

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Konstrukce vícekanálového zesilovače pro mobilní
použití**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Patrik KUČERA**
Osobní číslo: **E15B0124P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Konstrukce vícekanálového zesilovače pro mobilní použití**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte možnosti řešení výkonového zesilovače pro mobilní použití.
2. Navrhněte vhodné zapojení výkonového zesilovače.
3. Realizujte výkonový zesilovač a změřte jeho parametry.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

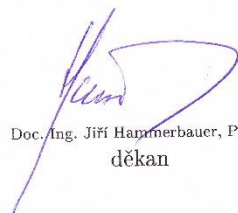
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

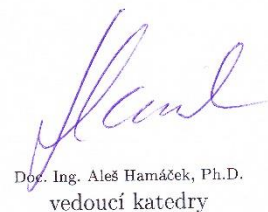
1. **Audio Power Amplifier Design**, Self Douglas, ISBN 978-0-240-52613-3
2. **Small Signal Audio Design**, Self Douglas, ISBN-13: 978-0415709743

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Zuzjak**
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**



Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na návrh vícekanálového zesilovače pro mobilní použití. Cílem této práce je popsat problematiku konstrukce zesilovačů pro použití v automobilu a navrhnout a zkonstruovat 8kanálový zesilovač s možností úpravy vstupní úrovně signálu. Čtenář bude obeznámen s nejpoužívanějšími třídami zesilovačů a s jejich parametry. Dále bude seznámen s návrhem a konstrukcí vstupní korekce a s parametry změřeného zapojení. Závěrečná část práce je věnována návrhu a konstrukci integrovaného výkonového zesilovače ve třídě AB, který je vhodný pro použití v automobilu.

Klíčová slova

Výkonový zesilovač, třída AB

Abstract

Kučera, Patrik. Construction of multi-channel amplifier for mobile using [Konstrukce vícekanálového zesilovače pro mobilní použití]. Pilsen, 2018. Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Technology and Measurement.

Supervisor: Ing. Ladislav Zuzjak

This bachelor thesis is focused on design of a multi-channel amplifier for mobile using. The aim of this work is to describe the problem of car amplifier construction. Furthermore, the thesis explains how to design and construct an 8-channel amplifier with a possibility of modifying the input signal level. The reader will be familiarised with the most used amplifier classes and their parameters. Construction of the input correction will be described and measured parameters of the circuit will also be mentioned. The final part of the thesis is devoted to the design and construction of an integrated power amplifier in class AB, which is suitable for car using.

Key words

Power amplifier, class AB

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny v práci citovány a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Souhlasím s umístěním bakalářské práce v knihovně a s jejím dalším užitím v různých předmětech nebo k vlastní potřebě jednotlivým zájemcům.

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

V Plzni dne 7. 6. 2018

Patrik Kučera

.....
podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Ladislavu Zuzjakovi a všem ostatním za cenné odborné rady při návrhu zapojení a vypracování bakalářské práce.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| OBSAH | 8 |
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 10 |
| ÚVOD | 11 |
| 1 NÍZKOFREKVENČNÍ ZESILOVAČE | 12 |
| 1.1.1 Zesilovače napětí..... | 12 |
| 1.1.2 Zesilovače výkonu..... | 12 |
| 1.2 PRACOVNÍ TRÍDY VÝKONOVÝCH ZESILOVAČŮ..... | 12 |
| 1.2.1 Zesilovač třídy A..... | 12 |
| 1.2.2 Zesilovač třídy B..... | 13 |
| 1.2.3 Zesilovač třídy AB..... | 13 |
| 1.2.4 Zesilovač třídy C..... | 13 |
| 1.2.5 Zesilovač třídy G..... | 14 |
| 1.2.6 Zesilovač třídy H..... | 14 |
| 1.2.7 Zesilovač třídy D..... | 14 |
| 1.3 PARAMETRY..... | 15 |
| 1.3.1 Vstupní citlivost..... | 15 |
| 1.3.2 Vstupní impedance..... | 15 |
| 1.3.3 Přenosové písmo zesilovače..... | 15 |
| 1.3.4 Odstup signálu od šumu..... | 16 |
| 1.3.5 Přeslechy..... | 17 |
| 1.3.6 Fázová charakteristika..... | 17 |
| 1.3.7 Výstupní výkon..... | 17 |
| 1.3.8 Výstupní impedance..... | 17 |
| 1.3.9 Zkreslení..... | 18 |
| 1.3.10 Výkonová šířka pásma..... | 19 |
| 1.3.11 Dynamický rozsah..... | 19 |
| 2 NÁVRH ZESILOVAČE PRO MOBILNÍ POUŽITÍ | 21 |
| 2.1 VÝSTUPNÍ VÝKON..... | 21 |
| 2.2 VÝBĚR SOUČÁSTEK..... | 23 |
| 2.2.1 Rezistory..... | 23 |
| 2.2.2 Kondenzátory..... | 24 |
| 2.2.3 Ostatní součástky..... | 24 |
| 2.3 VSTUPNÍ ČÁST..... | 25 |
| 2.4 NAPÁJENÍ..... | 30 |
| 2.4.1 Symetrické napájení..... | 30 |
| 2.4.2 Ochrana proti přepólování..... | 31 |
| 2.4.3 Tlumivka..... | 31 |
| 2.4.4 Transil..... | 32 |
| 2.5 VÝKONOVÝ ZESILOVAČ..... | 33 |
| 2.5.1 Výběr integrovaného obvodu..... | 33 |
| 2.6 OVLÁDACÍ ČÁST..... | 34 |
| 2.7 MECHANICKÁ ČÁST..... | 35 |
| 2.8 VÝPOČET CHLAZENÍ..... | 35 |
| 3 MĚŘENÍ PARAMETRŮ | 39 |
| ZÁVĚR | 44 |
| SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ | 46 |
| PŘÍLOHY | 1 |

| | |
|----------------------------|---|
| NEPÁJIVÉ POLE..... | 1 |
| SCHÉMATA ZAPOJENÍ | 2 |
| DESKA PLOŠNÉHO SPOJE | 8 |

Seznam symbolů a zkratk

| | |
|-----------------------------|---|
| <i>DC</i> | Direct current. Stejnoseměrný proud. |
| <i>ESD</i> | Electrostatic discharge. Elektrostatický výboj. |
| <i>IMD</i> | Intermodulation distortion. Intermodulační zkreslení. |
| <i>LED</i> | Light-Emitting Liode. Luminiscenční dioda. |
| <i>MELF</i> | Metal electrode leadless face. |
| <i>NF</i> | Nízkofrekvenční. |
| <i>PWM</i> | Pulse Width Modulation. Pulzně šířková modulace. |
| <i>SMT</i> | Surface Mount Technology. Technologie plošného osazení. |
| <i>SNR</i> | Signal to Noise Ratio. Odstup signálu od šumového pozadí. |
| <i>THD</i> | Total Harmonic Distortion. Činitel harmonického zkreslení. |
| <i>THD + N</i> | Total Harmonics Distortion + Noise. Celkové harmonické zkreslení + šum |
| <i>THT</i> | Through-Hole Technology. Technologie osazení skrz desku. |
| <i>U_{ce}</i> | Napětí mezi kolektorem a emitorem. |
| <i>VF</i> | Vysokofrekvenční. |

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem 8 kanálového nízkofrekvenčního výkonového zesilovače možností nastavení vstupní citlivosti, který bude umístěn v automobilu. Zesilovač bude používán v automobilu pro měřicí účely, a tak je kladen důraz na výsledné parametry. Dále v práci najdeme návrh výkonového zesilovače ve třídě AB, který je schopen pracovat do 4 Ω zátěže, ale i do 2 Ω zátěže, která je dnes v automobilech čím dál více používána.

V teoretické části jsou představeny nejčastější třídy zesilovačů a parametry, které jsou u zesilovačů sledovány. V praktické části je jako první uveden výpočet výkonu, kterého je zesilovač při napájení z palubní sítě automobilu teoreticky dosáhnout. Dále je popsán návrh vstupní korekce a jeho simulace v programu TINA. Dalším bodem praktické části je vytvoření symetrického napájení pro integrované obvody a ochrany, které jsou v napájecí cestě umístěny. Posléze je zde detailněji představen zvolený integrovaný výkonový zesilovač a jeho zapojení, ovládací část vstupní korekce a mechanická konstrukce. V závěru práce je uveden tepelný výpočet pro chlazení zesilovače a jsou změřeny jeho parametry.

1 Nízkofrekvenční zesilovače

Nízkofrekvenční zesilovače mají frekvenční rozsah 16 - 16 000 Hz [1]. Mají širokou využitelnost. Využívají se od konzumní elektroniky po měřicí a regulační techniku.

1.1.1 Zesilovače napětí

Zesilovače napětí zesilují signál od zdroje na požadovanou úroveň. Mohou mít i další funkce, jako je například frekvenční úprava nebo směšování signálů [1]. Pozorujeme u nich vysokou vstupní impedanci a nízkou výstupní impedanci [2].

1.1.2 Zesilovače výkonu

Zesilovač výkonu musí na rozdíl od napěťového zesilovače zesílit výstupní proud (případně i napětí). Je možné na ně pohlížet jako na napěťově proudové (výkonové) měniče. Elektrický výkon zesilovače slouží k pohybu membrány reproduktoru a zčásti se mění na akustický výkon. Výkonový rozsah je od stovek mW pro provoz sluchátek až po několik kW pro ozvučovací zařízení. Koncový stupeň výkonových zesilovačů musí snést velké proudové zatížení. Musí být zajištěn dostatečný odvod ztrátového tepla. [1]

1.2 Pracovní třídy výkonových zesilovačů

Pracovní třída zesilovače definuje pracovní charakteristiku koncového stupně výkonového zesilovače nebo základní princip činnosti celého zařízení. Třídy zesilovačů můžeme obecně rozdělit na analogové a spínané. Zde jsou uvedeny nejčastěji používané třídy zesilovačů.

1.2.1 Zesilovač třídy A

U zesilovače ve třídě A je na koncový stupeň přiveden klidový proud takové velikosti, aby byl stále ve vodivém stavu. Pracovní bod je umístěn přibližně ve středu převodní charakteristiky. Díky tomu má malé zkreslení a poskytuje věrnou reprodukci signálu. Průběh signálu je zobrazen na *Obr. 1.1a.* Nevýhodou třídy A je velice malá účinnost, která se pohybuje okolo 20 %. Velká část výkonu se poté mění na teplo. Zesilovač proto vyžaduje robustní konstrukci pro dostatečný odvod tepla. Zesilovače třídy A se používají v nízkovýkonových koncových stupních (v oblasti stovek miliwattů), např. u sluchátek.

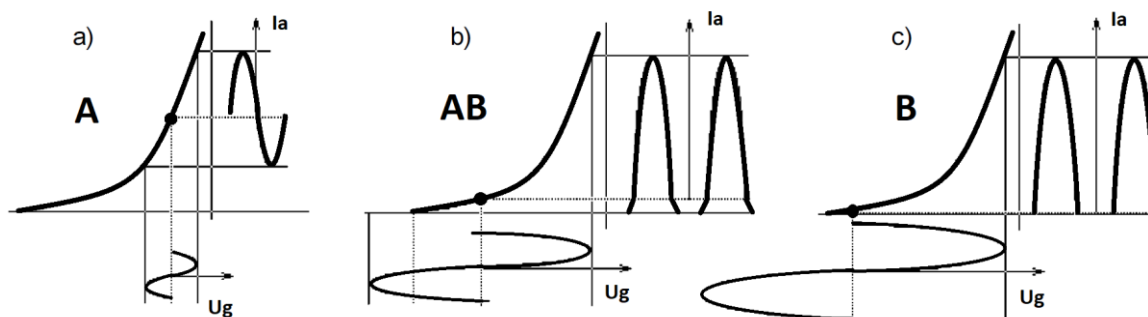
Zesilovače ve třídě A dosahující vyšších výkonů se používají zřídka, a to pouze v High-End zařízeních. [3, 4]

1.2.2 Zesilovač třídy B

V koncovém stupni ve třídě B jsou používány výkonové součástky ve dvojčinném zapojení. Mají nastavený nulový klidový proud. Pracují střídavě do zátěže v závislosti na polaritě vstupního signálu. Ve třídě B vzniká přechodové zkreslení, které se uplatňuje u malých signálů. Průběhy signálu v jedné polovině koncového stupně třídy B jsou zobrazeny na *Obr. 1.1c.* Protože je tranzistor otevřen pouze v přítomnosti signálu, vyznačuje se zesilovač větší energetickou účinností (do 50 %). Nevýhodou spatřujeme v značném harmonickém zkreslení v oblasti malých signálů. Kvůli velkému zkreslení se výkonové zesilovače třídy B v nf technice téměř nepoužívají. [3, 4]

1.2.3 Zesilovač třídy AB

Třída AB je kompromisem mezi třídami A a B. Pracovní bod je volen tak, aby byla odstraněna největší nelinearita výstupního signálu tím, že tranzistorem protéká určitá velikost kolektorového proudu, i když nepřivádíme signál. Tím dojde k drobnému zmenšení účinnosti, ale také zároveň ke snížení zkreslení, protože jsou zesilovány i malé úrovně signálu. Z tohoto důvodu jsou zesilovače ve třídě AB upřednostňovány před třídou B. Průběhy signálu v jedné polovině koncového stupně třídy AB jsou zobrazeny na *Obr. 1.1b.* [3, 4]



Obr. 1.1 Závislost výstupního proudu na vstupním napětí u výkonové součástky pracující ve třídách A, AB a B [3]

1.2.4 Zesilovač třídy C

Výkonové součástky v této třídě mají nulový klidový proud. Je u nich zavedeno předpětí, které je zavírá, proto přecházejí z nevodivého stavu do aktivního až ve špičkách vstupního signálu. [3] Pracovní bod je zvolen až za bodem zlomu dynamické převodní charakteristiky,

pod bodem zániku kolektorového proudu [4]. Má vysokou účinnost, nicméně také vysoké zkreslení, díky kterému není pro nf techniku vhodný. Používá se především ve vf technice, a to jako koncový stupeň u vysílačů.

1.2.5 Zesilovač třídy G

Koncový stupeň zesilovače ve třídě G je zpravidla stejný jako ve třídě AB. Rozdíl zaznamenáváme v napájení koncových tranzistorů. Napájecí napětí se mění v závislosti na rozkmitu výstupního napětí. Při nižším výkonu pracuje koncový zesilovač s menším napájecím napětím. Jakmile výstupní výkon přesáhne určitou úroveň, je připojeno větší napájecí napětí. Tímto způsobem lze redukovat teplotní ztráty a zvětšit účinnost. Výhodu spatřujeme v možnosti použití menšího chladiče, čímž se zmenší celkové rozměry zesilovače. [3, 4]

1.2.6 Zesilovač třídy H

Tyto zesilovače pracují se stejnou myšlenkou jako zesilovače ve třídě G, avšak s tím rozdílem, že napájecí napětí se nemění skokově, ale plynule a přesně sleduje velikost vstupního signálu. Napájecí napětí je udržováno na optimální úrovni pro správnou funkci koncového stupně. Tím je oproti třídě G docíleno ještě větší účinnosti, nicméně za cenu složitějšího zapojení. [3]

1.2.7 Zesilovač třídy D

Zesilovače třídy D patří do skupiny spínaných zesilovačů. Spínané zesilovače zpracovávají analogový signál a přeměňují ho na vysokofrekvenční signál, který následně zesilují. Zesílený impulzní signál je pomocí LC dolnofrekvenčního filtru převeden zpět na nízkofrekvenční analogový signál. Zesilovače ve třídě D používají pro zpracování analogového signálu pulsně šířkovou modulaci (PWM). Koncové tranzistory výkonových zesilovačů ve třídě D pracují ve spínacím režimu (buď jsou plně sepnuté, nebo vypnuté), proto dosahují účinnosti až 80 %. Pozorujeme u nich větší zkreslení než u zesilovačů ve třídě AB. [3, 4]

1.3 Parametry

Požadavky na parametry zesilovačů se liší dle ceny a účelu využití.

1.3.1 Vstupní citlivost

K dosažení požadovaného výstupního napětí je nutné přivést na vstup signál o určité velikosti. Citlivost zesilovače udává velikost vstupního napětí, které je zapotřebí k získání jmenovitého napětí na výstupu, případně jmenovitého výstupního výkonu. Při zesilování signálu, který je menší než udávaná citlivost, se zhoršuje poměr signál/šum. Při zesilování signálu, který je větší než maximální úroveň, již je schopný zesilovač zpracovat, dochází ke zkreslení. [1, 2]

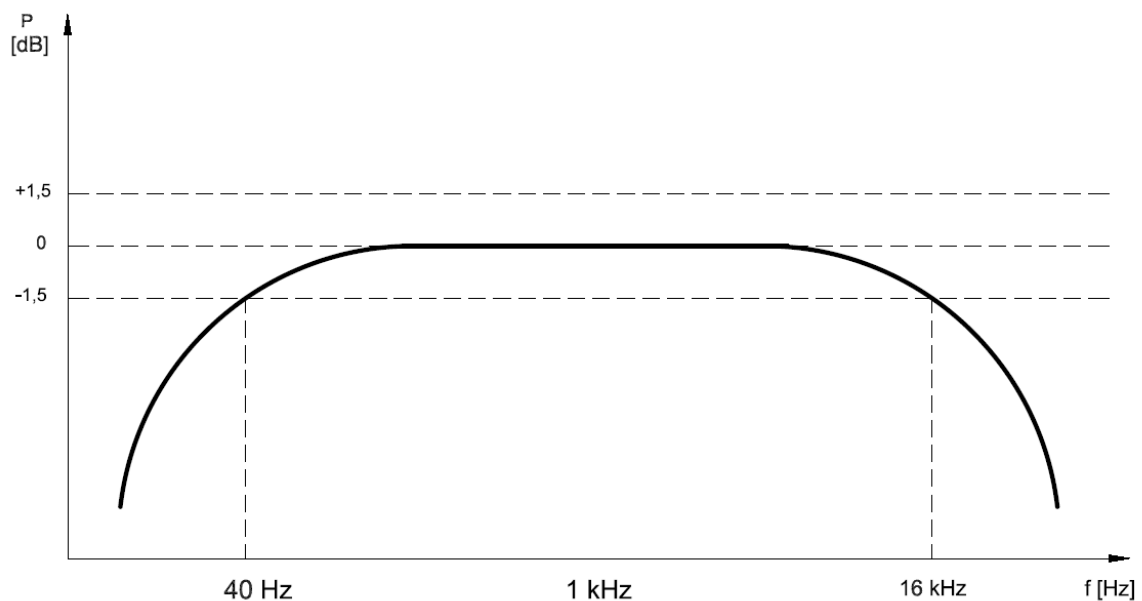
1.3.2 Vstupní impedance

Pro přizpůsobení zdroje signálu je nutné znát vstupní impedanci zesilovače, kterou je zdroj zatížen. Vstupní impedance zesilovačů by měla být 5-10 krát větší než výstupní impedance zdroje. Díky tomu není zdroj ovlivňován zatížením, nedochází ke zkreslení, změně kmitočtové charakteristiky nebo ke zmenšení poměru signál/šum [1]. Předpokládá se, že výstupní impedance zdroje, který je připojen za vstup zesilovače, má impedanci kolem 50Ω . Ve skutečnosti to ale může být mnohem více. Pro splnění požadavku na impedanční přizpůsobení musí být impedance zesilovače alespoň $10 \text{ k}\Omega$. Impedance by také neměla být moc vysoká, protože poté může dojít ke zhoršení šumových vlastností vlivem Johnsonova šumu. Pro co nejmenší šum by měla být hodnota vstupní impedance co nejmenší, a to jak to jen impedanční přizpůsobení dovoluje. Pro standardní použití je vyhovující impedance $10 \text{ k}\Omega$. Pokud bude vstupní úroveň (hlasitost) ovládána na vstupní části zesilovače, je dobré použít impedanci $20 \text{ k}\Omega$ a vyšší, neboť připojený potenciometr se vyskytuje paralelně se vstupní impedancí, čímž dojde ke snížení celkové impedance vstupu. [5]

1.3.3 Přenosové písmo zesilovače

Je zřejmé, že frekvenční pásmo zesilovače je navrženo tak, aby vyhovovalo kmitočtovému pásmu lidského ucha. Proto musí být audio zesilovač schopen věrně přenést signál v rozsahu 40 Hz až 16 kHz [1, 5]. Hi-Fi zařízení by neměla mít odchylku od charakteristiky větší než 1,5 dB, ale protože se v našem případě bude jednat o zesilovač pro elektroakustická měření, požadujeme parametry lepší [1, 6]. U zařízeních, kde lze frekvenční charakteristiku

regulovat (nastavení hloubek a výšek), by měla být vyznačena poloha ovládacího prvku, při níž je kmitočtová charakteristika lineární.



Obr. 1.2 Kmitočtová charakteristika s vyznačenými odchylkami [1]

1.3.4 Odstup signálu od šumu

Každý zesilovač produkuje šumové signály. Nejběžnějším výrazem určujícím vlastnosti šumu v audio zařízeních je odstup signálu od šumu, anglicky signal to noise ratio (SNR) [1, 5]. Jedná se o poměr mezi maximálním užitečným signálem a rušivým signálem. Většinou se udává v decibelech (dB). Slabý signál může být vlivem vysokého šumu zcela znehodnocen. Optimální je provozovat zesilovač se jmenovitým výstupním napětím, protože je odstup signálu od šumu příznivější. Běžná zařízení by měla mít SNR alespoň 60 dB a u profesionálních a měřicích zařízeních je to více než 100 dB [1].

$$SNR = 20 \log \frac{V_{signal}}{V_{\text{sum}}} [dB] \quad (1.1)$$

1.3.5 Přeslechy

U zařízení, kde je více než jeden signálový kanál, může nastat neúmyslné přenesení části signálu z jednoho kanálu do druhého. Odborně se tomuto jevu říká Přeslech (anglicky Crosstalk). Přeslechy mohou vzniknout přímo na vstupních konektorech, přepínačích vstupů, potenciometrech, při paralelním vedení nestíněných vodičů, vlivem nevhodného rozmístění součástek na plošném spoji atd. Obecně se přeslechy zvětšují s klesající vzdáleností a rostoucí délkou mezi souběžně vedenými signálovými vodiči. Přeslech mezi různými vstupy při 1 kHz by neměl být větší než -50 dB. [1]

1.3.6 Fázová charakteristika

Fázová charakteristika zobrazuje závislost rozdílu fáze vstupního a výstupního signálu zesilovače na kmitočtu. Problém je hlavně u vícekanálových přenosů, kde pro dosažení kvalitního prostorového zvuku musí být fázový posuv ve všech kanálech stejný. [1, 5]

1.3.7 Výstupní výkon

Existuje více definicí výkonu zesilovače. Nejčastěji jsou udávány jmenovitý neboli sinusový výstupní výkon a hudební výkon. Jmenovitý výkon je definován jako výkon, který může zesilovač dodávat do zátěže alespoň po dobu 10 minut při buzení sinusovým signálem o kmitočtu 1kHz a při dodržení jmenovitého činitele harmonického zkreslení. [1]

1.3.8 Výstupní impedance

Výkonové přizpůsobení nastává, když se výstupní impedance zdroje rovná vstupní impedanci zátěže. Výstupní impedance výkonových zesilovačů jsou udávány pro určitou zatěžovací impedanci. Typické velikosti zatěžovacích impedancí jsou 2, 4, 8 Ω . [1]

Reproduktory s impedancí 8 Ω jsou nejběžnější v Hi-Fi aplikacích. Impedance reproduktoru je ale závislá na frekvenci, bude se měnit vzhledem k zatížení. Může klesnout až na hodnotu 6 Ω . Z tohoto důvodu je téměř u všech zesilovačů napsáno, že jsou schopny 4 Ω i 8 Ω zátěže. To poskytuje rezervu pro 8 Ω zátěž, ale neponechává žádnou bezpečnou rezervu pro 4 Ω

zátěž, kdy její hodnota může klesnout až na 3 Ω . Obdobně tomu bývá u zesilovačů pracujících do 4 Ω a 2 Ω zátěže. [6]

1.3.9 Zkreslení

Dvě základní zkreslení udávané u zesilovačů jsou THD + N a IMD

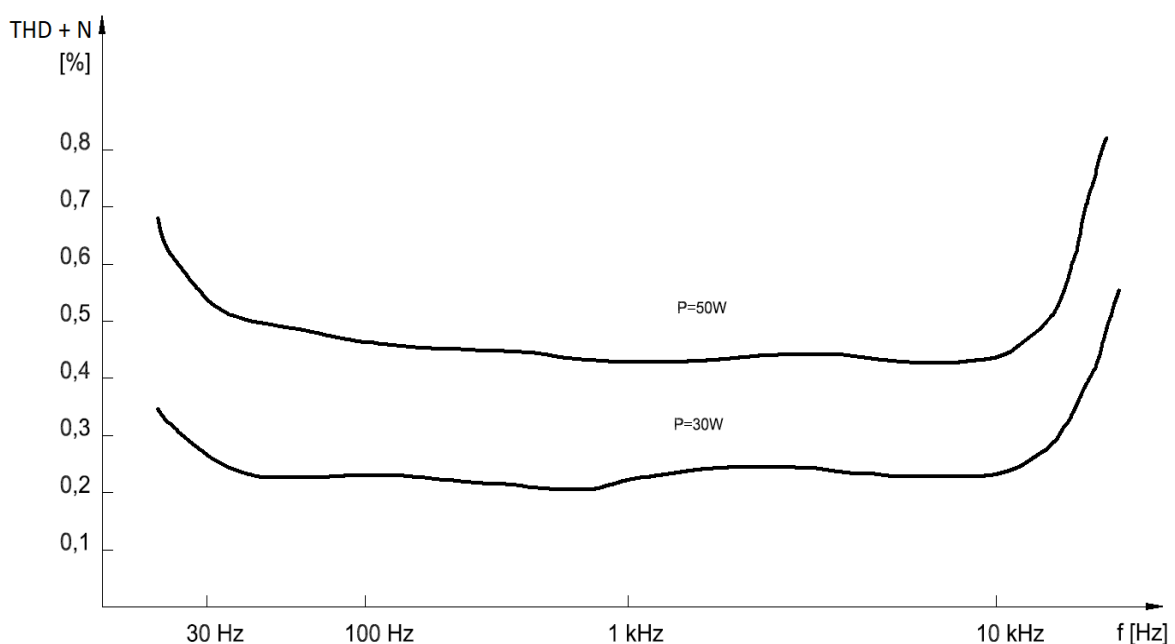
1.3.9.1 THD + N

THD + N je zkratka pro celkové harmonické zkreslení + šum. Celkové harmonické zkreslení (THD) je součet všech produktů harmonického zkreslení. THD + N přidává šum k tomuto vztahu. THD + N je nejběžnější parametr zkreslení udávaný u audio zařízení.

THD + N můžeme vypočítat z rovnice:

$$THD + N = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2} + N}{U_1} \cdot 100 [\%] \quad (1.2)$$

Kde U_1 je efektivní hodnota první harmonické signálu a U_2 až U_n jsou efektivní hodnoty vyšších harmonických složek, které jsou generovány v zařízení a N je šum. THD + N se udává většinou v procentech a vyjadřuje poměr součtu všech efektivních hodnot vyšších harmonických + šum k první harmonické. [1].



Obr. 1.3 Průběh THD + N zkreslení zesilovače v závislosti na frekvenci [1].

1.3.9.2 IMD

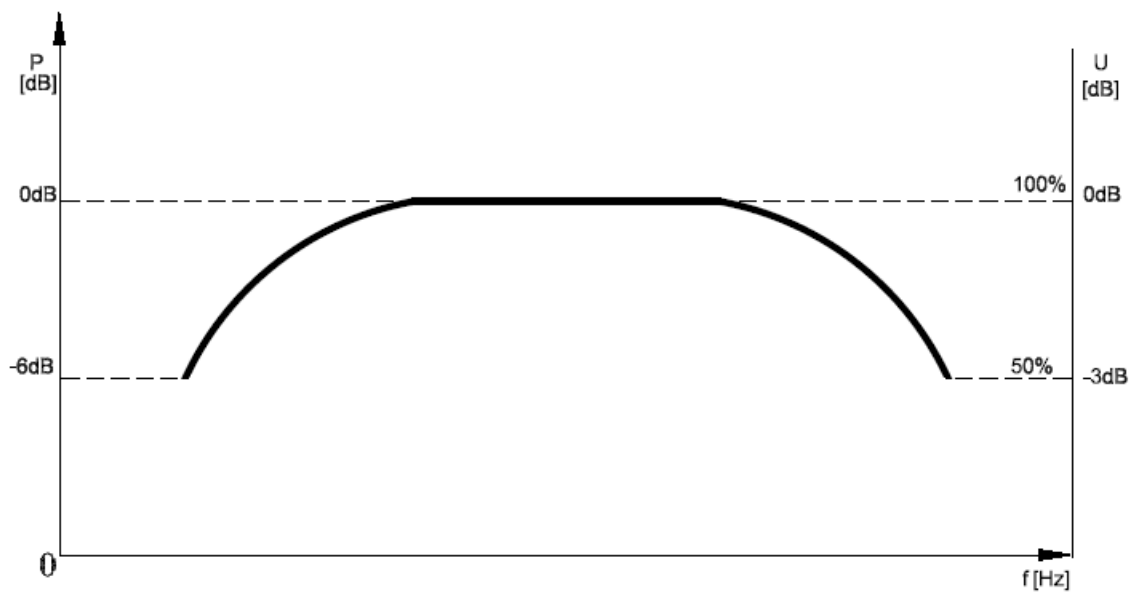
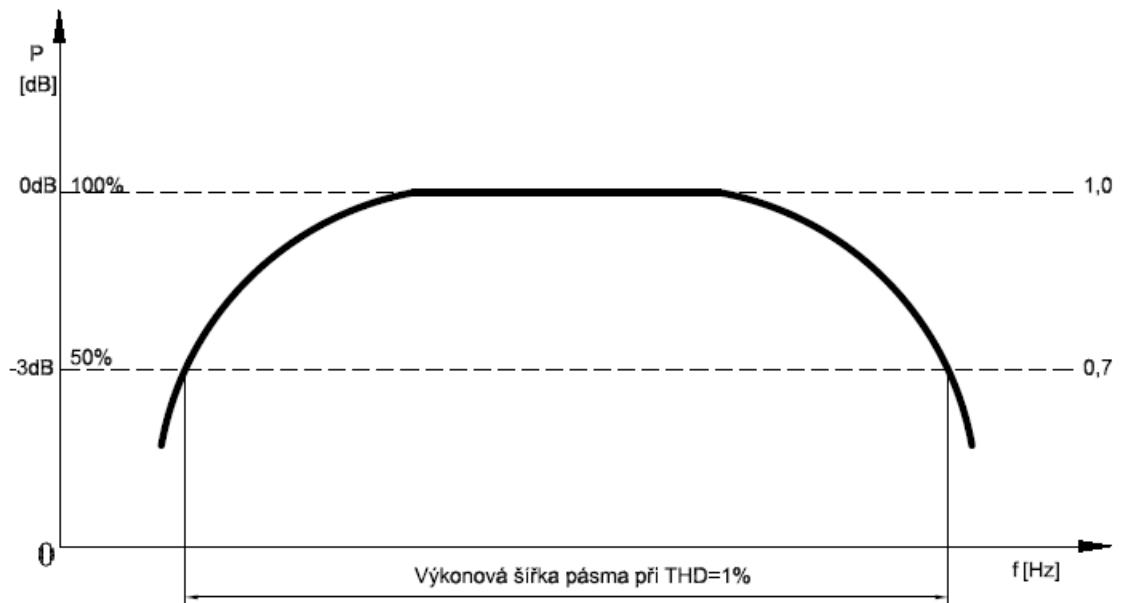
IMD označuje intermodulační zkreslení. IMD se vytváří, když se dva nebo více signálů směšují v nelineárním zařízení a vytváří tak nové kmitočtové složky, které jsou dány kombinací součtových a rozdílových kmitočtů vstupních signálů [4].

1.3.10 Výkonová šířka pásma

Výkonová šířka pásma (Power - bandwidth) je dána frekvenčním rozsahem, v němž smí výstupní výkon poklesnout na polovinu (o 3 dB) při jmenovitém činiteli harmonického zkreslení. Pokles výstupního výkonu o 3 dB při konstantní zátěži představuje pokles výstupního napětí o 3 dB, tedy na 70,7 %. [1]

1.3.11 Dynamický rozsah

Obecně je dynamický rozsah poměr mezi maximální a minimální hodnotou signálu, ať už zdroje nebo zesilovače. Dynamika zesilovače je u malých signálů omezena šumem a u velkých maximálním výstupním napětím. Pro dosažení požadované dynamiky je zapotřebí volit zesilovač s dostatečnou velikostí napětí, respektive výstupním výkonem, případně omezit šumové vlastnosti zesilovače. Z běžné praxe lze vycházet z hodnot $1,5 \text{ W/m}^2$ ozvučované plochy. Pro běžnou obytnou místnost bereme v potaz výkon zesilovače kolem 30 W. [1]



1.4 Výkonová šířka pásma [1]

2 Návrh zesilovače pro mobilní použití

2.1 Výstupní výkon

U zesilovačů pro mobilní použití jsme omezeni velikostí napájecího napětí, u zesilovače pro použití v automobilu napětím automobilové sítě, jejíž napětí činí 12 V. Koncový stupeň výkonového zesilovače se skládá z dvojice tranzistorů, které pracují střídavě do zátěže. Tranzistor typu NPN zesiluje kladnou půlvlnu a tranzistor PNP zápornou půlvlnu signálu, proto na zátěži (reproduktoru) můžeme dosáhnout maximálně poloviny napájecího napětí. Tranzistor není ideální spínač, proto na něm v otevřeném stavu vzniká úbytek napětí. Tento úbytek napětí (U_{CE}) musíme odečíst od poloviny napájecího napětí. Předpokládejme, že úbytek na tranzistoru bude přibližně 0,3 V. Dostáváme vztah (2.1).

$$U_R = \frac{1}{2} \cdot U_B - U_{CE} = \frac{1}{2} \cdot 12 - 0,3 = 5,7 \text{ V} \quad (2.1)$$

Kde U_R je napětí na reproduktoru. U_B představuje napětí automobilové sítě a U_{CE} napětí mezi kolektorem a emitorem. Efektivní hodnotu napětí sinusového signálu na výstupu získáme ze vztahu (2.2).

$$U_{Ref} = \frac{U_R}{\sqrt{2}} = \frac{5,7}{\sqrt{2}} = 4,03 \text{ V} \quad (2.2)$$

Z rovnice (2.3) a (2.4) poté dostáváme maximální výstupní výkon pro jednotlivé typy zátěže.

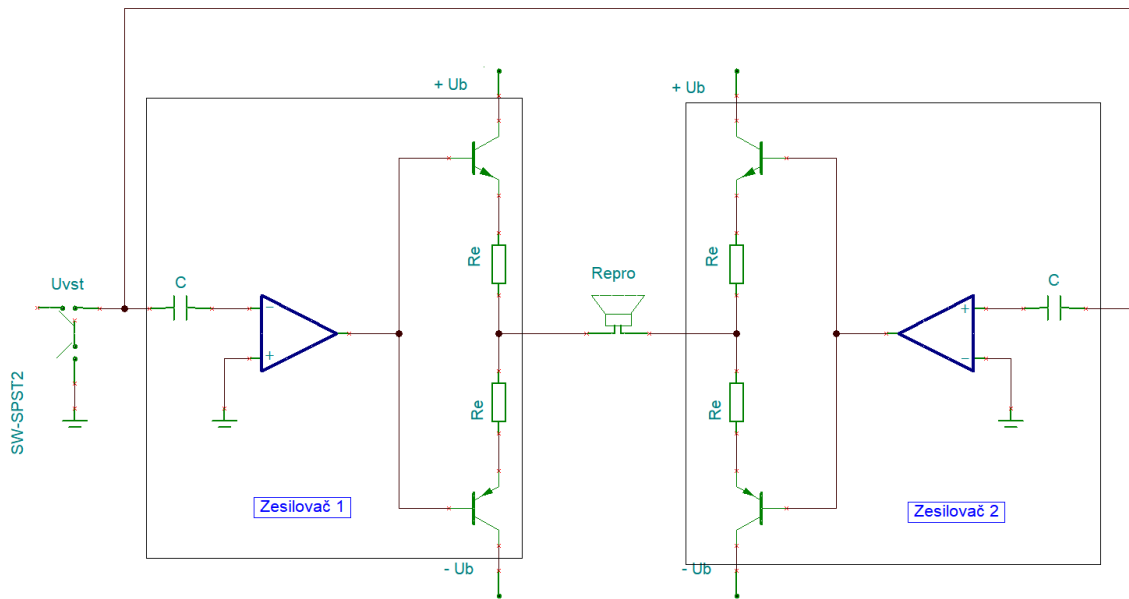
Pro 4Ω :

$$P_{max4\Omega} = \frac{U_{Ref}^2}{R_R} = \frac{4,03^2}{4} = 4,06 \text{ W} \quad (2.3)$$

Pro 2Ω :

$$P_{max2\Omega} = \frac{U_{Ref}^2}{R_R} = \frac{4,03^2}{2} = 8,12 \text{ W} \quad (2.4)$$

Zvýšení výstupního výkonu lze dosáhnout zapojením dvou zesilovačů do můstku. Oba zesilovače musí být stejného výkonu. Zátěž se připojuje mezi výstupy obou zesilovačů (viz obr. 2.1). Pro správnou funkci zapojení je nutné přivést signál na výstupy v protifázi. Reprodaktor bude připojen přes tranzistory vybuzené v protifázi na napětí $+U_b$ a $-U_b$. Napětí na reproduktoru bude snižené o saturační napětí obou tranzistorů.



Obr. 2.1 Princip zapojení dvou zesilovačů do můstku. [7]

Předpokládejme, že napětí z automobilového akumulátoru je 12 V a saturační napětí tranzistoru 0,3 V. Potom pro můstkové zapojení vzniká vztah (2.5).

$$U_R = U_B - (2 \cdot U_{CE}) = 12 - 2 \cdot 0,3 = 11,4 \text{ V} \quad (2.5)$$

Efektivní hodnotu napětí sinusového signálu na výstupu získáme ze vztahu (2.6).

$$U_{Ref} = \frac{U_R}{\sqrt{2}} = \frac{11,4}{\sqrt{2}} = 8,06 \text{ V} \quad (2.6)$$

Z rovnice (2.3) a (2.4) poté dostáváme maximální výstupní výkon pro jednotlivé typy zátěže.

Pro 4Ω :

$$P_{max4\Omega} = \frac{U_{Ref}^2}{R_R} = \frac{8,06^2}{4} = 16,25 \text{ W } [W; V, \Omega] \quad (2.7)$$

Pro 2Ω :

$$P_{max2\Omega} = \frac{U_{Ref}^2}{R_R} = \frac{8,06^2}{2} = 32,49 \text{ W } [W; V, \Omega] \quad (2.8)$$

Maximální teoretický výkon můstkového zapojení při napájení z automobilové sítě je pro 4Ω zátěž $16,3 \text{ W}$. Dnes se čím dál tím více v automobilech používají reproduktory s impedancí 2Ω . U nich lze dosáhnout maximálního teoretického výkonu až $32,5 \text{ W}$.

2.2 Výběr součástek

2.2.1 Rezistory

Rezistory jsou použity v podobě SMD. Je to hlavně kvůli menším rozměrům než v případě THT rezistorů. Rezistory pro povrchovou montáž se dělí na dva hlavní formáty: čipové a MELF rezistory. MELF rezistory jsou ve srovnání s obyčejnými čipovými rezistory podstatně dražší. Z tohoto důvodu bude vhodnější použít čipové rezistory. Čipové rezistory jsou dělány v různých velikostech pouzdra od 2512 po 01005. Z hlediska snadného ručního pájení bude vhodné použít rezistory o velikosti 1206. Čipové rezistory se nejčastěji vyrábějí s metalickou vrstvou. Dělíme je na tenkovrstvé a tlustovrstvé. Každý se vyrábí jinou technologií, z toho vyplývají i jejich vlastnosti. Vzhledem k tomu, že zařízení nejvíce pracuje se vstupním signálem, jenž má malou úroveň, budou pro nás důležité převážně šumové vlastnosti. Z tohoto důvodu bude vhodné použít tenkovrstvé rezistory, které mají lepší šumové vlastnosti. Tenkovrstvé rezistory jsou kvůli složitější výrobě dražší, proto jsou použity pouze v signálové cestě, kde mají vliv na kvalitu signálu. V napájecím obvodu jsou aplikovány tlustovrstvé rezistory, které jsou levnější. Rezistory jsou produkovány v různých třídách přesnosti. Rezistory jsou ve vstupní části zapojeny ve zpětné vazbě operačního zesilovače nebo jako děliče napětí. Slouží k přesnému nastavení vstupního signálu, proto je

nezbytné použít rezistory s dostatečnou třídou přesnosti. V těchto citlivých částech byly použity rezistory s třídou přesnosti 1 % a nižší.

2.2.2 Kondenzátory

Kondenzátory v audio zařízeních plní tři hlavní funkce. Jako blokovací kondenzátory v napájecí cestě. Tyto kondenzátory slouží ke krytí proudových špiček integrovaných obvodů a k blokování střídavých složek. U operačních zesilovačů byly použity keramické blokovací kondenzátory. Jsou dostupné i v SMD podobě, proto bylo vhodné použít stejnou velikost jako u rezistorů, a to 1206. Další možností využití kondenzátorů je frekvenční omezení signálu. Pro tyto účely byly rovněž zvoleny keramické kondenzátory v SMD pouzdře. Třetí možností je aplikace vazebních kondenzátorů v signálové cestě. Ty byly použity pro zamezení DC offsetového napětí z operačních zesilovačů, aby se zabránilo přechodovým dějům při přepínání relé. Kvůli nízké impedanci bylo zapotřebí použít tyto kondenzátory o vysoké kapacitě, aby nedocházelo k frekvenčnímu omezení signálu. Nejvhodnější kondenzátory pro tyto účely jsou svitkové s polypropylenovým dielektrikem, protože mají nízké zkreslení. Tyto kondenzátory jsou však rozměrné, a vzhledem k omezeným rozměrům je tedy nebylo možné použít. Vysoké kapacity a menších rozměrů dosahují také elektrolytické kondenzátory, které ale mají větší zkreslení než svitkové. Elektrolytické kondenzátory mají kvůli svému principu danou polaritu. Audio signál je ale střídavý, a proto by po dlouhodobém působení mohlo dojít k narušení dielektrika a ke zničení kondenzátorů. Proto byly nakonec vybrány bipolární elektrolytické kondenzátory, které nemají danou polaritu, dosahují vysoké kapacity, malých rozměrů a přijatelného zkreslení.

2.2.3 Ostatní součástky

Pro nastavení vstupních úrovní jsou používána relé. Z hlediska úspory místa bude vhodné aplikovat malé relé v SMD provedení. Bylo zvoleno signálové relé od firmy KEMET, které má pozlacené kontakty. Díky tomu nedojde k zoxidování kontaktů a ke ztrátě vodivosti.

Také bylo nutné vybrat operační zesilovač, který bude mít vhodné parametry pro audio použití. V audio aplikacích se nejvíce používají dva operační zesilovače, a to JFETový TL072 a bipolární NE5532. Vyrábí se i dražší operační zesilovače s lepšími parametry, ale rozdíl není markantní, a tak bude vhodné použít zesilovač NE5532. NE5532 má bipolární

vstupy a je řízen proudem, proto má nízký napěťový šum a bude žádoucí pro naše použití. NE5532 se vyrábí v jednom pouzdře se dvěma operačními zesilovači, proto bude možné k jednomu pouzdru připojit dva kanály.

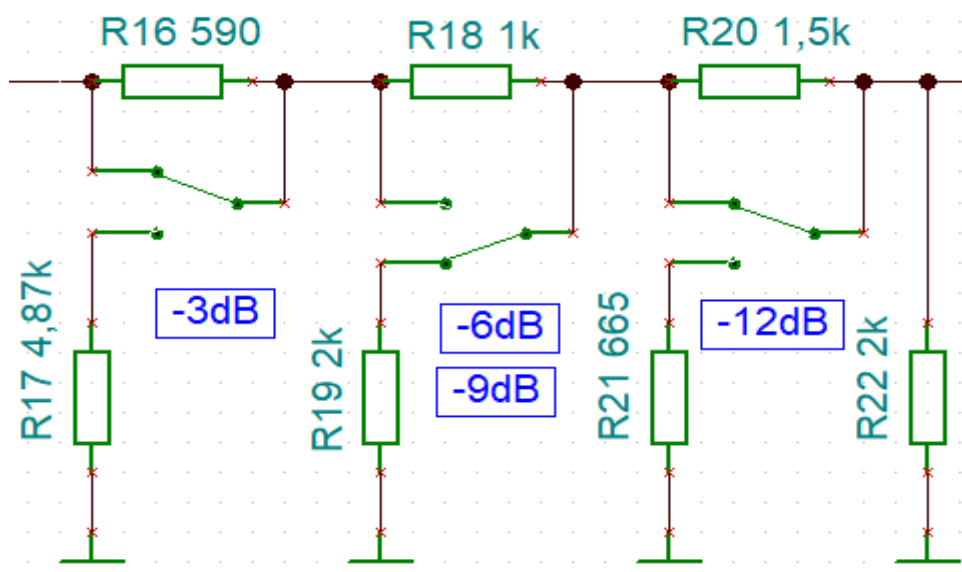
2.3 Vstupní část

Vstupní část slouží k přizpůsobení napěťové úrovně vstupního signálu. Na vstup může být přiveden signál v rozsahu jednotek mV až jednotek V. Z tohoto důvodu je potřeba dokázat signál zesílit nebo utlumit. Jednotlivé nastavení úrovní je řešeno sério-paralelní kombinací odporů, jejich ovládání je řešeno pomocí relé. Druhou možností bylo ovládání pomocí vícepólového otočného přepínače. Konečné zapojení má mít osm kanálů. Aby bylo možné ovládat všech osm kanálů najednou, museli bychom využít otočné přepínače s osmi polohami. Ty však nejsou běžně k sehnání nebo jsou nákladné, proto byla zvolena varianta ovládání pomocí relé. Útlum lze nastavovat v rozsahu 10 dB až 40 dB s krokem po 10 dB. Jemnější útlum lze nastavit v rozsahu 3 dB až 12 dB s krokem po 3 dB. Pro omezení počtu prvků můžeme například úroveň -9 dB získat kombinací -3 dB a -6 dB. Pro zachování přesnosti při kombinaci dvou napěťových děličů byl do obvodu přidán paralelně rezistor.

Zde je uveden výpočet útlumu -6 dB. Zapojení je znázorněno na obrázku *Obr. 2.2*.

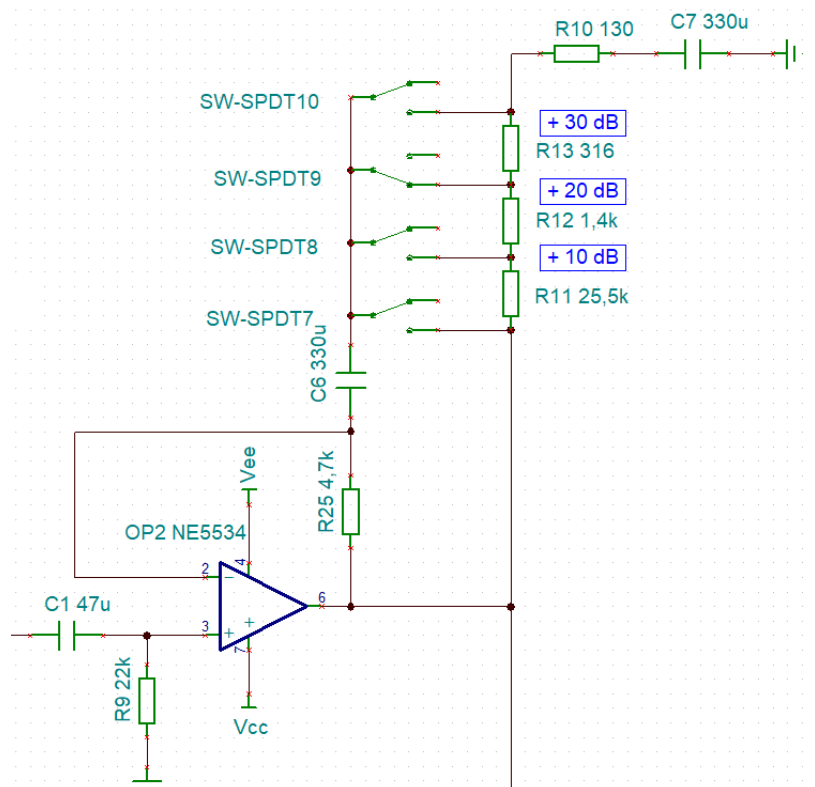
$$R12 = \frac{1}{\frac{1}{R19} + \frac{1}{R22}} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} = 1k\Omega [k\Omega] \quad (2.9)$$

$$Au = 20 \cdot \log \frac{Vout}{Vin} = 20 \cdot \log \frac{R12}{R12 + R18} = 20 \cdot \log \frac{1}{1 + 1} = -6 \text{ dB } [-; V, k\Omega] \quad (2.10)$$



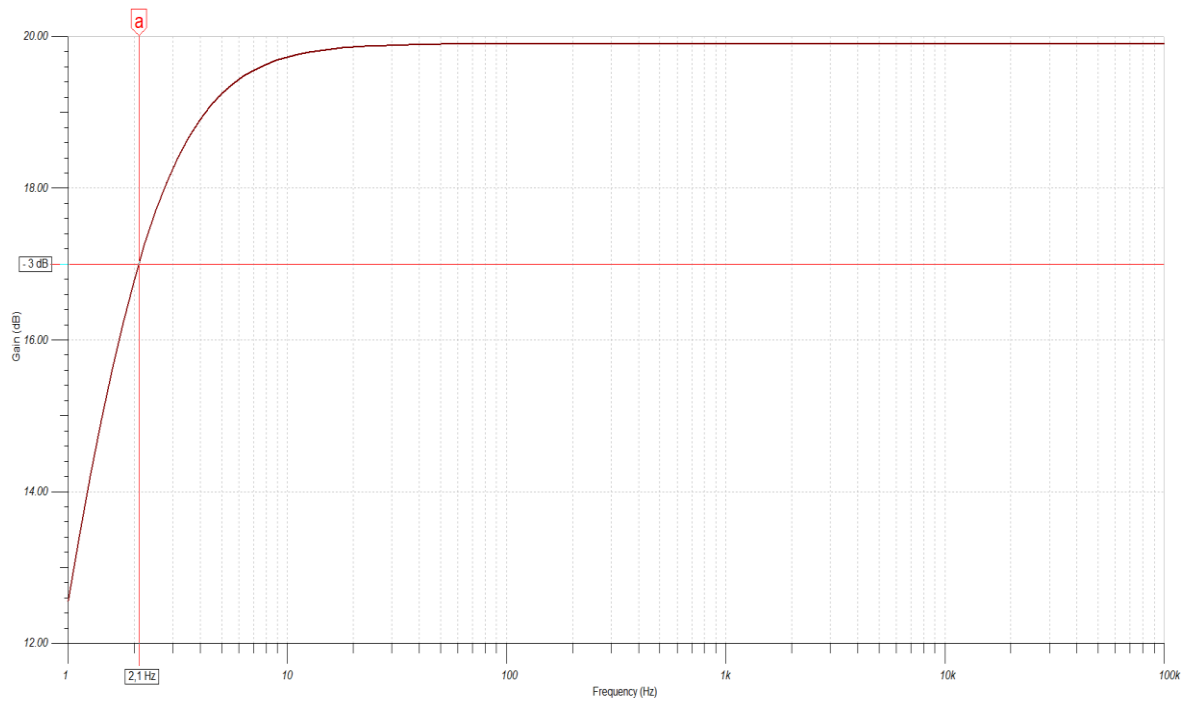
Obr. 2.2. Nastavení útlumu po 3 dB

distributor Zesílení je realizováno pomocí operačního zesilovače v neinvertujícím zapojení. Jednotlivé úrovně jsou také ovládány pomocí relé a rovněž je u nich možné nastavit zesílení v rozsahu 10 dB až 30 dB s krokem po 10 dB. Zapojení neinvertujícího zesilovače je rozšířeno o stejnosměrné oddělení, díky tomu nebude přepínání relé slyšet na výstupu. Zapojení je zobrazeno na Obr. 2.3. Při přepnutí relé je biasový proud z invertujícího vstupu zesilovače oddělen kondenzátorem C6 a nemůžeme projít k ovládání úrovní.

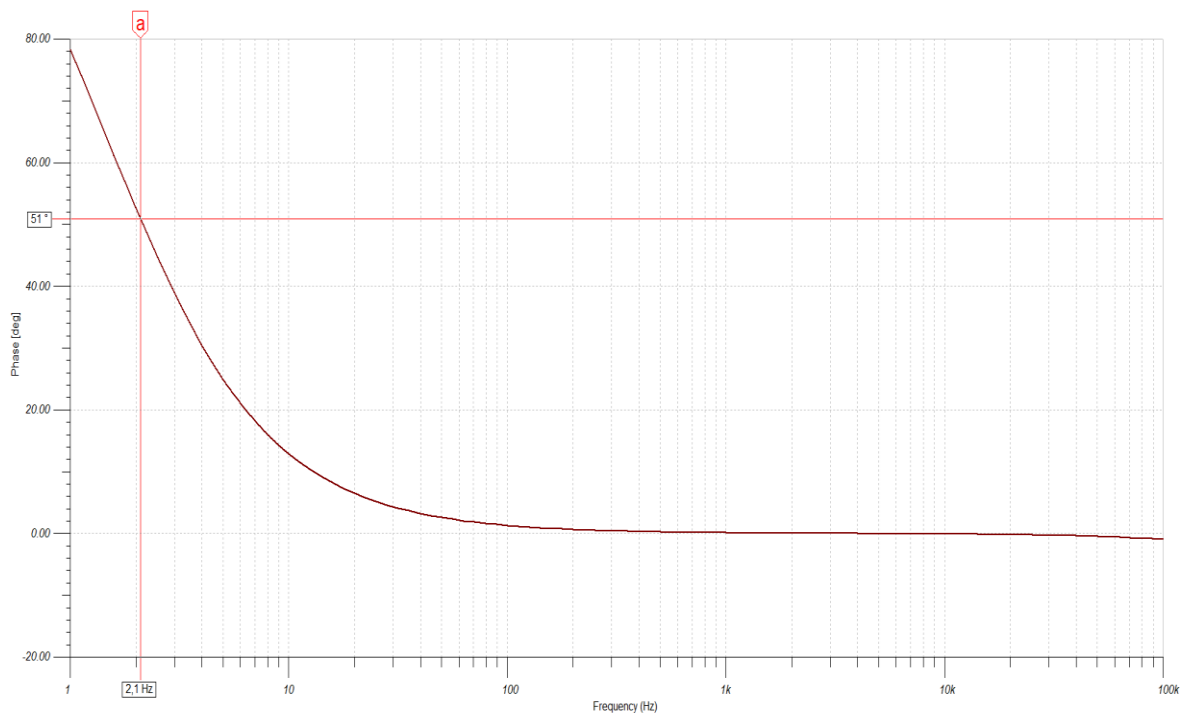


Obr. 2.3 Neinvertující zapojení s DC oddělením

Navržené zapojení invertujícího zesilovače bylo pro ověření správnosti funkce také odsimulováno. Simulace amplitudové charakteristiky je na Obr. 2.4 a frekvenční na Obr. 2.5. Při simulaci bylo nastaveno zesílení + 20dB.

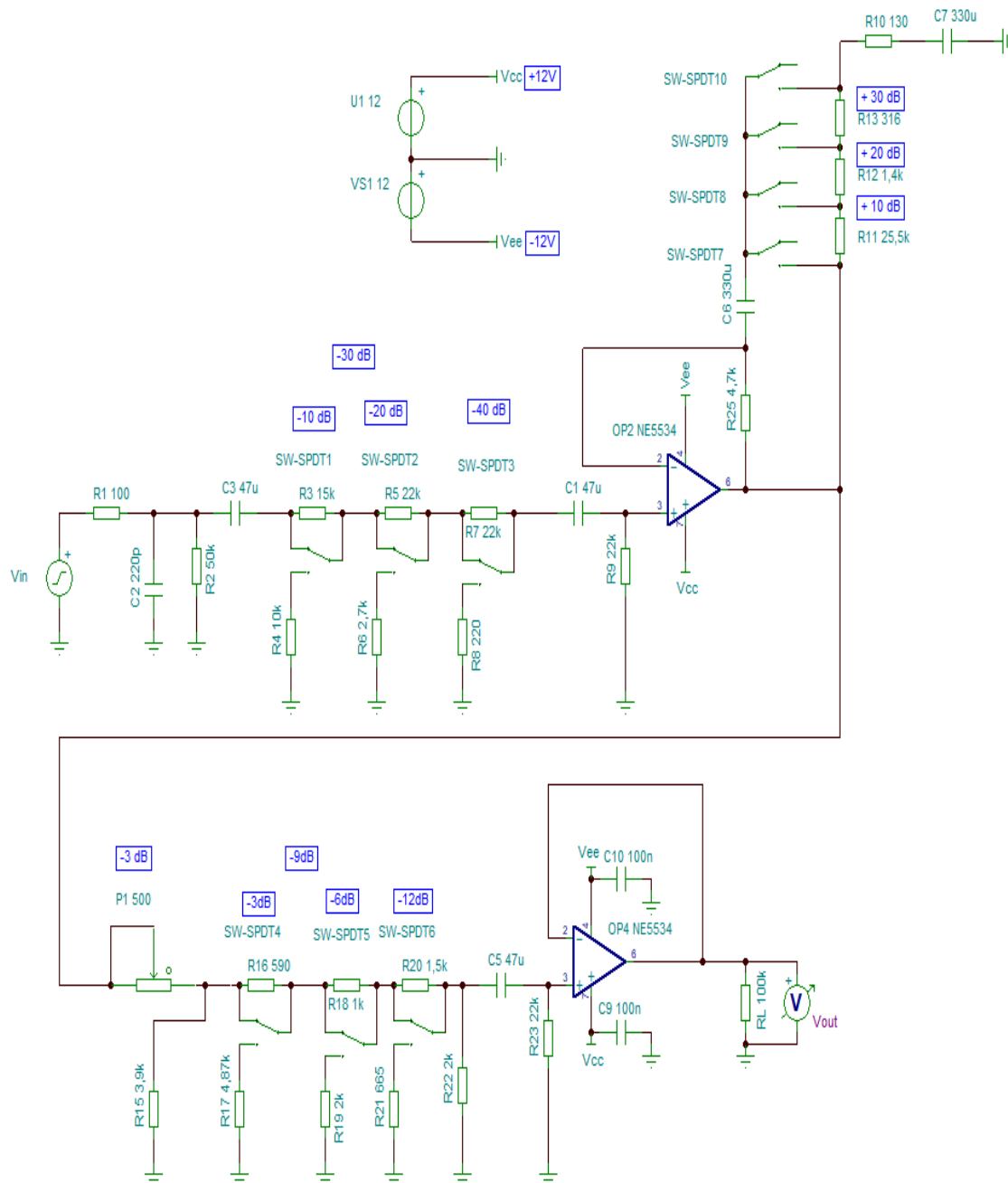


Obr. 2.4 Simulace amplitudové charakteristiky neinvertující zapojení s DC oddělením a nastavením zesílením + 20 dB

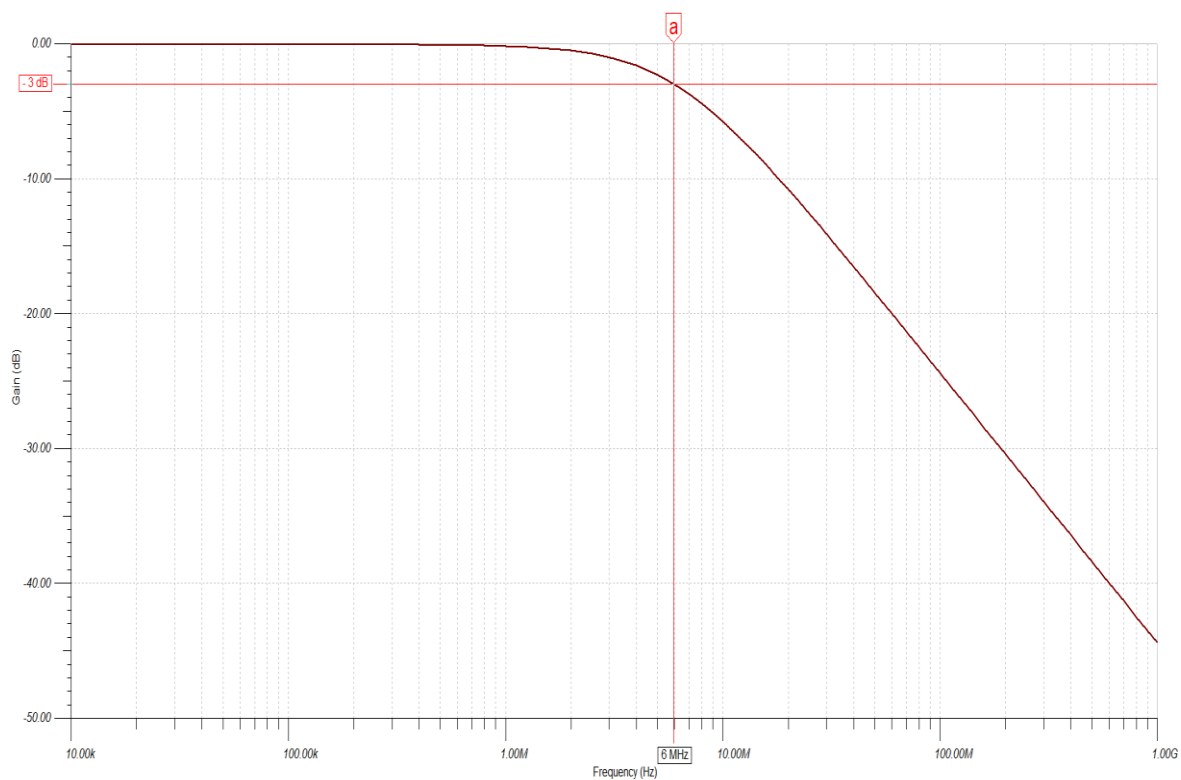


Obr. 2.5 Simulace frekvenční charakteristiky neinvertující zapojení s DC oddělením a nastavením zesílením + 20 dB

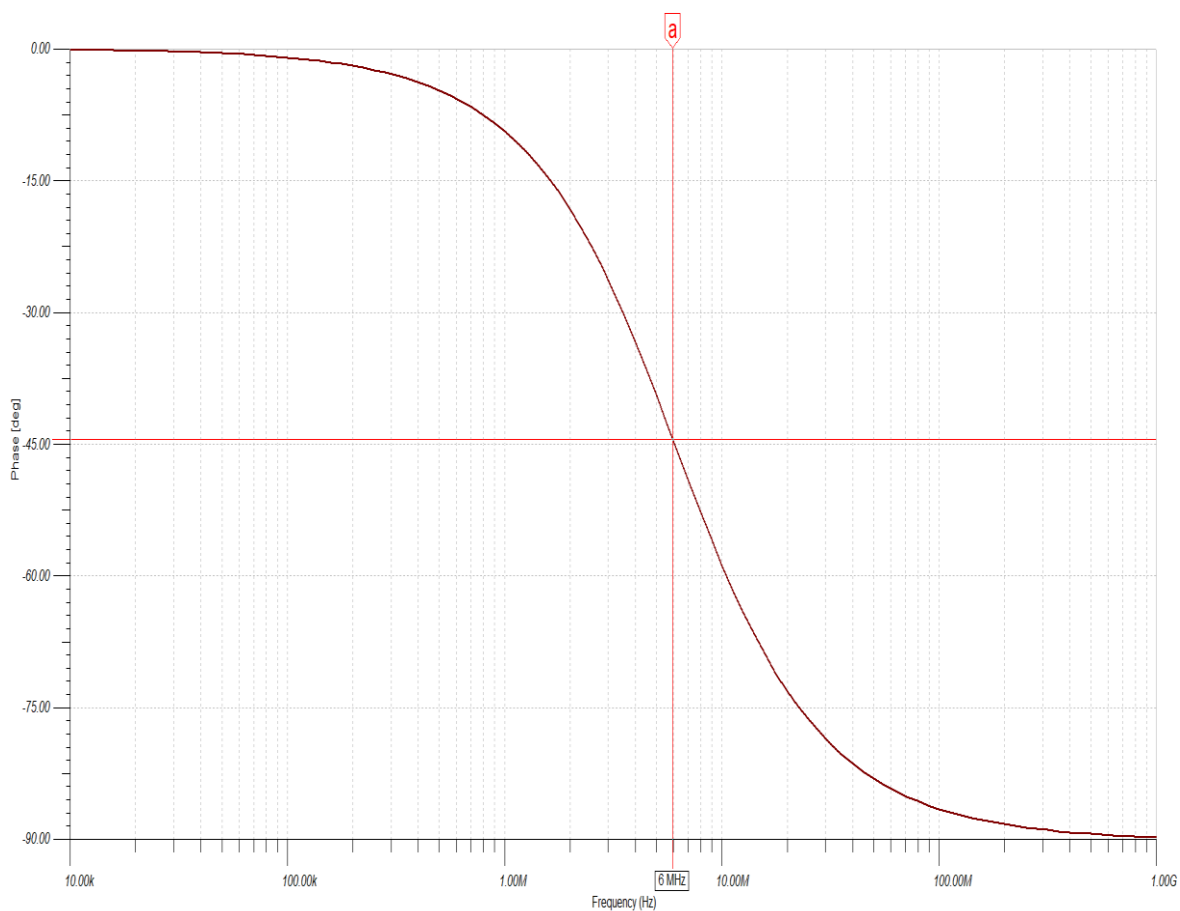
Celé zapojení je zobrazeno na Obr. 2.6. V zapojení je také umístěn odporový dělič, který se skládá z trimru a rezistoru. Pomocí něho můžeme nastavit útlum 0 až 3dB. Tento dělič slouží k prvotnímu nastavení vyvážení mezi jednotlivými kanály. Celé zapojení bylo rovněž odsimulováno. Byly vyzkoušeny všechny možné kombinace sepnutých relé. Simulace amplitudové a frekvenční charakteristiky s nulovým zesílením jsou na Obr. 2.7 a Obr. 2.8.



Obr. 2.6 Zapojení vstupní korekce jednoho kanálu.



Obr. 2.7 Simulace amplitudové charakteristiky vstupní korekce jednoho kanálu



Obr. 2.8 Simulace frekvenční charakteristiky vstupní korekce jednoho kanálu

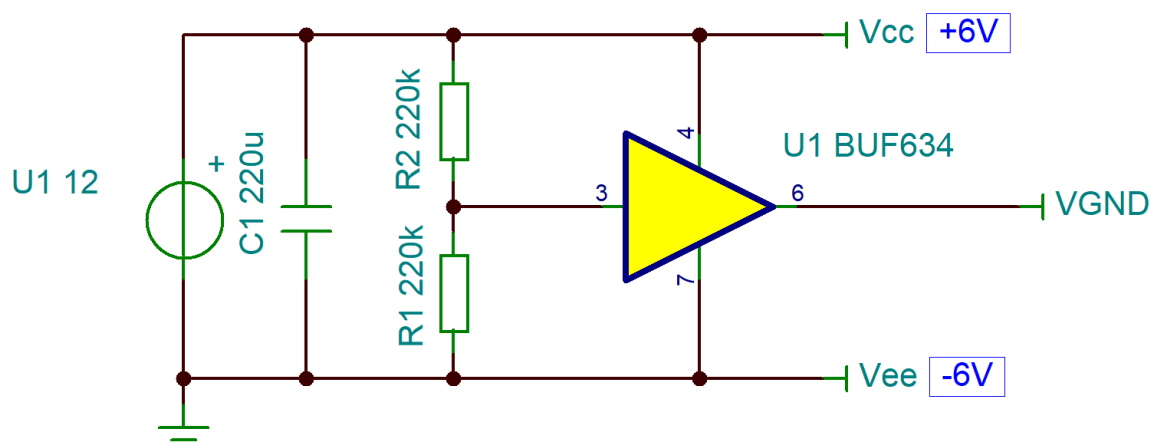
2.4 Napájení

2.4.1 Symetrické napájení

Napájení v automobilu je pouze jedné polarity, a to 12 V. Pro správnou funkci operačních zesilovačů je vhodné použít symetrické napájení. Audio signál je střídavý, proto je nutné operační zesilovače napájet oběma polaritami napětí.

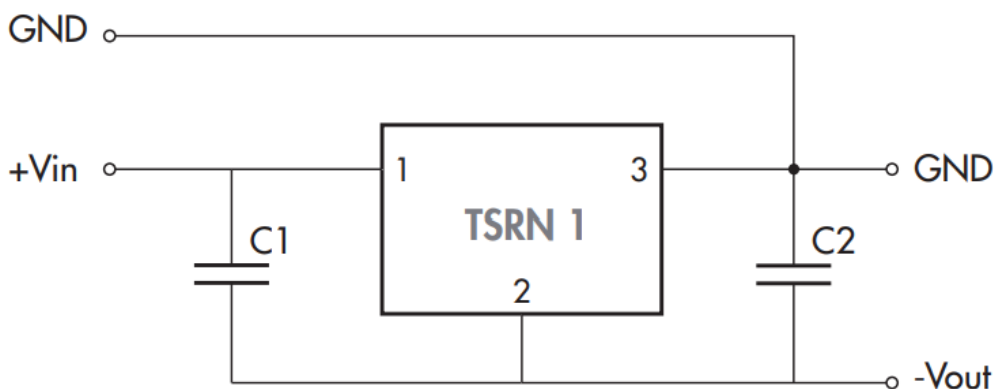
První možností, jak vytvořit symetrické napájení z nesymetrického, bylo použít dva rezistory o stejné velikosti. Vznikne odporový dělič, který půlí výstupní napětí z automobilové sítě. Vznikne napětí +6 V a -6 V a zátěž je zapojena do středu děliče. Takto vytvořený umělý střed napájení je velmi měkký. Při zatížení může dojít k nerovnoměrnému rozložení napájení zátěže. Vzhledem k tomu, že minimální doporučené napájecí napětí operačního zesilovače je 5 V, mohlo by docházet k problémům. Tomu se dá zabránit zmenšením velikosti rezistorů, ale za cenu zvýšení tepelných ztrát na rezistorech. Řešením je použít buffer, jímž lze docílit tvrdého zdroje i s vyššími hodnotami rezistorů.

Zapojení vidíme na Obr. 2.9. Signál ze vstupní části je přiveden na koncový zesilovač, který je ale napájen nesymetrickým napájením 12 V, a v určitém bodě se musí propojit signálová zem a výkonová zem. V tomto bodě nastává problém, protože signál bychom spojili s námi vytvořeným záporným napájením. Od této možnosti nakonec bylo upuštěno.



Obr. 2.9 Symetrické napájení z nesymetrického pomocí virtuální země

Záporné napětí nakonec bylo vytvořeno pomocí DC/DC měniče od firmy Traco Power. Tím se vyřešil problém s virtuální zemí. Jedná se o integrovaný DC/DC měnič a jak je vidět na Obr. 2.10, jsou k němu zapojeny pouze dva kondenzátory. Není nutné přidavné chlazení. Při transformaci napětí z 12 V na -12 V má účinnost 85% a je omezen výstupním proudem 0,3A. Tento proud bude pro napájení operačních zesilovačů dostačující. Měnič pracuje se spínací frekvencí 580 kHz, která je dostatečně vzdálená od audio pásma, a nebude tak ovlivňovat signál.



Obr. 2.10 Zapojení DC/DC měniče

2.4.2 Ochrana proti přepólování

Jako první je v napájecí cestě umístěna ochrana proti přepólování. Ochrana se skládá z pojistky a schottkyho diody. Při správné polaritě napájení je schottkyho dioda zapojena v závěrném směru, přes diodu neprochází proud. V případě přepólování je dioda polarizována v propustném směru, dojde k uzavření zkratového proudu přes diodu a pojistku a pojistka se přetaví. Schottkyho dioda se nachází v pouzdře TO252, pro dostatečný odvod tepla při zkratovém proudu. Držák pojistky je umístěn v zadním panelu, pro snadnou výměnu pojistky.

2.4.3 Tlumivka

V napájecí síti automobilu může vznikat rušení, které by mohlo narušovat funkci našeho zařízení. K ochraně před tímto rušením je do napájecí cesty umístěna tlumivka. Tato tlumivka tlumí vysokofrekvenční rušení, které se šíří po napájecích vodičích. Nezbytné bylo zvolit tlumivku s dostatečnou proudovou zatížitelností. Tlumivka byla vybrána od firmy

Würth Electronics. Má proudovou zatížitelnost až 20 A a indukčnost 560 μH . Pro zmenšení výšky zařízení byla vybrána tlumivka v horizontální variantě.

2.4.4 Transil

Transil je součástka, která chrání citlivé obvody před poškozením vysokým napětím z přechodových dějů. Mezi tyto citlivé obvody řadíme například integrované obvody. Přechodové napětí je definováno jako krátkodobý ráz elektrické energie a je výsledkem náhlého uvolnění energie, která byla naakumulována nebo naindukována ze zdrojů, jako jsou induktivní zátěže nebo blesk [8]. Opakované přechodové děje jsou způsobeny provozem motorů, generátoru nebo spínacích prvků. V automobilu je to například alternátor. Náhodné přechodové děje mohou vzniknout elektrostatickým výbojem (ESD) nebo bleskem.

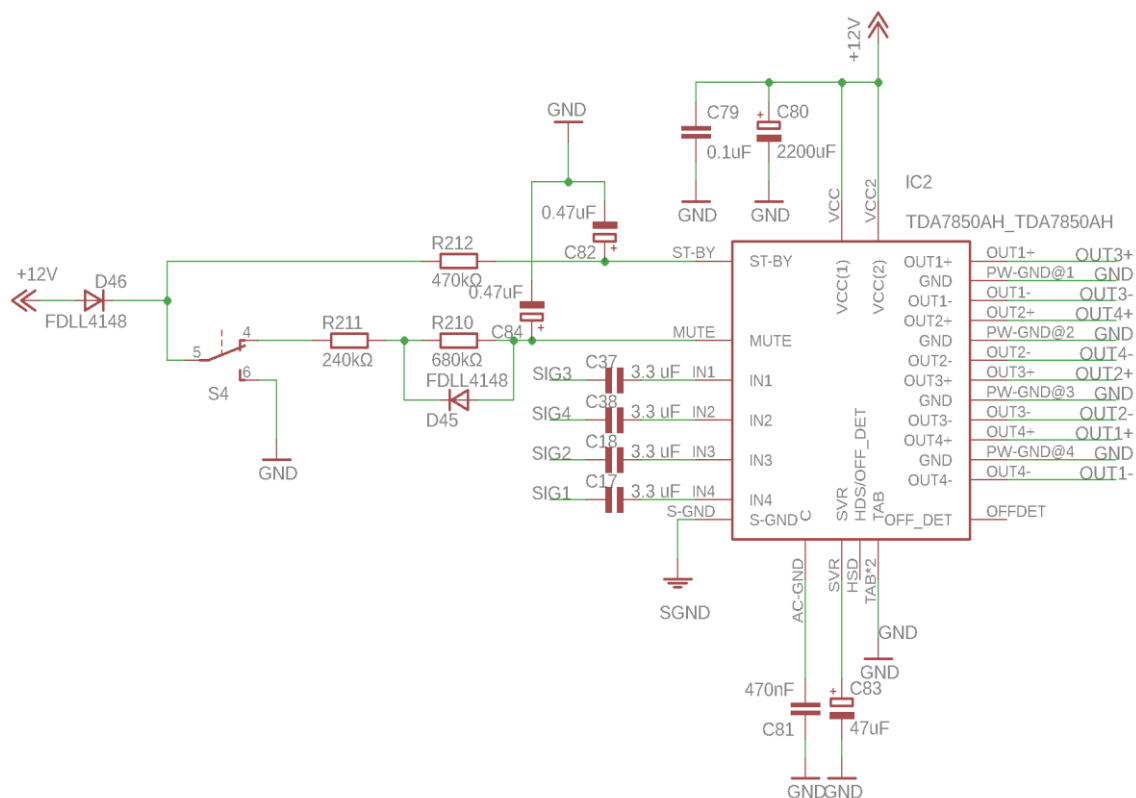
Pro ochranu zařízení je nutné při výběru transilu věnovat pozornost jeho parametrům. Prvním parametrem je závěrné napětí (U_R). Tato hodnota by měla být stejná nebo větší než provozní napětí zařízení nebo část obvodu, která má být chráněna. U automobilu je výběr této hodnoty problematický, protože autobaterie může mít při plném napětí přes 16 V a naopak při nízké úrovni nabití pod 12 V. Druhým kritériem, které bereme v potaz, je průrazné napětí U_{BR} . Jedná se o mezní hodnotu napětí, při níž se transil začne otvírat a poskytovat ochranu. Tato hodnota by u automobilu neměla být nižší než 16 V, aby nedocházelo k otevírání transilu při napájecím napětí. Třetím aspektem je svodové napětí (U_{CL}). To je hodnota napětí, které bude na transilu, a tedy i na chráněném zařízení při přechodovém ději. Tato hodnota musí být menší než maximální povolené napětí na citlivých součástkách uvnitř zařízení. Nejmenší povolené napájecí napětí má operační zesilovač NE5532, a to 22 V, proto U_{CL} musí být menší než tato hodnota.

Vybrán byl transil s parametry: $U_R = 15 \text{ V}$, $U_{BR} = 16,7 \text{ V}$, $U_{CL} = 18,5 \text{ V}$. U_{BR} je dostatečně velké, aby nedocházelo k otevírání při napájecím napětí, a U_{CL} dostatečně malé, aby při přechodovém ději nedošlo ke zničení nejcitlivější součástky.

2.5 Výkonový zesilovač

2.5.1 Výběr integrovaného obvodu

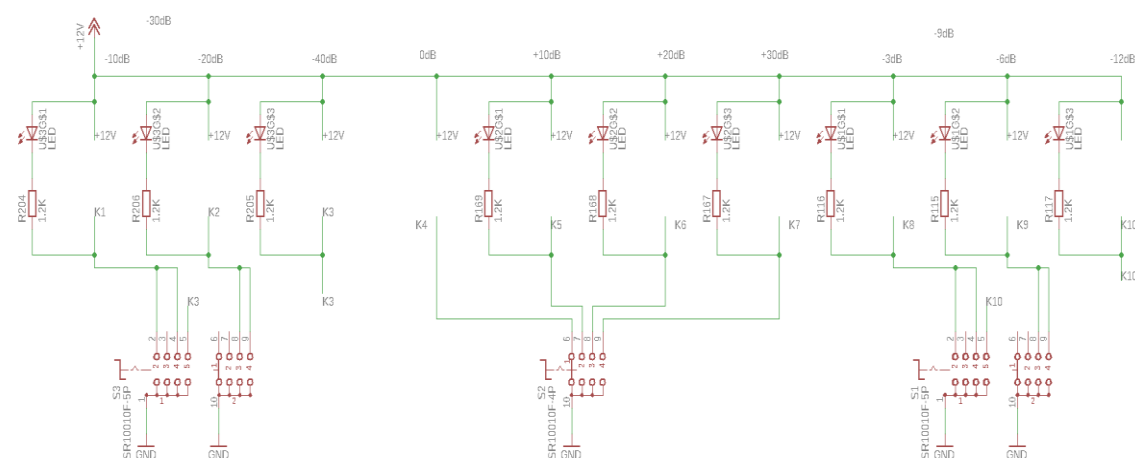
Vybíráno bylo mezi výkonovými zesilovači v integrované podobě. Z hlediska výkonu dosahují zesilovače podobných hodnot, protože jsou všechny omezeny napájecím napětím automobilové sítě. Na výběr bylo mezi dvoukanálovými a čtyřkanálovými verzemi integrovaných výkonových zesilovačů. Z důvodu omezení místa bylo vybíráno mezi čtyřkanálovými verzemi. Byl zvolen integrovaný zesilovač od firmy ST Microelectronics s označením TDA7850A, který pracuje ve třídě AB. Pro zesílení požadovaných osmi kanálů je tento zesilovač použit dvakrát. Zesilovač pracuje v můstkovém zapojení. Při buzení signálem o frekvenci 1 kHz a zátěži o impedanci 2Ω dosahuje při napájení 12 V výkonu přibližně 25 W (při zkreslení THD + N = 1 %). Integrovaný obvod disponuje ochranou proti zkratování výstupů nebo proti přehřátí. Disponuje také funkcí MUTE, která je využita jak při zapínání pro zabránění lupnutí v reproduktorech, tak i samostatně pomocí vypínače. Integrovaný zesilovač se vyrábí v pouzdře Flexiwatt27, a to jak v horizontální, tak vertikální podobě. Pro navrženou mechanickou konstrukci je vhodné horizontální pouzdro. Schéma zapojení je na Obr. 2.11.



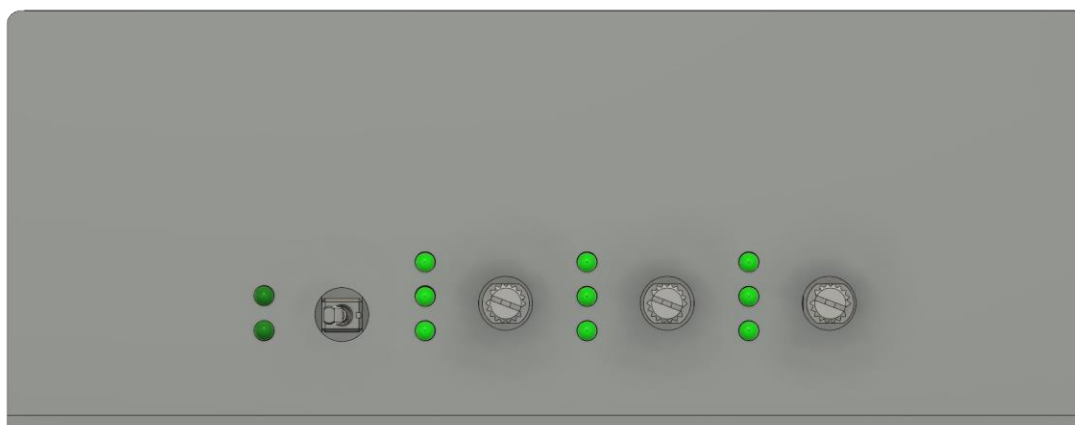
Obr. 2.11 Schéma zapojení integrovaného zesilovače

2.6 Ovládací část

Ovládání relé je realizováno pomocí tří otočných přepínačů. Prvním přepínačem se ovládá útlum s krokem po 10 dB, druhým přepínačem zesílení po 10 dB a třetím útlum po 6 dB. Aby bylo možné určit, jaká úroveň je aktuálně nastavena, jsou k jednotlivým úrovním zapojeny signalizační LED diody. Dále je možné ovládat funkci MUTE integrovaných obvodů pomocí klopného přepínače, přičemž zapnutí této funkce je opět signalizováno pomocí LED diody. Na *Obr. 2.12* lze vidět zapojení ovládací části a na *Obr. 2.13* pozorujeme model zadního panelu, kde je ovládání umístěno.



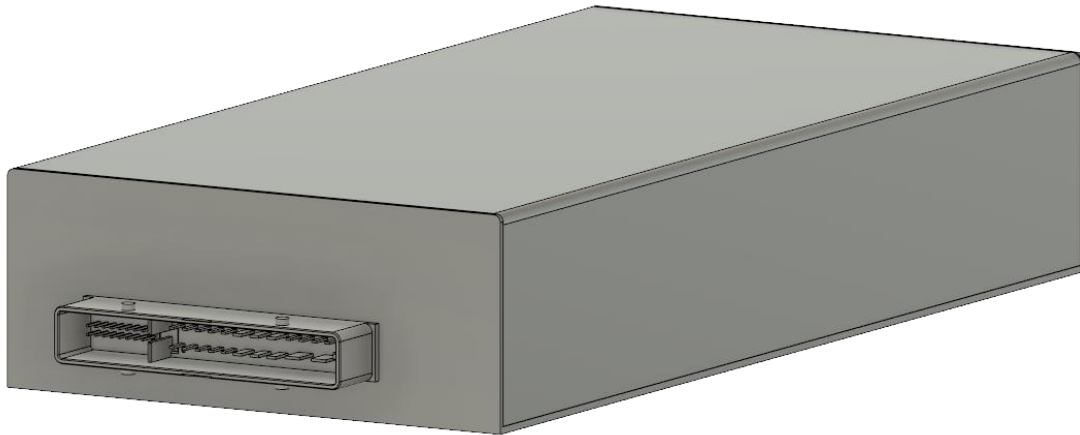
Obr. 2.12 Zapojení ovládací části



Obr. 2.13 Zadní panel konstrukce, kde je umístěno ovládání

2.7 Mechanická část

Zesilovač je určen k mobilnímu použití, proto nemůže být moc velký a konstrukce by měla být co nejmenší. Hlavní konstrukční část tvoří hliníkový profil ve tvaru U. Pro dosažení co nejmenších rozměrů slouží hliníkový profil zároveň i jako chladič pro integrované zesilovače. Výpočet chladiče z hliníkového profilu ve tvaru U je uveden v následující kapitole. Model konstrukce je zobrazen na *Obr. 2.14*.



Obr. 2.14 Model konstrukce

2.8 Výpočet chlazení

Výkonové zesilovače je potřeba chladit, neboť část výkonu se mění na teplo. Toto teplo je nutné odvést z polovodiče výkonového zesilovače a rozptýlit ho do okolí. Vedení tepla je samostatný obor, a proto se v elektrotechnice používají zjednodušené linearizované prvky (tepelné odpory). Postup výpočtu tepelného odporu je analogický s principy řešení elektrického odporu v elektrických obvodech. Postup tepla z polovodiče do okolí je dán součtem tepelných odporů.

Uvedený postup výpočtu vychází z [7].

Celkový tepelný odpor:

$$R_{(th)ge} = R_{(th)G} + R_{(th)U} + R_{(th)K} \quad (2.11)$$

Kde $R_{(th)G}$ je vnitřní tepelný odpor tranzistoru (přechod mezi polovodičem a pouzdrem). Hodnotu $R_{(th)G}$ lze vyčíst nebo vypočítat z katalogového listu zesilovače [9].

Vzorec pro výpočet je:

$$R_{(th)G} = \frac{T_i - T_u}{P_{max}} = \frac{150 - 70}{80} = 1 \text{ } ^\circ\text{C/W} \quad (2.12)$$

T_i je maximální teplota polovodičového přechodu. T_u je okolní teplota zahřátého zařízení a P_{max} představuje maximální ztrátový výkon.

$R_{(th)U}$ je tepelný odpor mezi chladičem a pouzdrem polovodiče. Tento odpor je dán provedením izolační podložky, která je umístěna mezi pouzdrem a chladičem. Použijeme silikonovou podložku. Z dokumentace podložky [10] lze zjistit hodnotu $0,6 \text{ } ^\circ\text{C/W}$. Pouzdro polovodiče a chladič jsou spojeny pomocí hliníkového úhelníku, proto je zapotřebí k této hodnotě přičíst tepelný odpor styčné plochy úhelníku a chladiče. Úhelník s chladičem je spojeny přes teplovodivou pastu a budeme předpokládat, že tepelný odpor úhelníku činí $0,1 \text{ } ^\circ\text{C/W}$. Celkový $R_{(th)U}$ je tedy $0,7 \text{ } ^\circ\text{C/W}$.

$R_{(th)K}$ je tepelný odpor chladiče. Tato hodnota je u chladiče udávána výrobcem. V našem případě bude jako chladič sloužit samotná konstrukce a hodnotu tepelného odporu si budeme muset vypočítat z rovnice:

$$R_{(th)K} = \frac{3,3 \cdot C^{0.25}}{\sqrt{\lambda} \cdot d} + \frac{650 \cdot C}{A} = \frac{3,3 \cdot 1}{\sqrt{2,1} \cdot 10} + \frac{650 \cdot 1}{32 \cdot 16 + 2 \cdot 6 \cdot 32} =$$

$$= 0,95 \text{ } ^\circ\text{C/w} \quad (2.13)$$

C je korekční faktor viz tab. 2.1. λ je teplotní vodivost materiálu viz tab. 2.2. Konstrukce je z hliníku. λ je u hliníku rovna $2,10 \text{ W/}^\circ\text{C.cm}$. d je tloušťka materiálu. A je plocha ve čtverečních centimetrech. Tento výpočet tepelného odporu je pro rovnou plochu, naše konstrukce je ale ve tvaru U, proto hodnotu A odhadneme jako součet ploch tří stran konstrukce tvaru U, viz obrázek konstrukce (Obr. 2.14).

Tab. 2.1 Hodnoty korekčního faktoru C [7]

| Poloha | Povrch plechu | |
|------------------|---------------|---------|
| | Nečerněný | Černěný |
| Kolmá montáž | 0,85 | 0,43 |
| Vodorovná montáž | 1 | 0,5 |

Tab. 2.2 Hodnoty λ [7]

| Materiál | λ [W/°C.cm] |
|----------|---------------------|
| Hliník | 2,1 |
| Měď | 3,8 |
| Mosaz | 1,1 |
| Ocel | 0,46 |

Z katalogového listu [9] lze vyčíst, že zesilovač napájený 14,4 V, který je buzený sinusovým signálem o frekvenci 1 kHz a pracuje do zátěže $4 \times 4 \Omega$, má ztrátový výkon (P_0) roven 20 W. Zesilovač pracující do zátěže $4 \times 2 \Omega$ vykazuje ztrátový výkon 30 W.

Celkový tepelný odpor jednoho integrovaného zesilovače spočteme ze vzorce 2.12.

$$R_{(th)ge2\Omega_1} = \frac{T_i - T_u}{P_0} = \frac{150 - 70}{20} = 4 \text{ °C/W} \quad (2.14)$$

$$R_{(th)ge4\Omega_1} = \frac{T_i - T_u}{P_0} = \frac{150 - 70}{30} = 2,67 \text{ °C/W} \quad (2.15)$$

Úpravou vzorce 2.11 získáme hodnotu tepelného odporu chladiče pro jeden integrovaný zesilovač.

$$R_{(th)K4\Omega_1} = R_{(th)ge1} - R_{(th)G} + R_{(th)U} = 4 - 1 - 0,7 = 2,3 \text{ °C/W} \quad (2.16)$$

$$R_{(th)K2\Omega_1} = R_{(th)ge1} - R_{(th)G} + R_{(th)U} = 2,67 - 1 - 0,7 = 0,97 \text{ °C/W} \quad (2.17)$$

Protože jsou k chladiči (konstrukci) připojeny dva zesilovače, je nutné ještě výsledný odpor vydělit dvěma.

$$R_{(th)K4\Omega} = \frac{R_{(th)K4\Omega1}}{2} = \frac{2,3}{2} = 1,15 \text{ } ^\circ\text{C/W} \quad (2.18)$$

$$R_{(th)K2\Omega} = \frac{R_{(th)K2\Omega1}}{2} = \frac{0,97}{2} = 0,485 \text{ } ^\circ\text{C/W} \quad (2.19)$$

Aby zařízení dobře chladilo při zatížení 4 Ω , je nutné mít chladič s tepelným odporem menším než 1,15 $^\circ\text{C/W}$, a při zatížení 2 Ω zátěží menším než 0,485 $^\circ\text{C/W}$. V porovnání s námi vypočítaným tepelným odporem hliníkové konstrukce, který činí 0,95 $^\circ\text{C/W}$, je pro 4 Ω zátěž chlazení dostačující, ale pro již 2 Ω ne. Uvažovaná teplota pouzdra byla 70 $^\circ\text{C}$, nicméně v běžných podmínkách by tato teplota měla být nižší. Počítali jsme také se zatížením sinusovým signálem, ale audio signál má oproti sinusovému signálu menší efektivní hodnotu, výsledné tepelné ztráty budou nižší. Z těchto důvodů by měla konstrukce sloužit jako chladič dostatečně. V případě, že tomu tak nebude, se na boční stranu, kde jsou z vnitřní strany situovány výkonové zesilovače, umístí dodatečný profilový chladič.

3 Měření parametrů

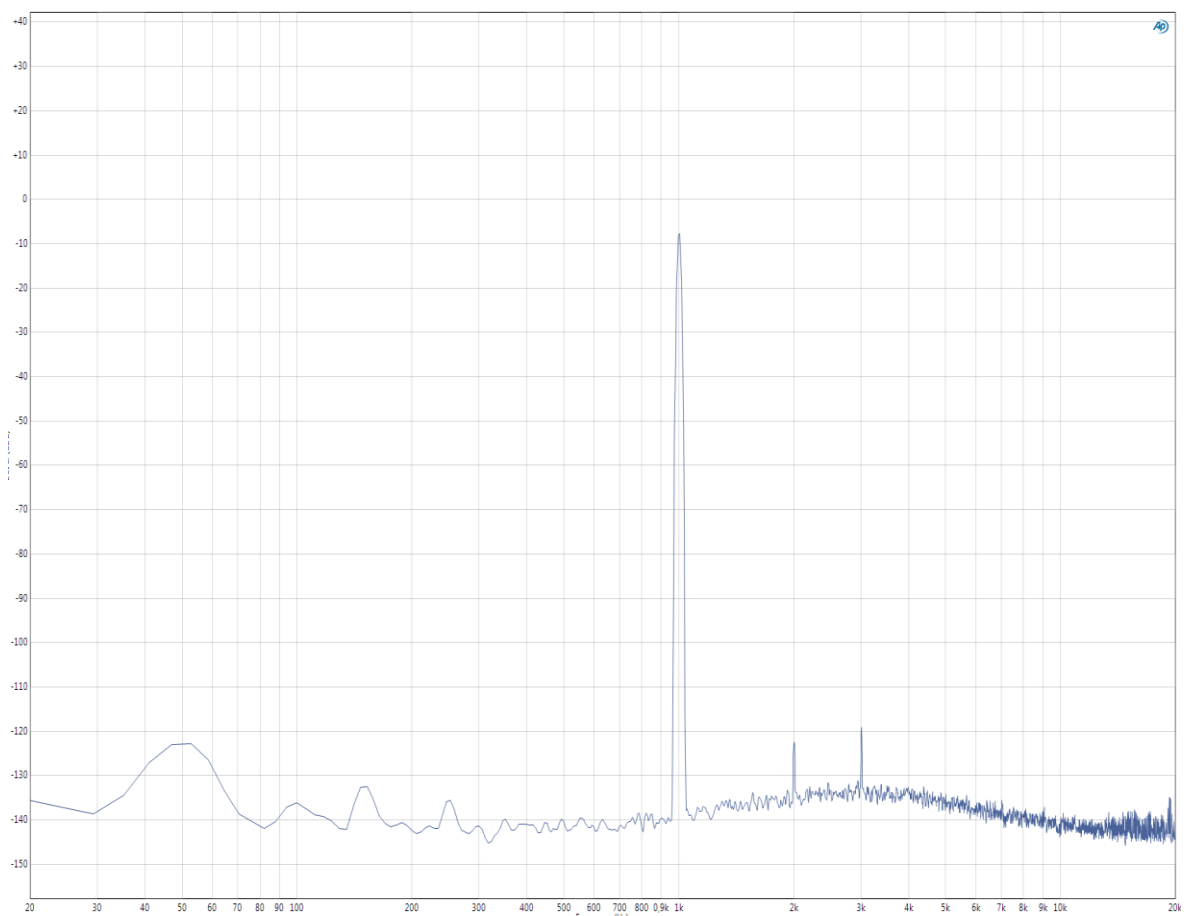
V této kapitole jsou uvedeny změřené parametry. Navržené zapojení vstupní korekce bylo realizováno na nepájivém poli. Zapojení nepájivého pole lze pozorovat v příloze na Obr. A.3.1.

V Tab. 3.1. jsou uvedeny změřené parametry vstupní korekce při vstupním signálu s frekvencí 1 kHz a úrovní -1 dBu.

Tab. 3.1 Parametry vstupní korekce

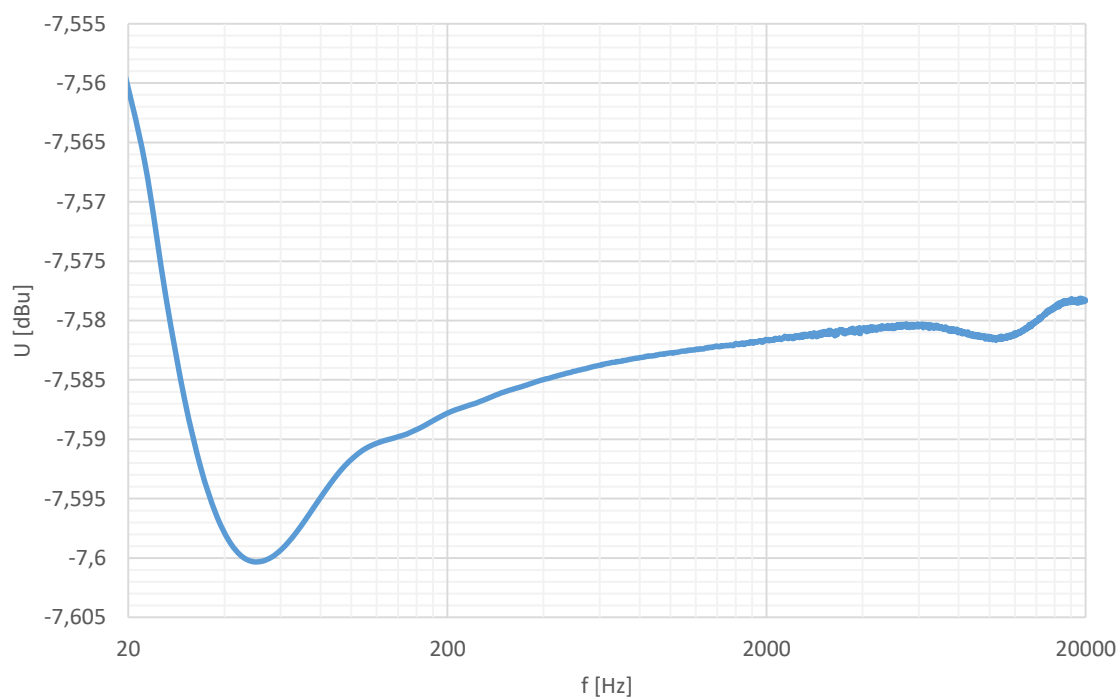
| | |
|------------------|--------|
| THD+N Ratio [dB] | -98,7 |
| THD Ratio [dB] | -110,3 |
| Noise Ratio [dB] | -99,0 |
| IMD Ratio [dB] | -96,5 |

Na Obr. 3.1. můžeme vidět spektrum signálu o frekvenci 1 kHz, které bylo změřeno na vstupní korekci s nastaveným zesílením $A = -6$ dB. Na spektru je patrný síťový brum na 50 Hz a jeho liché harmonické. Tomu by se mělo zabránit umístěním do odstíněné konstrukční krabice.



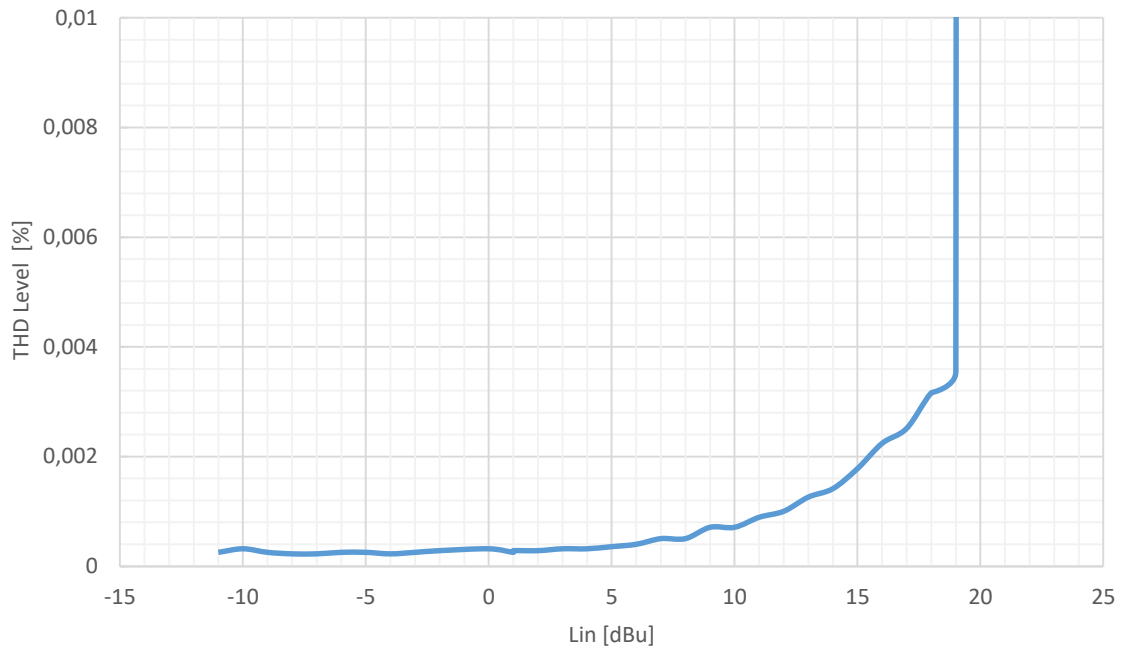
Obr. 3.1 Spektrum 1 kHz signálu v rozsahu 20 Hz až 20 kHz

Frekvenční charakteristika v rozsahu 20 Hz až 20 kHz je znázorněna na Obr.3.2. Při nízkých frekvencích se může zdát mírně zvlněná, ale je to pouze o 0,02 dB, tudíž ji můžeme prohlásit za lineární.



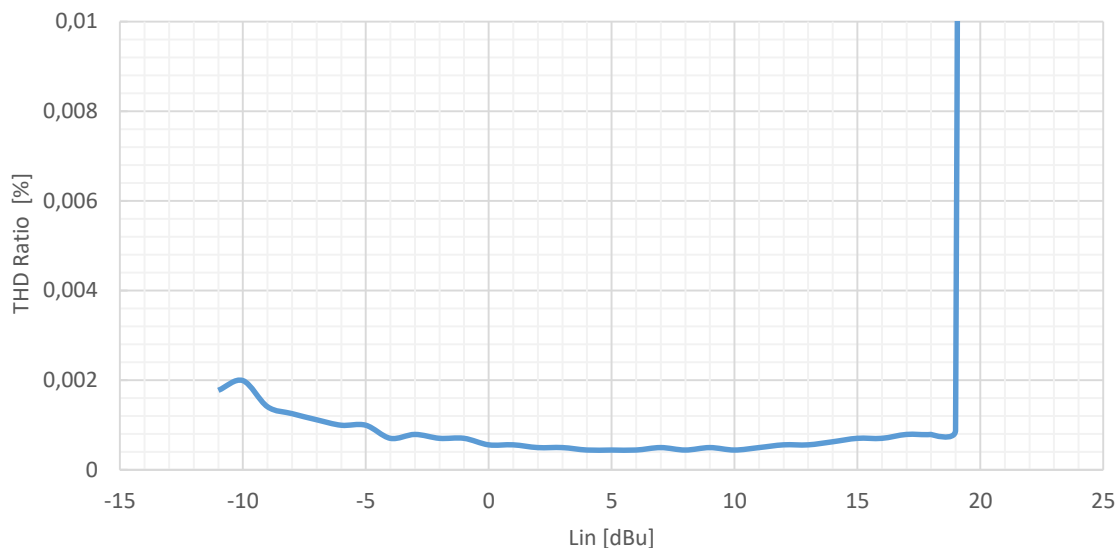
Obr.3.2 Frekvenční Charakteristika 20 Hz – 20 kHz

Na Obr. 3.3. je zobrazen THD Level. Hovoříme o zkratce pro úroveň harmonického zkreslení. Celkové harmonické zkreslení je součtem všech produktů harmonického zkreslení v měření. Na konci charakteristiky je znázorněn velký nárůst zkreslení. Ten je dán limitací saturačního napětí operačních zesilovačů. To je způsobeno překročením napájecího napětí.



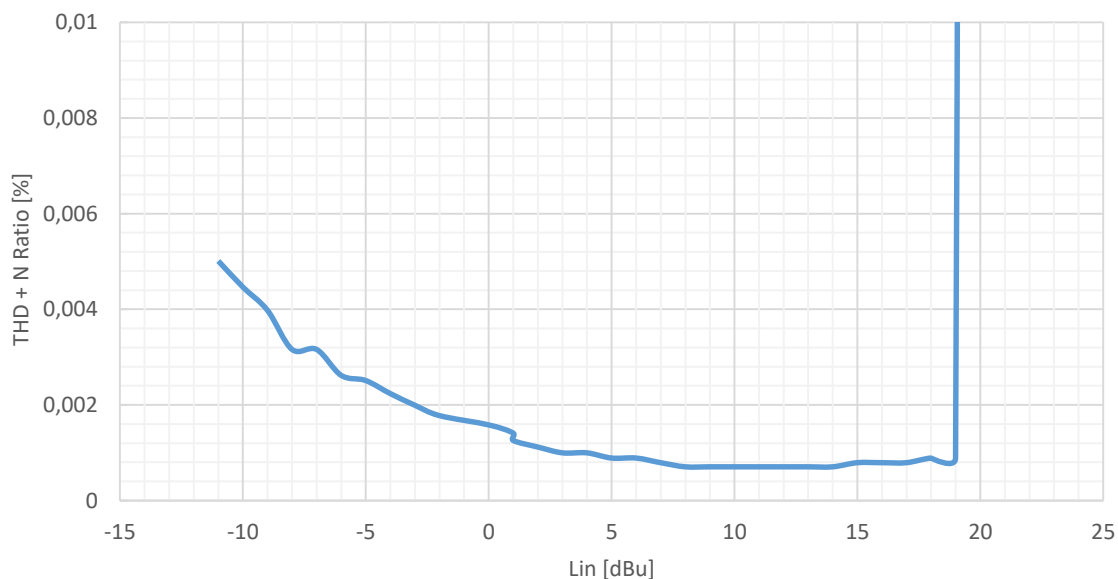
Obr. 3.3 THD Level při harmonickém signálu o frekvenci 1 kHz a v rozsahu -11 dBu až 20dBu

THD Ratio je znázorněno na Obr. 3.4. Jde o poměr úrovně celkového harmonického zkreslení ku úrovni signálu, kde hodnota 0 dB představuje přenášený signál. Jak je vidět na Obr. 3.3., THD Level se postupně zvětšuje. THD Ratio se naopak snižuje nebo je konstantní až do hodnoty saturace. Je to zapříčiněno tím, že se zvětšujícím zkreslením se zvětšuje i úroveň signálu.

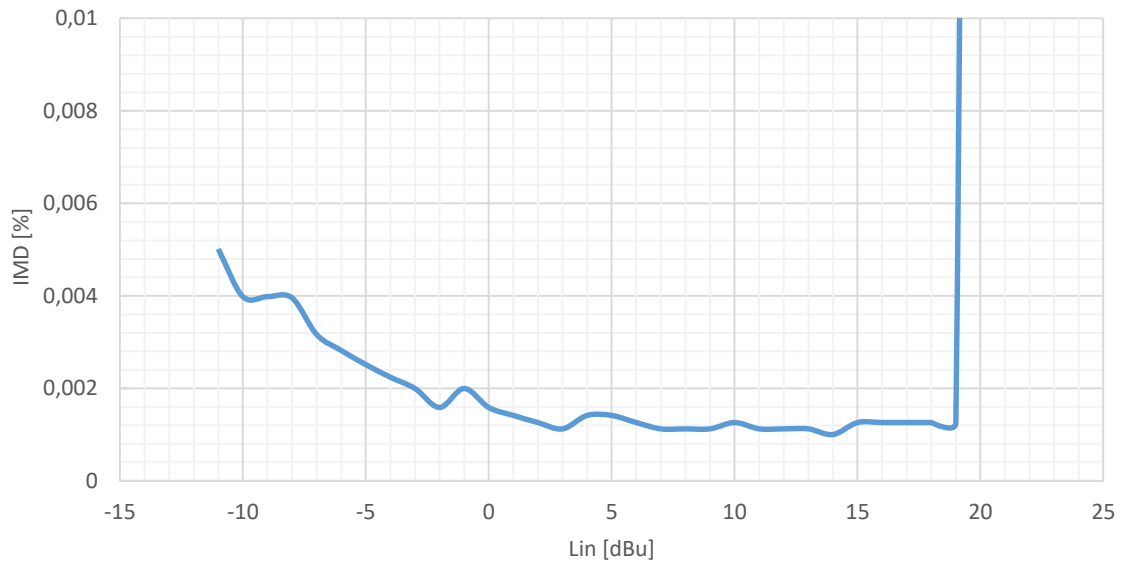


Obr. 3.4 THD Ratio při harmonickém signálu o frekvenci 1 kHz a v rozsahu -11 dBu až 20dBu

THD+N je znázorněno na Obr. 3.5. To je zkratka pro poměr celkového harmonického zkreslení + šumu ku přenášenému signálu. THD+N Ratio je nejběžnější parametr zkreslení a udává se skoro na všech audio zařízeních.



Obr. 3.5 THD +N Ratio při harmonickém signálu o frekvenci 1 kHz a v rozsahu -11 dBu až 20dBu



Obr. 3.6 IMD Ratio při harmonických signálech o frekvencích 60 kHz a 7 kHz v poměru 4:1 a v rozsahu -11 dBu až 20dBu

Na obrázku *Obr. 3.6.* je znázorněno intermodulační zkreslení (IMD). Při měření IMD se na vstup zařízení přivedou dva nebo více signálů. Při průchodu nelineárním zařízením dojde ke vzniku nových funkcí, které jsou součtem a rozdílem kmitočtů funkcí původních. THD zkreslení se měří při jednom vstupním harmonickém signálu, proto nám IMD může více vypovědět o kvalitě zařízení, neboť audio signál se také neskládá pouze z jedné harmonické.

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit 8 kanálový výkonový zesilovač v pracovní třídě AB s možností nastavení vstupní citlivosti, který je možné použít v automobilu pro potřeby měření. V teoretické části práce byly prostudovány nejběžnější třídy výkonových zesilovačů a jejich parametry. V praktické části byl proveden návrh vstupní korekce signálu výkonového zesilovače.

Vstupní korekce signálu je realizována pomocí sério-paralelních kombinací rezistorů, které slouží k útlumu a operačního zesilovače v neivertujícím zapojení, jehož funkcí je zesílení. Skupinové řízení je pomocí relé. Navržené zapojení bylo simulováno v programu TINA, aby byla ověřena správná funkce zapojení. Zapojení bylo poté realizováno na nepájivém poli. Po ověření správnosti funkce byly změřeny parametry obvodu.

Pro operační zesilovače je vhodné použít symetrické napájení. Z nesymetrického napájení automobilové sítě bylo potřeba vytvořit symetrické. Nejdříve bylo symetrické napájení vytvořeno pomocí odporového děliče, který půlí napětí napájecího zdroje, přičemž zátěž je připojena do středu děliče. Spojením středu děliče a zemnicího vodiče od výkonového zesilovače by ale vznikl problém, proto bylo od této varianty upuštěno. Symetrické napájení bylo vytvořeno pomocí DC/DC měniče, který převádí +12 V na -12 V a u něhož nedochází k problému se spojováním zemnicích vodičů. Použitím DC/DC měniče se zvětšil i dynamický rozsah zařízení. V napájecí cestě je rovněž umístěna ochrana proti přepólování, a to v podobě schottkyho diody a pojistky. Dále se v napájecí cestě nachází tlumivka pro odrušení od palubní sítě a transil pro ochranu proti ESD.

Výkonový zesilovač je realizován pomocí dvou 4kanálových integrovaných zesilovačů TDA7850A, pracujících v můstkovém zapojení. Zesilovač je ve třídě AB a pracuje do zátěže o impedanci 4 i 2 Ω . Chlazení výkonových zesilovačů je uskutečněno pomocí samotné konstrukce zařízení. Z výpočtu chlazení vyšlo, že konstrukce uchládí výkonové zesilovače, když budou pracovat do 4 Ω zátěže. Do 2 Ω zátěže konstrukce integrované zesilovače

neuchladí, a proto bude v případě nutnosti ke konstrukci upevněn hliníkový profilový chladič.

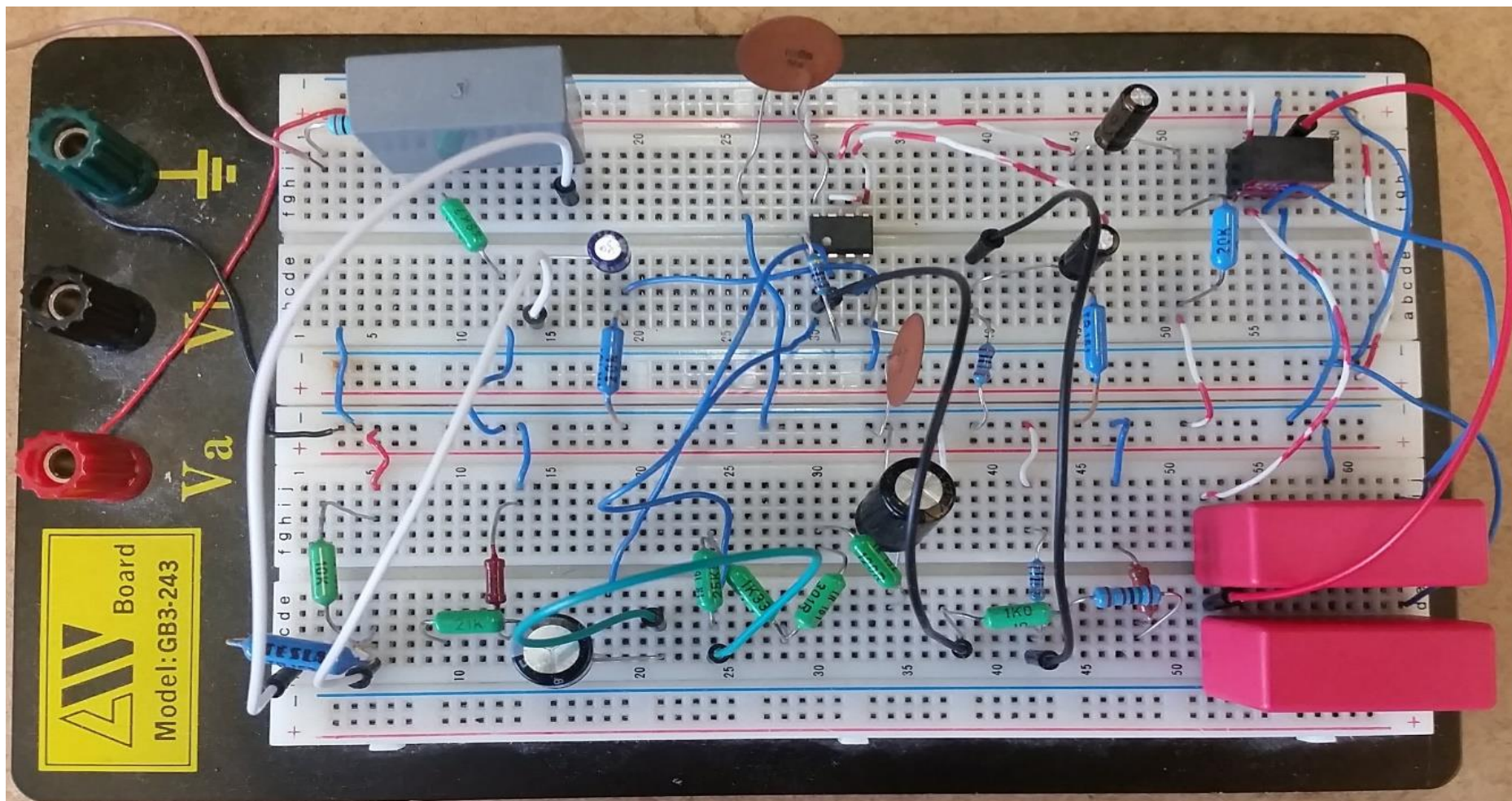
Celé zařízení je navrženo, postaveno a v dílčích částech změřeno.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] WIRSUM, Siegfried. *Abeceda nf techniky*. Praha: BEN, 2003. ISBN 3-7723-5162-X.
- [2] SELF, Douglas. *Small- Signal Audio Design* [online]. Oxford: Focal Press/Elsevier, 2010 [vid. 2018-01-05]. ISBN 978-0-240-52177-0. Dostupné z: <https://www.safaribooksonline.com/library/view/small-signal-audio/9780240521770/>
- [3] BARTOŇ, K. Konstrukce a zajímavé obvody z NF techniky 2. *Amatérské radio řada B - Pro konstruktéry*. 2002, **5**, 1–39.
- [4] DOLEČEK JAROSLAV. *Moderní učebnice elektorniky 4. díl*. Praha: BEN, 2006. ISBN 8073001853.
- [5] SLONE, G. Randy. *High Power Audio Amplifier Construction Manual* [online]. B.m.: McGraw-Hill, 1999. ISBN 0-07-134119-6. Dostupné z: doi:10.1036/0071395725
- [6] SELF, Douglas. *Audio Power Amplifier Design Handbook*. Oxford: Focal Press/Elsevier, 2009. ISBN 978-0-240-52162-6.
- [7] KOSTISA, Zdeněk. *NF zesilovače 3 : Tranzistorové výkonové zesilovače*. Praha: BEN, 2003. ISBN 80-7300-065-2.
- [8] LITTELFUSE. *TVS Diodes* [online]. [vid. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.littelfuse.com/products/tvs-diodes.aspx>
- [9] *Datasheet výkonového audio zesilovače* [online]. 2013 [vid. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/389/tda7850a-957226.pdf>
- [10] *Datasheet silikonové podložky* [online]. [vid. 2018-05-02]. Dostupné z: https://cz.mouser.com/datasheet/2/48/PDS_SP_400_12.08_E-5956.pdf

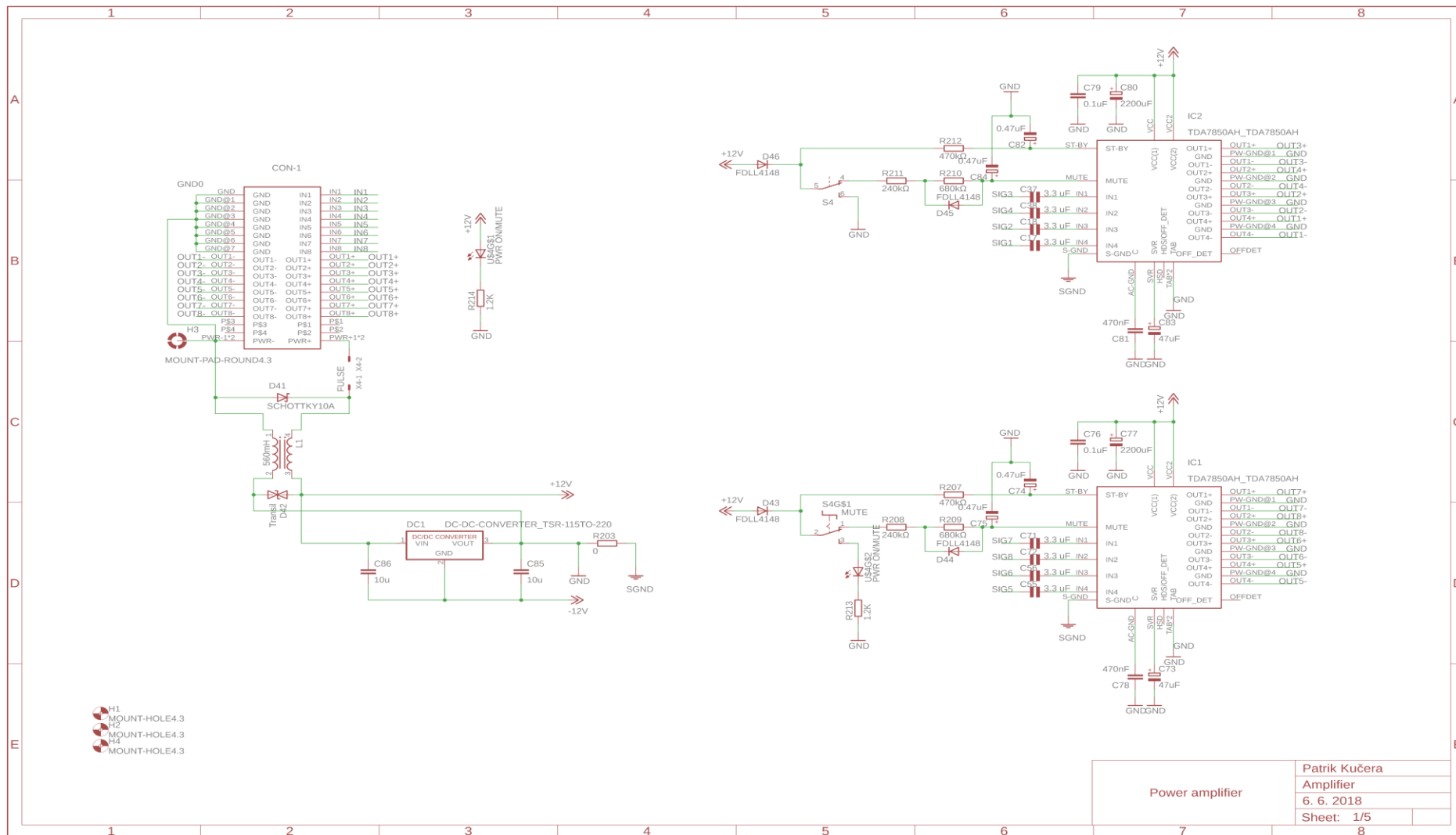
Přílohy

Nepájivé pole

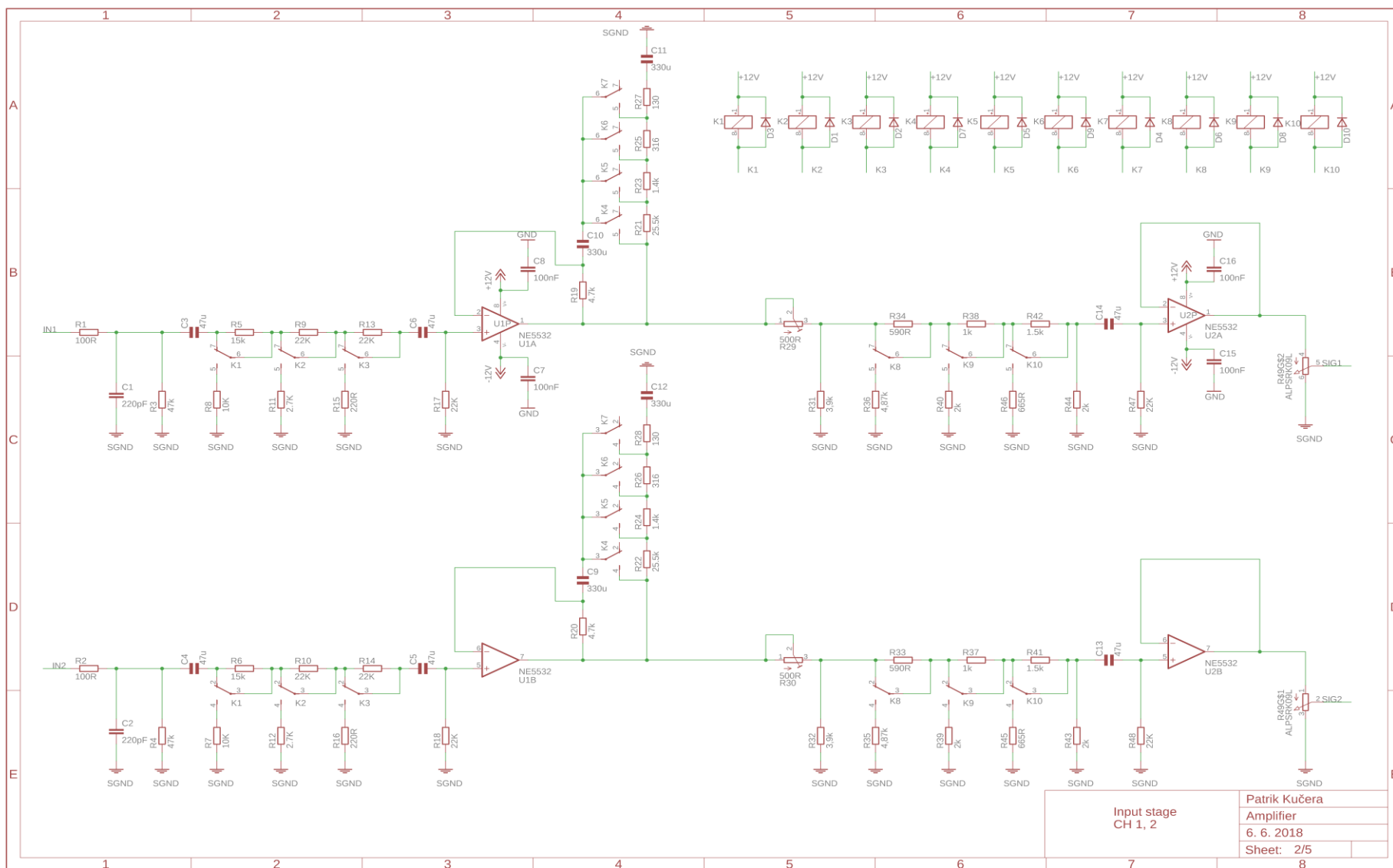


Obr. A.1 Vstupní kanál na nepájitím poli

Schémata zapojení



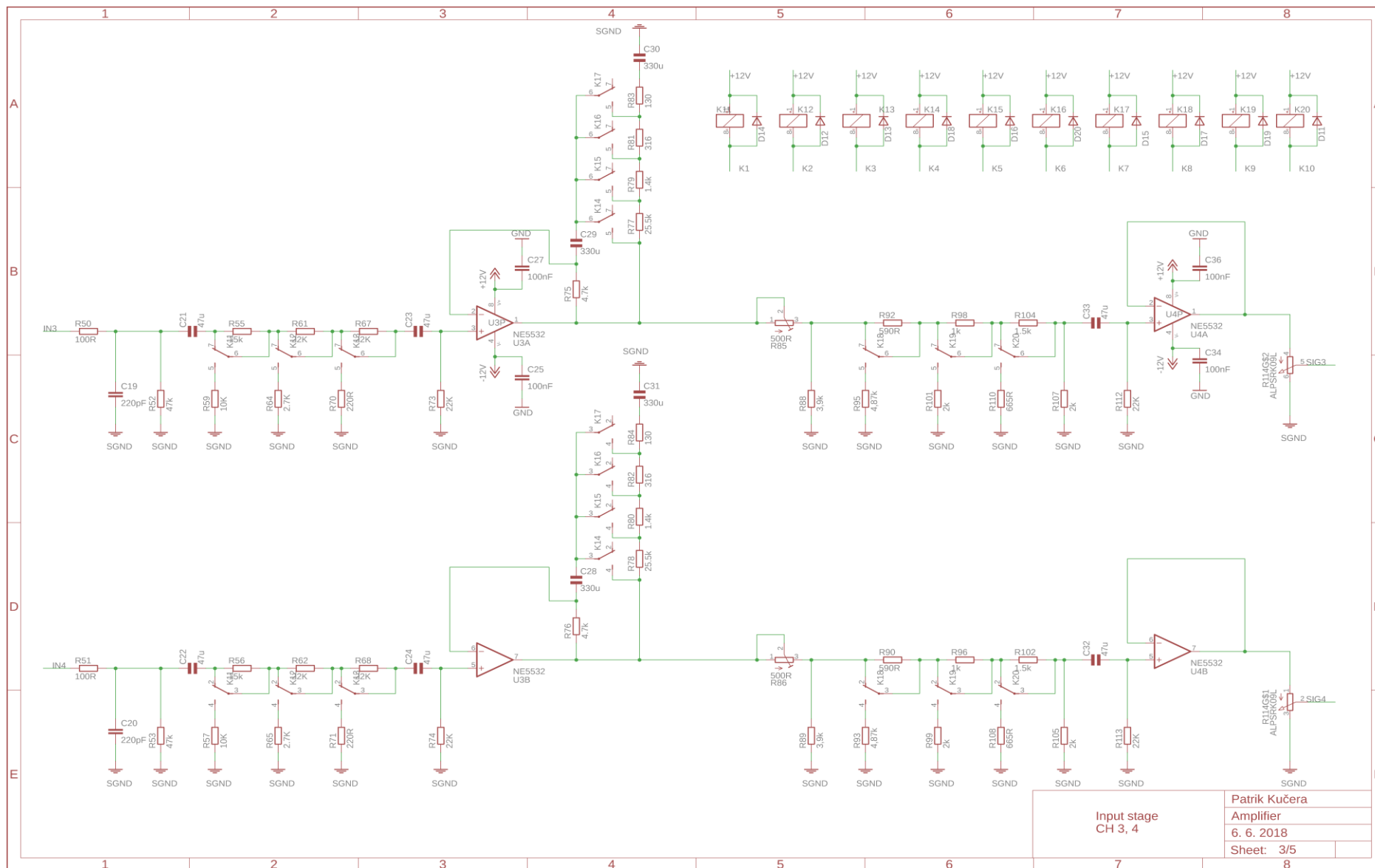
Obr. A.2 Výkonový zesilovače



Input stage
CH 1, 2

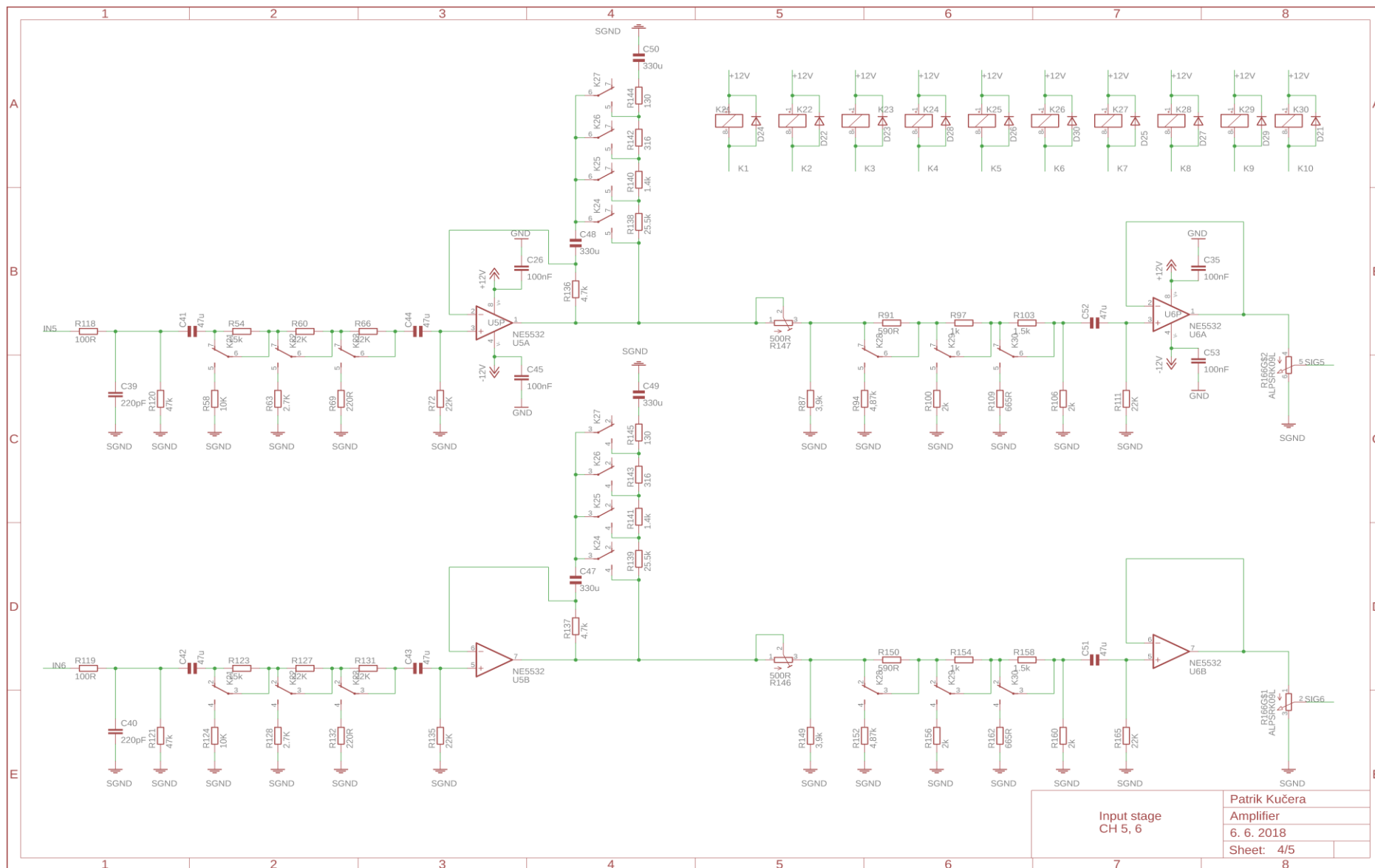
| | |
|---------------|-----|
| Patrik Kučera | |
| Amplifier | |
| 6. 6. 2018 | |
| Sheet: | 2/5 |

Obr. A.3. Vstupní část 1 a 2 kanál

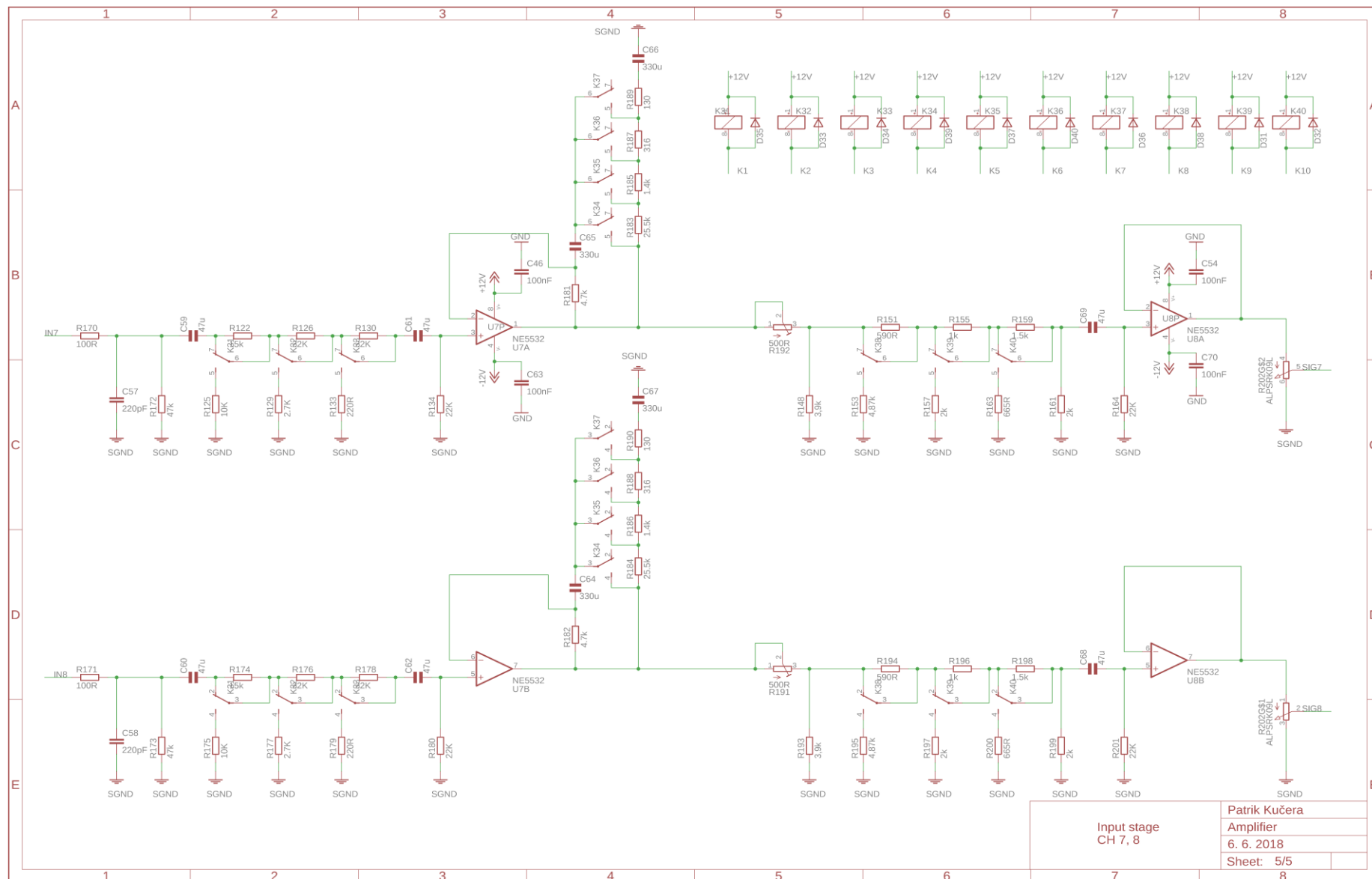


| | | |
|------------------------|---------------|--|
| Input stage CH 3, 4 | Patrik Kučera | |
| | Amplifier | |
| | 6. 6. 2018 | |
| | Sheet: 3/5 | |

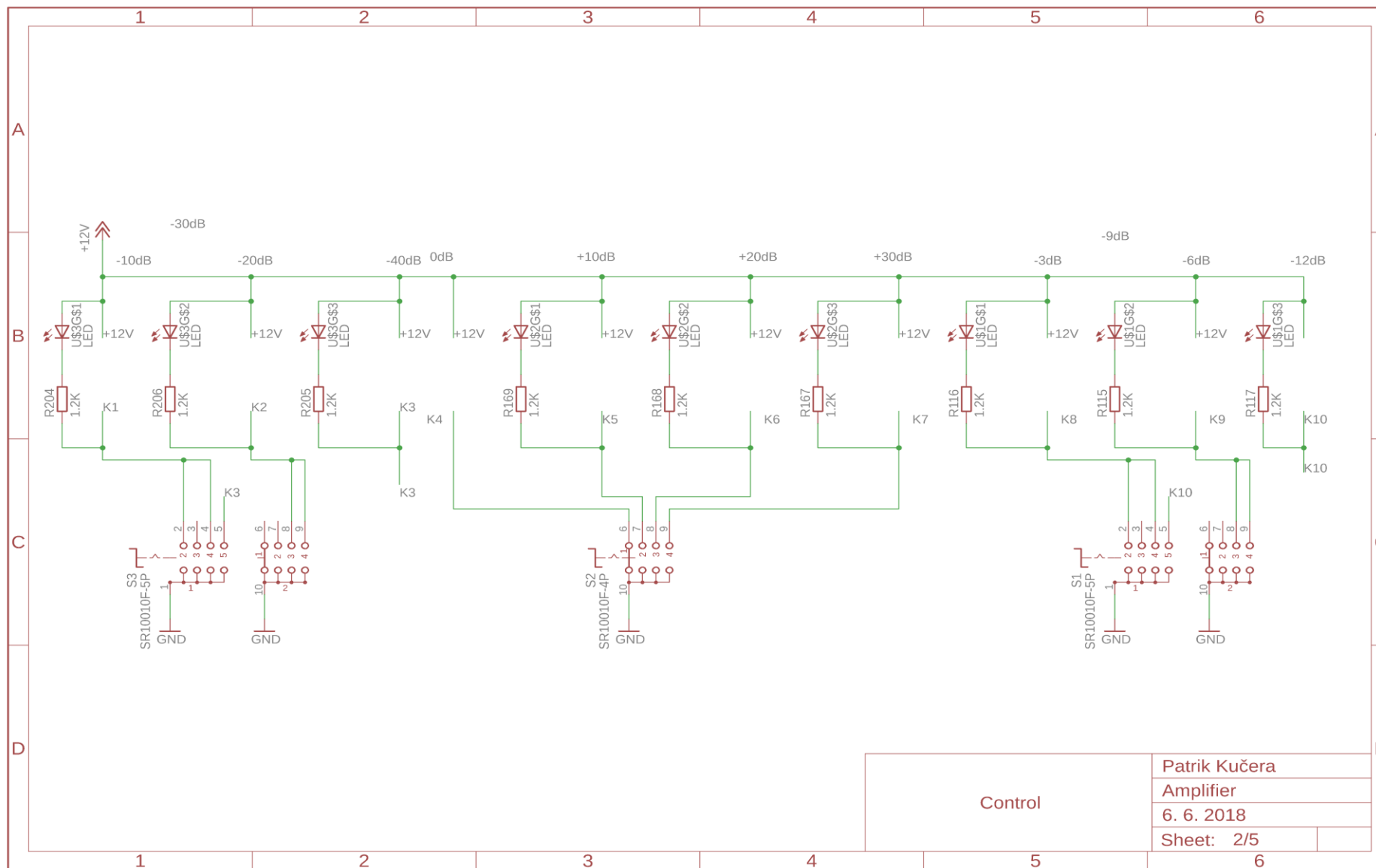
Obr. A.4. Vstupní část 3 a 4 kanál



Obr. A.5. Vstupní část 5 a 6 kanál

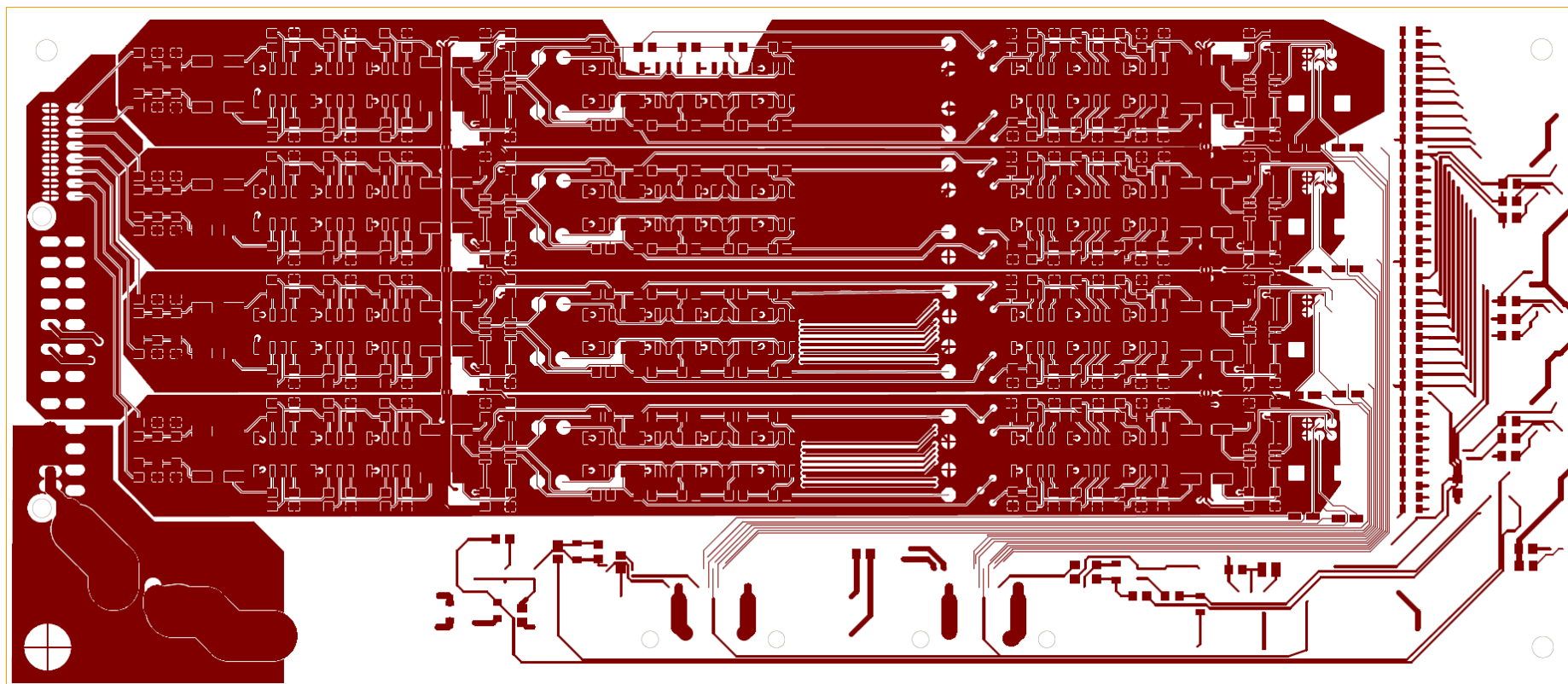


Obr. A.6. Vstupní část 7 a 8 kanál

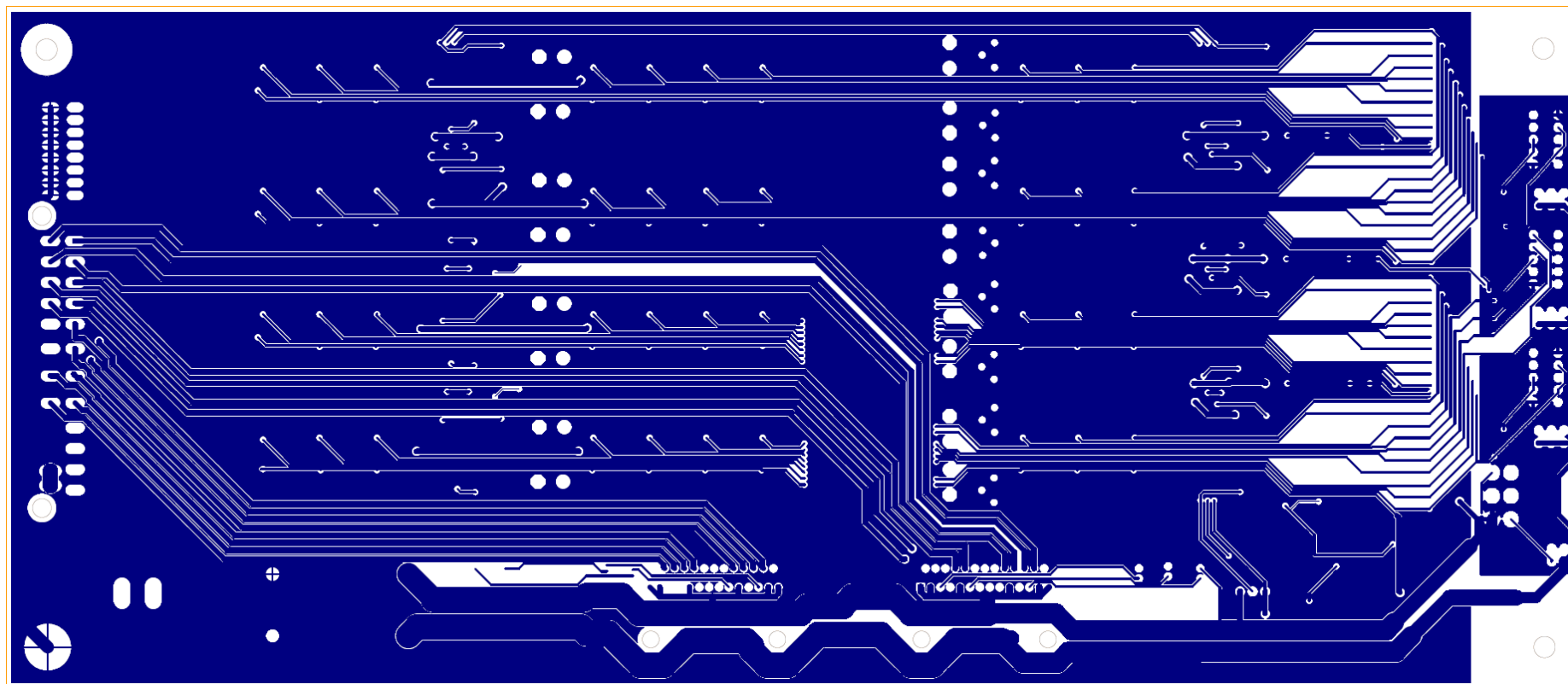


Obr. A.7 Ovládací část

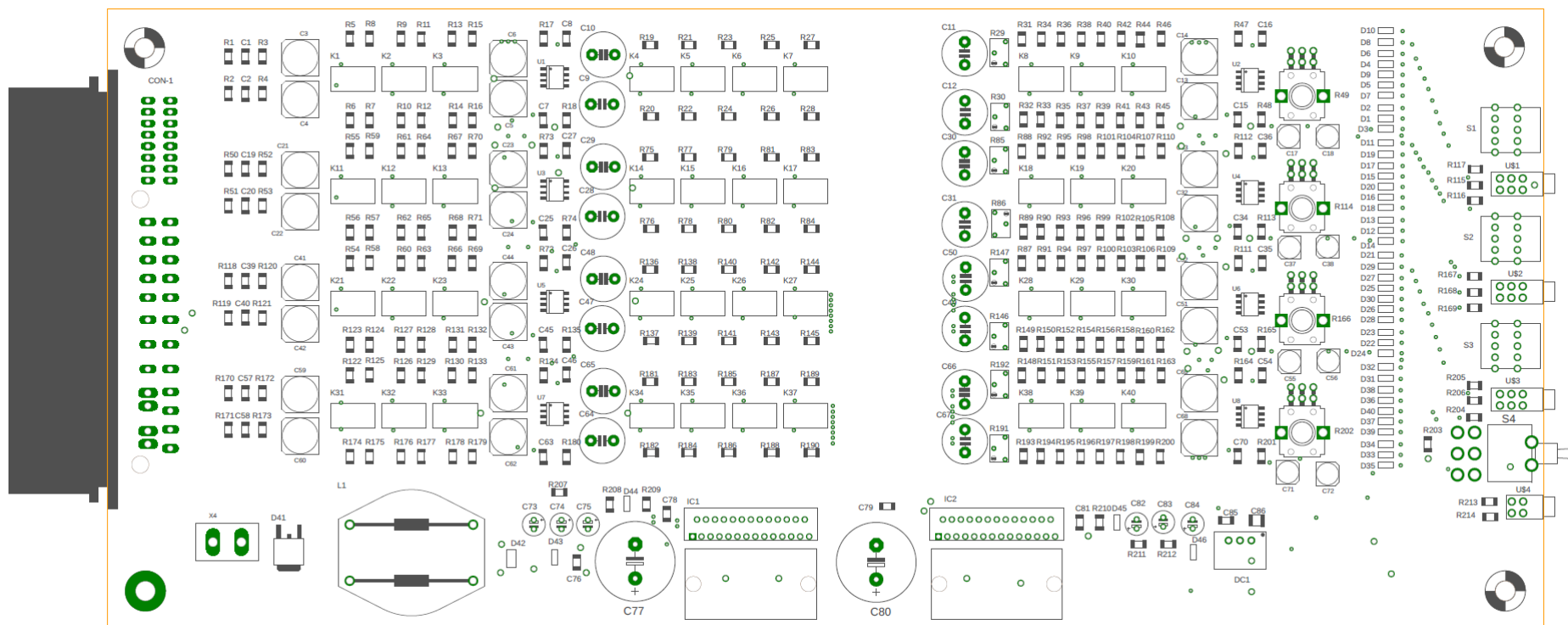
Deska plošného spoje



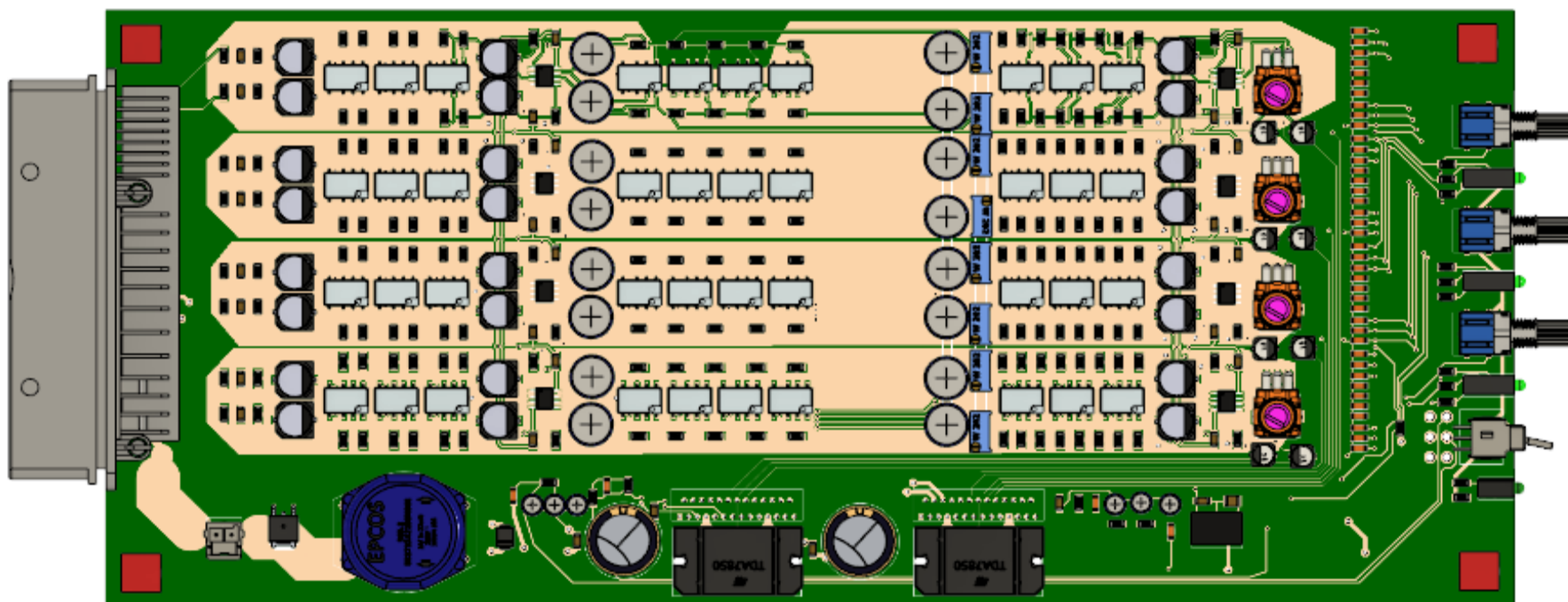
Obr. A.8 Top vrstva



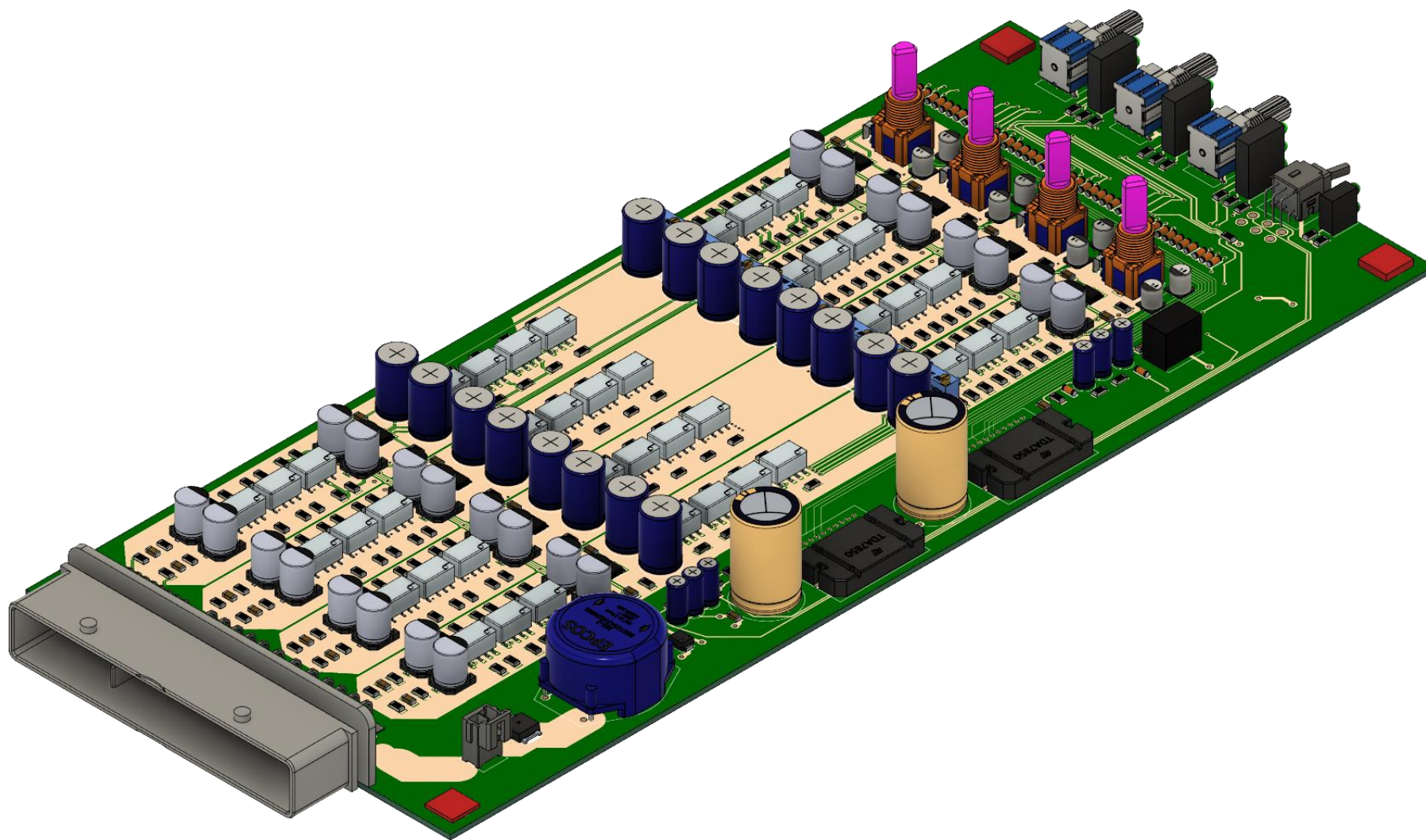
Obr. A.9 Bot vrstva



Obr. A.10 Osazovací plán



Obr. A.11 3D model pohled shora



Obr. A.12 3D model pohled z pravého horního rohu