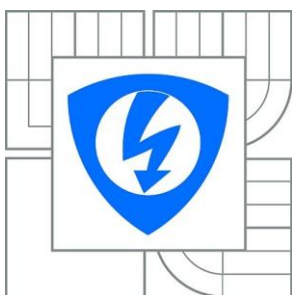


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## ANALOGOVÝ KYTAROVÝ MULTIEFEKT VYUŽÍVAJÍCÍ KE ZKRESLENÍ SIGNÁLU ELEKTRONKU

ANALOG GUITAR MULTIEFFECT USING TUBE FOR SIGNAL DISTORTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

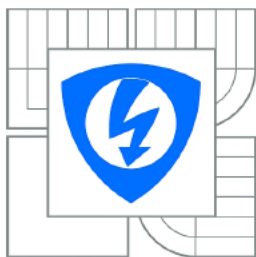
MICHAL KUFA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MIROSLAV STANĚK

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Michal Kufa

**ID:** 147431

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2013/2014

## NÁZEV TÉMATU:

**Analogový kytarový multieffekt využívající ke zkreslení signálu elektronku**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte princip činnosti analogových kytarových efektů. Na základě získaných poznatků navrhnete obvodové řešení pro zkreslující část multieffektu, která využívá k distorzi vstupního signálu elektronku. Dále navrhnete zapojení modulačního efektu i šumové brány. Vytvořte také návrh desky plošných spojů obsahující tyto tři druhy kytarových efektů, které budou ovládány nezávisle na sobě. Rovněž navrhnete napájení celého zařízení. Veškeré plošné spoje vyrobte.

Navržené zařízení zrealizujte a oživte. Provedte detailní měření, a pořídte zvukové nahrávky různých nastavení jednotlivých efektů pro demonstrační účely.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WIRSUM, S. Abeceda NF techniky, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 1998.

[2] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje 1, 2. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 1997.

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 30.5.2014

**Vedoucí práce:** Ing. Miroslav Staněk

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá principem činnosti a návrhem vybraných kytarových efektů, které jsou sdruženy do jednoho zařízení. První efekt slouží ke zkreslení kytarového signálu pomocí elektronky, resp. pomocí dvojice tzv. double-diod. Další efekt je noise gate, jenž filtruje rušivé signály pod nastavenou úrovní. Poslední v řadě efektů je modulační efekt chorus. Jednotlivé efekty lze individuálně zapínat, či vypínat pomocí nožního přepínače. První dvě kapitoly se zabývají teorií kytarových efektů. Třetí kapitola řeší samotný návrh zařízení a navazující kapitoly se již zabývají technickou realizací a ověřením činnosti zařízení, které je plně funkční.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

kytarový efekt, chorus, šumová brána, zkreslení

## **ABSTRACT**

Presented thesis is oriented on the short survey of guitar effects functionality and the design of chosen guitar effects set embedded into one device. The first effect is related to input signal distortion using a vacuum tube, in this case the couple of double-diode tubes. Next effect is noise gate filtering parasitic artefacts included in input signal lower than set threshold level. The last realized guitar effect is chorus. Each individual effect can be controlled by footswitch. The first two sections are focused on the theory of guitar signal processing, the third section solves the whole design of chosen device, the realization and the proof of designed device functionality are described in further sections.

## **KEYWORDS**

guitar effect, chorus, noise gate, distortion

KUFA, M. *Analogový kytarový multieffekt využívající ke zkreslení signálu elektronku.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2014. 34 s., 12 s. příloh. Bakalářské práce. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Staněk

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Analogový kytarový multieffekt využívající ke zkreslení signálu elektronku jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 15. května 2014

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Staňkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 15. května 2014

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>viii</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>x</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Kytarový efekt</b>	<b>2</b>
1.1 Historie.....	2
1.2 Digitální versus analogový efekt .....	2
1.3 Seřazení efektů.....	3
1.4 Multiefekt.....	3
<b>2 Vybrané efekty</b>	<b>5</b>
2.1 Distortion a overdrive .....	5
2.1.1 Soft clipping.....	6
2.1.2 Hard clipping .....	6
2.1.3 Asymetrická limitace .....	7
2.2 Chorus .....	8
2.2.1 Princip činnosti .....	8
2.3 Noise gate .....	9
2.3.1 Princip činnosti .....	10
2.3.2 Parametry .....	10
<b>3 Návrh</b>	<b>11</b>
3.1 Napájení .....	11
3.2 Kaskáda zapojení efektů .....	12
3.2.1 Nožní přepínač 3 PDT .....	12
3.3 Horní propust .....	13
3.4 Zkreslovací efekt.....	14
3.4.1 Schéma a popis zapojení.....	15
3.5 Chorus .....	17
3.5.1 PT2399.....	17
3.5.2 Schéma a popis zapojení.....	18
3.6 Noise gate .....	19

3.6.1	Schéma a popis zapojení.....	19
<b>4</b>	<b>Technická realizace a měření</b>	<b>21</b>
4.1	Napájení .....	21
4.2	Noise gate .....	22
4.3	Zkreslovací efekt.....	26
4.4	Chorus.....	30
<b>5</b>	<b>Zvukové vlastnosti efektů</b>	<b>32</b>
5.1	Noise gate .....	32
5.2	Zkreslovací efekt.....	32
5.3	Chorus.....	33
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>34</b>
	<b>Literatura</b>	<b>35</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>37</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>38</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1:	Multiefekt Line 6 POD HD PRO X [1].	4
Obr. 2:	Podlahový multiefekt BOSS ME-70 [1].	4
Obr. 3:	Soft clipping-hard clipping [2].	5
Obr. 4:	Principiální zapojení overdrive.	6
Obr. 5:	Průběh vstupního a výstupního signálu při zapojení overdrive.	6
Obr. 6:	Principiální zapojení distortion.	7
Obr. 7:	Průběh vstupního a výstupního napětí při zapojení distortion.	7
Obr. 8:	Asymetrická limitace [2].	8
Obr. 9:	Blokové schéma chorusu.	8
Obr. 10:	Šumová brána-průběhy vstupního a výstupního signálu [5].	9
Obr. 11:	Blokové schéma noise gate.	10
Obr. 12:	Parametry noise gate [6].	11
Obr. 13:	Schéma zapojení napájecí části.	11
Obr. 14:	Blokové schéma multieffektu.	12
Obr. 15:	Zapojení přepínače 3 PDT.	13
Obr. 16:	Vstupní horní propust.	13
Obr. 17:	Frekvenční charakteristika horní propusti.	14
Obr. 18:	V-A charakteristiky jedné z diod pro různá žhavicí napětí elektronky[8]..	14
Obr. 19:	Schéma zapojení zkreslovacího efektu.	15
Obr. 20:	Výstupní signál pro různé hodnoty R7 a minimální hodnotu R10 (zelená - minimální hodnota R7, fialová - maximální hodnota R7 ).	16
Obr. 21:	Výstupní signál pro maximální hodnotu R7 a různé hodnoty R10 (zelená - minimální hodnota R10, fialová - maximální hodnota R10 ).	16
Obr. 22:	Frekvenční přenosová charakteristika zkreslovacího stupně (zelená - minimální hodnota R7, fialová - maximální hodnota R7 ).	16
Obr. 23:	Vnitřní schéma procesoru PT2399 [9].	17
Obr. 24:	Schéma zapojení efektu chorus.	18
Obr. 25:	Schéma zapojení noise gate.	19
Obr. 26:	Průběh výstupních napětí obvodu noise gate.	20
Obr. 27:	Výsledný vzhled multieffektu.	21
Obr. 28:	Deska plošných spojů napájení.	22



Obr. 29:	Deska plošných spojů efektu noise gate. ....	23
Obr. 30:	Změřené průběhy z osciloskopu pro nastavení prahové úrovně nižší, než je úroveň vstupního signálu (modrá - vstupní signál, červená - výstupní signál).....	24
Obr. 31:	Změřené průběhy z osciloskopu pro nastavení prahové úrovně vyšší, než je úroveň vstupního signálu (modrá - vstupní signál, červená - výstupní signál).....	24
Obr. 32:	Změřená frekvenční přenosová charakteristika obvodu noise gate. ....	25
Obr. 33:	Deska plošných spojů zkreslovacího efektu. ....	26
Obr. 34:	Průběh z osciloskopu pro nastavení overdrive (modrá – vstupní signál, červená – výstupní signál). ....	27
Obr. 35:	Průběh z osciloskopu pro nastavení distortion (modrá – vstupní signál, červená – výstupní signál) ....	27
Obr. 36:	Změřená frekvenční přenosová charakteristika obvodu noise gate. ....	28
Obr. 37:	Deska plošných spojů pro chorus. ....	30
Obr. 38:	Průběh z osciloskopu při měření efektu chorus (modrá – vstupní signál, červená – výstupní signál). ....	31

# SEZNAM TABULEK

Tab. 1:	Tabulka naměřených hodnot pro noise gate. ....	25
Tab. 2:	Tabulka naměřených hodnot pro zkreslovací efekt. ....	29

# ÚVOD

Tento projekt se zabývá principem činnosti kytarových efektů, následným návrhem, realizací a ověřením činnosti analogového kytarového multiefektu, který se skládá ze tří různých efektů. Jednotlivé efekty jsou ovládány nezávisle na sobě a obsahují tzv. true bypass, umožňující vypnutí či zapnutí každého efektu zvlášť podle potřeby. Prvním efektem je noise gate, který filtruje rušivé signály pod určitou nastavenou úrovní a zabraňuje tak reprodukci nechtěných signálů. Další efekt slouží ke zkreslení vstupního signálu pomocí elektronky, kde úroveň zkreslení je volitelně nastavitelná. Poslední v řadě efektů je modulační efekt chorus.

První část práce se zabývá problematikou kytarových efektů, jejich rozdělením, historií, ale i tím jak by měly být jednotlivé efekty seřazeny. Druhá část je zaměřena na princip činnosti a základní vlastnosti vybraných tří efektů, které budou v efektu použity. Třetí část již popisuje samotný návrh zařízení a to nejen návrh samotných efektů, ale také návrh napájení celého efektu. Další část se již věnuje samotné realizaci efektu a následným ověřením správné činnosti jednotlivých částí. Poslední část je věnována zvukovým vlastnostem efektů.

# 1 KYTAROVÝ EFEKT

Kytarový efekt je elektronické zařízení, jež má za úkol zkreslit, či jinak upravit signál, který vychází z elektrické kytary, před tím než je přiveden do zesilovače a následně reprodukován.

Kytarové efekty lze rozdělit do dvou základních skupin. Efekty zkreslující a efekty modulační. Zkreslující efekty fungují tak, že deformují průběh sinusoidy. Modulační efekty upravují zvuk tak, že za pomoci modulace přidávají do původního signálu další signál, který je upravenou kopií vstupní signálu v časové či frekvenční oblasti. Dalšími obvody, které mění přirozený charakter zvuku, jsou měniče dynamiky, nazývané expandér a kompresor. Expandér zvyšuje dynamiku signálu a kompresor ji naopak zmenšuje. Mezi jednotlivé efekty lze také zařadit filtry či ekvalizéry, které umí potlačit, nebo zvýraznit vybranou frekvenční oblast, tedy tón.

## 1.1 Historie

První zmínky o kytarových efektech pocházejí z 50. let 20. století, kdy se začaly vyrábět první efekty typu delay. Následně v 60. letech přišly na scénu zkreslovače, které však ještě nepoužívaly křemíkové polovodiče, ale byly osazeny germaniovými tranzistory. Na začátku 70. let byl vyroben oblíbený efekt typu phaser. Dále pak v polovině 70. let začala produkce modulačních efektů typu chorus, flanger, a na konci 70. let se již objevily první digitální echa, reverby i chorusy. V roce 1983 byl definován standard MIDI a přelom 80. a 90. let přinesl poznatky z oblasti kytarových efektů, které jsou používány i v současné době. Pro kytaristy významný přelom je rok 1996, kdy byla patentována technologie simulace lampy, kterou začaly používat všechny přední firmy. Momentálně s rozvojem IT technologií jsou také hojně používány, nejčastěji ve studiových aplikacích, takzvané softwarové efekty.

## 1.2 Digitální versus analogový efekt

V současné době je výběr efektů obrovský, avšak po technologické stránce se dají rozdělit jen do dvou základních skupin. Na analogové a digitální.

Digitální efekty oproti analogovým vévodí v počtu funkcí a efektů, které je zařízení schopno vykonat. Vyrábí se zařízení, které mají více než 40 efektů a další vymoženosti, například v podobě ladičky, díky které je možné snadno a rychle naladit elektroakustický nástroj bez nutnosti disponovat hudebním sluchem. Další výhodou je, že pro výrobu digitálního multiektu, není potřeba velkého množství součástek tak, jako by tomu bylo u analogové verze. Navíc se u některých analogových součástek mohou časem měnit jejich vlastnosti, a tak se může eventuálně měnit i vlastnost celého zařízení. Digitální efekty mají však i své nevýhody, mezi které patří zejména vznik nežádoucího zkreslení vlivem A/D a D/A převodníků, tzv. kvantizační šum.

Zde je však druhá stránka věci a to sice ono „teplo“ zvuku, které vychází z analogových zařízení. V mnoha zařízeních (jak v efektech, tak i v kytarových zesilovačích) se stále s oblibou používají elektronky, které, jak se říká, dávají zvuku jedinečnost. I když existují digitální zařízení, které jsou schopny simulovat typické vlastnosti elektronky, tak se i přesto čistě analogové efekty stále těší oblibě.

Rozdíl v odezvě digitálního efektu a analogového je dán složitostí zapojení, respektive tím, kolika bloky musí signál projít. U analogových efektů je signál ihned po vstupu do zařízení, zpracován, upraven a téměř bez odezvy vyveden na výstup. Kdežto u digitálního musí být signál nejprve pomocí A/D převodníku převeden, aby mohl být dále zpracován v signálovém procesoru, a poté ještě zpátky převeden z digitální podoby na analogovou a vyveden na výstup. Tímto se odezva značně zvětší.

### 1.3 Seřazení efektů

Při používání více efektů najednou je potřeba dbát pozor na to, jak jsou řazeny za sebou. Pořadí efektů by se mělo dodržovat z důvodu, abychom dostali kvalitní a konstantně upravený zvuk na výstupu efektové řady, resp. na vstupu zesilovače.

Jako v první v řetězci efektů by měly být použity efekty, které filtrují nežádoucí jevy ve vstupním signálu, např. šumová brána. Následovat by měl zkreslující efekt (distortion, overdrive, apod.), po kterém následují různé modulační efekty (delay, echo atd.) a efekty upravující dynamiku zvuku, mezi které se řadí kompresor a expandér. Pokud by se nedodržel pořadí a například jako první by signál prošel modulačním efektem a poté až zkreslujícím obvodem, nebylo by zkreslení konstantní.

Některé zesilovače mají možnost zapojení efektu do paralelní efektové smyčky. V praxi to znamená nic jiného než, že pokud je nežádoucí, aby efektem zkreslený signál ještě procházel korekčními obvody zesilovače, zapojí se efekt pomocí efektové smyčky až za tyto korekční obvody, a tím se dosáhne ovlivnění reprodukováného zvuku pouze efektem.

### 1.4 Multieffekt

Multieffekt je zařízení, které obsahuje několik různých efektů v jednom zařízení. Každý z efektů, které multieffekt obsahuje, lze individuálně zapínat a vypínat podle potřeby. Multieffekty se vyrábějí ve dvou konstrukčních verzích- v rackovém a podlahovém provedení. Rackové efekty mají univerzální rackové rozměry, což je šířka (19“), hloubka a také rozteč vyvrtaných děr, v závislosti na výšce rackového zařízení, udávané v počtu standardních rackových jednotek 1U. Je tedy možné je instalovat do různých rackových skříní. Nevýhodou takových efektů je, že nemají zabudované nožní přepínače, takže pokud je požadavek na nožní ovládání efektů, je nezbytné z efektu vyvést externí nožní přepínače. Podlahové efekty jsou konstruovány tak, že nožní přepínače mají již integrovány. Příklad toho jak vypadá rackový a podlahový multieffekt je uveden na obr. 1 a 2.



Obr. 1: Multifekt Line 6 POD HD PRO X [1].



Obr. 2: Podlahový multifekt BOSS ME-70 [1].

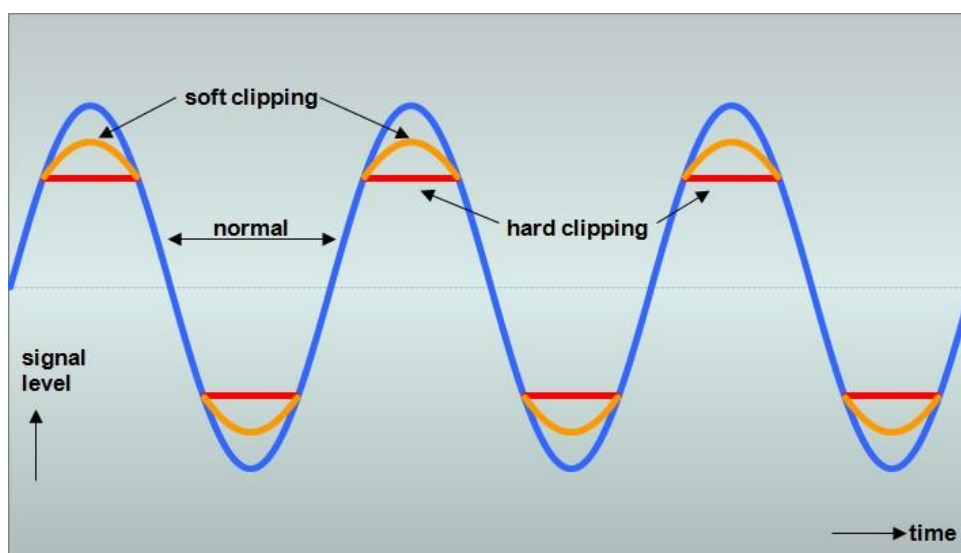
## 2 VYBRANÉ EFEKTY

Jak již bylo zmíněno, existuje mnoho druhů kytarových, avšak tato kapitola více přiblíží problematiku tří vybraných efektů, které budou použity v navrhovaném multieffektu.

### 2.1 Distortion a overdrive

Princip těchto efektů spočívá v tom, že na vstup je přiveden harmonický signál, který je na výstupu zkreslený. V nejextrémnějším případě je na výstupu obdélníkový signál. Při tomto zkreslení vznikají tedy další, vyšší, harmonické. Dominantními harmonickými jsou liché harmonické, které však nejsou pro lidský sluch tak příjemné jako sudé.

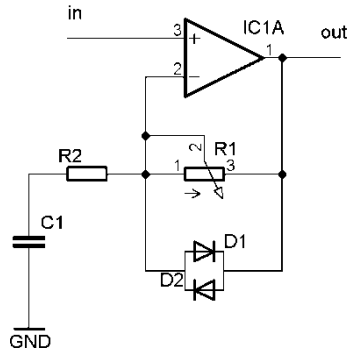
Distortion a overdrive jsou dva podobné efekty, které zkreslují signál tak, že limitují špičky amplitud. Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma, jinak podobnými efekty je v úrovni zkreslení signálu. Overdrive využívá spíše menší, kulatější, zkreslení (nazývané soft clipping), které by mělo zvukově připomínat přebuzený lampový zesilovač. Vzniklé vyšší harmonické mají v tomto případě daleko menší úroveň než první harmonická, výstupní signál je méně zkreslen vyššími harmonickými, a tak jeho průběh připomíná více sinus než u distortionu, který používá výraznější, tvrdší zkreslení (tzv. hard clipping). Vyšší harmonické výstupního signálu mají vyšší úroveň, dochází k výraznějšímu zkreslení vyššími harmonickými. Výstupní signál tedy začíná připomínat obdélníkový průběh. Rozdíl mezi těmito zkresleními je znázorněn na obr. 3.



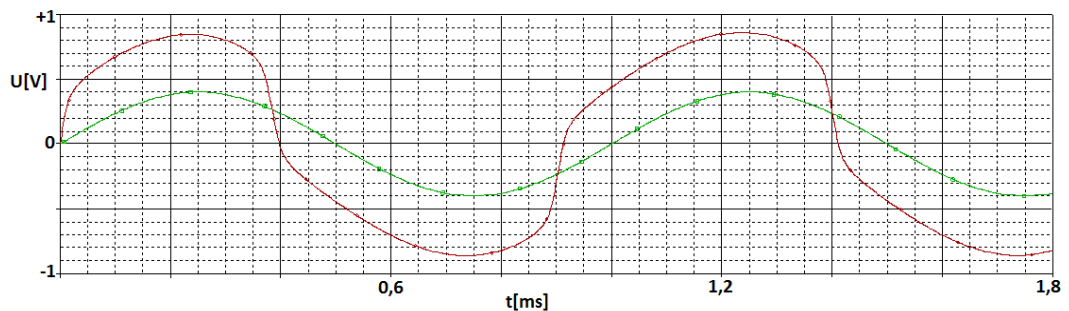
Obr. 3: Soft clipping-hard clipping [2].

### 2.1.1 Soft clipping

Limitace je realizovaná antiparalelním zapojením dvou diod do záporné zpětné vazby operačního zesilovače. Paralelním zapojením potenciometru do bloku záporné zpětné vazby zesilovače lze měnit zesílení, je tak možno nastavovat úroveň zkreslení (viz obr. 4). Na obr. 5 je znázorněna simulace zkreslení obvodu overdrive, kde zkreslení není tak výrazné jako při simulaci distortion na obrázku 2.5.



Obr. 4: Principiální zapojení overdrive.



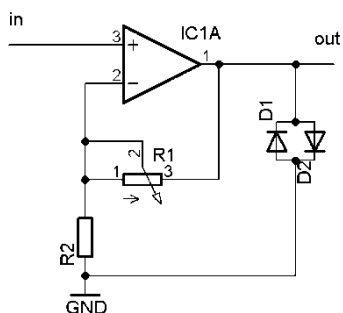
Obr. 5: Průběh vstupního a výstupního signálu při zapojení overdrive.

Princip zkreslení u zapojení overdrive spočívá v tom, že když okamžitá hodnota napětí na tomto zpětnovazebním bloku překročí prahové napětí některé z diod, tak dojde k jejímu otevření. Velikost impedance v záporné zpětné vazbě klesne řádově na jednotky ohmů a zesílení klesne téměř k hodnotě 1 (napět'ový sledovač). Tím jsou špičky vstupního signálu zaobleny a komprimovány, ne však tvrdě uříznuty jako v případě hard clipping. Úroveň zkreslení je navíc silně závislá na amplitudě vstupního signálu a hráč má tak k dispozici více dynamiky a může zkreslení ovlivňovat stylem a důrazností hry. [3]

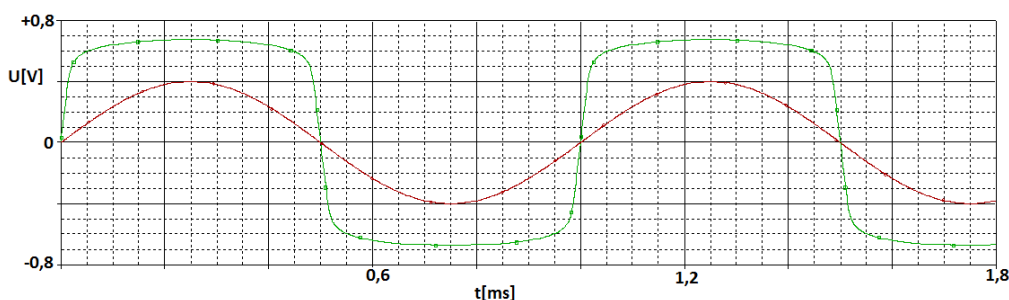
### 2.1.2 Hard clipping

Tvrdá didová limitace je realizována také antiparalelní kombinací dvou diod, avšak ne zapojením do zpětné vazby zesilovače jak tomu je u lehké limitace, ale mezi výstup zesilovače a zem (viz obr. 6). Dosáhne se tak většího zkreslení (viz obr.7). Zkreslení signálu je dáno zesílením zesilovače.





Obr. 6: Principiální zapojení distortion.



Obr. 7: Průběh vstupního a výstupního napětí při zapojení distortion.

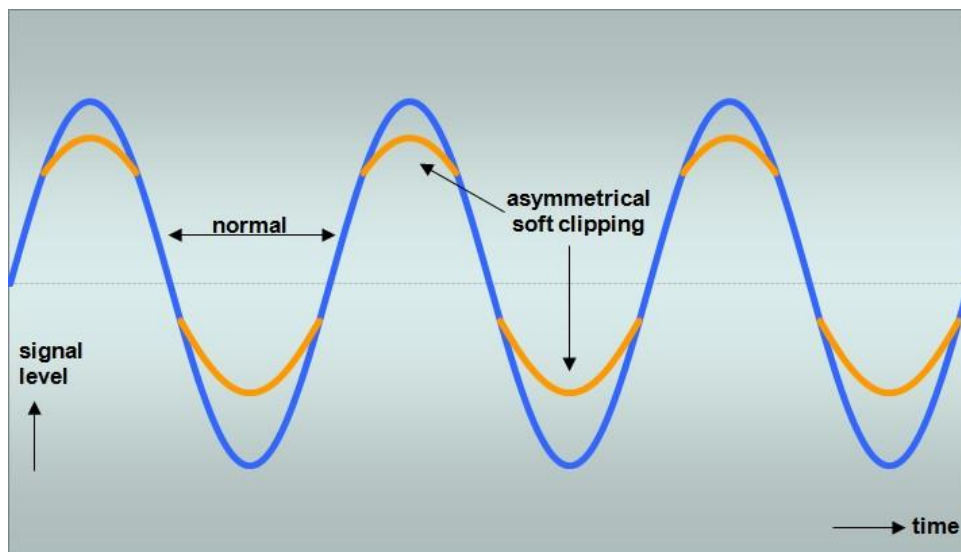
Při limitaci hraje velkou roli materiál, z kterého jsou diody vyrobeny. Je proto nutné klást důraz na výběr správné součástky. Použijí-li se germániové diody v typickém zapojení pro distortion, nedosáhne se tak velkého zkreslení vstupního signálu jako při použití křemíkových diod. Rozdílnost v charakteru zkreslení hraje několik parametrů, a to prahové napětí, tvar kolena na převodní charakteristice a směrnice lineární části za kolenem diody. Je-li potřeba dosáhnout tvrdého zkreslení je mnohem vhodnější volbou použití křemíkových diod.

Další zajímavou alternativou je tzv. zapojení „Shaka Braddah“, spočívající v nahrazení diody unipolárním tranzistorem MOSFET, který má hradlo spojené s jednou ze zbývajících elektrod drain či source, které jsou pro malé signály zaměnitelné [3].

Kromě diod a mosfetových tranzistorů se pro zkreslení signálu používají také elektronky. Nejčastěji se využívá elektronka ECC83, avšak dají se použít i jiné elektronky a to nejčastěji typu triode, nebo double diode.

### 2.1.3 Asymetrická limitace

Sudé harmonické jsou pro lidské ucho příjemnější. Vznikají na elektronkovém zesilovači, nebo asymetrickou limitací. Jedná se o zkreslení, které zkresluje každou půlvlnu jinou mírou. Kladná půlvlna tedy nemusí být zkreslená vůbec a záporná ano (viz obr.8). Jednou z možností jak dosáhnout asymetrické limitace je použití rozdílné diody pro každou půlvlnu, tedy například germaniovou pro lehčí zkreslení kladné půlvlny a křemíkovou pro výraznější zkreslení záporné půlvlny. Nevýhoda spočívá v tom, že asymetrie je pevně daná a její úroveň nelze nijak nastavit. Druhá varianta je realizace pomocí zapojení tzv. warm-up control, kdy je možno pomocí potenciometru plynule nastavovat asymetrii.



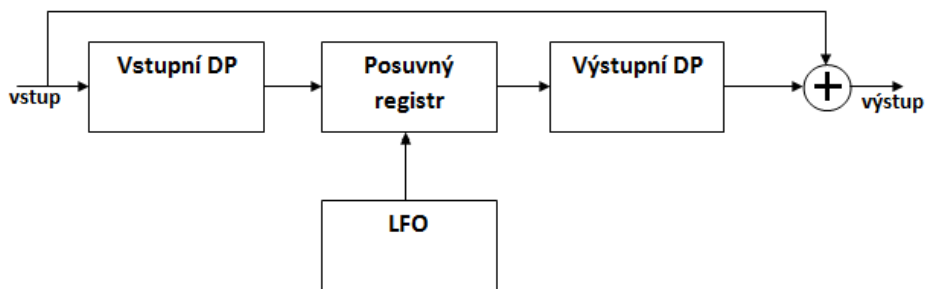
Obr. 8: Asymetrická limitace [2].

## 2.2 Chorus

Chorus znamená sborový zpěv. Z tohoto pojmenování vychází i princip činnosti zmíněného modulačního efektu. Účelem efektu je tedy vytvořit zvukový dojem, že hraje několik nástrojů současně, nikoliv jen jeden. Tento efekt je u kytaristů velice oblíbený díky svým vlastnostem obohacujícím původní zvuk nástroje. Zvuk chorusu je měkký, plný, při stereofonním zapojení dává pocit prostoru. Efekt chorus sám o sobě produkuje dvanáctistrunná kytara. Hlavní uplatnění je u čistého, nezkresleného, zvuku elektrické kytary, kdy kytara dostane krásný tón, zvonivé výšky, prostor a barvu. Efekt chorus lze také použít například pro klávesy, elektronické housle či saxofon [4].

### 2.2.1 Princip činnosti

Srdcem efektu chorus je zpožďovací článek, který zpožďuje signál o latenci 20 ms - 50 ms, což jsou hodnoty zpoždění, při kterých už lidské ucho vnímá ozvěnu. Zpožděný signál je následně smíchá s původním (viz obr. 9). Efekt pracuje na obdobném principu jako efekt echo (ozvěna), avšak doba zpoždění je zde menší.



Obr. 9: Blokové schéma chorusu.

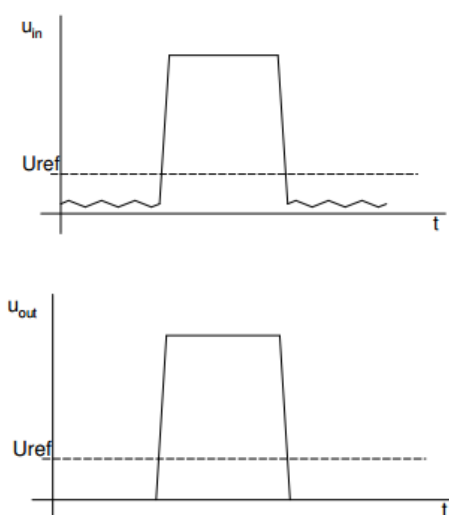
Některé druhy efektu chorus obsahují i několik zpožďovacích obvodů. Doba zpoždění je řízena nízkofrekvenčním oscilátorem (LFO), který je rozmítán o frekvenci jen v jednotkách Hz, cca kolem 5 Hz. Některá zařízení disponují možností přepínat mezi průběhem LFO, a to nejčastěji mezi sinusovým a pilovitým průběhem. Dobrých vlastností dosahují realizace efektu chorus, které mají “náhodný” průběh LFO, simulující reálné chování muzikanta. Výjimečně jsou některé realizace chorusu osazeny ještě dalším LFO, ovládající množství zpožděného signálu dodávaného do součtového členu na výstupu efektu. Tento prvek dodá výstupnímu zvuku jemné kolísání hlasitosti jednotlivých hlasů, stejně jako ve skutečném sboru. Panoramatickým zapojením zpožďovacích článků se dosáhne stereofonního efektu. Pokud by nedošlo k smíchání modulovaného signálu se vstupním signálem, a byla by zvýšena vzorkovací frekvence, choval by se navržený obvod jako efekt vibrato [4].

Parametry efektu chorus, které jsou nejčastěji nastavovány:

- Hloubka efektu- Depth
- Rychlost LFO- Rate
- Přivedené množství zpožděného signálu na součtový člen- Feedback
- Zvýraznění vybraného frekvenčního pásma- Tone
- Celková úroveň výstupního signálu- Level

## 2.3 Noise gate

Šumová brána (noise gate) se nachází téměř ve všech multiefektech. Pomocí ní lze potlačit signál o úrovni, která je nižší než nastavená hranice (threshold). Z obr. 10 je patrné, že na vstupu je užitečný signál s nízkým šumem. Jelikož se šum nachází pod nastaveným prahem, je bránou odfiltrován, a na výstupu šumové brány je pouze užitečný signál.

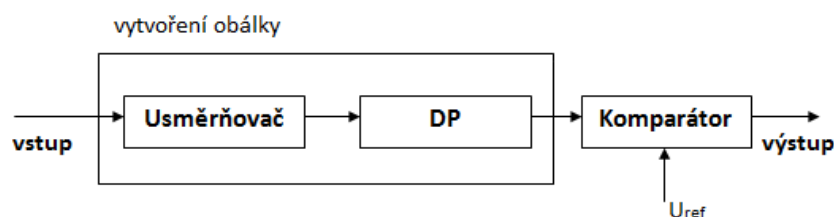


Obr. 10: Šumová brána-průběhy vstupního a výstupního signálu [5].

V praxi je noise gate využíván hlavně v případě kdy kytara momentálně nehraje, ale vlivem elektromagnetického smogu v okolí je ve snímači indukován šum a brum. Kytara tedy v pasážích skladby, kde zrovna nehraje, neruší a to dokonce i při velkém zesílení. Pokud by nebyla šumová brána aplikována, musel by kytarista v momentě, kdy přestane hrát, okamžitě snižovat úroveň signálu, aby nedocházelo k nepříjemným bručením, apod. Noise gate toto dělá automaticky a kytaristovi tak odpadá povinnost dávat si neustále pozor na nastavené zesílení. Noise gate také zamezuje nežádoucímu efektu feedback (nezaměňovat s ovladačem Feedback na efektu chorus), který vzniká přiložením neztlumené kytary k reproduktoru, postupně rozechvívající struny, u kterých dochází k jejich zesílení, a tím vzniká nepříjemné „hučení“ tzv. hudební zpětná vazba. K zamezení feedback jevu jsou používány speciální anti-feedback zařízení, které tomuto jevu zabraňují účelněji, avšak noise gate tomuto jevu uspokojivě zamezuje.

### 2.3.1 Princip činnosti

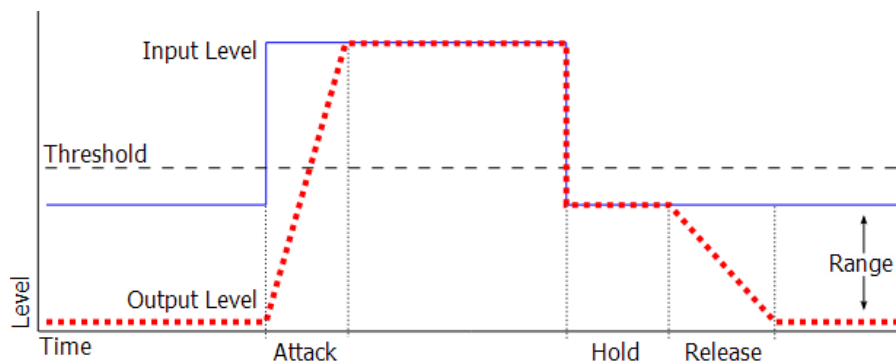
Po přivedení signálu na vstup šumové brány je potřeba signál nejprve usměrnit a vyhladit, tedy vytvořit jakousi obálku signálu, aby nedocházelo k zbytečným reakcím na krátkodobé zákmity. Následně signál pokračuje do základního prvku šumové brány, kterým je komparátor. Komparátor porovnává hodnotu signálu s referenční úrovní (threshold) a v případě, že je signál nad referenční úrovní, dojde k přenosu signálu na výstup (viz obr. 10). Blokové schéma efektu noise gate je znázorněno na obr. 11.



Obr. 11: Blokové schéma noise gate.

### 2.3.2 Parametry

Významným parametrem šumové brány je doba, během které je efekt schopen se přepnout z jednoho režimu do druhého, tedy doba přeběhu mezi stavem, kdy je signál pod prahem a je tlumen, na stav, kdy je signál nad prahem a je přenášen. Doba, kdy úroveň vstupního signálu přejde z podprahové úrovně nad rozhodovací úroveň, tedy doba za jakou efekt přestane tlumit zpracováváný signál, se nazývá attack. Doba kdy dojde k opačnému přechodu, tedy z přenášené úrovně na tlumenou úroveň se nazývá release (viz obr. 12). Nastavení rozhodovací úrovně se často označuje anglickým termínem threshold.



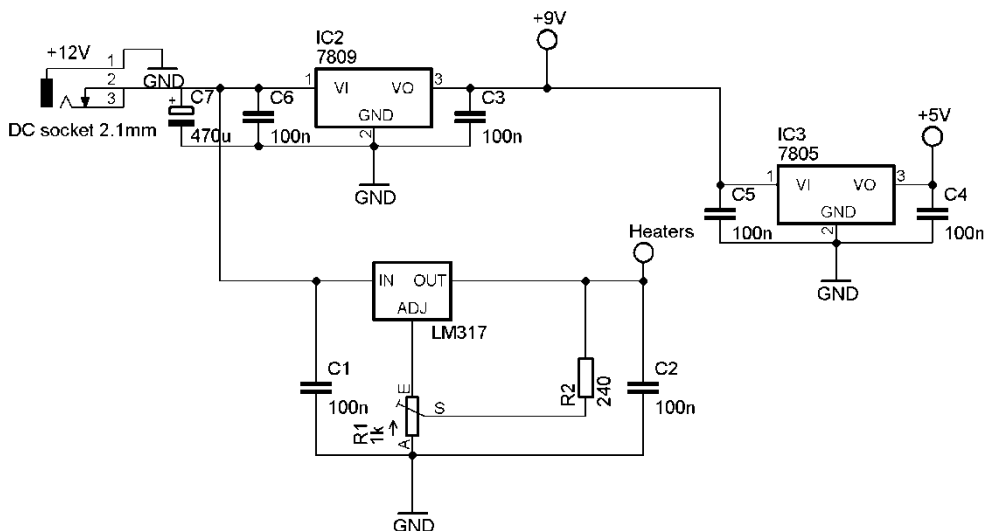
Obr. 12: Parametry noise gate [6].

## 3 NÁVRH

### 3.1 Napájení

V multieffektu je potřeba napájet několik prvků. Každá součástka vyžaduje jiné napájecí napětí. Operační zesilovače jsou napájeny nesymetricky a to kladným napětím o velikosti 9 V. Operační zesilovače tedy pracují s tzv. virtuální nulou. Dále je potřeba napájet signálový procesor a to napětím kladným napětím o velikosti 5 V. V neposlední řadě je nezbytné napájet žhavení elektronky, které je regulovatelné a nastavitelné v rozmezí 4 až 5 V za pomoci trimmeru.

Effekt je napájen běžně dostupným DC zdrojem o velikosti výstupního napětí 12 V. Toto napětí je dále podle potřeby upravováno napětěovými stabilizátory (viz obr. 13), které jsou umístěny na chladiči, aby nedocházelo k případnému přehřívání.



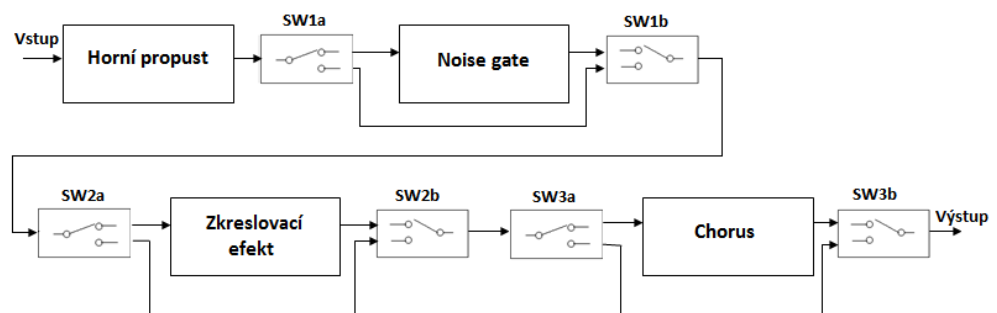
Obr. 13: Schéma zapojení napájecí části.

Zvolené stabilizátory udržují napětí na přesně dané hodnotě, a jsou schopny dodávat proud až o velikosti 1 A. Stabilizátor s označením 7809 má na výstupu kladné

napětí o velikosti 9 V při vstupním napětí 12 V. Vstupní napětí stabilizátoru, označeného jako 7805, je o velikosti 9 V, čímž se dosáhne menšího zahřívání součástky, než kdyby byl příslušný stabilizátor napojen na napětí o velikosti 12 V. Stabilizátor LM317 je lineárně nastavitelný stabilizátor. Za pomoci trimmeru R1 je možné upravovat hodnotu výstupní napětí, který je použit z důvodu, aby bylo možné ručně doladit žhavicí napětí elektronek. Kondenzátory, umístěné na vstupu i výstupu jednotlivých stabilizátorů, slouží jako blokovací.

## 3.2 Kaskáda zapojení efektů

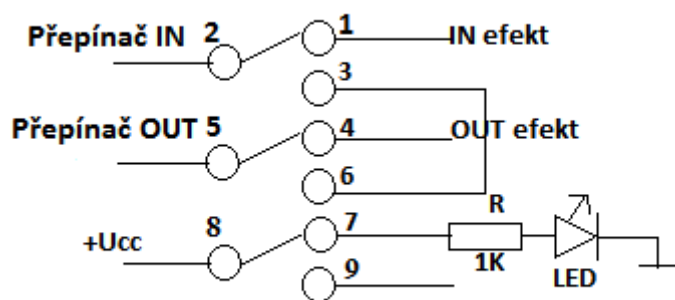
Efekty jsou za sebou zapojeny v kaskádě, a je možné je individuálně zapínat či vypínat pomocí nožních přepínačů. Na vstupu je horní propust. Dále jako první v řadě efektů je šumová brána. Za ní následuje zkreslovací efekt a po něm chorus (viz obr.14).



Obr. 14: Blokové schéma multieffektu.

### 3.2.1 Nožní přepínač 3 PDT

Jedná se o nožní přepínač, který umožňuje jedním stisknutím přepnout tři spínače najednou. V tomto případě je toto zařízení využíváno k zapínání a vypínání efektu dvou přepínačů. První dva spínače jsou buďto přepnuty na vstup a výstup efektu, nebo na piny 3 a 6, které jsou spojeny a tím přemostí efekt. Třetí spínač funguje jako spínač LED diody (viz obr. 15), Dioda indikuje stav přepínače. Při připojení efektu dioda svítí, při přemostění efektu zhasne.



Obr. 15: Zapojení přepínače 3 PDT.

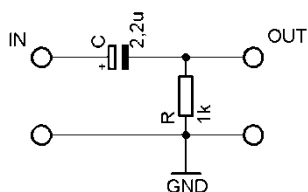
### 3.3 Horní propust

Některé typy kytarových snímačů, nejčastěji snímače obsahující pouze jednu cívku (single coil), snímají kromě vibrační struny také nechtěné signály, jako například síťový brum. Tyto rušivé signály se nacházejí v okolí kmitočtu 50 Hz, a z tohoto důvodu je jako první v zařízení implementována pasivní horní propust, jejímž účelem je potlačit signály s nižší frekvencí než je 70 Hz.

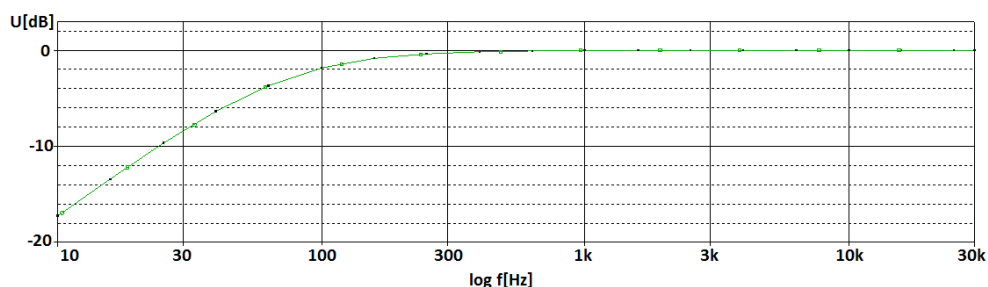
Dolní propust je realizována nejjednodušším možným způsobem (viz obr. 16), avšak avšak plní svůj účel. Velikost odporu byla zvolena 1 k $\Omega$ , mezní frekvence je 70 Hz, a hodnota kapacity kondenzátoru je určena Thompsonovým vztahem:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f_m} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot 70} = 2,27 \mu F . \quad (1)$$

Velikost kapacity kondenzátoru je zvolena z řady E12 a její velikost je tedy  $C=2,2 \mu F$ . Simulovaná frekvenční přenosová charakteristika navržené propusti je zobrazena na obr.17, ze které je patrné, že při nižších kmitočtech než  $f_m$  je hodnota útlumu vyšší než 6 dB.



Obr. 16: Vstupní horní propust.

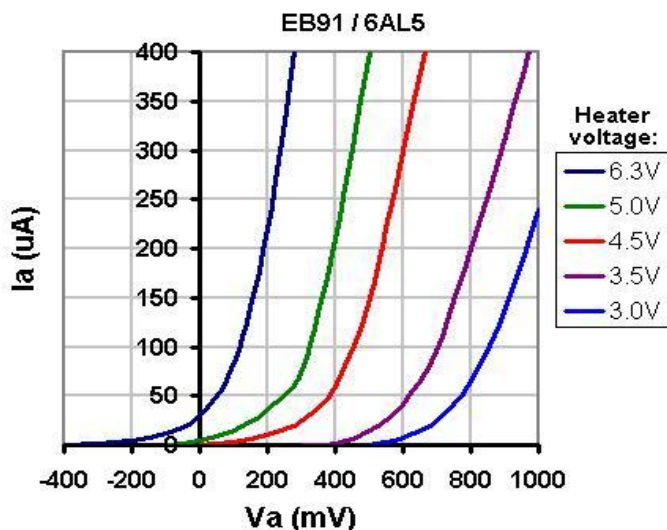


Obr. 17: Frekvenční charakteristika horní propusti.

### 3.4 Zkreslovací efekt

Jak je výše uvedeno zkreslovací efekty se dělí do dvou skupin a to podle míry limitace signálu na overdrive a distortion. Navrženým schématem je efekt možno nastavit jak do režimu distortion, tak i do režimu overdrive. Míra zkreslení je nastavována dvěma potenciometry.

Zkreslovací část obvodu principiálně vychází ze schématu efektu Tubescreamer TS-808 avšak není použito jen jednoho zkreslovacího stupně, ale dvou v kaskádě zapojených, čímž lze dosáhnout tvrdší limitace než pouze při jednom stupni. Diody, které jsou použity k limitaci signálu, a jsou v tomto případě nahrazeny elektronkou, a to double diodou, s označením 6AL5 či EB91. Zvolená elektronka se chová jako dvě diody. Žhavení elektronky je podle katalogového listu napájeno napětím o velikosti 6,3 V [7]. Při tomto napětí je prahové napětí diody velmi nízké a nechová se tak jako klasická polovodičová dioda. Podle [8] bylo měřením zjištěno, že pokud je žhavicí napětí elektronky sníženo, dojde ke zvýšení prahového napětí, a přiblíží se svými vlastnostmi polovodičové diodě (viz obr. 18). V tomto případě je žhavení elektronky napájeno napětím asi 4V.

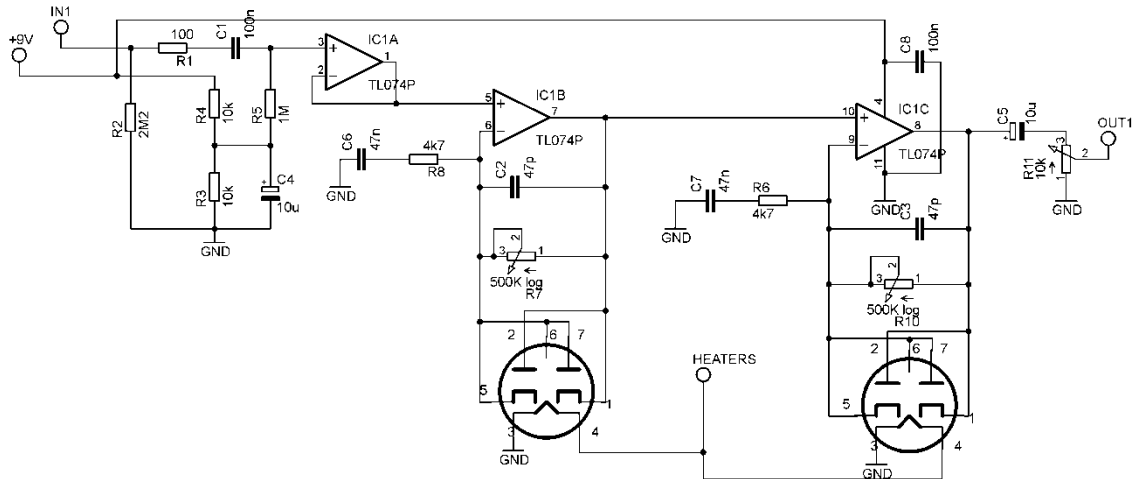


Obr. 18: V-A charakteristiky jedné z diod pro různá žhavicí napětí elektronky[8].



### 3.4.1 Schéma a popis zapojení

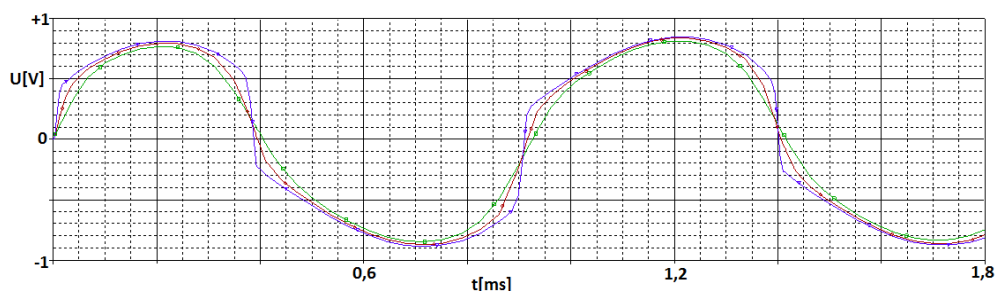
Zkreslovací obvod je realizován za pomoci operačních zesilovačů, a to jak v zapojení neinvertujícího zesilovače, tak i v zapojení vstupního sledovače. Operační zesilovače jsou napájeny nesymetricky. Je proto nutné zavést virtuální nulu, což v tomto případě znamená, že pokud je operační zesilovač napájen kladným napětím o velikosti 9 V, je potřeba užitečný signál superponovat na poloviční napětí, tedy na +4,5 V.



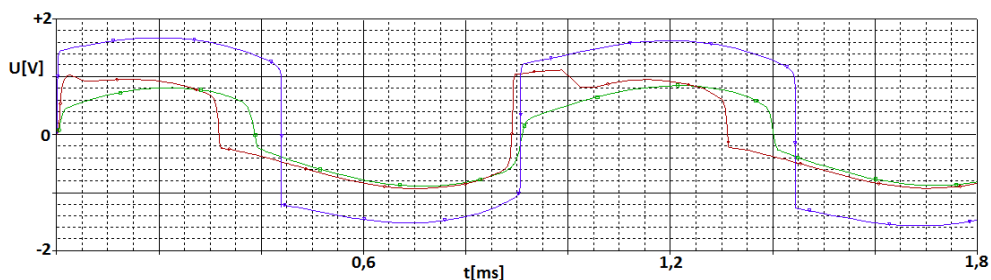
Obr. 19: Schéma zapojení zkreslovacího efektu.

Na obr. 19 je zobrazeno navržené schéma zapojení, kde na vstupu obvodu je odpor vysoké hodnoty, který by se měl u všech kytarových efektů pohybovat nad hodnotou 1 M $\Omega$ , z důvodu impedančního přizpůsobení ke snímačům elektrické kytary. Jak je patrné z obr. 16, v navrženém obvodu je použit odpor velikosti 2 M $\Omega$ , vstupní odpor by měl být tedy dostatečný. Odporový dělič R3, R4 nastavuje napětí na hodnotu 4,5 V, které je dále superponováno na užitečný vstupní signál přenášený na zkreslovací část přes vstupní sledovač IC1A.

Úroveň výsledného zkreslení je dána nastavením potenciometrů R7 a R10. Pokud je potenciometr R10 nastavený na minimální hodnotu, nedochází ke zkreslení vstupního signálu na tomto stupni, ale pouze dochází k limitaci na prvním stupni zesilovače IC1B. Tím je dosaženo lehké limitace, kterou je možné dále nastavit potenciometrem R7. Pokud je však odpor R7 nastaven na maximální zkreslení a začne se zvětšovat hodnota potenciometru R10, projeví se zkreslení i druhého stupně zesilovače IC1C, a tím se dosáhne tvrdé limitace. Na obr. 20 a 21 jsou zobrazeny průběhy simulací výstupního signálu pro různá nastavení potenciometrů R7 a R10 při vstupním harmonickém signálu o úrovni 0,4 V a frekvenci 1 kHz. Pokud jsou tedy oba potenciometry nastaveny na maximální úroveň, je zkreslení maximální, ale je zde i poměrně velké zesílení signálu a proto je na výstupu nastavitelný odporový dělič v podobě potenciometru, který podle potřeby snižuje výstupní úroveň.



Obr. 20: Výstupní signál pro různé hodnoty R7 a minimální hodnotu R10 (zelená - minimální hodnota R7, fialová - maximální hodnota R7).

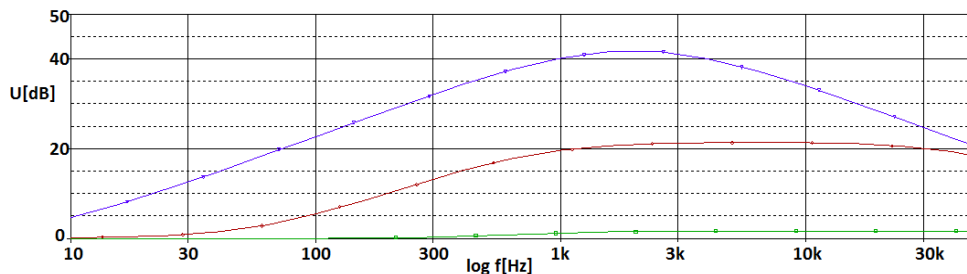


Obr. 21: Výstupní signál pro maximální hodnotu R7 a různé hodnoty R10 (zelená - minimální hodnota R10, fialová - maximální hodnota R10).

Kombinace odporu R8 a kondenzátoru C6, která je ve zpětné vazbě prvního stupně svedena na zem, představuje aktivní horní propust. Mezní kmitočet je podle Thomsonova vztahu nastaven na 720Hz. To samé platí i pro druhý stupeň. Hodnota mezního kmitočtu se určí následovně:

$$f_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_8 \cdot C_6} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 4k7 \cdot 47n} = 720\text{Hz} . \quad (2)$$

V kmitočtech vyšších než mezní frekvence dochází ke zkreslování vstupního signálu. Nízké, basové, tóny nejsou tedy tak výrazně zkreslovány.



Obr. 22: Frekvenční přenosová charakteristika zkreslovacího stupně (zelená - minimální hodnota R7, fialová - maximální hodnota R7).

Na obr. 22 je zobrazena přenosová frekvenční charakteristika pro různé hodnoty

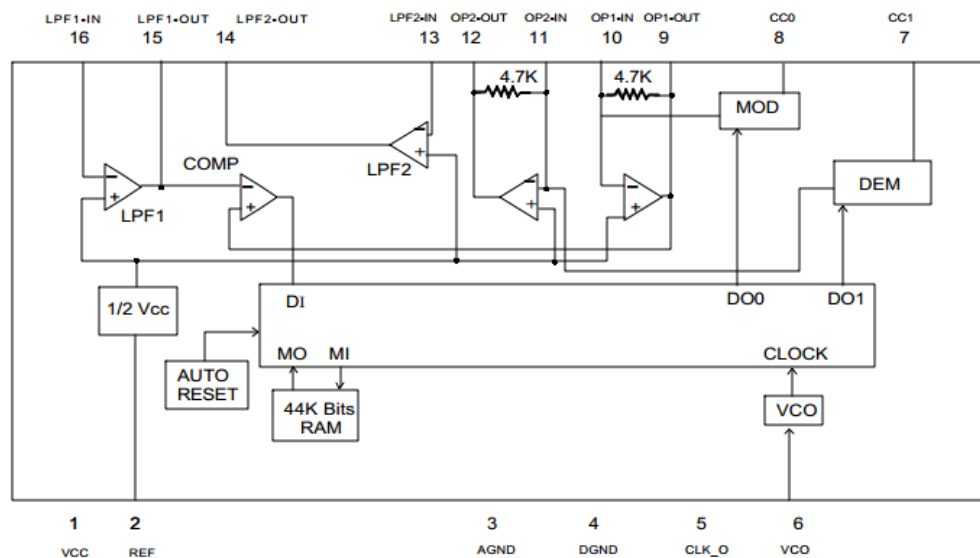
nastavení zpětnovazebního odporu. Z charakteristiky je zřejmé, že k největšímu zesílení, tedy i zkreslení, dochází v pásmu 700 Hz až 12 kHz.

## 3.5 Chorus

Jak bylo výše uvedeno, efekt chorus směšuje okamžitý signál se zpožděným signálem a tím vytváří dojem sborové reprodukce. Ke zpoždění signálu je použit signálový procesor PT2399, jenž se primárně využívá ve zpožďovacích efektech typu echo nebo delay.

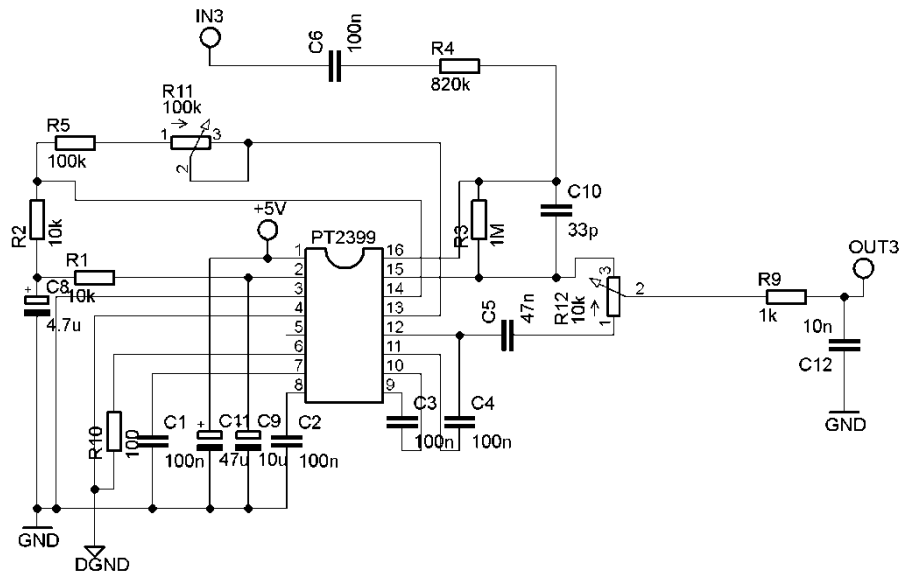
### 3.5.1 PT2399

Procesor disponuje vysokým vzorkovacím kmitočtem A/D a D/A převodníku. Vnitřní paměť procesoru využívaná ke zpoždění signálu je 44000 bitů. Harmonické zkreslení procesoru je velmi nízké, menší než 0,5% a hodnota produkovaného šumu součástkou je obvykle menší než -90 dBV, což umožňuje produkovat velmi kvalitní zvuk, bez výrazného zkreslení a zašumění [9]. Na obr. 23 je znázorněno vnitřní schéma zapojení procesoru.



Obr. 23: Vnitřní schéma procesoru PT2399 [9].

### 3.5.2 Schéma a popis zapojení



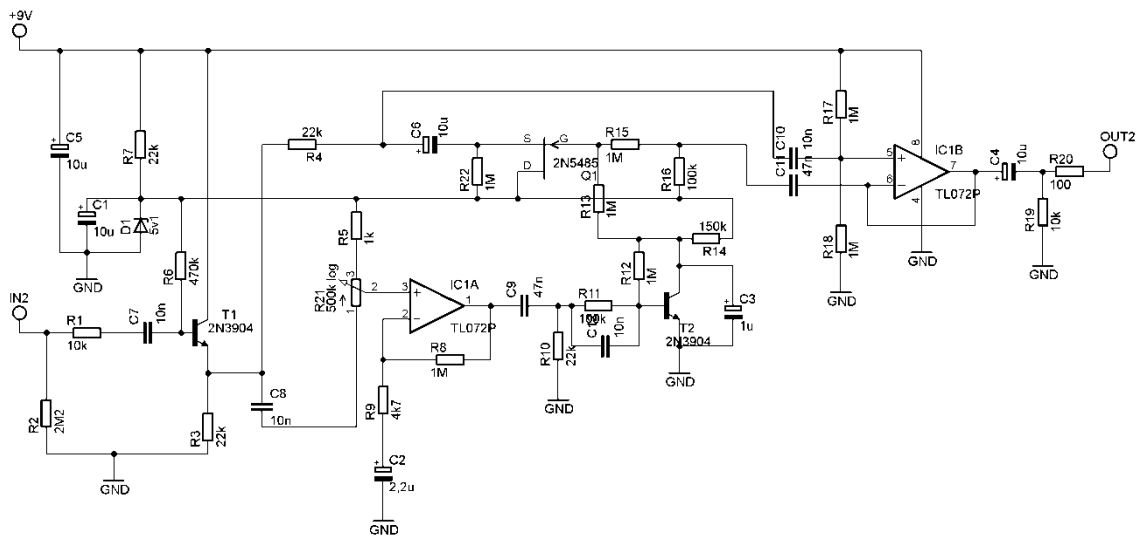
Obr. 24: Schéma zapojení efektu chorus.

Schéma zapojení na obr. 24 vychází z katalogového listu procesoru i z modifikovaných zapojení uvedených v [8]. Napájecí napětí procesoru o velikosti 5 V je přivedeno na pin 1. Pin 5 není nikde připojen, jelikož se jedná o výstup hodinového signálu, který v tomto zapojení nemá žádné uplatnění. Pin 3 je uzemněn, jedná se o analogovou zem. Pin 4 je rovněž zem, ale digitální, tudíž je tento vývod procesoru taktéž uzemněn. Pin 6 se obvykle využívá k nastavení doby zpoždění. Připojením odporu R10 s nízkou hodnotou odporu na pin 6 se dosáhne pevně nastaveného malého zpoždění. Rychlost zpoždění se tedy nenastavuje na pinu 6, jak je uvedeno v katalogovém listu, ale nastavuje se změnou odporu mezi piny 13 a 14 a připojením přes odporový dělič na pin 2, který je označen jako  $U_{ref}$  jehož napětí je rovno polovině napájecího napětí. Piny 7 a 8 slouží pro proudové nastavení a jsou připojeny přes kondenzátory na zem. Piny 9 10 a 11 12 slouží jako vstupy a výstupy integrovaných operačních zesilovačů. Připojením kondenzátoru do zpětné vazby se nastaví jako integrační články. Vstupní signál je přes vazební kondenzátor C6 a odpor R4 přiveden na pin 16, jenž je označen jako vstup dolní propusti, signál je dále z pinu 15 veden na potenciometr. Signál je odebírán z potenciometru R12 připojeného mezi piny 15 a 12, jenž slouží k nastavení hloubky efektu. Dále je signál z potenciometru profiltrován dolní propustí skládající se z odporu R9 a kondenzátoru C12 s mezním kmitočtem 16 kHz a vyveden na výstup efektu.

## 3.6 Noise gate

Jak již bylo zmíněno, úkolem šumové brány je filtrovat signály, jejichž úroveň je nižší než nastavená referenční hodnota. Použité schéma zapojení umožňuje nastavovat pouze prahovou úroveň. Další parametry, které lze u brány pozorovat, jako attack, či release jsou pevně nastaveny na nejmenší možnou hodnotu.

### 3.6.1 Schéma a popis zapojení

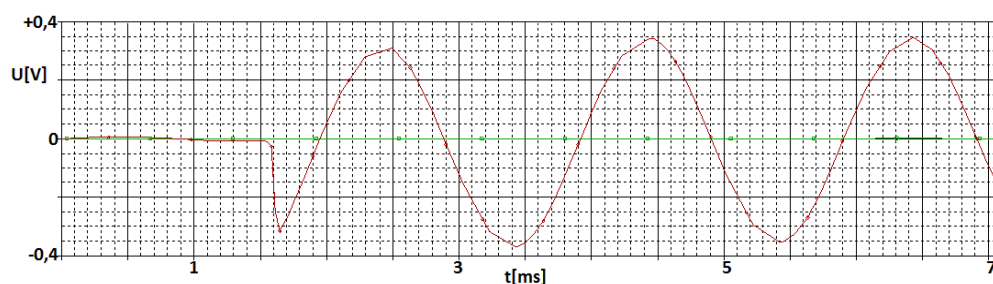


Obr. 25: Schéma zapojení noise gate.

Schéma zapojení na obr. 25 vychází z obecně známého schématu MXR noise gate, který je mezi kytaristy poměrně hojně používán. Na vstupu obvodu je zařazen odpor R2 s vysokou impedancí, kvůli impedančnímu přizpůsobení ke snímačům elektrické kytary. Za ním již následuje vstupní sledovač, realizovaný tranzistorem. Za vstupním sledovačem je signál rozdělen do dvou větví. První větev vede k CMOS spínači realizovaného unipolárním tranzistorem typu N. Vstupní signál je veden druhou větví přes potenciometr, ze kterého je odebírán signál do střídavého zesilovače. Za zesilovačem je umístěna horní propust a následně tranzistor, který nepropustí signál o hodnotě nižší než je referenční úroveň, a tedy výstupní úroveň signálu za komparátorem je IC1B nulová. Pokud je však úroveň signálu vyšší než nastavená, CMOS spínač se sepne a signál je přes komparátor vyveden na výstup.

Operační zesilovače jsou napájeny nesymetricky, a je tedy nezbytné v celém obvodu signál superponovat na virtuální nulu, kterou tvoří polovina napájecího napětí. Na výstup šumové brány je proto zařazen elektrolytický kondenzátor, který filtruje stejnosměrnou složku signálu.

Na obr. 26 je zobrazena simulace funkčnosti obvodu noise gate, resp. průběhy signálů na výstupu šumové brány. Simulace je provedena při nastavení potenciometru na hodnotu  $1\text{ k}\Omega$  a různé velikosti vstupního napětí. Zelený průběh odpovídá situaci, kdy je vstupní signál o velikosti napětí  $100\text{ mV}$  a červený průběh je pro situaci se vstupním signálem o velikosti  $400\text{ mV}$ . Z obrázku je patrné, že v případě, kdy je vstupní hodnota signálu nižší než nastavená, dojde k nulovému přenosu. Pokud je však vstupní napětí dostatečně vysoké dojde po ustálení k přenosu signálu.



Obr. 26: Průběh výstupních napětí obvodu noise gate.

## 4 TECHNICKÁ REALIZACE A MĚŘENÍ

Jednotlivé vyrobené DPS jsou nainstalovány do jedné plastové krabičky o velikosti 179x150x70 mm. Do multieffektu je signál přiváděn a odváděn pomocí konektorů jack o velikosti 6,3mm. Tento rozměr je v kytarové technice běžně používán. Tyto konektory, spolu s konektorem na napájení a vypínacím prvkem ON/OFF, jsou nainstalovány na bočních stěnách krabičky. Jak jde vidět na obr. 27, tak všechny ovládací prvky jsou nainstalovány na horní straně krabičky a navíc zde jsou ještě nainstalovány zelené LED diody, které indikují, které efekty jsou aktivní.

Nožní přepínač, který je umístěn nejvíce vlevo, slouží k ovládání šumové brány, prostřední k ovládání zkreslovacího obvodu a nejvíce vpravo umístěným přepínačem je ovládán chorus.



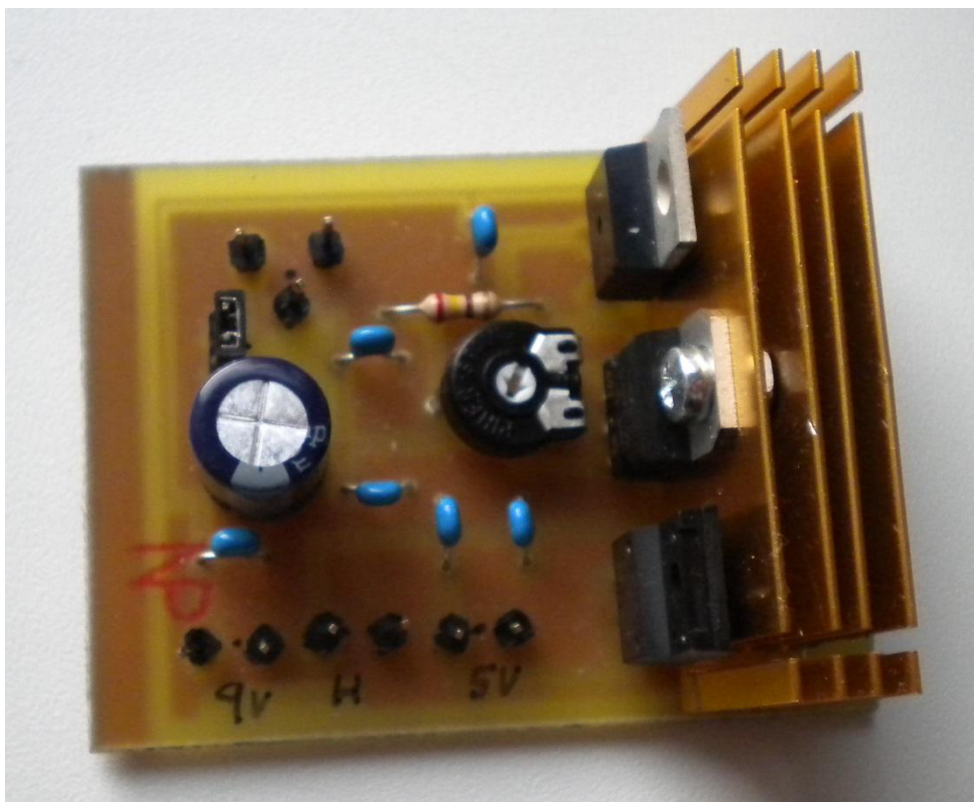
Obr. 27: Výsledný vzhled multieffektu.

### 4.1 Napájení

Napájení efektu je realizováno na desce o velikosti 42x72 mm. Při testování zdroje se ukázalo, že nastavitelný napěťový stabilizátor LM317, který napájí velice proudově náročné žhavení elektronek, se velmi zahřívá. Na desku je proto nainstalován dostatečně velký a účinný pasivní chladič, který součástku ochrání před přehřátím.

Pro zjednodušení vyvedení vypínače ON/OFF a konektoru na napájecí jack 2.1mm na šasi multieffektu, jsou napájeny vývodové piny a vývody pro různá napájecí napětí

jsou taktěž realizovány pomocí vývodových pinů.



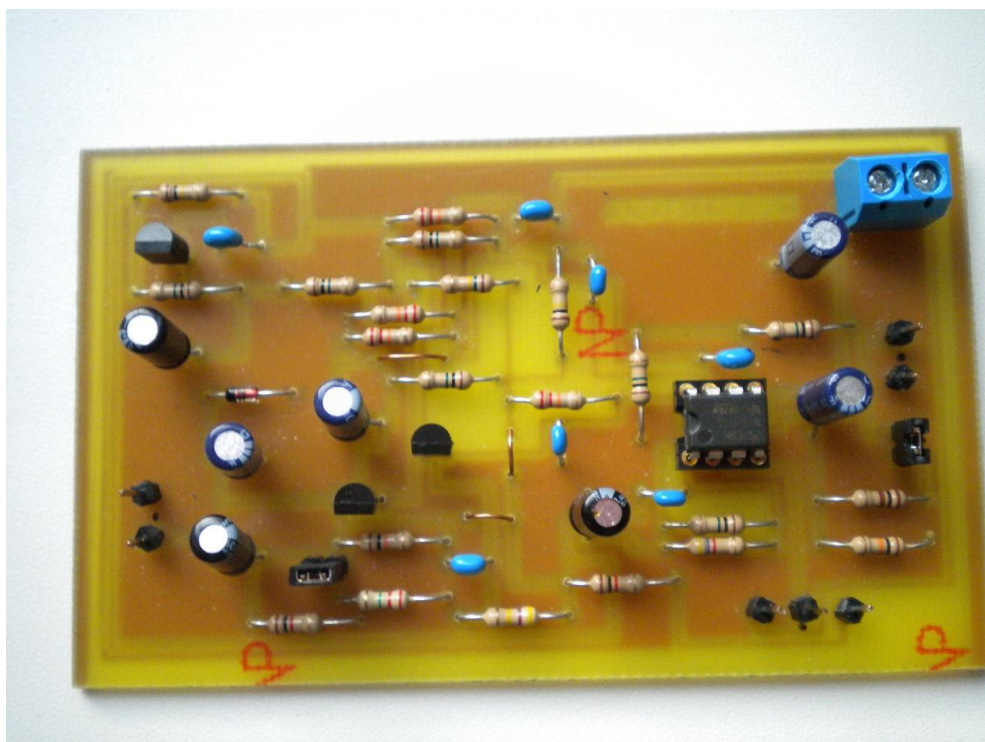
Obr. 28: Deska plošných spojů napájení.

Měřením bylo ověřeno, že napájecí část multieffektu je plně funkční a všechny požadované napětí jsou na výstupu stabilní a přesné. Přesnou hodnotu napájení žhavení elektronek, bylo však potřeba pomocí trimmeru doladit, a to ale až na základě dalšího měření zkreslovacího efektu, kde toto napájení žhavicích elektrod se velice projeví na míře zkreslení.

## 4.2 Noise gate

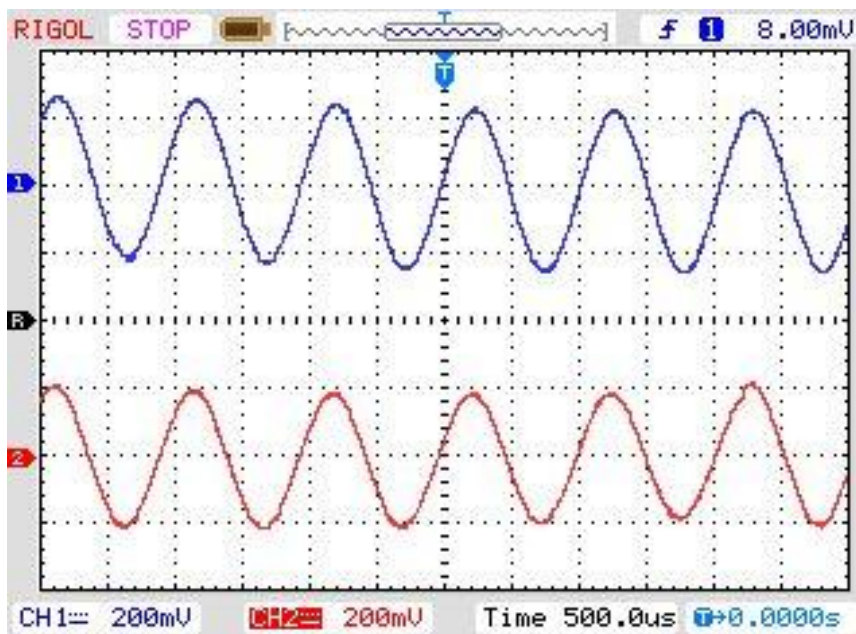
Na obr. 29 jde vidět, že na této desce jsou použity vývodové piny, na které jsou připojeny součástky, respektive ovládací prvky, které je nutno instalovat přímo na šasi multieffektu. Jedná se o potenciometr a nožní přepínač. Na přivedení napájecího napětí obvodu jsou použity svorky s dotahovacími šroubky, které jsou proti nechtěnému vytáhnutí odolnější než pinové kontakty.



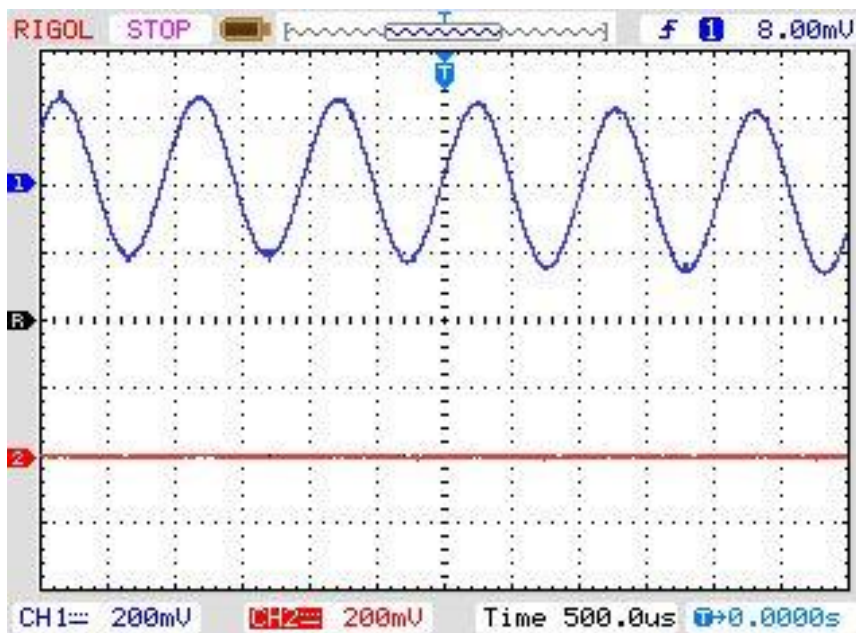


Obr. 29: Deska plošných spojů efektu noise gate.

Měřením bylo dokázáno, že noise gate obvod je funkční. Obvod byl testován vstupním harmonickým signálem o úrovni 8 mV a frekvenci 1 kHz. Při nastavení prahové úrovně nižší než je vstupní harmonický signál, efektem signál prochází nedeformovaný, a tak se na výstupu se objeví tentýž signál jak na vstupu, avšak nepatrně utlumený (obr. 30). Pokud však byla prahová úroveň zvýšena nad úroveň vstupního napájení, tak se na výstupu neobjeví žádný signál a přenos je nulový (obr. 31).

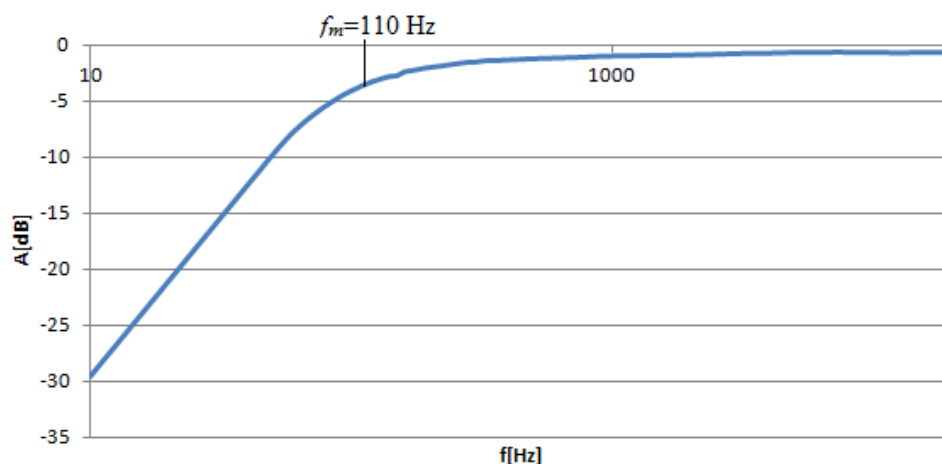


Obr. 30: Změřené průběhy z osciloskopu pro nastavení prahové úrovně nižší, než je úroveň vstupního signálu (modrá - vstupní signál, červená - výstupní signál).



Obr. 31: Změřené průběhy z osciloskopu pro nastavení prahové úrovně vyšší, než je úroveň vstupního signálu (modrá - vstupní signál, červená - výstupní signál).

Dále byla proměřena frekvenční přenosová charakteristika obvodu, aby se ověřilo, že se skutečně jedná o horní propust, která potlačuje nízkofrekvenční brumy a další nechtěné signály o frekvenci nižší než 100 Hz. Z naměřené charakteristiky na obr. 32 je patrné, že se o horní propust jedná. Dále bylo zjištěno, že dolní mezní kmitočet obvodu  $f_m$  je 110 Hz a pro svůj účel je tedy dostačující (viz tab. 1).



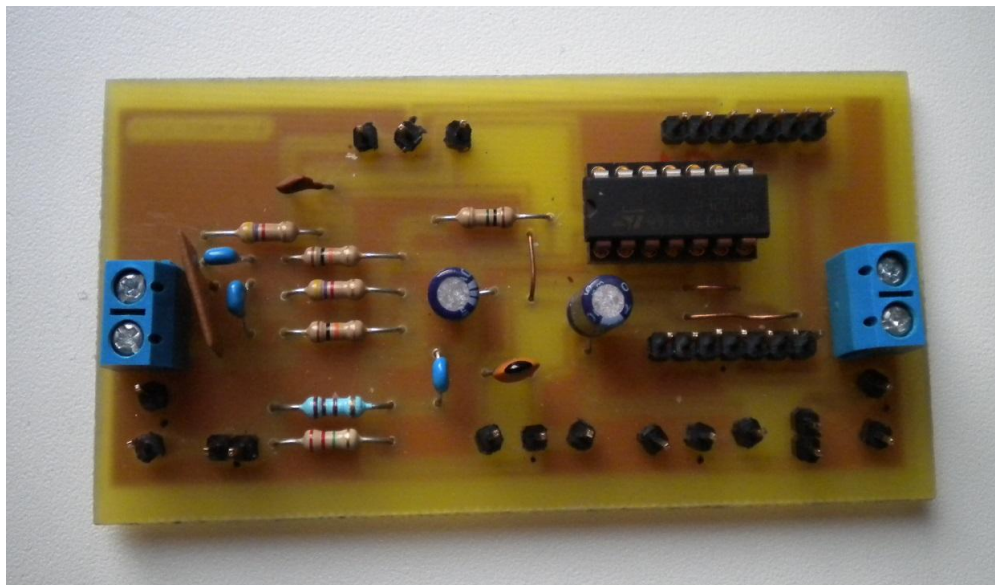
Obr. 32: Změřená frekvenční přenosová charakteristika obvodu noise gate.

Tab. 1: Tabulka naměřených hodnot pro noise gate.

$f$ [Hz]	$U1$ [mV]	$U2$ [dB]	$A$ [dB]	$f$ [Hz]	$U1$ [mV]	$U2$ [dB]	$A$ [dB]
10	49,5	1,63	-29,65	260	47,8	39,6	-1,63
50	49,5	16	-9,8	280	47,8	40	-1,55
60	49	20	-7,78	300	47,8	40,1	-1,53
70	48,8	23,3	-6,42	320	47,6	40,4	-1,42
80	48,8	26,1	-5,44	340	47,5	40,6	-1,36
90	48,6	28,4	-4,67	360	47,7	40,7	-1,38
100	48,6	30,3	-4,1	400	47,8	41	-1,33
110	48,4	31,8	-3,65	500	47,8	41,5	-1,22
120	48,3	33,1	-3,28	700	47,8	42	-1,12
130	48,3	34,1	-3,02	1000	47,5	42,4	-0,99
140	48,1	34,8	-2,81	2000	48,5	43,8	-0,89
150	48	35	-2,74	3000	48,5	44,4	-0,77
160	48	36,4	-2,4	4000	48,5	44,6	-0,73
170	48	36,9	-2,28	5000	48,5	44,9	-0,67
180	48	37,3	-2,19	7000	48,5	45	-0,65
190	47,9	37,7	-2,08	10000	48,5	44,9	-0,67
200	48	38,1	-2,01	13000	48,5	44,8	-0,69
220	47,8	38,5	-1,88	16000	48,5	45	-0,65
240	48	39,2	-1,76	20000	48,5	44,8	-0,69

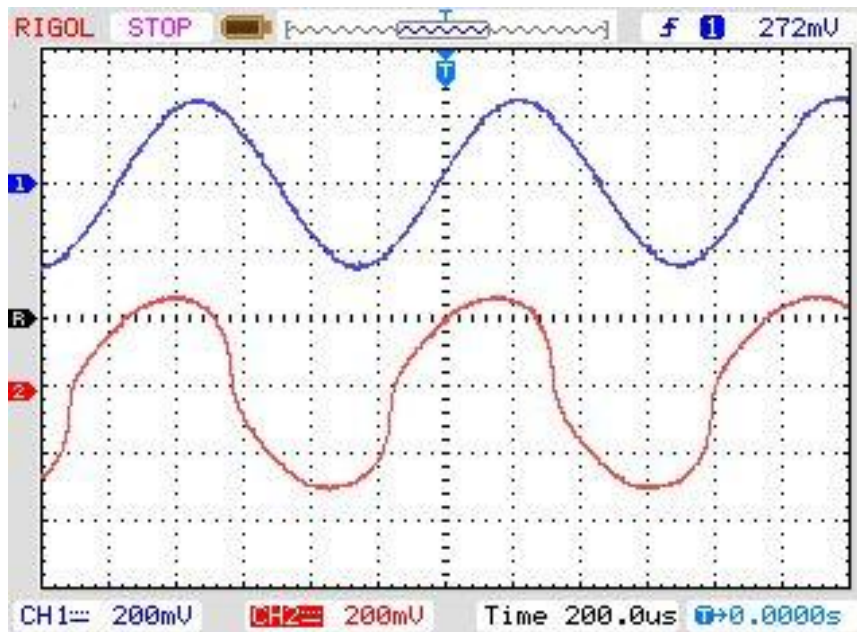
### 4.3 Zkreslovací efekt

Na desce zkreslovacího efektu, byly taktéž použity vývodové piny pro potenciometry i pro nožní přepínač. Elektronky, které jsou použity v tomto efektu, jsou nainstalovány na patici, která je přizpůsobená nikoli na instalaci na DPS, avšak na instalaci na šasi multieffektu a to jak z důvodu konstrukčního, tak z toho důvodu, aby uvnitř krabičky nedocházelo k nechtěnému přehřívání elektronek, což by se negativně projevilo na zkreslovacích vlastnostech elektronky. Vývodové piny jsou tedy použity i k připojení elektronek. Jak je vidět na obr. 33 pro připojení napájení žhavicího napětí i napájení obvodu jsou taktéž použity svorky s dotahovacími šroubky.



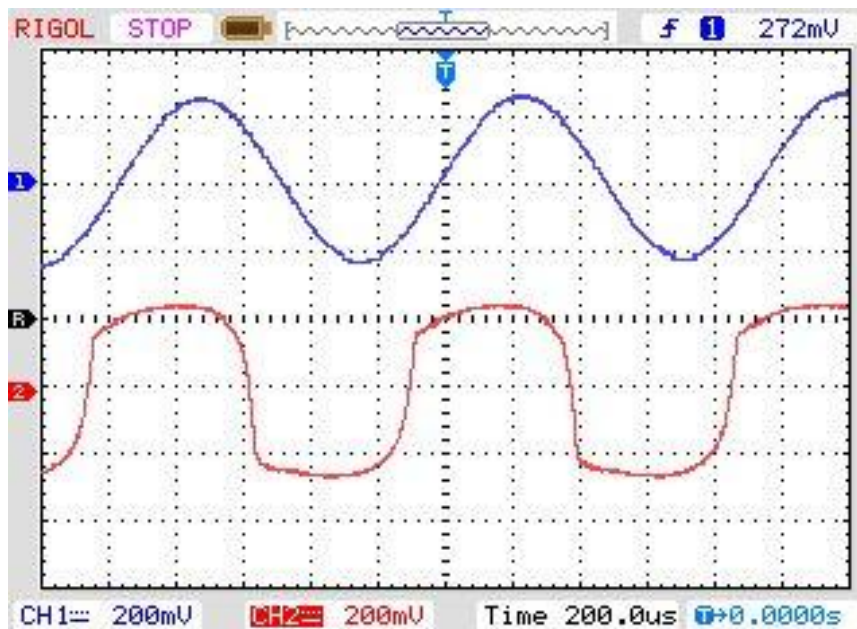
Obr. 33: Deska plošných spojů zkreslovacího efektu.

Na obr. 34 jsou zobrazeny průběhy z osciloskopu pro nastavení overdrive, kdy se ve zkreslení uplatňuje pouze první elektronka. Při prvním měření nebylo zkreslení, téměř vůbec viditelné a to ani při maximálním zkreslení, po doladění žhavicího napájení trimmerem bylo dosaženo viditelného zkreslení, téměř totožného jak při počítačové simulaci v program Orcad Pspice. Činnost efektu je testována harmonickým vstupním signálem o úrovni 270 mV a frekvenci 1 kHz.



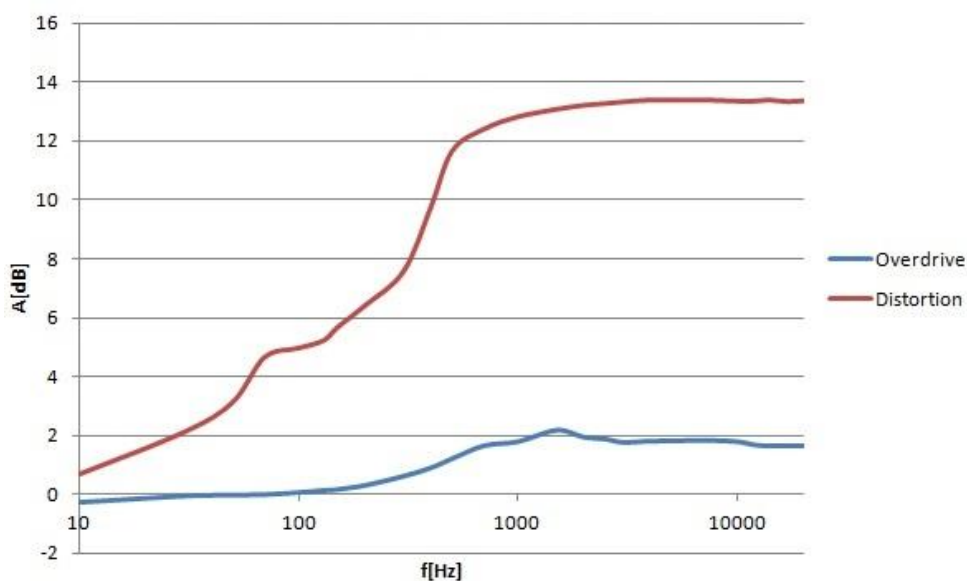
Obr. 34: Průběh z osciloskopu pro nastavení overdrive (modrá – vstupní signál, červená – výstupní signál).

Na obr. 35 jsou zobrazeny průběhy pro nastavení distortion, kdy jsou ke zkreslení použity obě elektronky. Při tomto nastavení, však již dochází k docela výraznému zesílení, je tedy již potřeba snižovat výstupní úroveň pomocí potenciometru nazvaného gain. Zkreslení je opravdu výrazné a stejně jak v nastavení overdrive se výstupní průběh téměř shoduje s průběhy v počítačové simulaci.



Obr. 35: Průběh z osciloskopu pro nastavení distortion (modrá – vstupní signál, červená – výstupní signál)

Na tomto efektu byla taktéž proměřena frekvenční charakteristika, aby bylo ověřeno, že se efekt chová ve skutečnosti stejně jako při počítačové simulaci. Přesněji řečeno, že zesiluje, tedy zkresluje signály na požadované frekvenci. Měření bylo provedeno jak pro nastavení overdrive, tak pro nastavení distortion. Jak z obr. 36 tak i z tab. 2 je vidět, že při nastavení overdrive dochází jen k mírnému zesílení v řádu maximálně 2 dB, tedy pouze k mírnému zkreslení pro frekvence vyšší než 700 Hz, což odpovídá původním požadavkům i simulaci. Při nastavení distortion již dochází k opravdu velkému zesílení, tedy i k radikálnímu zkreslení signálu. Z toho důvodu, že dochází k tak velkému zesílení, až 13dB, je potřeba výstupní signál tlumit potenciometrem nazvaným gain, aby nešlo k poškození reprodukcího systému, který nebývá dimenzován na tak velké napětí. K nejvýraznějšímu zesílení dochází taktéž od kmitočtu 700 Hz.



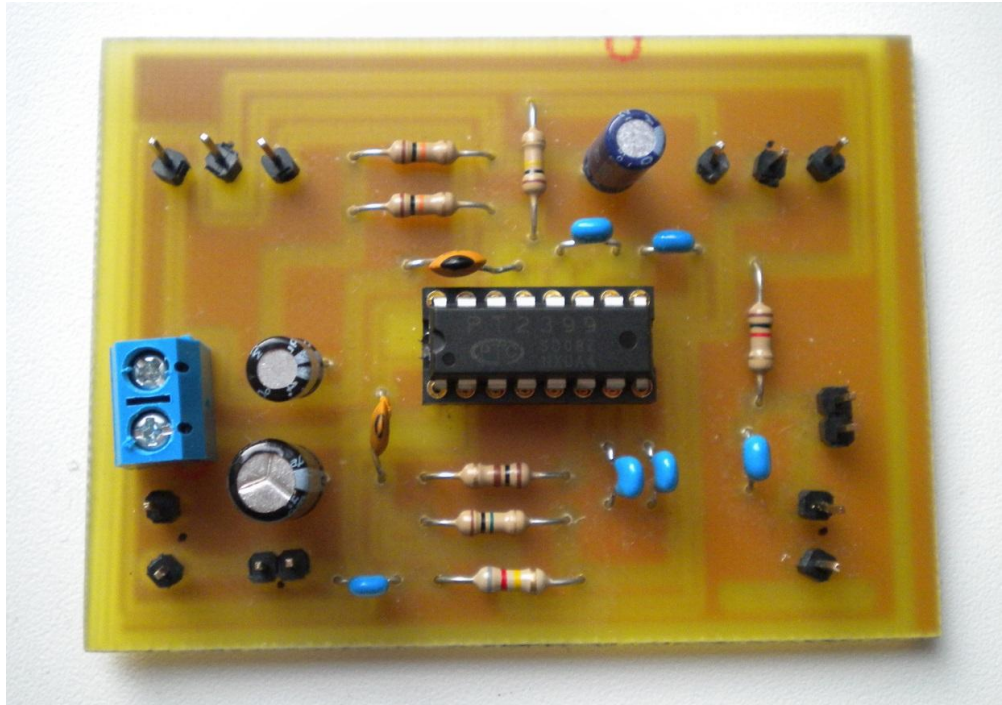
Obr. 36: Změřená frekvenční přenosová charakteristika obvodu noise gate.

Tab. 2: Tabulka naměřených hodnot pro zkreslovací efekt.

Overdrive				Distortion			
$f$ [Hz]	$U1$ [mV]	$U2$ [mV]	$A$ [dB]	$f$ [Hz]	$U1$ [mV]	$U2$ [mV]	$A$ [dB]
10	49,8	48,3	-0,27	10	49,8	54	0,70
30	49,8	49,5	-0,05	30	49,7	63,5	2,13
50	49,7	49,6	-0,02	50	49,8	71,5	3,14
70	49,8	49,8	0	70	49,7	85,1	4,67
100	49,7	50,1	0,07	100	49,9	88,5	4,98
130	49,7	50,5	0,14	130	49,8	91	5,24
150	49,8	50,8	0,17	150	49,7	95,5	5,67
200	49,7	51,5	0,31	200	49,7	104	6,41
300	49,8	53,5	0,62	300	49,8	119	7,57
400	50	55,5	0,91	400	49,8	153	9,75
500	49,9	57,4	1,22	500	49,7	190	11,65
700	49,9	60,4	1,66	700	49,9	208	12,4
1000	50	61,5	1,8	1000	50,1	219	12,81
1500	50	64,3	2,18	1500	50,2	226	13,07
2000	50,1	62,7	1,95	2000	50,3	230	13,20
2500	50,3	62,5	1,89	2500	50,4	232	13,26
3000	50,3	61,7	1,77	3000	50,3	233	13,32
4000	50,5	62,2	1,81	4000	50,4	235	13,37
7000	50,5	62,4	1,84	7000	50,8	237	13,38
10000	50,5	62,1	1,8	10000	50,8	236	13,34
12000	51	61,9	1,68	12000	50,8	236	13,34
14000	51	61,7	1,65	14000	50,8	237	13,38
17000	50,8	61,5	1,66	17000	50,9	236	13,32
20000	50,9	61,6	1,66	20000	50,7	236	13,36

## 4.4 Chorus

V tomto efektu jsou použity, jako u všech ostatních efektů, vývodové piny na potenciometry a nožní přepínače (viz obr. 37).



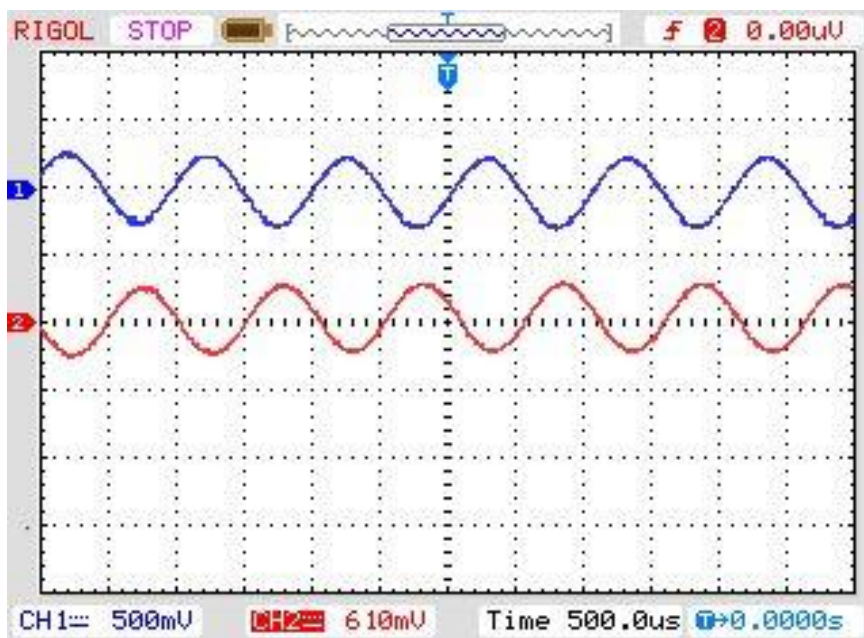
Obr. 37: Deska plošných spojů pro chorus.

Tento efekt používá speciální signálový procesor, pro který neexistují žádné simulační knihovny, proto výsledek činnosti tohoto efektu nebyl před samotnou realizací tak úplně znám a jistý. Funkčnost efektu lze ověřit podle osciloskopu, avšak není zcela zřejmá tak jako v případě zkreslovacího efektu či noisegate a to proto, že neexistují žádné teoretické průběhy, které lze srovnat s reálnými. Při ověřování funkčnosti je potřeba sledovat chování výstupního signálu v závislosti na změně nastavení potenciometrů.

První potenciometr mění hloubku modulace, což vyvolává změnu výstupního signálu. Při sledování vlivu prvního potenciometru na obrazovce osciloskopu bylo zjištěno, že nedochází k žádným viditelným změnám na výstupním signálu, a to ani pro vstupní signály o různých úrovních a frekvencích. Při snaze o zprovoznění nastavování tohoto parametru se autor pokusil použít potenciometry o různých hodnotách odporů, avšak tento pokus byl neúspěšný a nastavování tohoto parametru zůstalo nečinné.



Druhý potenciometr má za úkol měnit míru zpoždění signálu. Při ověřování činnosti nastavování tohoto parametru skutečně dochází ke změnám zpoždění výstupního signálu, oproti vstupnímu a to v rozsahu 0,5-5 ms. Na obr. 38 jsou zaznamenány průběhy z osciloskopu, kde zpoždění vstupního oproti výstupnímu je 0,5 ms. Zkoumáním zvukového charakteru efektů se zabývá následující kapitola práce.



Obr. 38: Průběh z osciloskopu při měření efektu chorus (modrá – vstupní signál, červená – výstupní signál).

## 5 ZVUKOVÉ VLASTNOSTI EFEKTŮ

Zkoumání zvukových vlastností efektů je spíše záležitostí subjektivních dojmů posluchače. Významně se na celkovém zvuku podílí i zkušenosti a znalosti toho kdo na kytaru hraje, tedy kytaristy. Z toho důvodu autor k experimentálnímu odzkoušení charakteru zvuku, pozval zkušeného kytaristu. Efekty byly testovány v prostorách akusticky přizpůsobených, tedy v hudební zkušebně. Výsledný zvuk, jehož charakter byl cílem zkoumání, byl reprodukován přes kvalitní kytarovou aparaturu, která disponuje tzv. efektovou smyčkou, kdy není signál nijak ovlivňován korekčními obvody aparátu, Díky této skutečnosti bylo možné reprodukovat pouze signál z výstupu realizovaného multieffektu.

### 5.1 Noise gate

Tento efekt nemá nijak výrazně měnit charakter zvuku, ale pouze zamezit reprodukci nežádoucích signálů. Při hraní nástroje přes tento efekt, zvuk skutečně není nijak zkreslen, jen se jeví jako by čistší, a mírně přitlumený.

Effekt disponuje pouze jedním potenciometrem, který je nazván threshold. Změna nastavení tohoto potenciometru se nijak výrazně na kvalitě, či hlasitosti zvuku neprojeví, ale to jen do doby, kdy dojde k nastavení prahové úrovně nad úroveň vstupního signálu. Při tomto nastavení dojde k odfiltrování kompletního užitečného signálu a na výstupu neslyšíme žádný zvuk. Lze tedy tvrdit, že navržený noise gate je plně funkční.

### 5.2 Zkreslovací efekt

Tato část multieffektu mění charakter zvuku nejvíce ze všech efektů, kterými multieffekt disponuje. Zvukový charakter se dá na tomto efektu měnit třemi potenciometry.

První potenciometr nese název overdrive a slouží k nastavení jen lehkého zkreslení. I toto „lehké“ zkreslení se však již na zvuku výrazně podepíše a dodá mu určitý nádech agresivity, který je například u rockových skladeb žádaný.

Druhý potenciometr nese název distortion. Této úrovně zkreslení však lze dosáhnout pouze v případě, kdy je první potenciometr overdrive nastaven do maxima. Při tomto nastavení již dochází k opravdu výraznému zkreslení, které se, co se týče subjektivního vnímání zvuku, jeví jako opravdu „tvrdý“ kytarový tón, který se výborně hodí do nějaké metalové koncepce.

V případě, kdy jsou na efektu oba potenciometry nastaveny do maxima, je zapotřebí výstupní signál tlumit a k tomuto účelu je zde třetí potenciometr, který je nazván gain a nastavuje výstupní hlasitost efektu. Toho nastavení hlasitosti lze využít i v případě, že není žádáno zkreslení signálu, ale jsou v činnosti ostatní efekty a je zapotřebí upravit hlasitost signálu. Toto nastavení se realizuje tak, že zkreslovací efekt zůstane aktivní, ale potenciometry overdrive i distortion se nastaví do minima, tímto se

docílí nulového zkreslení signálu, a dále je možné libovolně upravovat úroveň výstupního signálu. Z provedených měření i pomocí experimentálního ověření lze tvrdit, že navržený zkreslující efekt je zcela funkční.

### **5.3 Chorus**

Tento, v řadě efektů poslední obvod by měl dodávat zvuku krásný tón, zvonivé výšky a prostor.

Tento efekt je vybaven dvěma potenciometry, kde jeden nese označení depth a druhý rate. První z těchto potenciometrů, tedy depth má za úkol měnit hloubku modulace zpožděného signálu s okamžitým. Druhý potenciometr označený rate nastavuje zpoždění signálu, tedy dodává zvuku větší dojem sborovosti. Oba tyto potenciometry jsou funkční, avšak změna těchto parametrů není tak výrazná jako u ostatních efektů. Celkové hodnocení zvukového charakteru tohoto efektu je takové, že zvuk prochází jistou změnou, která by se dala nazvat dodání jisté sborovosti, která však není tak výrazná jako u kvalitních komerčních efektů tohoto typu. Výhodou této realizace je, že cena tohoto efektu dosahuje malého procenta komerčních efektů.

## 6 ZÁVĚR

V této práci byly v úvodní části popsány vlastnosti vybraných efektů a to jak z hlediska použití, tak i z hlediska technického. Následně jsou zvolené efekty na základě teoretických předpokladů navrženy. Navržená schémata jednotlivých obvodů efektů, jsou na základě počítačových simulací plně funkční.

Další část práce se zabývá technickou realizací a měřením jednotlivých efektů. Všechny efekty jsou na základě měření i akustických zkoušek funkční. Nejméně zřetelný vliv efektu na zvuk, kromě noisegatu, který slouží jen jako šumový filtr, je v případě chorusu. Tento efekt, se nemůže rovnat s kvalitními komerčními efekty, nemá zdaleka tak velkou hloubku modulace a ani výsledný projev efektu. Tato skutečnost je s největší pravděpodobností způsobena z důvodu použití procesoru PT2399, který je prvotně navržen pro účely efektu echo či delay. Možné řešení zlepšení činnosti efektu, je v analogové problematice velice obtížné a tak by bylo lepší zvolit úplně jiné schéma s použitím programovatelného signálového procesoru.

Jednotlivé efekty byly nejprve testovány na osciloskopech, kde byl pozorován vliv jednotlivých efektů na vstupní harmonický signál a poté byly testovány z hlediska zvukového.

Stávající multieffekt by bylo možné ještě vylepšit následujícími modifikacemi pro ještě komfortnější ovládání a větší možnosti nastavení výsledného zvuku.

Obvod noisegate by bylo možno doplnit potenciometrem, který by nastavoval parametr attack, tedy dobu přechodu mezi stavem pod a nad nastavenou úroveň threshold. Doplnění efektu tímto parametrem by však vyžadovalo výraznou modifikaci použitého schématu, ne-li dokonce použití úplně jiného zapojení.

Napájecí obvod multieffektu by se dal vylepšit použitím dodatečného vypínače, kterým by bylo možné, nezávisle na napájení ostatních obvodů, vypínat žhavicí napětí elektronek, v případě kdy by nebyl zkreslovací obvod aktivní a to především z důvodu prodloužení životnosti elektronek, která s rostoucí dobou žhavení klesá.

Další možnou modifikací by bylo doplnění multieffektu tónovou clonou, která by byla předřazena do řetězce efektů před zkreslovací efekt, čímž by se dosáhlo zkreslování signálů pouze ve vybrané frekvenční oblasti. Dále by bylo vhodné dát před výstup multieffektu několikapásmové ekvalizační filtry, kterými by se dal finální signál ještě donastavit.

Práce kompletně naplňuje požadavky zadání a dokumentuje proces od teoretického návrhu, až po technickou realizaci a finální oživení a ověření činnosti zařízení. Součástí práce je CD s krátkými úseky nahrávek pro různá nastavení efektů.

# LITERATURA

- [1] Kytary [online]. Svět hudebních nástrojů, 2013 – [cit. 28. listopadu 2013]. Dostupné na [www: <http://www.kytary.cz/>](http://www.kytary.cz/).
- [2] Gmarts [online]. Knowledge leads to understanding. Understanding leads to imagination, 2013 – [cit. 1. prosince 2013]. Dostupné na [www: <http://www.gmarts.org/>](http://www.gmarts.org/).
- [3] ŠINDELÁŘ, J. *Návrh a konstrukce kytarového efektu*. Bakalářská práce. Brno: FEKT VUT v Brně, 2013.
- [4] Muzikus [online]. Hudební portál, 2013 – [cit. 28. listopadu 2013]. Dostupné na [www: <http://www.muzikus.cz/>](http://www.muzikus.cz/).
- [5] POKORNÝ, M. *Návrh a realizace filtru ADSR*. Diplomová práce. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.
- [6] Wikipedie [online]. Otevřená encyklopedie, 2013 – [cit. 26. listopadu 2013]. Dostupné na [www: <http://cs.wikipedia.org/>](http://cs.wikipedia.org/).
- [7] 6AL5, Datasheet Twin Diode 6AL5, *General Electric* [online]. Dostupné na [www: <http://www.r-type.org/pdfs/6al5.pdf/>](http://www.r-type.org/pdfs/6al5.pdf/).
- [8] Diystomboxes [online]. Want to build your own stomboxes?, 2013 – [cit. 29. listopadu 2013]. Dostupné na [www: <http://www.diystomboxes.com/>](http://www.diystomboxes.com/).
- [9] PT2399, Datasheet Echo Procesor IC, *DIY Audio circuits* [online]. Dostupné na [www: <http://www.diyaudiocircuits.com/wp-content/uploads/2012/09/2399.pdf/>](http://www.diyaudiocircuits.com/wp-content/uploads/2012/09/2399.pdf/).
- [10] Stewart-MacDonald [online]. Everything for building and repairing stringed instruments, *Fulltone 3PDT Stomp Switch*, 2003. Dostupné na [www: <http://www.stewmac.com/freeinfo/Electronics/Switches/i-1561.html/>](http://www.stewmac.com/freeinfo/Electronics/Switches/i-1561.html/).
- [11] KREJČÍK, A. Napájecí zdroje, 1., 2. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 1997.
- [12] WIRSUM, S. Abeceda NF techniky, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 1998.
- [13] Návrhový systém EAGLE [online]. Alan Kraus, 2014. Dostupné na [www: <http://web.quick.cz/chmelar.t/eagle/manual.htm>](http://web.quick.cz/chmelar.t/eagle/manual.htm)
- [14] BIOLEK, D., KOLKA, Z., BIOLKOVÁ, V., BIOLEK, Z. Modelování a simulace pomocí PSpice 1. vydání. Tribun EU s.r.o., 2011.
- [15] ZÁHLAVA, V. *Návrh a konstrukce DPS – Principy a pravidla praktického návrhu*, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2011.
- [16] PLÍVA, Z. EAGLE prakticky, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2010.
- [17] LÁNÍČEK, R. Simulační programy pro elektroniku, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2002.
- [18] DOLEČEK, J. *Moderní učebnice elektroniky 2.díl – polovodičové prvky a elektronky*, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2005.
- [19] DOLEČEK, J. *Moderní učebnice elektroniky 4.díl – přenosy v lineárních obvodech a úvod do zesilovačů*, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2006.
- [20] DOLEČEK, J. *Moderní učebnice elektroniky 5.díl – operační zesilovače a komparátory*, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2007.

- [21] LANDMAN, J. Elektronické konstrukce pro začátečníky, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2002.
- [22] VLACH, J., VLACHOVÁ, V. Lampárna aneb Co to zkusit s elektronkami?, 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2004.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

R	rezistor
C	kondenzátor
D	dioda
Q	tranzistor fet
T	tranzistor bipolární
GND	zemní svorka
IN	vstupní svorka
OUT	výstupní svorka
IC	integrovaný obvod
SW	přepínač
LED	světlo emitující dioda
3PDT	3-polový nožní přepínač
$\Omega$	ohm
F	farad
V	volt
dB	decibel
ms	milisekunda
Hz	hertz
$U$	napětí
$f$	frekvence
$f_m$	mezní frekvence

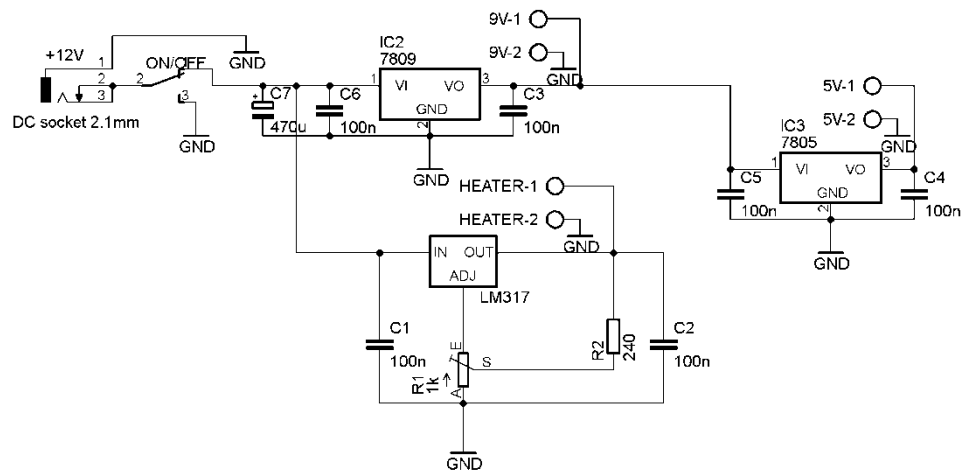
# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>Návrh zařízení</b>	<b>39</b>
A.1	Obvodové zapojení napájení.....	39
A.2	Deska plošného spoje napájení – bottom.....	39
A.3	Osazovací plán napájení – strana součástek .....	40
A.4	Obvodové zapojení noise gate .....	41
A.5	Deska plošného spoje noise gate – bottom .....	42
A.6	Osazovací plán noise gate – strana součástek.....	42
A.7	Obvodové zapojení zkreslovacího efektu .....	43
A.8	Deska plošného spoje zkreslovacího efektu – bottom .....	44
A.9	Osazovací plán zkreslovacího efektu – strana součástek.....	44
A.10	Obvodové zapojení chorusu.....	45
A.11	Deska plošného spoje chorusu – bottom.....	45
A.12	Osazovací plán chorusu – strana součástek .....	46
<b>B</b>	<b>Seznam součástek</b>	<b>47</b>
B.1	Napájení .....	47
B.2	Noise gate .....	48
B.3	Zkreslovací efekt.....	49
B.4	Chorus.....	50

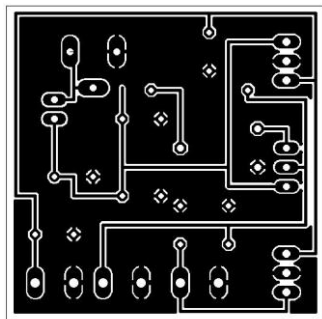


# A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

## A.1 Obvodové zapojení napájení

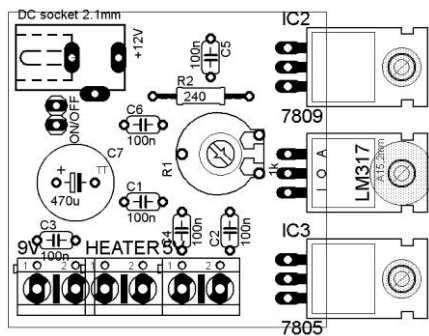


## A.2 Deska plošného spoje napájení – bottom



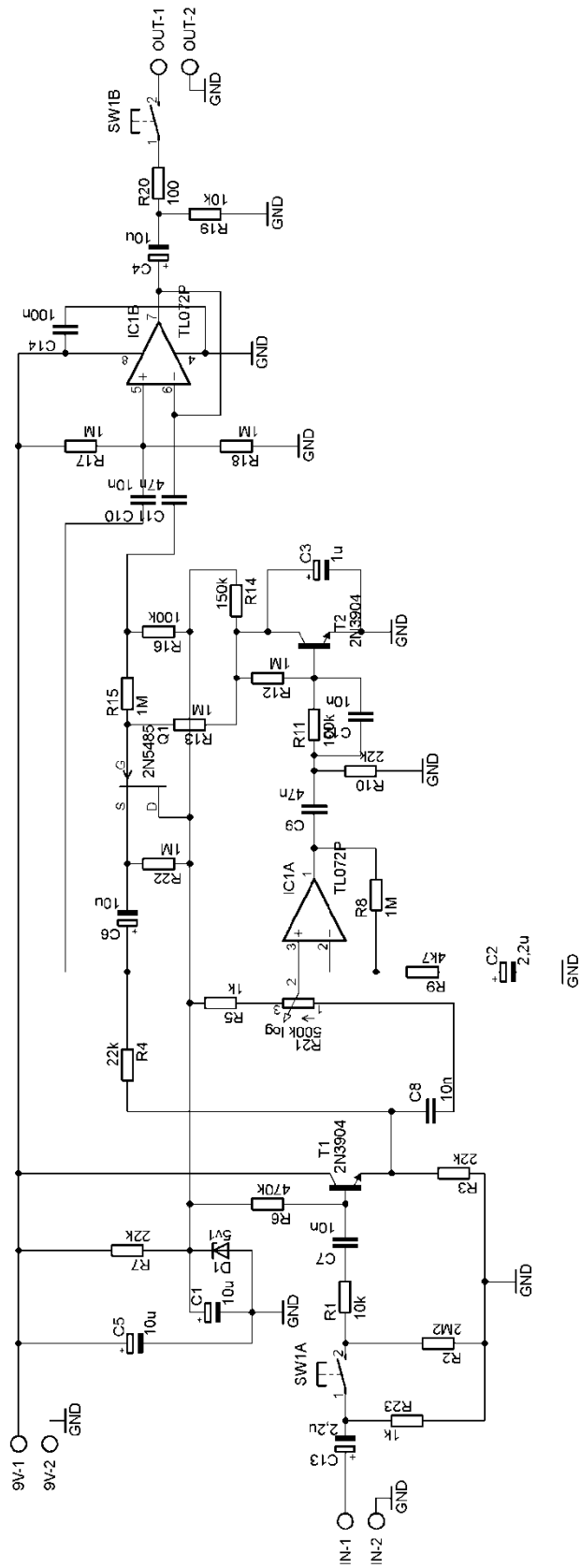
Rozměr desky 42 x 42 [mm], měřítko M1:1

### A.3 Osazovací plán napájení – strana součástek

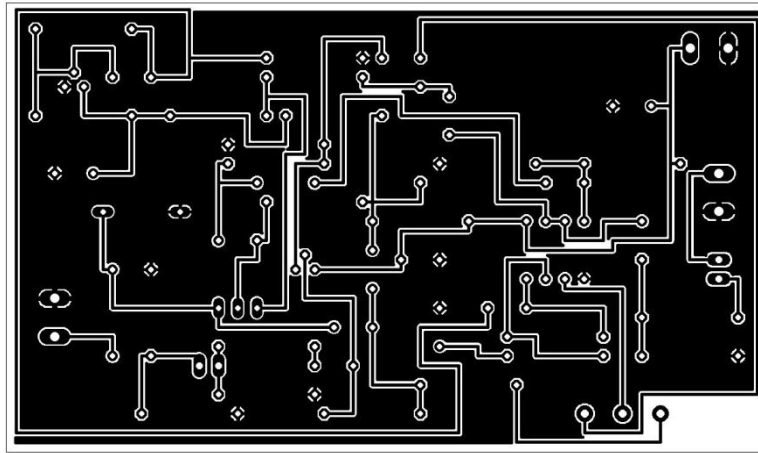


Rozměr desky 42 x 42 [mm], měřítko M1:1

## A.4 Obvodové zapojení noise gate

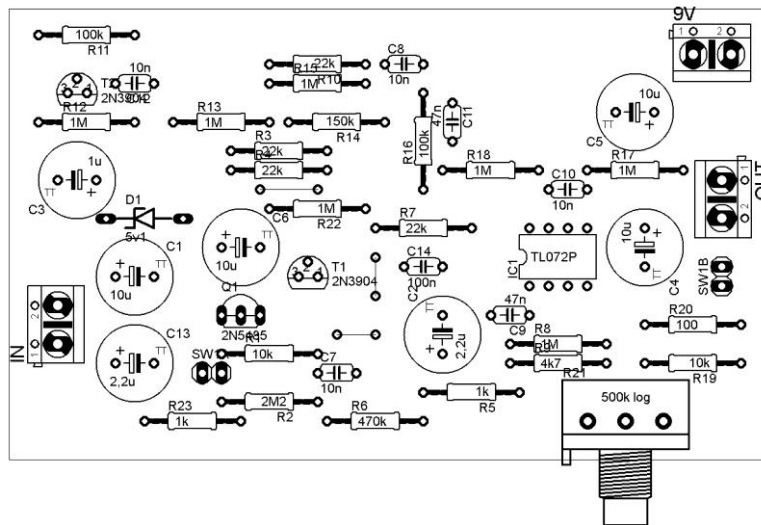


## A.5 Deska plošného spoje noise gate – bottom



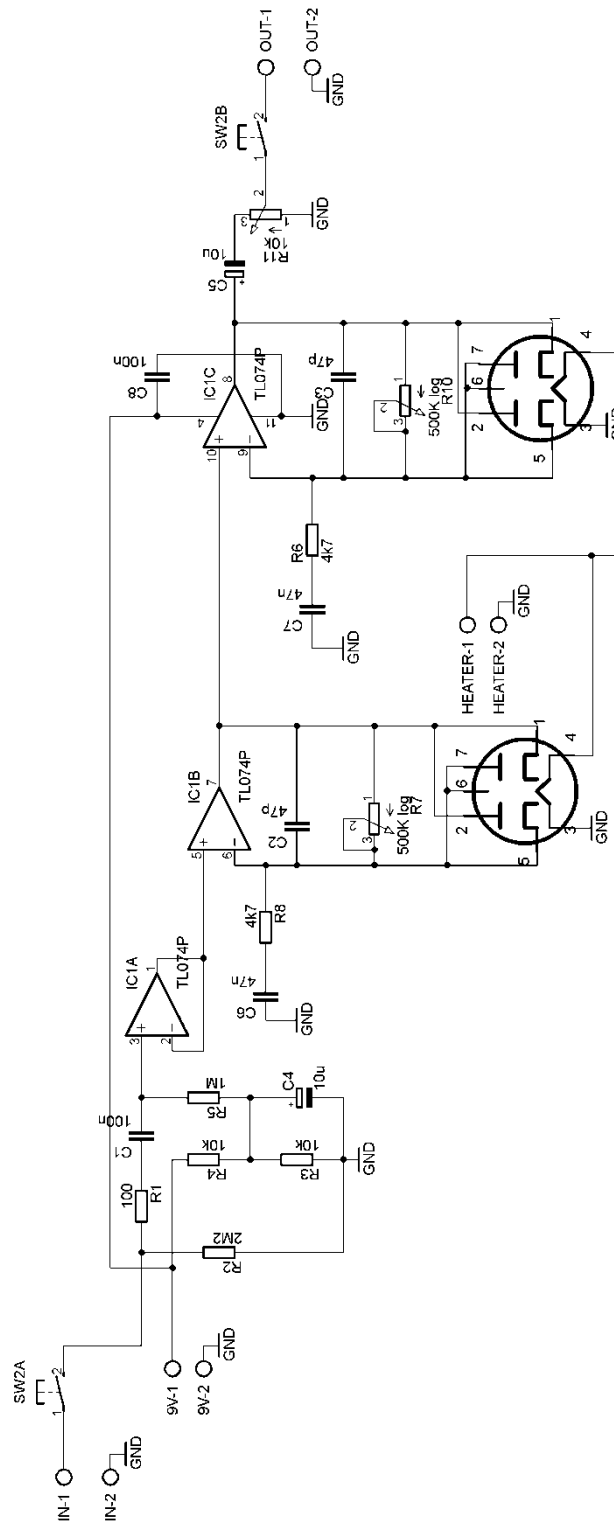
Rozměr desky 101 x 60 [mm], měřítko M1:1

## A.6 Osazovací plán noise gate – strana součástek

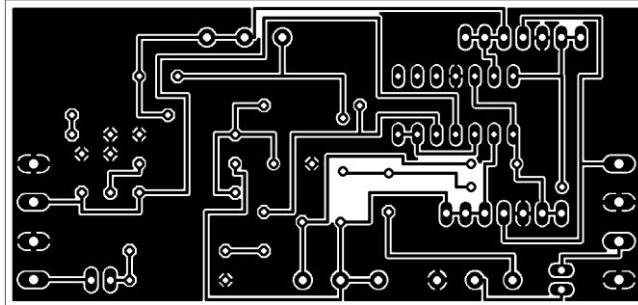


Rozměr desky 42 x 42 [mm], měřítko M1:1

## A.7 Obvodové zapojení zkrusovacího efektu

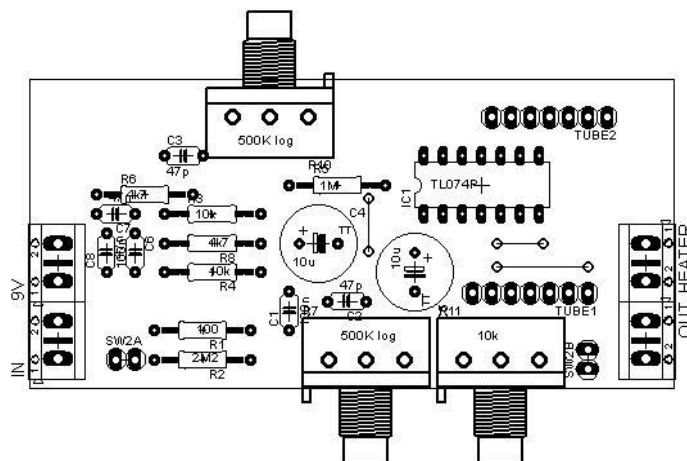


## A.8 Deska plošného spoje zkreslovacího efektu – bottom



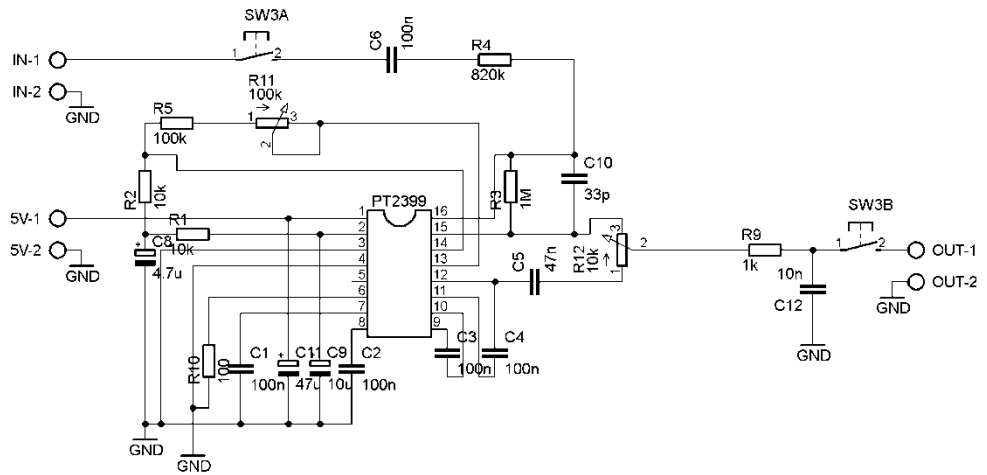
Rozměr desky 85 x 40 [mm], měřítko M1:1

## A.9 Osazovací plán zkreslovacího efektu – strana součástek

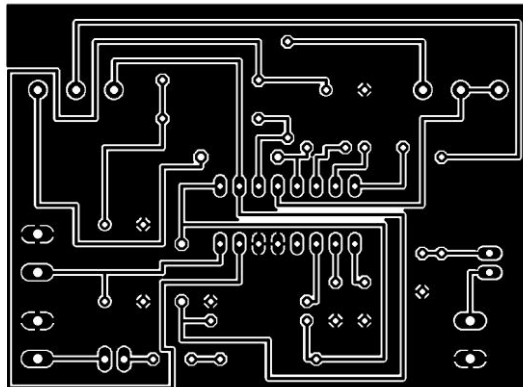


Rozměr desky 85 x 40 [mm], měřítko M1:1

## A.10 Obvodové zapojení chorusu

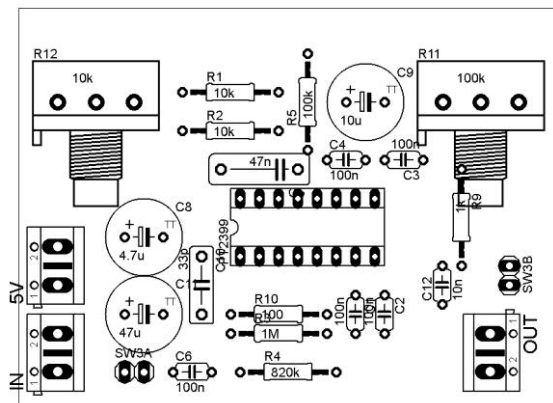


## A.11 Deska plošného spoje chorusu – bottom



Rozměr desky 71 x 53 [mm], měřítko M1:1

## A.12 Osazovací plán chorusu – strana součástek



Rozměr desky 71 x 53 [mm], měřítko M1:1



## B SEZNAM SOUČÁSTEK

### B.1 Napájení

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
+12V	DC soc. 2.1mm	DCJ0201	Napájecí konektor
5V		AK500/2	Svorka
9V		AK500/2	Svorka
HEATER		AK500/2	Svorka
C1	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C2	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C3	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C4	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C5	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C6	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C7	470u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
IC2	7809	TO220H	Stabilizátor napětí
IC3	7805	TO220H	Stabilizátor napětí
LM317	LM317TL	317TL	Nastavitelný stabilizátor napětí
R1	1k	PT-10	Trimer
R2	240	0207/12	Rezistor
ON/OFF		1x02	Propojovací pin
ON/ON	1-pol	na panel	Vypínač

## B.2 Noise gate

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
9V		AK500/2	Svorka
IN		AK500/2	Svorka
OUT		AK500/2	Svorka
C1	10u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C2	2,2u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C3	1u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C4	10u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C5	10u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C6	10u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C7	10n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C8	10n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C9	47n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C10	10n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C11	47n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C12	10n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C13	2,2u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C14	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
D1	5v1	ZDIO-10	Zenerova dioda
IC1	TL072P	DIL08	Operační zesilovač
Q1	2N5485	TO92	Tranzistor fet
T1	2N3904	TO92	Tranzistor bipolární
T2	2N3904	TO92	Tranzistor bipolární
R1	10k	0207/12	Rezistor
R2	2M2	0207/12	Rezistor
R3	22k	0207/12	Rezistor
R4	22k	0207/12	Rezistor
R5	1k	0207/12	Rezistor
R6	470k	0207/12	Rezistor
R7	22k	0207/12	Rezistor
R8	1M	0207/12	Rezistor
R9	4k7	0207/12	Rezistor
R10	22k	0207/12	Rezistor
R11	100k	0207/12	Rezistor
R12	1M	0207/12	Rezistor
R13	1M	0207/12	Rezistor
R14	150k	0207/12	Rezistor
R15	1M	0207/12	Rezistor
R16	100k	0207/12	Rezistor
R17	1M	0207/12	Rezistor
R18	1M	0207/12	Rezistor
R19	10k	0207/12	Rezistor

R20	100	0207/12	Rezistor
R21	500k log	3RP/1610N	Potenciometr
R22	1M	0207/12	Rezistor
R23	1k	0207/12	Rezistor
SW1A		1x02	Propojovací pin
SW1B		1x02	Propojovací pin
SW1		3DPT	Nožní spínač

### B.3 Zkreslovací efekt

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
9V		AK500/2	Svorka
HEATER		AK500/2	Svorka
IN		AK500/2	Svorka
OUT		AK500/2	Svorka
C1	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C2	47p	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C3	47p	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C4	10u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C5	10u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C6	47n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C7	47n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C8	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
IC1	TL074P	DIL14	Operační zesilovač
R1	100	0207/12	Rezistor
R2	2M2	0207/12	Rezistor
R3	10k	0207/12	Rezistor
R4	10k	0207/12	Rezistor
R5	1M	0207/12	Rezistor
R6	4k7	0207/12	Rezistor
R7	500k log	3RP/1610N	Potenciometr
R8	4k7	0207/12	Rezistor
R10	500k log	3RP/1610N	Potenciometr
R11	10k	0207/12	Rezistor
SW2A		1x02	Propojovací pin
SW2B		1x02	Propojovací pin
SW2		3DPT	Nožní spínač
TUBE1		1x07	Propojovací pin
TUBE2		1x07	Propojovací pin
TUBE_P1	7pin	Na šasi	Patice elektronky
TUBE_P2	7pin	Na šasi	Patice elektronky
TUBE_1	6AL5	7pin	Elektronka
TUBE_2	6AL5	7pin	Elektronka

## B.4 Chorus

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
5V		AK500/2	Svorka
IN		AK500/2	Svorka
OUT		AK500/2	Svorka
C1	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C2	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C3	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C4	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C5	47n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C6	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C8	4,7u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C9	10u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C10	33p	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C11	47u	TT5D10	Elektrolytický kondenzátor
C12	10n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
PT2399		DIL16	Signálový procesor
R1	10k	0207/12	Rezistor
R2	10k	0207/12	Rezistor
R3	1M	0207/12	Rezistor
R4	820k	0207/12	Rezistor
R5	100k	0207/12	Rezistor
R9	1k	0207/12	Rezistor
R10	100	0207/12	Rezistor
R11	100k	3RP/1610N	Potenciometr
R12	10k	3RP/1610N	Potenciometr
SW3A		1x02	Propojovací pin
SW3B		1x02	Propojovací pin
SW3		3DPT	Nožní spínač