

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2021

Miroslav Pavlik



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

KOMPRESOR UNIVERSAL AUDIO 1176

UNIVERSAL AUDIO 1176 COMPRESSOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Pavlik

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Jaroslav Koton, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**
specializace Zvuková produkce a nahrávání
Ústav telekomunikací

Student: Miroslav Pavlik

ID: 212569

Ročník: 3

Akademický rok:
2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Kompresor Universal Audio 1176

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s významem kompresoru v audio technice. Popište jeho jednotlivé variantní řešení a místo jejich praktického nasazení v řetězci při zpracování audio signálů. Pozornost soustředte na kompresor 1176 a jeho jednotlivé revize. Vyberte jednu z revizí a podrobně analyzujte její schéma. V případě nedostupnosti některých, především aktivních prvků, diskutujte možné náhrady. Chování jednotlivých částí kompresoru ověřte simulacemi a zhodnoťte vhodnost zvolených náhrad. Konečné řešení prakticky realizujte a jeho činnost ověřte laboratorními a experimentálními měřeními.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PŘIBILOVÁ, A.: Zvuková technika, STU, 2012, ISBN: 978-8022737104.

[2] 1176 and LA-2A Hardware Revision History,

<https://www.uaudio.com/blog/1176-la2a-hardware-revision-history>, [cit: 2020-09-14]

Termín zadání: 1.2.2021

Termín odevzdání: 31.5.2021

Vedoucí práce: prof. Ing. Jaroslav Koton, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.
předseda rady studijního
programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s problematikou analogového kompresoru Universal Audio 1176 a ověřit funkčnost a princip jednotlivých schématických bloků tohoto kompresoru. Bakalářská práce poukazuje na podrobné analýzy jednotlivých bloků kompresoru 1176. Pro ověření správné funkčnosti kompresoru 1176 byla sestavena praktická realizace, na které byly vykonané měření v laboratoři.

Klíčová slova

Dynamický procesor, kompresor, limiter, de-esser, expander, prahová úroveň, kompresní poměr

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to get acquainted with the issue of analog compressor Universal Audio 1176 and verify the functionality and principles of individual block diagrams of this compressor. The bachelor's thesis is carried out for a detailed analysis of individual blocks of compressor 1176. A practical implementation was constructed, to verify the correct functionality of compressor 1176 on measurements, which were performed in the laboratory.

Keywords

Dynamic processor, compressor, limiter, de-esser, expander, Threshold, Ratio

Bibliografická citace

PAVLIK, Miroslav. *Kompresor Universal Audio 1176*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133481>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Jaroslav Koton.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Miroslav Pavlik*

VUT ID studenta: *212569*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2020/21*

Téma závěrečné práce: *Kompresor Universal Audio 1176*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 31.května.2021

podpis autora

Poděkování

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce prof. Ing. Jaroslavovi Kotónovi Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce. Taktiež by som chcel poďakovať môjmu otcovi Ing. Milanovi Pavlikovi za pomoc a rady pri tvorbe praktickej realizácie kompresora 1176.

V Brně dne: 31.května 2021

podpis autora

Obsah

SEZNAM TABULEK.....	12
ÚVOD	13
1. DYNAMICKÉ PROCESORY	14
1.1 SLEDOVAČ OBÁLKY	14
1.2 FILTRÁCIA ZVUKOVÝCH SIGNÁLOV	16
1.2.1 <i>Filter s nekonečnou impulzovou odozvou – IIR</i>	16
1.2.2 <i>Filter s konečnou impulzovou odozvou – FIR</i>	16
2. DELENIE DYNAMICKÝCH PROCESOROV	17
2.1 KOMPRESOR	17
2.1.1 <i>Jednopásmový frekvenčný kompresor</i>	17
2.1.2 <i>Viacpásmový kompresor</i>	18
2.2 LIMITER	19
2.3 DE-ESSER	20
2.4 EXPANDER	21
2.5 ŠUMOVÁ BRÁNA.....	21
2.5.1 <i>Hold</i>	22
2.5.2 <i>Depth</i>	22
2.5.3 <i>Detekcia špičiek</i>	22
2.6 DUCKER	23
3. KOMPRESIA DYNAMICKÉHO ROZSAHU	24
3.1 KOMPRESIA DYNAMICKÉHO ROZSAHU	24
3.2 ROZDELENIE KOMPRESIE PODĽA POUŽITIA	25
3.2.1 <i>Side-chain kompresia</i>	25
3.2.2 <i>Paralelná kompresia</i>	25
3.2.3 <i>Sériová kompresia</i>	25
3.2.4 <i>Multiband kompresia</i>	25
4. PARAMETRE A DELENIE KOMPRESOROV	26
4.1 THRESHOLD	26
4.2 RATIO.....	26
4.3 ATTACK	27
4.4 RELEASE	27
4.5 KOLENO	28
4.5.1 <i>Mäkké koleno</i>	28
4.5.2 <i>Tvrde koleno</i>	28
4.6 VSTUPNÝ ZISK.....	28
4.7 ROZDELENIE KOMPRESOROV PODĽA TOPOLOGIE.....	29
4.7.1 <i>Tube kompresory</i>	29
4.7.2 <i>Opto-kompresory</i>	29
4.7.3 <i>FET Kompresory</i>	30
4.7.4 <i>VCA Kompresory</i>	30
5. KOMPRESOR 1176.....	31

5.1	POPIS ČASTÍ A PARAMETROV KOMPRESORA 1176	31
5.1.1	Merací prístroj	31
5.1.2	Funkcia Meter	31
5.1.3	Kompresný pomer	31
5.1.4	Vstupná úroveň	31
5.1.5	Výstupná úroveň	31
5.1.6	Attack	31
5.1.7	Release	31
5.1.8	Režim stereo	32
5.2	TECHNICKÁ ŠPECIFIKÁCIA KOMPRESORA 1176	32
5.3	HISTÓRIA KOMPRESORA 1176	32
5.3.1	Kompresor 1176 Revízia A	33
5.3.2	Kompresor 1176 Revízia B	33
5.3.3	Kompresor 1176 Revízia C	33
5.3.4	Kompresor 1176 Revízia D	33
5.3.5	Kompresor 1176 Revízia E	33
5.3.6	Kompresor 1176 Revízia F	33
5.3.7	Kompresor 1176 Revízia G	34
5.3.8	Kompresor 1176 revízia AE „Anniversary Edition“	34
5.4	POUŽITIE KOMPRESORA 1176 V PRAXI	34
6.	POPIS FUNKČNÝCH BLOKOV, KOMPONENTOV A ANALÝZ KOMPRESORA 1176	
	REVÍZIE D.....	35
6.1	ROZBOR	35
6.2	ANALÝZA VSTUPNÉHO OBVODU	36
6.3	SIGNÁLOVÝ PREDZOSILŇOVAČ	37
6.3.1	Nízkošumové obvody	37
6.3.2	Rozbor obvodu riadenia redukcie zisku	37
6.3.3	Rozbor Signálového predzosilňovača	38
6.4	KONCOVÝ ZOSILŇOVAČ	39
6.5	KONTROLNÝ OBVOD RIADENIA REDUKCIE ZISKU	41
6.5.1	Riadenie kompresie kompresora 1176	42
6.5.2	Rozbor Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku	42
6.6	INDIKAČNÝ OBVOD	45
6.7	ZDROJ NAPÁJANIA	45
7.	PRAKTICKÁ REALIZÁCIA KOMPRESORA 1176	47
7.1	HLAVNÁ DPS KOMPRESORA 1176	48
7.2	DPS ATTACK A RELEASE	48
7.3	DPS RATIO	48
7.4	DPS RIADENIA REDUKCIE ZISKU	49
7.5	DPS ZDROJ	49
7.6	DPS VU METER	49
8.	KALIBRÁCIA KOMPRESORA 1176	50
8.1	NASTAVENIE PREDPÄTIA Q	50
8.2	OBVOD MERACIEHO PRÍSTROJA	50
8.3	PRISPŮSOBENIE MERACIEHO PRÍSTROJA	51
8.4	KOREKCIA SKRESLENIA	51

9. OVERENIE FUNKČNOSTI PRAKTICKEJ REALIZÁCIE KOMPRESORA 1176	52
9.1 MERANIE PREVODNEJ CHARAKTERISTIKY	52
9.2 KMITOČTOVÁ CHARAKTERISTIKA KOMPRESORA 1176.....	53
9.3 ZÁVISLOSŤ ZOSILNENIA NA VSTUPNOM SIGNÁLI	54
9.4 HARMONICKÉ SKRESLENIE (THD)	54
9.4.1 <i>Harmonické skreslenie + šum (THD+N)</i>	55
9.5 MERANIE ATTACK	56
9.6 MERANIE RELEASE	57
ZÁVĚR	58

Seznam obrázků

Obr. 1-1 Bloková schéma dynamického procesoru	14
Obr. 1-2 Schéma sledovača obálky	15
Obr. 1-3 Detektor obálky	15
Obr. 2-1 Bloková schéma kompresora.....	17
Obr. 2-2 Bloková schéma frekvenčne závislého kompresora	18
Obr. 2-3 Bloková schéma viacpásmového kompresora	18
Obr. 2-4 Bloková schéma limitera	19
Obr. 2-5 Aplikácia limitácie na zvukový signál.....	19
Obr. 2-6 Kompresia zvukového signálu s definovanou šírkou pásma kmitočtu.....	20
Obr. 2-7 Bloková schéma de-essera.....	20
Obr. 2-8 Bloková schéma expanderu	21
Obr. 2-9 Bloková schéma šumovej brány	22
Obr. 2-10 Bloková schéma duckera.....	23
Obr. 3-1 Aplikácia kompresie na zvukový signál	24
Obr. 3-2 Bloková schéma paralelnej kompresie	25
Obr. 4-1 Prevodná charakteristika kompresora.....	26
Obr. 4-2 Časové konštanty kompresora	27
Obr. 4-3 Prevodná charakteristiky kompresora (Mäkké/Tvrde koleno)	28
Obr. 4-4 Manley Vari-Mu Limiter Kompresor [15]	29
Obr. 4-5 UAD LA-2A Kompresor [16]	29
Obr. 4-6 UAD 1176 REV.D Kompresor [14]	30
Obr. 4-7 LCA 2B Tube VCA Kompresor [17]	30
Obr. 6-1 Bloková schéma kompresora 1176.....	35
Obr. 6-2 Časová analýza vstupného obvodu.....	36
Obr. 6-3 Schéma vstupného obvodu.....	36
Obr. 6-4 Schéma signálového predzosilňovača	37
Obr. 6-5 Frekvenčná analýza obvodu predzosilňovača	38
Obr. 6-6 Schéma obvodu koncového zosilňovača	39
Obr. 6-7 Frekv. odozva koncového zosilňovača pri krokovani potenc. <i>Output</i>	39
Obr. 6-8 Schéma Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku	41
Obr. 6-9 Frekvenčná odozva Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku	42
Obr. 6-10 Časová analýza signálu po usmernení diódami D_2 , D_3	43
Obr. 6-11 Krokovanie potenciometra <i>Attack</i>	44
Obr. 6-12 Krokovanie potenciometra <i>Release</i>	44
Obr. 6-13 Schéma indikačného obvodu.....	45
Obr. 6-14 Schéma zdroja napájania	46
Obr. 7-1 Šasi kompresora 1176 rev. D.....	47
Obr. 7-2 Bloková schéma šasi kompresora 1176.....	47
Obr. 7-3 Umiestnenie komponentov v šasi	47
Obr. 9-1 Prevodná charakteristika kompresora 1176.....	53
Obr. 9-2 Kmitočtová charakteristika kompresora 1176	53
Obr. 9-3 Závislosť zosilnenia na vstupnom signáli.....	54
Obr. 9-4 THD kompresora 1176.....	55
Obr. 9-5 THD+N kompresora 1176.....	55
Obr. 9-6 Meranie časovej konštanty <i>Attack</i>	56
Obr. 9-7 Meranie časovej konštanty <i>Release</i>	57

Obr. 9-8 Schéma Kompresora 1176 rev. D.....	62
Obr. 9-9 Schéma hlavnej DPS	65
Obr. 9-10 Meď - vrstva <i>Top</i>	66
Obr. 9-11 Meď - vrstva <i>Bottom</i>	67
Obr. 9-12 Osadenie súčiastok <i>Top</i>	68
Obr. 9-13 Schéma DPS Ratio	69
Obr. 9-14 Meď - vrstva <i>Top</i>	69
Obr. 9-15 Meď - vrstva <i>Bottom</i>	69
Obr. 9-16 Osadenie súčiastok - vrstva <i>Top</i>	70
Obr. 9-17 Osadenie súčiastok - vrstva <i>Bottom</i>	70
Obr. 9-18 Schéma DPS riadenia redukcie zisku	71
Obr. 9-19 Meď - vrstva <i>Top</i>	71
Obr. 9-20 Meď - vrstva <i>Bottom</i>	71
Obr. 9-21 Osadenie súčiastok - vrstva <i>Top</i>	72
Obr. 9-22 Osadenie súčiastok - vrstva <i>Bottom</i>	72
Obrázok 9-23 Schéma DPS <i>Attack</i> a <i>Release</i>	73
Obr. 9-24 Meď - vrstva <i>Top</i>	73
Obr. 9-25 Meď - vrstva <i>Bottom</i>	73
Obr. 9-26 Osadenie súčiastok - vrstva <i>Top</i>	74
Obr. 9-27 Osadenie súčiastok - vrstva <i>Bottom</i>	74
Obr. 9-28 Schéma DPS Zdroj	75
Obr. 9-29 Meď - vrstva <i>Top</i>	75
Obr. 9-30 Osadenie súčiastok - vrstva <i>Top</i>	75
Obr. 9-31 Osadenie súčiastok - vrstva <i>Bottom</i>	76
Obr. 9-32 Schéma DPS VU Metra.....	76
Obr. 9-33 Meď - vrstva <i>Top</i>	76
Obr. 9-34 Osadenie súčiastok - vrstva <i>Top</i>	76

SEZNAM TABULEK

Tabuľka 9.1 Porovnanie parametrov praktickej realizácie s parametrami výrobcu	57
---	----

ÚVOD

Kompresor Universal Audio 1176 je jeden z najpoužívanejších kompresorov v nahrávacích štúdiách doteraz. Jeho jednoduchá obsluha a skvelé zvukové vlastnosti ho predurčujú k tomu, že sa stal štandardom všetkých profesionálnych nahrávacích štúdií po celom svete.

Bakalárska práca má deväť kapitol. V prvej kapitole sú vysvetlené vlastnosti dynamických procesorov, ich základná štruktúra a podstata nasadenia pri úprave dynamiky zvukových signálov, zaoberá sa vysvetlením princípu detektora obálky a filtrov s konečnou a nekonečnou impulznou odozvou, ktoré sú prítomné vo vybraných typoch dynamických procesorov.

Druhá kapitola popisuje delenie dynamických procesorov podľa typológie. Na znázornených blokových schémach vysvetľuje princíp jednotlivých dynamických procesorov.

Tretia kapitola sa zaoberá princípom kompresie dynamického rozsahu a delenia podľa typu aplikácie na zvukový signál.

V štvrtej kapitole sú podrobne popísané a vysvetlené statické a dynamické parametre kompresora a tiež rozdelenie kompresorov podľa typológie.

Piata kapitola sa venuje kompresoru Universal Audio 1176, popisuje jeho parametre, evolučný vývoj a jednotlivé revízie predmetného kompresora.

Šiesta kapitola podrobne analyzuje jednotlivé funkčné bloky kompresora 1176, podrobne popisuje a vysvetľuje elementárne princípy kompresora 1176 a vysvetľuje podstatu komprimácie zvukového signálu kompresora 1176 s priloženými výpočtami jednotlivých zesilňovacích stupňov.

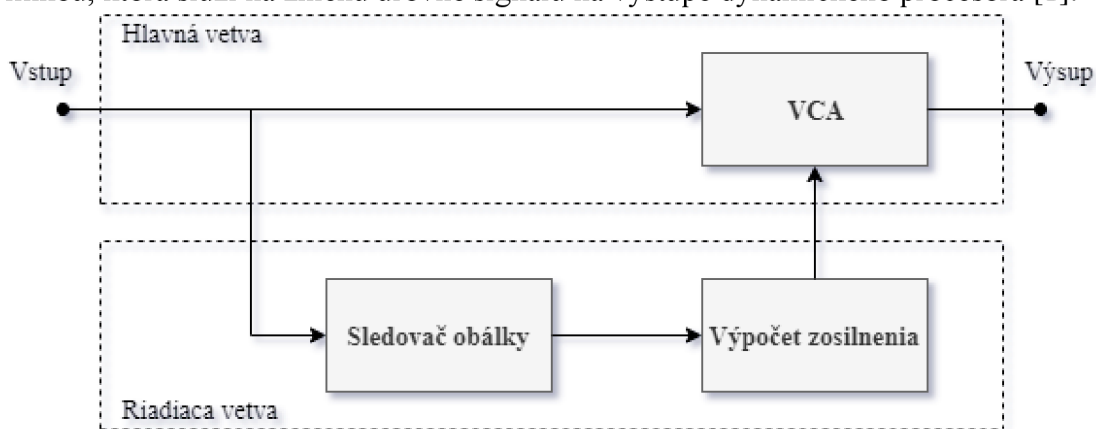
V praktickej realizácii kompresora 1176 sa venuje siedma kapitola. Prináša podrobný popis všetkých prítomných dosiek plošných spojov.

V ôsmej kapitole je vysvetlený princíp kalibrácie kompresora 1176 v jednotlivých vykonaných krokoch, ktoré sú potrebné pre správnu činnosť kompresora.

Deviata kapitola uzatvára tému bakalárskej práce. Komplexne popisuje experimentálne merania praktickej realizácie kompresora 1176 v laboratóriu. Každé experimentálne meranie podrobne vysvetľuje a hodnotí.

1. DYNAMICKÉ PROCESORY

Dynamické procesory sú zariadenia na úpravu dynamiky a spracovanie zvukových signálov v audiotechnike. Dynamický rozsah zvukového signálu je definovaný ako pomer medzi najsilnejšou a najslabšou úrovňou zvukového signálu a taktiež môže byť definovaný v odbornej terminológii ako SNR – odstup signálu od šumu. Dynamický rozsah sa udáva v decibeloch, pretože môže dochádzať k veľkým zmenám hlasitosti medzi rôznymi úrovňami daného zvukového signálu. Pri dynamických procesoroch je dynamický rozsah obmedzený napájacím napätím. Dynamické procesory na profesionálne použitie majú výstupnú úroveň signálu až +26 dBu, pričom úroveň šumu je na úrovni -94 dBu. Pri zrátaní týchto hodnôt dostávame dynamický rozsah procesora až 120 dB, ktorý je porovnateľný s dynamickým rozsahom ľudského ucha. Dynamické procesory menia zvukový signál na základe frekvenčného obsahu a amplitúdovej úrovne signálu. V praxi sa je možné stretnúť s dynamickými procesormi ako sú napríklad kompresor, limiter, šumová brána, expander, de-esser. Medzi dynamické procesory sa taktiež radia potláčače spätných väzieb, zosilňovače, *enhancery* a rada iných efektov na úpravu dynamiky zvukových signálov. Všetky dynamické procesory majú podobnú štruktúru, ktorá je znázornená na Obr. 1-1. Pri dynamických procesoroch sa radí do priamej vetvy oneskorovacia linka, ktorá oneskorí vstupný signál riadený radiacou linkou, ktorá slúži na zmenu úrovne signálu na výstupe dynamického procesora [1].



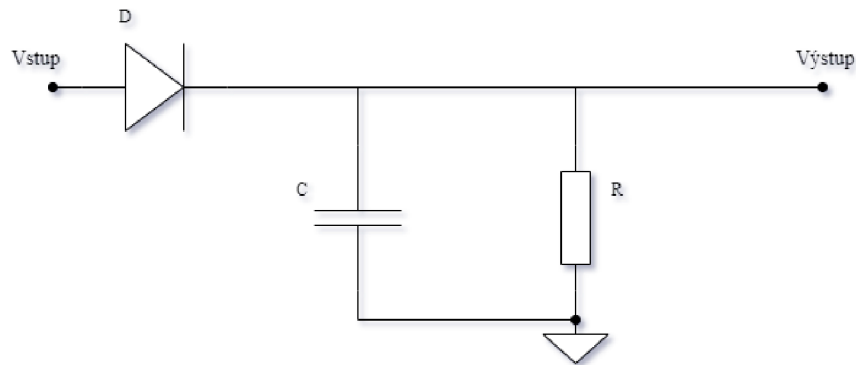
Obr. 1-1 Bloková schéma dynamického procesoru

Pri výrobe väčšiny dynamických procesorov sa do cesty riadiacej vetvy vloží konektor TRS, ktorý umožňuje vloženie ľubovoľného zariadenia do cesty kompresora. Tento vstup je vo väčšine prípadov nazývaný ako *Side-chain* [1].

1.1 Sledovač obálky

Sledovač je elektrický obvod, ktorého výstupom je rýchlo meniaci sa vstupný signál v čase. Existuje mnoho typov detektorov obálky zvukového signálu. Najjednoduchší sledovač obálky je polovodičový usmerňovač napätia, ktorý nabíja kondenzátor. Keď sa

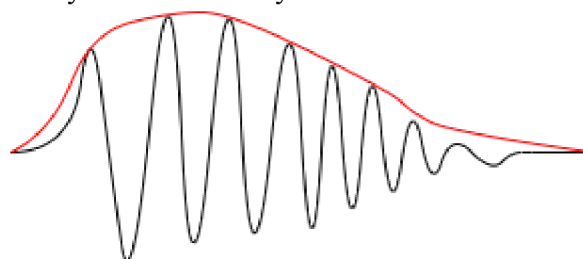
zvýši amplitúda vstupného signálu, napätie na kondenzátore sa zvýši cez usmerňovaciú diódu. Keď amplitúda vstupného signálu klesne, kondenzátor sa vybije cez rezistor. Tento polovodičový usmerňovač sa v praxi používa veľmi často kvôli jednoduchému a lacnému prevedeniu. Celý obvod usmerňovača sa spolieha na správnu prácu diódy. Tým, že je dióda nelineárnym komponentom, tak zvyšuje sa miera THD na 5-10% . Tento typ usmerňovača sa používa predovšetkým v zábavnej elektronike, *HI-FI* sústavách, rádiách a podobne. Na Obr. 1-2 je zobrazená schéma sledovača obálky [2].



Obr. 1-2 Schéma sledovača obálky

V profesionálnej zvukovej technike sa využívajú integrované obvody nazývané ako RMS/Peak demodulátory alebo detektory. Detektor obálky by mal mať rýchlu odozvu na rýchle zvýšenie úrovne vstupného signálu, aby sa zabránilo saturácii digitálnej aritmetiky, preťaženiu výstupného zosilňovača alebo prekročeniu prahu bolesti poslucháča. Detektor by mal súčasne vyhladzovať zmeny v odhadoch šumu a ustálených signáloch, ktoré sú vnímané, ako signály s konštantnou hlasitosťou. Pre detektor je typická pomalá odozva na zníženie úrovne signálu, aby sa zabránilo poruchám zariadenia. Takéto správanie vedie k vzniku detektora špičiek, pretože ma tendenciu sledovať vrcholy vstupného signálu [4].

Na Obr. 1-3 je zobrazený detektor obálky.



Obr. 1-3 Detektor obálky

Pri týchto sledovačoch obálky je dôležitá časová konštanta τ . Pri nesprávnom zvolení jej veľkosti môže dochádzať k skresleniu obálky. Ak je zvolená časová konštanta τ príliš veľká, tak výsledná obálka nebude kopírovať amplitúdové zmeny signálu. Ak časovú konštantu zvolíme príliš krátku tak obálka bude zmeny v signáli kopírovať až priveľmi a môže dôjsť k zániku obálky. Ideálnu veľkosť obálky je možné odhadnúť pomocou hodnoty RMS (efektívna hodnota signálu) [2].

Pre sledovače obálky prvého radu platí rovnica (1.1).

$$\tau = RC = \frac{1}{2\pi f_c} \quad (1.1)$$

1.2 Filtrácia zvukových signálov

V dynamických procesoroch na spracovanie zvukových signálov sa často nachádzajú filtre na úpravu frekvenčných pásiem vstupného signálu. Ideálnym príkladom pre takýto typ dynamického procesora je viac-pásmový kompresor. Nízke frekvencie sú filtrované filtrom typu dolná prepust', naopak vysoké frekvencie sú filtrované filtrom typu horná prepust'. Zvyšné medzifrekvenčné pásma sú filtrované pásmovým filtrom. V prípade viac-pásmového kompresora je kompresia aplikovaná zvlášť pre jednotlivé pásma [4].

1.2.1 Filter s nekonečnou impulzovou odozvou – IIR

Jedným zo spôsobov navrhnutia filtrov je použitie digitálneho spracovania zvukových signálov, ktorým sú realizované varianty analógových filtrov. Tento prístup využíva filtre nekonečnej impulzovej odozvy – IIR. Sú realizované rekurzívne, to znamená že vždy obsahujú spätnú väzbu. Vo filtri IIR závisí výstupná vzorka od aktuálnych a minulých vstupných vzoriek a od minulých výstupných vzoriek [4].

1.2.2 Filter s konečnou impulzovou odozvou – FIR

Filtre typu FIR sú filtre bez spätnej väzby. Pri nerekurzívnej realizácii má filter všetky póly v počiatku, čo mu zaručuje stabilitu. Pri filtroch typu FIR je výsledná kmitočtová charakteristika lineárna v celom rozsahu [4].

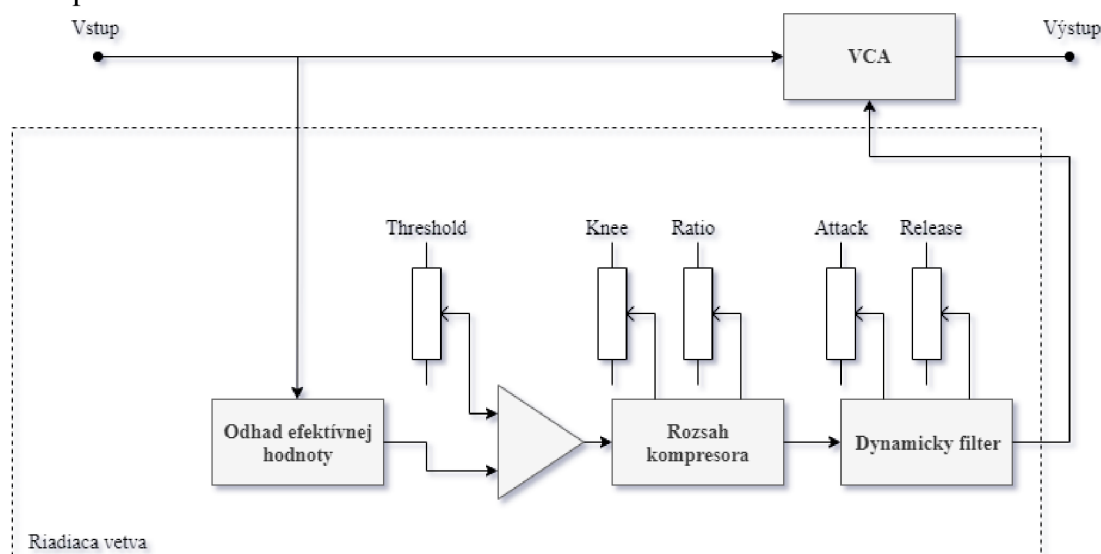
2. DELENIE DYNAMICKÝCH PROCESOROV

2.1 Kompresor

Kompresor je typ dynamického procesora, ktorý slúži na zníženie dynamiky zvukového signálu. Kompresor začne komprimovať zvukový signál nad nastavenou prahovou úrovňou o hodnotu definovanú kompresným pomerom. Kompresor mení dynamiku zvukového signálu za účelom estetiky, zrozumiteľnosti prejavu a prenosu zvukového záznamu [1].

Vstupný zvukový signál je v kompresory rozdelený do dvoch vetví. Signál, ktorý je poslaný do vetvy priamej je zosilnený zosilňovačom s variabilným zosilnením. Zvukový signál, ktorý bol odbočený do riadiacej vetvy je spracovaný detektorom efektívnej hodnoty alebo detektorom špičiek. Podľa veľkosti úrovne vstupného signálu sa aplikuje v bočnom reťazci požadované zníženie zosilnenia zvukového signálu. Následne je signál privedený na vstup zosilňovača s variabilným zosilnením, kde je sčítaný so signálom priamej vetvy. Kompresor ako dynamický procesor obsahuje radu nastaviteľných parametrov, pričom ich nastavenie je volené s ohľadom na vstupný zvukový signál [3].

Vysvetlenie princípu jednotlivých častí kompresora je podrobne vysvetlené v kapitole 4.

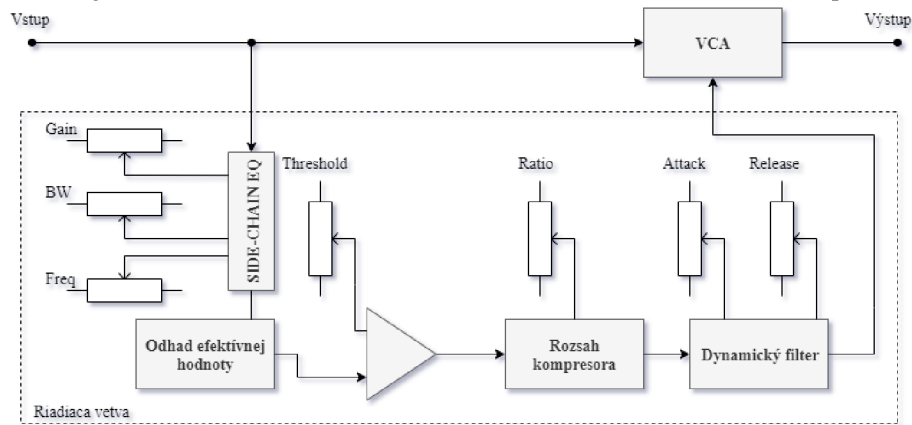


Obr. 2-1 Bloková schéma kompresora

2.1.1 Jednopásmový frekvenčný kompresor

Frekvenčne závislý kompresor ma pred sledovačom obálky v riadiacej vetve zaradený parametrický ekvalizér typu zvon. Takýto typ kompresora sa v praxi nazýva aj dynamický ekvalizér, ktorým je možné ovplyvňovať celkový zisk, šírku pásma a frekvenciu [1].

Na Obr. 2-2 je znázornená bloková schéma frekvenčne závislého kompresora.

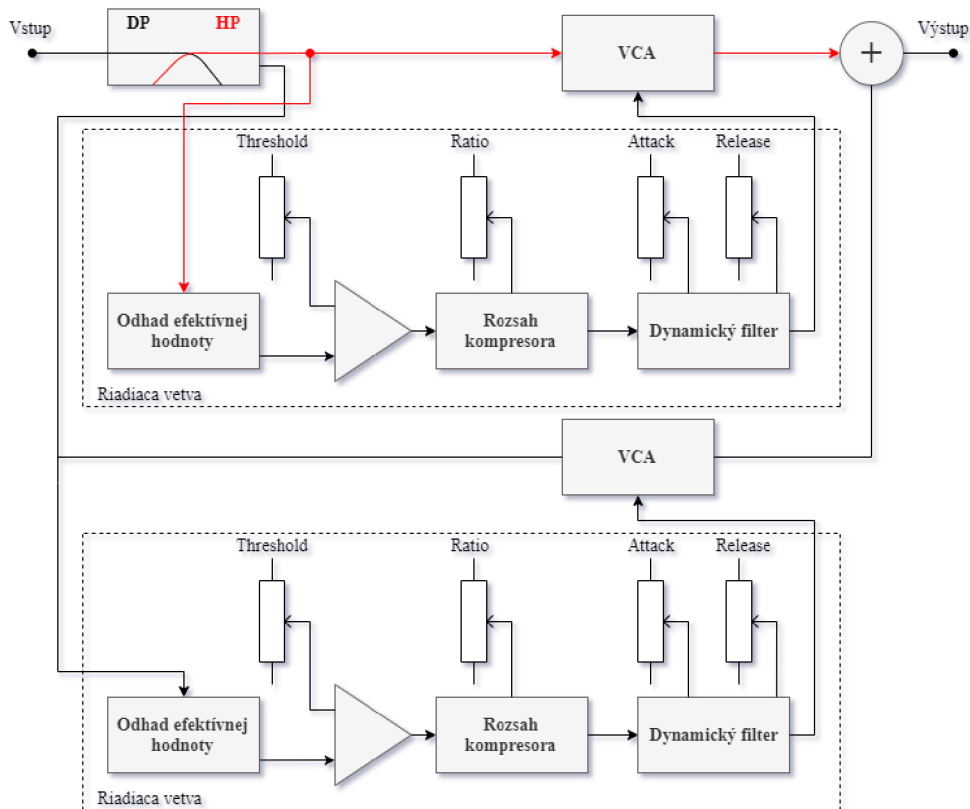


Obr. 2-2 Bloková schéma frekvenčne závislého kompresora

2.1.2 Viacpásmový kompresor

Viacpásmový kompresor je obdoba jednopásmového kompresora. Pri jednopásmovom kompresore je do riadiacej vetvy umiestnený jeden parametrický ekvalizér. Pri viacpásmovom kompresore je v riadiacej vetve vložených viacero parametrických ekvalizérov. Hlavný rozdiel medzi jednopásmovým a viacpásmovým kompresorom je v počte dynamických filtrov a množstvu čiastkových kompresorov [1].

Na Obr. 2-3 je znázornená schéma viacpásmového kompresora.

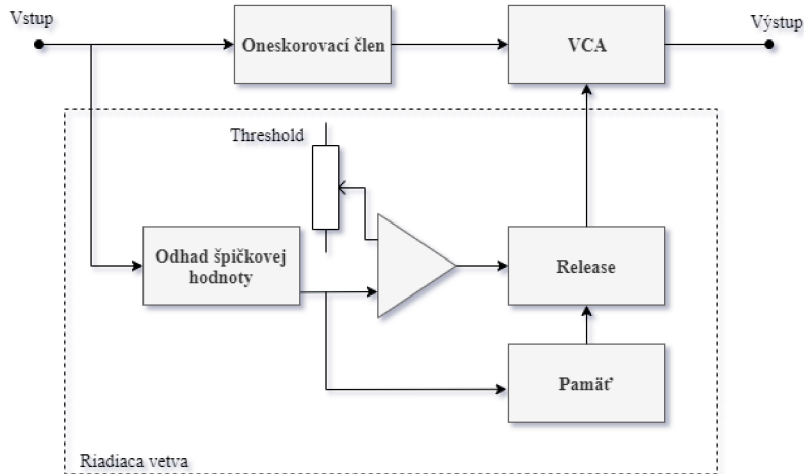


Obr. 2-3 Bloková schéma viacpásmového kompresora

2.2 Limiter

Topológia limitera je veľmi podobná topológií kompresora. V zjednodušení sa dá povedať, že kompresor je limiter s kompresným pomerom $\infty:1$. Limiter má za úlohu zabezpečiť, aby signál nikdy neprekročil nastavenú prahovú hodnotu [1].

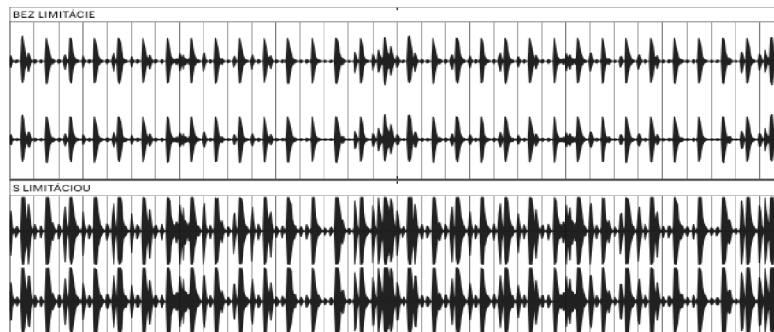
Obr. 2-4 predstavuje základnú blokovú schému limitera.



Obr. 2-4 Bloková schéma limitera

Princíp a funkcia *limitera* v praxi je veľmi jednoduchá, no vo veľa prípadoch je tento efekt príliš nápadným a pri zlom nastavení znie často nepríjemne. Náhla limitácia signálu spôsobí výraznú zmenu zvuku a nastavenie doby uvoľnenia signálu (*Release*) je často problematické. Digitálne spracovanie signálov umožnilo vyriešiť tento problém tak, že do hlavnej vetvy kompresora sa pridala oneskorovacia linka, ktorá umožnila čas na reakciu riadiacej linke reagovať na vstupný signál ešte pred prekročením prahovej hodnoty. Taktiež bola pridaná pamäť kompresora, ktorá dáva systému vedomosti o stave signálu, ktorý už bol spracovaný ale taktiež predpokladá stav signálu, ktorý bude spracovaný [1].

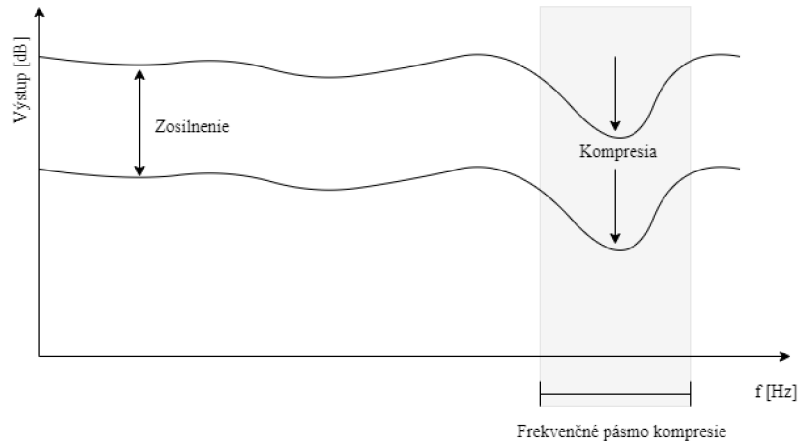
Väčšina dynamických procesorov obsahuje aj funkciu *limitera* nezávislú od kompresora. *Limiter* sa primárne používa proti preťaženiu zariadení [1].



Obr. 2-5 Aplikácia limitácie na zvukový signál

2.3 De-esser

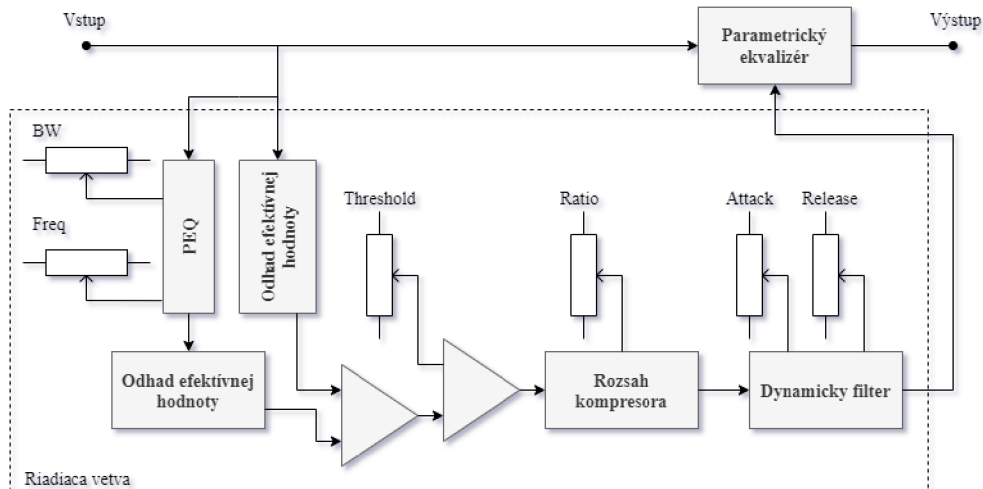
De-esser je dynamický procesor, ktorý sa radí medzi dynamické ekvalizéri. Jeho prioritou je potláčať frekvenčné pásmo v oblasti 4-10 kHz. V tomto pásme sa nachádzajú „sykavky“, inak nazývané sibilanty. *De-essing* závisí od pomeru úrovne sykaviek a úrovne širokopásmového signálu. *De-essing* nie je ovplyvnený absolútnou úrovňou signálu čo umožňuje udržiavať správny pomer celého frekvenčného pásma k pásmu sykaviek bez ohľadu na úroveň signálu [1].



Obr. 2-6 Kompresia zvukového signálu s definovanou šírkou pásma kmitočtu

De-esser pracuje rovnako či už ide o signály s vyššou úrovňou hlasitosti alebo nižšou. *De-esser* je veľmi špecifický typ dynamického procesora, ktorý je zložený z viacerých čiastkových dynamických procesorov. Súčasťou *De-essera* je frekvenčne závislý kompresor, dynamický ekvalizér, ktorý je vložený do riadiacej vetvy kompresora a taktiež vloženie parametrického ekvalizéra do hlavnej vetvy kompresora. Dynamický ekvalizér je realizovaný pomocou parametrického ekvalizéra. Riadiaca vetva *de-essera* je citlivá len na vybrané pásmo frekvenčného spektra signálu [1].

Na Obr. 2-7 je znázornená základná schéma *de-essera*.

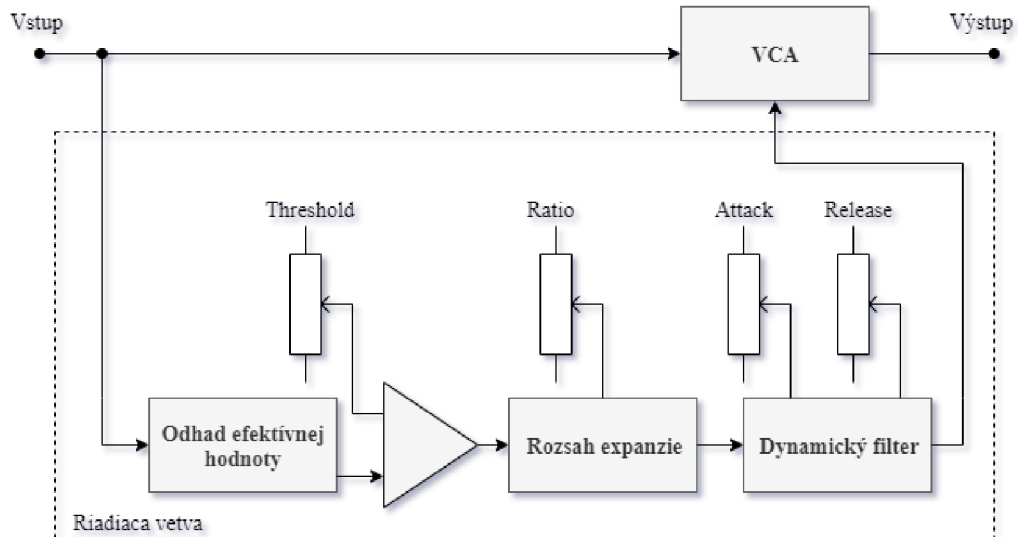


Obr. 2-7 Bloková schéma de-essera

2.4 Expander

Funkcia expanderu spočíva v navýšení dynamického rozsahu zvukového signálu. Expander je vo svojej podstate typ kompresora s rovnakou alebo veľmi podobnou štruktúrou. Expander na rozdiel od kompresora upravuje zosilnenie pod nastavenou prahovou úrovňou. Toto zosilnenie sa nazýva pomer expanzie (*Ratio*) [1].

Na obrázku Obr. 2-8 je znázornená bloková schéma expanderu.



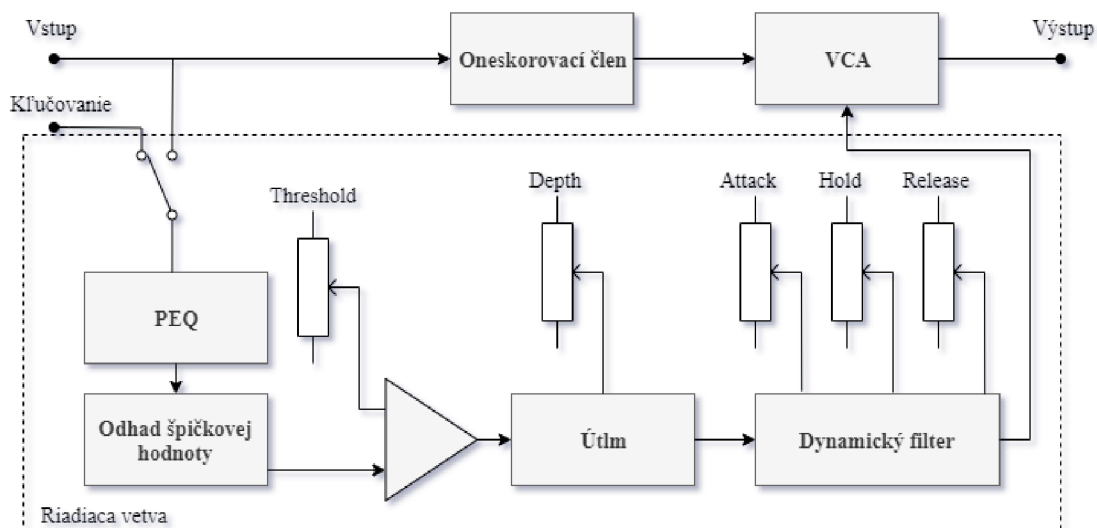
Obr. 2-8 Bloková schéma expanderu

Najčastejšou aplikáciou expanderu je potlačenie šumu vo zvukovom signáli. Povedzme, že prahová hodnota expanderu je nastavená tesne pod najtichšou úrovňou zvukového signálu s pomerom expanzie 2:1. Pri prerušení alebo zastavení úroveň zvukového signálu klesne pod prahovú hodnotu až na úroveň šumu. Pri skokovej zmene -10 dB expander signál zoslabuje o 20 dB čo vedie k zlepšeniu redukcie šumu [1].

2.5 Šumová brána

Šumová brána je dynamický procesor v extrémnom nastavení expanderu, niečo podobné akoby sme porovnávali limiter s kompresorom. Šumová brána riadi zosilnenie pod nastavenou prahovou úrovňou rovnako ako expander a taktiež musí mať rýchlu odozvu na spracovávaný signál. To znamená, že rovnako ako limiter potrebuje v jej bočnom reťazci aplikáciu detektora špičiek. Šumová brána používa fixný pomer expanzie $\infty:1$ s voľne nastaviteľnou prahovou úrovňou [1].

Všeobecná bloková schéma šumovej brány je znázornená na Obr. 2-9.



Obr. 2-9 Bloková schéma šumovej brány

2.5.1 Hold

Tento parameter šumovej brány určuje čas zdržania otvorenia šumovej brány po poklese riadiaceho signálu pod nastavenú prahovú úroveň [1].

2.5.2 Depth

Tento parameter je súčasťou každej šumovej brány s rozsahom 0 až -80 dB. Určuje mieru útlmu signálu pod nastavenou prahovou úrovňou. Využitie šumových brán je rôzne. Často sa používajú na potlačenie presluchozov zo susedných mikrofónov. Šumová brána ma aj estetickú funkciu a používa sa na zlepšenie tranzientov perkusívnych nástrojov [1].

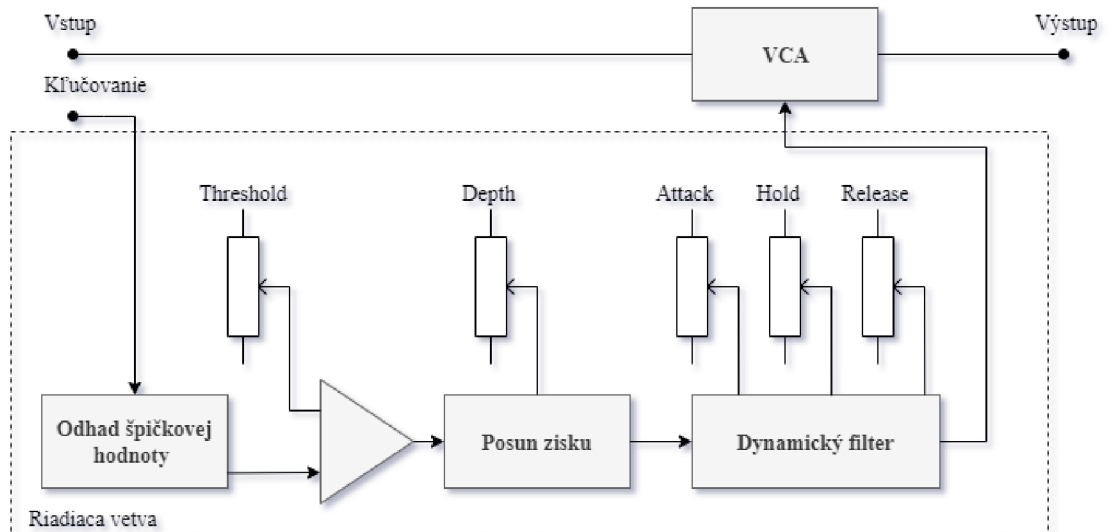
2.5.3 Detekcia špičiek

Pre dokonalé zachytenie špičiek signálu sa používa v hlavnej vetve rovnako ako pri *limiteri* oneskorovacia linka, ktorá umožní detektoru skôr reagovať na rôzne úrovne signálu. Šumová brána pracuje s *Look-Ahead* detektorom, ktorý zvukový signál v hlavnej vetve oneskorí zatiaľ čo signál v riadiacej vetve vôbec neovplyvní. To zabezpečí šumovej bráne reagovať na zvukový signál ešte pred tým než signál klesne pod nastavenú prahovú úroveň [1].

Ďalšou formou detekcie špičiek je *Pre-ramping*. *Pre-ramping* ovplyvňuje signál ešte pred prekročením prahovej úrovne. *Pre-ramping* zachováva pôvodný tvar obálky zvukového signálu. Kombinácia týchto dvoch detektorov špičiek zachováva frekvenčné spektrum nábežnej hrany signálu s frekvenciou vyššou ako 1 kHz a zosilňuje zvukový signál s frekvenciou pod 1 kHz bez nepríjemného kliknutia z dôsledku nízkej prahovej úrovne [1].

2.6 Ducker

Ducker je dynamický zvukový procesor, ktorý riadi zoslabenie zisku jedného zvukového signálu na základe veľkosti úrovne iného zvukového signálu. *Ducker* je založený na princípe kľučovania externého signálu privádzaného na vstup riadiacej vetvy. Tento vstup sa nazýva *Side-chain*. Ak externý signál v riadiacej vetve prekročí prahovú úroveň vstupný signál v hlavnej vetve sa začne komprimovať. Na obrázku je znázornená základná bloková schéma *duckera* [1].



Obr. 2-10 Bloková schéma duckera

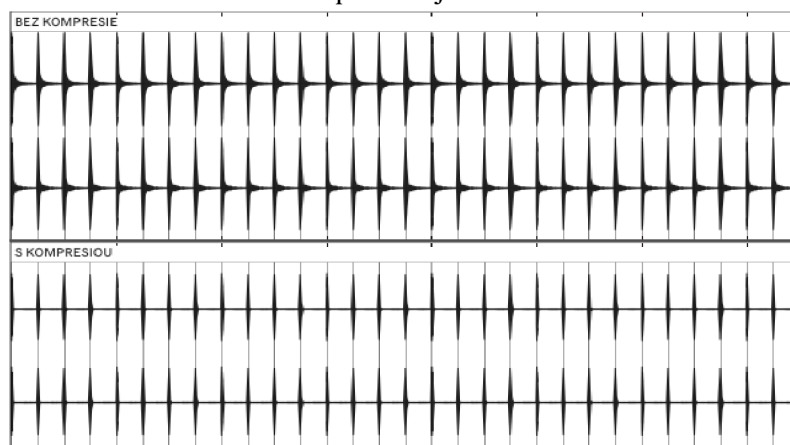
Časté použitie tohto efektu je aplikované v DJ mixážnych pulloch, kde vstupný signál z mikrofónu riadi úroveň signálu v linke mixážneho pultu. Jednoducho povedané ak DJ začne rozprávať do mikrofónu prehrávaná hudba sa automaticky stíši. Tento efekt je pomenovaný ako *Talk-over* [1].

3. KOMPRESIA DYNAMICKÉHO ROZSAHU

3.1 Kompresia dynamického rozsahu

Kompresia dynamického rozsahu zvukového signálu je operácia, ktorá znižuje dynamický rozsah zvukového signálu a mení jeho estetiku. Princíp kompresie spočíva v tom že, zvyšuje počiteľnosť zložiek nižšej amplitúdovej úrovne daného zvukového signálu. Časti zvukového signálu, ktoré majú vyššiu amplitúdovú úroveň potláča, a tým sa dynamicky rozsah zvukového signálu znižuje [5].

Grafické znázornenie činnosti kompresora je na Obr. 3-1.



Obr. 3-1 Aplikácia kompresie na zvukový signál

Kompresor riadi výstupné zosilnenie zvukového signálu na základe vstupnej úrovne zvukového signálu. Výsledná kompresia je ovplyvnená radou parametrov, ktoré svojím nastavením môžu kompresiu zvukového signálu ovplyvňovať v malej alebo výraznej miere. Nastavenie kompresora je výrazne predurčený vlastnostiam vstupného signálu, ktorý bude komprimovaný. Medzi tieto vlastnosti je radená úroveň vstupného signálu v decibeloch, frekvenčný obsah a dynamický rozsah vstupného signálu. V praxi je dôležité použiť správne nastavenie parametrov kompresora pre vybraný typ zvukového signálu. V niektorých prípadoch je potrebné rozoznať podstatu prítomnosti kompresora. Kompresiu nie je vhodné použiť na signály s nízkym dynamickým rozsahom, pretože použitím kompresora dynamický rozsah zvukového signálu ešte viac znížime. Mnoho kompresorov na trhu či vo forme VST plugin modulu alebo hardvérovej jednotky vstupný zvukový signál saturuje, pridáva do signálu mierne nelinearity, ktoré sú spôsobené prítomnosťou komponentov u daného typu zariadenia. Saturácia kompresora je ovplyvnená najmä hĺbkou kompresie ale taktiež jednotlivými komponentmi, ktoré sú súčasťou konkrétnych blokov obvodu kompresora. Hardvérové kompresory saturujú vstupný signál vo väčšej miere ako kompresory vo forme VST plugin modulu. Saturácia nevzniká len v jednotlivých blokoch kompresora ale v celom jeho obvode [5].

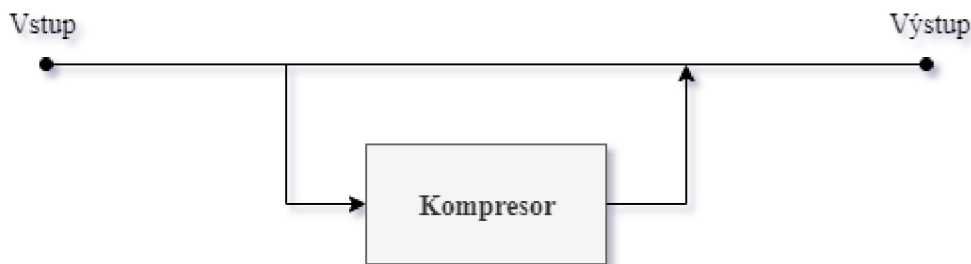
3.2 Rozdelenie kompresie podľa použitia

3.2.1 Side-chain kompresia

Side-chaining je technika kompresie, ktorá riadi úroveň hlasitosti zvukového signálu podľa úrovni hlasitosti iného signálu. Na takomto princípe kompresie je založený dynamický procesor *Ducker* [5].

3.2.2 Paralelná kompresia

Základným konceptom paralelnej kompresie je rozdelenie vstupného zvukového signálu na dve signálové cesty. Prvá signálová cesta sa nazýva priama. V druhej signálovej ceste je zapojený kompresor. Výstupný zvukový signál je výsledok pomeru oboch signálových ciest. Kompresný pomer kompresora v paralelnej ceste je obvykle vysoký, často sa používa kompresný pomer $\infty:1$. To znamená, že daný kompresor sa správa ako *limiter*. Prahová hodnota kompresora je nastavená tak, aby poskytovala výrazné zníženie zisku vstupného signálu. Ak sa niektoré časti zvukového signálu nedostanú nad nastavenú prahovú úroveň, kompresor ich vôbec neregistruje a pri výstupnom sčítaní oboch signálových ciest sú tieto zložky zvukového signálu hlasnejšie o 6 dB. V praxi sa používajú na tento typ kompresie kompresory s nízkym harmonickým skreslením [10].



Obr. 3-2 Bloková schéma paralelnej kompresie

3.2.3 Sériová kompresia

Princíp sériovej kompresie spočíva v zapojení dvoch kompresných jednotiek v jednej signálovej ceste. Prvý kompresor riadi celkový zisk vstupného signálu. Tento kompresor funguje v režime RMS a ma obvykle nastavený nižší kompresný pomer a vyššiu prahovú úroveň. Druhý kompresor v reťazci pracuje v režime *PEAK* s vyšším kompresným pomerom a nižšou prahovou úrovňou. Sériovou kompresiou sa vylučuje preťaženie kompresora v audio reťazci [5].

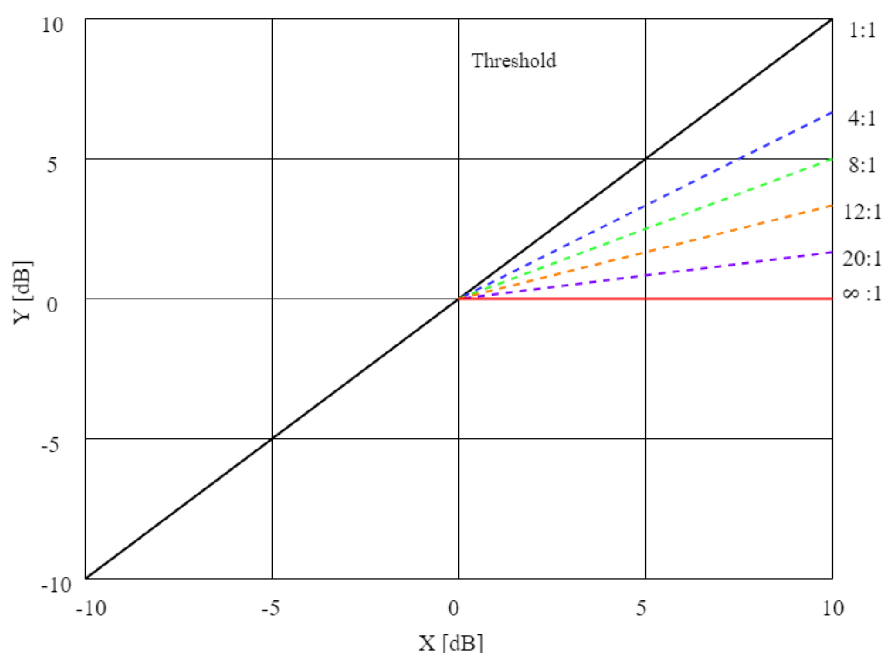
3.2.4 Multiband kompresia

Multiband kompresia pôsobí jednotlivo na vybrané frekvenčné pásma spektra zvukového signálu. Každé vyhradené frekvenčné pásmo ma individuálne nastavené parametre kompresie. Tento typ kompresie dáva používateľovi vyššiu kontrolu nad riadením dynamického rozsahu zvukového signálu [5].

4. PARAMETRE A DELENIE KOMPRESOROV

4.1 Threshold

Threshold je v preklade prahová úroveň. Prahová úroveň nastavená na určitú úroveň v decibeloch používateľom kompresoru aktivuje kompresor podľa veľkosti hladiny zvuku vstupného zvukového signálu. Ak túto nastavenú hodnotu zvukový signál prekročí, kompresor sa aktivuje a začne signál komprimovať. Nastavením tohto parametra môžeme ovplyvniť komprimáciu len častí zvukového signálu, ktoré majú vysokú úroveň hlasitosti alebo nastavením nízkej prahovej úrovne môžeme komprimovať aj časti zvukového signálu s nižšou úrovňou hlasitosti v decibeloch [5].



Obr. 4-1 Prevodná charakteristika kompresora

4.2 Ratio

Ratio je kompresný pomer ktorý určuje mieru útlmu, ktorý sa ma na vstupný zvukový signál aplikovať. Ratio 1:1 je najnižší pomer, ktorý sa dá na kompresore nastaviť a nepredstavuje žiadny útlm. Kompresné pomery sú vyjadrené v decibeloch. Čím vyšší je kompresný pomer, tým vyššia je miera kompresie zvukového signálu. Ak je pomer nastavený na hodnotu 2:1, vstupný zvukový signál prekročí prahovú úroveň o 2 dB, tak výsledkom bude útlm signálu o 1 dB nad nastavenou prahovou úrovňou. V praxi sú často používané kompresné pomery od 2:1 až do 12:1 s krokom 2:1 prípadne až 4:1. Kompresor umožňuje nastavenie kompresného pomeru ∞ :1, v tomto prípade už hovoríme o limitácii signálu, pri ktorej zvukový signál neprekročí nastavenú prahovú úroveň [5].

Pomocou prahovej úrovne, kompresného pomeru a vstupnej úrovne signálu môžeme určiť výstupnú úroveň signálu pomocou rovnice (4.1).

$$Output = \frac{Input - Threshold}{Ratio} + Threshold \quad (4.1)$$

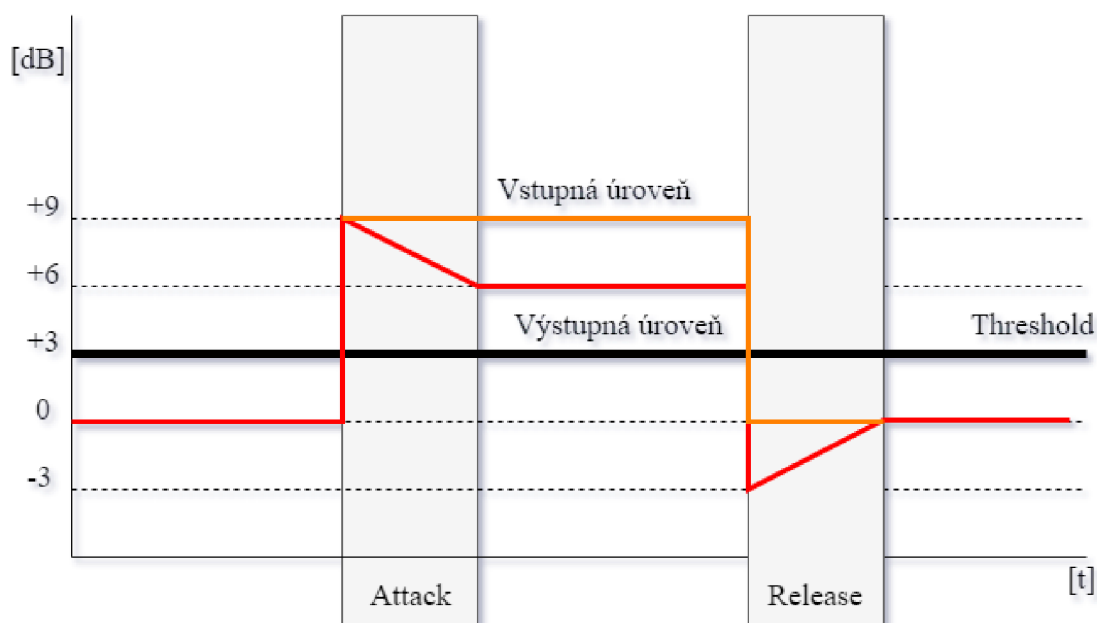
4.3 Attack

Týmto parametrom sa nastavuje doba reakcie kompresoru na vstupný signál, ktorý prekročil prahovú úroveň. V tomto časovom úseku kompresor zvyšuje zníženie zosilnenia aby sa dostal na úroveň kompresného pomeru. Tento časový úsek nazývame fázou *Attack*. Rýchlejšie *Attacks* sa pohybujú medzi 20 až 800 μ s. Tie pomalšie okolo 10 až 100 ms. Rýchle *Attacks* môžu spôsobiť skreslenie nízkofrekvenčných vln [5].

4.4 Release

Release je čas potrebný na to aby zvukový signál prešiel z komprimovaného stavu do stavu pôvodného. V tomto časovom úseku kompresor znižuje zníženie zosilnenia, aby sa dostal na úroveň stanovenú kompresným pomerom. Ak sa signál dostane pod prahovú úroveň kompresor ho prestane komprimovať. Doba *Release* je zvyčajne dlhšia ako doba *Attack* a pohybuje sa pri rýchlom nastavení od 40 do 60 ms a pri nastavení pomalom od 2 až do 5 sekúnd [5].

Na Obr. 4-2 sú znázornené časové konštanty kompresora *Attack* a *Release*.



Obr. 4-2 Časové konštanty kompresora

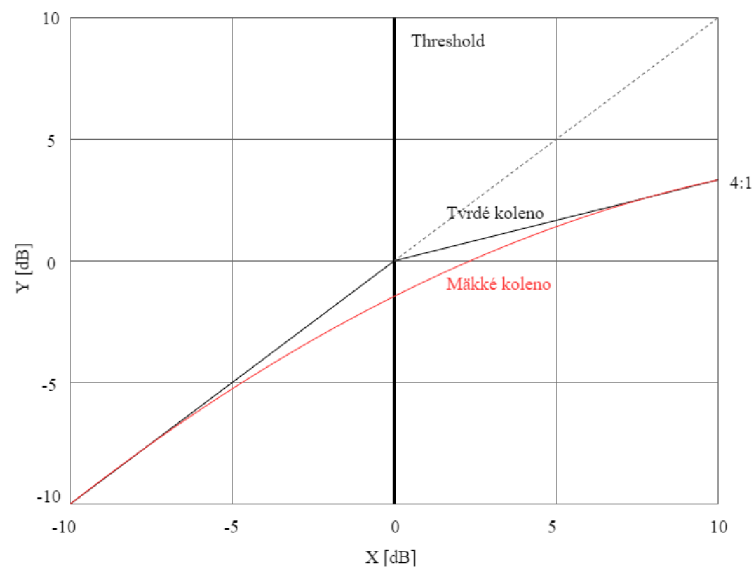
4.5 Koleno

4.5.1 Mäkké koleno

Tento typ kompresie funguje na princípe postupného zvyšovania kompresného pomeru až na používateľom nastavený kompresný pomer. Pri *soft knee* kompresii kompresor začína komprimovať signál ešte pred prekročením prahovej úrovne. Počuteľná zmena, ktorá prichádza po komprimovaní signálu nie je tak počuteľná a nápadná. Tento jav platí hlavne pri používaní nižších kompresných pomerov [5].

4.5.2 Tvrdé koleno

Hard-knee kompresia je presným opakom *soft-knee* kompresie. Kompresor v takomto nastavení komprimuje všetky časti zvukového signálu, ktoré prekročia prahovú úroveň kompresným pomerom zvoleným používateľom. Kompresor komprimuje len tú časť signálu, ktorá prekročí prahovú úroveň. Tento typ kompresie sa považuje za viac agresívny a je omnoho lepšie počuteľný [5].



Obr. 4-3 Prevodná charakteristiky kompresora (Mäkké/Tvrdé koleno)

4.6 Vstupný zisk

Kompresia zvukového signálu znižuje jeho výkon. Parametrom Make-up Gain alebo Output Gain sa vyrovnáva výstupný zisk zvukového signálu. Niektoré kompresory umožňujú prepnutie do režimu „Gain Reduction“, v ktorom je možné sledovať vizuálnu indikáciu celkového útlmu zvukového signálu v decibeloch. Tento postup umožňuje presnú aplikáciu výstupného zosilnenia zvukového signálu [5].

4.7 Rozdelenie kompresorov podľa topológie

4.7.1 Tube kompresory

Tento typ kompresie sa považuje za jeden z najstarších. Tube kompresory majú z pravidla pomalšiu odozvu spracovania zvukového signálu. Vyznačujú sa pomalším nastavením parametrov *Attack* a *Release*. Z tohto dôvodu vykazujú tube kompresory výraznú mieru saturácie zvukového signálu, ktorý je takmer nemožné dosiahnuť použitím iného typu kompresie. Princíp týchto kompresorov je, že zvukový signál – napätie na vstupe je spracované vstupným obvodom kompresora, toto napätie ďalej prechádza elektrónkou ktoré priamo riadi zisk elektrónky. Dnes sa namiesto klasických elektrónkových kompresorov vyrábajú tzv. Vari-Mu kompresory, ktoré namiesto tranzistorov obsahujú vákuové elektrónky [6].



Obr. 4-4 Manley Vari-Mu Limiter Kompresor [15]

4.7.2 Opto-kompresory

Optické kompresory alebo tzv. Opto-kompresory ovplyvňujú dynamiku zvukového signálu prostredníctvom fotocitlivého článku. Proces znižovania dynamického rozsahu takéhoto kompresora je rozdelená do niekoľkých častí, v ktorých je vstupný zvukový signál ovplyvňovaný nasledovne. Na začiatku svetelný zdroj riadi zníženie zosilnenia napätia na vstupe kompresora. Ďalej signál putuje do prevodníku, ktorý v reálnom čase premieňa elektrické napätie - signál na svetlo, ktoré sa späť transformuje na už výstupný komprimovaný signál, v ktorom môžeme počuť mieru saturácie. Tento typ kompresorov je známy pomalším *Attackom* a *Releasom* [7].



Obr. 4-5 UAD LA-2A Kompresor [16]

4.7.3 FET Kompresory

V kompresoroch typu FET sú elektrónky nahradené tranzistormi. Tieto kompresory sú známe rýchlou odozvou a rýchlim nastavením parametrov *Attack* a *Release*. Zvyčajne najpomalší *Attack* je rýchlejší ako najrýchlejší *Attack* u kompresoroch typu Vari-Mu. Tieto kompresory sú odolné voči silným tranzientom zvukového signálu. Jadrom celého kompresoru je tranzistor typu J-FET, ktorý ma veľmi nízku dobu spínania. Tento tranzistor riadi tzv. „Gain Control“. V kompresoroch typu FET je side-chain vedený cez Kontrolný obvod riadenia redukcie zisku do tranzistoru J-FET. Napriek rýchlim hodnotám parametrov *Attack* a *Release* tento typ kompresora výrazne saturuje spektrum výstupného zvukového signálu. Medzi ikonické hardvérové jednotky tohto typu kompresie patrí aj kompresor 1176 [8].



Obr. 4-6 UAD 1176 REV.D Kompresor [14]

4.7.4 VCA Kompresory

Kompresor typu VCA je vo svojej podstate zosilňovač riadený napätím. Tento typ kompresorov ma najrýchlejšiu odozvu na vstupný signál a umožňuje azda najrýchlejšie nastavenie parametrov attack a release. VCA kompresory majú tendenciu nižšej saturácie ako je to u kompresoroch typu Tube alebo FET. Výhoda kompresorov VCA je ,že umožňujú vysokú mieru zníženia zisku vstupného signálu [9].



Obr. 4-7 LCA 2B Tube VCA Kompresor [17]

5. KOMPRESOR 1176

5.1 Popis častí a parametrov Kompresora 1176

5.1.1 Merací prístroj

VU Meter možno použiť na indikáciu zníženia zosilnenia vstupného zvukového signálu alebo na indikáciu zvýšenia zisku výstupnej úrovne zvukového signálu. Pri výbere výstupnej úrovne zvukového signálu si používateľ môže vybrať z dvoch výstupných úrovní zosilnenia a to +4 alebo +8 dBm [11].

5.1.2 Funkcia Meter

Funkcia Meter sa zvolí stlačením jedného zo štyroch tlačidiel funkcie Meter vpravo od indikátoru. Pri stlačení tlačidla GR (*Gain-Reduction*) VU Meter indikuje úroveň zníženia zosilnenia v dB. Pri stlačení tlačidiel +4 a +8 dBm VU Meter zobrazuje výstupnú úroveň zvukového signálu. Pri stlačení tlačidla OFF sa kompresor vypne [11].

5.1.3 Kompresný pomer

Kompresný pomer je riadený štvoricou tlačidiel vľavo od meracieho prístroja. Ponúka 4 úrovne kompresného pomeru: 20:1, 12:1, 8:1 a 4:1. Kompresor 1176 využíva mäkkú kompresiu alebo takzvané nastavenie *Soft Knee* [11].

5.1.4 Vstupná úroveň

Prahová úroveň kompresora 1176 sa nastavuje potenciometrom *Input*. Týmto parametrom sa okrem prahovej úrovne nastaví aj celkové zníženie zisku zvukového signálu. Pri točení potenciometra *Input* v smere hodinových ručičiek sa stupeň kompresie zvyšuje. Pri otočení v proti smere sa celkový stupeň kompresie znižuje [11].

5.1.5 Výstupná úroveň

Výstupnú úroveň je možné nastaviť parametrom *Output* a stlačením jedného z tlačidiel +4 alebo +8 dBm [11].

5.1.6 Attack

Potenciometer *Attack* umožňuje nastavenie doby odozvy kompresora na vstupný signál od 20–800 μ s. Nastavením parametra *Attack* do polohy *Off* sa kompresia deaktivuje. Vstupný zvukový signál naďalej prechádza obvodom kompresora, ktorý zvukový signál saturuje. Výstupný zisk signálu má rovnakú úroveň hlasitosti ako signál vstupný. Táto technika je využívaná v praxi veľmi často [11].

5.1.7 Release

Nastavenie parametru *Release* kompresora 1176 je možné nastaviť od 50 až do 1100 ms.

Najrýchlejší *Release* je dosiahnuteľný nastavením potenciometra do polohy CW [11].

5.1.8 Režim stereo

Pri použití kompresora v stereo režime sú parametre *Attack* a *Release* navzájom prepojené. V režime stereo je čas parametru *Attack* dvojnásobne rýchlejší ako pri samostatnom nastavení oboch parametrov [11].

5.2 Technická špecifikácia Kompresora 1176

Vstupná impedancia	600Ω
Výstupná impedancia	600Ω
Frekvenčná odozva	20 Hz – 20kHz ± 1dB
Zisk	45 dB, ± 1dB
Skreslenie kompresora	(> 0,5 % od 15 Hz – 15 kHz) závisle na parametri <i>Release</i> a výstupnom zisku
Pomer signálu k šumu	vstupný signál s hranicou menšou ako 81 dB so šírkou pásma od 30 Hz do 18 kHz
Konektory	XLR/pôvodne Jonesov barrier strip
Napájanie	115V/230V
Konektor napájania	IEC
Poistka	125mA – 115V / 200mA – 230V
Váha	6,6 kg [11]

5.3 História Kompresora 1176

Kompresor 1176 od firmy *Universal Audio* navrhol v roku 1967 Bill Putman. Kompresor sa stal prielomom v oblasti zvukovej techniky a kompresorov vôbec. Bol to prvý tranzistorový limiter, vyvinutý z predchodcov elektrónkových limiterov 175 a 176 od firmy *Universal Audio*. V skutočnosti je kompresor 1176 najpoužívanejším a najobľúbenejším kompresorom na trhu. Model kompresoru 1176 zaznamenal počas histórie mnoho vývojových revízií. Prielomovou revíziou sa stala revízia typu C, ktorú navrhol inžinier firmy *Universal Audio* Brad Plunkett s cieľom znížiť hladinu šumu na výstupe kompresora. Nasledovali početné dizajnové zmeny a výsledkom bolo 13 revízií a variácií kompresora 1176. Niektoré z nich pozostávali len z kozmetických úprav ako napríklad revízia H. Väčšina z nich je značená výrobným písmenom revízie v poradí v ktorom boli jednotlivé vyrobené [12][13].

5.3.1 Kompresor 1176 Revízia A

Prvá verzia kompresoru 1176 ma od ostatných verzií viacero odlišností aj napriek tomu, že práve táto verzia bola základom pre všetky ostatné revízie. Na vstupe signálovej cesty je použitý odporový atenuátor na zníženie vstupného napätia. Výstupný zosilňovač pracuje v triede A. Výstupný transformátor ma rozdelené sekundárne a terciárne vinutie pre negatívnu spätnú väzbu. V predzosilňovačoch a linkových zosilňovačoch používa namiesto bipolárnych tranzistorov tranzistory typu J-FET. Revízia typu A má absenciu nízkošumových obvodov, to znamená že vytvára vyššie harmonické skreslenie na výstupe kompresora na úkor nižšieho odstup hladiny signálu od hladiny šumu v decibeloch. Kozmetický je taktiež jedinečná. Z tejto revízie bolo vyrobených len 25 kusov. Dnes sa jej trhovacia cena pohybuje niekde v okolí 14 000 € [13][14].

5.3.2 Kompresor 1176 Revízia B

V revízii AB sa zmenili niektoré hodnoty rezistorov v predzosilňovači, zlepšilo to stabilitu a taktiež odstup signálu od šumu. Bol pridaný kondenzátor v paralelnom zapojení s rezistorom napájajúci sa na tranzistor J-FET, ktorý riadi zníženia zosilnenia vstupného signálu. Taktiež tento krok viedol k zlepšeniu stability obvodu [14].

5.3.3 Kompresor 1176 Revízia C

Táto revízia prešla dvoma veľkými zmenami. Revízia typu C dostala nové šasi v čiernej farbe namiesto pôvodnej striebornej a začala byť označovaná 1176LN. To preto lebo do signáloveho predzosilňovača boli pridané nízkošumové obvody, tie znižujú napätie na svorkách *Drain* a *Source* tranzistora J-FET a udržujú tak tranzistor J-FET v lineárnom rozsahu. Do spätно-väzbového obvodu tranzistoru J-FET bol pridaný *Trimmer* aby sa minimalizovalo skreslenie. Nízko-frekvenčné obvody signáloveho predzosilňovača boli zaliate epoxidom [14].

5.3.4 Kompresor 1176 Revízia D

Revízia D nepriniesla žiadne vývojové zmeny. Zmenou prešla len doska PCB na ktorú boli pridané nízko-frekvenčné obvody. Modul LN, ktorý bol použitý v revízii C a bol zaliaty epoxidom sa už prestal používať. Touto revíziou sa budem v ďalších kapitolách podrobne zaoberať. Predstavíme si jej podrobné parametre a vysvetlíme prítomnosť jednotlivých komponentov kompresora [14].

5.3.5 Kompresor 1176 Revízia E

Bol pridaný vypínač na zmenu napätia 220V, ktorý vyhovoval aj európskym sieťam [14].

5.3.6 Kompresor 1176 Revízia F

Revízií typu F sa zmenil výstupný zosilňovač. Z pôvodného dizajnu zosilňovača triedy A sa zmenil na *Push-pull* zosilňovač triedy AB. *Push-pull* zosilňovač umožňuje vyšší výstupný zisk a taktiež iný zvukový charakter, bol založený na predzosilňovači 1108.

Taktiež bol výstupný transformátor nahradený novým typom B11148. Revízia typu F ma menšie harmonické skreslenie oproti predchádzajúcim revíziám [14].

5.3.7 Kompresor 1176 Revízia G

V revízií typu G sa odstránil vstupný transformátor a nahradil sa stupňom operačného zosilňovača diferenciálneho vstupu.

V dnešnej dobe firma *Universal Audio* ponúka na trhu tri typy kompresorov 1176 LN. Na základe obľúbenosti sa firma rozhodla uviesť na trh revízie typu C,D,E. Od roku 2000 si tieto revízie prešli malými zmenami a to predovšetkým v riešení vstupnej jednotky kompresora. Keď sa stal nedostupný odporový atenuátor o veľkosti 600 Ω museli ho nahradiť vstupným atenuátorom od veľkosti 1 k Ω . Neskôr sa 600 Ω atenuátor opäť vrátil do výroby a bol ďalej používaný firmou *Universal Audio* [14].

5.3.8 Kompresor 1176 revízia AE „Anniversary Edition“

Tejto revízií bol pridaný jemnejší kompresný pomer 2:1 namiesto tvrdého kompresného pomeru 12:1. Pridanie funkcie „SLO“ (*Click-Stop*), ktorá umožňuje nastavenie parametru *Attack* na 10 ms. Tejto edícií kompresorov sa vyrobilo celosvetovo len 500 kusov [14].

5.4 Použitie Kompresora 1176 v praxi

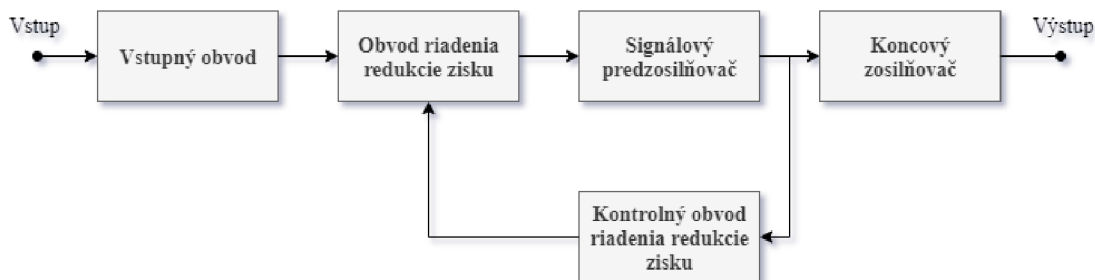
Kompresor 1176 si našiel využitie v mnoho post-procesingových úpravách zvuku v štúdiách po celom svete. Typické použitie kompresora 1176 sa uchytilo pri úprave vokálov z dôvodu teplému transparentnému zvuku, ktorý kompresor 1176 produkuje. Kompresor 1176 si našiel miesto v rukách zvukových inžinierov akými boli Andy Johns – (Led Zeppelin, Rolling Stones), Bruce Swieden – (Michael Jackson), Mike Clink – (Guns N' Roses) [13].

Kompresor 1176 je často aplikovaný na bicie ako sú snare, kick, *top* tom alebo aj *bottom* tom. Kompresor 1176 v prípade bicej súpravy aplikovať s nižším kompresným pomerom, ktorý docieli výrazný a vyvážený zvuk. Pre dosiahnutie čo najväčšej farby je ideálnym riešením použitie kompresora 1176 v kombinácii s páskovým mikrofónom alebo kondenzátorovým s veľkou membránou [13].

Obľúbeným použitím je aplikovanie kompresora 1176 na elektrickú gitaru a basgitaru pri stlačení prepínača 4:1. Pri takomto nastavení je zvuk prítomnejší a ma väčší charakter ako zvuk pôvodný a to je presne dôvod prečo sa kompresor 1176 teší veľkej obľúbenosti [13].

6. POPIS FUNKČNÝCH BLOKOV, KOMPONENTOV A ANALÝZ KOMPRESORA 1176 REVÍZIE D

6.1 Rozbor



Obr. 6-1 Bloková schéma kompresora 1176

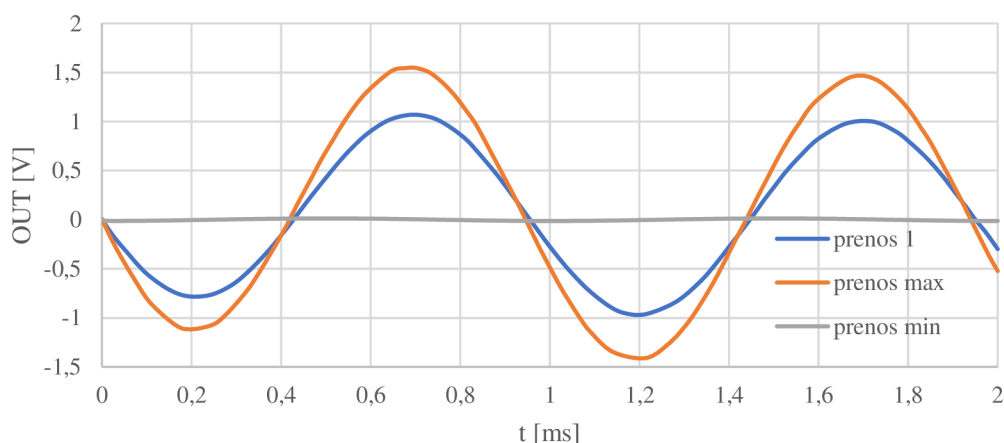
Obvod riadenia zníženia redukcie zisku vykonáva limitáciu a kompresiu zvukového signálu. Pred znížením zisku je signál spracovaný vstupným stupňom kde vstupný zvukový signál prechádza vstupným transformátorom napätia. Ďalej je signál smerovaný na *Source* tranzistora J-FET, ktorý funguje ako odpor s premenlivým napätím. Tranzistor J-FET v závislosti od revízie sa používa na vedenie časti vstupného signálu na zem alebo ako delič napätia, pričom je zapojený paralelne so vstupom signálového predzosilňovača. Miera útlmu alebo zosilnenia signálu na vstupe je riadená potenciometrom *Input*. Miera zníženia zosilnenia ako aj nastavenie parametrov *Attack* a *Release* sú riadené kontrolným obvodom riadenia redukcie zisku. Potenciometrom riadený výstup signálu sa používa na riadenie miery výstupného zisku, ktorá je riadená koncovým výstupným zosilňovačom. Na vstupe koncového zosilňovača je signál odbočený na *Gate* tranzistoru J-FET (Q_{11}), kde na základe úrovne vstupného signálu vytvára riadiace napätie. Tým, že kompresor 1176 používa dva tranzistory typu J-FET, jeden na riadenie vstupného zisku Q_1 a druhý na tzv. metering Q_{11} , pre správnu funkčnosť zariadenia musia mať rovnaké napätie medzi *Gate* a *Source*. Pre porovnanie oboch tranzistorov použijeme volt-ampérovú charakteristiku. Z napätia jednoducho vypočítame výstupný prúd na *Drain* vydelením napätia odporom $R_{10}=R_{65}=10\text{ k}\Omega$.

Pri návrhu kompresora 1176 je potrebné udržať tranzistor J-FET v jeho lineárnej pracovnej oblasti, aby dochádzalo k čo najmenšiemu skresleniu zvukového signálu. Tento problém bol vyriešený jednoduchou myšlienkou a to použitím rezistoru R_{10} , ktorý je súčasťou *Source* tranzistora J-FET. Tento obvod je vložený pred signálový predzosilňovač. Koncovým stupňom kompresora 1176 je zosilňovač linkovej úrovne triedy A, a pracuje pri štandardnej záťaži $600\ \Omega$. Na výstupe kompresora je použitý transformátor napätia vyrobený presne pre účely kompresora 1176, ktorý vyžaduje impedančné oddelenie výstupu. Transformátor CM - 96731 sa vyznačuje tým, že má rozdelené sekundárne a terciárne vinutie pre spätnú väzbu. Uzavretím negatívnej spätnej

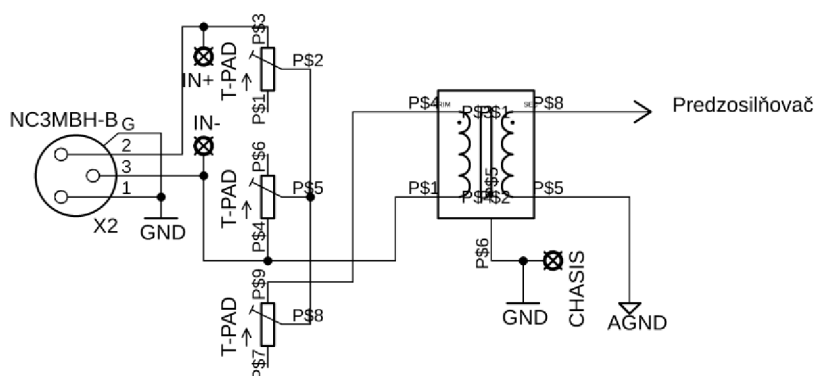
väzby výstupného zosilňovača sú jeho nelinearity kompenzované a korigované, čo spôsobilo jeho veľmi nízke výstupné skreslenie. Vďaka vstupným a výstupným transformátorom a obvodu koncového zosilňovača triedy A má kompresor 1176 charakteristické zvukové vlastnosti aj bez komprimácie zvukového signálu. Preto je Kompresor 1176 použiteľný ako mikrofónový predzosilňovač.

6.2 Analýza vstupného obvodu

Obvod bol budený striedavým signálom o frekvencii 1 kHz a amplitúde 1 V_{AC}. V grafe je zakreslená trojica charakteristík, ktoré znázorňujú prenos vstupného obvodu pri rozdielnom nastavení potenciometra *Input*, ktorý riadi vstupný atenuátor s odporom 600 Ω. Za vstupným atenuátorom sa nachádza vstupný transformátor napätia, ktorý úroveň signálu zníži. V simulácii obvodu je použitý iný typ transformátora napätia s podobnými parametrami, daný typ uvedený v schéme zapojenia nie je dostupný v simulačnom programe MicroCap. Napriek tejto zmene sa vstupný obvod správa podľa predpokladov.



Obr. 6-2 Časová analýza vstupného obvodu



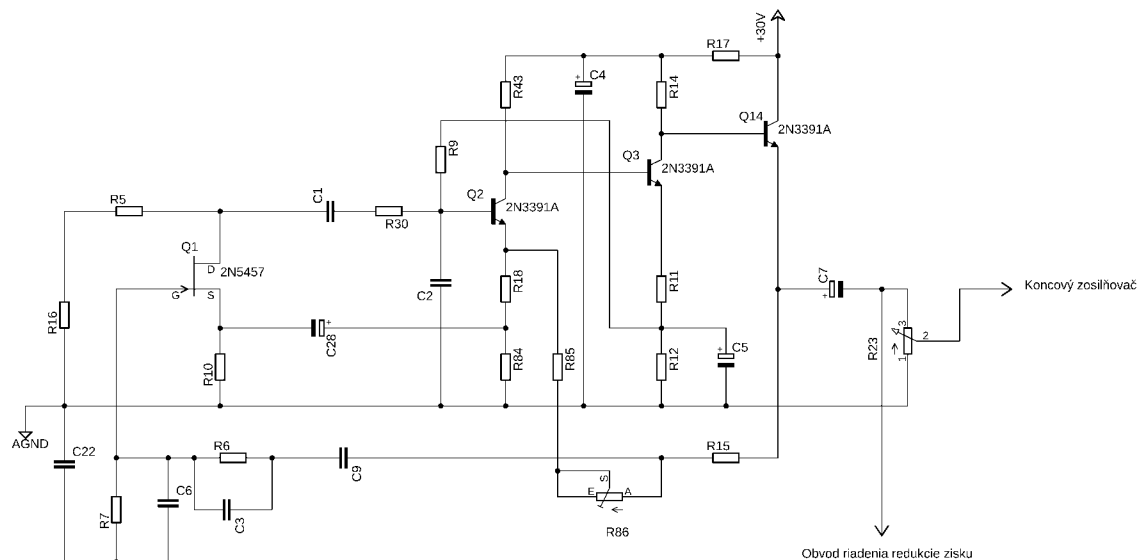
Obr. 6-3 Schéma vstupného obvodu

6.3 Signálový predzosilňovač

6.3.1 Nízkošumové obvody

Nízkošumové obvody kompresora 1176 boli zavedené v revízií C . Neskôr boli navrhnuté do obvodu znižovania zisku tranzistorom J-FET, ktorý riadi celkové zníženie vstupného zisku. Tranzistor J-FET je nelineárna súčiastka a sám o sebe by vstupný signál mohol skresľovať. Nízkošumové obvody udržiavajú J-FET v jeho lineárnej pracovnej oblasti, čím sa znížili možné nežiadúce skreslenia. Nízkošumové obvody boli prvý krát zavedené do revízie C ako samostatný modul, ktorý nebol súčasťou dosky plošných spojov kompresora 1176 . Modul „LN“ sa ukázal ako problémový pri výrobe. Vylepšenie prišlo s revíziou D kde sa nízkošumové obvody vložili na dosku plošných spojov [13].

6.3.2 Rozbor obvodu riadenia redukcie zisku



Obr. 6-4 Schéma signálového predzosilňovača

Tranzistor FET sa správa ako premenný odpor, ktorý je riadený jednosmerným napätím privedeným na *GATE* z Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku. Čím je vyššie napätie na bráne J-FET tranzistora tým nižší bude odpor r_{DS} (*Drain-Source*). To znamená, že signálom s vysokou úrovňou hlasitosti, ktoré sa vo forme jednosmerného napätia dostanú na bránu J-FET, bude zoslabený vstupný zisk. Tento prvok tvorí základnú podstatu znižovania zisku zosilnenia kompresora 1176. Je potrebné poznamenať, že kompresor 1176 pracuje na princípe spätnej väzby, hneď potom čo Kontrolný obvod riadenia redukcie zisku začne vzorkovať úroveň signálu, prevedie ho na jednosmerné napätie a pošle späť na *Gate* tranzistora J-FET.

Odpor R_5 o veľkosti $27\text{ k}\Omega$, tranzistor J-FET a odpor medzi *Drain – Source*, ktorý je závislý na veľkosti riadiaceho jednosmerného napätia na bráne tranzistora J-FET predstavujú delič napätia . Odpor tranzistoru je ∞ v prípade ak na bránu tranzistora J-FET nie je privedené riadiace napätie. V takom prípade sa vstupné napätie rovná výstupnému.

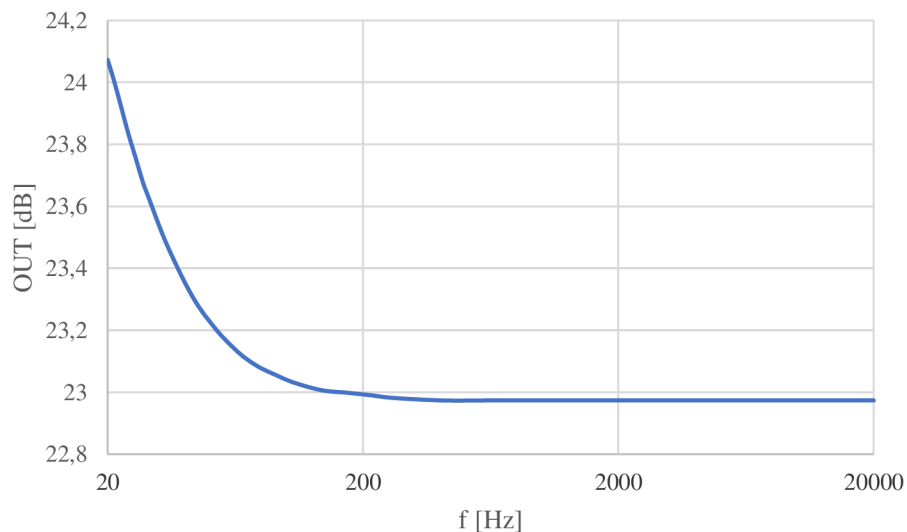
V prípade ak je na bránu J-FET tranzistora privedené jednosmerné riadiace napätie, ktoré riadi odpor medzi *Drain* – *Source* tak výstupné napätie je možné vypočítať z rovnice (6.1).

$$U_2 = U * \frac{R_{DS}}{R_5 + R_{DS}} \quad (6.1)$$

6.3.3 Rozbor Signálového predzosilňovača

Po prechode napätia tranzistorom J-FET signál prechádza do filtru tvoreného kondenzátorom C_1 a rezistorom R_4 . Hlavná sekcia signálového pred-zosilňovača je tvorená trojicou bipolárnych tranzistorov 2N3391A. Tranzistory Q_2 a Q_3 sú tranzistory so spoločným emitorom, tranzistor Q_4 je tranzistor so spoločným kolektorom. Predzosilňovač je v obvode kompresora 1176 napät'ovým zosilňovačom. Striedavou analýzou obvodu bolo zistené napät'ové zosilnenie 23 dB pri zvolení kmitočtovej charakteristiky ± 1 dB na nízkych kmitočtoch. Výrobca udáva hodnotu zosilnenia Signálového predzosilňovača 26 dB.

Predzosilňovač som budil striedavým harmonickým signálom s amplitúdou 1 V.



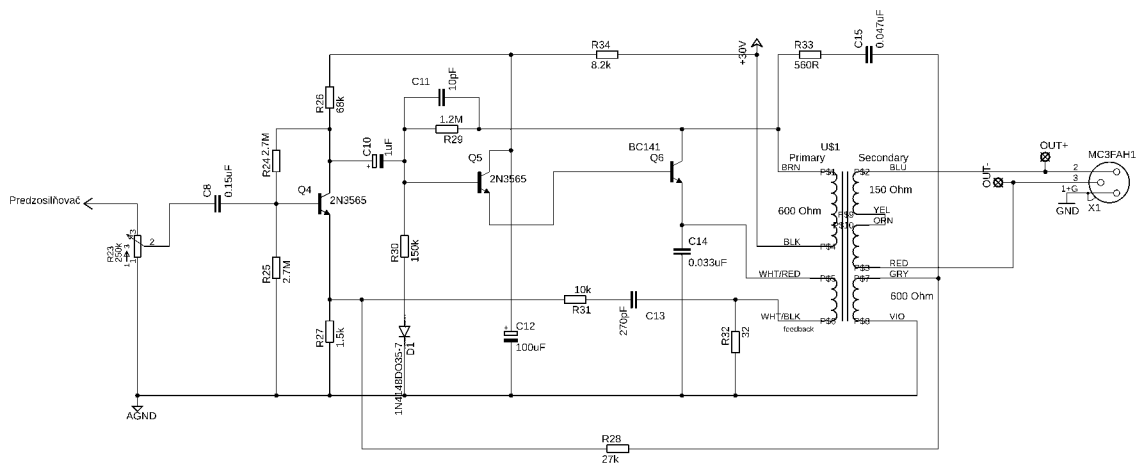
Obr. 6-5 Frekvenčná analýza obvodu predzosilňovača

Prvý zosilňovací stupeň predzosilňovača je tvorený bipolárnym tranzistorom Q_2 v zapojení so spoločným emitorom. V schéme je vidieť, že na kolektore tranzistora Q_2 sa nachádza rezistor s odporom 1 M Ω . V emitore tranzistora Q_2 sa nachádza dvojica rezistorov s odporom 180 Ω , ktoré vytvárajú tzv. zápornú spätnú väzbu a podporujú stabilitu tranzistora.

Zo schémy zapojenia je zjavné, že nastavenie pracovného bodu tranzistora Q_2 riadi spätná väzba pripojená z deliča napätia v emitore tranzistora Q_3 na bázu tranzistora Q_2 . Táto spätná väzba sa v odbornej terminológii nazýva „*bootstrap*“ ,skladá z rezistora R_9 s odporom 560 k Ω . *Bootstrap* zvýši vstupnú impedanciu signálového predzosilňovača. Tranzistor Q_4 je tranzistor so spoločný kolektorom. Jeho hlavnou funkciou je impedančné

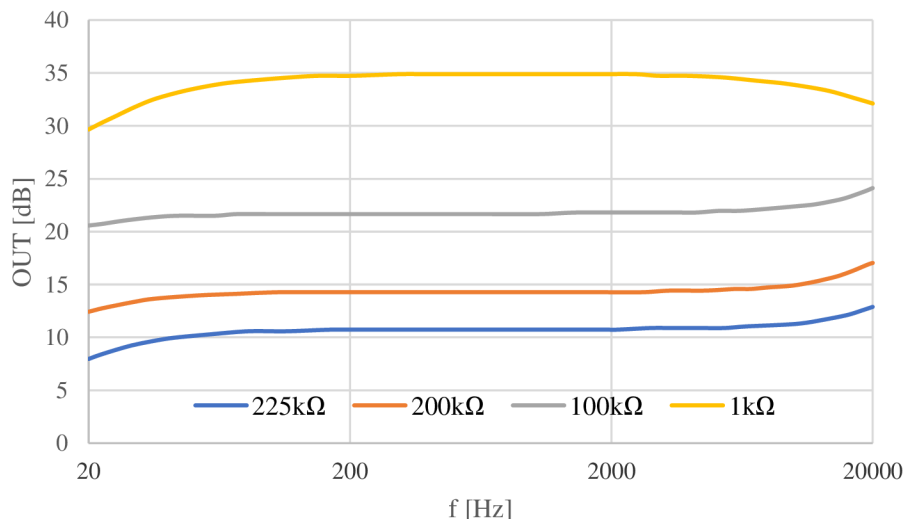
prispôsobenie výstupu signálového predzosilňovača. Tento napät'ový sledovač ma napät'ové zosilnenie $A_U = 1$.

6.4 Koncový zosilňovač



Obr. 6-6 Schéma obvodu koncového zosilňovača

Koncový zosilňovač je zosilňovač pracujúci v triede A. Koncový zosilňovač začína potenciometrom na riadenie výstupnej úrovne signálu - *Output*. Tento premenný odpor ovplyvňuje výstupný zisk kompresora. Výrobca udáva jeho maximálny výstupný zisk 45 dB. Pri analýze koncového zosilňovača bol obvod budený striedavým harmonickým signálom s amplitúdou $1V = 0 \text{ dBV}$. V Obr. 6-7 je zobrazená frekvenčná odozva koncového zosilňovača pri krokovaní potenciometra *Output*.



Obr. 6-7 Frekv. odozva koncového zosilňovača pri krokovaní potenc. *Output*

Podľa striedavej analýzy koncového zosilňovača v Obr. 6-7 je viditeľné, že obvod koncového zosilňovača nedosahuje zosilnenie aké uvádza výrobca. Tento fakt je spôsobený absenciou výstupného transformátora v simulačnom prostredí. Samotný výstupný transformátor napätia zosilňuje signál približne o 6 dB. Pri sčítaní týchto ziskov sa dostávame na uvedenú hodnotu výrobcom 45 dB.

Taktiež je možné pozorovať, že kmitočtová odozva koncového zosilňovača je vo všetkých charakteristikách výrazne zvlnená. Tento obvod nie je možné relevantne analyzovať s absenciou výstupného transformátora, ktorý má na zosilnenie a kmitočtovú charakteristiku zásadný vplyv. Obvod koncového zosilňovača je navrhnutý tak, aby bol schopný pracovať do dvoch záťaží súčasne. Výstupný transformátor má rozdelené primárne a terciárne vinutie, pričom impedancia primárneho vinutia sa rovná hodnote odporu 600 Ω, a impedancia vinutia terciárneho sa rovná hodnote odporu 150 Ω. Pomocou výpočtov bol dokázaný výstupný zisk 45 dB.

$$U_{CC} = (I_B + I_C) * R_c + I(R_c + R_{B1}) + I_B R_{B1} + U_{BE} + (I_B + I_C)R_E \quad (6.2)$$

$$I_C = \beta_F \frac{U_{CC} - \frac{U_{BE}}{R_{B2}}(R_{B1} + R_{B2} + R_C)}{\left(1 + \frac{R_E}{R_{B2}}\right)[R_{B1} + R_C(\beta_F + 1)] + R_E \left(\beta_F \frac{R_{B1}}{R_{B2}} + \beta_F + 1\right)}$$

$$I_C = 0,3 \text{ mA}$$

$$I_E \cong I_C = 0,3 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta_F + 1} = \frac{0,3 * 10^{-3}}{427,8 + 1} = 0,7 \mu\text{A}$$

$$I_{RB2} = \frac{U_B}{R_{B2}} = \frac{0,7 * 10^{-6} * \frac{2,7 * 10^6 * 2,7 * 10^6}{2,7 * 10^6 + 2,7 * 10^6}}{2,7 * 10^6} = 350 \text{ nA}$$

$$I_{RB1} = 350 * 10^{-9} + 0,7 * 10^{-6} = 1,05 \mu\text{A}$$

$$U_C = R_C * I_C = 68 * 10^3 * 0,3 * 10^{-3} = 20,4 \text{ V}$$

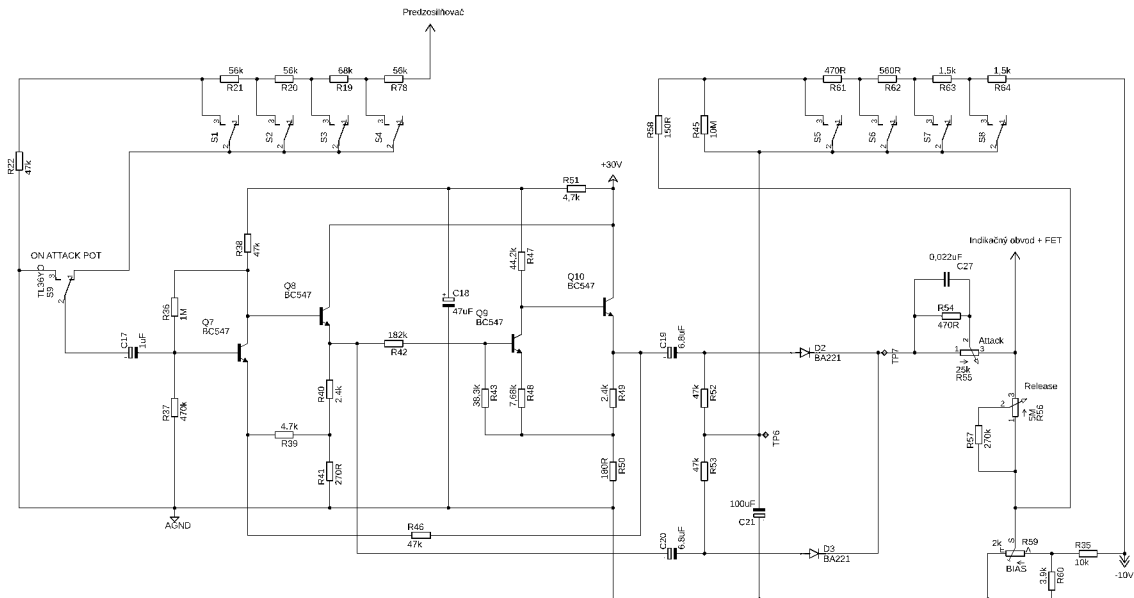
$$U_E = R_E * I_E = 1,5 * 10^3 * 0,3 * 10^{-3} = 0,45 \text{ V}$$

$$Au = \frac{U_C}{U_E} = 45,3$$

Tranzistor Q₅ na vstupe koncového zosilňovača je napäťovým zosilňovačom v zapojení so spoločným emitorom. Pracovný bod tranzistora Q₅ nastavuje delič napätia, ktorý je tvorený rezistormi R₂₄ a R₂₅ o veľkosti 2,7 MΩ. Toto zapojenie deliča napätia je netradičné, pretože rezistor R₂₄ tvorí paralelnú napäťovú spätnú väzbu, ktorá zvyšuje stabilitu a linearitu obvodu a znižuje vstupnú a výstupnú impedanciu. Tento stupeň koncového zosilňovača má za úlohu vytvárať čo najväčšie napäťové zosilnenie. Po napäťovom zosilňovači nasleduje Darlingtonový pár tranzistorov Q₆ a Q₇. Tranzistory Q₆ a Q₇ sú prúdovými zosilňovačmi. Výstupný prúdový zisk týchto tranzistorov vypočítame vynásobením samostatných prúdových ziskov, čím dosiahneme vysoké prúdy na kolektoroch týchto tranzistorov. Na celkovom zosilnení obvodu koncového zosilňovača

má veľký vplyv výstupný transformátor s tromi vinutiami. Výstupný transformátor impedančne oddeľuje výstup a z terciárneho vinutia transformátora vedie spätná väzba na podporu stability koncového stupňa. Výstupný transformátor je súčasťou symetrického výstupu. Transformátor je presne vyrobený pre účely kompresora 1176.

6.5 Kontrolný obvod riadenia redukcie zisku



Obr. 6-8 Schéma Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku

Kontrolný obvod riadenia redukcie zisku riadi mieru otvorenia tranzistora J-FET (Q₁). Pomocou tohto obvodu je privedený signál na tranzistor J-FET, ktorý podľa veľkosti napätia na bráne (*Gate*) reguluje veľkosť vstupného signálu. Kontrolný obvod riadenia redukcie zisku začína odbočením signálu na výstupe signálového predzosilňovača pred výstupným potenciometrom *Output*. Dôležitou súčasťou tohto obvodu je dvojica spínačov. Spínač, ktorý sa nachádza na vstupe Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku je súčasťou relé, ktoré sa zopne ak na deliči napätia tvoreného rezistormi R₅₂ a R₅₃ vznikne dostatočné veľké jednosmerné predpätie. Toto jednosmerné predpätie vznikne len ak je zopnutý jeden z prepínačov kompresného pomeru. Druhý prepínač je súčasťou potenciometra *Attack*. Je umiestnený v schéme zapojenia za prepínačmi kompresného pomeru. Až po zopnutí prepínača do polohy 1 začne obvod kompresora 1176 signál komprimovať. Keď je prepínač v polohe 0 je spojený so zemou a kompresor 1176 obvod nekomprimuje. Bez prepnutia tohto prepínača do polohy 1 nedôjde k vytvoreniu predpätia na deliči napätia R₅₂, R₅₃ a to znamená, že signál zo signálového predzosilňovača pokračuje v priamej vetve do koncového zosilňovača až na výstup kompresora 1176.

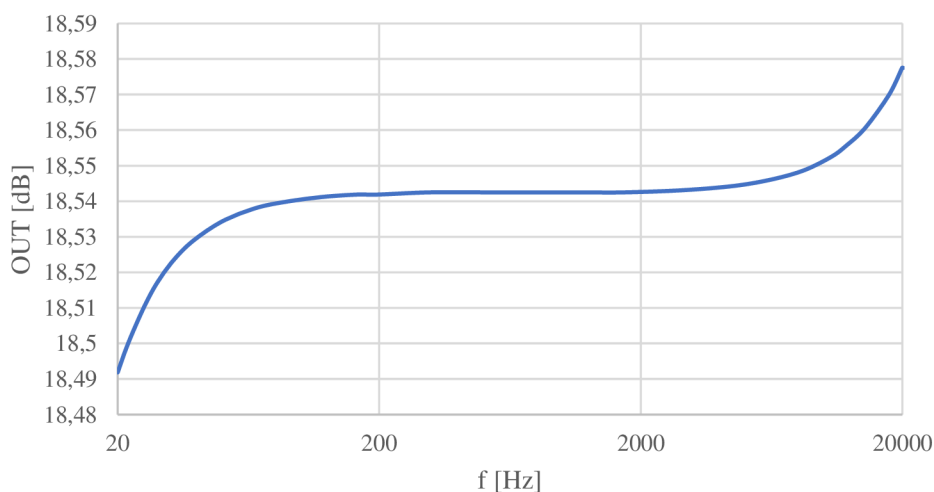
6.5.1 Riadenie kompresie kompresora 1176

V tejto časti kapitoly bude vysvetlená najdôležitejšia podstata komprimovania signálu kompresorom 1176.

Kontrolný obvod riadenia redukcie zisku riadi komprimáciu zvukového signálu pomocou štvorpólových tlačidiel kompresného pomeru 4:1, 8:1, 12:1, 20:1. Tieto prepínače kompresného pomeru v skutočnosti neriadia pomer kompresie Kompresora 1176. Prepínače kompresného pomeru riadia kontrolu prahovej úrovne *Threshold*. Skutočný kompresný pomer je závislý na veľkosti vstupného signálu. To znamená, že nie je možné mať úplnú kontrolu nad kompresným pomerom Kompresora 1176. Prepínačmi kompresného pomeru nie je možné posielat' informácie tranzistoru J-FET o kompresnom pomere v logaritmickom miere. Je veľmi dôležité si uvedomiť, že ľudské ucho vníma zvuk logaritmicky. To znamená, že signál s amplitúdou 2 V nie je dvakrát silnejší ako signál s amplitúdou 1 V. Signál vnímaný ako dvakrát silnejší je v skutočnosti hlasnejší o 6 dB. Ak sa na *Gate* tranzistora J-FET privedie signál s úrovňou amplitúdy 1 V a prahovou úrovňou 1 V kompresný pomer kompresora 1176 bude 1:1. Pri zaznení refrénu môže úroveň amplitúdy zvukového signálu mať hodnotu 6dB, čo je o 4 V väčšie napätie na *Gate* tranzistora J-FET. Zvukový signál, ktorý bol pre naše uši dvakrát hlasnejší výrazne prekročí prahovú úroveň. Pri zvýšení hlasitosti zvukového signálu o 20 dB je napätie na bráne tranzistora väčšie stokrát, tranzistor J-FET nevie, že signál bol zvýšený len o 20 dB a preto začne signál komprimovať s kompresným pomerom 100:1. Tento princíp komprimácie je skrytým tajomstvom kompresora 1176. Kompresor 1176 je jediným kompresorom vo svojej triede, ktorý pracuje na tomto princípe komprimácie zvukového signálu.

Okrem prahovej úrovne prepínače kompresného pomeru riadia aj strmosť kolena kompresie. So zvyšujúcim sa kompresným pomerom je tvrdšie koleno kompresora 1176.

6.5.2 Rozbor Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku

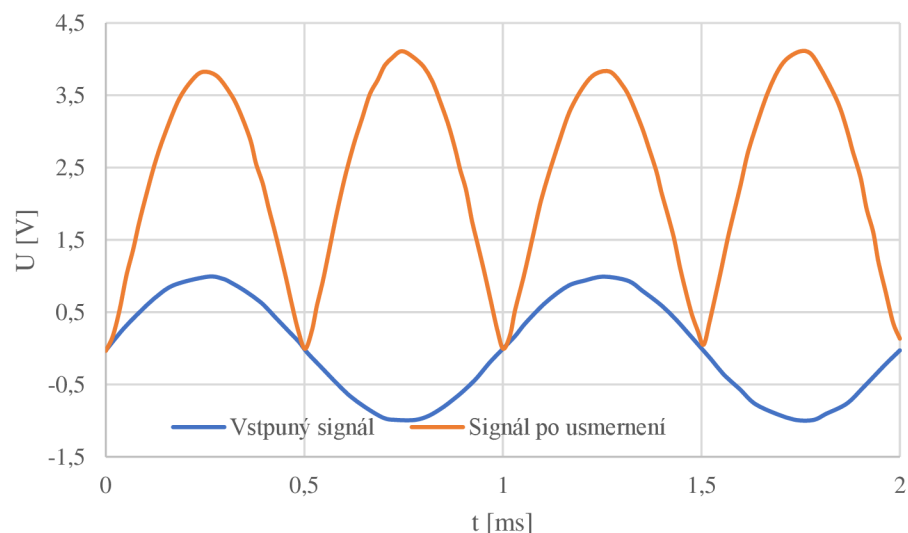


Obr. 6-9 Frekvenčná odozva Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku

Na vstupe obvodu sa nachádza tranzistor so spoločným emitorom Q₇, ktorý funguje ako fázový invertor. Jeho pracovný bod je nastavený deličom napätia, ktorý tvoria rezistory R₃₆ a R₃₇.

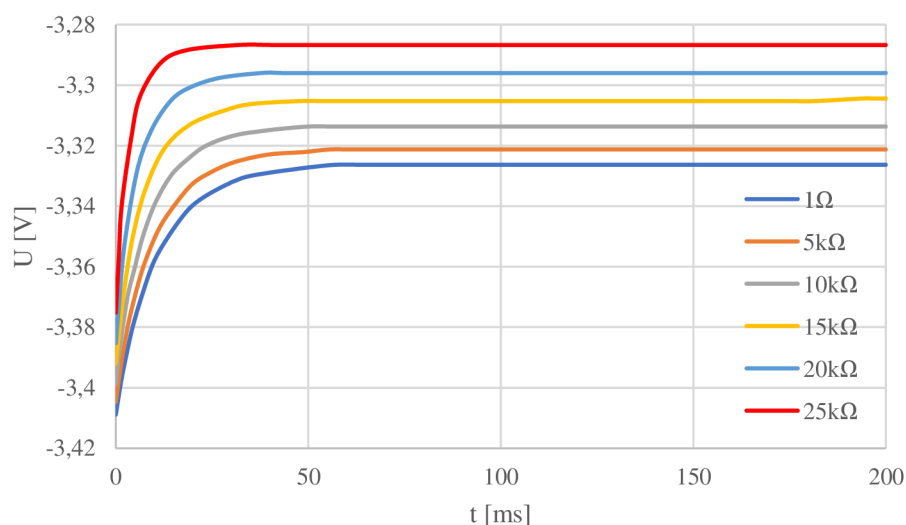
Za tranzistorom Q₇ nasleduje tranzistor so spoločným kolektorom Q₈. Tento tranzistor má úlohu napäťového sledovača s napäťovým zosilnením $A_U = 1$. V jeho emitore sa nachádza rezistor R₄₀, ktorý vytvára zápornú spätnú väzbu a zlepšuje stabilitu.

Za dvojicou tranzistorov dochádza k deleniu ciest. Bočná cesta vedie priamo do diódy D₃, no cesta priama vedie cez rezistor R₄₂ s hodnotou 182 k Ω . Na rezistore vznikne taký úbytok napätia, že napätie, ktoré bolo zosilnené prvým zosilňovacím stupňom sa bude rovnáť napätiu na vstupe Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku. Dostávame sa k dvojici tranzistorov, ktoré majú rovnakú úlohu ako prvá dvojica. Prvý tranzistor Q₉ je tranzistor so spoločným emitorom a slúži ako fázový invertor. Tranzistor Q₁₀ je tranzistor so spoločným kolektorom, ktorý má zavedenú zápornú spätnú väzbu a tú tvorí rezistor R₄₉. Na výstupe tohto tranzistora je rovnaké napätie ako napätie v uzle, kde začína za tranzistorom Q₈ bočná cesta do diódy D₃. Tranzistor Q₉ obráti fázu zápornej pol-vlny signálu na kladnú a preto po usmernení diódami môžeme pozorovať jednosmerný signál.



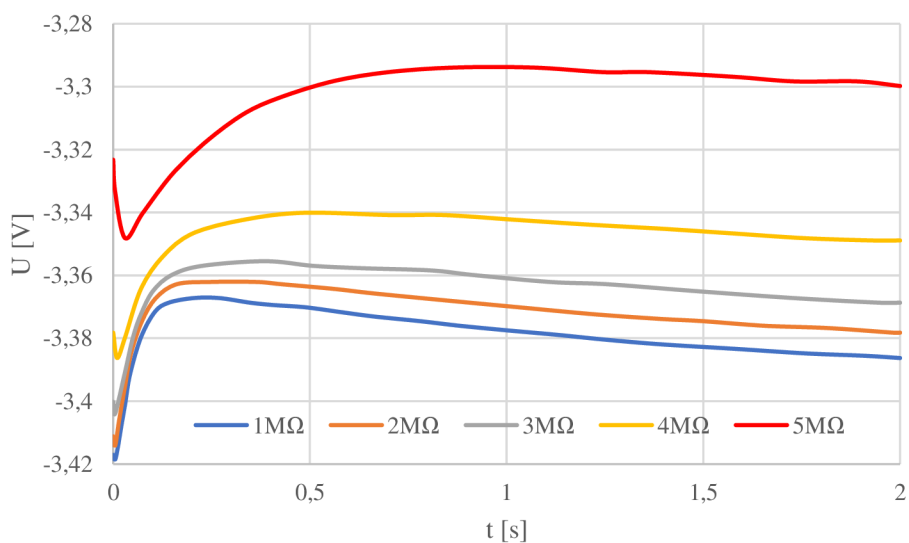
Obr. 6-10 Časová analýza signálu po usmernení diódami D₂, D₃

Súčasťou Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku sú potenciometre *Attack* a *Release*. *Attack* je riadený potenciometrom s hodnotou odporu 25 k Ω . Časová konštanta *Attack*, odpovedá dobe nabitia kondenzátora C₂₇ s kapacitou 0,022 μ F. Nabitie kondenzátora na maximálnu kapacitu trvá približne päť períód časovej konštanty.



Obr. 6-11 Krokovanie potenciometra *Attack*

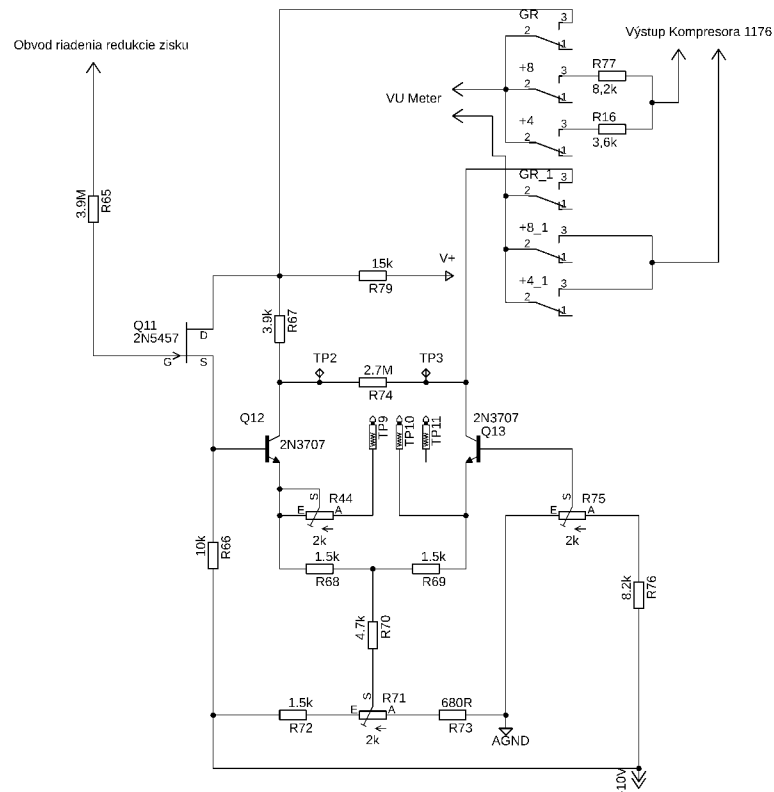
Release je riadený potenciometrom s hodnotou odporu 5 MΩ. Časová konštanta *Release* odpovedá dobe vybitia kondenzátora na 63% jeho kapacity. Čas na vybitie kondenzátora na úroveň kapacity 0% trvá približne päť periód časovej konštanty.



Obr. 6-12 Krokovanie potenciometra *Release*

Výstupne jednosmerné napätie Kontrolného obvodu riadenia redukcie zisku sa privedie na bránu tranzistora J-FET (Q_1) a taktiež na bránu tranzistora J-FET (Q_{11}), ktorý je na vstupe indikačného obvodu.

6.6 Indikačný obvod



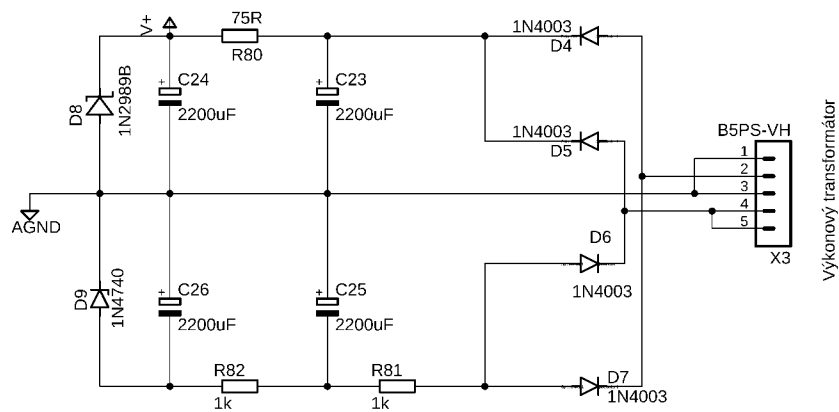
Obr. 6-13 Schéma indikačného obvodu

Zníženie zosilnenia je indikované na meracom prístroji na prednom ovládacom paneli kompresora 1176. Tranzistor Q_{11} J-FET impedančne prispôsobuje vstup tejto sekcie. Nulové zosilnenie je indikované pokojovým prúdom na meracom prístroji. Pri kompresii signálu sa zmenší predpätie na potenciometri R_{75} s hodnotou $2\text{ k}\Omega$ a prúd na meracom prístroji sa zníži o hodnotu úrovne zníženia zosilnenia signálu. Tranzistor J-FET (Q_{11}) je riadený jednosmerným napätím, ktoré riadi odpor medzi *Drain* a *Source* tranzistora J-FET. Je dôležité, aby obe tranzistory Q_1 a Q_{11} boli riadené rovnakým jednosmerným napätím a mali aj rovnaké vlastnosti, pretože ako bolo spomenuté v kapitole 6.3.2 J-FET Q_1 riadi vstupný zisk a Q_{11} riadi merací prístroj. Aby nám merací prístroj ukazoval správnu hodnotu zníženia zosilnenia musia byť oba tranzistory čo najviac podobné.

6.7 Zdroj napájania

Na vstupe sa nachádza výkonový transformátor napätia s primárnym a sekundárnym vinutím, ktorý striedavé napätie 220 V_{AC} premení na striedavé napätie $+30\text{ V}_{AC}$ a -10 V_{AC} a dvojcestne ich usmerňuje do celého obvodu. Za transformátorom je umiestnený mostíkový usmerňovač napätia. Štvorica diód sa dnes realizuje ako jedna súčiastka s dvomi vstupnými striedavými kontaktmi a dvoma výstupnými jednosmernými kontaktmi. Dve zenerové diódy D_8 a D_9 distribuujú napätie do celého

obvodu kompresora. Napätie $+30\text{ V}_{AC}$ vznikne na sekundárnom vinutí cievky transformátora T_3 a je usmernené dvoma diódami D_1 a D_2 , ďalej filtrované dvojicou paralelných zapojení kondenzátorov C_{23} a C_{24} a rezistorom R_{80} . AC analýzou v programe *MicroCap* je zistené, že na rezistore R_{80} vznikne úbytok napätia, tak že výsledné výstupné napätie sa bude rovnať približne $+30\text{ V}_{DC}$. Do celého obvodu toto napätie usmerňuje zenérová dióda D_8 . Záporné napätie -10 V_{AC} vzniká na sekundárnom vinutí cievky transformátora T_3 . Toto napätie je usmernené diódami D_3 a D_4 , za ktorými je zavedený filter v podobe paralelného zapojenia dvojice filtračných kondenzátorov C_{25} a C_{26} s rezistormi R_{81} , R_{82} . Záporné napätie -10 do obvodu distribuuje zenérová dióda D_9 . Na filtráciu jednosmerného signálu sú použité elektrolytické kondenzátory s veľkou kapacitou.



Obr. 6-14 Schéma zdroja napájania

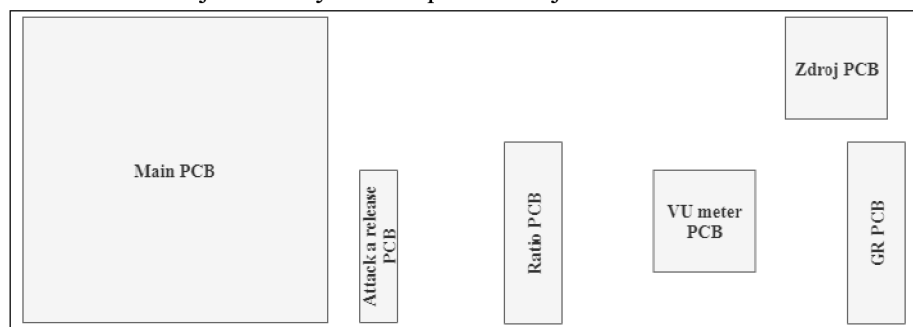
7. PRAKTICKÁ REALIZÁCIA KOMPRESORA 1176

Komponenty kompresora 1176 sú umiestnené v devätnásť palcovom rackovom šasi o výške 2U.



Obr. 7-1 Šasi kompresora 1176 rev. D

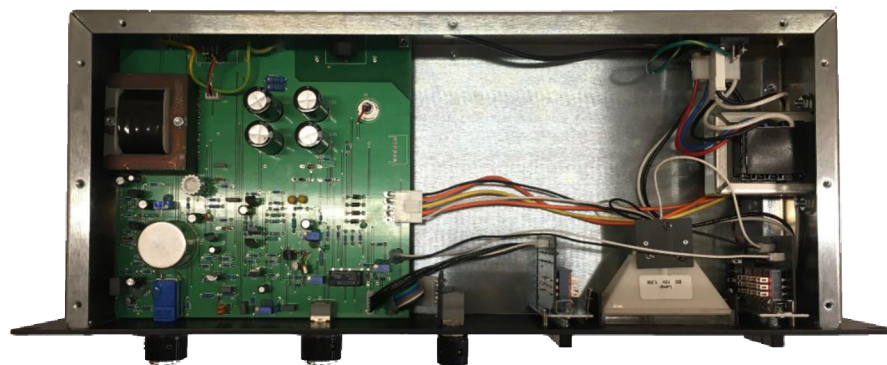
V šasi sa nachádza 6 dosiek plošných spojov: hlavná doska plošných spojov kompresora 1176, doska *Attack a Release*, doska kompresného pomeru, doska riadenia redukcie zisku, doska zdroja a nakoniec doska plošných spojov pre merací prístroj. Blokovú schému rozmiestnenia jednotlivých komponentov je možné vidieť na Obr. 7-2 .



Obr. 7-2 Bloková schéma šasi kompresora 1176

V šasi okrem dosiek plošných spojov je umiestnený výkonový transformátor napätia a merací prístroj. Všetky dosky plošných spojov boli navrhnuté pomocou programu *Eagle* od firmy *Autodesk*.

V kapitole budú predstavené praktické realizácie jednotlivých dosiek plošných spojov s odkazmi na ich dokumentáciu.



Obr. 7-3 Umiestnenie komponentov v šasi

7.1 Hlavná DPS kompresora 1176

Doska plošných spojov kompresora 1176 je vyrobená a konštruovaná v štvrtej konštrukčnej triede a realizovaná ako dvojvrstvová doska plošných spojov. Na hlavnej doske plošných spojov sú osadené nasledovné bloky schémy kompresora 1176 : Vstupná sekcia, signálový predzosilňovač, obvod redukcie zisku bez potenciometrov *Attack* a *Release*, prepínačov kompresného pomeru a odporov R₅₄, R₅₇ a kondenzátoru C₂₇, ktoré sú súčasťou dosky plošných spojov *Attack* a *Release*. Na hlavnej doske kompresora 1176 sa nachádza obvod indikácie a obvod koncového zosilňovača. Súčasťou dosky je výstupný transformátor a dvojica XLR konektorov pre linkový vstup a výstup. Hlavná doska kompresora 1176 obsahuje aj konektory CN₁₀, CN₃, CN₇, CN₈ na pripojenie ostatných dosiek plošných spojov. Doska je umiestnený konektor CN₁₇, ktorý slúži na pripojenie aktívneho modulu pre pripojenie ďalšej jednotky v prepojení do stera. Hlavná doska plošných spojov kompresora 1176 má rozmery 176,2 x 178,4 mm. Zoznam súčiastok, ktoré som použil pri realizácii sú uvedené v prílohe v dokumentácii.

7.2 DPS Attack a Release

Na doske plošných spojov sú osadené dva potenciometre na riadenie časových konštánt *Attack* a *Release*. Súčasťou potenciometru *Attack* je prepínač. Ak je potenciometer v polohe *Off*, tak prepínač je zopnutý v polohe *Open*, tak ako je znázornené na schéme kompresora 1176. Prepínač v polohe *Off* znamená, že obvod riadenia redukcie zisku je odpojený a kompresor sa správa ako predzosilňovač. Zopnutím prepínača do polohy jedna dôjde k zapojeniu obvodu riadenia redukcie zisku a kompresor začne signál komprimovať. Na doske plošných spojov sa nachádza kondenzátor C₂₇ a dvojica rezistorov R₅₄ a R₅₇. Ak je potenciometer *Attack* v polohe 1, rezistor R₅₇ sa automaticky uvedie do skratu. Doska obsahuje konektor CN₁₂, ktorý je spojený s konektorom CN₁₁ na doske riadenia redukcie zisku. Doska plošných spojov *Attack* a *Release* má rozmery 55 x 30 mm.

7.3 DPS Ratio

Na doske plošných spojov sa nachádza štvorica prepínačov kompresného pomeru s prislúchajúcimi rezistormi podľa schémy zapojenia kompresora 1176. Doska plošných spojov tiež obsahuje rezistory R₂₂, R₄₅, R₅₈. Na doske sa nachádza konektor CN₂, ktorý sa pripája do konektora CN₃ na hlavnej doske plošných spojov kompresora 1176. Doska plošných spojov *Ratio* má rozmery 65 x 49,5 mm.

7.4 DPS riadenia redukcie zisku

Na doske plošných spojov sa nachádza štvorica prepínačov. Stlačením prepínača *Off* uvedieme kompresor do vypnutého režimu. Stlačením prepínača +4 alebo +8 riadime zosilnenie na výstupe kompresora 1176. Prepínačom GR uvedieme kompresor do režimu komprimácie, v ktorej po nastavení potenciometra *Attack* do pozície jedna, začne kompresor signál komprimovať. V tomto nastavení merací prístroj zobrazuje hodnotu o koľko decibelov je signál kompresorom komprimovaný. Na doske plošných spojov riadenia redukcie zisku sú osadené rezistory R_{16} a R_{77} . Na strane *Top* sa nachádza konektor CN_6 , ktorý je spojený s konektorom CN_7 na hlavnej doske plošných spojov kompresora 1176. Okrem konektora CN_6 je na strane *Top* umiestnený konektor CN_{11} a konektor CN_9 . Konektor CN_6 je spojený s kontaktami meracieho prístroja a konektor CN_9 je spojený s konektorom CN_8 na hlavnej doske plošných spojov kompresora 1176. Na strane *Bottom* dosky plošných spojov riadenia redukcie zisku sa nachádza dvojica konektorov CN_4 a CN_5 . Konektor CN_4 je spojený s kontaktami konektora *EIC* a konektor CN_5 je spojený s konektorom na doske plošných spojov zdroja napätia. Doska plošných spojov riadenia redukcie zisku má rozmery 65 x 45 mm.

7.5 DPS zdroj

Na doske plošných spojov zdroja napájania sa nachádza šesť-pinový prepínač na prepínanie napätia z 230 V na 115 V. Na strane *Bottom* sa nachádza dvojica konektorov CN_{14} a CN_{13} . Konektor CN_{14} je spojený s konektorom CN_5 , ktorý sa nachádza na doske plošných spojov riadenia redukcie zisku a konektor CN_{13} je spojený so vstupom výkonového transformátora napätia. Doska plošných spojov zdroja má rozmery 35 x 35 mm.

7.6 DPS VU meter

Na doske plošných spojov pre merací prístroj sa nachádza 5-wattový rezistor s odporom 220 Ω . Taktiež konektor CN_{16} , ktorý je spojený s konektorom CN_1 na hlavnej doske plošných spojov kompresora 1176. Doska plošných spojov je uchytená na meracom prístroji zospájkovanými kontaktmi, ktoré slúžia pre osvetlenie meracieho prístroja.

8. KALIBRÁCIA KOMPRESORA 1176

Pre správnu činnosť kompresora 1176 je dôležitým krokom v reťazci praktickej realizácie jeho kalibrácia. Na kalibráciu kompresora 1176 bol použitý analógový osciloskop, multi-meter, generátor striedavého harmonického signálu s frekvenciou 1kHz a amplitúdou $0,775 \text{ V} = 0 \text{ dBu}$.

Kompresor 1176 má na vstupe nízku nominálnu impedanciu. Vo všeobecnosti chceme, aby vstupná impedancia bola približne desať-násobne vyššia ako impedancia generátora signálu, aby nedošlo ku strate impedancie. Táto strata môže mať za následok úbytok napätia na vstupe kompresora 1176 a preto si je multi-metrom potrebné overiť skutočné napätie na vstupe medzi kontaktami IN+ a IN-.

8.1 Nastavenie predpätia Q

Nastavenie predpätia je prvým kalibračným krokom, ktorý je potrebné vykonať, aby kompresor 1176 fungoval správne. Pri kalibrácii bolo predpätie nastavené nasledovne:

- Otočenie potenciometra *Input* do strednej polohy „24“
- Otočenie potenciometra *Output* do strednej polohy „24“
- Otočenie potenciometra *Attack* do vypnutej polohy
- Nastavenie kompresného pomeru 20:1
- Uvedenie merača do režimu „Gain-reduction“

Na generátore vstupného signálu sa nastaví hodnota signálu na 0 dBu. Pomocou sondy na osciloskope sa overí hodnota na vstupe kompresora 1176. Po overení vstupného signálu sa odmeria hodnota napätia na výstupe kompresora 1176. Potenciometrom *Output* na ovládacom paneli kompresora sa nastaví hodnota napätia na výstupe tak, aby osciloskop čítal hodnotu $2,75 \text{ V}_{\text{ac}} = 11 \text{ dBu}$. Pomalým otáčaním *Trimra* R₅₉ na hlavnej doske plošných spojov je nastavený pokles napätia na výstupe o 1dBu. Na výstupe kompresora by mal osciloskop čítať napätie $2,44 \text{ V}_{\text{ac}} = 10 \text{ dBu}$.

8.2 Obvod meracieho prístroja

V tomto kroku je odpojený generátor vstupného signálu. Vytiahnutím skratovacieho kolíka, odpojíme *trimmer* R₄₄ z obvodu meracieho prístroja. Multi-metrom je merané jednosmerné napätie na rezistore R₇₄. Pomocou *trimra* R₇₁ vynulujeme merací prístroj, aby ukazoval hodnotu 0V. Následne otáčaním *trimra* R₇₅ nastavíme napätie 0V na rezistore R₇₄. Pri dosiahnutí oboch kalibračných podmienok je skratovací kolík opäť vložený do obvodu. Vložením skratovacieho kolíka do obvodu poklesne napätie na meracom prístroji. Otáčaním *trimra* R₇₁ je opäť napätie na meracom prístroji nastavené na hodnotu 0V. *Trimmer* R₇₅ sa už nenastavuje. Táto podmienka bola splnená pred zasunutím skratovacieho kolíka do obvodu dosky kompresora 1176.

8.3 Prispôsobenie meracieho prístroja

V tomto kroku je nastavený merací prístroj redukcie zisku tak, že ak kompresor 1176 komprimuje signál o 10 dB, merací prístroj znázorni hodnotu -10 dB. Na začiatok je dôležité, aby merač ukazoval pri zapnutí a vypnutí tlačidla *GR OFF* 0V. Pri splnení tejto podmienky sú nastavené jednotlivé prvky nasledovne:

- *Input* „24“ - stredová pozícia
- *Output* „24“ – stredová pozícia
- *Attack* „7“ – krajná pozícia
- *Release* „7“ – krajná pozícia
- Prepínač kompresného pomer 20:1
- Uvedenie merača do režimu „*Gain-Reduction*“

V tomto kalibračnom kroku je použitý generátor striedavého harmonického signálu s frekvenciou 1 kHz a amplitúdou 0 dBu. Sonda osciloskopu je presunutá na výstup kompresora 1176. Potenciometrom na riadenie výstupu nastavíme hodnotu 0 dB na výstupe kompresora 1176. Potenciometer *Attack* uvedieme do vypnutej polohy. Následne potenciometrom pre riadenie vstupnej úrovne nastavíme úroveň +10 dB na výstupe kompresora. Osciloskop meria 2,44 V_{ac}. Následne uvedieme potenciometer *Attack* do krajnej polohy „7“. Pri zapnutom *Attacku* by mal osciloskop čítať hodnotu 0,775 V na výstupe kompresora 1176. Teraz pomocou trimra R₄₄ znížime hodnotu napätia na meracom prístroji tak, aby zobrazoval hodnotu -10 dB.

8.4 Korekcia skreslenia

Na nastavenie *trimra* skreslenia (R₈₆) je potrebné špeciálne zariadenie, ktoré dokáže odmerať celkové harmonické skreslenie (*THD*). Toto meranie je uvedené v kapitole 9.4. Na meranie korekcie skreslenia je potrebné nasledovné nastavenie jednotlivých prvkov:

- *Input* „0“ – krajná poloha
- *Output* „18“
- *Attack* – vypnutá poloha
- *Release* „7“ – krajná poloha

Na vstup sa privedie striedavý signál s frekvenciou 500 Hz a amplitúdou 30 dB. Otáčaním trimra R₈₆ sa nastaví najnižšia možná hodnota THD.

9. OVERENIE FUNKČNOSTI PRAKTICKEJ REALIZÁCIE KOMPRESORA 1176

V deviatej kapitole sú prezentované zmerané závislosti kompresora 1176, ktoré boli merané pomocou meracieho prístroja APX525 od firmy *Audio Precision* a taktiež pomocou programu Audio FX analyzer.

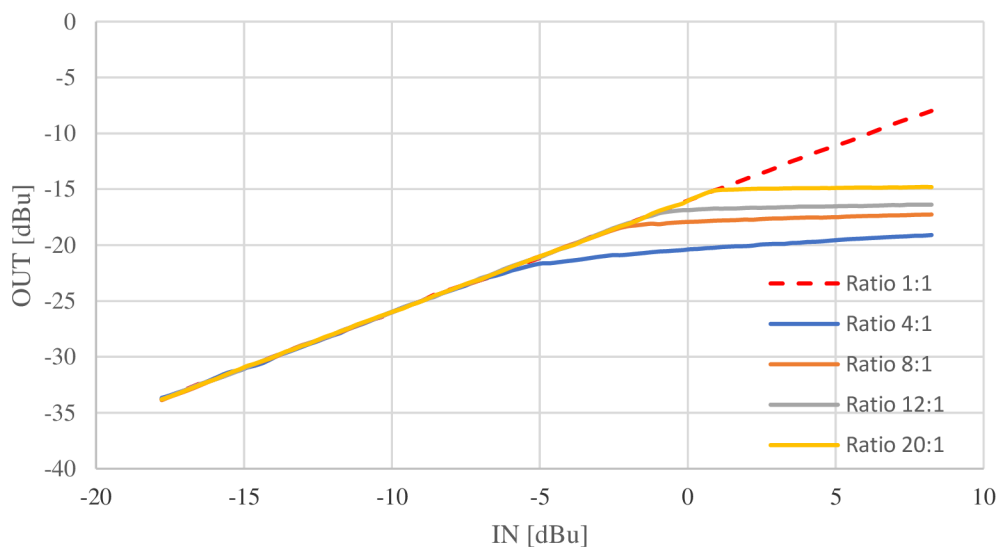
V zmeraných charakteristikách sú jednotlivé merania a nastavenia kompresných pomerov rozlišované vždy rovnakou farbou pre jednoduchú orientáciu. Pri meraní jednotlivých charakteristík boli dynamické potenciometre *Input*, *Output*, *Attack* a *Release* nastavené vždy v strednej polohe. Toto nastavenie neplatí pre meranie charakteristiky kolena, ktoré je riadené parametrom *Input*, taktiež pre meranie prevodnej charakteristiky s dynamickou prahovou úrovňou, ktoré bolo merané vzájomne s meraním závislosti zosilnenia na vstupnom signáli.

Boli zmerané tieto charakteristiky:

- Prevodná charakteristika
- Kmitočtová charakteristika
- Závislosť zosilnenia na vstupnom signáli
- Harmonické skreslenie
- Harmonické skreslenie + šum
- Meranie *Attack*
- Meranie *Release*

9.1 Meranie prevodnej charakteristiky

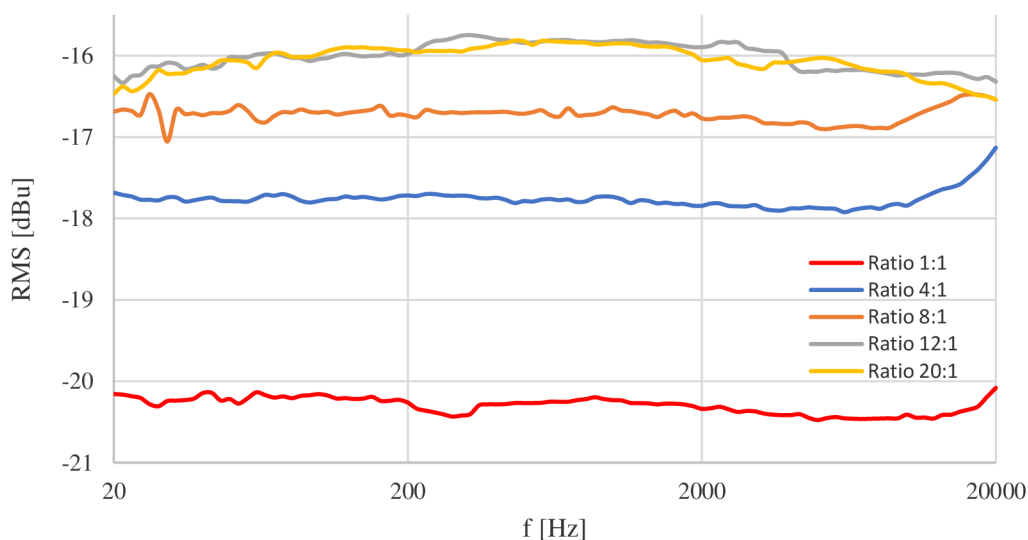
Prevodná charakteristika je závislosť výstupného signálu (os Y) na vstupnom signáli (os X). Pri meraní prevodnej charakteristiky bol použitý testovací signál s frekvenciou 1 kHz a amplitúdou v rozsahu od 0,775 V (0 dBu) do 2 V (8,24 dBu). V Obr. 9-1 je možné pozorovať jednotlivé charakteristiky pre každý kompresný pomer kompresora 1176. Z grafu je zjavné že, zvyšovaním kompresného pomeru sa posúva hranica prahovej úrovne a taktiež mení intenzita strmosti kolena. Takéto správanie je pre kompresor 1176 typické. Trend kriviek je lineárny do momentu prekročenia prahovej úrovne, ktorá je pre každý kompresný pomer iná. Od momentu prekročenia prahovej úrovne je pozorovateľná komprimácia kompresora 1176, ktorá závisí na veľkosti vstupného signálu. Táto problematika je dôkladne vysvetlená v kapitole 6.5.1.



Obr. 9-1 Prevodná charakteristika kompresora 1176

9.2 Kmitočtová charakteristika kompresora 1176

Kmitočtová charakteristika je závislosť frekvencie (os X) na module efektívnej hodnoty výstupného napätia (os Y). Kmitočtová charakteristika informuje o tom, ako veľmi ovplyvní kompresor spektrum výstupného signálu. Meranie kmitočtovej charakteristiky bolo rozdelené na meranie, pri rozdielom nastavení prepínačov kompresného pomeru a na meranie kedy kompresor vstupný signál nekomprimuje. V grafe je zobrazená päť charakteristík, v ktorom každá charakteristika prislúcha danému zvolenému prepínaču kompresného pomeru.

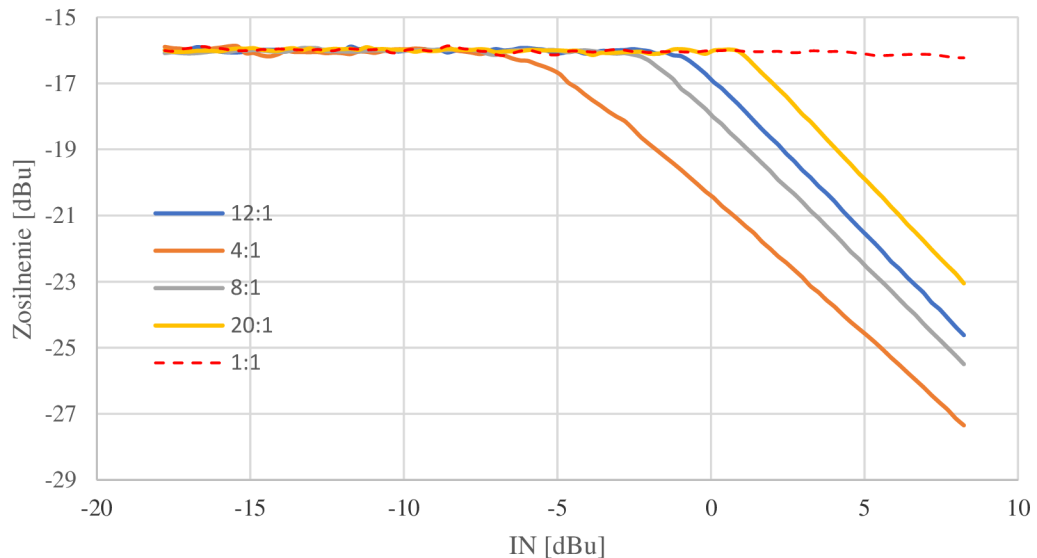


Obr. 9-2 Kmitočtová charakteristika kompresora 1176

Na grafe vidíme, že všetky zmerané kmitočtové charakteristiky majú maximálne zvlnenie ± 1 dB. Takéto zvlnenie kmitočtovej charakteristiky udáva aj výrobca. V praktickej realizácii kompresora boli použité bipolárne tranzistory typu 2SD1207, ktoré nahradili bipolárne tranzistory typu 2N3391A a 2N3707. Napriek tejto zmene to nemalo vplyv na celkovú kmitočtovú odozvu kompresora 1176. Zvlnenie kmitočtovej charakteristiky ± 1 dB v rozsahu kmitočtu 20 Hz – 20 kHz je v praxi považované za nízke, a celkový návrh zosilňovačov v kompresore 1176 je veľmi precízny.

9.3 Závislosť zosilnenia na vstupnom signáli

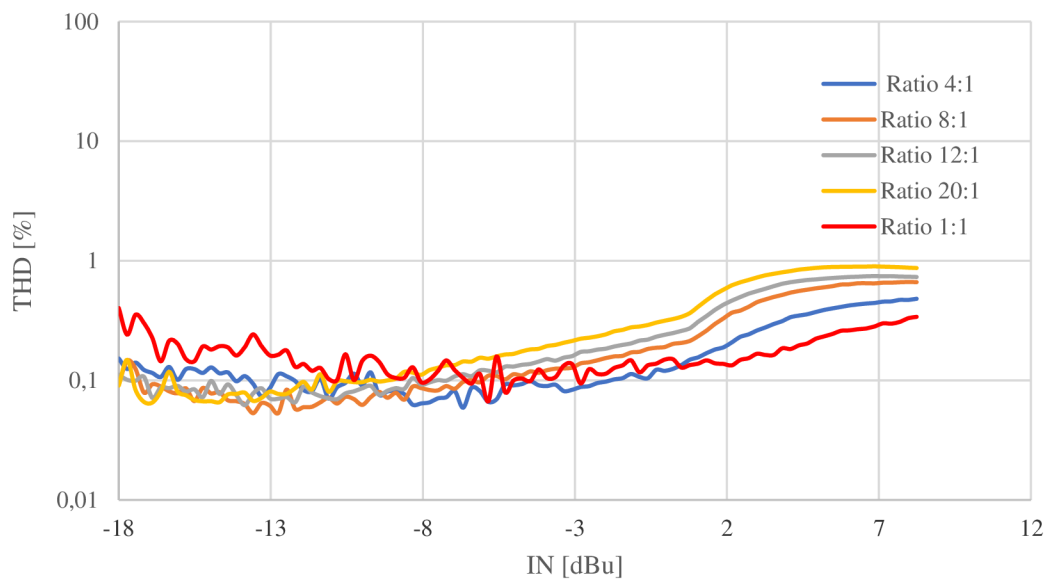
V grafe závislosti zosilnenia (A) na vstupnom signáli je možné pozorovať útlm výstupného signálu, ktorý kompresor aplikoval pri zvolenom prepínači kompresného pomeru. Toto meranie bolo súčasne merané s meraním prevodnej charakteristiky. S narastajúcou prahovou úrovňou je možné pozorovať aj vyššiu strmosť charakteristiky, čo v prevodnej charakteristike je možné pozorovať ako strmosť kolena.



Obr. 9-3 Závislosť zosilnenia na vstupnom signáli

9.4 Harmonické skreslenie (THD)

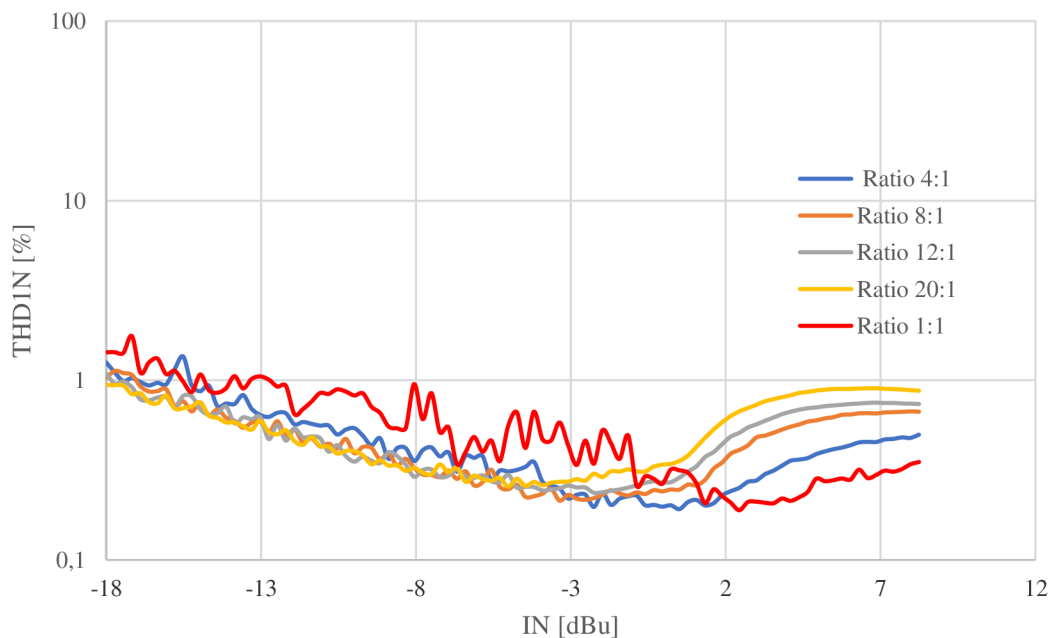
Harmonické skreslenie je veličina, ktorá je definovaná ako pomer výkonov všetkých vyšších harmonických k výkonu základnej harmonickej zložky. THD kompresora 1176 bolo merané pomocou meracieho zariadenia APX525. Výrobca udáva harmonické skreslenie do 0,5 %, ktoré je závislé na parametri *Release* a taktiež výstupnom zisku. V praktickej realizácii sa harmonické skreslenie líši aj od zvoleného prepínača kompresného pomeru. V grafe je zobrazených päť charakteristík, ktoré odpovedajú harmonickému skresleniu v závislosti na vstupnom signáli pri zvolenom prepínači kompresného pomeru.



Obr. 9-4 THD kompresora 1176

9.4.1 Harmonické skreslenie + šum (THD+N)

V tomto meraní bolo zmerané harmonické skreslenie bez filtrácie šumu. Najvyššia hodnota THD+N je 1,4 %. Táto vyššia hodnota môže byť zapríčinená vyšším šumovým číslom tranzistorov, ktoré boli použité v praktickej realizácii. Taktiež vyššiu hodnotu THD+N mohlo spôsobiť nie úplne ideálne prepojenie zemí na hlavnej DPS kompresora 1176.



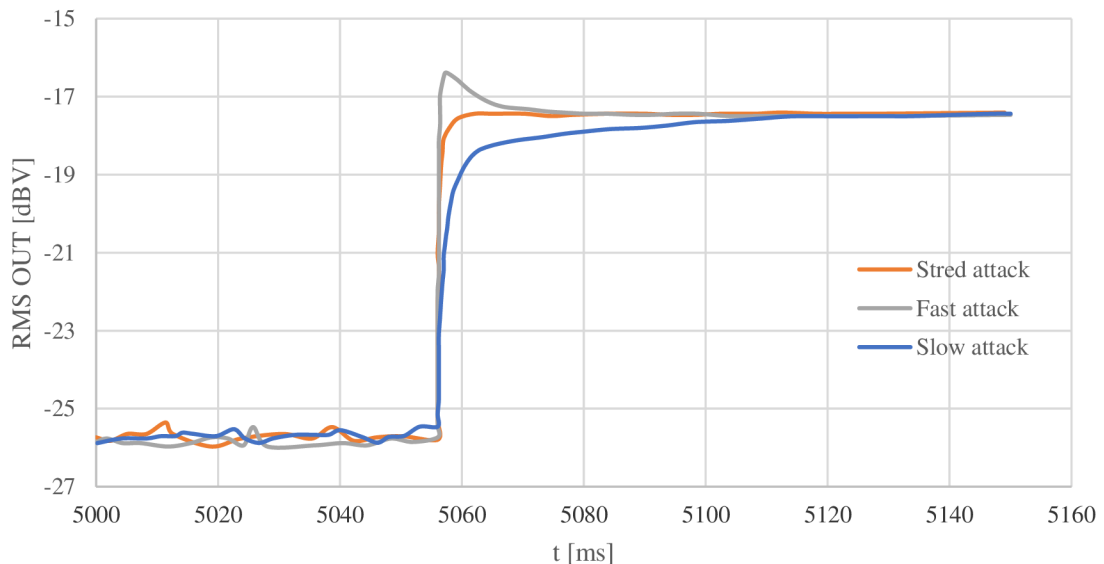
Obr. 9-5 THD+N kompresora 1176

9.5 Meranie Attack

V meraní *Attack* bola overená doba reakcie kompresora 1176 na zvukový signál. kompresor 1176 má vo všeobecnosti veľmi krátku dobu *Attack*, ktorú výrobca uvádza v rozmedzí 20 – 800 μs . Doba *Attack* bola meraná prostredníctvom meracieho softvéru Audio Analyzer. Pomocou softvéru sa nepodarilo toto meranie vykonať, pretože merací softvér je schopný merať len v radoch milisekúnd. Doba *Attack* trvá približne päť periód časovej konštanty τ , až kým nedôjde k ustáleniu úrovne napätia zvukového signálu. Pomocou tohto tvrdenia je možné odhadnúť hodnotu *Attack* pomocou Obr. 9-6 a rovnice (9.2).

$$\Delta t = t_u - t_a \quad (9.1)$$

$$\tau = \frac{\Delta t}{5} \quad (9.2)$$



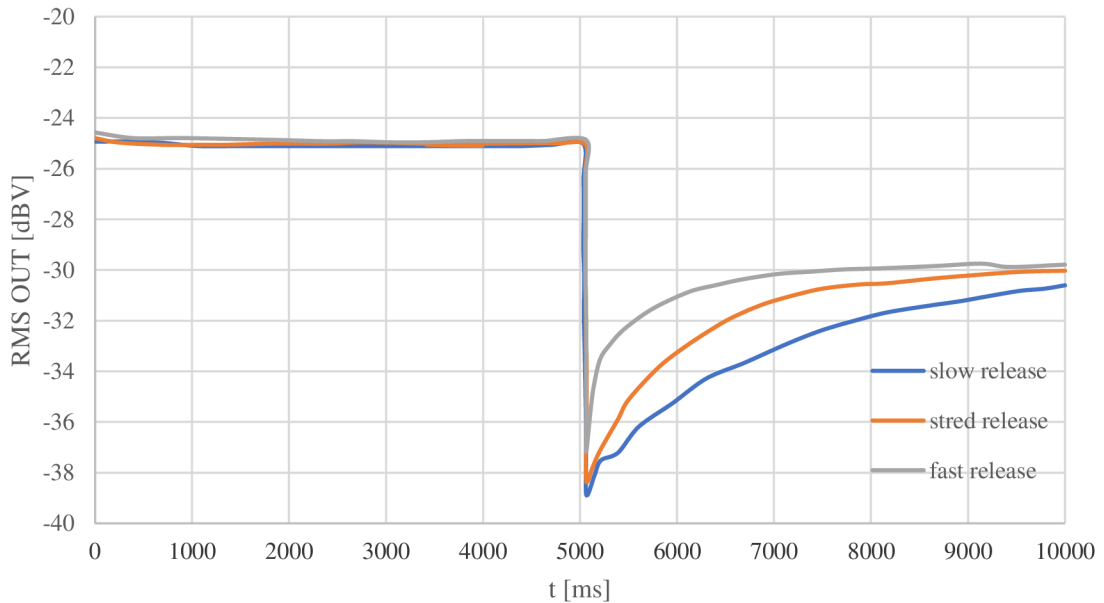
Obr. 9-6 Meranie časovej konštanty *Attack*

Z grafu je pozorovateľný prechod zvukového signálu v najrýchlejšom nastavení časovej konštanty *Attack*. Tento prechod je spôsobený pomalým spínaním usmerňovacích diód D_2 , D_3 v Kontrolnom obvode riadenia redukcie zisku. Prechod zvukového signálu spôsobí jeho skreslenie. V praktickej realizácii boli použité diódy typu FDH300A, z dôvodu absencie diód typu FDH333 na európskom trhu.

Prechod pri najrýchlejšom nastavení parametru *Attack* spôsobil, že nie je z grafu možné odčítať hodnotu časovej konštanty. Pri nastavení potenciometra *Attack* do strednej polohy, sa časová konštantá rovná hodnote približne 500 μs . Pri uvedení potenciometra *Attack* do maximálnej polohy sa pohybuje hodnota časovej konštanty v okolí 10ms. Oproti uvádzanej hodnote je táto hodnota časovej konštanty viac ako 10 krát vyššia.

9.6 Meranie Release

Meranie časovej konštanty *Release* bolo merané rovnako ako meranie časovej konštanty *Attack*, pomocou meracieho softvéru Audio Analyzer. Časová konštantá *Release* je výrobcom udávaná v rozmedzí 50 – 1100 ms. Pomocou meracieho softvéru nebolo možné presne zmerať dĺžku časovej konštanty release v najpomalšom nastavení.



Obr. 9-7 Meranie časovej konštanty *Release*

Hodnotu časovej konštanty *Release* je možné odhadnúť rovnako ako v prípade časovej konštanty *Attack* a dopočítať podľa rovnice (9.2). *Release* v najrýchlejšom nastavení podľa odhadu z grafu činí hodnotu 400 ms. Táto hodnota je oproti hodnote, ktorú udáva výrobca väčšia o 350 ms. Pri nastavení potenciometra *Release* do strednej polohy sa hodnota uvoľnenia pohybuje na úrovni 900 ms. Potenciometer *Release* v maximálnej polohe by mal zodpovedať hodnote uvoľnenia 1100 ms. Z grafu odčítaná hodnota ustálenia signálu presahuje dĺžku 5000ms. Táto hodnota zodpovedá piatim periódam nastavenej časovej konštanty. Po dosadení do rovnice (9.2) je hodnota časovej konštanty v najpomalšom nastavení parametra *Release* 1100 ms.

Tabuľka 9.1 Porovnanie parametrov praktickej realizácie s parametrami výrobcu

Parameter	Parametre udávané výrobcom	Parametre praktickej realizácie
Attack	20 – 800 μ s	x – 10 ms
Release	50 – 1100 ms	400 – 1100 ms
THD	>0,5 %	>1%
THD+N	-	>1,4%
Zisk	45 dB	45 dB
Freq. odozva	\pm 1 dB (20 Hz – 20 kHz)	\pm 1 dB (20 Hz – 20 kHz)

ZÁVĚR

Cieľom bakalárskej práce bolo zostavenie a overenie vlastností praktickej realizácie kompresora 1176. Praktická realizácia kompresora bola zameraná v laboratóriu radom experimentálnych meraní. Experimentálne merania boli vykonané pomocou meracieho zariadenia APX525.

Zmeraním prevodnej charakteristiky kompresora 1176 bol overený základný princíp kompresie zvukového signálu kompresorom 1176. V grafe závislosti prevodnej charakteristiky je možné pozorovať zmenu prahovej úrovne a strmosti kolena pri jednotlivom nastavení prepínačov kompresného pomeru.

Pri meraní kmitočtovej charakteristiky bolo zistené maximálne zvlnenie ± 1 dB v pásme 20 Hz – 20 kHz. Praktická realizácia sa v tomto meraní zhoduje s parametrom udávaným výrobcom.

Pri experimentálnom meraní harmonického skreslenia boli súčasne vykonané merania THD a THD + N. Harmonické skreslenie je v prípade praktickej realizácie vyššie ako harmonické skreslenie udávané výrobcom. Vyššie hodnoty môžu byť spôsobené nevhodným prepojením zemí a preto obvod mierne šumí. Hodnota harmonického skreslenia bez filtrácie šumu dosahuje hodnotu 1,4 %.

V meraní časových konštánt parametrov *Attack* a *Release* bol použitý softvér Audio Analyzer. Toto meranie sa nepodarilo vykonať s dostatočnou presnosťou, keďže doba časovej konštanty *Attack* kompresora 1176 je príliš krátka a doba časovej konštanty parametra *Release* je v najpomalšom nastavení príliš dlhá. Údaje časových konštánt boli odhadnuté z grafu a dopočítané pomocou priloženej rovnice.

Zostavená praktická realizácia kompresora 1176 nedosahuje profesionálne kvality v porovnaní s firmou Universal Audio, avšak je dostatočne použiteľná pri postprodukcii v hudobných štúdiách. Pri vylepšení rozmiestnenia súčiastok a prepojenia zemí na hlavnej doske plošných spojov, by praktická realizácia bola schopná konkurovať aj typovo rovnakým kompresorom vo svojej triede.

Bakalárska práca overila, preskúmala a dokázala podstatu komprimácie zvukového signálu kompresora Universal Audio 1176. Priniesla podrobný popis funkčných blokov schémy zapojenia a ich analýzu. Merania praktickej realizácie potvrdili všetky uvedené vlastnosti kompresora Universal Audio 1176.

Literatura

- [1] JEFFS, Rick, Scott HOLDEN a Dennis BOHN. Dynamics processors -- Technology & Applications. *Rane Commercial Audio Products* [online]. Mukilteo, WA: RaneNote, 2005, September 2005 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.ranecommercial.com/legacy/note155.html>
- [2] LESURF, Jim. The Envelope detector. WinLab [online]. Scotland [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: http://www.winlab.rutgers.edu/~crose/322_html/envelope_detector.html
- [3] GIANNOULIS, Dimitrios, Michael MASSBERG a Joshua REISS. Digital Dynamic Range Compressor Design—A Tutorial and Analysis [online]. Londýn, 2012 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/277772168_Digital_Dynamic_Range_Compessor_Design-A_Tutorial_and_Analysis. Článok. Queen Mary University of London.
- [4] M.KATES, James. Principles of Digital Dynamic-Range Compression. Sage Journals: Trends in Hearing [online]. Colorado: Boulder, 2005 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/108471380500900202>
- [5] Dynamic Range Compression. *WikiAudio* [online]. WikiAudio, 2020, 15.5.2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.wikiaudio.org/dynamic-range-compression/>
- [6] Tube Compressor. *SoundBridge* [online]. Dynamic FX, 2017, 6. Apríl. 2017 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://soundbridge.io/tube-compressor/>
- [7] Optical Compressor. *SoundBridge* [online]. Dynamic FX, 2017, 29. Marec. 2017 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://soundbridge.io/optical-compressor/>
- [8] FET Compressor. *SoundBridge* [online]. Dynamic FX, 2017, 19. Apríl. 2017 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://soundbridge.io/fet-compressor/>
- [9] VCA Compressor. *SoundBridge* [online]. Dynamic FX, 2017, 12. Apríl. 2017 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://soundbridge.io/vca-compressor>
- [10] ROBJOHNS, Hugh. Parallel Compression. *SoundBridge* [online]. Sound on Sound, 2013, Február. 2013 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.soundonsound.com/techniques/parallel-compression>
- [11] *Model 1176LN: Solid-State Limiting Amplifier*. In: . 2009, číslo 65-00046. Dostupné také z: https://media.uaudio.com/assetlibrary/1/1/1176ln_manual.pdf
- [12] FUSTON, Lynn. UA'S CLASSIC 1176 COMPRESSOR — A HISTORY. *Universal Audio* [online]. [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.uaudio.de/blog/analog-obsession-1176-history/>
- [13] The Complete Guide to UREI/Universal Audio 1176 Revisions. *DIYRE* [online]. 18. Apríl. 2011 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.diyrecordingequipment.com/blogs/news/15851664-the-complete-guide-to-urei-universal-audio-1176-revisions/>

- [14] 1176 AND LA-2A HARDWARE REVISION HISTORY. *Universal Audio* [online]. [cit. 2020-12-03].
Dostupné z: <https://www.uaudio.com/blog/1176-la2a-hardware-revision-history>
- [15] *STEREO VARIABLE MU LIMITER COMPRESSOR* [online]. [cit. 2020-12-03].
Dostupné z: <https://www.manley.com/pro/mslchp>
- [16] Teletronix LA-2A Classic Leveling Amplifier. *Universal Audio* [online]. 2020, 4.Máj.2020 [cit. 2020-12-03].
Dostupné z: <https://help.uaudio.com/hc/en-us/articles/206356233-Teletronix-LA-2A-Classic-Leveling-Amplifier>
- [17] LCA 2B DUAL CHANNEL TUBE VCA COMPRESSOR. TubeTech [online]. [cit. 2020-12-03].
Dostupné z: <http://www.tube-tech.com/lca-2b-dual-channel-tube-vca-compressor/>
- [18] 2SD1207: Rev.E. *DATA SHEET: Silicon NPN transistor in a TO-92LM Plastic Package* [online]. 2016 [cit. 2021-5-29]. Dostupné z: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1141001/BLUEROCKETELECTRONICS/2SD1207/1>
- [19] CM-96731 - Universal Audio: 1176 Output Transformer Replacement. *DATASHEET* [online]. [cit. 2021-5-29].
Dostupné z: <https://cinemag.biz/output/PDF/CM-96731.pdf>

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
Q	Šírka pásma
VCA	Zosilňovač riadený napätím
THD	Harmonické skreslenie
EQ	Ekvalizér
RMS	Efektívna hodnota signálu
BJT	Bipolárny tranzistor
J-FET	Tranzistor riadený elektrickým poľom
CW	V smere hodinových ručičiek
dB	decibel
obr.	obrázok

Symboly:

U	napätie	[V]
R	odpor	[Ω]
C	kapacita	[F]
τ	časová konštanta	[s]
π	Ludolfovo číslo	[-]
f	frekvencia	[Hz]
-	decibel	[dB]
U_{cc}	napájacie napätie	[V]
I_B	bázový prúd bipolárneho tranzistora	[A]
I_C	kolektorový prúd bipolárneho tranzistora	[A]
I_E	emitorový prúd bipolárneho tranzistora	[A]
I_{RB1}	prúd na rezistore RB1 v deliči napätia	[A]
I_{RB2}	prúd na rezistore RB2 v deliči napätia	[A]
R_C	rezistor v kolektore bipolárneho tranzistora	[Ω]
R_B	rezistor v bázy bipolárneho tranzistora	[Ω]
R_E	rezistor v emitore bipolárneho tranzistora	[Ω]
β_F	prúdový zosilňovací činiteľ tranzistora	[-]
U_{BE}	napätie medzi bázou a emitorom BJT	[V]
U_E	napätie na emitore BJT	[V]
U_C	napätie na kolektore BJT	[V]
U_B	napätie na bázy BJT	[V]
A_U	Napät'ové zosilnenie	[-]
t_u	hodnota ustálenia zvukového signálu	[s]
t_a	hodnota pri zmene stavu zvukového signálu	[s]

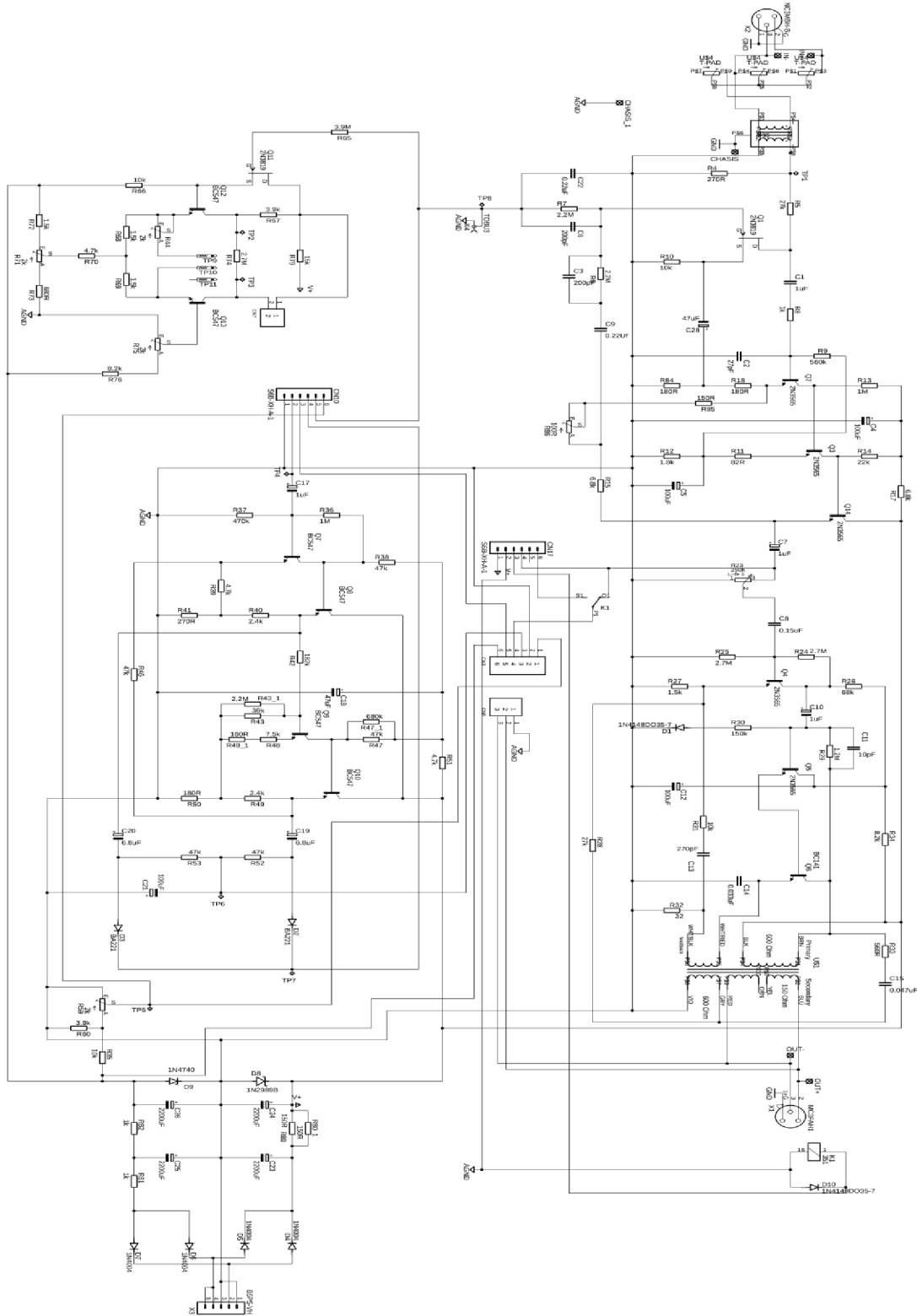
Příloha B Zoznam použitých súčiastok

	názov	puzdro	hodnota	ks	cena /ks
1	C1	5 x 11 mm	1uF	1	1
2	C2	6mm	27pF	1	0,08
3	C3, C6	Tantalum	200pF	2	0,19
4	C4, C5, C12, C21	6,3 x 11 mm	100uF	23	0,05
5	C7, C10, C17	5 x 11 mm	1uF	23	0,05
6	C8	7,2x3,5x7,5 mm	0,15uF	1	0,11
7	C9, C22	7,2x3,5x7,5 mm	0,22uF	1	0,1
8	C11	5 mm	10pF	1	0,12
9	C13	5 mm	270pF	1	0,06
10	C14	7,2x2,5x7,5 mm	33nF	1	0,09
11	C15	7,2x2,5x7,5 mm	47nF	1	0,09
12	C18, C28	6,3 x 11 mm	47uF	18	0,06
13	C19, C20	Tantalum	6,8uF	2	1,2
14	C23	16 x 36 mm	2200uF	1	0,63
15	C24, C25, C26	16 x 25 mm	2200uF	3	0,43
16	C27	7,2x2,5x7,5 mm	22nF	1	0,1
17	D1	D035	1N4148	18	0,05
18	D2,D3	D035	FDH300A	2	0,63
19	D4, D5, D6, D7	D041	1N4003	4	0,06
20	D8	D04	1N2989B	1	9,21
21	D9	D041	1N4740A	5	0,131
22	Q1, Q11	T092	2N5457	2	8
23	Q2, Q3, Q4, Q14	T092	2SD1207	10	0,3
24	Q5, Q7, Q8, Q9, Q10, Q12, Q13				
25	Q6	T039	BC141-16	1	0,5
26	R23	pot	250k	1	1,22
27	R55	pot	25k	1	0,66
28	R56	pot	5M	1	1,22
29	R4, R41	204	270R	2	0,08
30	R5, R28	204	27k	2	0,1
31	R6,R7	207	2,2M	2	0,11
32	R8	204	1k	1	0,08
33	R9	204	560k	1	0,1
34	R10, R31, R35, R66	204	10k	4	0,08
35	R11	207	82R	1	0,13
36	R12	204	1,8k	1	0,08
37	R13, R36	204	1M	2	0,09
38	R14	204	22k	1	0,08
39	R15, R17	204	6,8k	2	0,01
40	R16	204	3,6k	1	0,09
41	R18, R50, R84	204	180R	3	0,09
42	R19, R26	204	68k	2	0,04

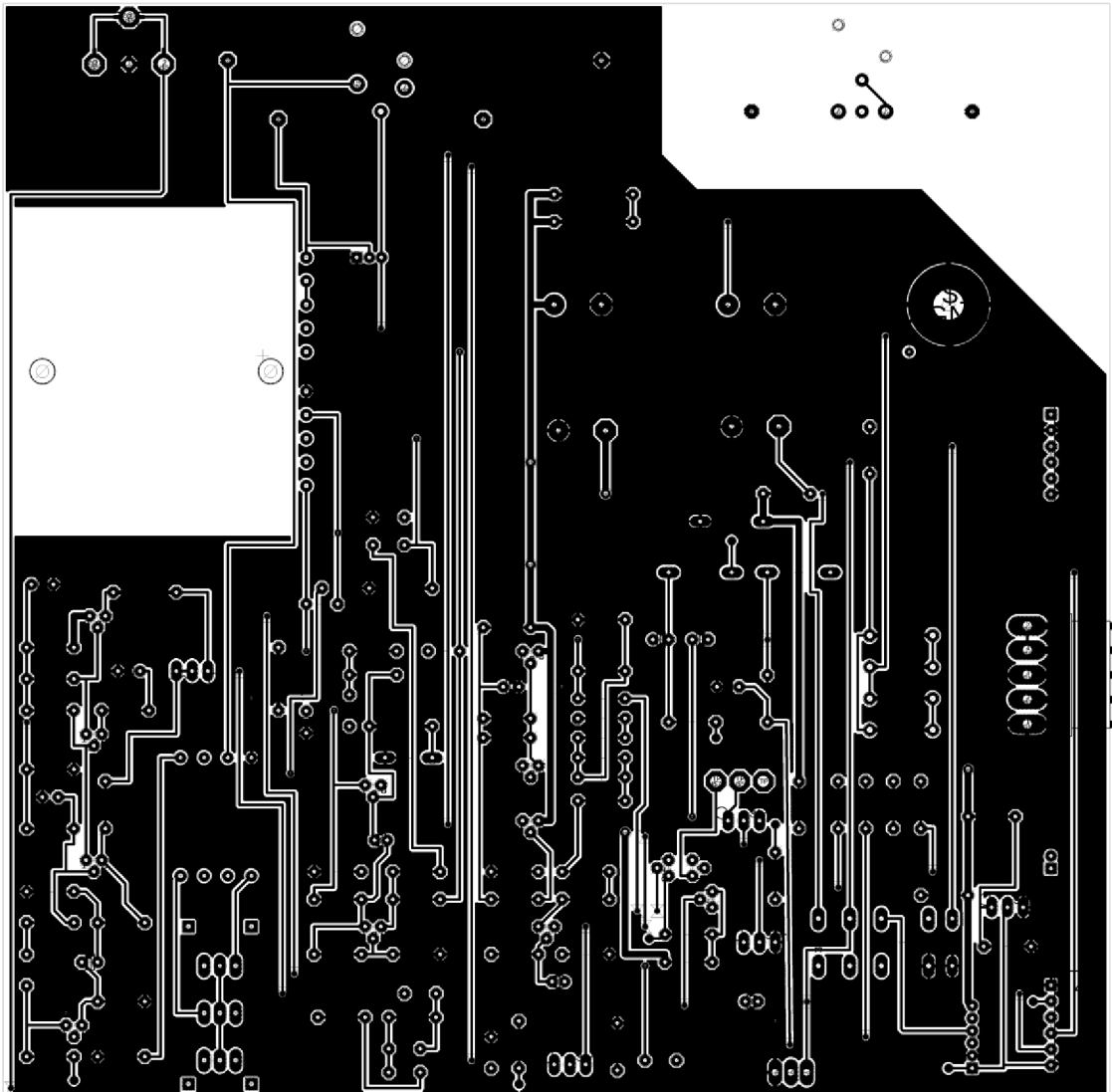
43	R20, R21, R78	204	56k	3	0,1
44	R22, R38, R46, R52, R53	204	47k	5	0,08
45	R24, R25, R74	207	2,7M	3	0,11
46	R27, R63, R64, R68, R69, R72	204	1,5k	6	0,08
47	R29	207	1,2M	1	0,11
48	R30	204	150k	1	0,11
49	R32	204	39R	1	0,11
50	R33, R62	204	560R	2	0,1
51	R34, R76, R77	204	8,2k	3	0,08
52	R37	204	470k	1	0,09
53	R39, R51, R70	204	4,7k	3	0,08
54	R40, R49	204	2,4k	2	0,1
55	R42	207	182k	1	0,13
56	R43	207	38,3k	1	0,09
57	R45	207	10M	1	0,11
58	R47	207	44,2k	1	0,1
59	R48	207	7,68k	1	0,1
60	R54, R61	204	470R	2	0,1
61	R57	204	270k	1	0,1
62	R58, R85	204	150R	2	0,09
63	R60, R67	204	3,9k	2	0,09
64	R65	207	3,9M	1	0,11
65	R73	204	680R	1	0,1
66	R79	204	15k	1	0,1
67	R80	3W	75R	1	0,2
68	R81, R82	207	1k	2	0,32
69	R44, R59, R75, R71	B64Y	2k	4	0,91
70	R86	B64Y	100R	1	1,1
71	RCA			1	0,29
72	XLR IN			1	2,6
73	XLR OUT			1	1,42
74	VU meter			1	9,66
75	SW1, SW2			2	2,17
76	dist. Stlpik			5	0,75
77	19' rack enclosure			1	70,84
78	Skratovací kolík			1	0,07
79	svorkovnica			1	0,75
80	pristrojoví gombik 1			2	1,65
81	pristrojoví gombik 2			2	0,98
82	poitska	T	200mA	1	0,13
83	prepínač 230/115V			1	1,55
84	R VU METER	5W	220R	1	0,4

Příloha C Dosky plošných spojov

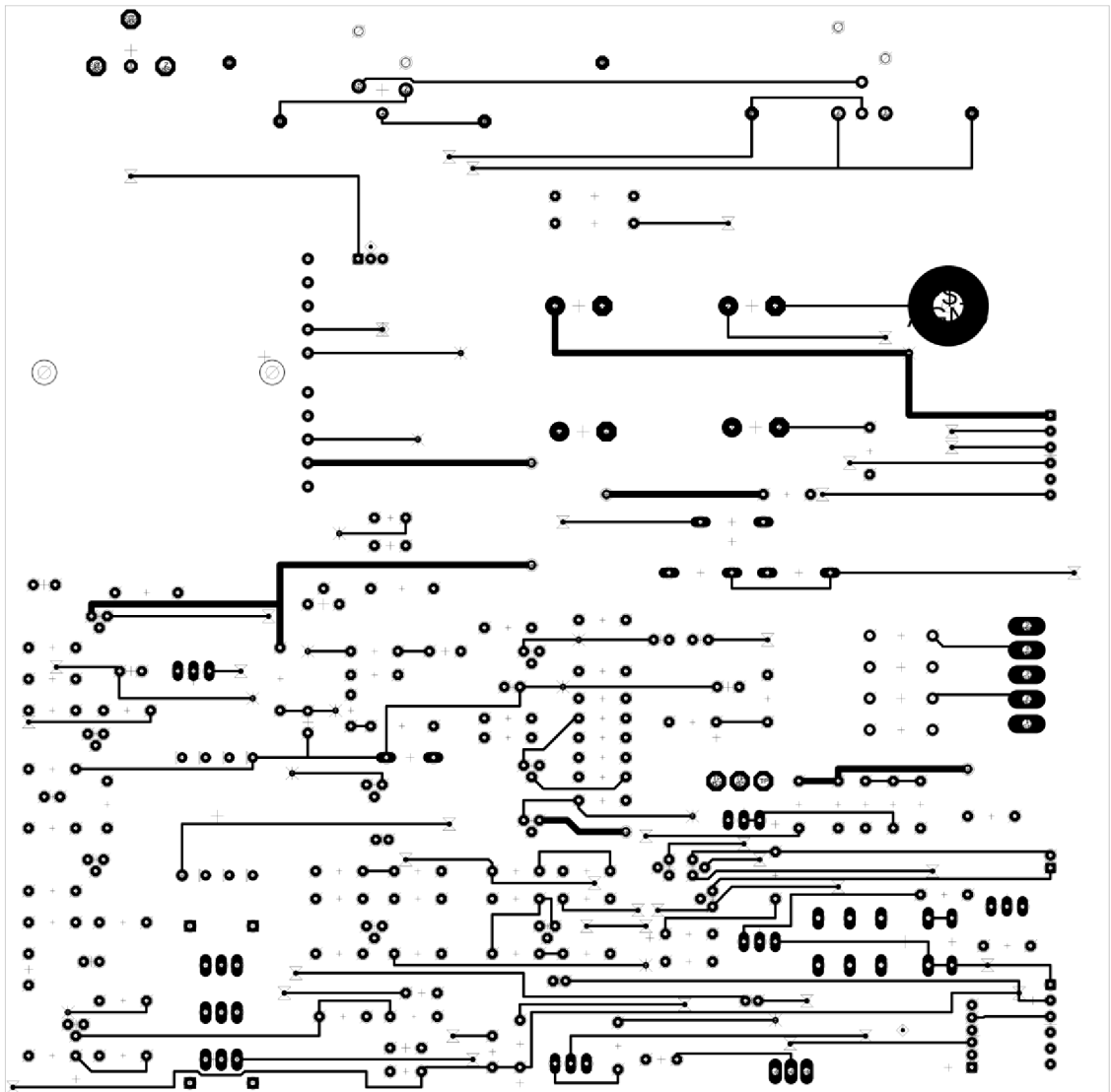
C.1 – Hlavná DPS



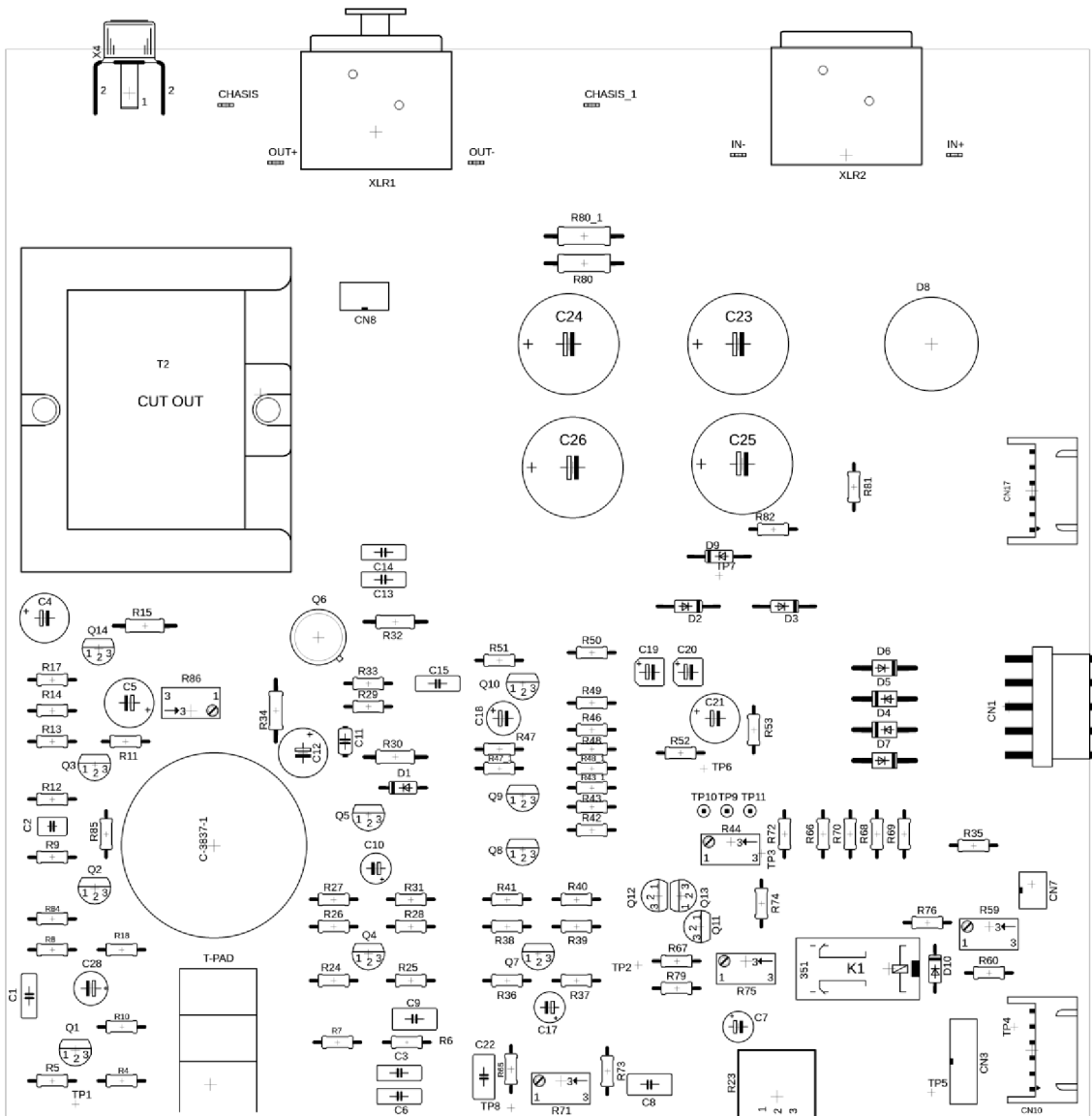
Obr. 9-9 Schéma hlavnej DPS



Obr. 9-10 Med' - vrstva *Top*

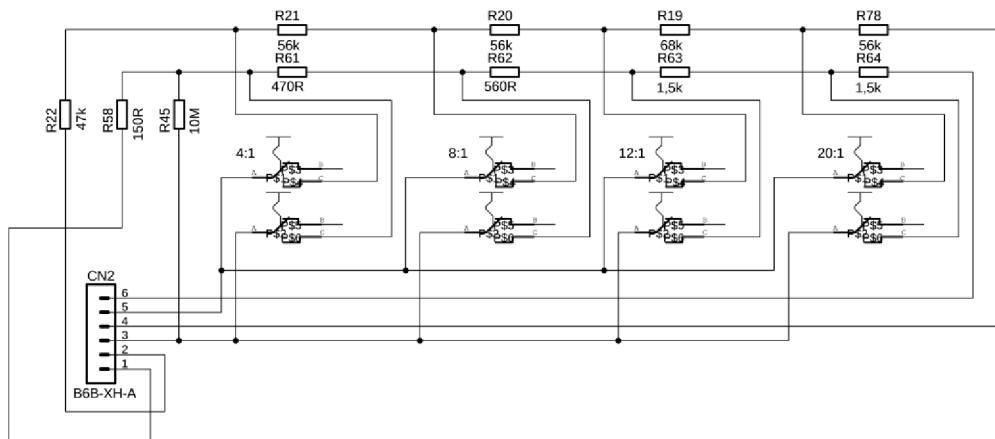


Obr. 9-11 Med³ - vrstva *Bottom*

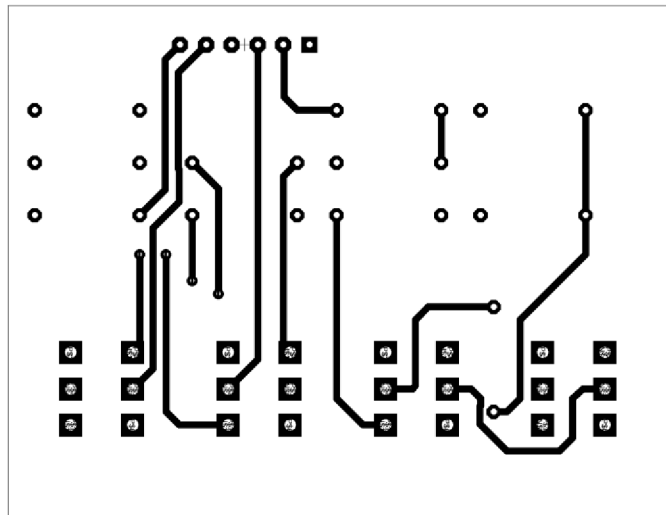


Obr. 9-12 Osadenie súčiastok Top

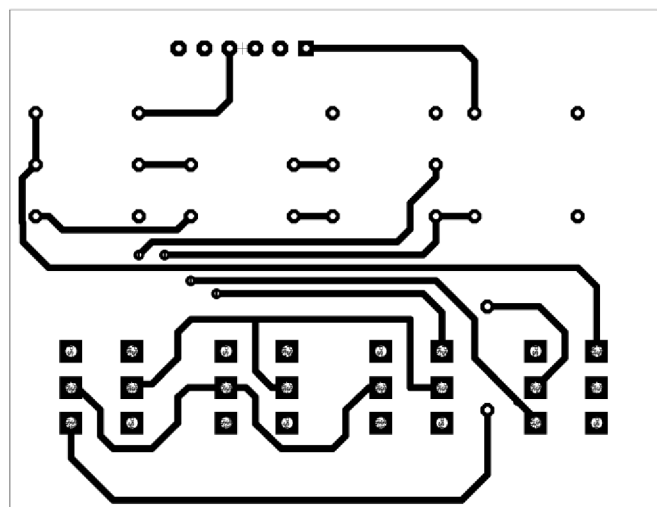
C.2 DPS Ratio



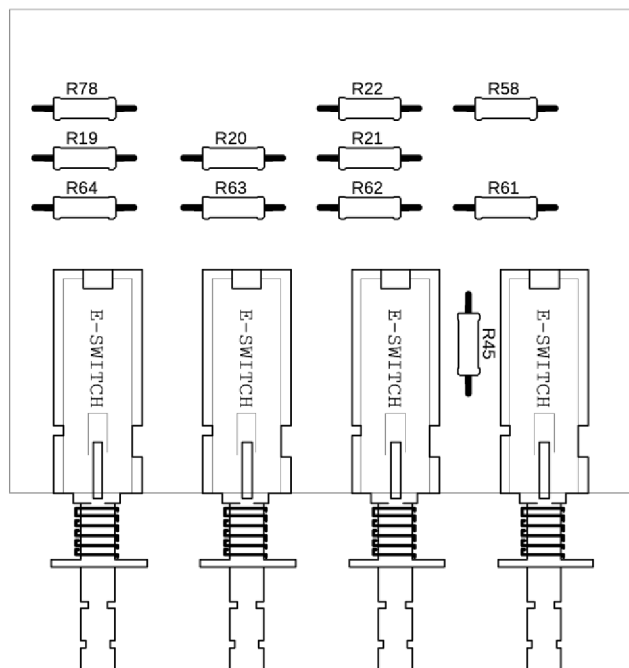
Obr. 9-13 Schéma DPS Ratio



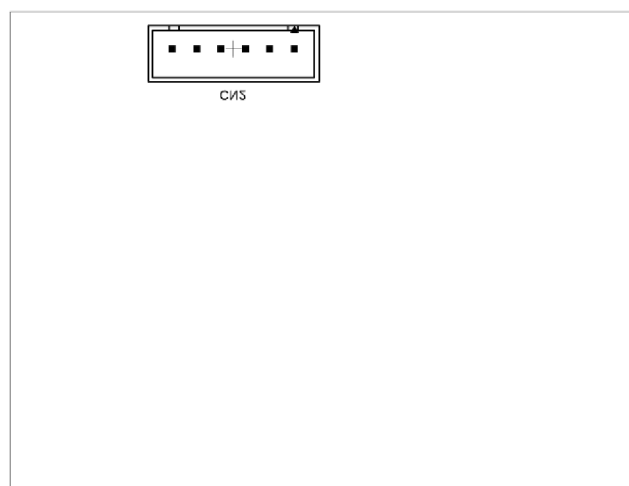
Obr. 9-14 Med' - vrstva *Top*



Obr. 9-15 Med' - vrstva *Bottom*

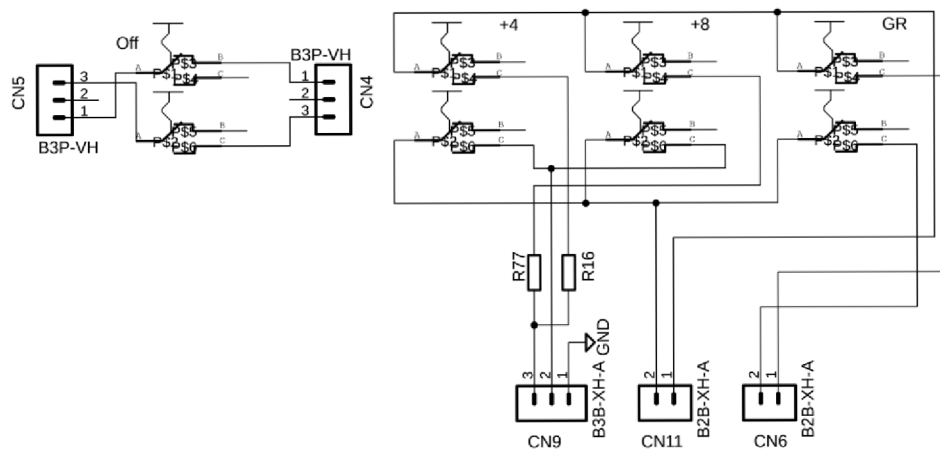


Obr. 9-16 Osadenie súčiastok - vrstva *Top*

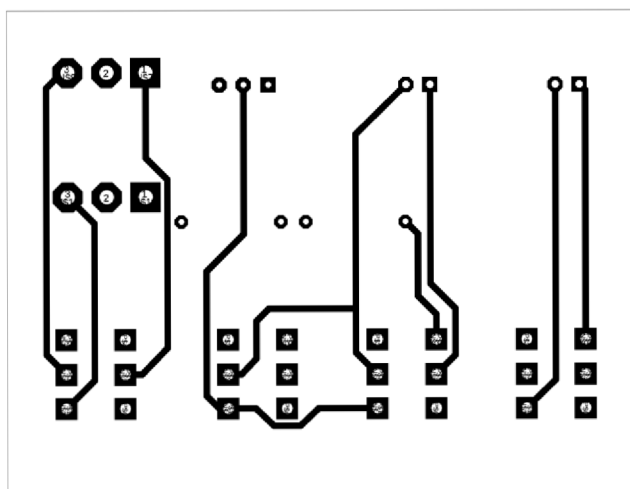


Obr. 9-17 Osadenie súčiastok - vrstva *Bottom*

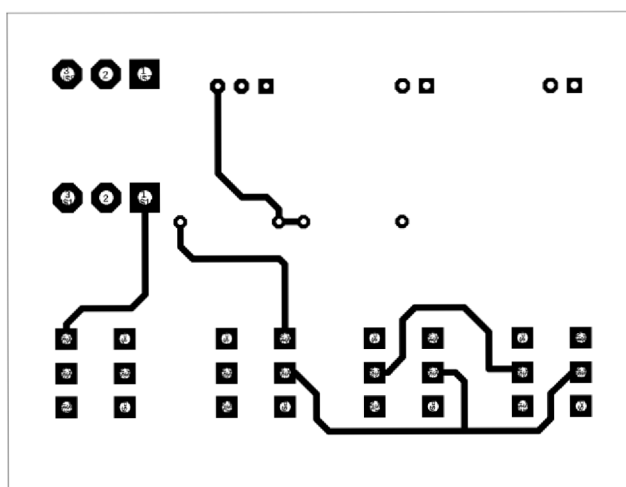
C.3 DPS Riadenia redukcie zisku



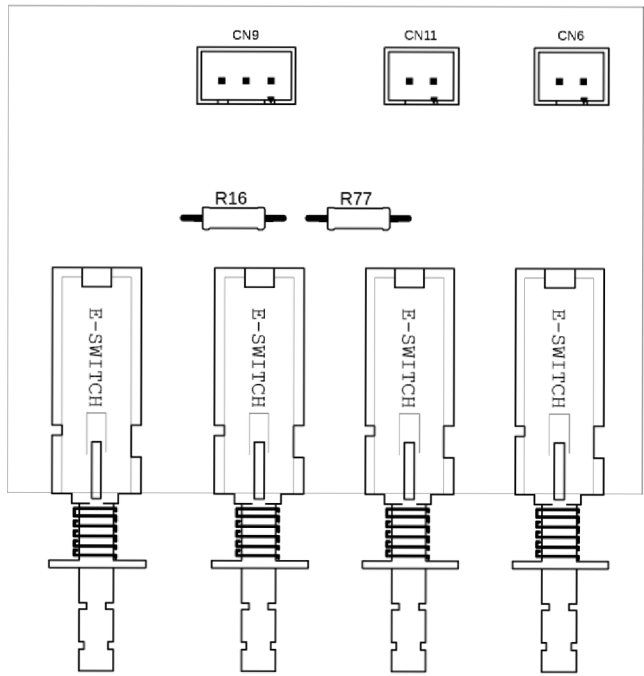
Obr. 9-18 Schéma DPS riadenia redukcie zisku



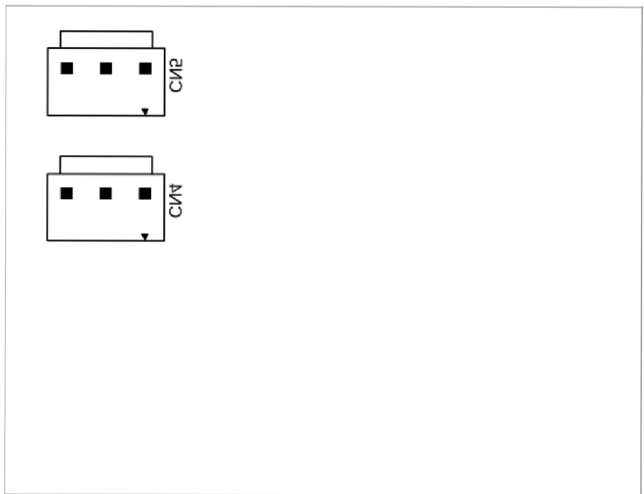
Obr. 9-19 Med' - vrstva *Top*



Obr. 9-20 Med' - vrstva *Bottom*

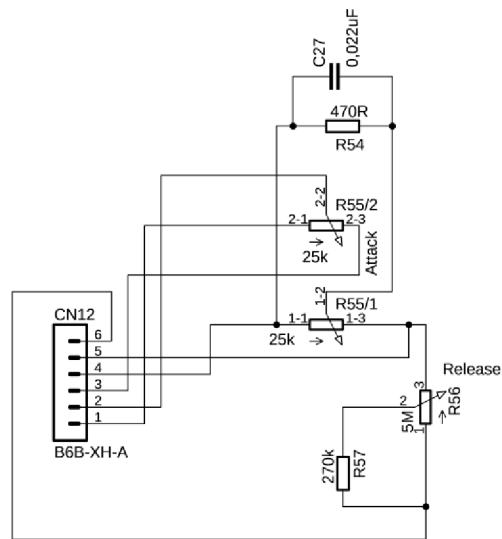


Obr. 9-21 Osadenie súčiastok - vrstva *Top*

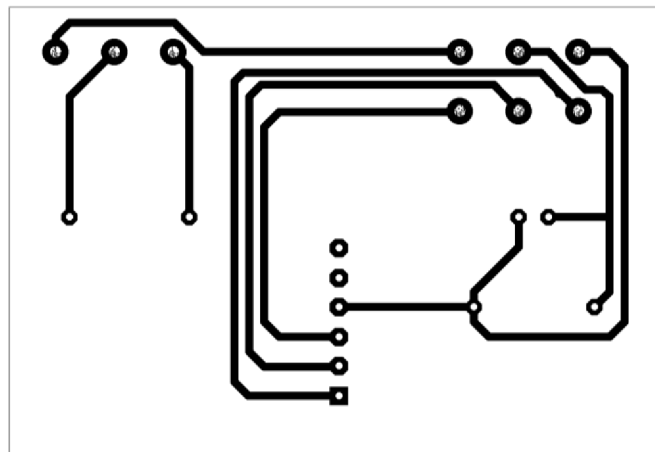


Obr. 9-22 Osadenie súčiastok - vrstva *Bottom*

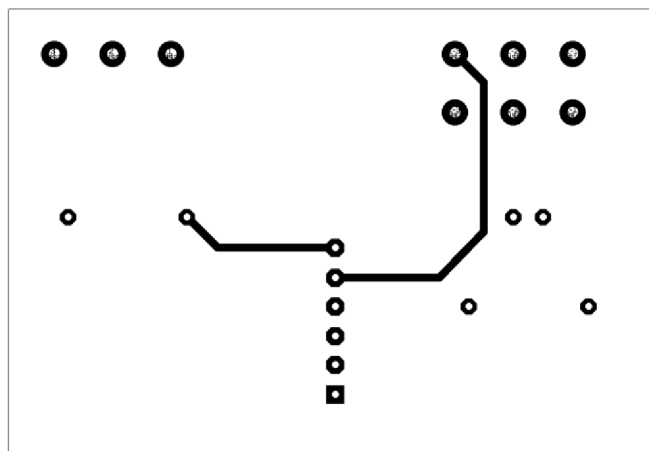
C.4 DPS Attack a Release



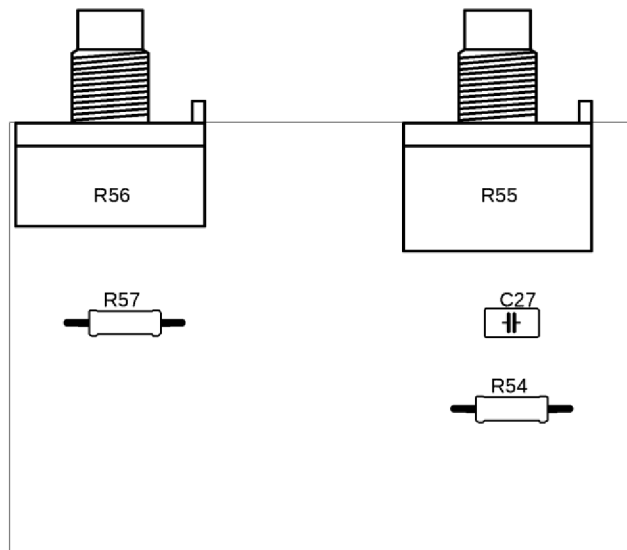
Obrázok 9-23 Schéma DPS *Attack* a *Release*



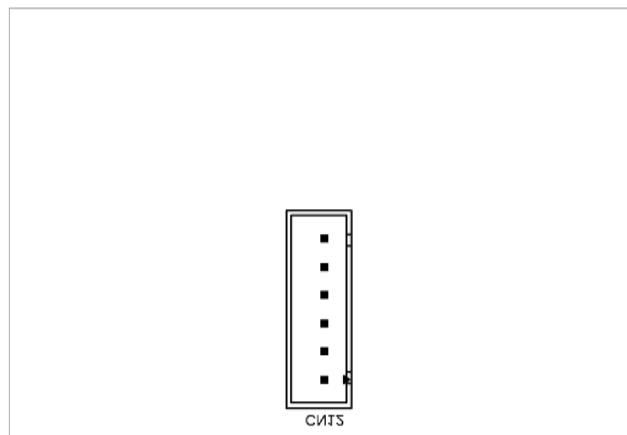
Obr. 9-24 Med' - vrstva *Top*



Obr. 9-25 Med' - vrstva *Bottom*

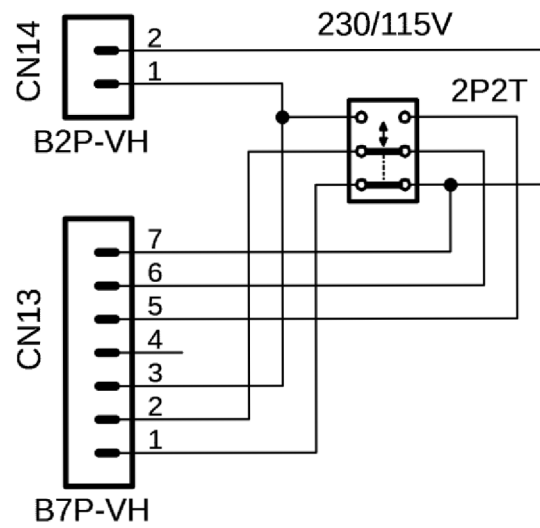


Obr. 9-26 Osadenie súčiastok - vrstva *Top*

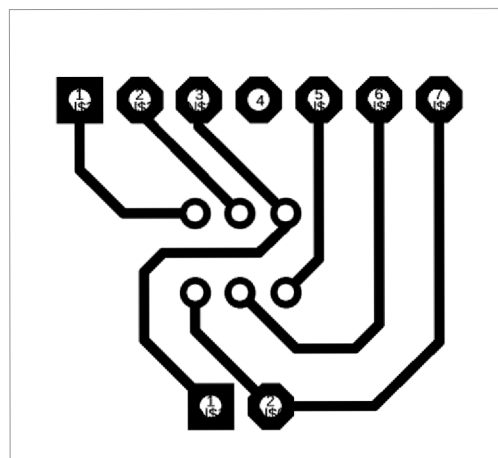


Obr. 9-27 Osadenie súčiastok - vrstva *Bottom*

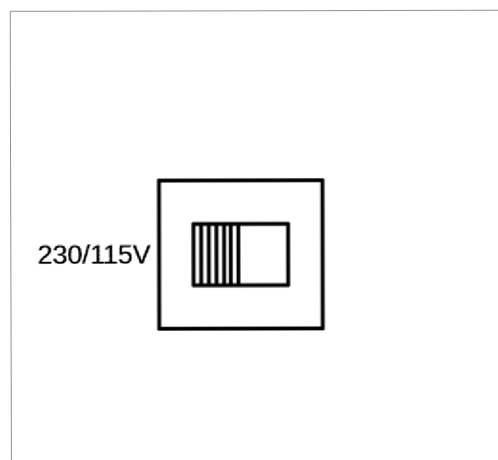
C.5 DPS Zdroj



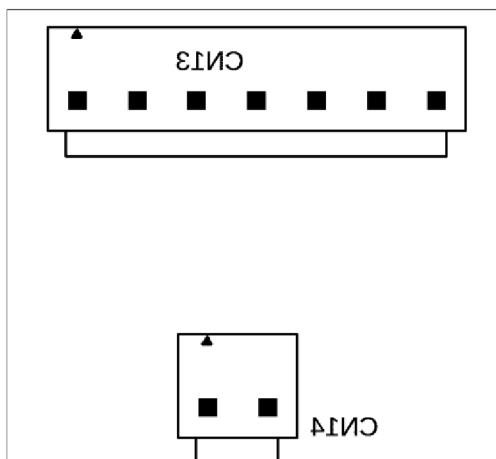
Obr. 9-28 Schéma DPS Zdroj



Obr. 9-29 Med' - vrstva Top

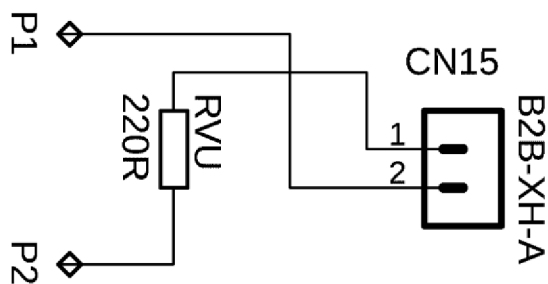


Obr. 9-30 Osadenie súčiastok - vrstva Top

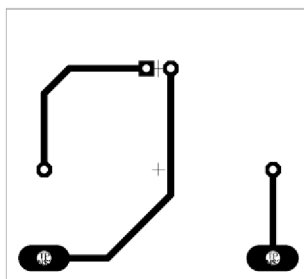


Obr. 9-31 Osadenie súčiastok - vrstva *Bottom*

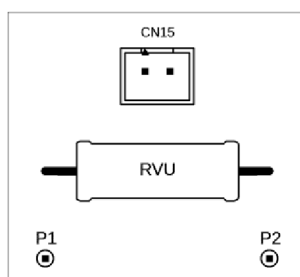
C.6 DPS VU Meter



Obr. 9-32 Schéma DPS VU Metra



Obr. 9-33 Meď - vrstva *Top*



Obr. 9-34 Osadenie súčiastok - vrstva *Top*