



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce kompresoru dynamiky pro elektrofonickou kytaru

Autor práce: Jonáš Roup

Vedoucí práce: Ing. Jan Hrubý

Plzeň 2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

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

Jméno a příjmení: **Jonáš ROUP**
Osobní číslo: **E09B0320P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Konstrukce kompresoru dynamiky pro elektrofonickou kytaru**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

1. Prostudujte možnosti obvodových řešení efektu.
2. Navrhněte dané zařízení.
3. Zařízení realizujte a ověřte jeho parametry.


Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Hrubý**
Katedra technologií a měření
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Hrubý**
Katedra technologií a měření
Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


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




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

V této bakalářské práci se zaměřuji na možnosti řešení konstrukce kompresoru dynamiky pro elektrofonickou kytaru, dále jeho návržením a praktickým zhotovením. Navržený efekt je založen na analogovém procesoru, který v sobě kombinuje detektor obálky, napětím řízený zesilovač a kvalitní operační zesilovače. Tohoto je třeba pro základ činnosti kompresoru dynamiky. Modifikovaný signál z detektoru obálky ovládá napětím řízený zesilovač. Takto se zmenšuje dynamický rozsah zpracovávaného signálu. Doporučuji si nejprve projít schéma kompresoru v příloze A.1. Navržené zařízení pracuje správně a je dále rozšířeno o nadstandardní funkce, jako je brána šumu, pásmový korektor a indikátor vybuzení signálu.

Klíčová slova

komprese dynamického rozsahu, napětím řízený zesilovač, RMS detektor obálky

Abstract

Roup, Jonáš. *Construction of guitar compressor* [*Konstrukce kompresoru dynamiky pro elektrofonickou kytaru*]. Pilsen, 2012. Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Jan Hrubý

This thesis presents options for construction of guitar compressor, as well as its designing and practical fabrication. The proposed effect is based on an analog processor, which combines an envelope detector, voltage controlled amplifier and high quality operational amplifiers. This is the necessary basis for the functioning of the compressor. Modified signal from the envelope detector controls the voltage controlled amplifier. This is the way how to reduce dynamic range of the processed signal. I recommend you first look at schematic of the compressor A.1 in the annex. The proposed device works properly and it is further extended with next functionality like noise gate, 3-band corrector and volume unit meter.

Keywords

dynamic range compression, voltage-controlled amplifier, RMS envelope detector

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 8. června 2012

Jonáš Roup

.....

Podpis

Obsah

Seznam obrázků	vi
Seznam symbolů a zkratek	vii
1 Úvod	1
2 Analogově řízené parametry kompresoru dynamiky	3
2.1 Detektor obálky signálu	3
2.1.1 Diodový detektor obálky	3
2.1.2 RMS Detektor	5
2.2 Ovládání výstupního signálu	6
2.2.1 Napětím řízený zesilovač	6
2.3 Řídící obvody pro parametry efektu	7
2.3.1 Úroveň komprese (THRESHOLD)	7
2.3.2 Kompresní poměr (RATIO)	8
2.3.3 Řízení zisku (GAIN)	8
2.3.4 Brána šumu (GATE)	9
2.3.5 Pásmové korektory (LOW, MID, HIGH)	10
2.4 Vybraný integrovaný dynamický procesor	12
2.5 Indikátor vybuzení	14
3 Digitálně řízené parametry kompresoru dynamiky	15
4 Hybridně řízené parametry kompresoru dynamiky	16
5 Napájení obvodu	18
6 Závěr	20
Reference, použitá literatura	21
Přílohy	22

A Schémata zapojení	22
A.1 Kompresor dynamiky a brána šumu GATE	22
A.2 Pásmový korektor, indikátor vybuzení, napájecí obvod	22
B Desky plošných spojů	25
B.1 Pohled shora na plošný spoj kompresoru	25
B.2 Pohled na spodní část DPS	26
B.3 osazovací výkres	27
C Výsledky měření na analyzátoru Audio Precision 2700	28
C.1 Frekvenční analýza pásmového korektoru, při jeho minimálním potlačení pásma	28
C.2 Frekvenční analýza pásmového korektoru, při jeho maximálním potlačení pásma	29
C.3 Změřené sinusové zkreslení spolu s přenosovou funkcí kompresoru při nastavení kompresního poměru 1:1 a kompresní úrovni přibližně 1/2 rozsahu .	30
C.4 Změřené sinusové zkreslení spolu s přenosovou funkcí kompresoru při nastavení kompresního poměru 1:max a kompresní úrovni přibližně 1/2 rozsahu	31

Seznam obrázků

2.1	Ukázka detektoru obálky s napěťovým sledovačem	4
2.2	Zapojení pásmového korektoru	11
2.3	Zapojení kompresoru a brány šumu s dynamickým procesorem THAT 4301	13
2.4	Zapojení indikátoru vybuzení s obvodem LM3915	14
4.1	Zapojení navržené ladičky tónů jako možné rozšíření kompresoru	17
5.1	Zapojení stabilizátoru 7805 a DC/DC měniče AM2D-0515DZ	19
A.1	Navržený kompresor dynamiky na základě obvodu THAT 4301 a brána šumu GATE	23
A.2	Navržený pásmový korektor, indikátor vybuzení signálu a obvod pro napá- jení efektu	24
B.1	Ukázka tištěného spoje kompresoru při pohledu shora s obrysy součástek .	25
B.2	Ukázka tištěného spoje kompresoru při pohledu zdola	26
B.3	Pohled na umístění součástek kompresoru při pohledu shora	27
C.1	Frekvenční analýza pásmového korektoru, všechny tři potenciometry oto- čeny do maximální krajní polohy	28
C.2	Frekvenční analýza pásmového korektoru, všechny tři potenciometry oto- čeny do minimální krajní polohy	29
C.3	Zkreslení THD a přenosová funkce kompresoru při konstantní frekvenci 315 Hz a nastavení RATIO 1:1	30
C.4	Zkreslení THD a přenosová funkce kompresoru při konstantní frekvenci 315 Hz a nastavení RATIO 1:60	31

Seznam symbolů a zkratek

VCA	Voltage Controlled Amplifier. Napětím řízený zesilovač.
RMS	Root Mean Square. Efektivní hodnota.
THD	Total Harmonic Distortion. Zkreslení sinusového signálu.
A_u	Napěťový přenos.
a_u	Napěťový přenos v logaritmických hodnotách.
THRESHOLD	Kompresní práh.
RATIO	Kompresní poměr.
GATE	Brána šumu.
GAIN	Zisk je vyjádřen pomocí a_u
LOW	Basy 3-pásmového ekvalizéru
MID	Střední 3-pásmového ekvalizéru
HIGH	Výšky 3-pásmového ekvalizéru

1

Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na konstrukci zařízení pro elektrofonickou kytaru. Jedná se o kompresor dynamiky. V této práci se zaměřuji na možnosti řešení konstrukce tohoto efektu, nejefektivnějším výběrem z těchto možností a jeho samotnou konstrukcí. Kompresor dynamiky je dále rozšířen o efekt známý jako GATE, pásmové korektory i indikátor vybuzení signálu. Průběžně uvádím možné způsoby řešení dílčích principů a zároveň z nich vybírám podle mého hlediska nejoptimálnější cestu k návrhu a konstrukci vybraného efektu.

Ze všeho nejdříve je třeba vysvětlit co bude vlastně cílem tohoto efektu. Kompresor dynamiky zvukového signálu je děj, při kterém dochází ke zmenšení dynamického rozsahu signálu, který se při tomto ději zpracovává. Kompresor je pak efekt, který automaticky reguluje vrchní hodnoty audio signálu. Vrchní proto, protože se nastavuje od určité úrovně, od které pak začne snižovat dynamický rozsah. Automaticky zeslabovat špičku signálu.

Dynamický rozsah je vyjádřen rozdílem maximální a minimální úrovně zpracovávaného signálu. U hudebních nástrojů dominuje širokým dynamickým rozsahem hlavně bicí souprava. Avšak i u elektrofonické kytary je velmi znatelný rozdíl úrovně hlasitosti mezi hrou stylem akordů (souzvuk tří a více současně znějících různých tónů), kdy hráč hraje většinou přes všechny struny kytary, anebo tzv. kytarovým sólem, kdy hraje melodii, skládající se z jednotlivých tónů. Je to způsobené hlavně základním principem, jakým se chvění strun přeměňuje na elektrickou energii. V těle elektrofonické kytary je pod strunami umístěn kytarový snímač. Varianta magnetického single kytarového snímače se skládá v podstatě ze šesti magnetů, které jsou kolmé k nataženým strunám. Okolo nich je pak omotána cívka. Vlivem kmitání strun nad snímačem se v cívce indukuje elektrické napětí a vzniká elektrický signál. Již je zřejmé, že čím víc strun bude v pohybu, tím se v cívce naindukuje vyšší úroveň napěťového signálu.

V této bakalářské práci jsem se tedy zaměřil na problém, jak tuto dynamiku elektrofonické kytary zmírnit, tím výrazně posílit hrané části, při kterých nevzniká tak veliký indukovaný napěťový signál, jako při plném akordovém způsobu hry. Kytara zní ve skladbách jasněji a více se prosadí při hraní tzv. sólových částí skladby a je tak akusticky výraznější, než doprovázející část hudební skupiny. Základní myšlenka jak tohoto docílit a podle čeho

jsem při vývoji efektu postupoval, je v podstatě jednoduchá. Je třeba měřit úroveň vstupního signálu. Podle této úrovně a přednastavených statických parametrů, jako je úroveň komprese (THRESHOLD), kompresní poměr (RATIO) nebo také velikost zisku vstupního signálu (GAIN), je třeba vyhodnotit v řídicích obvodech jak zpracováváný signál modifikovat. Při vyšší úrovni signálu než je přednastavená, dochází vlivem těchto řídicích analogových obvodů k tomu, že napětím řízený zesilovač své zesílení zmenší (v poměru podle přednastaveného RATIO) a tím zmenšuje i dynamický rozsah zpracováváného signálu. Všechny hodnoty součástek jsem zjišťoval buď z datasheetů výrobců, kteří je ke svým obvodům dodávají, ale také praktickým testováním kompresoru.

2

Analogově řízené parametry kompresoru dynamiky

Parametry kompresoru jsou statické a dynamické a určují nám základní vlastnosti daného přístroje. Dynamické parametry, na rozdíl od statických, se projevují v přechodném ději, kdy kompresor na změnu nějaké veličiny reaguje okamžitě. Statický parametr je tedy ten, který se projevuje v již ustáleném stavu. Dynamické parametry kompresoru dynamiky, vzhledem k rychlosti změn vstupního signálu a nutnosti na tyto změny okamžitě reagovat, je zřejmě nejlepší je řídit analogově, kde dochází k malým časovým prodlevám. Proto jsem obvody, které tyto dynamické parametry mají pod kontrolou, zvolil právě analogové. Tím jsem dosáhl velmi dobrých výsledků při činnosti zařízení, ať už se jedná o reakci na překročení prahu (THRESHOLD) nebo o utlumení výstupního signálu, když se vstupní signál dostane pod určitou mez (GATE).

Nastavení statických parametrů efektu je dále na uživateli a nastavují se pomocí lineárních uhlíkových potenciometrů, které jsou zabudované na přední straně přístrojové krabičky. Tato možnost je podle mého uvážení pro jednoduchost nejvýhodnější, avšak není jediná. Další možností je řízení parametrů kompresoru dynamiky digitálně.

2.1 Detektor obálky signálu

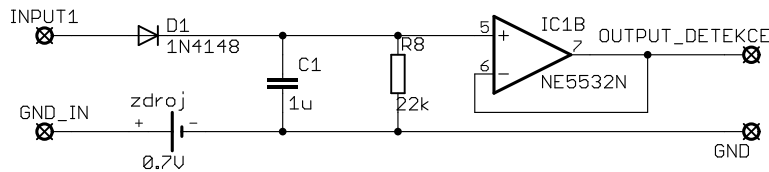
Je to základní prvek kompresoru, jelikož podle velikosti obálky vstupního signálu zesilovač výstupní signál upravuje. A to podle přednastavených statických parametrů, jako je úroveň komprese (THRESHOLD), kompresní poměru (Ratio), nebo brána šumu (GATE). Ze vstupního signálu, který nám vytváří kytarový snímač, potřebujeme dostat efektivní hodnotu napětí. Na to nám slouží detektor obálky signálu.

2.1.1 Diodový detektor obálky

Tento způsob detekování obálky patří k nejjednodušším a používal se již při demodulaci amplitudově modulovaného signálu. Skládá se ze tří pasivních součástek, což v porovnání

s dalším řešením mu nepřidává na kvalitě. Po rozšíření o napěťový sledovač, který dodá detektoru tvrdost výstupního signálu, je tento způsob přijatelný, avšak z praktického testování, kmitočtově velmi nestálý. Pro různou frekvenci vstupního signálu s konstantní výkonovou úrovní jsem na výstupu naměřil dosti rozdílné úrovně signálu.

Běžná dioda s prahovým napětím 0.7 V se pro malý vstupní signál použít nedá. Schottkyho dioda se svým prahovým napětím 0.3 V už na tom byla lépe, ale pro jistější funkci detektoru jsem do obvodu zapojil napěťový zdroj, který prahové napětí diody eliminoval. Další možností, jak se s tímto problémem prahového napětí diody vypořádat, je vstupní signál nejprve dostatečně zesílit. Řešení by to bylo, ale zesílení by muselo být dostatečně veliké, aby napětí na diodě v propustném směru s dostatečnou rezervou překonalo i pro malá vstupní napětí. Při velkých vstupních hodnotách by naopak docházelo k přebuzení zesilovacího prvku, a tak k nelinearitě výstupního signálu detektoru. Pro konstruktéra je toto řešení obtížné, jelikož se musí zvolit přijatelná hodnota RC článku, aby se kondenzátor podle vstupního napěťového signálu dostatečně rychle nabíjel, ale také aby se s dostatečnou rychlostí přes odpor vybíjel, aby docházelo k detekci obálky. Obrázek 2.1 ukazuje zapojení nejjednoduššího detektoru obálky, které jsem otestoval.



Obr. 2.1: Ukázka detektoru obálky s napěťovým sledovačem

2.1.2 RMS Detektor

K detekování obálky vstupního signálu jsem postupným vyloučením diodového detektoru obálky přešel k modernějším způsobům detekce. Na rozdíl od limiterů, které používají k detekci úrovně signálu špičkový detektor, kompresory pracují s hodnotou úrovně vstupního signálu změřeného na základě RMS detektoru. RMS (Root Mean Square) je v překlade střední kvadratická hodnota, což značí efektivní hodnotu signálu. Tato hodnota je vzniklá na základě integrace signálu po čas, kvůli tomu kompresor neovlivňuje okamžitou hodnotu výstupního signálu ale jeho efektivní hodnotu.

Pro konstruktéry audio a dalších zařízení nabízí firma THAT Corporation jejich navržené a prověřené detektory obálky, založené na principu true RMS, které měří reálnou efektivní hodnotu vstupního signálu a převádí ji na napětí. To by teoreticky po přivedení na rezistor mělo vyrobít stejný výkon jako původní vstupní signál přivedený na stejně velký rezistor. Napěťový výstup obvodu pod výrobním označením THAT 2252 je však v logaritmickém měřítku a tím se pro audiotechniku velice hodí. Jeho výstupní napětí je úměrné absolutní efektivní úrovni vstupního proudového signálu při teplotě 25 °C, vstupnímu proudovému signálu v intervalu od 32 nA do 1mA a při dodržení doporučeného referenčního proudu I_{in0} , který záleží na kombinaci rezistoru R1 a kondenzátoru C3. Po přepočítání podle vzorce a dohledání doporučených hodnot tato vychází na 4.3 uA. Výstupní napětí detektoru je pak v úměře 6 mV/dB. Pro měření reálné úrovně signálu byl vybrán tento způsob řešení detekce. Z datasheetu výrobce jsem vyčetl doporučené hodnoty externích pasivních součástek pro detekci obálky audiosignálu. Vstup obvodu THAT 2252 je proudový, a proto stačilo předřadit před jeho vstup převodník napětí na proud pouze v sérii zapojeným rezistorem. Do vstupu je možné přivést maximálně 1 mA, to nám v kombinaci s předřadným rezistorem o velikosti 56k ohmů dává maximální napětí, přes které by se vstupní napěťový signál neměl dostat. Podle Ohmova zákona $U = R * I$ dostaneme $U = 56 \text{ V}$. Musíme však počítat s tím, že tento signál jde i do dalších obvodů a záleží zde na nejcitlivějším prvku, kterým je VCA. Po propočtu vychází tedy maximální napětí přes které se vstupní signál nesmí dostat na $U_{in-max} = 33 \text{ V}$ oproti zemi, což je pro napěťový výstup z kytarového snímače velická rezerva.

Pro doladění nesymetrie vnitřních tranzistorů, které v obvodu fungují jako impedanční přizpůsobení předchozího stupně signálu a jako usměrňovač vstupního signálu je třeba kolem tohoto obvodu ještě připojit potenciometrický trimr, podle doporučeného schématu zapojení, pomocí kterého se tento offset tranzistorů vykompenzuje. Jedná se o přivedení malého napětí v řádech několika mV na vstup detektoru označeného jako SYM. Toto nastavení se provádí při samotném ožívování obvodu a dělá se následovně. Na vstup přivedeme sinusový signál o frekvenci 100 Hz. Na výstup připojíme osciloskop a spustíme spektrální analýzu. Snažíme se trimr SYM vyladit tak, aby druhá harmonická vstupního signálu (200 Hz) měla co nejmenší výkon.

2.2 Ovládání výstupního signálu

Další funkční částí kompresoru je způsob jakým řídit velikost úrovně zpracovávaného signálu. Ovládání úrovně výstupního signálu je běžně realizované v různých audio přístrojích přes analogové logaritmické potenciometry nebo přes potenciometry digitální. Kvalitní kompresor však musí reagovat na změny vstupního signálu okamžitě a proto je použit analogový aktivní prvek, napětím řízený zesilovač. K řízení zisku je ovládán hodnotou řídicího napětí na jeho řídicím pinu. Pomocí něho realizujeme automatické řízení hlasitosti. Hlasitý signál přes jistý práh tedy zredukujeme na méně hlasitý, podle přednastaveného poměru, a signál, který kmitá pod tímto prahem zůstane nezměněný. Toto je děj komprese zvukového signálu. Když je signál pod druhou nižší nastavenou úrovní, kde se vyskytuje většinou šum, je utlumen tak, aby se šum odstranil. Toto je efekt NOISE GATE, brána šumu. Proto tedy potřebujeme regulovat úroveň zpracovávaného signálu.

2.2.1 Napětím řízený zesilovač

Pro potřebu rychlého řízení velikosti přenosu A_u je použit napětím řízený zesilovač. Je to analogový aktivní prvek, který průchodu signálu vykazuje útlum nebo zisk podle přednastaveného řídicího napětí. Těmto obvodům se zkráceně z anglického výrazu Voltage Controlled Amplifier říká VCA. Existuje však i varianta v podobě digitálně řízeného zesilovače, který ke změně velikosti jeho přenosu A_u používá digitální signál. Po doporučení jsem se dostal k obvodu od firmy THAT Corporation s výrobním označením THAT 2180b. Tento zesilovač má pro elektrofonickou kytaru ideální parametry, jako je THD, které činí pouze 0.02 % zkreslení (při 1 kHz, 0 dBu vstupního sinusového signálu a při nastaveném nulovém zisku VCA) a disponuje dostatečným dynamickým rozsah, které je větší než 120dB. Menší zkreslení má už pouze model THAT 2180a, který zkreslí sinusový signál o pouhopouhých 0.01 %.

Vstup obvodu THAT 2180b je proudový, jako tomu bylo u předchozího obvodu THAT 2252, a proto stačilo předřadit před jeho vstup převodník napětí na proud. Toho je opět docíleno jako u RMS obvodu pouze předřadným rezistorem. Do vstupu tohoto VCA je podle datasheetu možné přivést maximálně 1.5 mA, to nám v kombinaci s doporučeným předřadným rezistorem o velikosti 22k ohmů dává maximální napětí, přes které by se vstupní napěťový signál neměl dostat. Opět si ho dopočteme podle Ohmova zákona $U = R * I$. Maximální hodnota vstupního napětí je tedy $U_{in-max} = 33$ V oproti zemi. Obvod THAT 2108b umožňuje řízení přenosu jak kladnou tak zápornou polaritou napětí. V našem případě je použit záporný řídicí signál. Kladná řídicí elektroda je uzemněna. Velikost zesílení je úměrné velikosti napětí na řídicím pinu E-. Jelikož jsou spolu obvody THAT 2252 a THAT 2180b navzájem kompatibilní, konstanta pro řízení přenosu tohoto zesilovače je pak ve stejné úměře 6 mV/dB, jako tomu bylo u RMS detektoru. A to při teplotě 25°C. Velikost přenosu, který se takto dá řídit je v intervalu od -60 dB do 40 dB. Zesilovač tedy zvládne zpracovávaný signál utlumit nebo i zesílit.

2.3 Řídící obvody pro parametry efektu

U analogových ovládacích obvodů je prioritní doba odezvy. Vzhledem k tomu jsou v této části schématu kompresoru použity operační zesilovače s dostatečně rychlou odezvou. Základní parametry kompresoru dynamiky jsou úroveň komprese (THRESHOLD) a kompresní poměr (RATIO). Po doporučení jsem si dále efekt rozšířil o další funkce. Jako první po ověření funkčnosti komprese procházejícího signálu jsem začal navrhovat bránu pro vstupní šum. Tento efekt je známý jako GATE. Po jeho úspěšném navržení a zprovoznění jsem dále zařadil za výstup kompresoru pásmové korektory pro optimální doladění frekvenčního pásma zvuku a indikátor vybuzení, aby se kompresní poměr a práh daly nastavit nejen podle sluchu, ale i vizuálně.

Užitečnou pomůckou jsou také vyvedená tlačítka s aretací na předním panelu přístrojové krabičky, při čemž každé z nich funguje jako true bypass. První obchází kompresor dynamiky (při jeho přepínání je dobře vidět komprese signálu na indikátoru vybuzení) a druhý pásmové korektory.

2.3.1 Úroveň komprese (THRESHOLD)

Úroveň komprese, neboli kompresní práh nám udává, při jaké úrovni vybuzení vstupního signálu nám kompresor začne plnit svou funkci. Mnou navržený kompresor je typu SOFT KNEE. Oproti HARD KNEE se toto liší tím, že využívá nelinearity polovodičových diod a přechod mezi činným a nečinným stavem je pozvolný. Tohoto se v audiotechnice využívá nejčastěji. Práh vstupního signálu, kdy začne komprese, se dá nastavit v intervalu od -45 dBu až do -10 dBu. Pro změření tohoto intervalu jsem postupoval tak, že jsem si pomocí funkčního generátoru generoval sinus o frekvenci 1 kHz na vstup a potenciometr THRESHOLD jsem otočil postupně do obou krajních poloh. Při obou těchto krajních polohách potenciometru jsem pozvolna přidával úroveň napětí dokud se na osciloskopu, který sledoval výstup, nezačal signál ořezávat. RATIO bylo v tu chvíli nastaveno na maximální poměr, tedy plnilo funkci limiteru a díky tomu bylo na osciloskopu oříznutí signálu dobře viditelné.

Zapojení operačního zesilovače, který kontroluje úroveň z výstupu RMS detektoru, velikost požadovaného THRESHOLD a podle toho reguluje akční veličinu, jsem vyčetl z datasheetu, který výrobce ke svým obvodům dodává. Zapojení je možné dohledat s diodou, která přechod mezi jeho stavy zaoblí, nebo bez diody a zapojení funguje jako HARD KNEE. Sám jsem si sestavil obě varianty, a jako použitelné se jevílo pouze zapojení s diodou, tedy SOFT KNEE. Úroveň komprese, kdy kompresor započne pozvolna kompresi, se tedy nastavuje uhlíkovým lineárním potenciometrem označeným jako THRESHOLD a to v intervalu od -45 dBu do -10 dBu.

2.3.2 Kompresní poměr (RATIO)

Kompresní poměr nám udává poměr utlumení výstupního signálu vůči vstupnímu signálu. V technické literatuře se uvádí jako poměr mezi absolutní úrovní výstupního signálu k absolutní úrovni vstupního signálu. Tedy v poměru například 1:4 by jsme na vstup museli přivést signál o 4 dB silnější, aby se výstupní úroveň signálu zvýšila právě o 1 dB. Kompresor má tedy nastavitelný kompresní práh a až po jeho překročení vstupním signálem začne působit RATIO. Je tedy zařazené až po THRESHOLD, a toto umístění je shodné i s umístěním potenciometrů v mé konstrukci na čelním panelu zařízení, které jde za sebou tak, jak je tomu ve skutečnosti. Výstup z operačního zesilovače, který má na starosti kompresní poměr, je pouze vyveden na napěťový dělič, tvořený potenciometrem, kterým si žádaný kompresní poměr nastavujeme. Mnou navržený kompresor funguje od kompresního poměru 1:1, kdy se úroveň vstupního signálu rovná výstupnímu, do 1: nekonečno, kdy se zařízení začíná chovat jako limiter a výstupní úroveň nepřesáhne nastavenou THRESHOLDem. Při měření kompresního poměru jsem postupoval tak, že jsem THRESHOLD nastavil na minimální úroveň (-45dBu) a RATIO nastavil postupně do obou krajních poloh. Nejprve jsem se pokusil změřit RATIO v kompresním poměru 1:1. Na vstup jsem pomocí funkčního generátoru posílal sinusový průběh o frekvenci 1 kHz a postupně jsem zvyšoval jeho úroveň. Osciloskopem jsem sledoval úroveň na výstupu kompresoru. Naměřené hodnoty byly skutečně téměř totožné jako ty z generátoru. Kompresní poměr 1:1 je tedy konstantní pro různé úrovně vstupního signálu. Dále jsem otočil RATIO na opačnou krajní polohu a opět jsem zvyšoval generovaný sinusový signál od nejnižší vstupní úrovně do maximální. Výstupní signál se v žádném případě nedostal za úroveň, která byla přednastavená kompresním prahem na -45dBu, tudíž ve funkci limiteru zařízení také pracuje správně. Kompresní poměr může dosáhnou pouze reálných hodnot, avšak v dané povolené maximální vstupní úrovni signálu, která je určena na 33V, se mi nepodařilo maximální kompresní poměr přesně doměřit, neboť byl příliš velký. Teoreticky by měl být nekonečný. V praxi však maximální hodnota závisí a je limitována největším útlumem, který napětím řízený zesilovač dokáže vyvinout. Tato hodnota je podle datasheetu -60 dB a proto tuto hodnotu беру jako maximální poměr RATIO, tedy 1:60. Kompresní poměr se tedy nastavuje uhlíkovým lineárním potenciometrem RATIO od kompresního poměru 1:1 do 1:60 a tento poměr je uváděn v logaritmickém měřítku.

2.3.3 Řízení zisku (GAIN)

Dalším důležitým parametrem kompresoru dynamiky je velikost výstupní úrovně, kterou lze ze vstupního signálu vyrobit. V praxi se tímto nastavuje celková úroveň hlasitosti. Je dána velikostí přenosu a_u napětím řízeného zesilovače. Tuto hodnotu lze zvyšovat, či snižovat přivedeným napětím na řídicí elektrodu VCA. Toto napětí musíme nejdříve přičíst k řídicímu napěťovému signálu, které řídí dynamiku vstupního signálu. Ten pochází od předchozích stupňů, jako byl operační zesilovač (OA1), který měl na starosti překročení

kompresního prahu a dále tento řídicí signál pokračoval přes potenciometrický dělič napětí, který určuje kompresní poměr. VCA obvod THAT 2180b má možnost řízení jeho zesílení pomocí kladného nebo záporného napětí přivedeného na vstupní piny značené jako E+ nebo v případě záporného napětí E-. Naskytne se tedy možnost napětí, které reguluje hlasitost, přivést do jednoho z těchto řídicích pinů VCA a řídicí signál, který ovládá dynamické parametry do druhého pinu. Kompresor v sobě ale dále obsahuje i další efekt, známý jako GATE, jehož výstup se opět přivádí na řídicí pin VCA, který by však již nebyl volný. Pro celé zjednodušení se tedy operační zesilovač OA2 zapojil jako sumační zesilovač a všechny potřebné řídicí signály byly v tomto operačním zesilovači sečteny a přivedeny na záporný řídicí pin zesilovače. Velikost přenosu byla opět měřena pomocí funkčního generátoru a osciloskopu. Na vstup kompresoru jsem tedy přivedl generovaný sinusový průběh o frekvenci 1 kHz a napětí definované od špičky ke špičce o velikosti 640 mV. Při nastavení potenciometru GAIN na minimum jsem pomocí osciloskopu na výstupu kompresoru vyčetl velikost napětí 41 mV. V druhé krajní poloze potenciometru bylo napětí o velikosti 19,9 V. Výstupní hlasitost se tedy nastavuje uhlíkovým lineárním potenciometrem GAIN v intervalu od -24 dBu do 30 dBu.

2.3.4 Brána šumu (GATE)

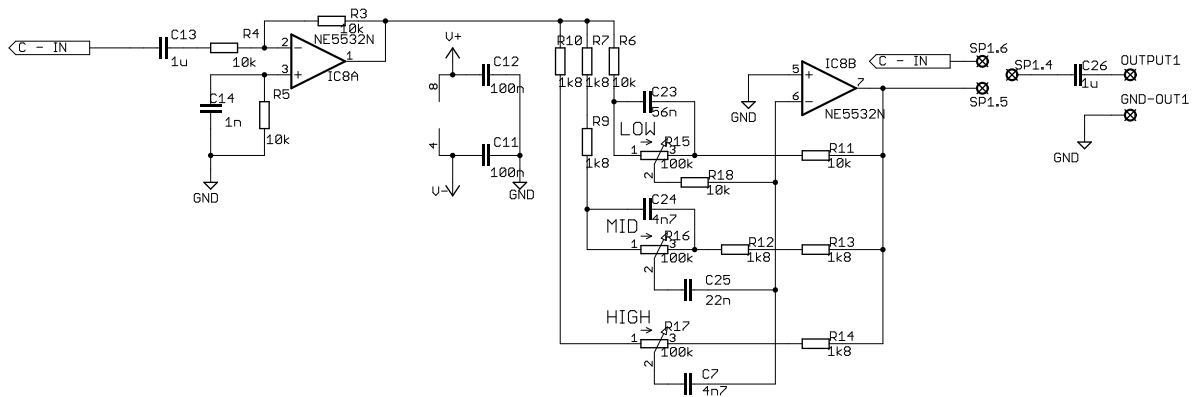
Brána šumu, neboli NOISE GATE je efekt využívaný v audiotechnice. Pomocí něho lze potlačit signál, který je svou úrovní pod nastaveným určitým prahem. Toho lze využít například, když hráč na kytaru nehraje a ve snímáči se indukují vlivem všudypřítomného elektromagnetického smogu šum. Ten se však přes bránu šumu nedostane a GATE ho dostatečně utlumí. Zvuk z elektrofonické kytary tedy neruší v částech skladby, kde se zrovna kytara nevyskytuje, a to i při velkém nastaveném zesílení efektu. Kytarista tedy nemusí ztišovat signál z jeho snímáčů pokaždé, když zrovna nehraje, ale kompresor se ztiší automaticky. GATE je dobrým pomocníkem i v případech, kde kytarista zapomene stáhnout signál ze snímáčů a položí svůj nástroj vedle reproduktoru. Kompresor automaticky signál utlumí a tím předejde nepříjemnému efektu FEEDBACK, tedy zpětné vazbě, která v případě připojené kytary k reproduktoru bez efektu GATE postupně rozechvívá struny a tím se sama zesiluje, až dojde k nepříjemnému zpětnovazebnímu hučení. K zamezení FEEDBACK jsou ale především určeny speciální anti-feedback zařízení, která se touto problematikou zabývají.

V zadání této bakalářské práce efekt GATE nebyl součástí, avšak dobrý kompresor dynamiky v sobě tento efekt zabudovaný má. Implementace tohoto efektu nebyla nikterak složitá, a proto jsem se rozhodl ho do své bakalářské práce umístit. Při jeho návrhu bylo potřeba zajistit rozhodovací úroveň GATE, pod kterou se signál utlumí. Využil jsem napěťového výstupu z RMS detektoru, které jsem zavedl přes napěťový sledovač IC2B a předřadný rezistor do komparátoru váženého součtu vstupních napětí IC2A. Do tohoto komparátoru jsem jako druhý napěťový vstup zavedl přes předřadný rezistor výstup z potenciometrického děliče napájecího napětí. Pro odbourání zákmitů, kdy výstupní signál

komparátoru při rozhodovací úrovni kolem jeho překlopení pulzoval, jsem do zapojení přidal zpětnovazební rezistor, který tomuto zapojení přidal hysterezi. Výstup z komparátoru váženého součtu vstupních napětí IC2A s hysterezí jsem dále vedl přes usměrňovací diodu do sumačního zesilovače OA2. Dioda slouží k zamezení toku kladného proudu, který by ve výsledku dostal VCA zesilovač do saturace. Důležitým měřítkem jakosti efektu GATE je jeho schopnost rychle se překlápět z jednoho stavu, kdy je vstupní signál nad prahovou úrovní vstupní brány, do druhého stavu, kdy klesne vstupní signál pod tuto hranici. Tento přechod se nazývá RELEASE, tedy doba, za kterou GATE výstupní signál utlumí. Opačná hodnota, tedy z druhého stavu do prvního, se nazývá ATTACK. Tedy přechod, při kterém efekt přestává utlumovat zpracovávaný signál. Jejich měření probíhalo opět za pomoci funkčního generátoru a osciloskopu. Do vstupu generátoru jsem generoval obdélníkový průběh o malé frekvenci a na osciloskopu jsem vyčetl dobu od náběžné hrany generovaného signálu do stavu, kdy na výstupu odezněl přechodný děj. Tuto dobu popisuje ATTACK. Stejně jsem postupoval při měření doby RELEASE, a to při sestupné hraně generovaného signálu. Úroveň brány šumu, kdy GATE utlumí výstupní signál, se tedy nastavuje uhlíkovým lineárním potenciometrem GATE a to s rychlostmi ATTACK 200 μ S a RELEASE 320 μ S.

2.3.5 Pásmové korektory (LOW, MID, HIGH)

Pásmové korektory nebyly v zadání této bakalářské práce, avšak podle mého názoru, každý kytarista má trochu jiné nároky na barvu zvuku kytary a tak vzniká nutnost tyto korektory do kompresoru dynamiky umístit také. Jsou umístěné za kompresorem a jsou tak zařazeny před výstup. Jako každý kvalitní efekt, i tento, může svůj ekvalizér obejít pomocí externě vyvedeného tlačítka na předním panelu zařízení. Pomocí true bypass lze tedy korekce v některých případech vyladit až u reproduktoru. Vybraný aktivní zpětnovazební korektor je Baxandalova typu. Je to zesilovač, u kterého lze plynule měnit šířku přenášeného frekvenčního pásma. Děje se tak vlivem pasivních prvků, rezistorů a kondenzátorů, umístěných ve zpětné vazbě zesilovače. Korektor tedy funguje na principu řízení zpětné vazby operačního zesilovače IC3B, kde zpětná vazba je rozdělena na tři části. Do jednotlivých zpětných vazeb jsou zařazeny kondenzátory, které jsou frekvenčně závislé a mají svou kapacitanci. Každý má vlastní mezní kmitočet na předem daných frekvencích, dostatečně vzdálený, aby se navzájem neovlivňovaly. Mezní frekvence basového filtru je stanovena na 200 Hz, výškového filtru na 2 KHz a pro střední tóny je tu pásmová propust se zlomovým kmitočtem 1 kHz. Ovládacími potenciometry řídíme podíl, jak se která zpětná vazba bude podílet na zesílení zpracovávaného signálu. Tím je dosaženo možnosti regulovat frekvenční pásmo dle požadovaných vlastností. Zapojení tohoto korektoru, převzato z literatury [2, str. 34], mám vyzkoušené už z předešlých zapojení.

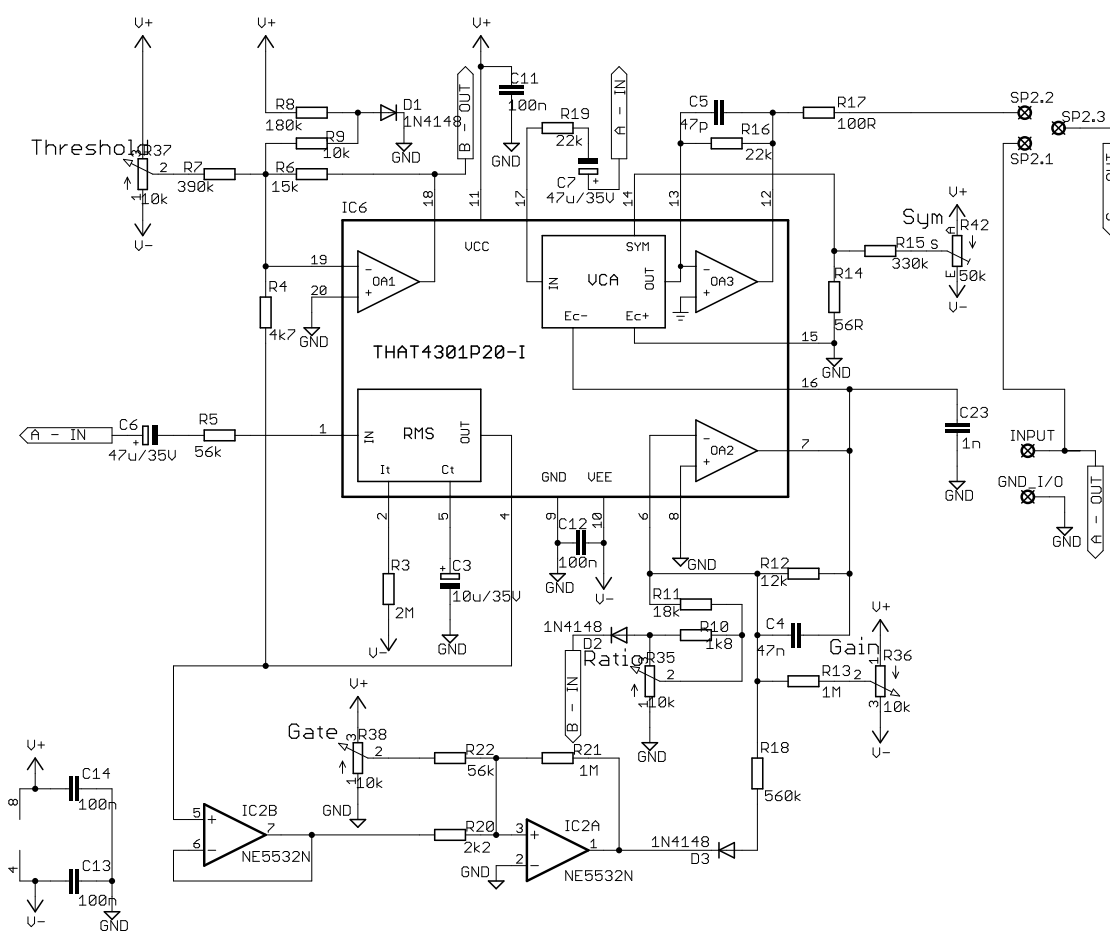


Obr. 2.2: Zapojení pásmového korektoru

2.4 Vybraný integrovaný dynamický procesor

Po zhotovení předchozích způsobů detekce obálky na nepájivém plošném spoji pomocí diodového obálkového detektoru, poté pomocí dalšího způsobu detekce RMS detektoru na základě obvodu THAT 2252, dále zhotovení řízení úrovně zpracovávaného signálu na základě napětím řízeného zesilovače THAT 2180b a dalších dílčích částí kompresoru, které jsem již popsal v předchozích podkapitolách jsem narazil na zajímavý obvod od firmy THAT Corporation s výrobním označením THAT 4301. Po detailnějším prozkoumání jeho nabízených možností z datasheetu[3] jsem zjistil, že by se díky tomuto kompaktnímu obvodu celá konstrukce zjednodušila a dokonce by se kompresor mohl vměstnat i do rozměrově menších přístrojových krabiček. Tento obvod v sobě totiž implementuje RMS detektor obálky THAT 2252 a napětím řízený zesilovač THAT 2180b. Dále v sobě zapouzdřuje tři operační zesilovače navržené svými vlastnostmi přímo pro použití v audio aplikacích. Jeho vstupy VCA a RMS detektor, stejně tak jako THAT 2252 a 2180b, mají hned na začátku sledovač vstupního signálu, tím pádem nebylo třeba řešit impedanční přizpůsobení kabelu a snímače kytary. Srovnání s konstrukcemi pomocí již dříve zmíněných obvodů a potřebou k nim použít externích operačních zesilovačů, je toto řešení efektivnější i s ohledem na spotřebovaný výkon. Kompresor je zamýšlen provozovat na přenosný zdroj energie, v kytarové audiotechnice nejčastěji 9 V baterie, a pro zjednodušení celého obvodu jsem se rozhodl zhotovit ho na bázi analogového procesoru THAT 4301. Podle datasheetů se tento obvod od předchozích dvou liší pouze velikostí řídicího napětí zesilovače a velikostí výstupního napětí úměrného vstupnímu signálu z RMS detektoru. Výrobce udává tyto hodnoty na 6,5 mV/dB, a to při teplotě 25°C. Výstup z RMS detektoru i vstup pro řídicí napětí VCA, je v logaritmickém měřítku, které se v audio technice využívá nejčastěji. Pro další zpracování řídicího signálu se tedy pracuje pouze lineárně a jsou použity lineární potenciometry. Velikost přenosu, který se takto dá řídit za pomoci integrovaného VCA je v intervalu od -60dB do 40dB. Zesilovač tedy zvládne zpracovávaný signál opět utlumit nebo i zesílit, a to při zkreslení THD 0,04 - 0,07 %.

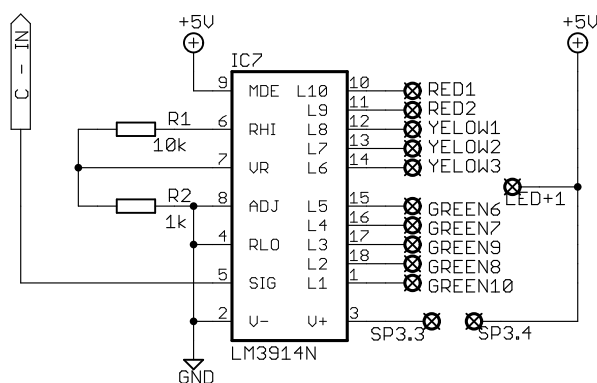
Při návrhu jsem použil základní zapojení z datasheetu od výrobce, které bylo více zapojením principiálním než zapojením funkčním, a bylo uváděno výrobcem jako zapojení obvodu pro konstrukci kompresoru dynamiky. Hodnoty součástek ve schématu byly udány pouze okrajově, a tak bylo nutné jejich přesné velikosti určit na základě mnou prováděných praktických testů a podle normalizovaných řad rezistorů. Po delším testování jsem daný obvod vyladil na mnou určená kritéria a výsledkem bylo zkonstruování dobře fungujícího kompresoru dynamiky. To potvrdila i praktická měření v laboratořích. Po doplnění dalších částí z již vyzkoušených předchozích konstrukcí kompresoru jsem mohl začít na samotném návrhu desky plošného spoje a na zapouzdření do přístrojové krabičky.



Obr. 2.3: Zapojení kompresoru a brány šumu s dynamickým procesorem THAT 4301

2.5 Indikátor vybuzení

Pro snazší nastavování efektu je ke kompresoru přidán indikátor vybuzení, na kterém je dobře vidět nastavovaná úroveň komprese (TRESHOLD) a jeho kompresní poměr (RATIO). Nejlépe je vidět funkce samotné komprese při přepínání true bypass, který přemostňuje samotný kompresor dynamiky, a je tak vidět na indikátoru vybuzení, jak signál vypadá před a po kompresi. Pro indikaci vybuzení jsem použil již osvědčený obvod LM 3915. Oproti obvodu 3914, který je také k dispozici, pracuje tento v logaritmických hodnotách, což nejlépe vystihuje míru lidského vnímání hlasitosti zvuku. Zapojení indikátoru je velmi jednoduché a vychází z datasheetu[5], který k němu výrobce dodává.



Obr. 2.4: Zapojení indikátoru vybuzení s obvodem LM3915

3

Digitálně řízené parametry kompresoru dynamiky

Jednou z možností je použít digitálně řízený zesilovač, který bych pomocí mikroprocesoru řídil. Audio signál se ale relativně rychle mění v závislosti na čase a proto je potřeba rychle reagovat. Zde pro vyhodnocení a řízení signálu nestačí pomalejší procesory. Nedosáhli bychom tímto kvalitních parametrů kompresoru. Proto se nabízí použití signálového procesoru, který pracuje na znatelně vyšších frekvencích než kterých dosahují běžně používané řídicí mikroprocesory. I jeho analogově/digitální převodníky a jeho vnitřní architektura je navržena pro rychlejší zpracování signálů.

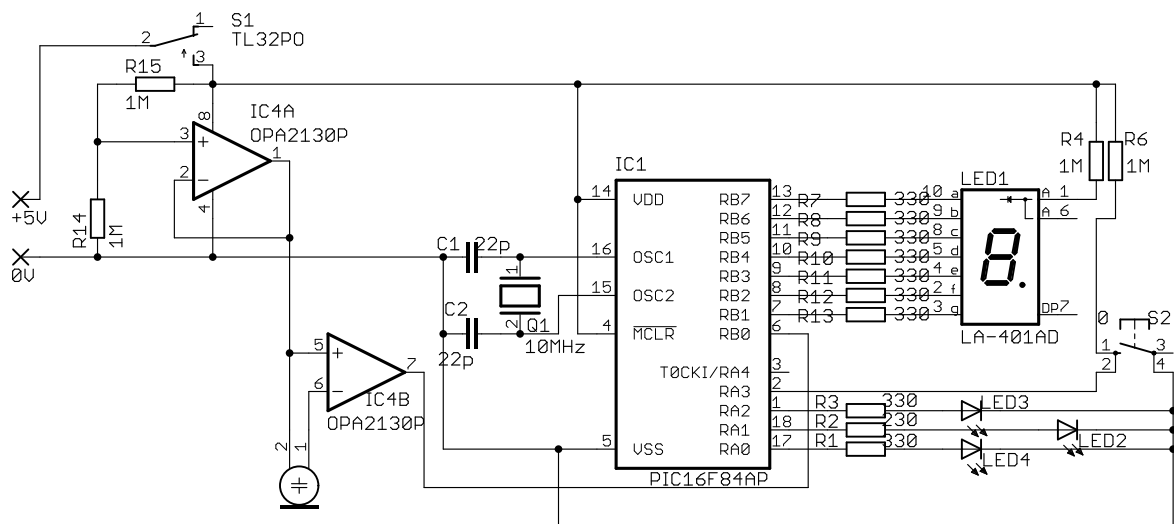
Původně jsem zamýšlel využití tohoto způsobu návrhu a konstrukce kompresoru dynamiky při použití signálového procesoru od firmy MICROCHIP rodiny dsPIC30. Ale při použití tohoto procesoru by už veškerá komprese a zpracování signálu probíhalo v digitální podobě za pomoci matematiky a aritmeticko logických instrukcí v procesoru podle napsaného programu. Avšak napadl mě další způsob elegantnějšího řešení. Parametry ovládat hybridně, tedy z části analogově a z části pomocí digitální techniky.

4

Hybridně řízené parametry kompresoru dynamiky

Tuto kapitolu jsem zde uvedl záměrně v důsledku toho, že jsem se tímto typem konstrukce kompresoru delší dobu zabýval. Zkombinováním analogového a digitálního procesoru se tak otevírají další možnosti, další funkce kompresoru, za nesnížené kvality dynamiky. Myšlenka spočívá v tom, že dynamicky řízené parametry signálu zůstanou pouze analogovému procesoru. Zatímco statické parametry se ovládají pomocí jednočipového mikroprocesoru, díky kterému lze do přístroje implementovat další užitečné funkce a příjemné uživatelské rozhraní. Jednou z prvních nadstandartních možností mě napadlo, zabudovat do přístroje i jednoduchou nástrojovou ladičku tónů. Tu jsem také navrhl a zprovoznil. Další rozšíření přístroje jsem viděl v možnosti přidat kompresoru jednoduché uživatelské rozhraní, a to digitální rotační kodér, kterým by uživatel nastavoval statické parametry a zabudovaný jednořádkový alfa-numerický displej, který by zase uživatele informoval o provedené změně, úrovni signálu a kompresi. Případně by také mohl informovat o teplotě při zabudování termistoru, nebo digitálního teplotního senzoru, který by komunikoval po sběrnici 1-wire. Důvodů pro spojení digitální a analogové techniky u kompresoru dynamiky by se jistě našlo víc, ale zůstává otázka, jak tyto dynamické parametry pomocí digitální techniky řídit. Tohoto lze docílit použitím digitálních potenciometrů. Po digitální sběrnici by se dostala požadovaná hodnota do cíleného digitálního potenciometru, a ten by již dále zpracovávaný signál řídil analogově. Jednoduše by tedy mnou již navržené schéma zůstalo, jen by se jeho lineární uhlíkové potenciometry vyměnily za digitální a nastavování by probíhalo za pomoci digitálního procesoru a moderního uživatelského rozhraní.

Mnohá rozšíření jsou do budoucna možná, avšak vlivem omezeného času jsem se rozhodl upustit od hybridního řešení kompresoru a věnoval jsem se pouze analogové části. Je zde tedy prostor pro další vývoj. Pro případ, kdyby se v této myšlence hybridního řízení kompresoru pokračovalo, příkládám zde i funkční ladičku tónů, od které jsem nakonec spolu s celým hybridním řešením musel upustit.



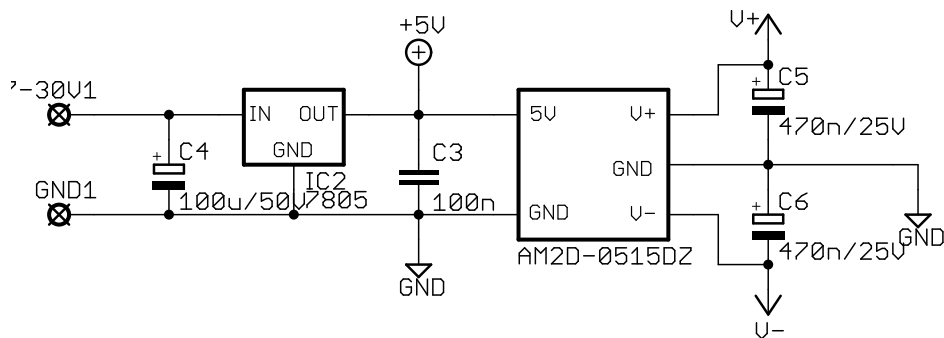
Obr. 4.1: Zapojení navržené ladičky tónů jako možné rozšíření kompresoru

5

Napájení obvodu

Napájení kompresoru, z důvodu použitého analogového procesoru THAT 4301, bylo určeno na $\pm 15\text{V}$. Toto napájení je podle datasheetu [4] od procesoru určeno jako typická velikost jeho napájecího napětí, a tak jsem ho použil i v mém návrhu. Rozsah napájení tohoto procesoru je však podle výrobce v intervalu od $+7\text{ V}$ do $+18\text{ V}$. Operační zesilovače jsem tedy volil pro daný rozsah napájení. Jelikož jsem chtěl zařízení napájet i z baterie, byl problém vytvořit symetrické napájení. V úvahu připadaly dvě možnosti. Nábojovou pumpou docílit záporného napětí vůči napájecímu, které by bylo 15 V . Nebo pomocí Step-up měniče, který by napájecí napětí povýšil na 30 voltů a vhodným zapojením operačního zesilovače vytvořit na tomto napájení virtuální nulu. Původně jsem chtěl druhý způsob použít, ale bylo by to energeticky více ztrátové řešení a při větším nesymetrickém zatížení napájecího článku by se ovlivňovalo i napájení dalších obvodů nesouměrně, a tím by docházelo k degradaci výstupního signálu. Posléze mě napadlo hledat hotové celky, které v sobě step-up měnič a nábojovou pumpu vhodně kombinují a mají v sobě i oddělovací galvanický člen - oddělovací transformátor. Nakonec jsem našel DC/DC měnič od firmy AIMTEC. Typ AM2D-0515DZ pracuje na spínací frekvenci 85 kHz s účinností 78% a na výstupu má transformátor s vyvedeným středem. Jeho izolační pevnost je zaručena až na 1000 V DC , tedy při případné poruše napájecího zásuvkového adaptéru by měl být uživatel chráněn před nebezpečným proudem. Měnič je v provedení SIP7 (5 vývodů). Na jeho výstupní bráně se nacházejí tři piny. Kladných patnáct voltů, záporných patnáct voltů a nulový potenciál. Výstupní proud je maximálně $\pm 67\text{ mA}$, což je při spotřebě kompresoru (max. 56 mA) dostačující. Výstupní výkon měniče tedy může dosahovat maximálně $2,01\text{ wattů}$. Vstupní napájecí napětí je povoleno s menší tolerancí v rozsahu mezi $4,5$ až $5,5\text{ V}$. Pro větší rozsah a stabilizaci napětí jsem před tento měnič předradil sériový stabilizátor 7805. Ten má vstupní napájení od 7 do 36 V a umožňuje tedy větší napájecí rozsah kompresoru. Na jeho výstupu je napětí 5 V s přesností okolo 5% , což je pro napájení měniče ideální. Vstupní napětí do 7805 je vyfiltrováno kondenzátorem. Při použití méně zvlněného průběhu napětí ze zdroje se díky této kapacitě napájení vyhlazuje a nedojde tak k poklesu napájení pod přípustnou mez správné funkčnosti stabilizátoru (7 V). Výstupní napětí stabilizátoru je klasicky opatřeno kondenzátorem, díky kterému

je výstup vyhlazován a zvládne dodat potřebný výkon i při menších proudových špičkách a není jimi tedy ovlivňována zpětná vazba. Kondenzátor se umísťuje co nejbližše stabilizátoru. Toto napájení je již možné přivést na vstup DC/DC měniče. Podle datasheetu stabilizátoru 7805 je do hodnoty 1,8 W možné, provozovat ho bez použití přídavného chladiče. Moje zařízení se pohybuje těsně na této hranici, a proto jsem na stabilizátor připravenil menší chladič, který ze součástky dostatečně rychle odvádí teplo, a tím ji uchrání před přehřátím. Pod chladič jsem ještě umístil teplovodní pastu, která je vyrobena z částecek stříbra a dobře tak odvádí teplo ze stabilizátoru do chladiče. Výstupní napájení DC/DC měniče je ještě opatřeno dvěma kondenzátory pro případné rychlé změny vstupních proudů kompresoru.



Obr. 5.1: Zapojení stabilizátoru 7805 a DC/DC měniče AM2D-0515DZ

6

Závěr

Během této bakalářské práce jsem nabyl mnoho komplexních informací nutných k návrhu a konstrukci efektoru pro elektrofonickou kytaru. Nepředpokládám, že uvedené možnosti jeho konstrukce jsou konečné, avšak základní kritéria a možnosti byly zpracovány. Po výběru konkrétního řešení tohoto efektoru následovala prototypová výroba, kterou doprovázelo praktické intenzivní testování. V praxi byl kompresor testován na kytaru Fender Stratocaster Mexico, který má zabudovaný snímač typu humbucker a na kytaru firmy Apollo se snímačem typu single. V obou případech zařízení pracovalo bezchybně, s jasným efektem řízení dynamiky.

Dostalo se mi také možnosti hotové zařízení změřit na audio analyzáru Audio Precision 2700, a s výsledkem jsem velmi spokojený. Graf C.4 ukazuje zkreslení spolu s přenosovou funkcí kompresoru při nastavení kompresního poměru 1:max a kompresní úrovni přibližně 1/2 rozsahu. Z přenosové funkce je vidět pozvolné oříznutí na přednastavené úrovni THRESHOLD. Po této úrovni by měl být přenos konstantní a neměl by dále klesat nebo vzrůstat. Na tomto grafu ale dále lehce klesá. Vysvětluji si to tím, že měření probíhalo rychleji, než RMS detektor stíhal měřit úroveň vstupního signálu.

Bakalářská práce byla zaměřena hlavně na vývoj a konstrukci nového, plně funkčního kompresoru dynamiky. Tento cíl byl po několikaměsíční práci dosažen.

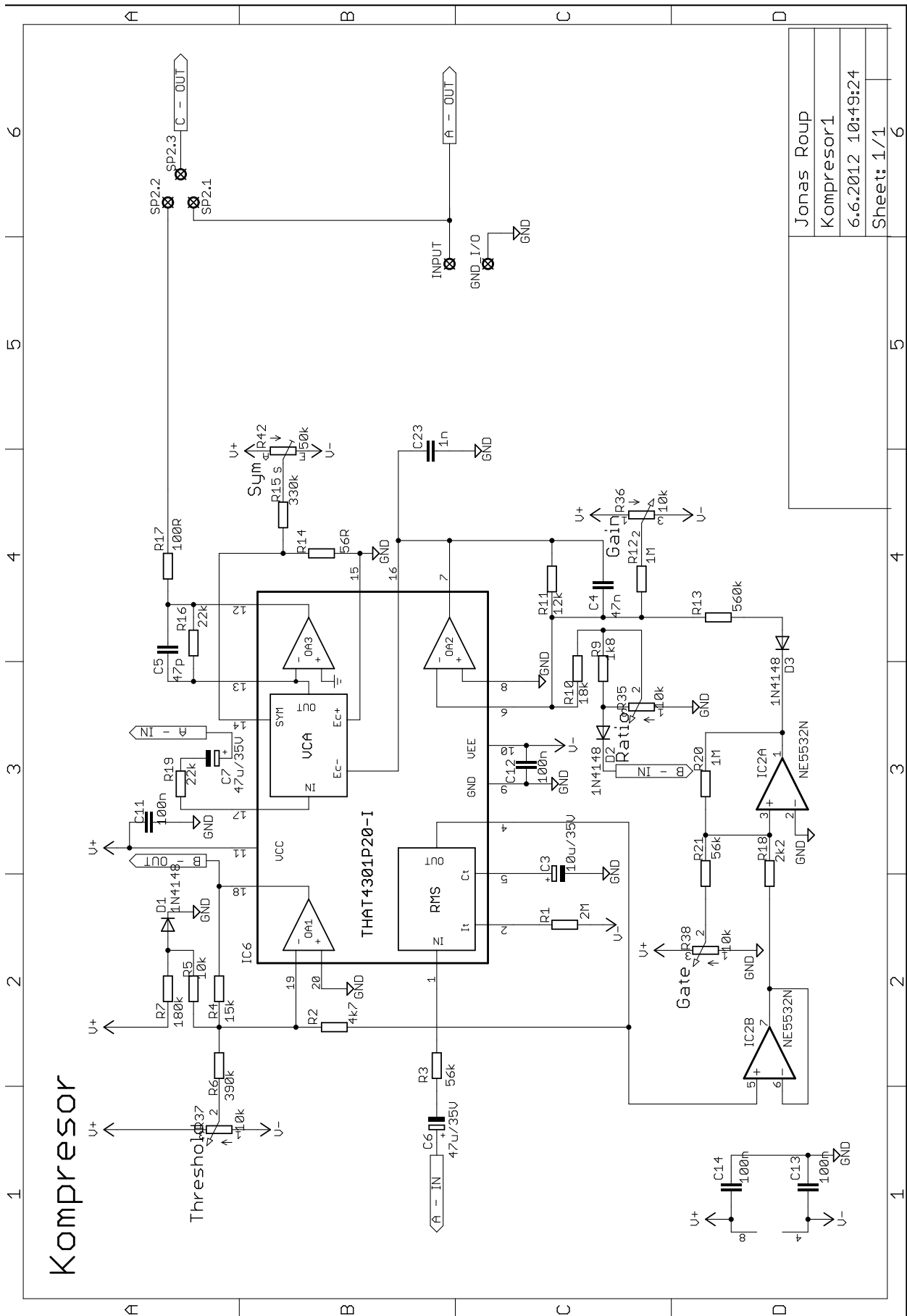
Literatura

- [1] PINKER, Jiří, KOUCKÝ, Václav. *Analogové elektronické systémy*. Západočeská univerzita v Plzni, 2010. ISBN 978-80-7043-917-3.
- [2] Koerver-Bernstein, Hans. Překlad: LOSÍK, Vaclav. *304 zajímavých zapojení*. Ost-rava: HEL, 1998. ISBN 80-86167-06-2.
- [3] That Corporation. *Datasheet analogového procesoru THAT 4301*. Dostupné z: <http://www.thatcorp.com/datashts/THAT`4301`Datasheet.pdf>
- [4] Aimtec. *Datasheet DC/DC měniče AM2D-0515DZ*. Dostupné z: <http://www.aimtec.com/site/Aimtec/files/Datasheet/HighResolution/AM2D-Z.PDF>
- [5] National Semiconductor. *Datasheet indikátoru vybuzení LM3915*. Dostupné z: <https://www.national.com/ds/LM/LM3915.pdf>
- [6] Firstová, Zdeňka. *Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informač-ních zdrojů*. Plzeň: Univerzitní knihovna ZČU v Plzni, 2011. Dostupné z: <http://www.iso690.zcu.cz>

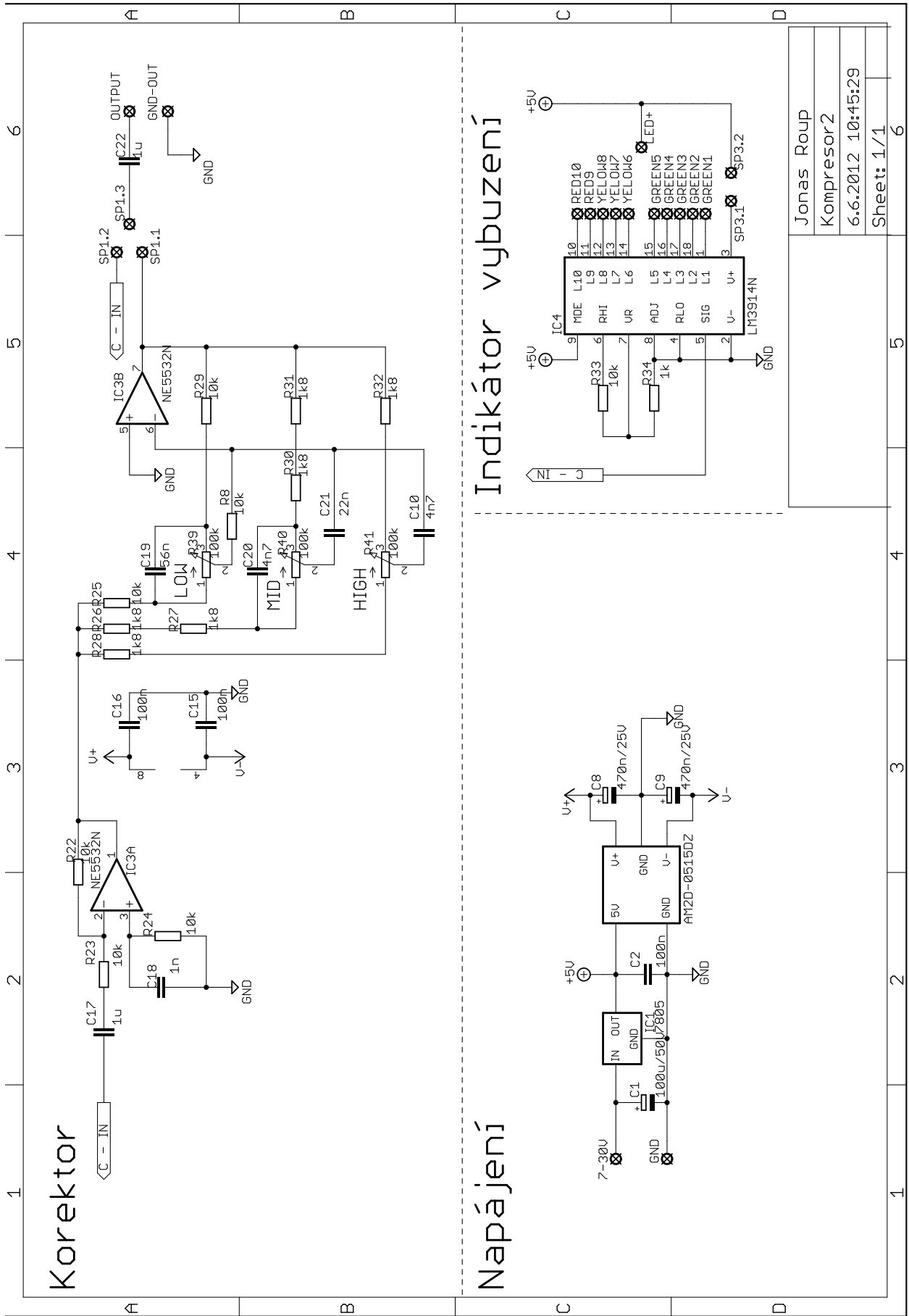
Příloha A

Schémata zapojení

- A.1 Kompresor dynamiky a brána šumu GATE
- A.2 Pásmový korektor, indikátor vybuzení, napájecí obvod



Obr. A.1: Navržený kompresor dynamiky na základě obvodu THAT 4301 a brána šumu GATE

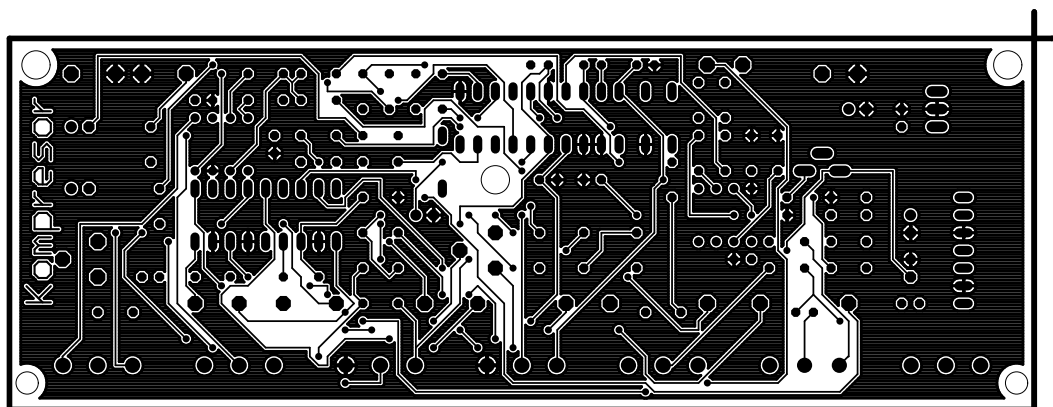


Obr. A.2: Navržený pásmový korektor, indikátor vybuzení signálu a obvod pro napájení efektu

Příloha B

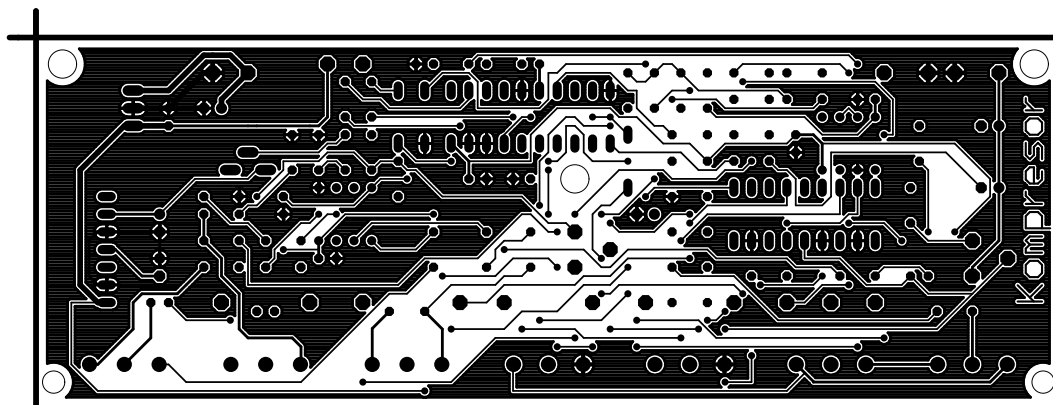
Desky plošných spojů

B.1 Pohled shora na plošný spoj kompresoru



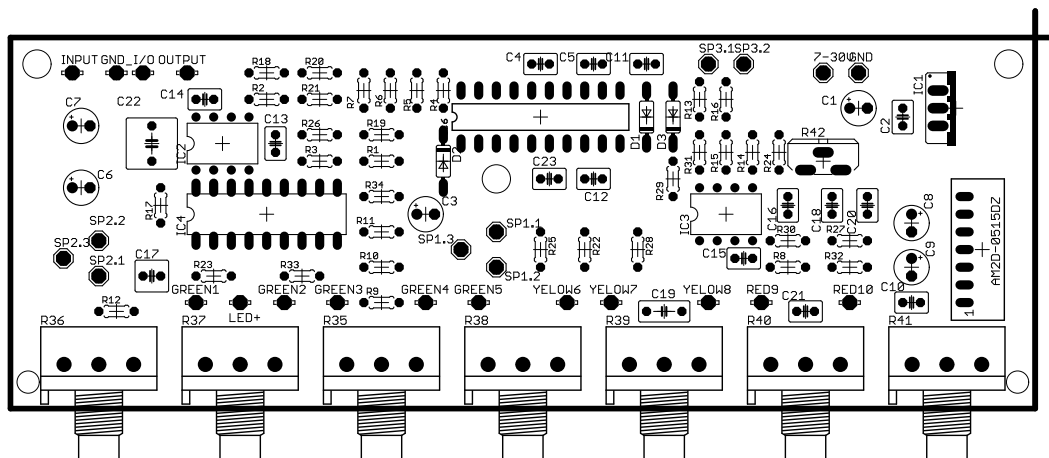
Obr. B.1: Ukázka tištěného spoje kompresoru při pohledu shora s obrysy součástek

B.2 Pohled na spodní část DPS



Obr. B.2: Ukázka tištěného spoje kompresoru při pohledu zdola

B.3 osazovací výkres

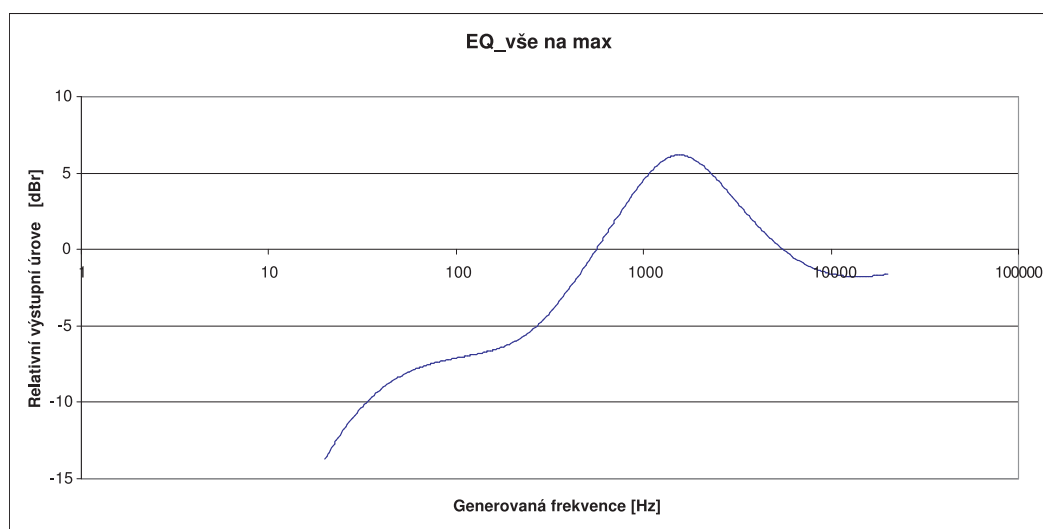


Obr. B.3: Pohled na umístění součástek kompresoru při pohledu shora

Příloha C

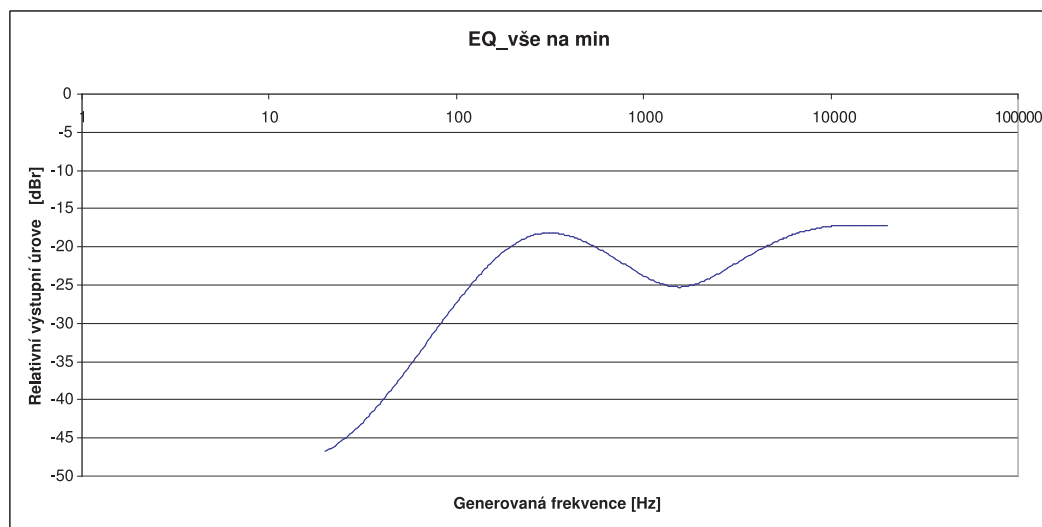
Výsledky měření na analyzátoru Audio Precision 2700

C.1 Frekvenční analýza pásmového korektoru, při jeho minimálním potlačení pásma



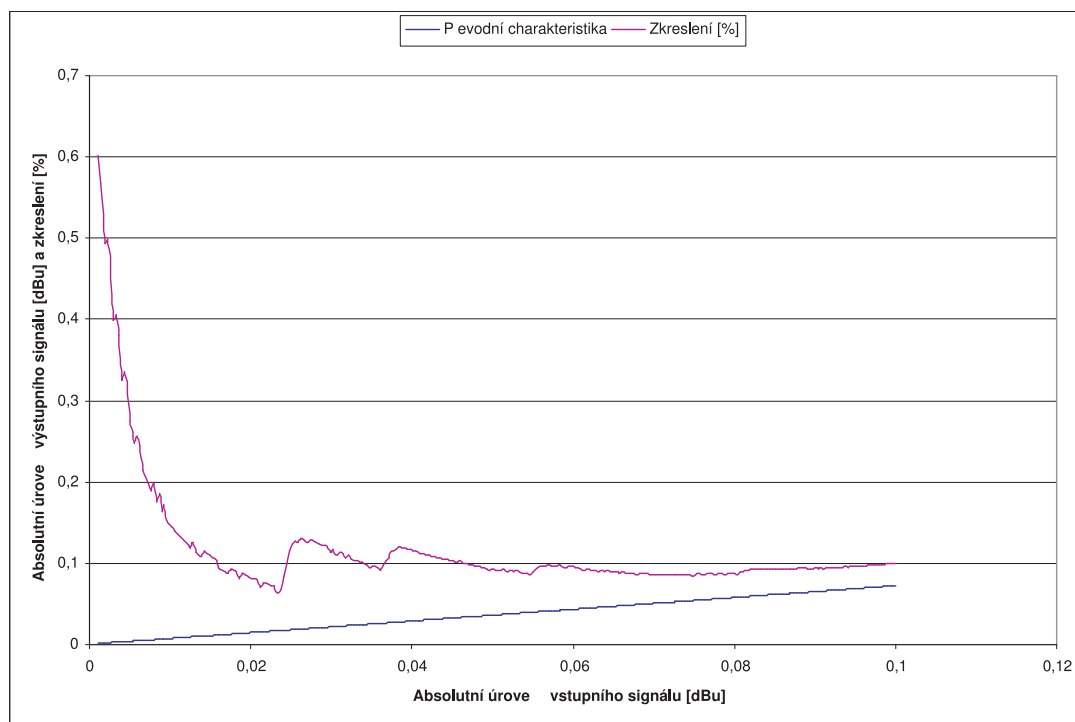
Obr. C.1: Frekvenční analýza pásmového korektoru, všechny tři potenciometry otočeny do maximální krajní polohy

C.2 Frekvenční analýza pásmového korektoru, při jeho maximálním potlačení pásma



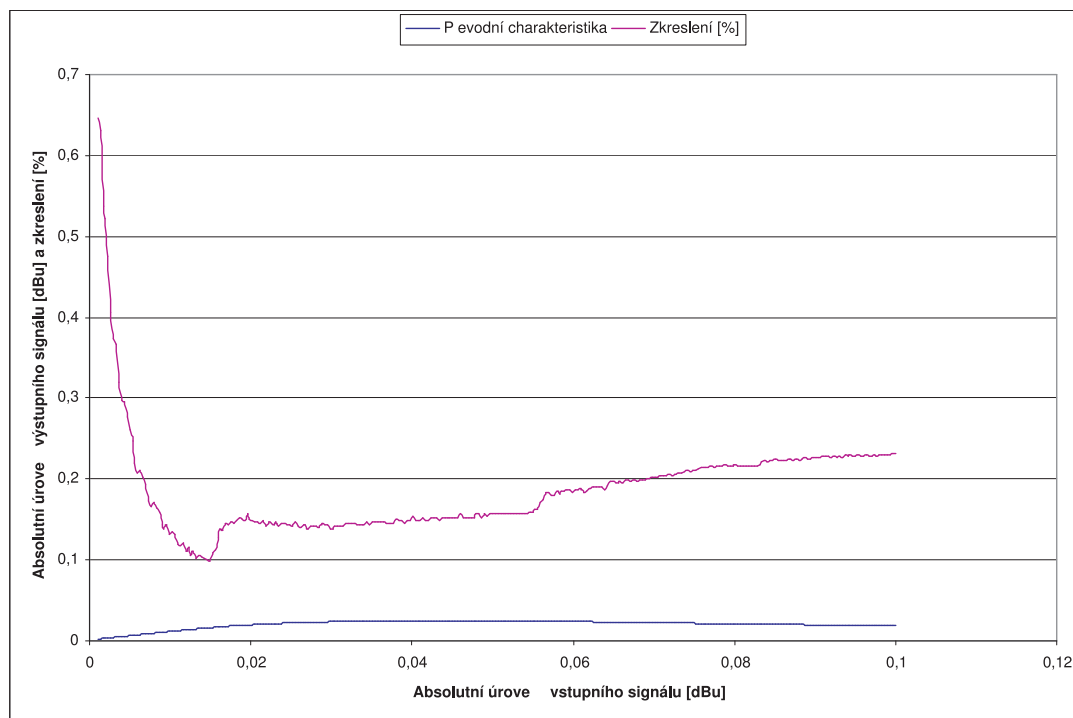
Obr. C.2: Frekvenční analýza pásmového korektoru, všechny tři potenciometry otočeny do minimální krajní polohy

C.3 Změřené sinusové zkreslení spolu s přenosovou funkcí kompresoru při nastavení kompresního poměru 1:1 a kompresní úrovni přibližně 1/2 rozsahu



Obr. C.3: Zkreslení THD a přenosová funkce kompresoru při konstantní frekvenci 315 Hz a nastavení RATIO 1:1

C.4 Změřené sinusové zkreslení spolu s přenosovou funkcí kompresoru při nastavení kompresního poměru 1:max a kompresní úrovni přibližně 1/2 rozsahu



Obr. C.4: Zkreslení THD a přenosová funkce kompresoru při konstantní frekvenci 315 Hz a nastavení RATIO 1:60