



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF MICROELECTRONIC

ANALOGOVÉ EFEKTOVÉ ZAŘÍZENÍ PRO HUDEBNÍ NÁSTROJE

ANALOG EFFECTS FOR MUSIC INSTRUMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ADAM SKŘIVÁNEK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

BRNO 2014

ING. MICHAL PAVLÍK, PH.D

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o různých typech efektových zařízení pro elektrické kytary. Z několika druhů byly vybrány základní tři, které existují ve stovkách verzí a úprav, které se neustále vyvíjí a mění. Jedná se o efekty typu : Overdrive, Distortion a Fuzz. Tato práce byla zrealizována v prostředí Matlab Simulink. Dále byl vybrán, modelován a vyroben unikátní efekt typu distortion.

Abstract

This semestral work deals with different types of effect devices for electric guitars. Three types were chosen out of several kinds. Overdrive, Distortion and Fuzz. These effects exist in countless versions and they are still being updated. This work was done in Matlab Simulink. As next step, there was unique distortion effect chosen, modeled and crafted.

Klíčová slova

MATLAB Simulink, distortion efekt, overdrive efekt, fuzz efekt, vývoj kytarového efektu

Key words

MATLAB Simulink, distortion effect, overdrive effect, fuzz effect, guitar effect development

Bibliografická citace

Skřivánek, A. *Analogové efektové zařízení pro hudební nástroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky, 2014. 34 s., 6 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Analogové efektové zařízení pro hudební nástroje 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

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Pavlíkovi, Ph.D. za trpělivost, účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

ÚVOD	5
1. ROZBOR PROBLÉMU	6
1.1 HISTORIE	7
1.2 FUZZ EFEKT	7
1.2.1 TVAR SIGNÁLU FUZZ EFEKTU	8
1.3 OVERDRIVE EFEKT	9
1.3.1 TVAR SIGNÁLU OVERDRIVE	9
1.4 DISTORTION EFEKT	10
1.4.1 TVAR SIGNÁLU DISTORTION	11
2. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ	13
2.1 HLAVNÍ ČÁST KÓDU V PROGRAMU MATLAB	13
2.2 PROSTŘEDÍ MATLAB SIMULINK A ORCAD CAPTURE	20
2.3 NAPÁJENÍ A INDIKACE ZAPNUTÍ ZAŘÍZENÍ	28
3. ZÁVĚR	31
SEZNAM OBRÁZKŮ	32
SEZNAM LITERATURY	33
SEZNAM PŘÍLOH	34

ÚVOD

V současné době se nejvíce efektových zařízení používá pro elektrické kytary, a proto je tato práce zaměřena výlučně na jejich signály a práci pouze s nimi. Byly vybrány tři

nejintenzivnější zkreslení, která se pro elektrické kytary používají. Jsou jimi tzv. overdrive, distortion a fuzz. Tyto efekty prošly hodně změnami a neustále se vyvíjí.

Základním problémem bylo najít tvary specifických signálů pro efekty. Jaký je jejich výstupní signál po sepnutí. Z nalezených křivek se dalo postupně zanalyzovat průběhy pro jednotlivé efekty a podíl jejich tvaru na výchozí zvuk. Ovšem určit jaký zvuk v reálném prostředí mají, není jednoduchá záležitost. Tento zkreslený zvuk závisí na kvalitě vstupního signálu, kvalitě kabeláže, na zesilovači, případných lampách v něm, na propojovacím kabelu mezi zesilovačem a reproboxem, poté na konstrukci reproboxu, počtu reproduktorů a kvalitě reproduktorů. Dokonce i kvalita strun může mít za následek slyšitelný rozdíl. Tudíž efekty mohou mít jiné poslechové parametry při hraní na kytaru, která má kvalitní dřevo, lepený krk, aktivní snímače a je zapojená do celo-lampového zesilovače s reproboxem se čtyřmi dvanáctipalcovými reproduktory od kvalitního výrobce, než když je použita kytara z dřeva s malou hustotou, starými strunami, slabě stíněnými kabely a levnými tranzistorovými zesilovači s jedním desetipalcovým reproduktorem ze série neznámého výrobce.

Proto nemělo význam napodobovat průběhy od známých výrobců a známých efektů, jelikož by se zvuk, i kdyby měl stejně charakteristicky tvarovaný signál, podobal jen vzdáleně tomu, co mohou lidé slyšet z nahrávek skupin nebo na koncertech. Tudíž jsem se nesnažil kopírovat tvary signálů, jako spíše charakterizovat změny v nich a jejich reflexi do zvuku. Z prodejny kytary.cz mi bylo laskavě zapůjčeno několik efektů dle mého výběru k analýze signálů. Bylo vybráno několik známých a specifických kusů, které charakterizují svůj druh, dále potom několik neznámých kusů z různého cenového spektra výrobků.

1.ROZBOR PROBLÉMU

Kytarové efekty primárně členěny do skupin podle charakteru zkreslení aby si každý hráč mohl nakombinovat a uzpůsobit zvuk svým vlastním potřebám a představám. Mohou se skládat za sebe a nechat je tak propojovat jejich působení. Pro kytarové sólo může hráč například vybudit signál přidáním boosteru, který signál ještě sám zpracovává a změnit tak charakter výsledné křivky. Existuje obrovské množství značek, typů, cenových a kvalitativních relací ve kterých si lze zařízení vybírat. Od modelů světových hráčů, vytvořených specificky dle jejich představ, až po kusy, které byly vyrobeny v milionových sériích a nacházejí se ve výbavě obyčejných hráčů. Dále se efekty vyskytují i v samotných zesilovačích, jako jejich součástí. Opět každý zesilovač má vlastní způsob, jak zpracovávat a tvarovat signál.

Každý z těchto efektů má svůj specifický zvuk. Existují typy s jedním potenciometrem a existují digitální efekty, které v jednom balení dokáží nabídnout desítky zvuků od všech typů zkreslení. To sebou ovšem nese, ve velké většině případů, snížení kvality při produkci takto digitalizovaného zvuku. Samozřejmě, kytarový syntetizátor v cenové relaci 15 000Kč, bude signál zpracovávat s jinou přesností a dynamikou, než multiefekty cenově o řád níž. Aby hráč dosáhl požadovaného zvuku, musí se v mnoha případech stát alchymistou a laborovat se zařízením, propojením a dalšími peripetemi.

Pro zjištění, jak se signál bude chovat při výstupu z opravdových efektů, bylo nutné některé z nich podrobit analýze. Byly studovány charakteristiky jejich průběhů a změny signálů při manipulaci s jednotlivými potenciometry. Následně byly efekty podrobeny sluchovému rozboru, aby byl zjištěn aspoň základní vzorec u jednotlivých typů FUZZ, OVERDRIVE a DISTORTION. Každý efekt měl vlastní specifické průběhy, a výsledný zvuk. Při analýze efektů typu DISTORTION byly naměřeny 2 charakteristické polohy, které ovšem u jednotlivých efektů při další manipulaci dostávaly naprosto odlišné hodnoty. Podobně je to u efektů typu FUZZ, ovšem i tam byly zjištěny základní polohy, ze kterých se poté tvořilo specifikum zkreslení pro každý efekt zvlášť. U efektů typu Overdrive ovšem lze vidět hodně podobností. Jejich průběhy jsou postavené na stejném základu, jen se ve výsledku mírně liší. To sebou přináší určité podobnosti v charakteru zvuku, nicméně i tak si každý z nich zachovává svou integritu a unikátnost.

1.1 HISTORIE

Nelze jednoznačně určit, kdo, kdy a kde produkoval první zkreslený zvuk na kytaru. Ovšem, lze se po právu domnívat, že to byl někdo ve 30. letech minulého století, kdo si vzal kytaru, svůj lampový aparát a potenciometr s hlasitostí vytočil do maxima a poslechl si, co se stane. Tón nezůstal čistý, a poprvé byl slyšet zkreslený zvuk kytary.

Jiný případ s určením prvenství je ten, kdo první úspěšně nahrál zkreslený zvuk. Zde se vedou debaty mezi hudebními historiky, kteří se nemohou shodnout. Dokonce je snaha kategorizovat nahrávání i podle zeměpisné polohy a charakteru zvuku. U skupiny historiků panuje názor, že první zaznamenaný zvuk kytary byl nahrán Davem Daviesem ze skupiny Kinks v roce 1964 ve skladbě „You really got me“ [1]. Ten, podle jeho vlastních slov, si koupil v obchodě s rádii malý zesilovač Elpico, napojil ho do svého stávajícího aparátu a zkusil, co se stane. Zvuk ovšem nebyl zcela dle jeho představ a proto vzal žiletku a rozřízl reproduktor od středu směrem ven. Poté se mu charakter zvuku zamlouval.

Jiní hudební historici ovšem preferují Jimmyho Page, Peteho Townshenda či Beatles. Další kandidát na první záznam zkresleného zvuku za použití Fuzz boxu v Británii je Big Jim Sullivanovo představení s efektem postaveným Rogerem Mayerem pro skladbu „Hold Me“ z pera P.J. Probeyho. Další v řadě kandidátů je sólo Bernieho Watsona ve skladbě „Jack the Ripper“ z pera Screaming Lord Sutche. Dalším významným milníkem je skladba „I Can't Get No Satisfaction“ z pera Keitha Richardse pro skupinu Stones, kde vynikl Maestro Fuzz-Tone.

Efekt Fuzz-Tone jako takový byl pojmenován Glenem Snottym. Snotty byl studiovým inženýrem, který navrhl tranzistorový efekt fuzz, aby napodobil zvuk, který se mu jednou podařilo nahrát. Bylo to při skladbě „Dont Worry“, při nahrávání kytaristy Maryho Robbinse, kdy v předzesilovači mixážního pultu, přes který se v tu chvíli nahrávalo, došlo k poruše jedné z elektronek a díky tomu došlo ke zkreslení zvuku. Bylo rozhodnuto nahrávku ponechat a tak byl zaznamenan i první efekt fuzz v Nashvillu.

1.2 FUZZ EFEKT

Mimo staré rozbité aparáty a špatné předzesilovače můžeme označit fuzz efekt jako jeden ze základních kamenů ve zkreslování zvuku. Dává zvuku větší „říz“, podporuje jeho objem a přidává sustain (tj. dobu, po kterou zní tón, než odezní)

Významným milníkem, po již zmíněném Fuzz-Tone je efekt Fuzz Face (představen roku 1966). Tento efekt se stal slavným díky kytaristovi, který jej používal jako první – Jimi Hendrix. Jeho hlavní součástí byly germaniové tranzistory, které by musely být, v celých sériích efektů zkoumány, a musely by se třídit dobře znějící kusy od špatných. Později se efekty fuzz přesunuly na křemíkové tranzistory. Používal je například i Eric Johnson. Dnešní výrobci high-end efektů používají opět germaniové tranzistory pro docílení originálního vintage fuzz zvuku.

1.2.1 TVAR SIGNÁLU FUZZ EFEKTU

Při vstupním sinusovém signálu $f = 400$ Hz, $U_{pp} = 100$ mV lze vidět, jak s ním pracuje efekt ModTone BuzzBoy Power Fuzz a efekt BOSS Fuzz FZ-5. Lze si všimnout podobností ve zvuku i v signálu pro určité nastavení obou efektových zařízení.



Obr. 1: Porovnání výstupního signálu ModTone BuzzBoy Power Fuzz a BOSS- Fuzz FZ-5- konfigurace č.1

Pro jiné nastavení ovládacích potenciometrů můžeme sledovat podobný průběh taktéž u obou zařízení.



Obr. 2: Porovnání výstupního signálu ModTone BuzzBoy Power Fuzz a BOSS- Fuzz FZ-5- konfigurace č.1

Díky těmto relativním shodám ve tvarech signálů se lze domnívat, že podobně tvarované křivky budou i u dalších FUZZ efektů, jen s jinými rozměry a sklony. Budou se lišit drobnými charakteristickými změnami pro každý efekt každého výrobce, ovšem charakter FUZZ tónu bude v základu určen těmito druhy průběhů.

1.3 OVERDRIVE EFEKT

Efekty typu overdrive mají dvě základní úlohy - poskytnout přebuzení a distorzi aparátu, či lehce podpořit vybuzením samotné zkreslení aparátu. Jako první typ Overdrive pedálu je považován Ibanez Tubescreamer TS-808, nebo TS-9. Základem pro tyto a jiné prvotní overdrive pedálové efekty byl-duální operační zesilovač v čipu JRC4558[6] a pár diod s buffery na vstupu i výstupu. Pro sekci tvarování křivek byl využit druhý operační zesilovač spolu se sítí rezistorů a kapacitorů.

Pedály tvořené podle tohoto vzoru měly „přírodní, teplý a lampový“ zvuk díky symetrickému tvarování křivek. Pravdou ovšem je, že operační zesilovače neořezávají signál jako elektronky. Simulace elektronek je velice podobná. Další ranné overdrive efektové pedály byly navrženy pomocí diskrétních tranzistorů.

MXR's Distortion+ předcházel samotnému efektu od Ibanez[2]. Navzdory svému jménu nabízí více zkreslení typu Overdrive, nežli opravdový Distortion. To znamená, že zvuk je více nejasný a nepřehledný než je tomu u Tube Screameru. V tomto efektu byly použity operační zesilovače typu 741 a pár germaniových diod k úpravě zvuku. Germanium je všeobecně považováno za obvodový materiál, který propůjčí zvuku jemnost. Například při náhradě těchto diod za klasické křemíkové, dostali bychom klasický, tvrdý zvuk typu distortion.

Efektové pedály typu overdrive nejlépe vyniknou v kombinaci s elektronkovým zesilovačem, který pomohou přikreslit a přidají jeho elektronkám vybuzení. Problémem těchto efektů je, že často nedostačuje jejich zkreslení. Proto jsou ,například v dnešní době, u některých hudebníků overdrive efekty používány k tomu, aby jen vybudily aparát, a o zkreslení se poté starají jiná efektová zařízení. Tento problém například v dřívějších dobách řešil populární Full-Drive pedál, který měl volitelný booster kanál, zatímco jeho overdrive kanál pracoval s vysokým zkreslením a využíval asymetrické zkreslení pro jiný charakter zvuku. Toto asymetrické zkreslení je také základem efektu Boss SD-1 Super Overdrive (používaným předně Eddie Van Halenem), který je rozebrán v této práci. Zvuk je modulován dvěma křemíkovými diodami v sériovém zapojení v propustném směru a jen jedinou, která je v závěrném směru.

V dnešních high- endových zařízeních je často používán operační zesilovač a jeho variace jako základ efektu.

1.3.1 TVAR SIGNÁLU OVERDRIVE

Z výsledků byly vybrány dvě efektová zařízení, která jsou pro efekty Overdrive typická. Prvním byl efekt Ibanez Tubescreamer TS-9 a druhým byl již zmiňovaný Boss SD1 – Super Overdrive. Tato dvě zařízení byla vybrána na základě toho, že TS-9 může dopomoci nahlédnout do základního tvarování křivek modulací, jež byly na úplném počátku efektů tohoto typu. Díky jeho analýze lze nahlédnout do prvopočátku myšleného zkreslení pro tehdejší světové hráče. Druhý efekt byl vybrán pro svou charakteristickou metodu zkreslování, jejíž asymetrie se stala inspirací pro mnoho dalších výrobců a výrobků na poli Overdrive efektů.

Oba efekty byly analyzovány pro napětí $U = 200 \text{ mV}$ a frekvenci $f = 400 \text{ Hz}$. Byl vynechán druhý kanál snímající vstupní signál, aby byly lépe vidět symetrie a asymetrie výstupních signálů. Následující snímky obrázku Overdrive_1 jsou pořízeny v situaci maximálního vybuzení obou efektových zařízení.



Obr. 3: Porovnání výstupního signálu efektů Ibanez Tubescreamer TS9 a BOSS- SD1- konfigurace č.1

Dále lze pozorovat opět podobné charakteristiky při podobném nastavení efektů, nyní již nejsou potenciometry nastaveny do maximálních poloh.



Obr. 4: Porovnání výstupního signálu efektů Ibanez Tubescreamer TS9 a BOSS- SD1- konfigurace č.2

Křivky nejsou stejné, mají mezi sebou rozdíly v šíři a úhlu sklonů signálu. Ovšem lze vidět korelaci při zpracování signálu.

1.4DISTORTION EFEKT

Úvodní definice Distortion efektu je ta, že jeho hlavním úkolem je co nejvíce původní signál znehodnotit. Pedály jsou navrženy tak, aby co nejvíce zdeformovaly signál. Samozřejmě, jejich součástí a nezbytností je boost signálu. I v tomto případě ovšem výsledný zvuk, nehledě na míru zkreslení signálu, závisí na kvalitě efektového zařízení, kytary a aparátu.

Základní distortion efekty jsou v zásadě vybudovány pomocí sítě tranzistorů a diod, aby jak posílily signál, tak aby zkreslily signálovou vlnu. Většina zařízení z masové výroby těchto efektů se ovšem velice podobá efektům Overdrive. Mají základní operační zesilovač, sledovač na vstupu i výstupu a s podobně vyřešený ekvalizér, ovšem za použití jiných diod než germaniových.

Existují samozřejmě i různé stupně zkreslení. Od lehkého distortion používaného v rockové hudbě, přes heavy metalové zkreslení až po moderní metalové tzv. „pily“, které si ovšem i při tom největším zkreslení dokáží zachovat svou autenticitu, dynamičnost a až neuvěřitelnou čistost a ostrost tónu. Každý výrobce aparátů na světě se snaží o vlastní charakteristický zvuk zkreslení, a některé jsou již tak populární a známé, že se staly značkou

samy o sobě. Díky neuvěřitelnému množství odvětví v metalové hudbě existuje velké množství distortion pedálů a typových zkreslení. Od heavy metalu, přes metalcore až po death metal. Každý typ této hudby, a všechny mezi nimi, mají prakticky svůj charakteristický zvuk.

Rodina zvuků a pedálů zařízení tohoto typu se rozrůstá prakticky každým dnem o nové přírůstky.

1.4.1 TVAR SIGNÁLU DISTORTION

Pro analýzu byly vybrány efekty z různé cenové hladiny používané pro různé druhy hudby hrané v rozdílném stylu hudby. Prvním je MODTONE MiniDistortion a druhým je Digitech DeathMetal. Oba efekty mají velice odlišný charakter zvuku a celkově úroveň zkreslení, ovšem i tady můžeme najít, přes diametrální rozdíly, jisté podobnosti.



Obr. 5: Porovnání výstupního signálu efektů Digitech DeathMetal a MODTONE MiniDistortion- konfigurace č.1

Dalším příkladem podobnosti při určitých nastaveních je obrázek Distortion 2.



Obr. 6: Porovnání výstupního signálu efektů Digitech DeathMetal a MODTONE MiniDistortion- konfigurace č.2

Jak lze pozorovat, zde už je podobnost tvarovaného signálu na první pohled malá. Efekt Digitech přidává nahoře zákmit, čímž naprosto mění charakter zvuku. Naproti tomu lze vidět určité společné rysy. Například na první polovině u efektu MODTONE lze pozorovat snahu o podobnou špičku na začátku každé modifikace vlny, ovšem ne tak výraznou, jako u zařízení Digitech.

Efekt Digitech nabízí extrémní zkreslení a díky tomu se lze podívat na různé průběhy u jednotlivých nastavení tohoto zařízení.



Obr. 7: Efekt Distortion 1



Obr. 8: Efekt Distortion 2

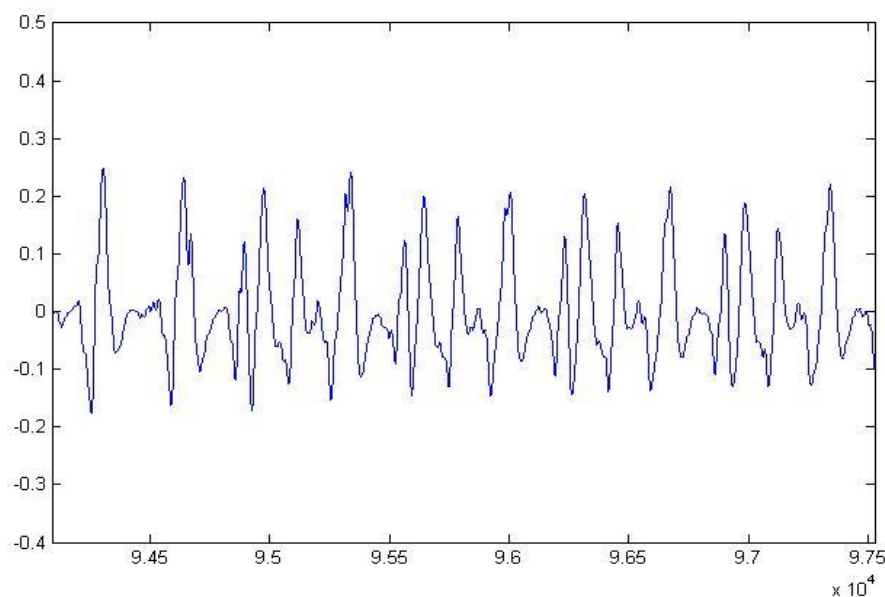
2. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ

Pro tuto práci byl využit program MATLAB díky jeho univerzálnosti. Je prakticky možné v něm zpracovat každý signál, analyzovat jeho vlastnosti a shlédnout vizuálně výsledek. Pro samotnou práci jsem využil skripty v programu, které na sebe navzájem navazují a předávají si úkoly. Tento způsob se mi zdál nejlepší a nejefektivnější.

2.1 HLAVNÍ ČÁST KÓDU V PROGRAMU MATLAB

Prvním problémem bylo analyzovat nahrávku z matematického hlediska. Výstupní veličinou elektrické kytary je střídavé napětí o různých frekvencích. Proto prvním krokem bylo rozdělení signálu podle aktuální polohy. Z původní nahrávky vznikl normalizovaný signál o hodnotách 1 a -1. Tato modifikace poskytla zesílení tišším částem nahrávky a zároveň poskytla těžkou distorzi. Signál však zůstává i nadále čitelný. Stačilo jednoduše nahradit sinusový průběh průběhem obdélníkovým a rozdíl zvuku je diametrálně odlišný a měřitelný se zkreslením tvrdých distortion pedálů. Skript pracuje pro všechny nahrávky v něm testované.

Tvar původního signálu z kytary je zobrazen na výřezu v následujícím obrázku



Obr.9: Akustický signál kytary

Dále následuje skript, který signál zpracovává a dělí. V této části kódu je i volání funkce druhého skriptu, ve kterém je vepsáno tvarování signálu podle čísel

- 1) $\sin x$
- 2) a^x
- 3) 1
- 4) $\cos x$

Modified.m

```
zvuk = wavread('bc.wav');
puvodni = zvuk;

for i=1:length(zvuk)      %%%rozdeleni na 1 a -1
    if(zvuk(i)>=0)
        zvuk(i)=1;
    else
        zvuk(i)=-1;
    end
end
normalizovany = zvuk;

%%%vytvoreni indexu kde se meni 1 a -1
k=1;
signal = zvuk(k);
index=1;
while k<i
    k=k+1;
if(zvuk(k)~=signal(end))    %%%kontrola jestli posledni a aktualni
                             hodnota je stejna
    signal(end+1)=zvuk(k);
    index(end+1)=k;
end
end

signal=signal'; %transponovani na sloupcovy vektor z radkoveho
index=index';

%%%prepsani pro novou vlastnost; uzivatel voli jakou krivku a
jak velky pomer useku;

for j=1:length(index)-1
    %%%urceni celkove delky useku index(j+1)-index(j)
    usek = index(j+1)-index(j);
    start = index(j);
    stop = index(j+1);

    %%zde v tomto řádku řešíme rozdělení na úseky signálu a
    odvolává se na č.1,tj nahrazení funkcí sin x.
    [g,h] = Copy_of_fit_curve(start, start + round(usek/1), 1,

    %%%sloucení jednotlivých částí useku, pro osy r=x a s=y
    r = [g];
    s = [h];

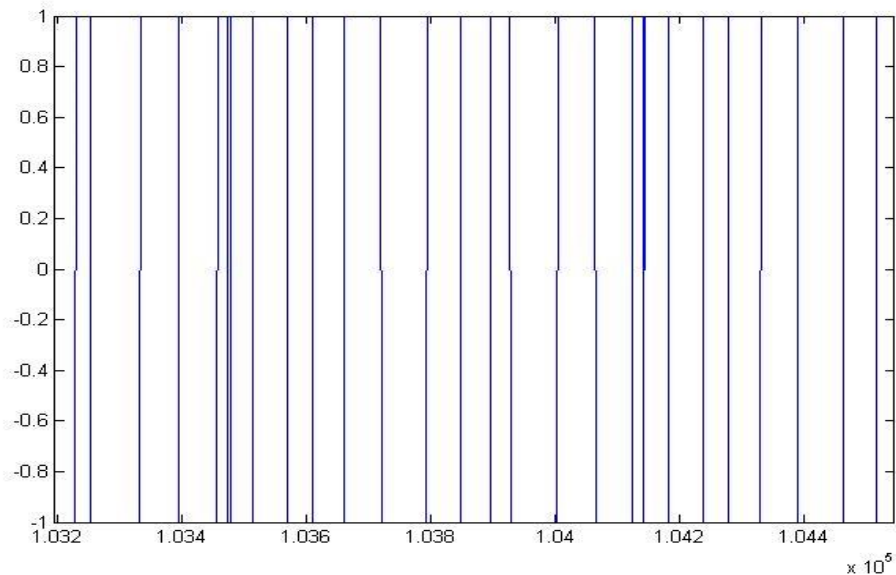
    %%%zapsání modifikace do sound
    for l=1:length(r)
        zvuk(r(l))=s(l);
    end
end
time_puvodni = timeseries(puvodni);
```

```

    output_zvuk = ones;
end

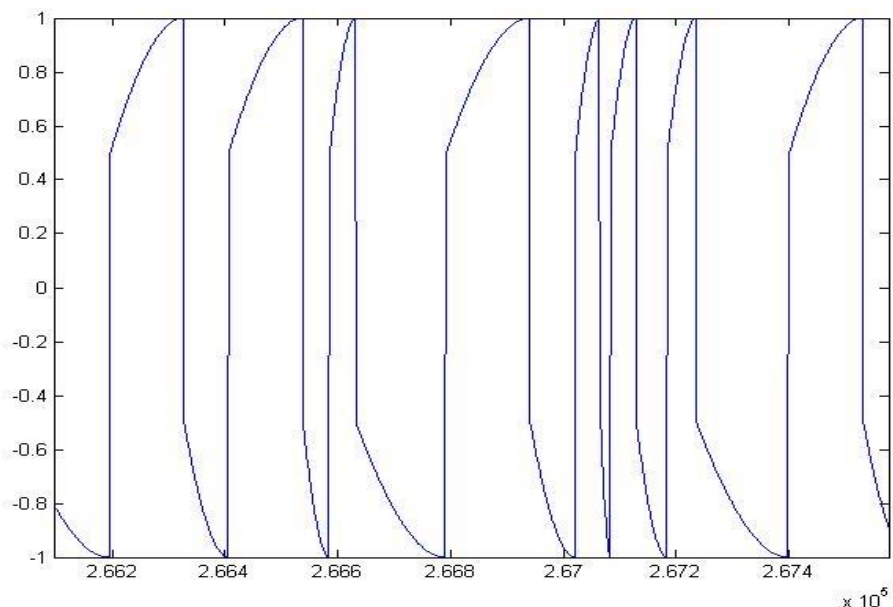
```

Následující obrázek znázorňuje průběh signálu nazvaného „Normalizovaný“.



Obr.10: Normalizovaný signál

V předchozí části kódu byly pulsy signálu rozděleny jen na jednu část, a na jeho modifikaci byla použita funkce sinus. Pro každou první polovinu signálu budou hodnoty harmonického signálu nahrazovat původní normalizovanou hodnotu. Detail takto modifikovaného signálu vypadá následovně



Obr.11: Modifikovaný signál 1

Takto modifikovaný signál lze slyšet v příloze na CD pod názvem: **zvuk_sin.wav**. Část tvarující signál se nazývá **fit_curve.m**

fit_curve.m

```
function [ x,y ] = Copy_of_fit_curve( start, stop, funct, sign )

lenght = stop-start;
x = start:1:stop    %%%hodnoty na ose x od startu do konce po 1

switch funct
    case 1
        %%%priprava promene y o potrebne velikosti, kvuli rychlosti programu
        y=ones(size(x));
        %%%hodnoty pro vytvoreni sinu
        z = (pi/6):((pi/2)-(pi/6))/lenght:(pi/2);
        %%%vytvoreni hodnot na y podle sin
        y = sin(z);
    case 2
        %%%funkce a^x
        y=(0.8.^(0:1:lenght));
    case 3
        y=ones(size(x));
    case 4
        %%%priprava promene y o potrebne velikosti, kvuli rychlosti programu
        y=ones(size(x));
        %%%hodnoty pro vytvoreni cos
        z = (pi/6):((pi/2)-(pi/6))/lenght:(pi/2);
        %%%vytvoreni hodnot na y podle cos
        y = cos(z);

end

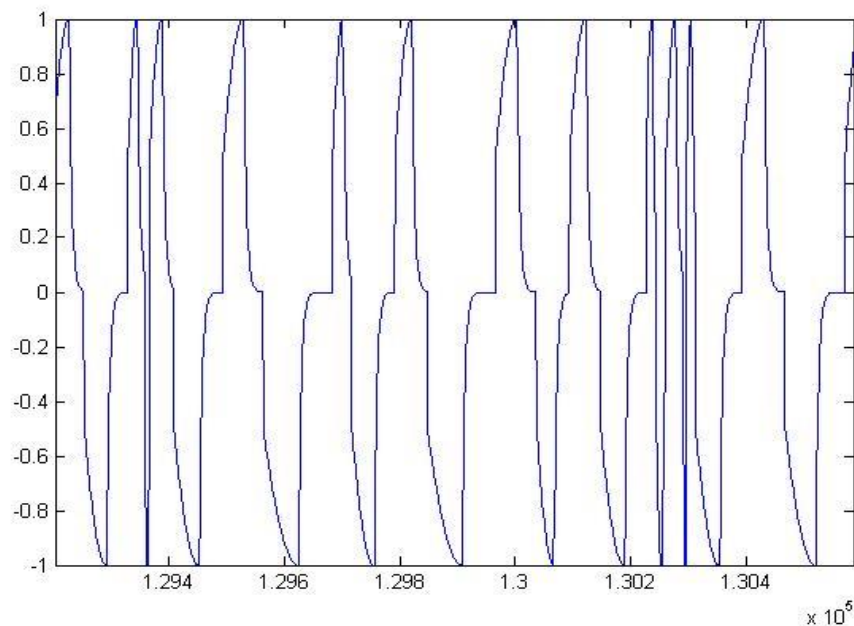
y = y*sign;

end
```

Dále lze například modifikovat pomocí skriptu signál tak, šířku signálu bude rozdělena na dvě části. První bude modifikována funkcí sinus a pro druhou půlku použijeme funkci a^x . Počet funkcí je neomezený, ovšem pro tento případ bylo zvoleno ze čtyř základních. Byla změněna část modified.m která určuje dělení a počet funkcí:

```
[g,h] = Copy_of_fit_curve(start, start + round(usek/2), 1, signal(j));
[m,n] = Copy_of_fit_curve(start + round(usek/2) + 1, start + round(usek*2/2), 2, signal(j));
%%%sloucení jednotlivých částí useku, pro osy r=x a s=y
r = [g,m];
s = [h,n];
```

Graf pro tuto funkci vypadá následovně. Znatelně ubylo distorze.

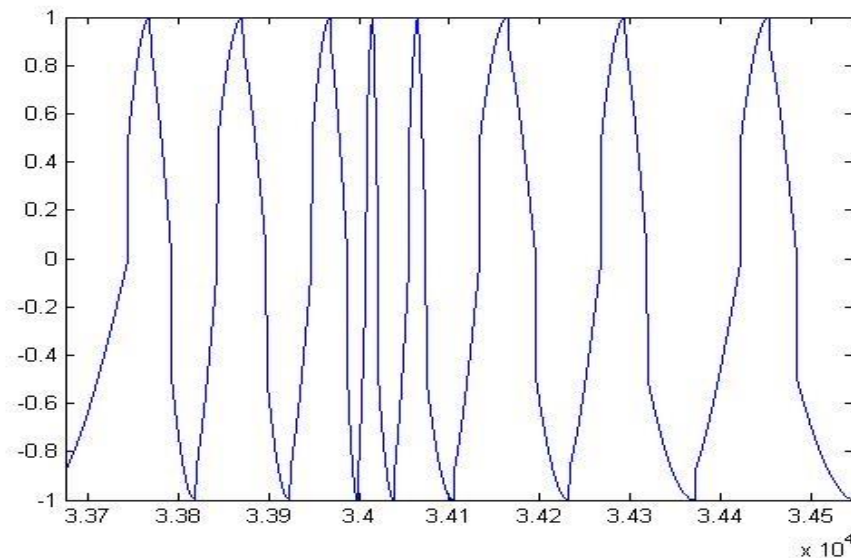


Obr.12: Modifikovaný signál 2

Tento zvuk si můžeme poslechnout v příloze na CD pod názvem : ***zvuk_sin_a^x.wav***

Jako další modifikaci signálu můžeme použít pro první polovinu funkci sinus a pro druhou polovinu využijeme funkci cosinus. Takovou funkci zapíšeme následovně:

```
[g,h] = Copy_of_fit_curve(start, start + round(usek/2), 1,
    signal(j));
[m,n] = Copy_of_fit_curve(start + round(usek/2) + 1, start +
    round(usek*2/2), 4, signal(j));
%%sloucení jednotlivých castí useku, pro osy r=x a s=y
r = [g,m];
s = [h,n];
```



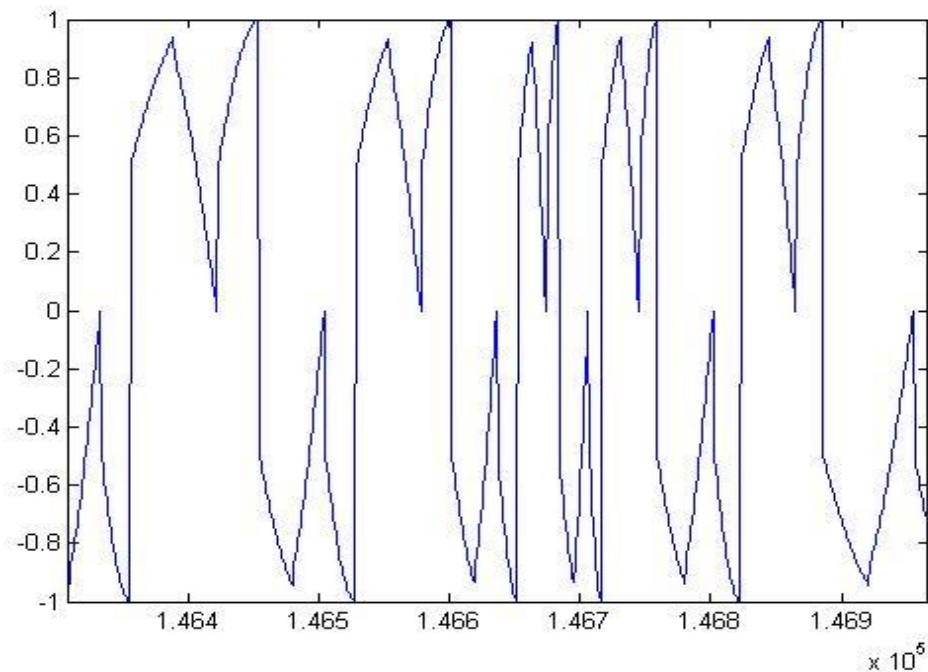
Obr.13: Modifikovaný signál 3

Obrázek ukazuje práci předešlého skriptu. Tento zvuk disponuje opravdu velkým zkreslením, které se místy jeví až nepříjemné na poslech. Zvuk je chvílemi i málo čitelný. Takto upravený signál si lze poslechnout v příloze na CD pod názvem: **zvuk_sin_cos.wav** Další pro další funkci rozdělíme signál na třetiny a využijeme opět funkcí ze základní nabídky 1-4.

```
[g,h] = Copy_of_fit_curve(start, start + round(usek/2), 1,
    signal(j));
[m,n] = Copy_of_fit_curve(start + round(usek/3) + 1, start +
    round(usek*2/3), 4, signal(j));
[u,v] = Copy_of_fit_curve(start + round(usek*2/3) + 1,
    start+round(usek*3/3), 1, signal(j));

%%sloucení jednotlivých castí useku, pro osy r=x a s=y
r = [g,m,u];
s = [h,n,v];
```

Tento skript nám modifikuje signál následujícím způsobem:



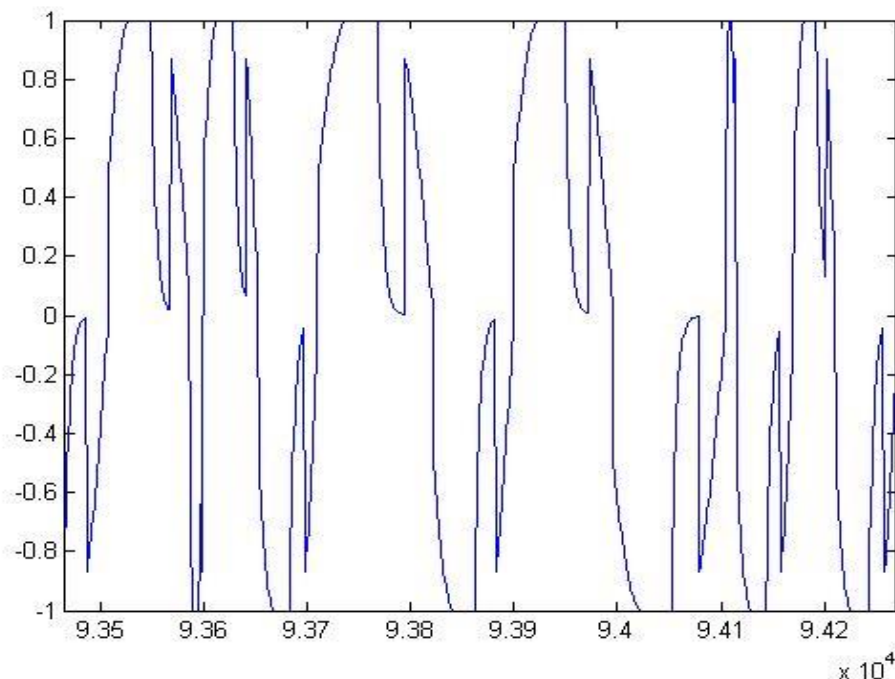
Obr.14: Modifikovaný signál 4

Při poslechu takto zkresleného signálu můžeme jasně vnímat charakter distortion zvuku. Zvuk je opravdu hodně zkreslený, na druhou stranu zůstává čitelný a ostrý. Jeho zvuk si lze poslechnout v příloze na CD pod názvem: **zvuk_sin_cos_sin.wav**. Pro další signál rozdělíme úsek na 4.části.

```
[g,h] = Copy_of_fit_curve(start, start + round(usek/4), 1,
    signal(j));
[m,n] = Copy_of_fit_curve(start + round(usek/4) + 1, start +
    round(usek*2/4), 3, signal(j));
[u,v] = Copy_of_fit_curve(start + round(usek*2/4) + 1,
    start+round(usek*3/4), 2, signal(j));
[a,b]= Copy_of_fit_curve(start+round(usek*3/4)+1,
    stop,4,signal(j));

%%sloučení jednotlivých casti useku, pro osy r=x a s=y
r = [g,m,u,a];
s = [h,n,v,b];
```

graf tohoto skriptu vypadá následovně:



Obr.15: Modifikovaný signál 5

Takto modifikovaný signál si lze poslechnout v příloze na CD pod názvem: **zvuk_sin_1_ax_cos.wav**

Tento zvuk má opět distortion charakter, ale má v sobě určitý charakteristický tón, který je nezvyklý. Je to svým způsobem těžké a tvrdé zkreslení, ale zároveň má v sobě podtón klasického overdrive zkreslení při zachování čistoty zvuku. V porovnání s předchozím efektem a v porovnání se zvukem modulace normalizovaného signálu se jeví, že charakter tohoto zvuku je dosažen kvůli charakteristicky tvarované křivce. Díky své neobyčejnosti byl pro realizaci efektového zařízení proto vybrán právě tento průběh.

2.2 PROSTŘEDÍ MATLAB SIMULINK A ORCAD CAPTURE

Takto vypadající signál ovšem nejde jednoduše popsat spojitou funkcí. Proto bylo zapotřebí využít součásti programu Matlab, a to nástavbu Simulink. Tato nástavba využívá pro modelování a simulaci dynamické systémy, který využívá algoritmy MATLABu pro numerické řešení nelineárních diferenciálních rovnic. Tyto dynamické modely soustav se vytváří pomocí blokových schémat a částí. Dále má MATLAB Simulink knihovny zvané blocksety. V této práci byly využity jen základní bloky. Základní knihovna Simulink sama o sobě obsahuje několik podknihoven, které kategoricky rozdělují funkce například na matematické, průběhové, obsahuje zdroje a porty, náhledové tabulky, diskrétní funkce a několik dalších.

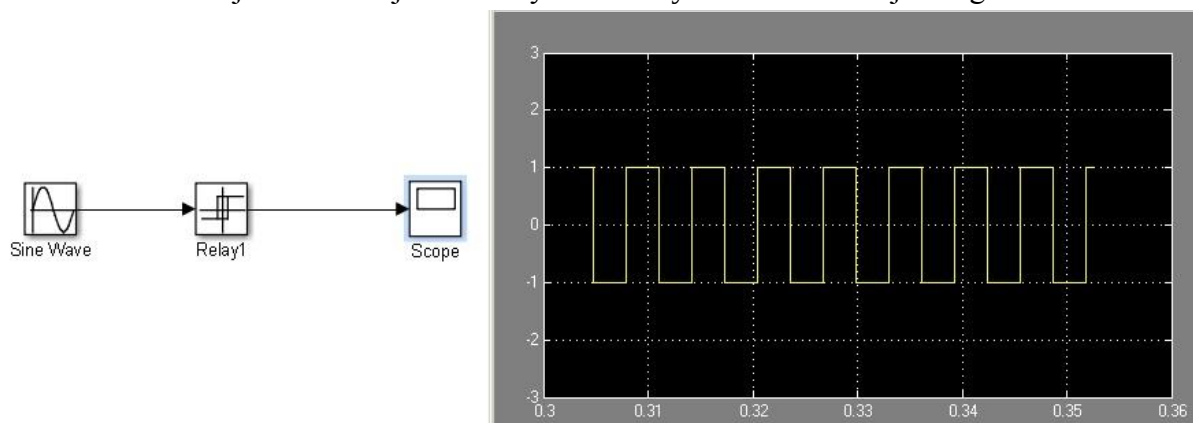
Jako první úkol bylo potřeba implementovat do tohoto prostředí reálný signál z matlabu. Pro ideální zdroje by nebyly bloky dostatečně vypovídající a mohlo by snadno dojít k chybám při pozdějším zapojení reálné kytary do efektu. Jako první úkol bylo tedy nutno příkazem timeseries vytvořit z vektoru časový formát. Celý příkaz vypadá takto:

```
time_puvodni = timeseries(puvodni);
```

Tento příkaz přidává novou proměnnou time_puvodni do Workspace programu MATLAB. Formát této proměnné je nazván timeseries a má hodnoty ve dvou sloupcích. V jednom z nich

jsou hodnoty pro vektor času, který lze libovolně měnit a ve druhém jsou hodnoty samotné proměnné. Pro tento případ bylo potřeba změnit časový vektor, jelikož originální formát timeseries přidává pro každou sekundu jednu proměnnou, ovšem pro signál kytary je vzorkování daleko jemnější. Po změně se v prostředí Simulink využije blok z knihovny Source → From Workspace. Dále práce pokračovala tak, jak byl logicky napsán program, tudíž byl z knihovny Discontinues použit blok Relay, což je prakticky komparátor s překlopením hodnoty v nule. Na jakou úroveň se překlápí je jednoduše nastavitelné ve vlastnostech komponenty. V tomto případě byla zvolena hodnota podle původního kódu 1 a -1.

Pro názornost jsou následující obrázky zhotoveny s ideálním zdrojem signálu.



Obr.16 Blokové zapojení a výstupní signál programu Simulink pro blok Relay

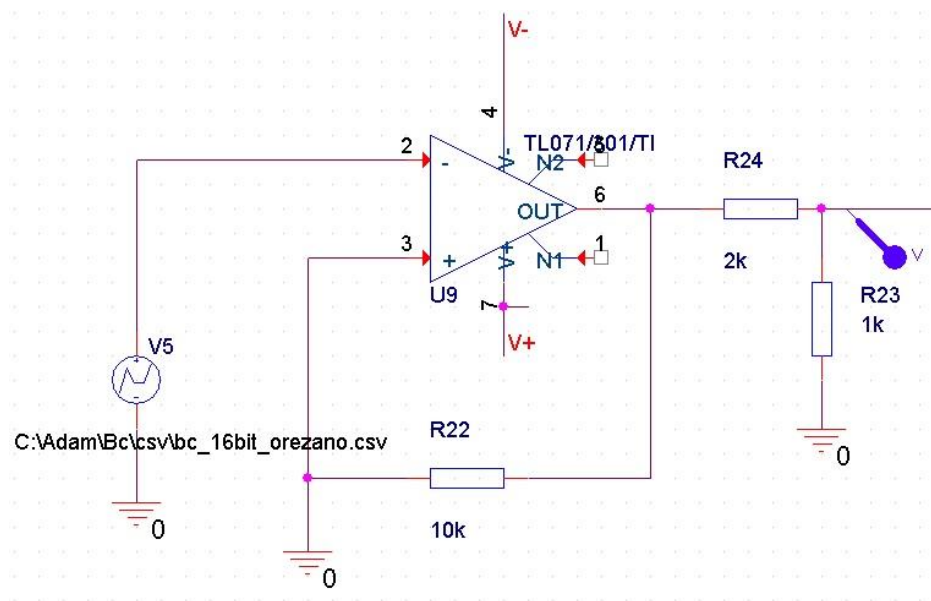
Schematické zhotovení tohoto bloku bylo provedeno přes Schmittův klopný obvod, který je právě ideální pro úpravu impulzů. Pro schematické zapojení bylo použito programu OrCad Capture, což je modul programu OrCAD. Z detailu výstupu programu MATLAB, pro realizovanou modifikaci signálu, byl proveden výpočet přibližné hodnoty slew rate pro výběr součástky. Byla vybrána jedna z rychlých změn signálu a výpočtem byla zjištěna potřebná minimální hodnota pro tento přechod.

$$SR = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{0,8 - 0,1}{9,366 * 10^{-4} * 9,364 * 10^{-4}} = 4V * \mu s^{-1} \quad (2.2.1)$$

Tato hodnota ovšem nemusí být určující pro možné rychlejší přechody. Jako další parametr je hodnota GBW, která v audiotechnice nepřesahuje 22 000Hz.

Pro vyhotovení a simulace v tomto programu byl vybrán operační zesilovač TL071, jehož GBW je typicky 4 MHz, slew rate má 16V/μs - spolehlivě dostačuje pro tvoření velmi rychlých přechodů a změn při práci se změnou signálu.

Schematický model bloku Relay v programu Capture vidíme na následujícím obrázku:



Obr.17 Schéma programu OrCad pro blok Relay



Obr.18 Výstup programu OrCad pro blok Relay

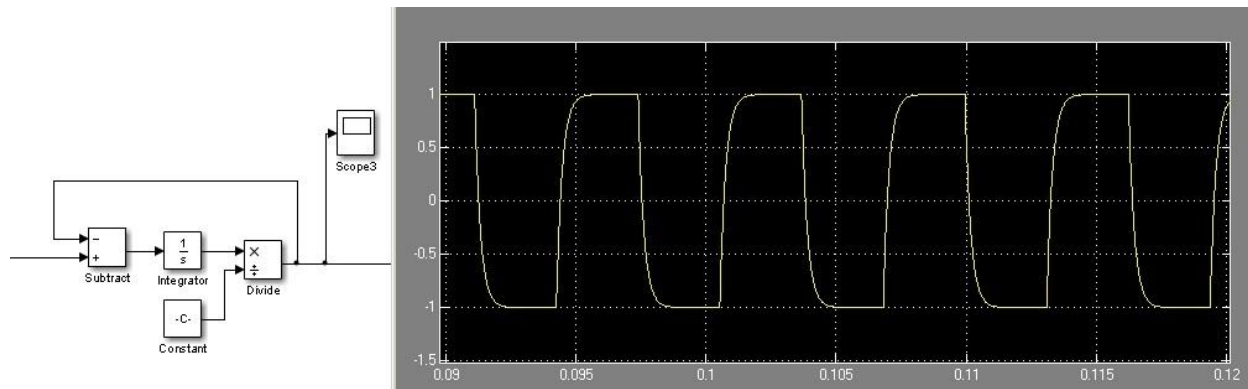
Napájení je voleno symetrické v hodnotách $V+=4,5V$, a $V-=-4,5V$. Dále je za Schmittův obvod umístěn dělič napětí, aby bylo dosaženo hodnot ze simulace.

Pro tuto simulaci je využito reálného signálu. Tento signál je do programu importován ze zdroje VPWL_FILE. Formát vstupních dat je upraven z hudebního formátu WAV do tabulkového formátu CSV, čili comma-separated-values, kdy je v jednom sloupci časová konstanta a ve druhém hodnoty odděleny čárkou. Formát .CSV je následovný:

0.02778125 , -0.007965087890625

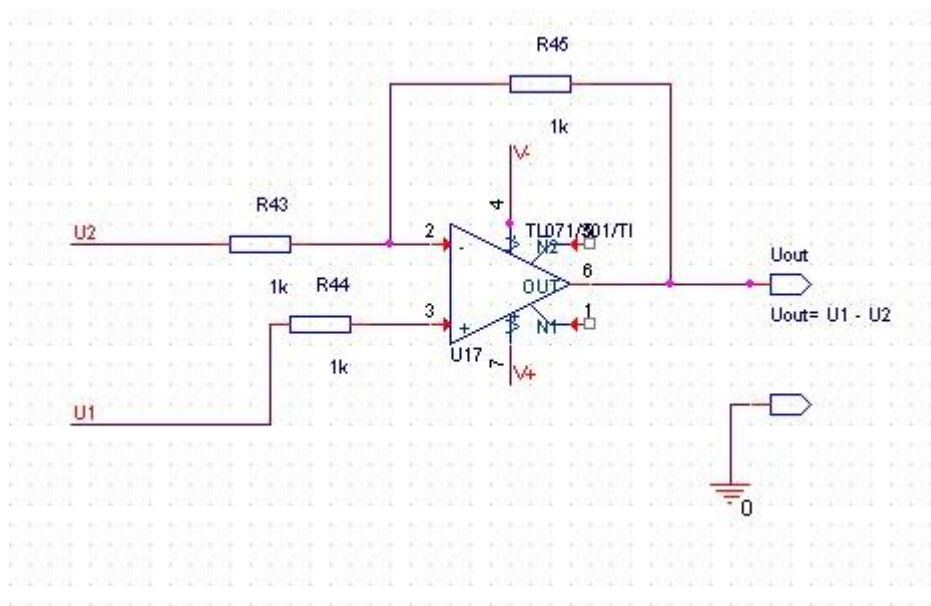
Jako další bylo využito bloku s integrátorem a zpětnou vazbou. Integrátor samotný by nezvládal integrovat proměnlivý reálný signál. Hodnoty signálu neoscilovaly v simulaci symetricky kolem hodnoty 0, ale klesaly v závislosti na velikosti integrační konstanty. Proto byla potřeba zavést zpětná vazba, která vyvažuje tento nedostatek tím, že výstupní signál přivádí zpět na vstup integrátoru, kde je odčítán od příchozího signálu. Díky tomuto vyrovnání může integrátor zpracovávat signál podle potřeby i na malé hodnotě kondenzátoru. Pro hodnotu kondenzátoru bylo použito hodnoty $C=220nF$. Část obvodu s integrátorem je zhotovena ze tří

bloků.



Obr. 19 Blokové schéma části obvodu s integrátorem a rozdílovým OZ

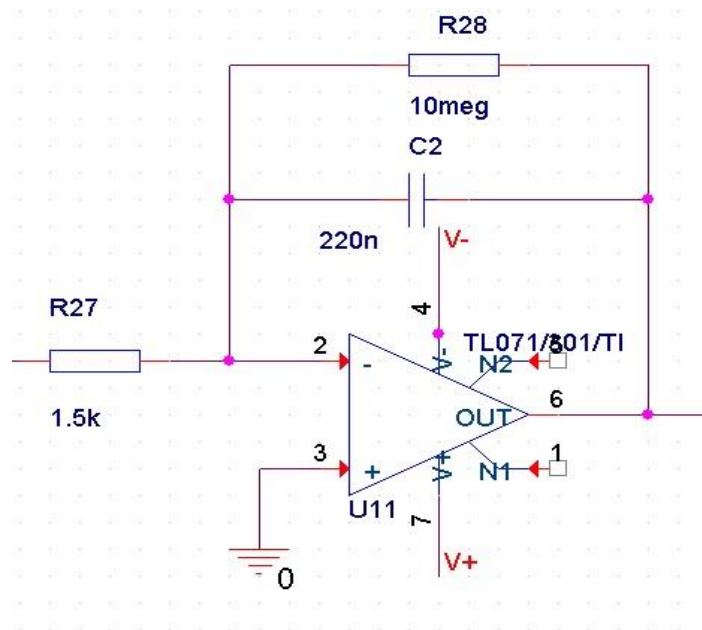
Původní hodnota bloku C je 1F. Díky bloku Divide a Constant lze nastavovat hodnotu integrátoru na libovolné jednotky faradů. Dále je v tomto úseku využit blok Subtract. Tento blok lze nastavovat hodnotami + a - na odčítání či přičítání k signálu. Blok je realizován rozdílovým zesilovačem, jehož schematické zapojení je následující:



Obr.20 Schema rozdílového zesilovače

Hodnoty rezistorů jsou stejné, kvůli rovnoměrnému odečítání signálů. Například kdybychom chtěli vstup U1 dvojnásobně zmenšit, mezi R44 a kladný vstup OZ umístíme $R = 1k\Omega$, který přivedeme na zem a tak vytvoříme dělič napětí.

Blok integrátoru samotného realizovaného s operačním zesilovačem je ve schematickém zapojení znázorněn následovně:

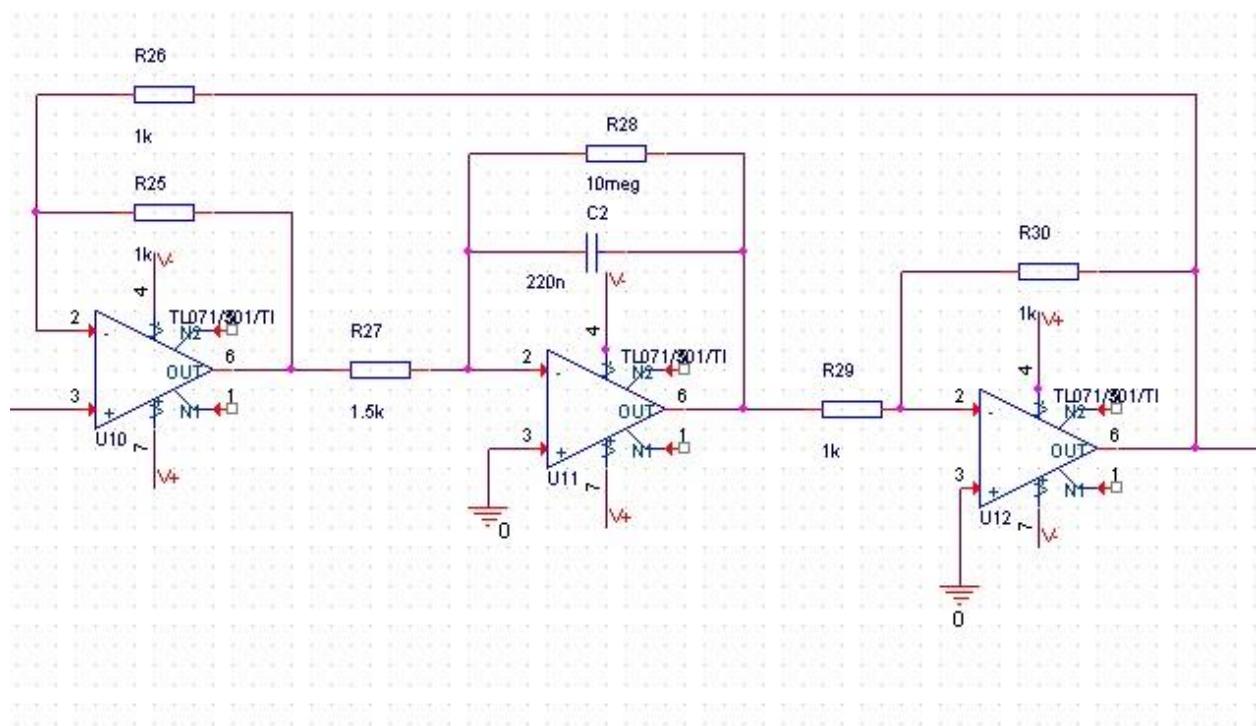


Obr.21 Schematické zapojení integrátoru

Pro zapojení tohoto integrátoru, jsme zvolili hodnoty $C2=220\text{n}$ a hodnotu $R27=1,5\text{k}\Omega$ - tato hodnota byla určena experimentálně při zadání konstanty pro C2. Dále byl zapojen kompenzační odpor $R28=10\text{M}\Omega$, který má napomáhat při rozepnutí obvodu, kdy vybíjí kondenzátor. Tento integrátor je také zapojen pro invertující vstup, tudíž je nutné zapojit za něj invertor.

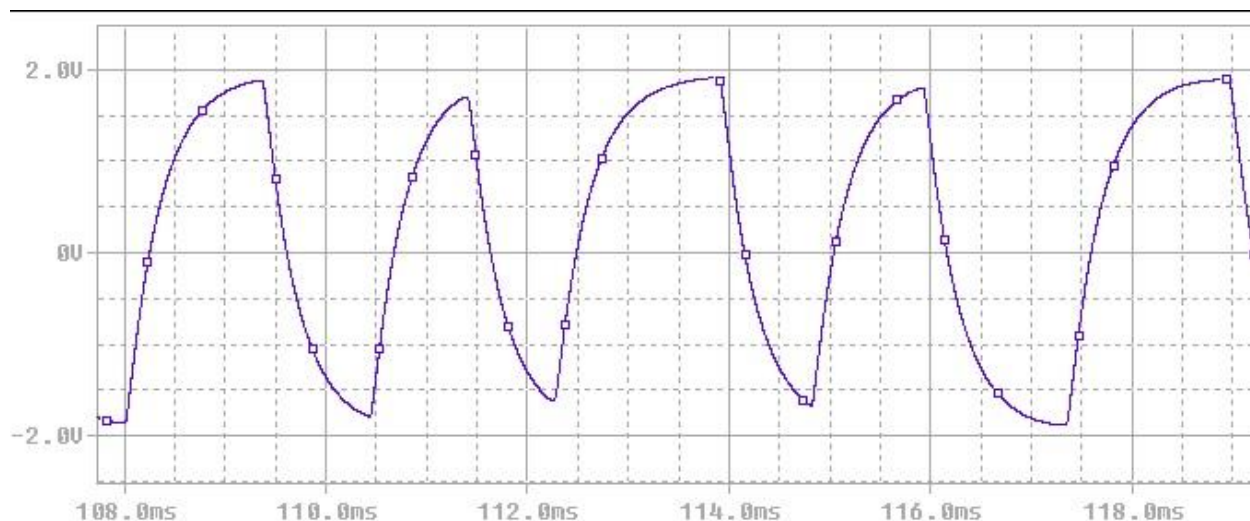
V programu Matlab Simulink byl tento blok uveden ideálně, bez inverze signálu.

Celý blok s invertorem a rozdílovým zesilovačem spolu se smyčkou je uveden v následujícím schématu:



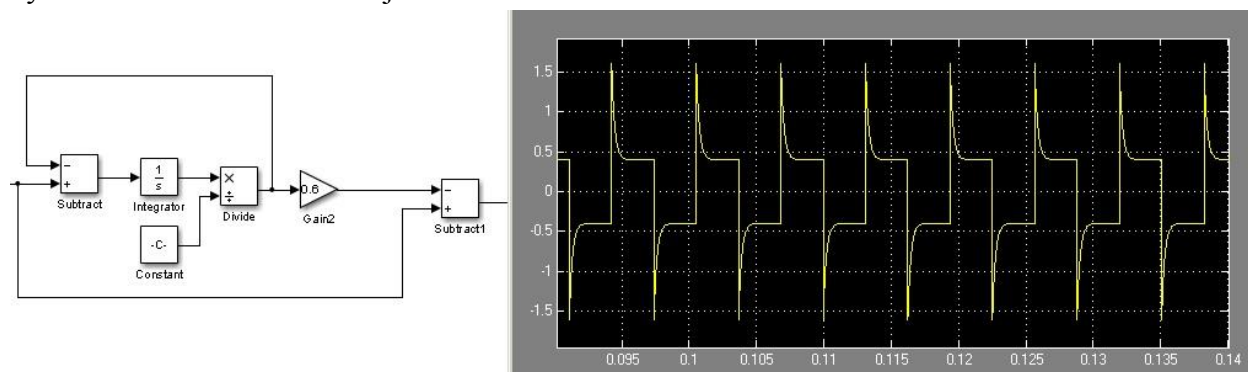
Obr.22 Část schématu s integrátorem, rozdílovým zesilovačem a invertorem

Na dalším obrázku se můžeme podívat na výstup tohoto celého úseku v programu OrCad Cadence:



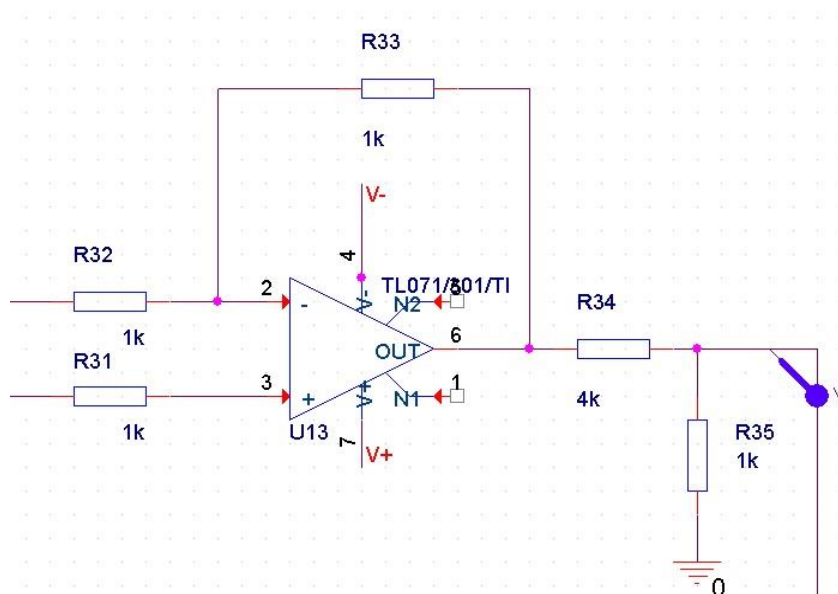
Obr.23 Výstup OrCad Cadence úseku integrátoru, rozdílového zesilovače a invertoru

Jako pokračování blokového schematu byla zavedena ještě jedna rozdílová operace za pomoci bloku Subtract, pro vytvoření charakteristické špičky. Byl odečten signál hystereze od části obvodu s integrátorem, rozdílovým zesilovačem a invertorem. Celý tento úsek a jeho výsledek lze vidět na následujícím obrázku:



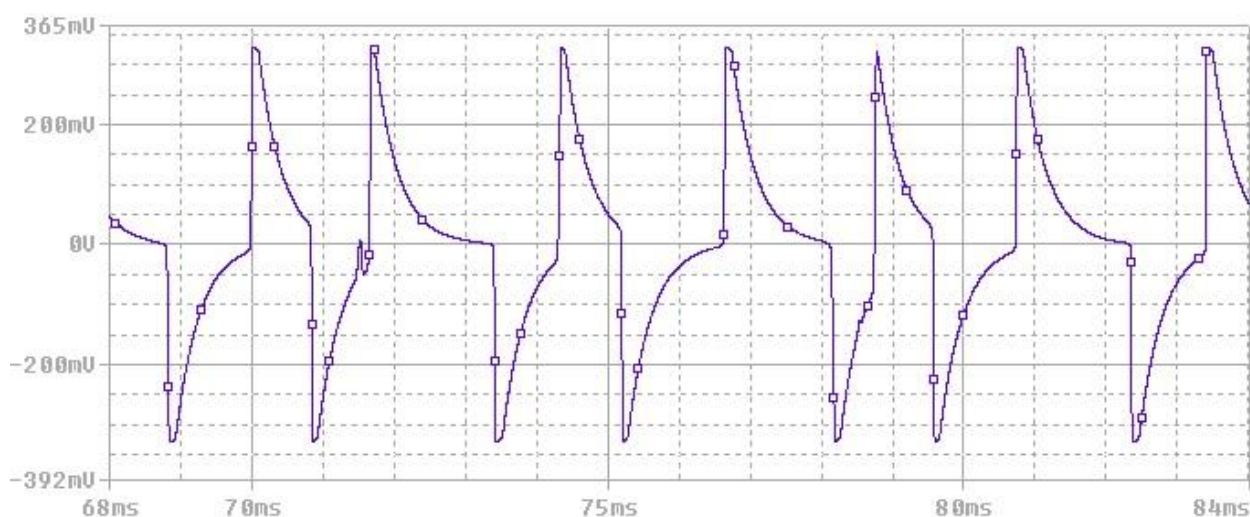
Obr.24 odečet bloku s integrátorem od signálu po bloku relay

Ve schematickém zapojení byl přidán rozdílový zesilovač za blok Subtract. Dále byl za tento blok zapojen napěťový dělič kvůli omezení výstupního napětí na požadovanou velikost.



Obr. 25 Rozdílový zesilovač s napětovým děličem

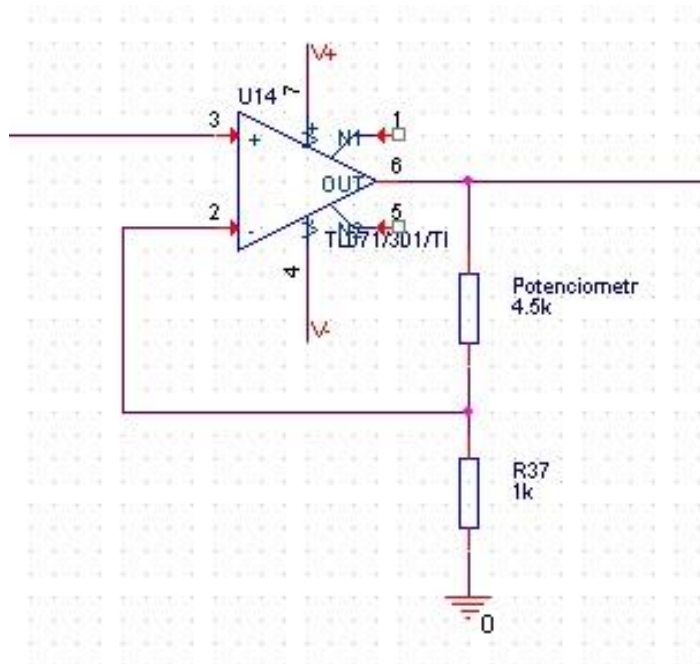
Výstup z tohoto zesilovače je na následujícím obrázku:



Obr. 26 Výstup programu OrCad z rozdílového zesilovače s napětovým děličem

Dále byla vedena další cesta čistého signálu, vedoucí mimo bloky tohoto zkreslení, ovšem doplňující zvuk tohoto efektu. Hlavní zkreslení efektu a jeho charakteristiku zajišťuje modulovaný průběh výstupu a saturace při dosažení určité hladiny. Ovšem, důležitou součástí každého efektu je možnost regulace zkreslení při zachování charakteru zvuku. Aby bylo možné tuto důležitou součást zařízení realizovat, byl do výsledného zvuku efektu přiveden i originální, nezkreslený signál. Tento nezkreslený signál je možné zesílit pomocí potenciometru a tak regulovat efektivitu a sílu zkreslení. Při nižší hodnotě potenciometru bude signál procházet a bude k němu jen přičítána modulovaná část zpracovaná efektovou částí. Při vyšší hodnotě bude signál zesílen natolik, aby byl na konci limitován diodami a vytvořil tak část efektu, která má v programu MATLAB hodnotu 1 a -1. Čím větší zesílení, tím více se bude rozšiřovat tato část, a tím větší zkreslení efektu bude, ovšem díky charakteristické modulaci by si mělo zachovat charakter zkreslení.

Zesílení tohoto signálu je provedeno přes zesilovač s OZ, jehož schema je na následujícím obrázku:



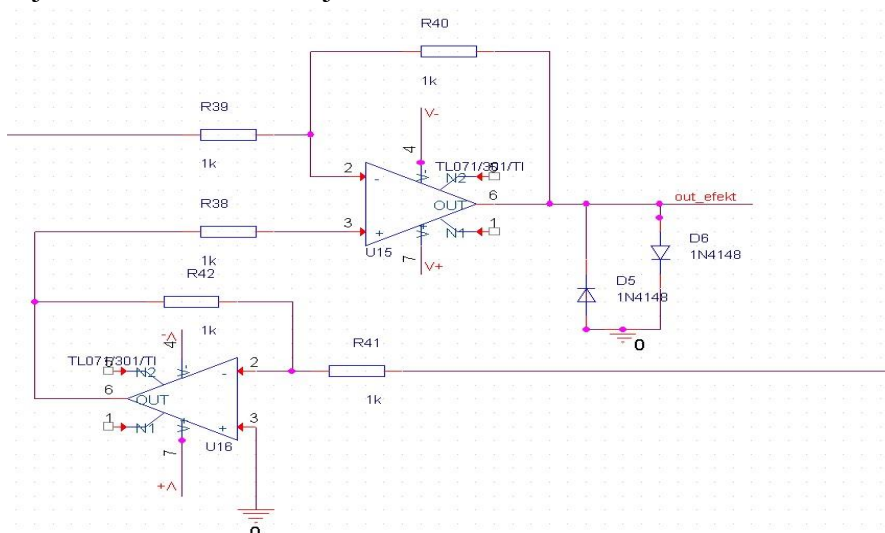
Obr.27 Zesilovač s OZ

Zesílení(ideální) je dáno vzorcem:

$$An = \left(1 + \frac{R_{potenciometr}}{R_{37}}\right) = \left(1 + \frac{4,5k}{1k}\right) = 5,5 \quad (2.2.2)$$

Pro tento potenciometr byla zvolena hodnota 4,5 k Ω . Bude proto vhodné zvolit tuto součástku v hodnotě 10 k Ω , aby bylo zesílení a následná hodnota zkreslení proměnlivá ve velké škále zvuků. Výstupní zkreslení efektu je ovšem opačně polarizováno a proto je nutno výstupní napětí ještě jednou invertovat. Poté je toto napětí přivedeno do rozdílového zesilovače spolu se zesíleným původním signálem. Na výstup efektového zařízení poté připojíme dvě diody, které ořežou symetricky signál.

Celý tento úsek je zobrazen na následujícím obrázku:



Obr.28 Koncový blok a výstup efektového zařízení



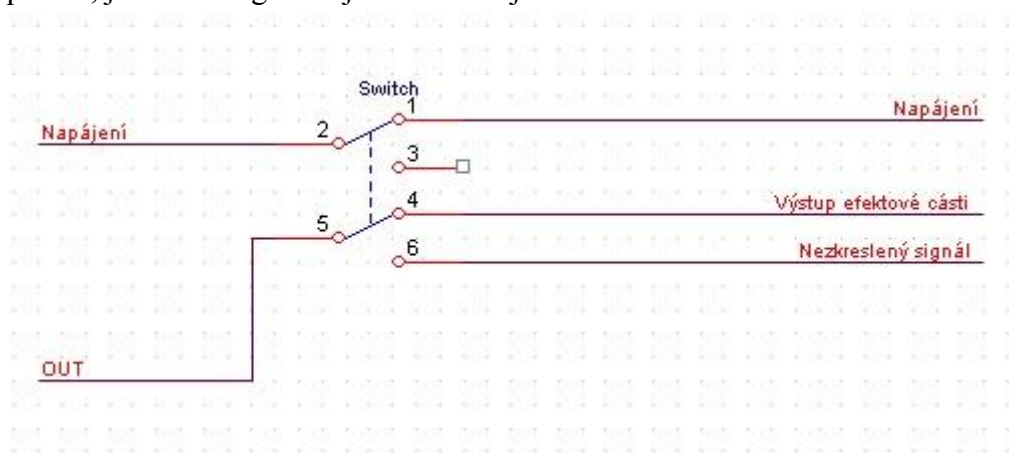
Napájení efektové části zařízení je symetrické. Major



Aby bylo na první pohled vidět, kdy je efekt zapnutý a vypnutý, bylo nutno přidat zařízení světelnou indikaci. Indikaci zařizuje LED dioda s červeným světlem, která je zařazena ihned za napájecí adaptér a přepínač, aby došlo k jejímu vypnutí ihned po sepnutí tlačítka. Pro výpočet odporu pro proud tekoucí diodou byl použit výpočet:

$$R_v = \frac{U_{nap} - U_d}{I_d} = \frac{9 - 2.3}{15m} = 446,7\Omega \quad (2.3.1)$$

Další důležitá součást každého efektového zařízení je možnost efektovou část vypnout, aby mohl nezkreslený signál dále postupovat směrem k zesilovači beze změny, eventuálně aby bylo možno zapojit další efekty jako například Delay, Echo atd. Tato funkce byla realizována pomocí dvojitého přepínače, jehož konfigurace je na následujícím schématu:



Obr.31 Schematické zapojení přepínače

Takto zapojený spínač bude propojovat vodivé cesty napájení, bude svítit LED dioda a efektové zařízení bude fungovat, anebo při sepnutí spínače bude přerušeno napájení, indikační LED dioda nebude odebírat proud, zhasne a do výstupu bude téct nezkreslený signál v původní podobě.

Kompletní schéma programu OrCad Capture lze najít jako přílohu č.2.

Dále bylo toto schéma převedeno do programu Eagle - software pro tvorbu schémat a následnou konfiguraci desky plošných spojů. Do schématu byly přidány filtrační kondenzátory, které odrušují napájení operačních zesilovačů, jinak zapojení zůstává stejné, jako v programu OrCad Capture. Díky zapojení virtuální země jakožto signálové, bylo nutno použít jinou schematickou značku pro dva druhy zemí, které se v obvodu vyskytují. Druhou zemí je napájecí zem. Schematickou značkou pro signálovou zem je značka SGND. Napájecí zem má schematickou značku GND.

Schéma tohoto zapojení je součástí práce jako příloha č.3.

Dále byla navržena fyzická podoba DPS. Program umožňuje pracovat s reálnými pouzdry součástek a s variabilními propoji pro propojování vodivých cest.

Návrh je tvořen jako pozitivní filmová předloha pro zpracování na negativním fotorezistu. Při zpracování byla využita funkce rectangle, neboli vylití mědi za účelem stínění. Toto vylití bylo využito pro propojení se zeměmi, které se v obvodu nachází, takže bylo zajištěno, že vylitá měď na jedné straně desky je automaticky brána jako zemění SGND a na druhé straně DPS jako GND.

Konfiguraci vodivých cest pro vrchní i spodní stranu DPS nalezneme v příloze č.4.

Konfiguraci součástek a jejich seznam nalezneme v příloze č.5.

DPS byla zhotovena na VUT, fakultě Elektrotechnologie, osazena byla v laboratoři DPS.

3. ZÁVĚR

Účelem této práce bylo navrhnout a sestavit kytarový distortion efekt. Pomocí napsaného skriptu v programu MATLAB byl nalezen a modelován průběh zkreslení, dále byl sestaven matematický model pomocí nástavby Simulink. Tento model byl analyzován po blocích a jednotlivě realizován schematicky v prostředí OrCad Capture. Toto zapojení bylo simulováno a přeneseno do programu Eagle, ve kterém byl zhotoven návrh fyzické podoby DPS.

Dále byla tato deska osazena součástkami a oživována. Nepodařilo se ji kompletně oživit. DPS zpracovává správně signál z výstupu sumačního zesilovače, který následuje po části obvodu s integrátorem(příloha č.6). Na výstupu invertoru ovšem signál saturuje v kladných hodnotách. Navzdory diagnostice obvodu a výměně OZ se nepodařilo zjistit příčinu.

SEZNAM OBRÁZKŮ

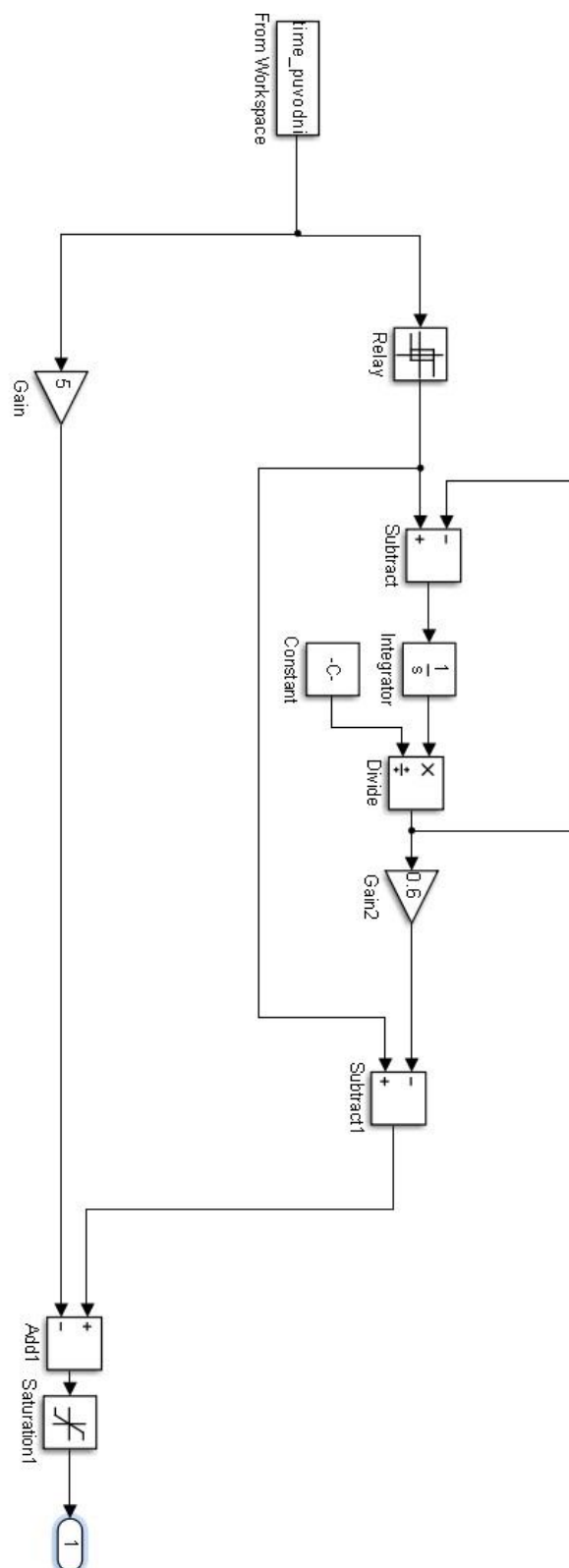
obr.1: Porovnání výstupního signálu ModTone BuzzBoy Power Fuzz a BOSS – Zuzz FZ-5- konfigurace č.1	8
obr.2: Porovnání výstupního signálu ModTone BuzzBoy Power Fuzz a BOSS – Zuzz FZ-5- konfigurace č.2	8
obr.3: Porovnání výstupního signálu efektů Ibanez Tubescreamer TS9 a BOSS- SD1 – konfigurace č.1	10
obr.4: Porovnání výstupního signálu efektů Ibanez Tubescreamer TS9 a BOSS- SD1 – konfigurace č.2	10
obr.5: Porovnání výstupního signálu efektů Digitech DeathMetal a MODTONE MiniDistortion – konfigurace č.1	11
obr.6: Porovnání výstupního signálu efektů Digitech DeathMetal a MODTONE MiniDistortion – konfigurace č.2	11
obr.7: Efekt distortion 3	12
obr.8: Efekt distortion 4	12
obr.9 Akustický signál kytary	13
obr.10: Normalizovaný signál	15
obr.11: Modifikovaný signál 1	15
obr.12: Modifikovaný signál 2	17
obr.13: Modifikovaný signál 3	18
obr.14: Modifikovaný signál 4	19
obr.15: Modifikovaný signál 5	20
obr.16: Blokové zapojení a výstupní signál programu Simulink pro blok Relay	21
obr.17: Schéma programu OrCad pro blok Relay	22
obr.18: Výstup programu OrCad pro blok Relay	23
obr.19: Blokové schéma zapojení části obvodu s integrátorem a rozdílovým OZ	23
obr.20: Schéma rozdílového zesilovače	23
obr.21: Schématické zapojení integrátoru	24
obr.22: Část schématu s integrátorem, rozdílovým zesilovačem a invertorem	24
obr.23: Výstup OrCad Cadence úseku integrátoru, rozdílového zesilovače a invertoru	25
obr.24: odečet bloku s integrátorem od signálu po bloku relay	25
obr.25: Rozdílový zesilovač s napěťovým děličem	26
obr.26: Výstup programu OrCad z rozdílového zesilovače s napěťovým děličem	26
obr.27: Zesilovač s OZ	27
obr.28: Koncový blok a výstup efektového zařízení	27
obr.29: Výstup efektového zařízení v programu OrCAD Capture	28
obr.30: Schéma napájení	28
obr.31: Schematické zapojení přepínače	29

SEZNAM LITERATURY

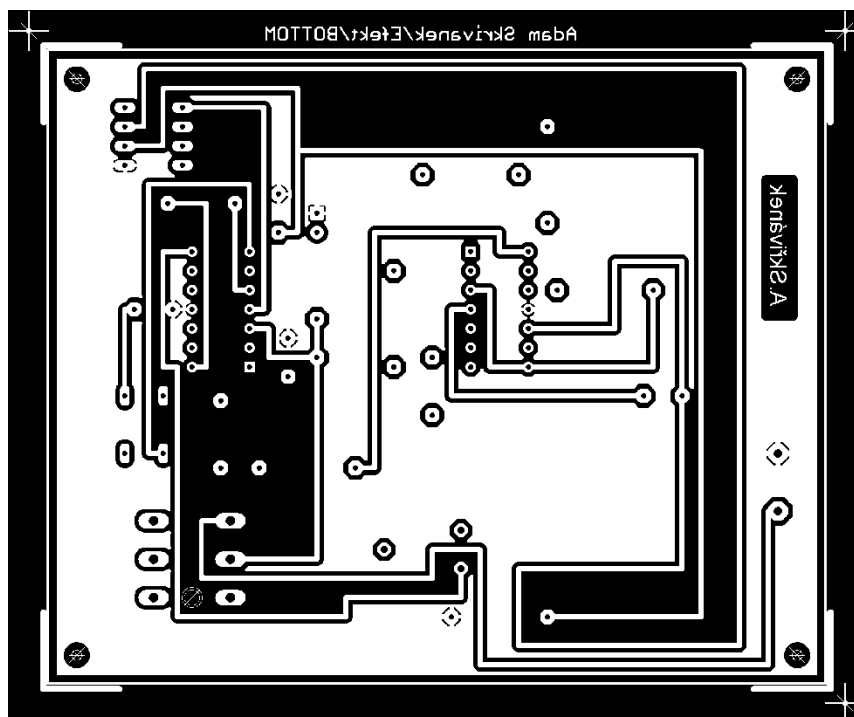
- [1] HUNTER, Dave. Effects Explained: Overdrive. *Gibson* [online]. 06.05.2008 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www2.gibson.com/News-Lifestyle/Features/en-us/effects-explained-overdrive.aspx>
- [2] HUNTER, Dave. Effects Explained: Overdrive, Distortion, and Fuzz. *Gibson* [online]. 06.18.2008 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www2.gibson.com/news-lifestyle/features/en-us/effects-explained-overdrive-di.aspx>
- [3] Record and Play Audio. *MathWorks: Accelerating the pace of engineering and science* [online]. 1994-2013 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: http://www.mathworks.com/help/matlab/import_export/record-and-play-audio.html
- [4] NAVE, R. Electric Guitar Effects. *HyperPhysics* [online]. 2000 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/music/eguiteff.html#c2>
- [5] HTG Explains: How Do Guitar Distortion and Overdrive Work?. *How-To Geek* [online]. 2011 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.howtogeek.com/64096/>
- [6] Ibanez Tube Screamer History. *Analog Man Vintage guitar effects* [online]. 2000-2011 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.analogman.com/tshist.htm>
- [7] PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. 5. vyd. Praha: BEN- technická literatura, 2002.
- [8] KOLKA, Zdeněk, Dalibor BIOLEK, Viera BIOLKOVÁ a Zdeněk BIOLEK. *Modelování a simulace pomocí PSpice*. Brno: Tribun EU, 2011, 182 s. ISBN 978-80-7399-293-4.

SEZNAM PŘÍLOH

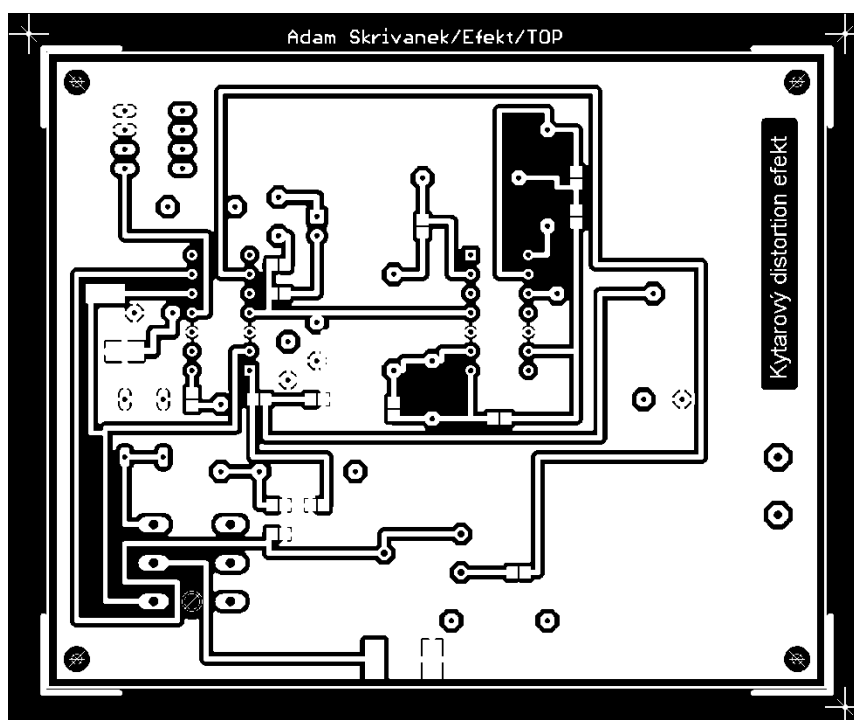
PŘÍLOHA Č.1	Výstup blokového schematu modulu Simulink
PŘÍLOHA Č.2	Kompletní schéma programu OrCad Capture
PŘÍLOHA Č.3	Schéma programu EAGLE
PŘÍLOHA Č.4.1	Návrh DPS vodivé cesty strana BOTTOM
PŘÍLOHA Č.4.2	Návrh DPS vodivé cesty strana TOP
PŘÍLOHA Č.5.1	Konfigurace součástek
PŘÍLOHA Č.5.2	Seznam součástek
PŘÍLOHA Č.6	Naměřené výstupní napětí v části obvodu výstupu sumačního zesilovače



Příloha č. 1 Výstup blokového schématu modulu Simulink

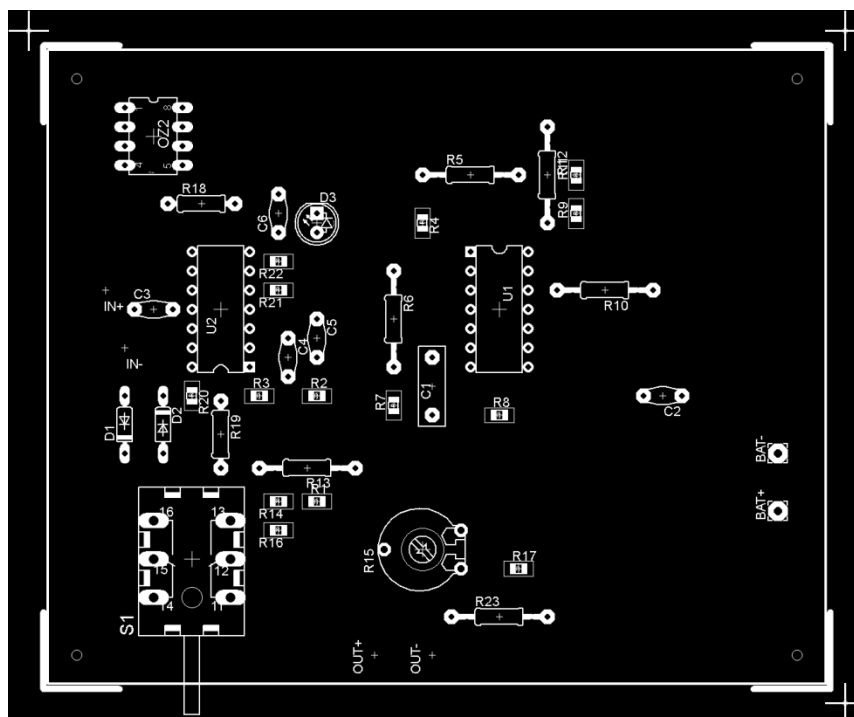


Příloha 4.1 Návrh DPS vodivé cesty strana BOTTOM



Příloha 4.2 Návrh DPS vodivé cesty strana TOP

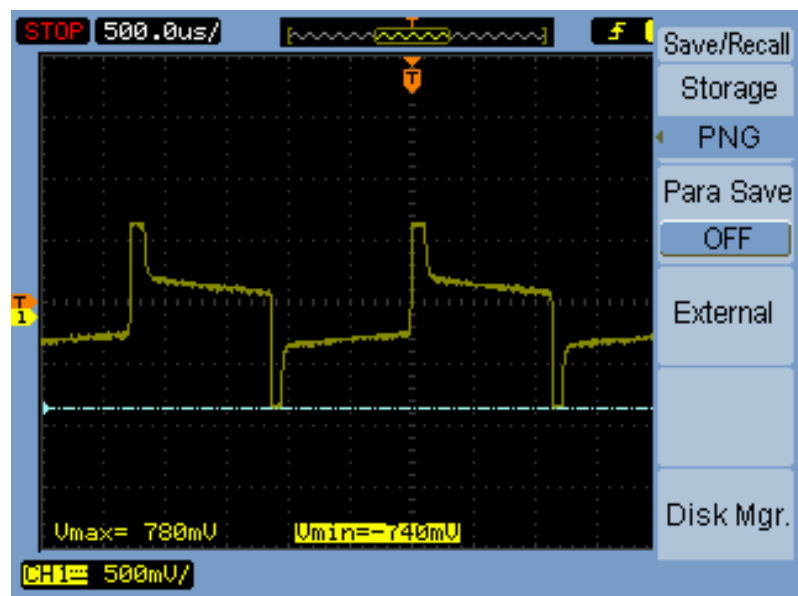
Rozměr DPS 100 x 85mm



Příloha 5.1 Konfigurace součástek

R	
1k	R5, R6, R10, R12, R19, R18
1k-smd	R2, R4, R5, R8, R9, R11, R14, R16, R17, R20
10k	R23
10k-smd	R1, R22
2k-smd	R3
10M- smd	R7
3,9k	R13
570 - smd	R21
Potenciometr	10k
C	
220nF	C1
10nF	C2, C3, C4, C5, C6
DIODY	
1N4148	D1, D2
LED	RED POINT 5MM
INTEGROVANÉ OBVODY	
LM358	DIP8
TL074	DIP14
KONEKTORY	
BAT+, BAT- IN+, IN-, OUT+, OUT-	Napájecí DC adaptér 2,5mm JACK 6,3mm MONO
PŘEPÍNAČ	
TSP 202AA2	

Příloha 5.2 Seznam součástek



Příloha č.6 Naměřené výstupní napětí v části obvodu výstupu sumačního zesilovače