První blok předzesilovače realizuje ochrany vstupů proti přetížení a rušení. Dále v případě použití symetrických vstupů zabezpečuje transformaci signálu do nesymetrické podoby, ve které lze signál jednoduše zpracovat. Blok napěťově řízeného zesilovače zabezpečuje řízení zisku v definovaném rozsahu na základě řídicího napětí z digitální části. Poslední blok v signálové cestě provádí zpětnou transformaci signálu do symetrické podoby a obdobně jako blok první obsahuje ochrany proti rušení a přetížení. Digitální řídicí slouží obvody vytváří řídicího napětí na základě vnějšího podnětu z rotačního enkodéru. Mezi digitální částí a VCA je vložen obvod realizující úpravu řídicího napětí z DA převodníku do podoby zpracovatelné obvodem VCA. Napájení je realizováno dvěma klasickými regulovanými napájecími zdroji oddělenými zvlášť pro digitální a analogovou část.

4.1 Vstupní obvody

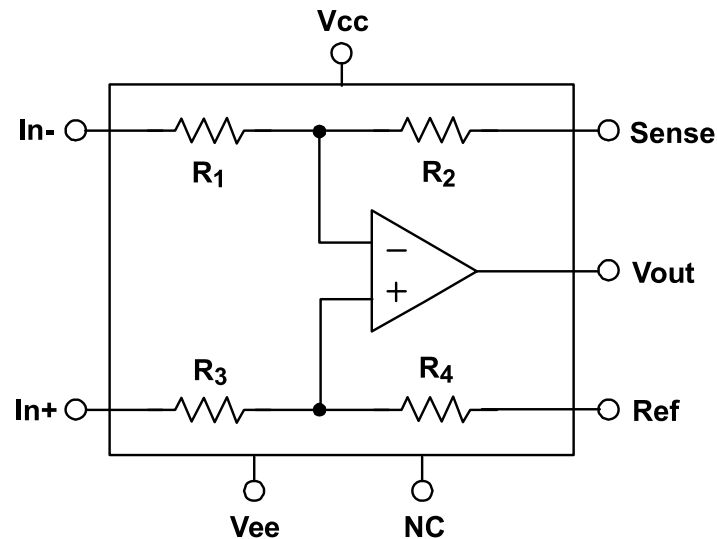
Zjednodušené schéma zapojení vstupních obvodů předzesilovače je zobrazeno na obr. 4.3. Zařízení umožňuje připojení jak symetrického signálu pomocí XLR konektoru, tak nesymetrického signálu z funkčního generátoru přes BNC konektor. Stínění XLR je připojeno přímo na vstupu do šasi[3]. Do tohoto bodu zároveň směřuje i trojice keramických kondenzátorů C1, C2 a C3 realizující dolní propust pro snížení vlivu VF rušení. Tato trojice je podle doporučení výrobce je usazena v těsné blízkosti konektorů[4]. U nesymetrického zapojení byl použit izolovaný BNC konektor se stíněním spojením se zemí signálu. Keramický kondenzátor C4 snižuje vliv VF rušení na signál vedený skrz nesymetrický vstup. Přepínač SW1 zabraňuje simultánnímu připojení více signálů na symetrický přijímač. Symetrické napájení je přivedeno přes keramické kondenzátory C5, C6.



Obr. 4.2: Zjednodušené schéma kanálu vstupního obvodu

Pro zpracování vstupního signálu byl zvolen symetrický linkový přijímač THAT 1246 od výrobce THAT Corp. Principiální schéma je zobrazeno na obr. 4.1. Základem obvodu je rozdílový zesilovač s přímo na čipu integrovanými rezistory. Dle datového listu jsou rezistory laserově donastavovány. Nejprve je nastaven poměr R_1/R_2 a poté poměr R_3/R_4 k poměru R_1/R_2 . Výrobce uvádí, že odchylka mezi poměry by neměla překročit $\pm 0,005\%$, čehož nelze dosáhnout zapojením pomocí diskretních součástek. Výstupní napětí obvodu pak odpovídá jednoduché rov. 4.1, přičemž pro realizaci byl zvolen IC se ziskem -6 dB, kvůli kompenzaci zisku vznikajícího z principu funkce symetrického vysílače. Součástí čipu je také ochrana proti přetížení vstupu tvořená diodami připojenými mezi vstupními a napájecími piny[4]. Napájení je přivedeno přes dvojici keramických blokovacích kondenzátorů C13 a C14 ze symetrického zdroje ± 15 V.

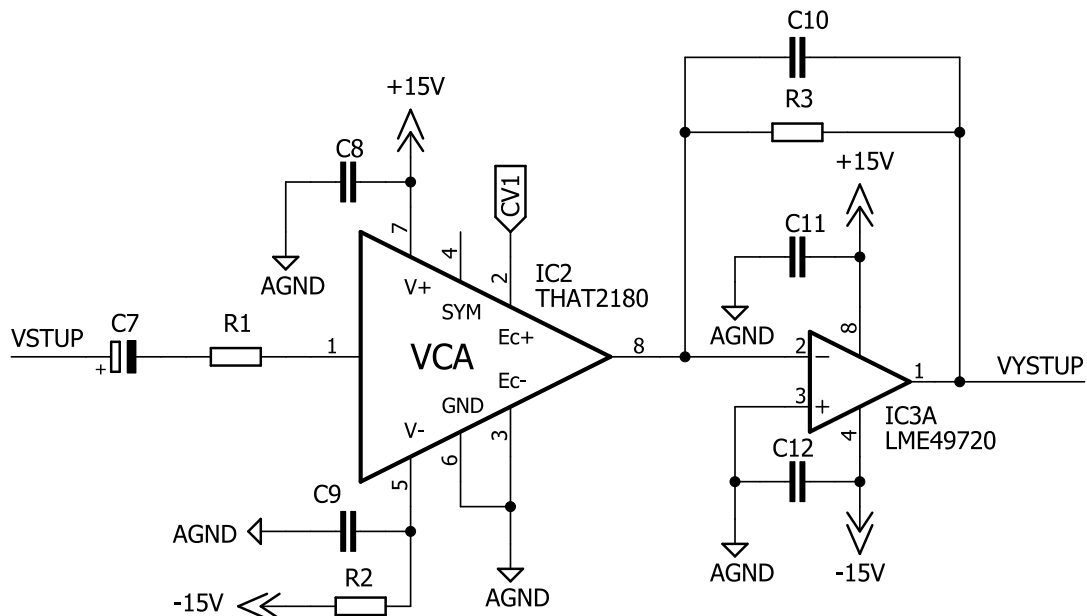
$$U_o = (U_{in+} + U_{in-}) \frac{R_2}{R_1} \quad [V] \quad (4.1)$$



Obr. 4.3: Principiální schéma zapojení THAT 1246 [Převzato z [4]]

4.2 Napětím řízený zesilovač

Řízení zisku je prováděno pomocí VCA THAT 2180A od stejného výrobce. THAT 2180 je dle výrobce schopen v závislosti na přivedeném řídicím napětí mezi piny Ec+ a Ec- řídit logaritmicky zisk v rozmezí minimálně 130 dB. Navrhované zapojení na obr. ?? je k regulaci použít pouze pin Ec+. Druhý pin je připojen k zemi signálu. Při pokojové teplotě pak změna řídicího napětí o 6,1 mV vyvolá na výstupu změnu zisku o 1 dB. Minimální požadavek na regulaci vstupní citlivosti Yamaha CP2000 je alespoň 100 dB. Pro předzesilovač byl však zvolen vyšší regulační rozsah 122,88 dB. Při použití 12-ti bitového převodníku pak dle rov. 4.2 velikost kroku k odpovídá hodnotě 0,03 dB[7][5].

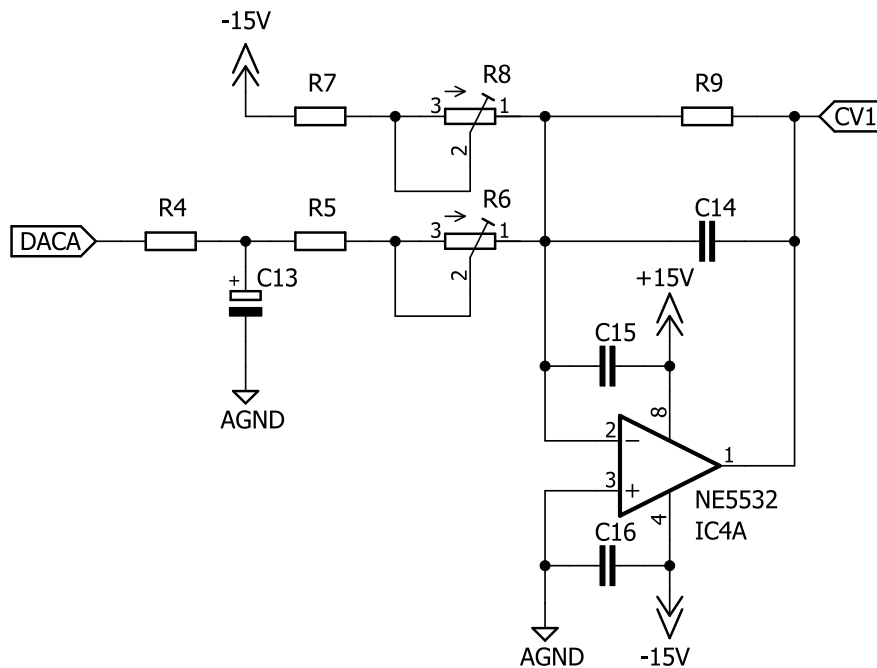


Obr. 4.4: Schéma THAT 2180 s pomocnými obvody

$$k = \frac{122,08}{2^{12}} \quad [dB] \quad (4.2)$$

THAT 2180 disponuje proudovým vstupem i výstupem, a proto k sobě potřebuje jednoduché pomocné obvody. Schéma zapojení vychází z doporučení výrobce[?] a lze ho nalézt na obr. 4.4. Elektrolytický Kondenzátor C7 je nezbytný pro potlačení stejnosměrného proudu, který může vznikat vlivem parazitního stejnosměrného offsetu na výstupu předchozího stupně. Rezistor R1 realizuje převodník U/I pro proudový vstup VCA. Pro převod I/U byl použit OZ LME49720. Zisk OZ je dán poměrem zpětnovazebního odporu R3 a odporu R1. Pro zajištění stability operačního zesilovače LME49720 je do jeho zpětné vazby přidán keramický kondenzátor C10. Oba obvody jsou opět napájeny ze symetrického zdroje ± 15 V přes keramické blokovací kondenzátory C8, C9, C11 a C12.

4.3 Analogové zpracování řídicího napětí



Obr. 4.5: Zapojení obvodů analogového zpracování řídicího napětí |Převzato z [7]|

Zapojení obvodů pro zpracování řídicího napětí lze nalézt na obr. 4.5. Díky výsledkům z předchozí podkapitoly lze dle rov. 4.3 dopočítat potřebný napěťový rozsah pro požadovanou regulaci zisku. Použitý DA převodník obsahuje vnitřní referenci $U_{REF} = 2,048V$. Připojení je realizováno pomocí OZ NE5534 v zapojení sumáčního zesilovače. TC rezistor R9 s teplotním koeficientem $+3300\text{ppm} / ^\circ\text{C}$ je použit jako jednoduchá teplotní kompenzace VCA. Hodnotu součtu rezistorů R4, R5 a trimru R6 lze dopočítat podle rov. 4.4. Více otáčkový trimr byl použit z důvodu kompenzace chyby přenosu NE5534 vlivem 5 % tolerance TC rezistoru R7. Aby zařízení mohlo v případě potřeby pracovat jak se záporným, tak i kladným ziskem, je třeba na sumátor připojit záporné referenční napětí. Toho

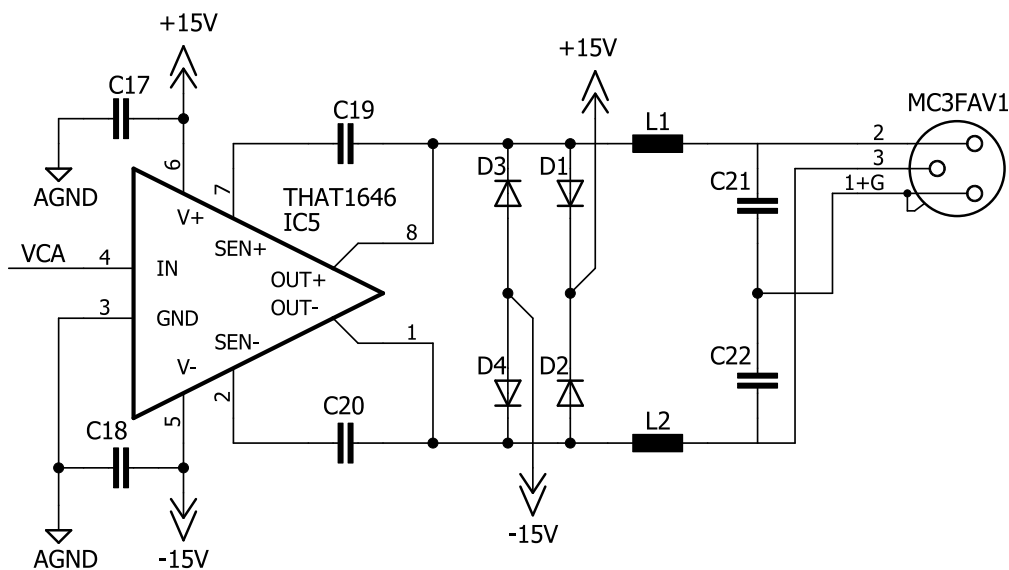
lze docílit připojením záporného napájecího napětí ze symetrického zdroje na sumátor přes rezistor R7 a trimr R8. Hodnotu součtu R7 a trimru R8 pro posun regulace od -100 dB do 22.88 dB lze vypočítat podle rovnice pro sumační zesilovač. Napájení obvodu je přiváděno ze symetrického zdroje přes blokovací kondenzátory C15, C16.

$$U_{Ec+} = 122.88 \times kc \quad [V] \quad (4.3)$$

$$R_{4+5+6} = \frac{R_9 \times U_{REF}}{U_{Ec-}} \quad [R] \quad (4.4)$$

4.4 výstupní obvody

Jelikož je vstup výkonového zesilovače tvořen symetrickými XLR konektory je nutné převést zpětnou transformaci signálu do symetrické podoby. Obvyklá realizace symetrického signálu spočívá v použití napěťového sledovače pro realizaci přímého signálu a invertujícího zapojení OZ pro realizaci invertovaného signálu. Vybraný obvod THAT 1646 obsahuje tyto zesilovače přímo na čipu, přičemž jsou zapojené v tzv. křížové vazbě, která simuluje funkci výstupního transformátoru. Z důvodu výskytu dvou operačních zesilovačů s jednotkovým zesílením je výsledný zisk obvodu +6 dB[1] [6].

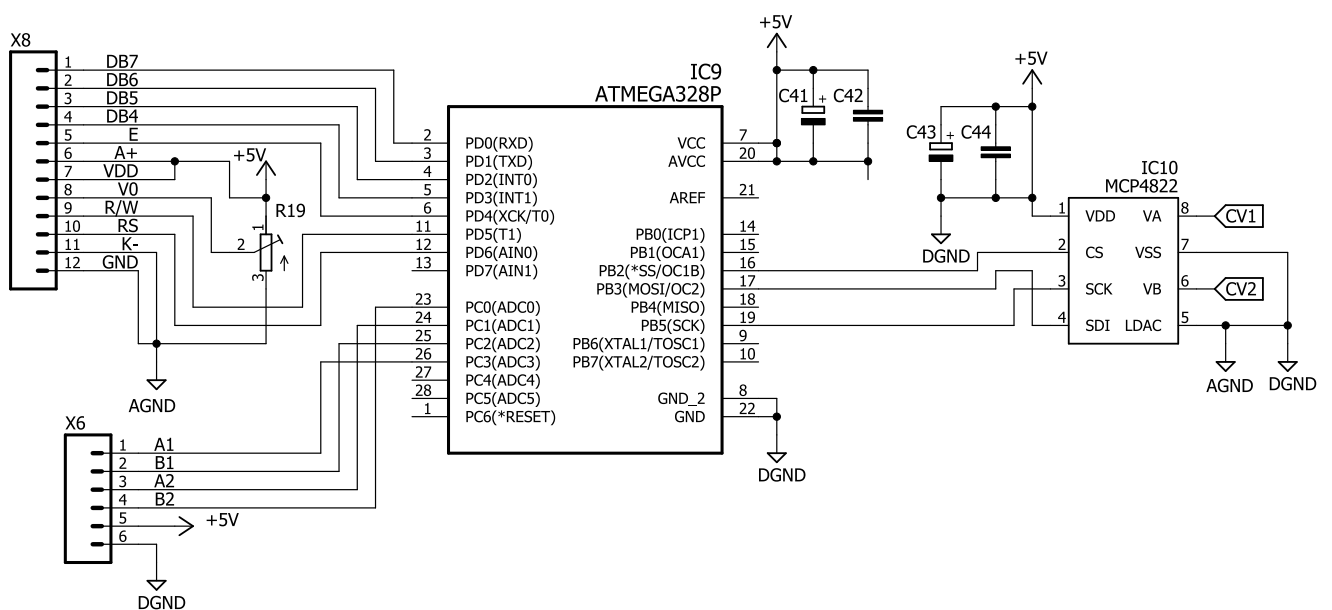


Obr. 4.6: Zjednodušené schéma kanálu výstupního obvodu.

Výsledné obvodové řešení je na obr. 4.6. Symetrické napájení je přivedeno přes blokovací kondenzátory C17, C18. Bipolární elektrolytické kondenzátory C19 a C20 slouží k potlačení stejnosměrného offsetu na výstupu integrovaného obvodu. Diody D1 až D4 svým zapojením mezi výstupy a napájecí napětí realizují přepětovou ochranu výstupních obvodů. Keramické kondenzátory C19, C20 a feritové perly L1, L2 tvoří LC filtr, který brání vstupu VF rušení do obvodu. Plášť kabelu je opět zemněn do šasi přímo na pinu č. 1 XLR konektoru podle doporučení[3].

4.5 digitální část

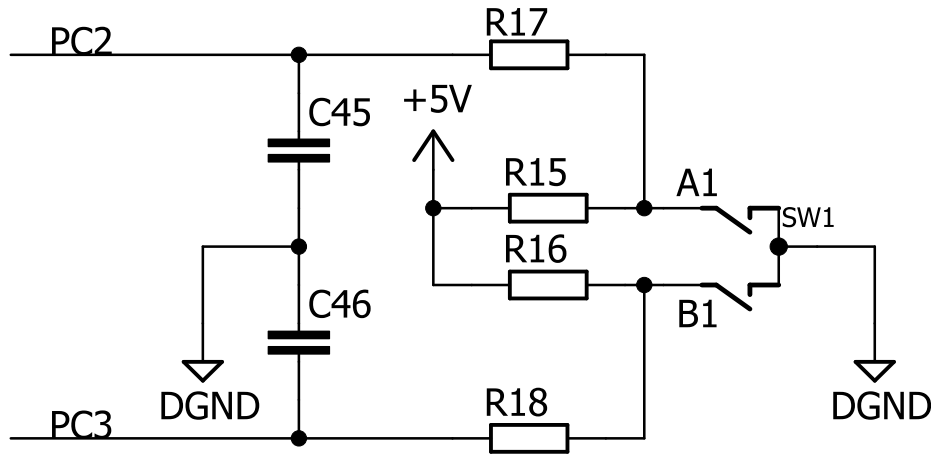
Pro řízení DA převodníku byl vybrán 8bitový mikroprocesor ATMEGA328P od firmy Microchip v pouzdru 28PDIP. Obvod disponuje 32kB paměti flash, 1kB paměti EEPROM a 2kB paměti SRAM což je nadmíru dostačující pro realizaci řízení AD převodníku a zobrazování stavu na LCD. Zapojení obvodu lze nalézt na obr. 4.7. Připojení rotačního enkodéru je provedeno přes PC3 až PC0. LCD zobrazovací jednotka je umístěna na předním panelu a z důvodu snížení počtů je programování realizováno 4 bitově pomocí PD0 až PD3. Signály E, RS, a R/W slouží k řízení řadiče umístěného na spodní straně LCD. Pomocí trimru R19, který má jezdec připojený na pin V0l lze regulovat jas podsvícení displeje, přičemž piny k+ a k- slouží k napájení podsvícení.



Obr. 4.7: Schéma zapojení digitální části předzesilovače

K mikrokontroléru jsou připojeny také dva rotační enkodéry, které jsou umístěny v předním panelu na zvláštní dps. Použité zapojení je zobrazeno na obr. 4.8. Pro omezení omezení proudu procházejícího enkodérem jsou použity pull-up rezistory R15 a R16. Podle doporučení výrobce[13] bylo zapojení rozšířeno o dva integrační články R17, C45 a R18, které zabraňují výskytu falešných impulsů na EXTINT vstupech mikrokontroléru.

Pro DA převod je použit dvou kanálový 12-ti bitový převodník MCP4822 s vnitřní referencí $U_{REF} = 2,048V$, která je použita jako základ pro vytváření řídicího napětí VCA. Komunikace s mikrokontrolérem probíhá pomocí rozhraní SPI. Data jsou v sériové podobě zapisována pomocí signálu SDI s náběžnou hranou hodinových impulsů. Zápis se provádí pouze tehdy, je-li aktivní signál chip select. Na obr.4.9 je možné vidět obsah jednoho ze vstupních registrů. U 12 bitového převodníku je pro programování pomocí 8 bitového mikrokontroléru nutné přenášet D0 až D7 a D9 a D11 ve dvou osmibitových slovech.



Obr. 4.8: Schéma zapojení rotačního enkodéru

REGISTER 5-1: WRITE COMMAND REGISTER FOR MCP4822 (12-BIT DAC)

W-x	W-x	W-x	W-0	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x
\bar{A}/\bar{B}	—	\bar{GA}	SHDN	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
bit 15																bit 0

Obr. 4.9: Vstupního registru MCP4822 |Převzato z [12]|

4.6 Napájecí obvody

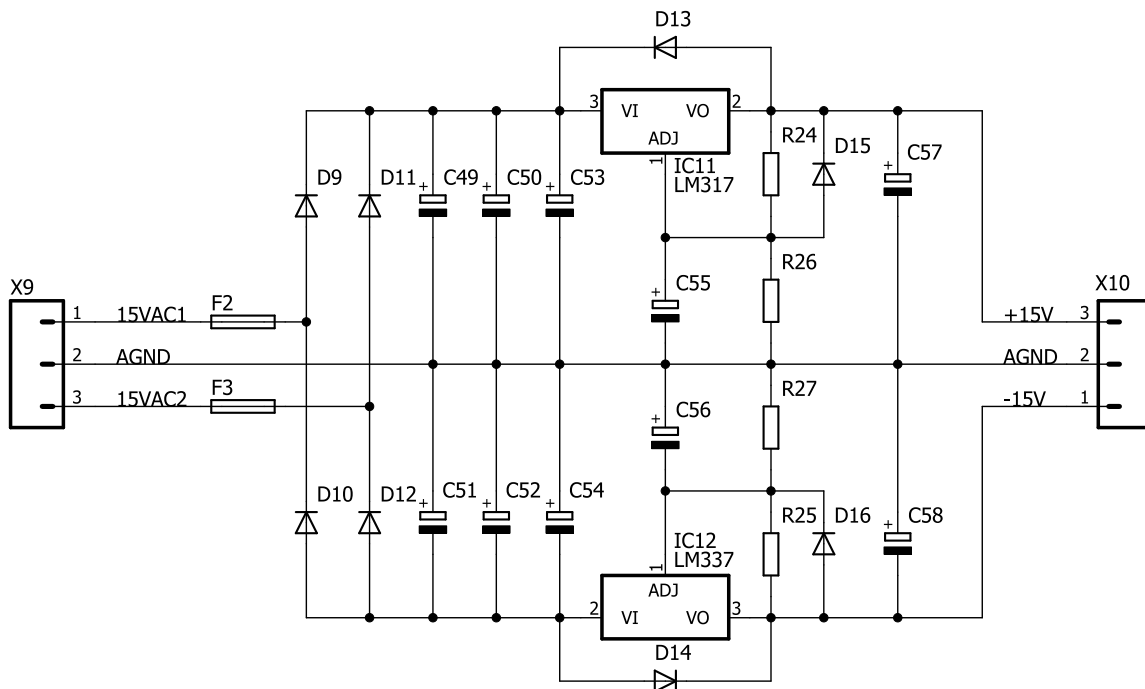
Napájení je tvořeno dvěma oddělenými klasickými napájecími zdroji zvlášť pro analogovou a digitální část. Zapojení pro napájení analogové části lze nalézt na obr. ???. Jako transformátor pro symetrický byl vybrán toroidní transformátor s napětím na sekundárním vinutí ± 15 V. Transformátor je ukotven skrz šasi a vzhledem malé světlé výšce použité krabičky je horní plech izolován, tak aby nemohlo dojít k dotyku s horním panelem[2]. Sekundární je vedeno přes pomalé THT pojistky a připojeno k diodám D9 až D12, které dohromady tvoří Graetzův usměrňovací můstek. Střed vinutí je zemněn do analogové signálové země směřující k DA převodníku. Elektrolytické kondenzátory C49 až C52 slouží k filtraci usměrněného napětí a udržují dostatečné napětí pro zachování správné funkce regulátoru. Velikost filtračních kondenzátorů lze určit podle rov. 4.5, přičemž I je proud odebíraný zátěží, δt čas po který dochází k vybití kondenzátoru a U_{pk-pk} je přípustná amplituda zvlnění na vstupu třibodového stabilizátoru.

$$C = \frac{I \times \Delta t \times 1000}{U_{pk-pk}} \quad [\mu F] \quad (4.5)$$

Tantalové blokovací kondenzátory C53 a C54 jsou umístěné co nejbližší k vstupním pinům stabilizátorů LM317 a LM337. Připojení elektrolytických kondenzátorů C56 a C57 lze podle výrobce podstatně podstatně potlačit zvlnění výstupního napětí. Spolu s nimi je nutné připojit i ochranné diody D15 a D16, které zabraňují vybití kondenzátorů přes výstup regulátoru. Samotné regulátory LM317 a LM337 mají nastavitelný výstup v rozsahu 1,25 V až 37 V a fungují na principu násobení referenčního napětí $V_{ref} = 1,25$ V

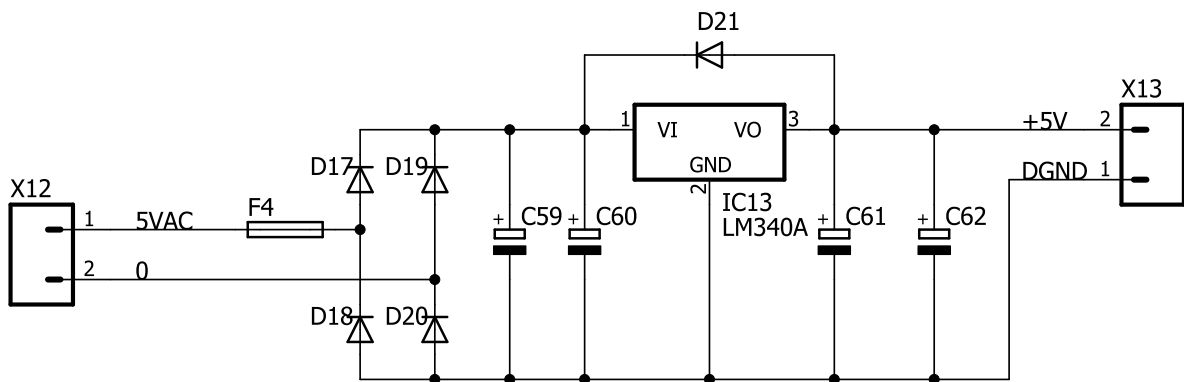
mezi výstupním a referenčním pinem. Výstupní napětí je pak dáno násobky referenčního napětí podle rov. 4.6. Diody D13 D14 jsou zapojeny obráceně a chrání stabilizátor v případě, že dojde vlivem kapacitní zátěže k vyššímu výstupnímu napětí, než je napětí vstupní. Na výstupu jsou zapojeny elektrolytické blokovací kondenzátory C57 a C58. Stabilizátory LM317 a LM337 mají vstupní pin společný s pinem pro montáž chlazení, proto je nutné provést montáž přes izolátor opotřený teplovodivou pastou a pro přitažení pouzdra použít izolovaný šroub[?] [1].

$$U_o = U_{REF} \left(1 + \frac{R_{18}}{R_{16}} \right) + (I_{ADJ} \times R_{18}) \quad [V] \quad (4.6)$$



Obr. 4.10: Navržený klasický symetrický napájecí zdroj +15V.

Druhý zdroj pro napájení digitálních obvodů je podobné koncepce. Použit je klasický EI transformátor opět kvůli nízké světlé výšce krabice usazen přímo na spodním plechu. Pro regulaci je zde použit tříbodový stabilizátor LM340A s pevným napětím +5 V. Tento stabilizátor je vylepšenou verzí klasického tříbodového stabilizátoru TO7805. Sukundární napětí je přiváděno přes usměrňovací diody D17 až D20. Oproti předchozímu zapojení zde vzhledem menšímu protékajícímu proudu stačí použít pouze jeden filtrační kondenzátor C59. Podle doporučení výrobce jsou použity dva tantalové kondenzátory C60 a C61 v co největší blízkosti vstupnímu a výstupnímu pinu. Dioda D21 použita stejně jako v předchozím zapojení kvůli ochraně výstupu stabilizátoru před kapacitních zátěží[?].



Obr. 4.11: Navržený napájecí zdroj pro digitální část zesilovače.

5

Závěr

Cílem práce bylo navrhnout navrhnut úpravu vstupních obvodů výkonového zesilovače, která zjednoduší práci s nastavováním výkonového zesilovače Yamaha CP2000 při měřeních v akustických komorách na Fel ZČU. Práce je teoreticky a z velké části i fyzicky zpracována. Bohužel se ve stanoveném termínu nestihlo provést měření a nelze tak v současné době zhodnotit, zdali má práce přínos v rámci činností oddělení elektroakustiky. Výsledky měření budou prezentovány během případné obhajoby práce

Literatura

- [1] SELF, Douglas. *Small signal audio design*. Burlington, MA: Focal Press, 2010. ISBN 978-0-240-52177-0.
- [2] SELF, Douglas. *Audio power amplifier design handbook*. Burlington, MA: Focal Press, 2010. ISBN 978-0-240-52162-6.
- [3] RANE TECHNICAL STAFF. *Sound System Interconnection* [online]. Rane, 1985. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z <https://www.rane.com/note110.html>
- [4] THAT CORPORATION. *THAT 1240 Series Datasheet* [online]. THAT Corporation, 2015. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.thatcorp.com/datashts/THAT`1240-Series`Datasheet.pdf>
- [5] THAT CORPORATION. *THAT 2180 Series Datasheet* [online]. THAT Corporation, 2008. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.thatcorp.com/datashts/THAT`2180-Series`Datasheet.pdf>
- [6] THAT CORPORATION. *THAT 1606-1646 Series Datasheet* [online]. THAT Corporation, 2015. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.thatcorp.com/datashts/THAT`1606-1646`Datasheet.pdf>
- [7] THAT CORPORATION. *Digital Gain Control with Analog VCAs* [online]. THAT Corporation, 2015. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.thatcorp.com/datashts/dn02.pdf>
- [8] TEXAS INSTRUMENTS. *lme49720* [online]. Texas Instruments, 2007. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lme49720.pdf>
- [9] TEXAS INSTRUMENTS. *lm7800* [online]. Texas Instruments, 2000. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm7800.pdf>
- [10] TEXAS INSTRUMENTS. *lm317* [online]. Texas Instruments, 1997. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>
- [11] ATMEL CORPORATION. *ATmega328/P DATASHEET COMPLETE* [online]. Atmel Corporation, 2016. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z:

- http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf
- [12] MICROCHIP TECHNOLOGY. *MCP4802/4812/4822* [online]. Microchip Technology, 2010. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20002249B.pdf>
- [13] BOURNS PRO AUDIO. *PEC11R Series - 12 mm Incremental Encoder* [online]. Microchip Technology, 2010. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/54/EC11R-777457.pdf>
- [14] YAMAHA CORPORATION. *CP2000 Service manual* [online]. Yamaha Corporation, 2000. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <http://sportsbil.com/yamaha/cp-2000-sm.pdf>
- [15] YAMAHA CORPORATION. *CP2000 Owner's manual* [online]. Yamaha Corporation, 2000. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: https://usa.yamaha.com/files/download/other_assets/4/318564/CP2000E.pdf
- [16] *Goldpoint Level Controls* [online]. Sunnyvale, California, U.S.A.®2018. [Cit. 11. 5. 2018]. Dostupné z: <https://http://www.goldpt.com>

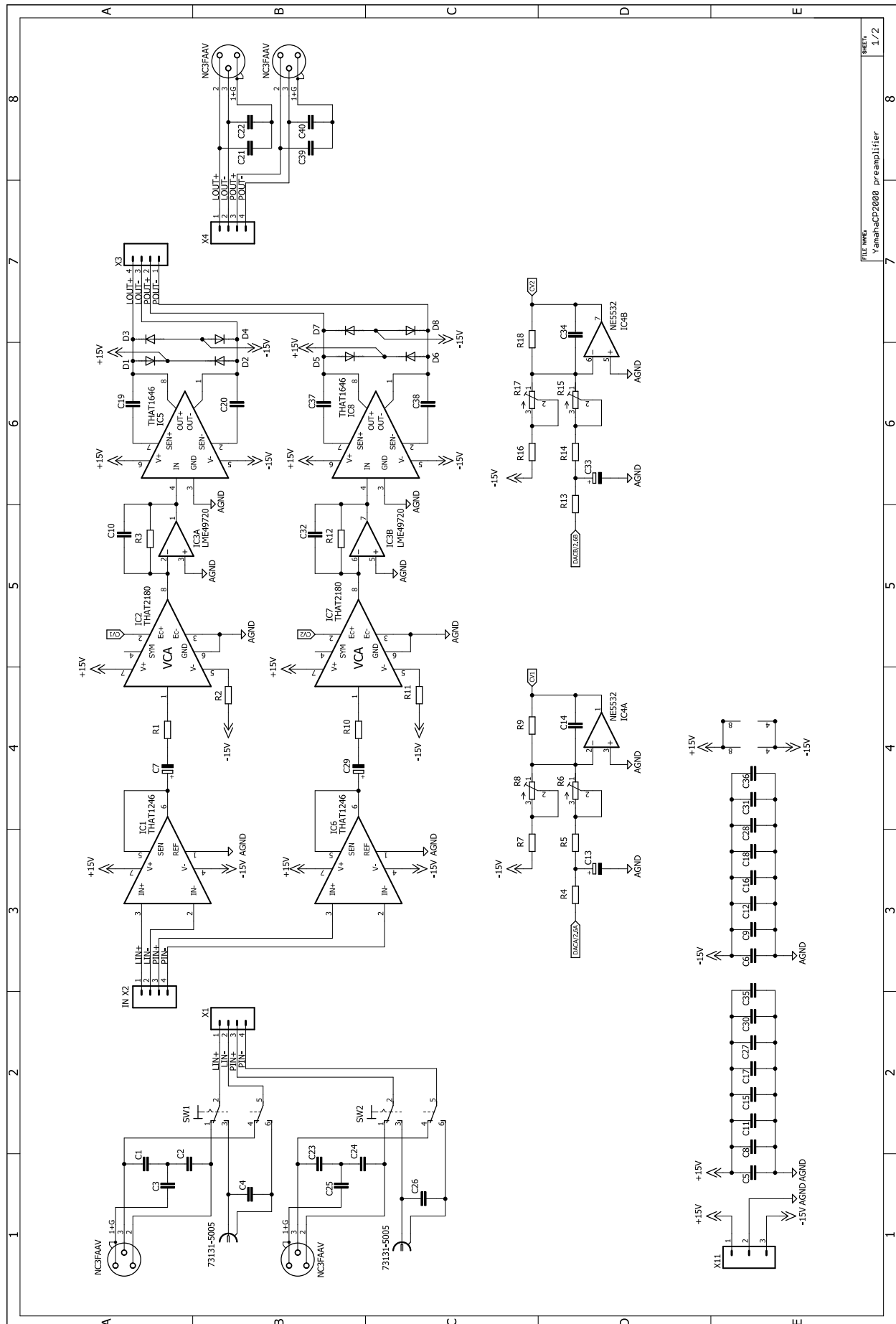
Příloha A

Schémata zapojení a seznam součástek

Tab. A.1

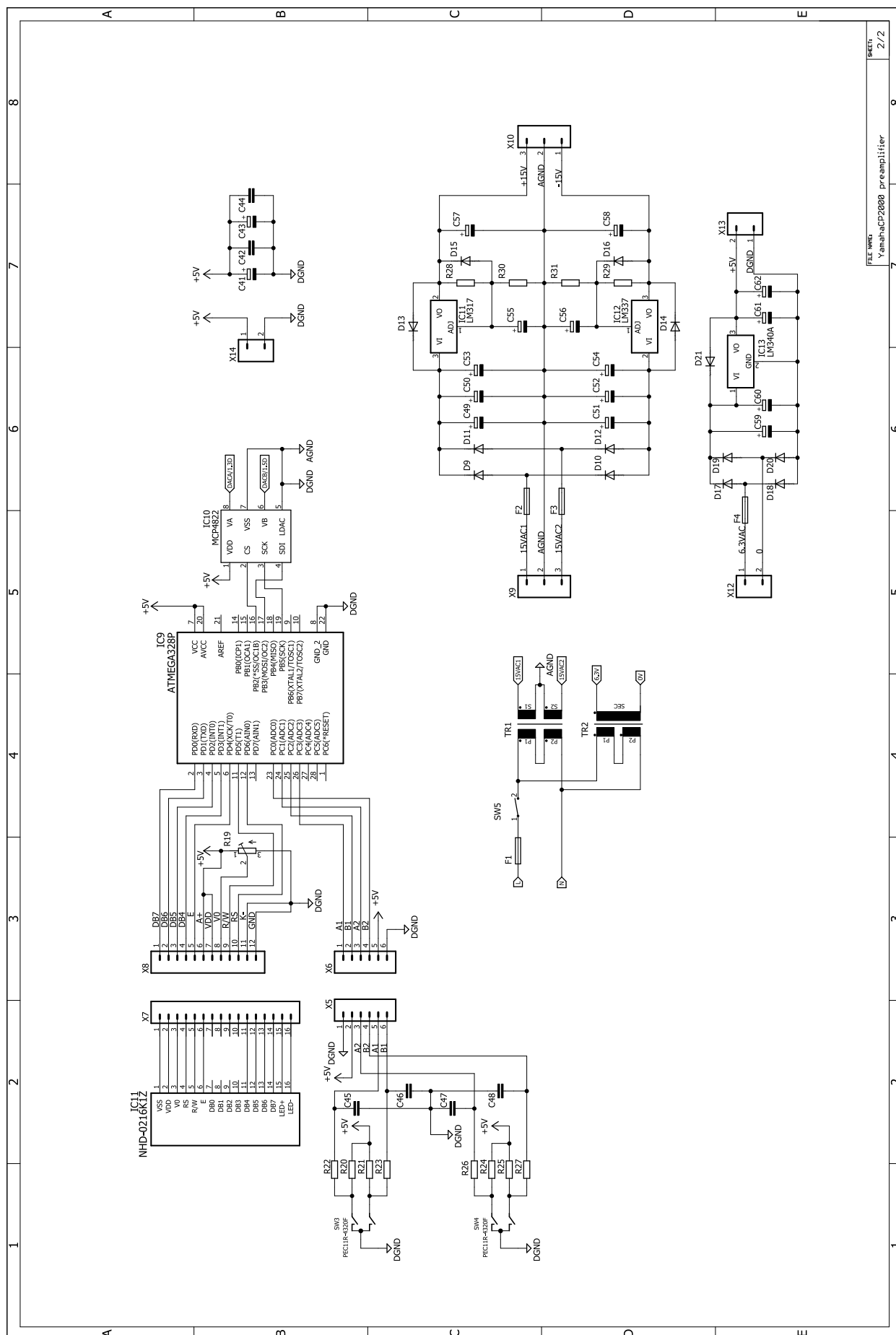
Název	Hodnota	Pouzdro	Typ
C1	470 pF/100V	SMD 1206	MLCC
C2	470 pF/100V	SMD 1206	MLCC
C3	47pF/100V	SMD 1206	MLCC
C4	47nF/100V	SMD 1206	MLCC
C5	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C6	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C7	22u/25V	E2,5-6	Elektrolytický
C8	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C9	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C10	15p/25V	SMD 1206	MLCC
C11	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C12	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C13	1,2uF/25V	E2,5-6	elektrolytický
C14	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C15	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C16	100nF/25V	SMD 1206	MLCC

Tabulka pokračuje na další straně...



FILE NAME: YamahaCP2000_preamplifier
 SHEET: 1/2

Obr. A.1: Kompletní schéma zařízení 1/2



FILE:WPG
YamahaCP2000_preamplifier
SHEET
2/2

Obr. A.2: Kompletní schéma zařízení 2/2

Tab. A.1 – pokračování

Název	Hodnota	Pouzdro	Typ
C17	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C18	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C19	100nF/25V	E2,5-6	elektrolytický bipolární
C20	100nF/25V	E2,5-6	elektrolytický bipolární
C21	100pF/100V	SMD 1206	MLCC
C22	100pF/100V	SMD 1206	MLCC
C23	470pF/100V	SMD 1206	MLCC
C24	470pF/100V	SMD 1206	MLCC
C25	47pF/100V	SMD 1206	MLCC
C26	47nF/100V	SMD 1206	MLCC
C27	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C28	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C29	22u/25V	E2,5-6	elektrolytický
C30	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C31	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C32	15pF/25V	SMD 1206	MLCC
C33	1,2uF/25V	E2,5-6	MLCC
C34	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C35	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C36	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C37	10uF/25V	E2,5-6	elektrolytický bipolární
C38	10uF/25V	E2,5-6	elektrolytický bipolární
C39	100pF/25V	SMD 1206	MLCC
C40	100pF/25V	SMD 1206	MLCC
C41	10u	E2,5-6	elektrolytický
C42	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C43	10u	E2,5-6	elektrolytický
C44	100nF/25V	SMD 1206	MLCC
C45	10nF/16V	SMD 1206	MLCC
C46	10nF/16V	SMD 1206	MLCC
C47	10nF/16V	SMD 1206	MLCC

Tabulka pokračuje na další straně...

Tab. A.1 – pokračování

Název	Hodnota	Pouzdro	Typ
C48	10nF/16V	SMD 1206	MLCC
C49	2200u	E7,5-18	elektrolytický
C50	2200u	E7,5-18	elektrolytický
C51	2200u	E7,5-18	elektrolytický
C52	2200u	E7,5-18	elektrolytický
C53	100n	TT2D4	tantalový
C54	100n	TT2D4	tantalový
C55	10u	E2,5-6	elektrolytický
C56	10u	E2,5-6	elektrolytický
C57	100u	E2,5-6	elektrolytický
C58	100u	E2,5-6	elektrolytický
C59	2200u	E7,5-18	elektrolytický
C60	100n	TT2D4	tantalový
C61	100n	TT2D4	tantalový
C62	100u	E2,5-6	elektrolytický
D1	1N4004	DO41-10	MLCC
D2	1N4004	DO41-10	MLCC
D3	1N4004	DO41-10	MLCC
D4	1N4004	DO41-10	MLCC
D5	1N4004	DO41-10	MLCC
D6	1N4004	DO41-10	MLCC
D7	1N4004	DO41-10	MLCC
D8	1N4004	DO41-10	MLCC
D9	1N4004	DO41-10	MLCC
D10	1N4004	DO41-10	MLCC
D11	1N4004	DO41-10	MLCC
D12	1N4004	DO41-10	MLCC
D13	1N4002	DO41-10	MLCC
D14	1N4002	DO41-10	MLCC
D15	1N4002	DO41-10	MLCC
D16	1N4002	DO41-10	MLCC

Tabulka pokračuje na další straně...

Tab. A.1 – pokračování

Název	Hodnota	Pouzdro	Typ
D17	1N4004	DO41-10	MLCC
D18	1N4004	DO41-10	MLCC
D19	1N4004	DO41-10	MLCC
D20	1N4004	DO41-10	MLCC
D21	1N4002	DO41-10	MLCC
F1	400mA	skleněná 5x20	T
F2	2A	TE5	T
F3	2A	TE5	T
F4	1A	TE5	T
IC1	THAT1246	SO08	
IC2	THAT2180	SIP8	
IC3	LME49720	SO08	
IC4	NE5532	SO08	
IC5	THAT1646	SO08	
IC6	THAT1246	SO08	
IC7	THAT2180	SIP8	
IC8	THAT1646	SO08	
IC9	ATMEGA328P	DIP28	
IC10	MCP4822	SO08	
IC11	LM317	TO220V	
IC12	LM337	TO220V	
IC13	LM340A	TO220V	
R1	20k	SMD 1206	tenkovrstvý
R2	5k1	SMD 1206	tenkovrstvý
R3	20k	SMD 1206	tenkovrstvý
R4	2k7	SMD 1206	tenkovrstvý
R5	2k2	SMD 1206	tenkovrstvý
R6	1k	RTRIMT93YA	tenkovrstvý
R7	18k	SMD 1206	tenkovrstvý
R8	5k	RTRIMT93YA	tenkovrstvý
R9	2k	0204/7	drátový, +3300ppm

Tabulka pokračuje na další straně...

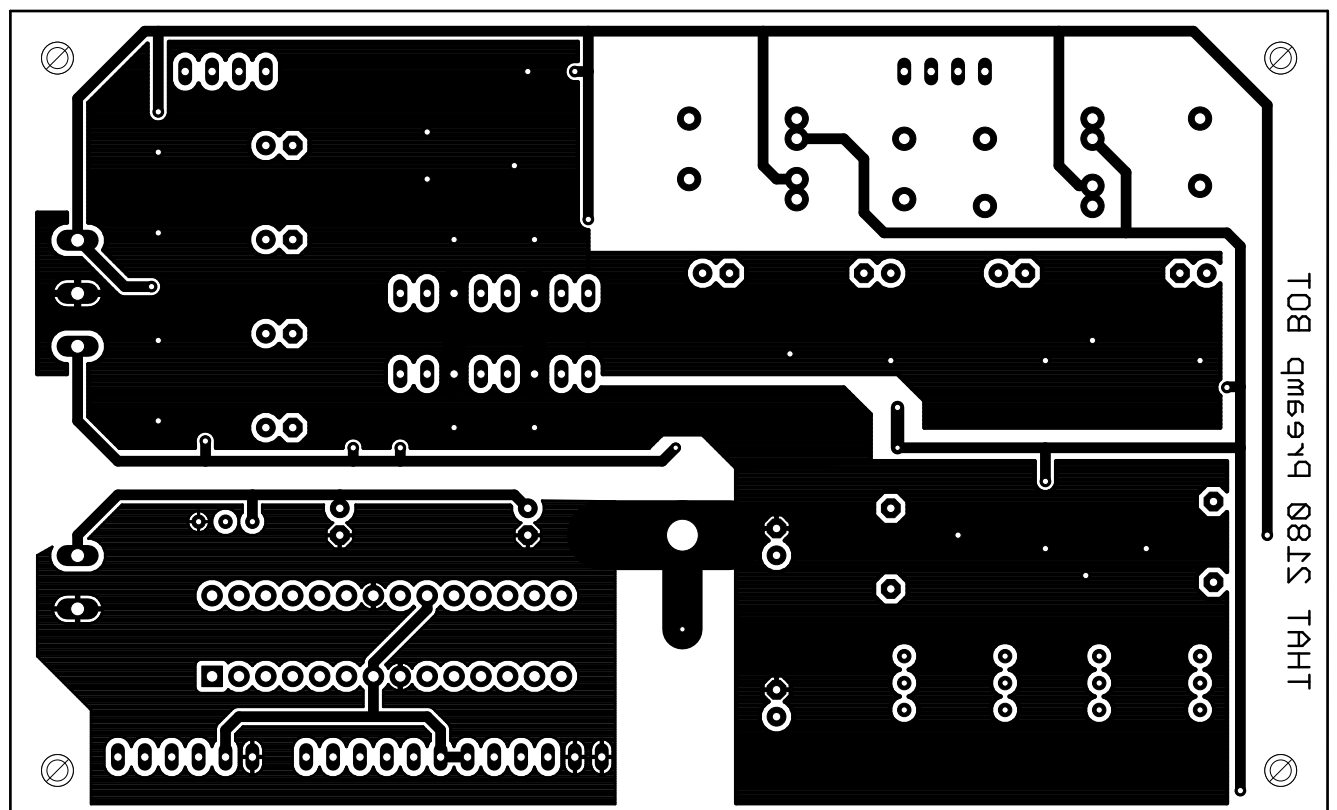
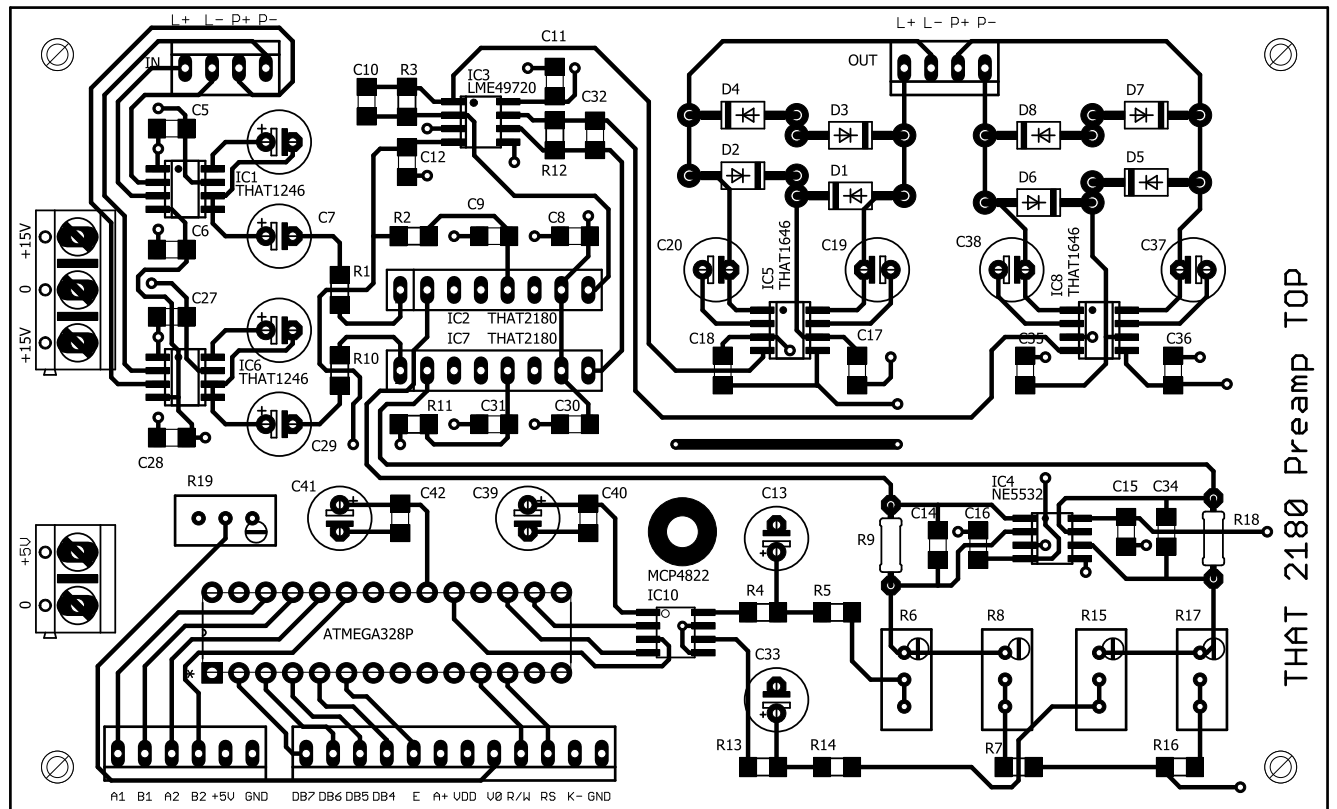
Tab. A.1 – pokračování

Název	Hodnota	Pouzdro	Typ
R10	20k	SMD 1206	tenkovrstvý
R11	5k1	SMD 1206	tenkovrstvý
R12	20k	SMD 1206	tenkovrstvý
R13	2k7	SMD 1206	tenkovrstvý
R14	2k2	SMD 1206	tenkovrstvý
R15	1k	RTRIMT93YA	tenkovrstvý
R16	18k	SMD 1206	tenkovrstvý
R17	5k	RTRIMT93YA	tenkovrstvý
R18	2k	0204/7	drátový, +3300ppm
R19	10k	RTRIMT93YA	tenkovrstvý
R20	10k	SMD 1206	tenkovrstvý
R21	10k	SMD 1206	tenkovrstvý
R22	10k	SMD 1206	tenkovrstvý
R23	10k	SMD 1206	tenkovrstvý
R24	10k	SMD 1206	tenkovrstvý
R25	10k	SMD 1206	tenkovrstvý
R26	10k	SMD 1206	tenkovrstvý
R27	10k	SMD 1206	tenkovrstvý
R28	130R	0204/5	metalizovaný
R29	130R	0204/5	metalizovaný
R30	1k43	0204/5	metalizovaný
R31	1k43	0204/5	metalizovaný

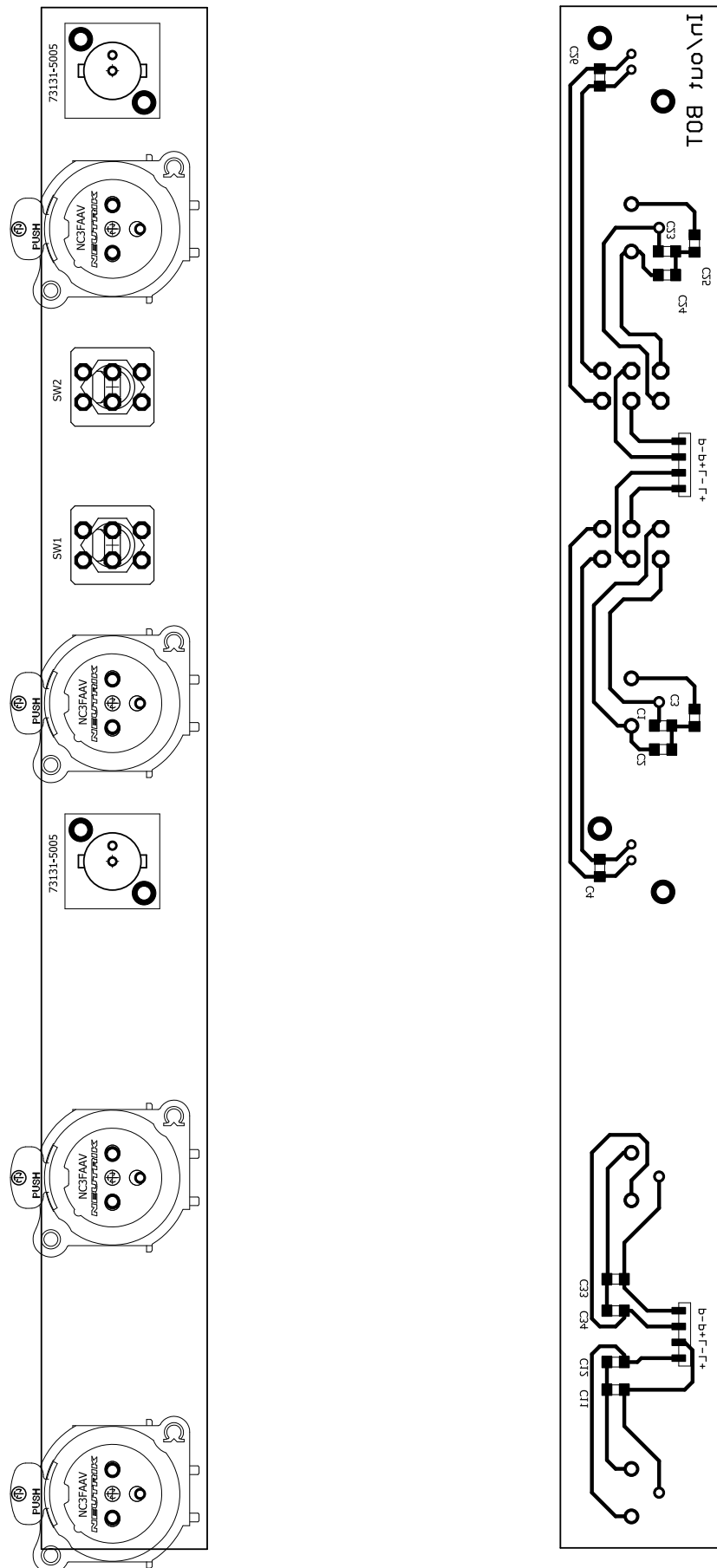
Tab. A.1: Seznam součástek

Příloha B

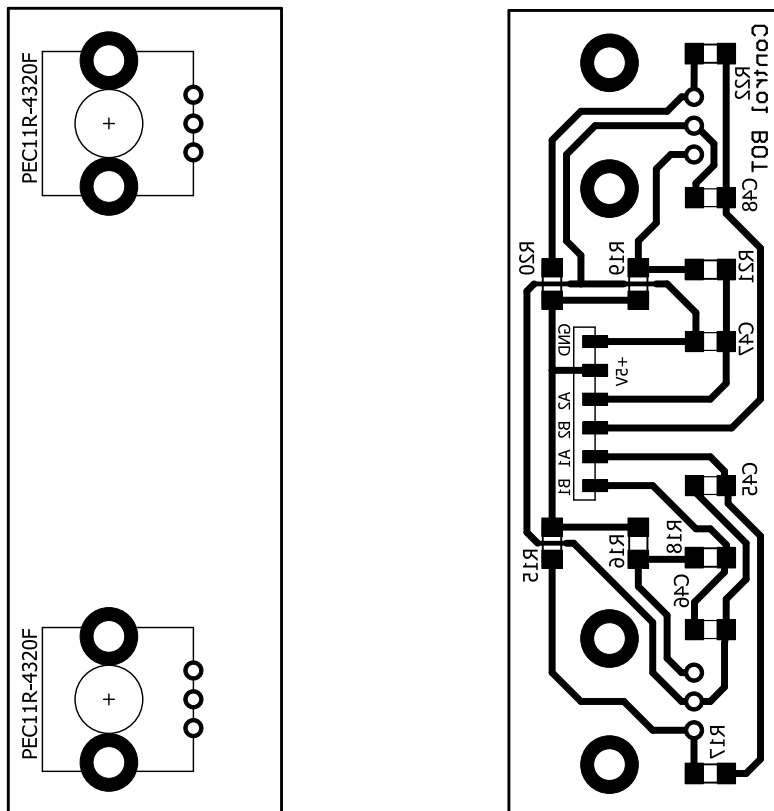
desky plošných spojů



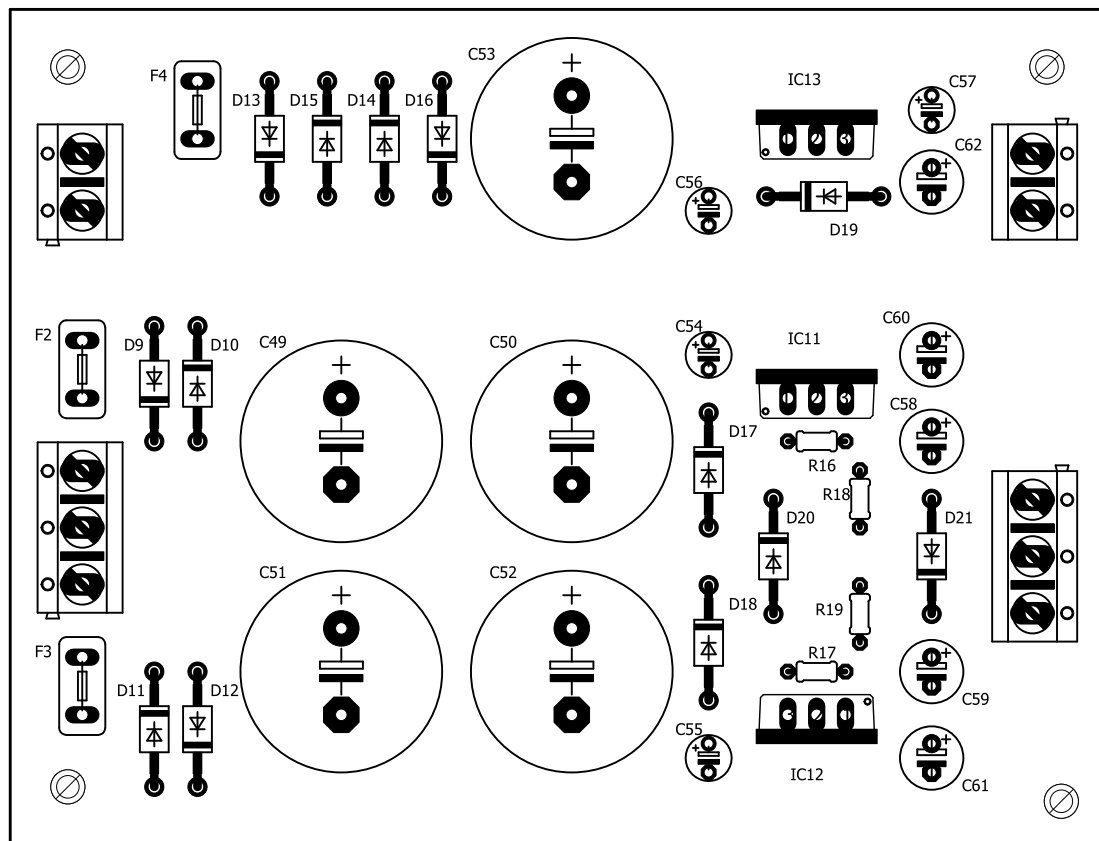
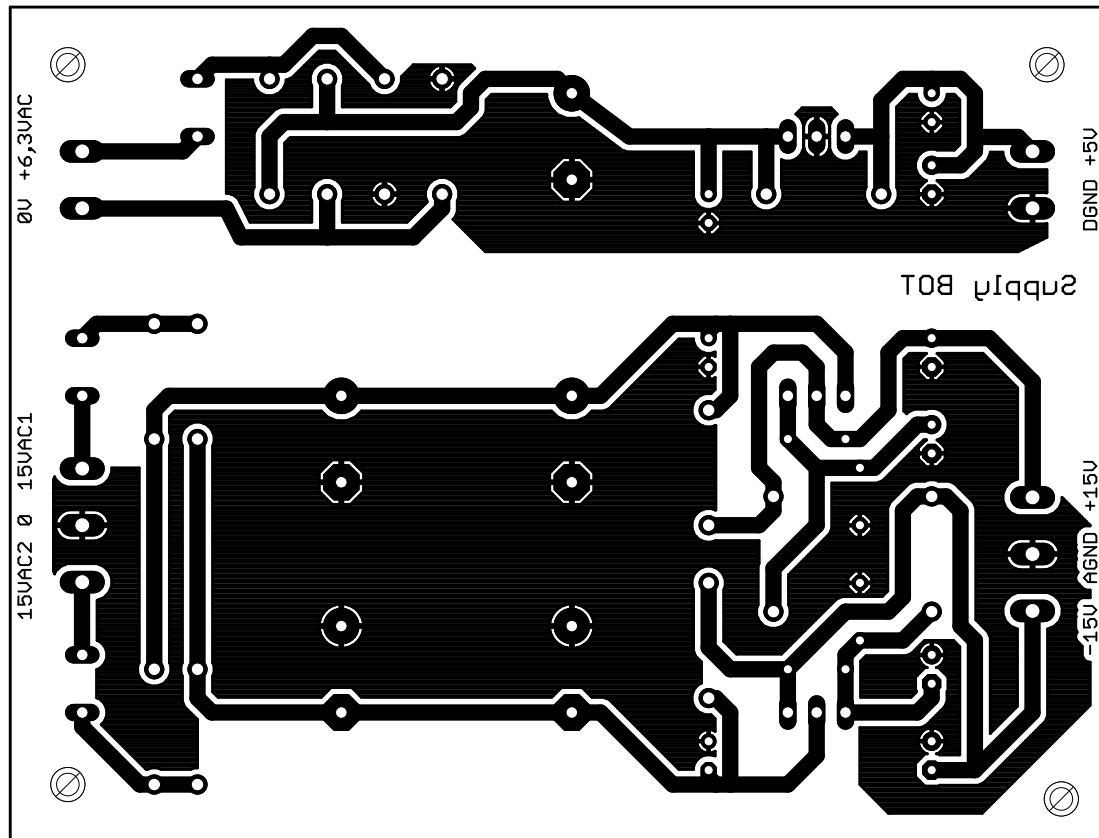
Obr. B.1: Návrh plošného spoje předzesilovače TOP(nahore) a BOT(dole)



Obr. B.2: Návrh plošného spoje TOP (vlevo) a BOT (vpravo) pro vstupní a výstupní obvody



Obr. B.3: Návrh plošného spoje pro rotační enkodéry TOP(vlevo) a BOT(vpravo)



Obr. B.4: Návrh plošného spoje pro zdroj BOT(nahoře) TOP(dole)

Příloha C

Specifikace výkonového zesilovače Yamaha CP2000

Power Output Level	1 kHz, THD+N=1 %	8 Ω/STEREO	450 W + 450 W
		4 Ω/STEREO	650 W + 650 W
		8 Ω/BRIDGE	1300 W
	1 kHz 20 ms, non-clip	2 Ω/STEREO	1000 W + 1000 W
		4 Ω/BRIDGE	2000 W
Power Bandwidth	THD+N=0.2 % (half power)		10 Hz—40 kHz
Total Harmonic Distortion (THD+N)	20 Hz—20 kHz (half power)	4–8 Ω/STEREO 8 Ω/BRIDGE	0.1%
Intermodulation Distortion	60 Hz:7 kHz, 4:1, half power	4–8 Ω/STEREO 8 Ω/BRIDGE	0.1%
Frequency Response		8 Ω, Po=1W	0 dB, +0.5 dB, -1 dB f=20 Hz—50 kHz
Channel separation	Half power, RL=8 Ω LEVEL=max., input 600 Ω shunt		≥70 dB, 1 kHz
Residual Noise	LEVEL=min., 12.7 kHz LPF, IHF-A network		≤-70 dB
S/N Ratio	12.7 kHz LPF		104 dB
Damping Factor	RL=8 Ω, 1 kHz		≥200
Sensitivity	LEVEL=max., rated power into 8 Ω		+4 dB
Voltage Gain	LEVEL=max.		33.8 dB
Input Impedance			30 kΩ (balanced), 15 kΩ (unbalanced)
Controls	Front panel		POWER switch (push on/push off) LEVEL attenuator (31 position) x2
	Rear panel		Mode switch (STEREO/BRIDGE/PARALLEL) YAMAHA SPEAKER PROCESSING switch (ON/OFF)
Connectors	Input		XLR-3-31 type (balanced) L+R 1/4" phone jack (balanced) L+R
	Output		1/4" phone jack L+R 5-way binding post x1
Indicators	POWER		x1 (green)
	PROTECTION		x1 (red)
	TEMP		x1 (red) heatsink temp ≥85 °C
	CLIP		x2 (red)
	SIGNAL		x2 (green) output voltage ≥2 V x2 (yellow) output voltage ≥20 V
Protection Circuit			POWER switch on/off mute DC detection TEMP (heatsink temp ≥90 °C) PC limiter: RL ≤1 Ω
Fan Circuit			Stop–low speed (50 °C)–variable–high Speed (70 °C)
Limiter Circuit			Comp: THD≥0.5 %
Power requirements			U.S.A. & Canada 120 V AC, 60 Hz Europe 230 V AC, 50 Hz Australia 240 V AC, 50 Hz
Idle Power Consumption			30 W
1/8 Power Consumption (4 Ω)			400 W
Maximum Power Consumption (4 Ω)			2000 W
Dimensions (W x H x D)			480 x 88 x 416 mm (18.9 x 3.46 x 16.4 inches)
Weight			14 kg (30.9 lbs)
AC Power cord length			2.3 m

* 0 dB=0.775 V rms, half power = 1/2 output level.

Obr. C.1: Specifikace výkonového zesilovače Yamaha CP2000 [Převzato z [14]]