

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Petr Holý

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Kytarové efekty

Petr Holý

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Holý**
Osobní číslo: **I14004**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Kytarové efekty**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Nastudujte dostupné a používané možnosti úpravy parametrů akustického kytarového signálu. Navrhněte zařízení umožňující měnit vstupní akustický signál vybranými definovanými pravidly. Součástí práce je návrh obvodů upravujících signál včetně odpovídajících výpočtů, návrh desky plošných spojů, osazení součástek a ověření funkce.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

[1] VÁŇA, Vladimír. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.

[2] Atmel 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32KBystes In-System Programmable Flash. ATMEL CORPORATION. [online]. [cit. 2015-10-15].

Dostupné z:

http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Summary.pdf

[3] BRTNÍK, Bohumil. Analogové soustavy. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2013. ISBN 978-80-7300-490-3.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Roleček

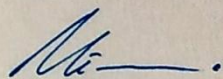
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

21. listopadu 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

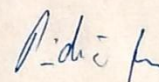
12. května 2017



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



L.S.



Ing. Jan Pidanič, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. dubna 2017

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 12.05.2017

podpis autora

Petr Holý

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá analogovými kytarovými efekty. Jsou v ní popsány způsoby, kterými dochází ke změnám akustického kytarového signálu v závislosti na vybraném efektu. Práce obsahuje návrh komplexního kytarového efektu obsahujícího čtyři konkrétní analogové efekty a podrobnou analýzu funkce těchto efektů.

KLÍČOVÁ SLOVA

efekty, kytara, tremolo, chorus, fuzz, distortion

GUITAR EFFECTS

ANNOTATION

This Bachelor thesis deals with analog guitar effects. There are described the ways which change the acoustic guitar signals depending on the selected effect. The thesis includes a design of complex guitar effect which contains four specific analog effects and a detailed analysis of behavior of these effects.

KEYWORDS

effects, guitar, tremolo, chorus, fuzz, distortion

OBSAH

0	Úvod.....	11
1	HISTORIE A APLIKACE KYTAROVÝCH EFEKTŮ	12
1.1	Historie kytarových efektů.....	12
1.2	Aplikace a typy efektových boxů.....	13
2	VYBRANÉ KYTAROVÉ EFEKTY A JEJICH FUNKCE	14
2.1	Vybrané druhy kytarových efektů.....	14
2.2	Funkce vybraných kytarových efektů	14
2.2.1	Tremolo.....	14
2.2.2	Distortion	15
2.2.3	Fuzz.....	16
2.2.4	Chorus.....	17
3	ANALÝZA VYBRANÝCH KYTAROVÝCH EFEKTŮ	18
3.1	Tremolo	18
3.2	Fuzz.....	23
3.3	Distortion.....	27
3.4	Chorus	32
4	ŘÍZENÍ EFEKTŮ	35
4.1	Koncepce řízení.....	35
4.2	Řídící obvod a jeho funkce	36
4.2.1	Řízení ultrazvukem	36
4.3	Program.....	37
5	KONSTRUKCE.....	40
5.1	Návrh DPS	40
5.2	Montáž.....	42
6	ZÁVĚR	44
7	Použitá literatura	45

8	Přílohy.....	47
---	--------------	----

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1	Základní zapojení kytarového efektu	13
Obrázek 2	Soft a hard clipping	16
Obrázek 3	Zkušební zapojení a) distortion, b) tremolo, c) fuzz, d) chorus	18
Obrázek 4	Zapojení efektu EA Tremolo.....	19
Obrázek 5	NLO zesilovače u efektu tremolo.....	20
Obrázek 6	Frekvenční charakteristika zesilovače u efektu tremolo	21
Obrázek 7	Fázový posun u oscilátoru v efektu tremolo	22
Obrázek 8	Funkce tremola a) simulace, b) osciloskop	23
Obrázek 9	Zapojení efektu Sam Ash Fuzz	24
Obrázek 10	NLO zesilovače u efektu fuzz	25
Obrázek 11	Frekvenční charakteristika zesilovače u efektu fuzz.....	26
Obrázek 12	Funkce efektu fuzz a) c) simulace, b) d) osciloskop	27
Obrázek 13	Zapojení efektu Ross distortion.....	28
Obrázek 14	NLO zesilovače u efektu distortion.....	28
Obrázek 15	Frekvenční charakteristika u efektu distortion a) $R5 = 0 \Omega$, b) $R5 = 250 \text{ k}\Omega$, c) $R5 = 500 \text{ k}\Omega$	30
Obrázek 16	Funkce efektu distortion a) c) simulace, b) d) osciloskop	31
Obrázek 17	Zapojení efektu chorus Little Angel.....	32
Obrázek 18	NLO zesilovače u efektu chorus	33
Obrázek 19	Frekvenční charakteristika zesilovače u efektu chorus	34
Obrázek 20	Blokové schéma vytváření echa	34
Obrázek 21	Blokové schéma multiplexování signálů.....	35
Obrázek 22	Funkce modulu HC-SR04	39
Obrázek 23	Návrh DPS pro efekt tremolo a chorus	40
Obrázek 24	Návrh DPS pro řídicí desku	41
Obrázek 25	Návrh DPS pro efekt fuzz a distortion	41
Obrázek 26	Efektová krabička.....	42
Obrázek 27	Efektová krabička se sundaným krytem s ovládacím panelem.....	43
Tabulka 1	Mezní kmitočty zesilovače u distortion pro pět různých hodnot odporu $R5$	29

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

THD Total harmonic distortion

LFO Low frequency oscillator

NLO Náhradní lineární obvod

DPS Deska plošných spojů

0 ÚVOD

Tato práce se zabývá problematikou analogových kytarových efektů. Kytarové efekty umožňují úpravu a změnu zvuku elektrické nebo i případně elektroakustické kytary. První kytarové efekty vznikaly na přelomu čtyřicátých a padesátých let minulého století a spolu s vývojem v oblasti elektrotechniky se vyvíjely i efekty samotné. Díky zmiňovanému vývoji v oblasti elektrotechniky se dnes na trhu stále více objevují kytarové efekty digitální. Jejich hlavní výhodou je, že většinou nabízejí výběr z desítek efektů. Své zastánce však stále mají i analogové efekty, po kterých poptávka určitě jen tak nezmizí.

Cílem této práce bylo nastudovat používané metody pro úpravu akustického kytarového signálu a navrhnout zařízení umožňující upravovat tento signál definovanými pravidly.

V práci je nejdříve přiblížena základní problematika kytarových efektů a jejich členění. Následuje teoretický rozbor různých způsobů upravování kytarového signálu u vybraných typů efektů, kterými jsou: fuzz, distortion, chorus a tremolo. Po teoretické části jsou podrobně analyzovány zapojení všech vybraných konkrétních kytarových efektů.

Po analýze vybraných kytarových efektů je představena koncepce řídicího obvodu pro tyto efekty, kde je vysvětlen způsob přepínání efektů pomocí multiplexorů a funkce ultrazvukového modulu HC-SR04, který je zde použit pro bezdotykové ovládání frekvence LFO u tremola.

Dále je v práci vysvětlen způsob, kterým bylo zařízení naprogramováno. V tomto bloku je vysvětlena obecná funkce části programu pro uživatelské rozhraní efektu (tlačítka a přepínače) a také funkce části programu, který obsluhuje ultrazvukový modul HC-SR04.

Ke konci je probrána konstrukce finálního výrobku, které se týkají návrhy DPS, a finální montáže elektroniky do krabičky.

Dvě hlavní výhody tohoto zařízení, kterými se liší od většiny produktů, které jsou dostupné na trhu, jsou: integrace více analogových efektů v jedné krabičce a možnost bezdotykového řízení frekvence LFO u efektu tremolo.

1 HISTORIE A APLIKACE KYTAROVÝCH EFEKTŮ

1.1 Historie kytarových efektů

Kytarové efekty jsou prostředkem pro úpravu a změnu zvuku elektrické nebo i případně elektroakustické kytary. Jejich historie sahá na přelom první a druhé poloviny minulého století, kde byly první efekty uvedeny na trh a experimentování spojené s vylepšováním těchto produktů odstartovalo [1].

Jako jedním z prvních efektů byl například delay (echo) Echosonic (1952) a Echoplex (1959), který zkonstruoval Ray Butts. Tato echa byla pásková a měla v sobě elektronky. Firmy, které se zabývali kytarovými aparáty a efekty v té době, byly například Fender a Vox. Firma Vox zkonstruovala například slavný kytarový aparát AC-30, který byl osazen „Top Boost“ obvodem, měl čtyři vstupy a nabízel efekty jako vibrato a tremolo [1].

V šedesátých letech se na trhu objevilo první zkreslení typu Fuzz, které neslo název Fuzz FZ-1 Fuzz Tone. V tomto efektu byly ještě použity germaniové tranzistory, jelikož křemíkové polovodiče byly dostupné až později. V roce 1961 vyvinul Chet Atkins první efekt typu wah-wah, který v té době používal například kytarista Jimi Hendrix. V roce 1968 vzniká společnost Electro-Harmonix, která představuje efekt booster s názvem Linear Power Booster, který byl v tu dobu svým výsledným zvukem a zkreslením nevídaný [1].

Na začátku 70. let byly na trh uvedeny slavné phasery MXR Phase 90 a EH Small Stone Phaser. Roku 1971 vzniknul proslulý fuzz The Big Muff π , který vznikl náhodou, jelikož konstruktéři pracující na jiném efektu, někde udělali chybu [1].

S příchodem tranzistorů FET (JFET a MOSFET), se začaly efekty miniaturizovat. Tranzistory typu FET měli pro nějaké aplikace lepší parametry než tranzistory bipolární [1].

Kolem roku 1975 se objevují modulační efekty chorus, flanger, analogové echo a reverb. Efektů a jejich výrobců mnohonásobně přibývá a analogové efekty, které používají už převážně polovodičové součástky se téměř podobají těm, které se dají pořídit i v dnešní době [1].

Analogové kytarové efekty se prodávají už asi 70 let a nejspíše jen tak z trhu nezmizí. Svě místo si však v této kategorii produktů dělají i moderní digitální kytarové efekty, které většinou obsahují desítky různých efektů.

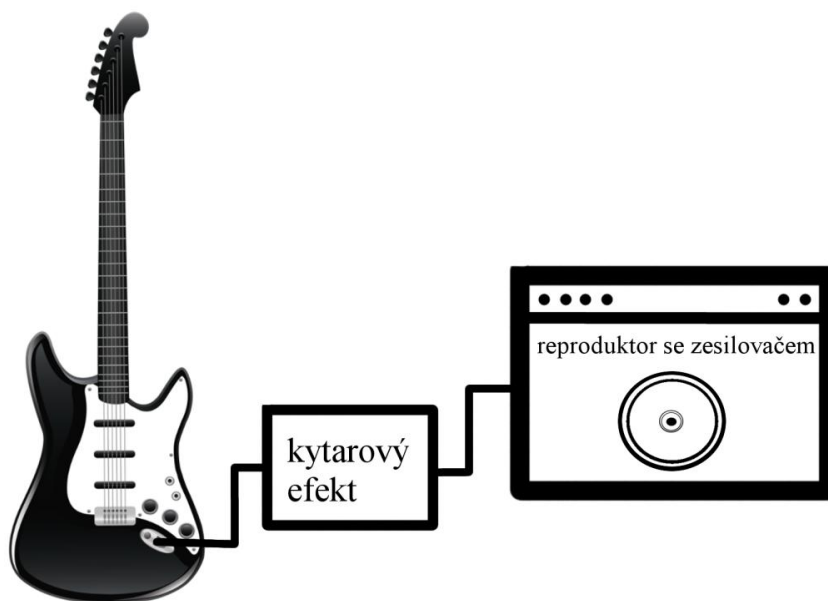
1.2 Aplikace a typy efektových boxů

Jak již bylo zmíněno kytarové efekty jsou prostředkem pro úpravu a změnu zvuku elektrické nebo elektroakustické kytary. V základu, když nepřihlížíme na to, jak modulují zvuk, ale na to, jak jsou výsledné produkty řešené, kytarové efekty dělíme na takzvané kompaktní pedály, multiefekty a rackové efekty [2].

Kompaktní pedál je většinou krabička, která obsahuje jeden efekt. Zapojuje se mezi kytaru a kytarový aparát viz obrázek 1. Kompaktní pedál můžeme také zapojit do takzvané efektové smyčky, což znamená zapojení více efektů za sebou v sérii [2].

Multiefekty jsou složitější a většinou digitální zařízení, které obsahují více efektů s možností přednastavit si tyto efekty a přiřadit si je k požadovaným ovládacím sekcím. Tato zařízení jsou většinou rozměrnější a cenově méně dostupnější než kompaktní pedály.

Poslední nejdražší a nejprofesionálnější možností jsou rackové efekty, které mají definované rozměry, aby se daly zasadit do takzvaného racku [2].



Obrázek 1 – Základní zapojení kytarového efektu

2 VYBRANÉ KYTAROVÉ EFEKTY A JEJICH FUNKCE

2.1 Vybrané druhy kytarových efektů

Pro tento projekt byly vybrány čtyři typy efektů. Fuzz, distortion, chorus a tremolo. Výběr konkrétních efektů byl inspirován již existujícími efekty, které mají dostupné zapojení. Konkrétní názvy jednotlivých efektů jsou tyto: Sam Ash Fuzz, Ross Distortion, EA Tremolo a Little Angel.

Všechny vybrané efekty kromě chorusu Little Angel, který je dílem Ricka Holta z roku 2010, pocházejí z období 60. až 70. let minulého století.

Zapojení, která byla vybrána do finálního projektu prošla třemi fázemi. V té první byla ověřena jejich funkčnost pomocí simulačního programu LTSpice. V druhé fázi byly efekty zhotoveny na univerzální DPS a byla ověřena jejich funkčnost pomocí funkčního generátoru a osciloskopu. V poslední fázi podstoupili efekty test, který byl zaměřen na jejich výsledný zvuk v aplikaci s elektrickou kytarou a kytarovou aparaturou. Pokud zvuk nevyhovoval očekáváním byly u efektů provedeny drobné změny.

2.2 Funkce vybraných kytarových efektů

2.2.1 Tremolo

V prvé řadě bude probrána funkce efektu tremolo. Tremolo bylo jedním z prvních efektů, které vznikly. Efekt tremolo tlumí vstupní signál v určitých intervalech. U tremola tedy nastavujeme dva parametry, kterými jsou: hloubka efektu (velikost útlumu vstupního signálu) a rychlost (délka intervalu ve kterém je vstupní signál tlumen) [1].

Tremolo může být konstruováno několika způsoby. Například může být použit fotorezistor, na který bliká zdroj světla, který je řízený LFO. Dříve bylo tremolo realizované střídavou změnou potenciálu řídicí mřížky (biasu) lampy v předzesilovači. Pokles biasu umožnil přenos menšího počtu elektronů, a tím i menší zesílení. V současnosti je tremolo realizováno

optočleny a nebo digitálně. Útlum tremola bývá v rozsahu 0 dB až cca 6dB a rychlost LFO v intervalu 0,5 Hz až 20 Hz. LFO může generovat sinusové, obdélníkové i trojúhelníkové pulsy [1].

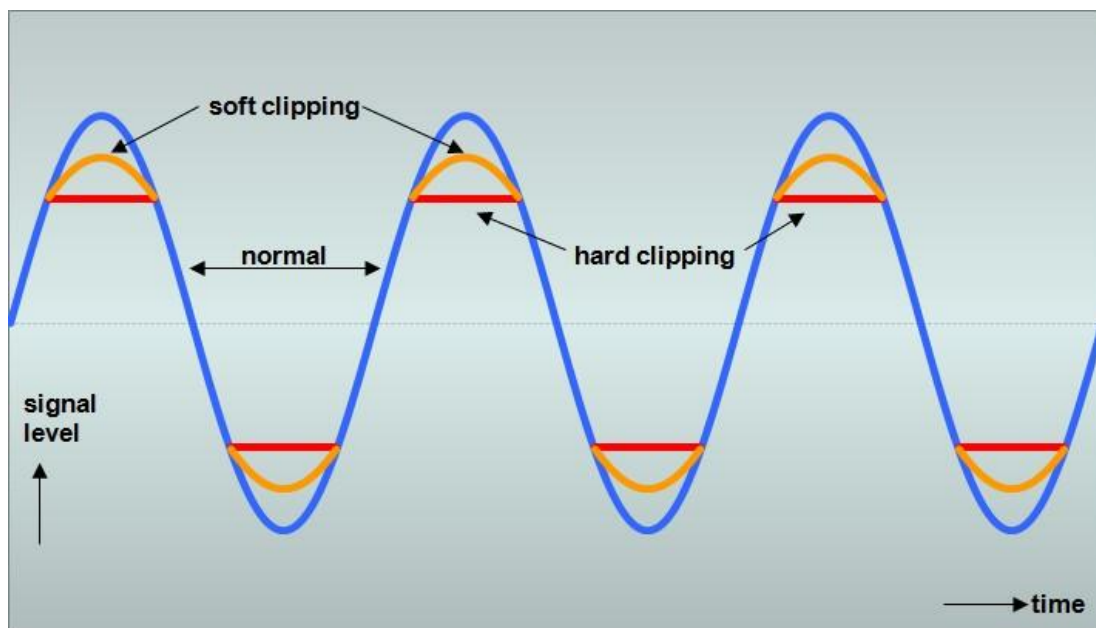
2.2.2 Distortion

Další vybraný efekt je distortion. Distortion v angličtině znamená zkreslení. Z názvu se tedy může zdát, že by se daly všechny typy zkreslení zahrnout pod termín distortion. Tak to ale není. Z technického hlediska by to samozřejmě šlo, ale kytarová terminologie používá termín distortion pouze pro určitý typ zkreslení. Přestože neexistují žádná pevná pravidla pro tato pojmenování, tak během času vznikly určité nepsané dohody pro zařazování efektů zkreslení do jednotlivých kategorií. Kromě efektu zkreslení distortion se můžeme setkat například s efekty overdrive, crunch a nebo fuzz [3].

Výsledný efekt distortionu je většinou zapříčiněn limitačními diodami v signálové cestě, které se nachází za zesilovačem a umožní obvodu pracovat v takzvaném „hard clipping“ režimu, což znamená v režimu tvrdé limitace. Díky tomu je můžeme odlišit například od efektů typu overdrive, kde má výsledný zvuk simulovat přebuzený lampový zesilovač a vzniká způsobem „soft clipping“ [3].

Distortion má tedy agresivnější zkreslení, než overdrive, což je patrné i z průběhů viz obrázek 2, kde jsou tyto dvě metody zkreslování zobrazeny. Diody zapojené v signálové cestě u distortionu jsou zapojeny antiparalelně. V případě, že použijeme diody dvě, tak na jedné vzniká úbytek napětí pro kladnou část vlny a na druhé pro část zápornou, a proto dochází k výslednému oříznutí a zkreslení. Zde platí, že čím větší bude mít signál přicházející na diodový omezovač amplitudu, tím větší bude jeho limitace [3].

Je zřejmé, že různé typy diod mají různé vlastnosti, a proto můžeme například s germaniovými diodami (díky menšímu úbytku napětí na diodě) dosáhnout zcela jiného zkreslení než s diodami křemíkovými a nebo dokonce s diodami led, které se díky svým vlastnostem v kytarových efektech na limitaci také používají. Limitačních diod však v obvodu může být použito více než dvě a mohou být i typově různé. V případě lichého počtu diod mluvíme o takzvané asymetrické kombinaci [3].



Obrázek 2 – Soft a hard clipping [16]

2.2.3 Fuzz

Kromě distortionu byl do projektu vybrán ještě jeden efekt, který se řadí do kategorie zkreslení, a tím je fuzz. Jak již bylo zmíněno, fuzz byl vůbec jeden z prvních zkreslovacích efektů, které byly v minulém století dostupné. Skoro všechny efekty tohoto typu vycházejí ze zapojení legendárního efektu Fuzz Face, které obsahovalo pouze dva germaniové tranzistory [3].

Zajímavost je, že právě kvůli použití germaniových tranzistorů, hrál každý efekt odlišně, jelikož každý tranzistor měl z výroby trochu jiné vlastnosti. Technici kytaristy Erica Johnsona například nakoupili 50 těchto efektů a z nich vybrali dva, které hráli obstojně. Další slabinou již zmiňovaných tranzistorů je teplotní nestabilita, která způsobuje, že efekt zkresluje jinak v různých teplotních podmínkách [3].

Funkce efektu je založena na tranzistorové limitaci, což znamená, že obvod obsahuje tranzistorový zesilovač, který se takzvaně „přebuzuje“, a tím dochází ke zkreslení vstupního signálu. Tohoto jevu u tranzistorového zesilovače můžeme dosáhnout pomocí změny jeho pracovního bodu. Výsledný zvuk je samozřejmě ovlivněný výběrem tranzistoru, co se týče materiálu a typu, obdobně jako u zmíněných antiparalelně zapojených diod u efektu distortion [3].

2.2.4 Chorus

Poslední efekt, který byl do projektu vybrán je efekt chorus. Jak už někomu může být zřejmé z jeho názvu, jedná se o efekt, který napodobuje unisono hru více nástrojů. Unisono znamená, že dva nástroje nebo hlasy, reprodukuje stejný tón (tón o stejné frekvenci) [1].

Důležitým prvkem efektu chorus je zpožďovací článek, stejně jako je tomu například u efektu flanger. Doba zpoždění vstupního signálu se pohybuje mezi 20 ms až 50 ms. Uchem jsme přitom schopni rozlišit zpoždění, které se pohybuje kolem 50 ms až 70 ms. Některé chorusy obsahují i více zpožďovacích článků, které jsou zapojeny paralelně a na výstupu se míchají k původnímu signálu [1].

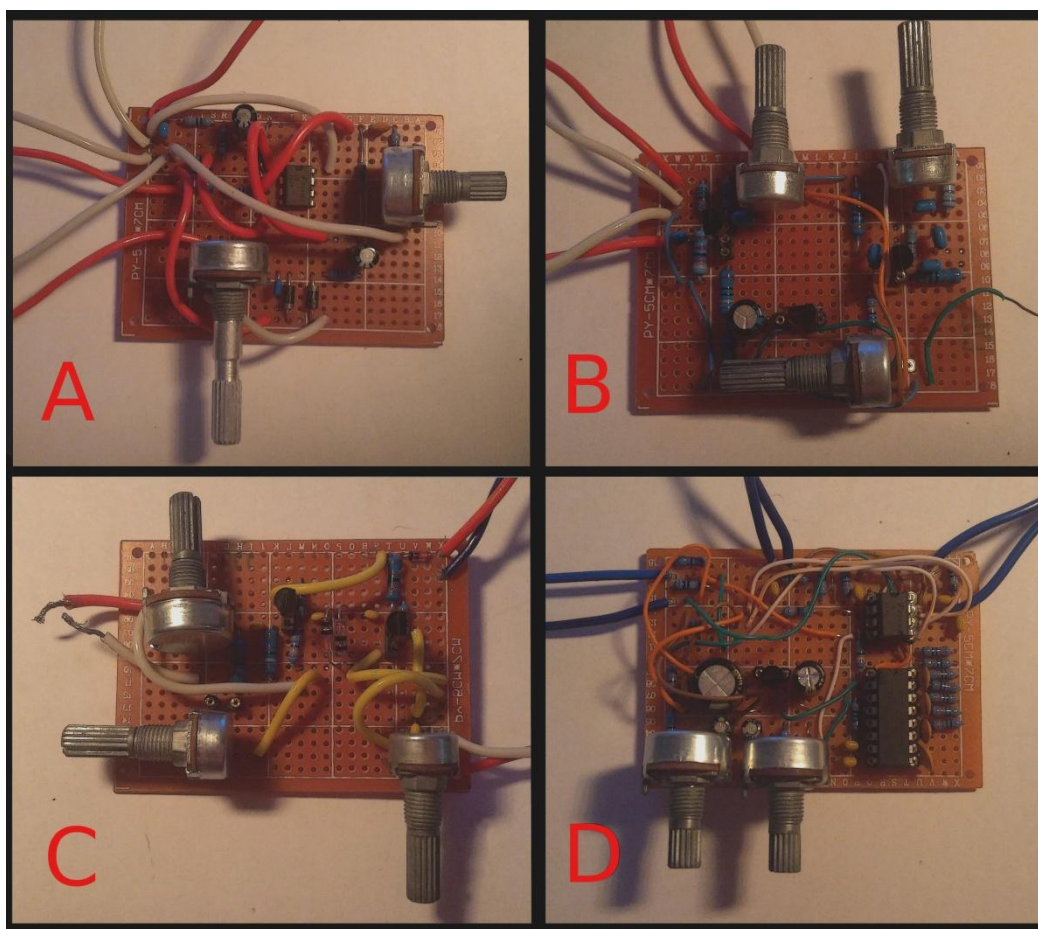
Doba zpoždění je většinou řízená LFO, jehož frekvence jsou v jednotkách Hz, stejně jako tomu je u tremola. V některých obvodech se dá nalézt i další LFO, jehož funkce je řízení množství zpožděných signálů, které jsou přiváděny do součtového obvodu na konci řetězce. To může do výsledného zvuku přinést prvek jemného kolísání hlasitosti jednotlivých hlasů a simulovat tak reálný sbor. Efekt chorus můžeme použít klidně i na jiné nástroje, než je elektrická nebo elektroakustická kytara [1].

3 ANALÝZA VYBRANÝCH KYTAROVÝCH EFEKTŮ

3.1 Tremolo

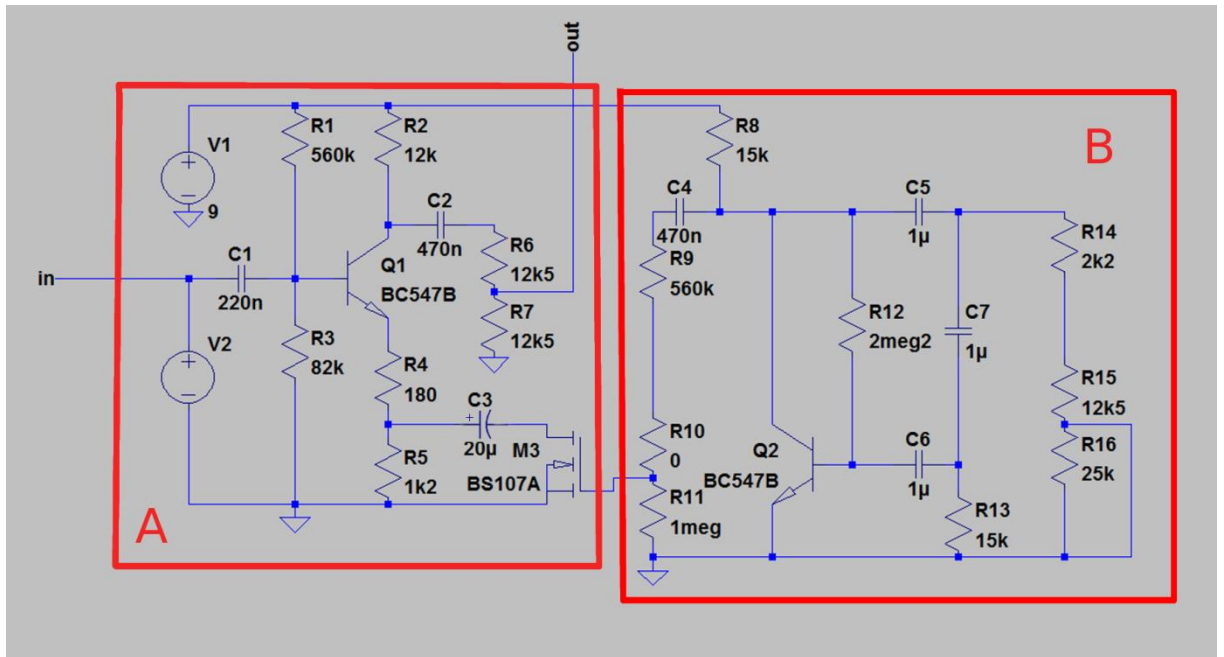
Jak již bylo zmíněno, efekty, které byly do projektu vybrány, prošli třemi fázemi. V té první byla ověřena jejich funkce pomocí programu LTSpice, který bude také používán pro výpočty v této kapitole zabývající se analýzou jednotlivých kytarových efektů. V druhé fázi byly efekty zhotoveny na univerzální DPS viz obrázek 3 a byla ověřena jejich funkčnost. V této kapitole bude tedy objasněna funkce jednotlivých efektů s výpočty a budou porovnány výsledky ze simulací s výsledky reálnými.

U všech analýz v programu LTSpice bude kytarový signál simulován sinusovým průběhem o amplitudě 400mV a frekvenci 1kHz.



Obrázek 3 – Zkušební zapojení a) distortion, b) tremolo, c) fuzz, d) chorus

První efekt, který bude analyzován je EA Tremolo. Jeho zapojení se skládá ze dvou částí. Ta první je tranzistorový zesilovač v zapojení se společným emitorem viz obrázek 4 sekce A. Druhá část efektu viz obrázek 4 sekce B je nízkofrekvenční oscilátor takzvaný LFO.



Obrázek 4 – Zapojení efektu EA Tremolo

První část bude obsahovat rozbor funkce samotného zesilovače a budou spočítány jeho určité parametry, kterými jsou : napěťový přenos, zkreslení, vstupní a výstupní odpor, dolní mezní kmitočet zesilovače a horní mezní kmitočet.

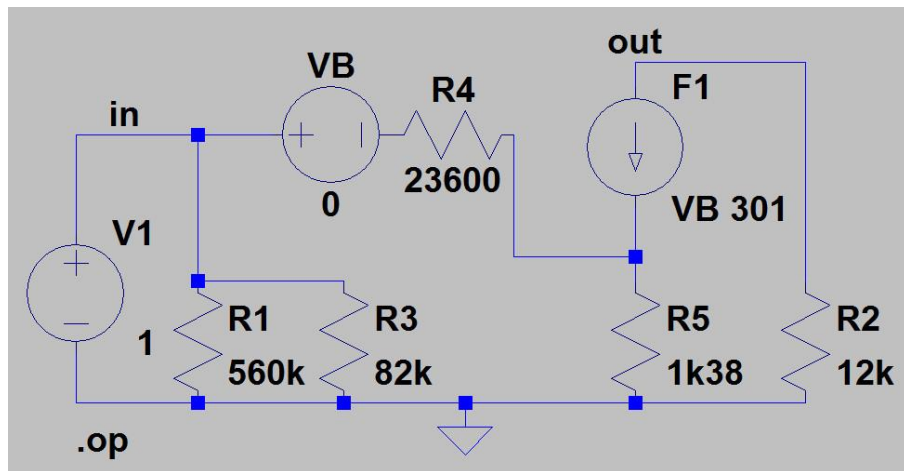
V tomto případě je žádoucí, aby zesilovač fungoval správně. To znamená, aby nezkresloval. Například u efektu Sam Ash Fuzz je to naopak a výsledný zvuk je velice ovlivněn zkreslením tranzistorového zesilovače.

Kondenzátor C1 a C2 slouží k odfiltrování stejnosměrné složky signálu. Použitý tranzistor má označení Bc547b. Rezistor v emitoru R4 zajišťuje teplotní stabilitu. Rezistory R6 a R7 představují potenciometr na výstupu (volume). Funkce rezistoru R5 paralelně s kondenzátorem C3 bude probrána později. Pro správnou funkci zesilovače je třeba, aby byl vhodně nastavený jeho pracovní bod a zesilovač tak měl co největší rozkmit. To je zajištěno správně zvolenými rezistory R1, R2 a R3 [4].

Pro ověření správné funkce je tedy po odpojení obvodu LFO a zdroje vstupního sinusového signálu provedena op (operating point) analýza. Napětí v uzlu, kde je kolektor tranzistoru,

kondenzátor C2 a rezistor R2 by tedy mělo být cca poloviční oproti napájecímu napětí, které je 9 V. Po výpočtu op analýzy vyšlo toto napětí 4,99 V, což je pro tuto aplikaci uspokojivé.

Vstupní odpor a napěťový přenos byl spočítán v programu LTSpice při výstupu na prázdko, kde byl nahrazen bipolární tranzistor jeho NLO a napěťový zdroj s kondenzátory zkratem viz obrázek 5. Po op analýze byly zjištěny parametry h21 a h11, které jsou potřebné k realizaci NLO tranzistoru. Parametr h22 byl zanedbán. Parametr h11 (vstupní impedance při výstupu nakrátko) vyšel 23600 Ω a parametr h21 (proudový přenos při výstupu nakrátko) vyšel 301 [5].



Obrázek 5 – NLO zesilovače u efektu tremolo

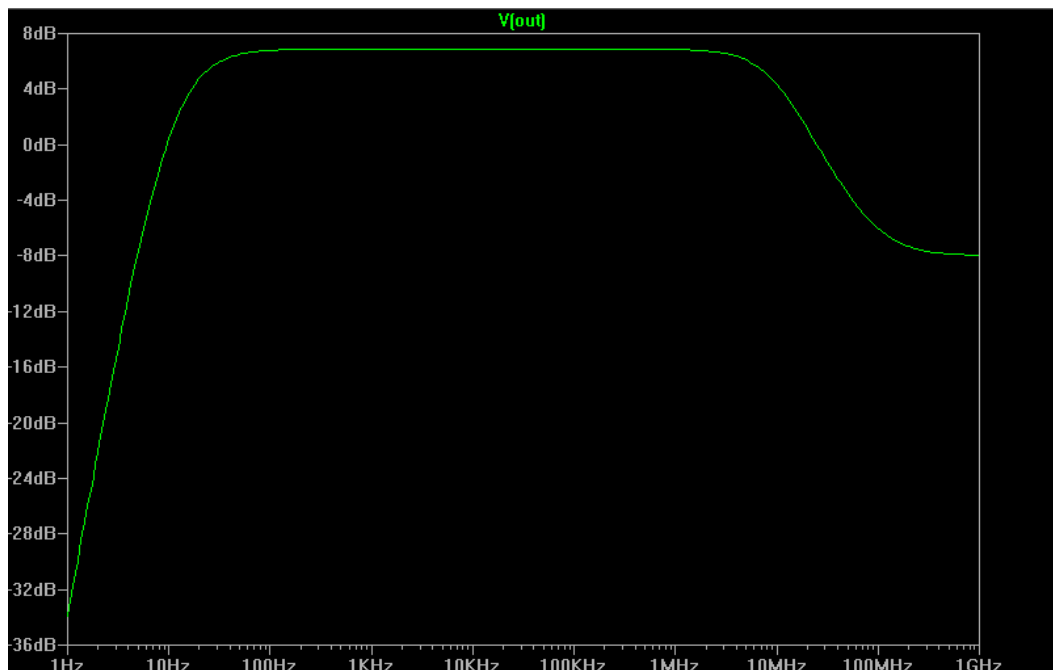
Nyní bylo možné spočítat vstupní odpor a přenos napětí podle vzorců:

$$Au = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-8,2 V}{1 V} = -8,2$$

$$R_{vst} = \frac{V_{in}}{-I_{vin}} = \frac{1 V}{-(-1,625 * 10^{-5}) A} = 61,538 k\Omega$$

Napěťový přenos neboli zesílení vyšlo záporné, jelikož analyzujeme tranzistorový zesilovač v zapojení SE, který posouvá fázi o 180°. Dále bude spočítán výstupní odpor. Pro jeho výpočet musí být schéma upraveno. Do výstupu přidáme pomocný zdroj a vstup bude nahrazen zkratem (vstup nakrátko) [5]. Výpočet výstupního odporu:

$$R_{výst} = \frac{V_{out}}{-I_{out}} = \frac{1 V}{-(-8,33 * 10^{-5}) A} = 12 k\Omega$$



Obrázek 6 – Frekvenční charakteristika zesilovače u efektu tremolo

Z frekvenční charakteristiky jsou odečteny pomocí kurzorů v programu LTSpice mezní kmitočty. To jsou kmitočty, u kterých dochází k poklesu o 3 dB. Z analýzy bylo zjištěno, že dolní mezní kmitočet je 15,8 Hz a horní 11,1 MHz viz obrázek 6.

Jelikož by v tomto efektu primárně nemělo docházet ke zkreslení, tak poslední parametr který je třeba spočítat, je takzvané THD neboli zkreslení signálu, kterého se dá dosáhnout pomocí FT (Fourierova transformace) funkce v programu LTSpice.

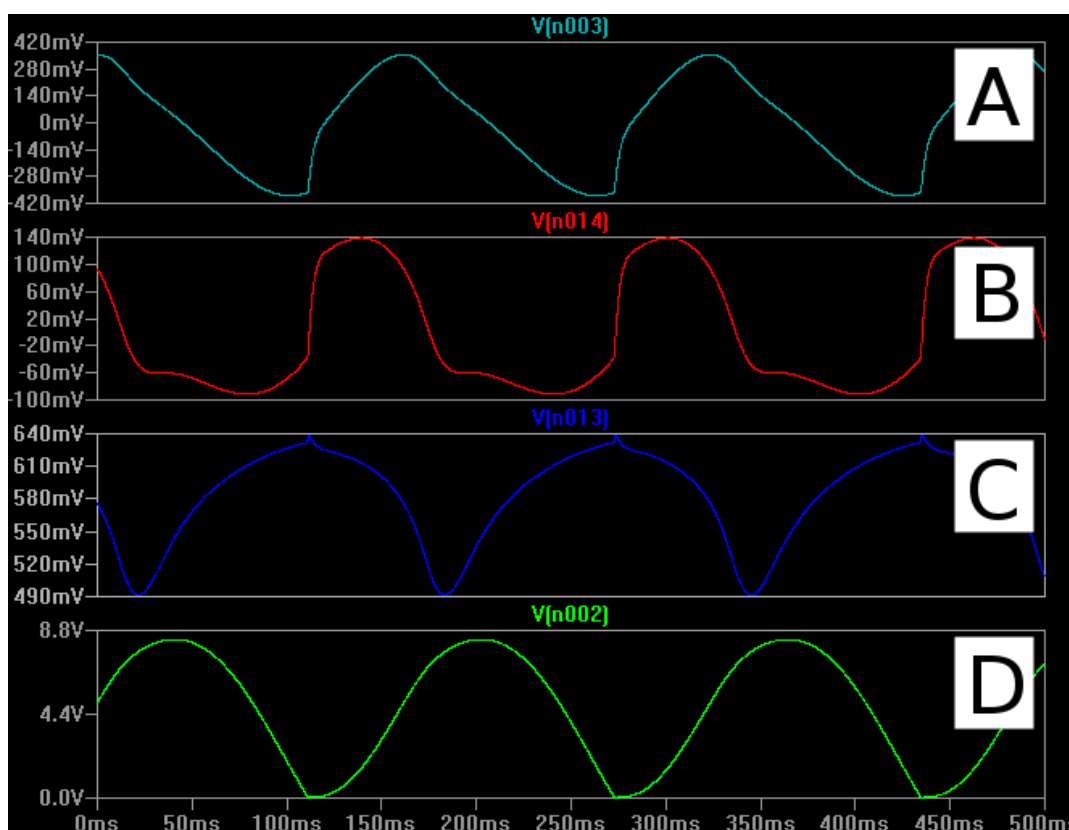
Se zvyšováním amplitudy vstupního signálu zkreslení výstupního signálu prudce roste. Při amplitudě vstupního signálu 400 mV je THD výstupního signálu 1,66 %, při 600 mV je 6,4 % a při 800 mV je dokonce 15,9 %.

Další část obvodu, která bude analyzována je oscilátor, jehož výstup je přiveden na gate tranzistoru Bs107a. LFO oscilátor hraje v zapojení důležitou roli, jak již bylo zmíněno v teoretické části u rozboru funkce efektu tremolo. Tento oscilátor je takzvaný phase shift oscillator (oscilátor s posunem fáze) [6].

Oscilátor s posunem fáze je složen z RC derivačních článků, které při rozkmitání oscilátoru na určitou frekvenci celkově posouvají fázi o 180°. V uzlu, kde se nachází kondenzátor C5 a C7, se fáze invertovaného a zesíleného signálu z kolektoru tranzistoru Bc547b viz obrázek 7 graf D posune o 60° viz obrázek 7 graf A. Následuje uzel mezi kondenzátorem C7 a C6, kde

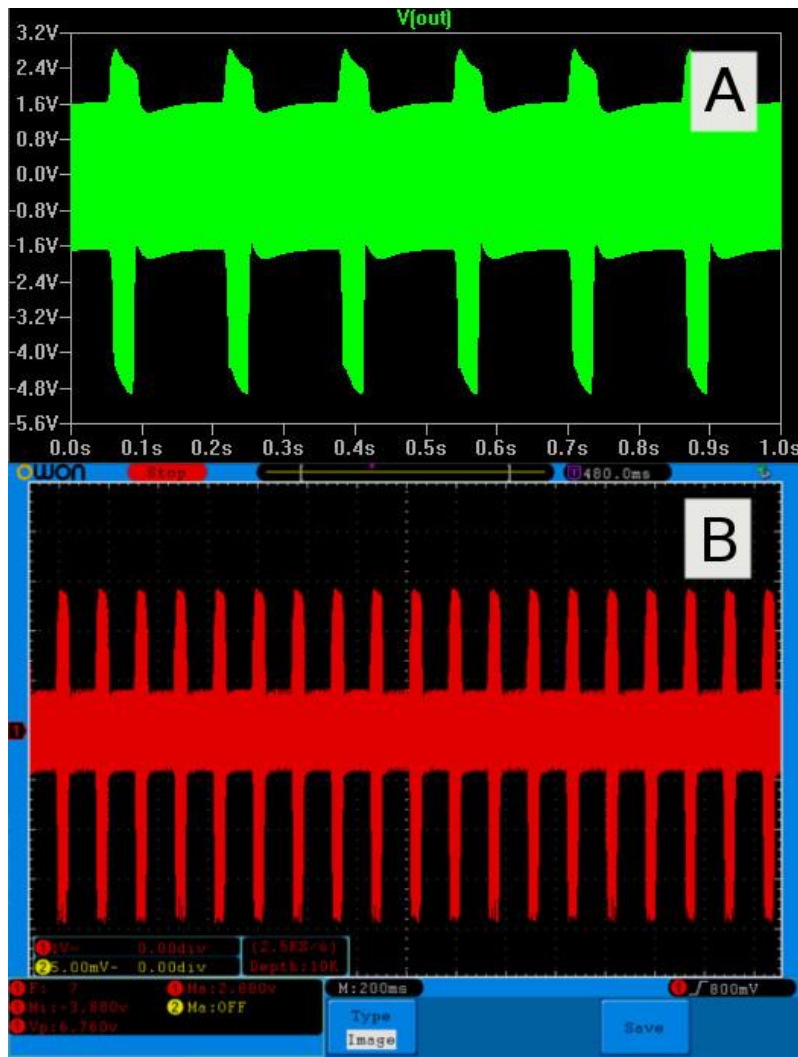
se posouvá jeho fáze o dalších 60° viz obrázek 7 graf B a k poslednímu posunu o 60° (celkově o 180°) dochází v bázi tranzistoru za kondenzátorem C6 viz obrázek 7 graf C [6].

Potenciometr složený z odporu R15 a R16 slouží k nastavení frekvence oscilace, která se podle simulace vyskytuje v intervalu od 2,6 Hz do 6,13 Hz. Odpor R8 a R12 slouží k omezení bázevého a kolektorového proudu a odpor R9 k izolaci obvodu od vnějšího zatížení. Kondenzátor C4 slouží k odfiltrování stejnosměrné složky ze signálu. Potenciometr složený z odporu R10 a R11 slouží k ovlivňování amplitudy signálu vystupujícího z oscilátoru, na jejíž velikosti závisí takzvaná hloubka efektu (rozdíl amplitudy zesíleného a nezesíleného signálu).



Obrázek 7 – Fázový posun u oscilátoru v efektu tremolo

Celková funkce obvodu je tedy taková, že když je na tranzistor M3 přivedeno napětí z LFO, elektrolyt C3 je uzeměn a zkratuje odpor R5 v emitoru tranzistoru Q1, a tím zvýší zesílení zesilovače, což vytváří výsledný efekt viz obrázek 8 [4].

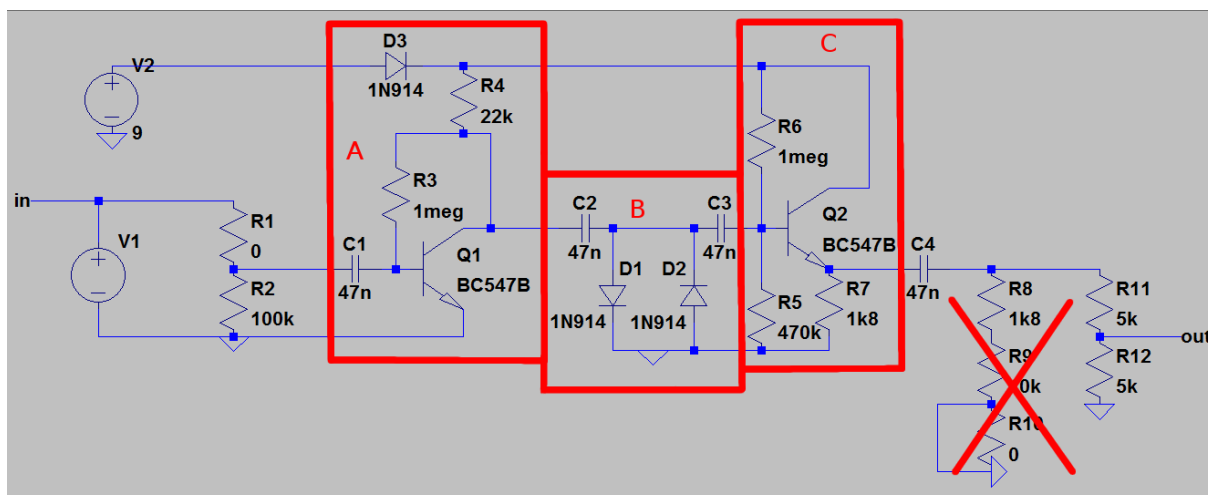


Obrázek 8 – Funkce tremola a) simulace, b) osciloskop

3.2 Fuzz

Další efekt, jehož zapojení bude analyzováno je Sam Ash Fuzz. Jeho schéma bylo rozděleno na tři hlavní části viz obrázek 8. V sekci A se nachází zesilovač vstupního signálu, v sekci B se nachází limitační diody a v sekci C emitorový sledovač. Vypuštění přeškrtnuté části z finálního zapojení bude zdůvodněno v rozboru.

Vstupní signál jde přes napěťový dělič (potenciometr), který je složený z odporů R1 a R2. Dále pokračuje přes kondenzátor C1, jehož funkce je filtrování stejnosměrné složky signálu. V cestě následuje zesilovač, který je v zapojení s napěťovou paralelní zpětnou vazbou a obsahuje bipolární tranzistor Bc547b. To znamená, že rezistorem R3 se přivádí proud na vstup zesilovače. Tento proud je závislý na výstupním napětí, a proto se tato zpětná vazba nazývá napěťová. Paralelní se nazývá proto, že je zpětná vazba vedena paralelně k zesilovacímu prvku, což je v tomto případě tranzistor [4].



Obrázek 9 - Zapojení efektu Sam Ash Fuzz

Následovat budou výpočty určitých parametrů zesilovače, kterými jsou: napěťový přenos, vstupní a výstupní odpor, dolní mezní kmitočet zesilovače a horní mezní kmitočet.

U tohoto zesilovače v zapojení SE je záměrně jeho klidový pracovní bod nastaven tak, aby jeho výstupní napětí při odpojeném vstupním signálu nebylo poloviční oproti napětí napájecímu a tranzistor tak mohl plnit funkci zkreslovacího prvku. Výstupní napětí (na kolektoru tranzistoru) by mělo být při odpojeném vstupním signálu cca 4,2 V (kvůli úbytku 0,6 V na diodě D3), ale v tomto případě je 1,66 V.

V této analýze bude tedy počítáno se zesilovačem samotným, a proto bude ze zapojení vynechán vstupní potenciometr tvořený odpory R1 a R2 a dioda D3. Z důvodu úbytku 0,6 V na diodě D3 bude uvažován napájecí zdroj o napětí 8,4 V.

Parametr h₂₁ po op analýze zesilovače v programu LTSpice vyšel 288 a parametr h₁₁ vyšel 24700 Ω. V dalším kroku byl sestaven NLO zesilovače viz obrázek 9. Díky němu po provedení op analýzy bylo možné zjistit napěťový přenos a vstupní odpor [5].

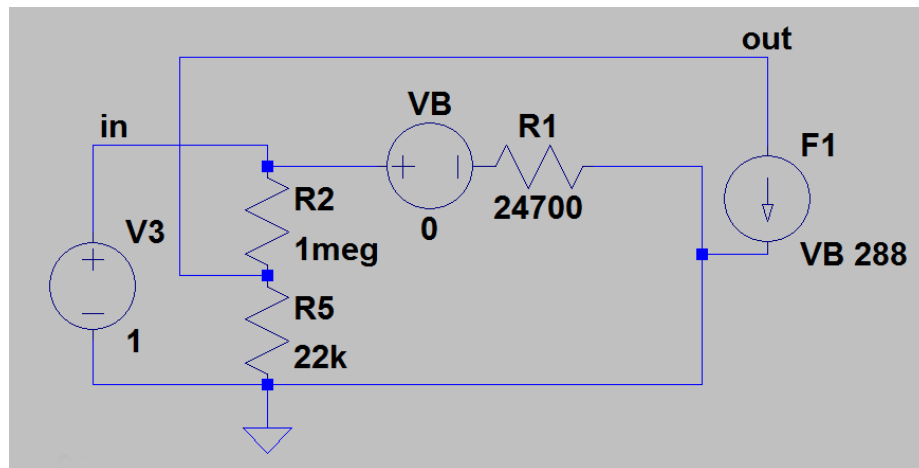
Výpočet zesílení a vstupního odporu:

$$Au = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-250 \text{ V}}{1 \text{ V}} = -250$$

$$R_{vst} = \frac{V_{in}}{-I_{vin}} = \frac{1 \text{ V}}{-(-2,92 * 10^{-4}) \text{ A}} = 3,4 \text{ k}\Omega$$

Po úpravách NLO zesilovače, obdobně jako tomu bylo u efektu tremolo, se mohl po provedení op analýzy vypočítat výstupní odpor zesilovače:

$$R_{výst} = \frac{V_{out}}{-I_{out}} = \frac{1 V}{-(-1,645 * 10^{-5})A} = 60, k\Omega$$

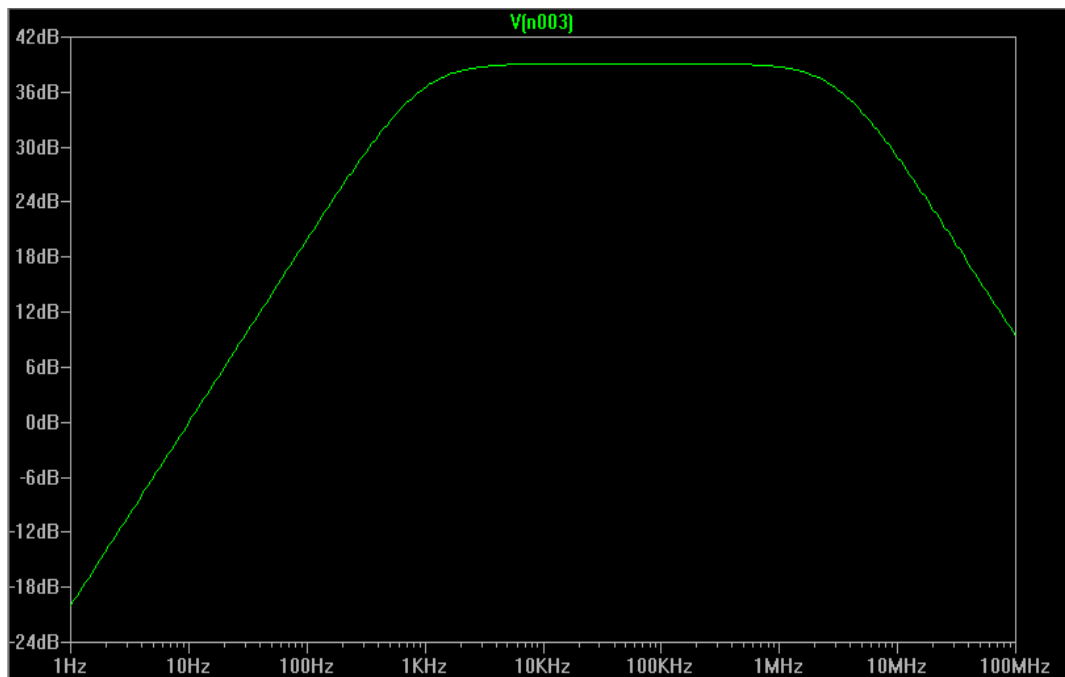


Obrázek 10 - NLO zesilovače u efektu fuzz

Horní mezní kmitočet zesilovače vyšel 3,2 MHz a dolní mezní kmitočet vyšel 880 Hz viz obrázek 11. Dolní mezní hodnota 880 Hz se může zdát pro zvukový signál příliš vysoká, ale i když u ní nastává pokles o 3 dB, zesílení na tomto kmitočtu je stále velmi vysoké. Tyto mezní kmitočty by se samozřejmě měnily různým nastavením potenciometru složeného z odporu R1 a R2 na vstupu, ale u analýzy zesilovače je brán v úvahu pouze samotný zesilovač.

V případě, že je hodnota odporu R1 ve vstupním potenciometru snižována, zesilovač signál více ořezává a zkreslení je výraznější. Jelikož v tomto efektu je zkreslení způsobené tranzistorovým zesilovačem žádané, bude vypuštěn výpočet THD.

Signál, který je zesílený a zkreslený, je následně limitován antiparalelně zapojenými diodami. Funkce těchto diod byla vysvětlována v teoretické části u rozboru funkce efektu distortion. Limitační diody jsou však aplikovány i v jiných typech efektů jako například v tomto případě. Signál vstupující do tohoto bloku je tedy limitován úbytkem napětí na diodách, což znamená od cca 0,6 V výše a od -0,6 V níže.

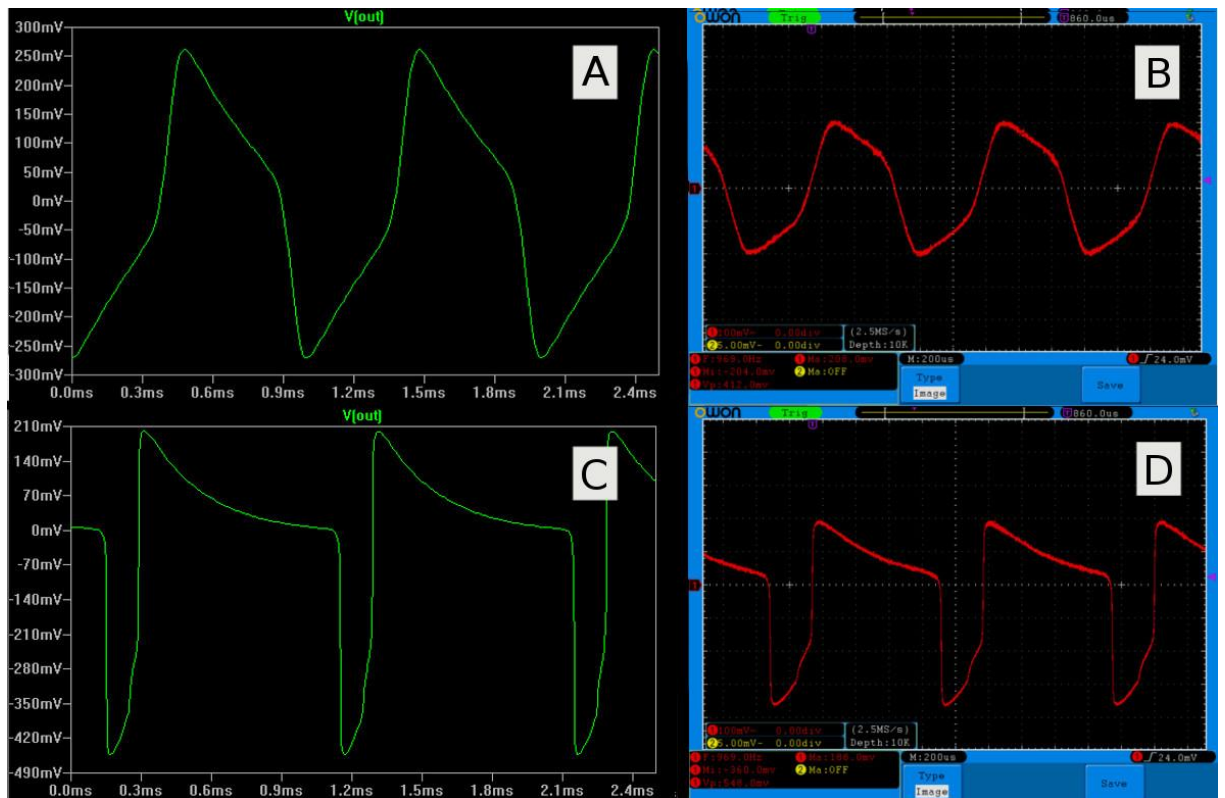


Obrázek 11 - Frekvenční charakteristika zesilovače u efektu fuzz

Po bloku limitačních diod vstupuje signál do báze tranzistoru Q2 (Bc547b), který je v zapojení SE a plní funkci emitorového sledovače. Kondenzátor C4 filtruje stejnosměrnou složku a potenciometr, složený z odporu R11 a R12 plní funkci ovládání hlasitosti, jelikož je zapojený jako odporový dělič a snižuje nebo zvyšuje amplitudu výstupního zkresleného signálu [4].

Větev, která byla složena z odporu R8 a potenciometru složeného z odporu R9 a R10 byla po fázi, kde byl efekt testován v aplikaci s elektrickou kytarou a kytarovým aparátem zcela odstraněna, jelikož při snižování odporu v této větvi potenciometrem, byl výsledný zvuk velice „tenký“ a téměř nepoužitelný.

Výsledné průběhy, které zobrazují zkreslený sinus efektem Sam Ash Fuzz viz obrázek 12, jsou zobrazeny s různě přidaným gainem, který je v zapojení ovládán potenciometrem na vstupu. U průběhů je zřejmé, že dochází k takzvané asymetrické deformaci. Na obrázku je zaznamenán jak průběh ze simulací, tak i průběh zaznamenaný osciloskopem při měření reálného obvodu. Lze si tedy všimnout zkreslení efektu při malém gainu viz obrázek 12 průběh A a B a při gainu maximálním viz obrázek 12 průběh C a D.



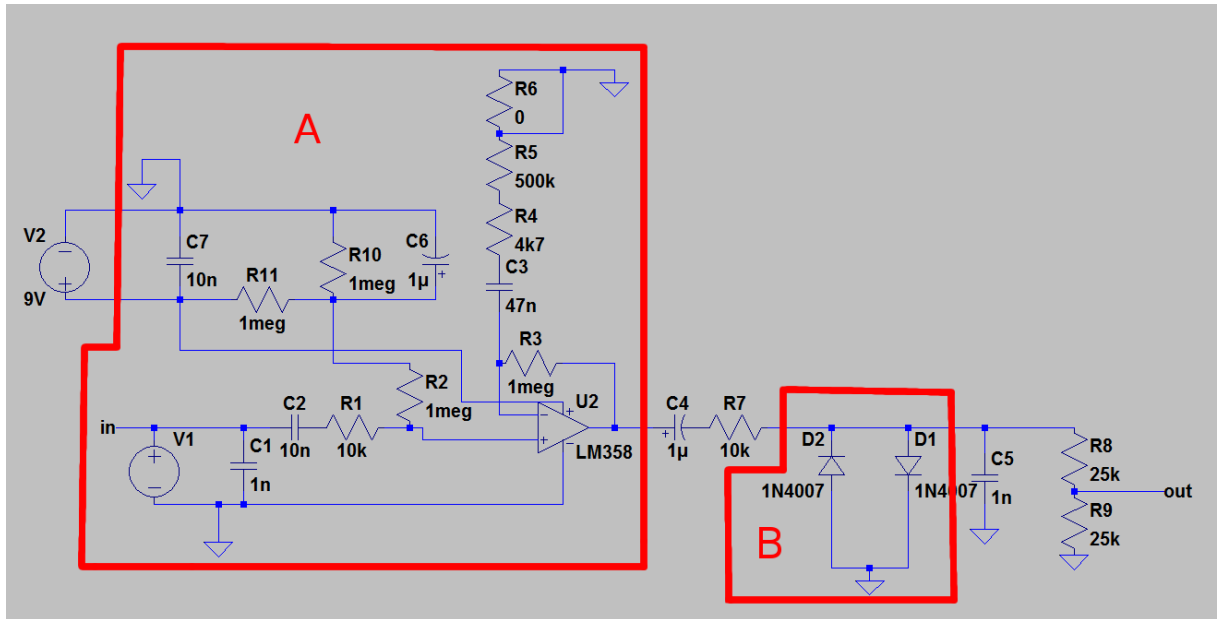
Obrázek 12 - Funkce efektu fuzz a) c) simulace, b) d) osciloskop

3.3 Distortion

Další efekt, u kterého bude provedena analýze, je efekt distortion, jehož zapojení se skládá ze dvou základních částí. První část je zesilovač viz obrázek 13 sekce A a druhá jsou limitační antiparalelně zapojené diody viz obrázek 13 sekce B.

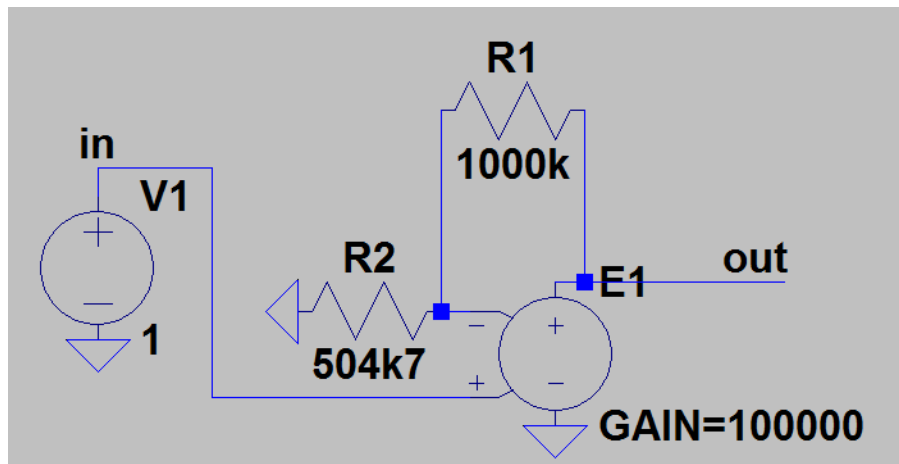
Operační zesilovač LM358-N je zde použit v aplikaci neinvertujícího zesilovače. Jelikož v tomto zapojení nemá operační zesilovač symetrické napájení, lze si všimnout, že je zde vytvářen takzvaný umělý střed výstupního napětí. To znamená, že při nulovém vstupním signálu bude na výstupu 4,5 V, což je zapříčiněno napětím, které jde ze zdroje 9 V přes dělič složený z odporu R11 a R10 do neinvertujícího vstupu operačního zesilovače [4].

Následovat budou výpočty určitých parametrů zesilovače, kterými jsou: napěťový přenos, vstupní odpor, dolní mezní kmitočet zesilovače a horní mezní kmitočet.



Obrázek 13 - Zapojení efektu Ross distortion

Pro zjištění vstupního odporu a napěťového přenosu bylo potřeba sestrojít NLO samotného zesilovače s OZ viz obrázek 13. Zesilovač však obsahuje potenciometr složený z odporu R6 a R5, který mění hodnotu jeho zesílení, a proto bude počítáno s krajními nastaveními tohoto potenciometru, který v NLO představuje odpor R2 [5]. Hodnota parametru GAIN v NLO je přebrána z datasheetu operačního zesilovače LM358-N [7].



Obrázek 14 - NLO zesilovače u efektu distortion

Pro krajní hodnotu R2 504,7 kΩ vyšel po op analýze v programu LTSpice napěťový přenos 2,98. Pro druhou krajní hodnotu R2 4,7 kΩ vyšel tento přenos 213. Oba výsledky odpovídají hodnotám, které jsou získány po dosazení do vzorce pro výpočet zesílení neinvertujícího zesilovače:

$$A_{u1} = 1 + \frac{R1}{R2} = 1 + \frac{1000 \text{ k}\Omega}{504,7 \text{ k}\Omega} = 2,98$$

$$A_{u2} = 1 + \frac{R1}{R2} = 1 + \frac{1000 \text{ k}\Omega}{4,7 \text{ k}\Omega} = 213$$

Z výsledků je tedy zřejmé, že zesílení analyzovaného zesilovače je v intervalu od 2,98 do 213.

Proud na vstupu vyšel pro oba případy 0. Spíš je ale fakt, že se tato veličina blíží k nule, a proto je tedy vstupní odpor tohoto zesilovače velmi velký (blíží se k nekonečnu). Výpočet vstupního odporu:

$$R_{vst} = \frac{V_{in}}{-I_{Vin}} = \frac{1 \text{ V}}{0 \text{ A}} = \infty$$

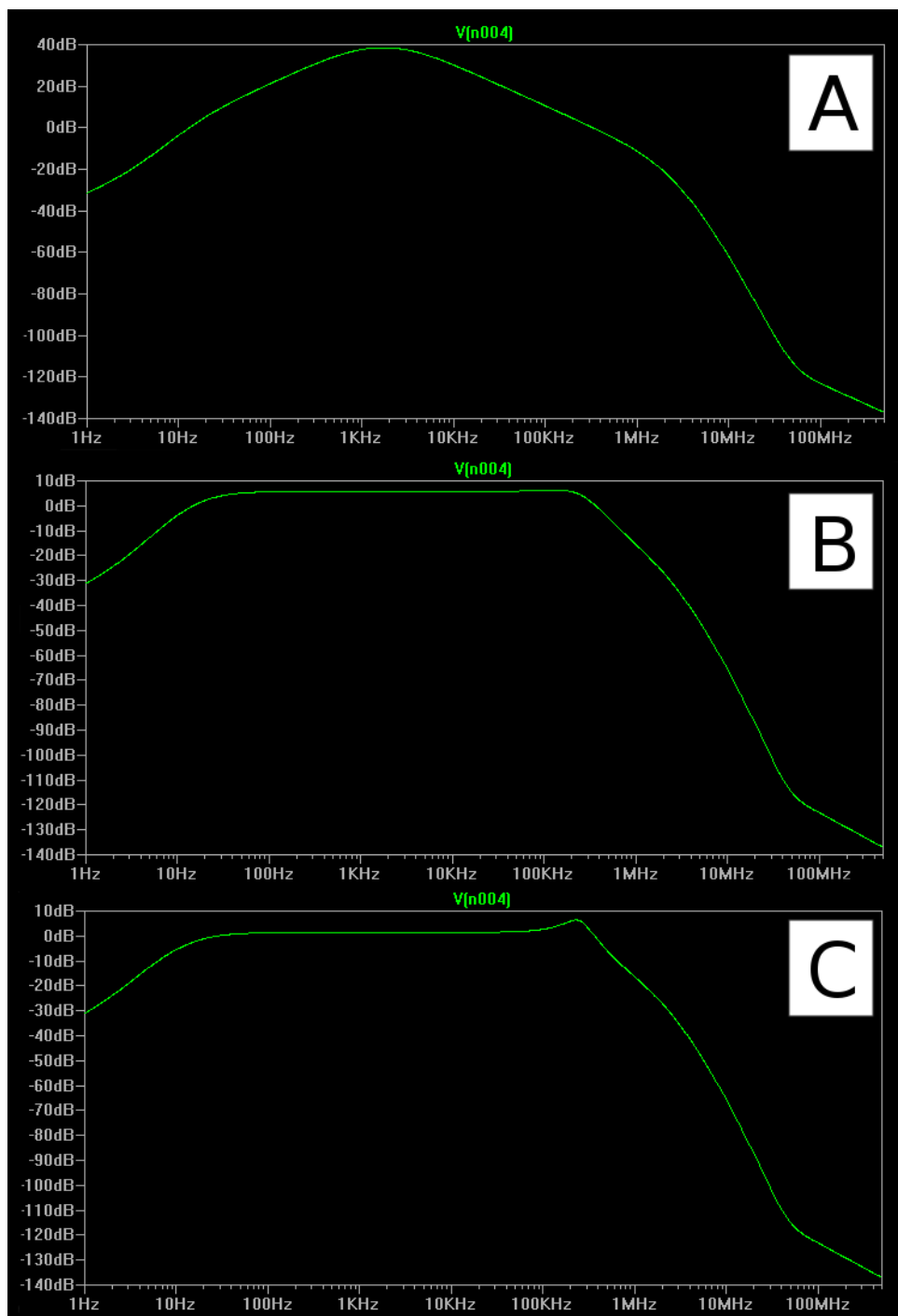
Analýza dolního a horního mezního kmitočtu je také závislá na nastavení potenciometru složeného z odporu R5 a R6 a tím pádem byla provedena pro pět různých hodnot odporu R5.

Tabulka 1 Mezní kmitočty zesilovače efektu distortion pro pět různých hodnot odporu R5

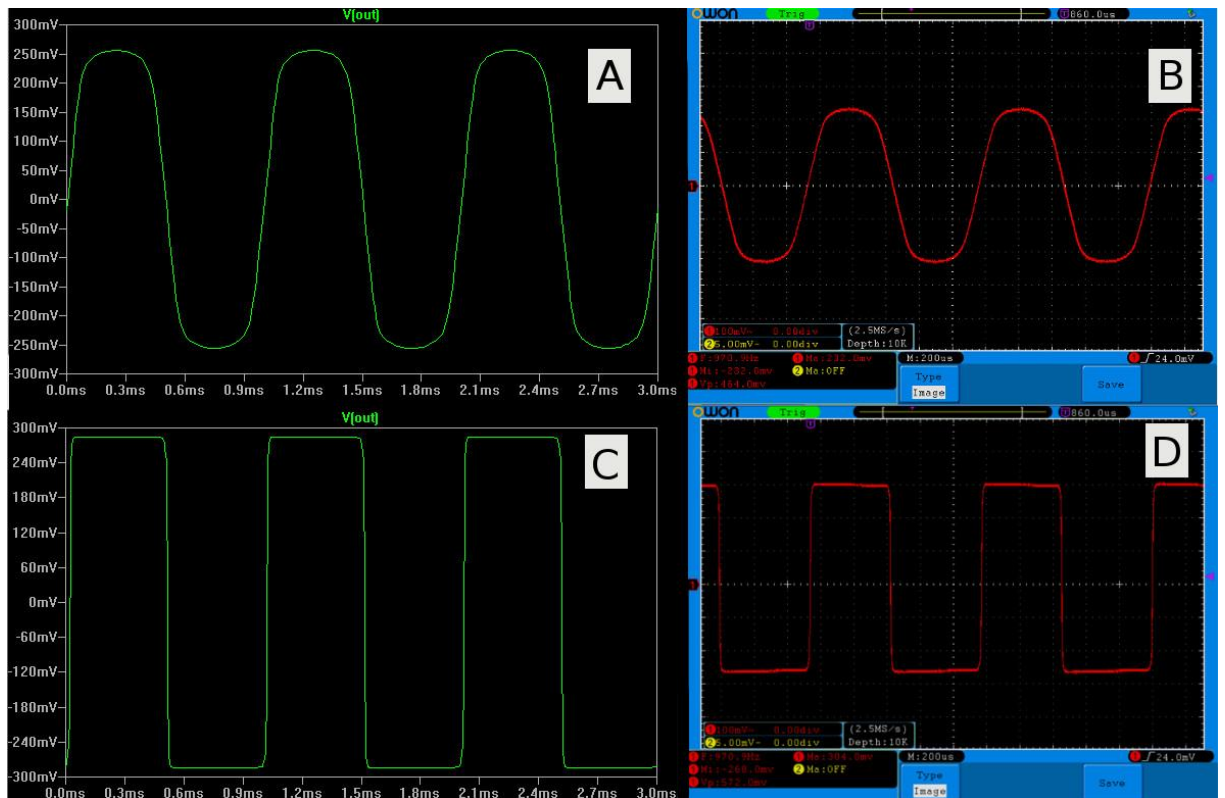
-	R5 = 0 Ω	R5 = 125 kΩ	R5 = 250 kΩ	R5 = 375 kΩ	R5 = 500 kΩ
dolní f0 [Hz]	617	33,4	22,5	19	17,5
horní f0 [kHz]	4,6	132,5	292	361,4	394

Ze zjištěných dat ze simulací (Tabulka 1) lze zjistit, že při zvyšování hodnoty odporu R5 se zmenšuje dolní mezní kmitočet a horní mezní kmitočet se naopak zvětšuje.

Druhá důležitá část obvodu, jak již bylo zmíněno, jsou limitační antiparalelně zapojené diody D1 a D2. Zde byly pro tento účel použity křemíkové diody typu 1N4007. Signál vstupující do tohoto bloku je stejně jako u efektu Sam Ash Fuzz limitován úbytkem napětí na diodách, což znamená od cca 0,6 V výše a od -0,6 V níže. Kondenzátor C4 slouží pro filtrování stejnosměrné složky signálu a potenciometr složený z odporu R8 a R9 zmenšuje amplitudu signálu, a tím pádem plní funkci ovládání hlasitosti (volume).



Obrázek 15 - Frekvenční charakteristika u efektu distortion a) $R5 = 0 \Omega$, b) $R5 = 250 \text{ k}\Omega$, c) $R5 = 500 \text{ k}\Omega$



Obrázek 16 - Funkce efektu distortion a) c) simulace, b) d) osciloskop

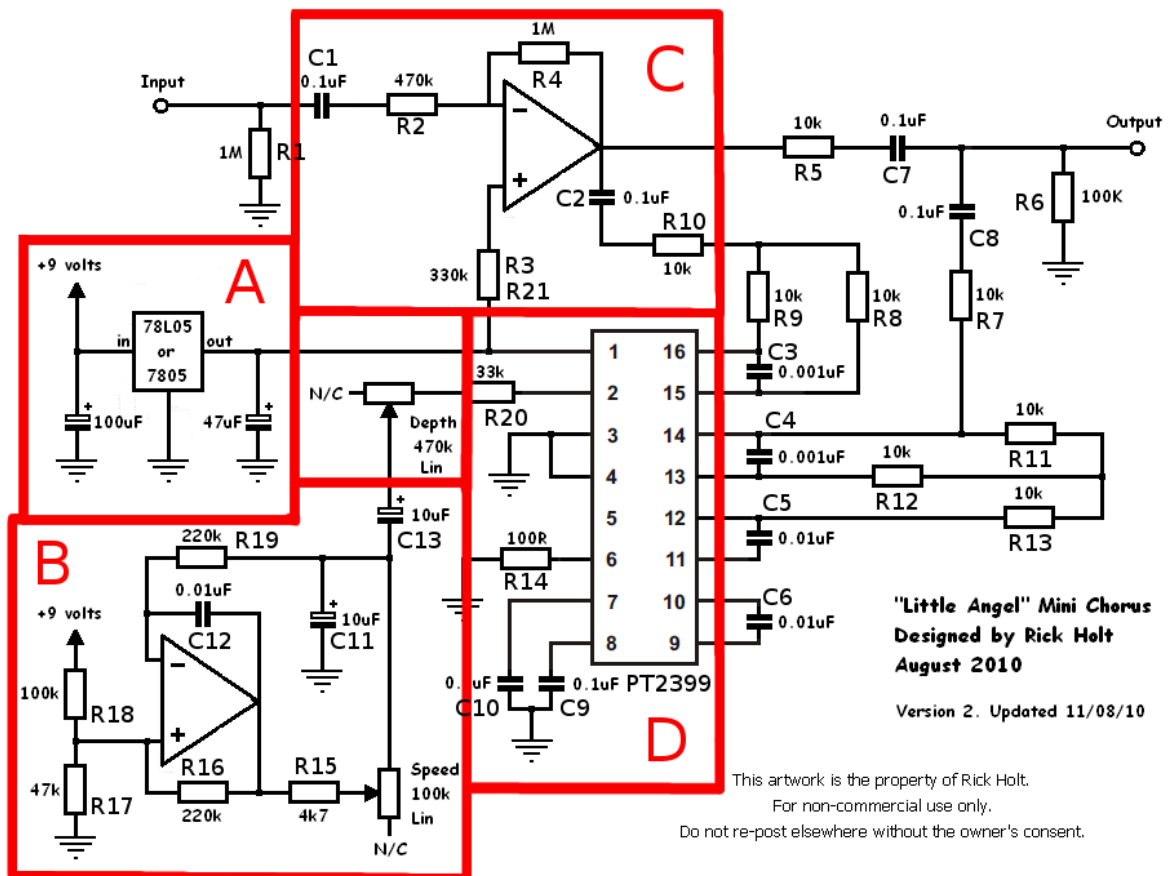
Funkce efektu byla jako u předchozích analýz efektů nejdříve ověřena pomocí simulačního programu LTSpice a poté pomocí osciloskopu s reálným obvodem viz obrázek 15. Simulace a snímky z osciloskopu zachycují funkci obvodu při nejvyšším zesílení a malém zesílení zesilovače, které je možné nastavit pomocí potenciometru GAIN složeného z odporu R6 a R5. U nejvyššího zesílení viz obrázek 15 graf C a D můžeme pozorovat skoro dokonalý obdélníkový průběh, který je zapříčiněn velkým zesílením zesilovače a uplatněním antiparalelně zapojených diod. Tento typ modulace signálu, o kterém byla zmínka v teoretické části, se nazývá hard clipping viz obrázek 2.

3.4 Chorus

Poslední efekt, u kterého bude provedena analýza zapojení je efekt chorus Little Angel. Tento efekt, jak již bylo zmíněno, je dílem Ricka Holta, který jeho zapojení zveřejnil v roce 2010.

Little Angel se oficiálně neprodává, jde spíše o dílo nadšence a lidé co ho chtějí vlastnit, si ho musí sami vyrobit. Jelikož nejde o oficiální výrobek, zapojení není zcela bezchybné. Existuje pár jeho modifikací, ale pro tento projekt byla vybrána základní verze z roku 2010.

Jeho zapojení se skládá ze 4 hlavních částí. První část je stabilizátor napětí viz obrázek 16 sekce A, druhá část je invertující zesilovač s OZ viz obrázek 16 sekce C, třetí část je LFO oscilátor viz obrázek 16 sekce B a poslední část je echo procesor PT2399 viz obrázek 16 sekce D.

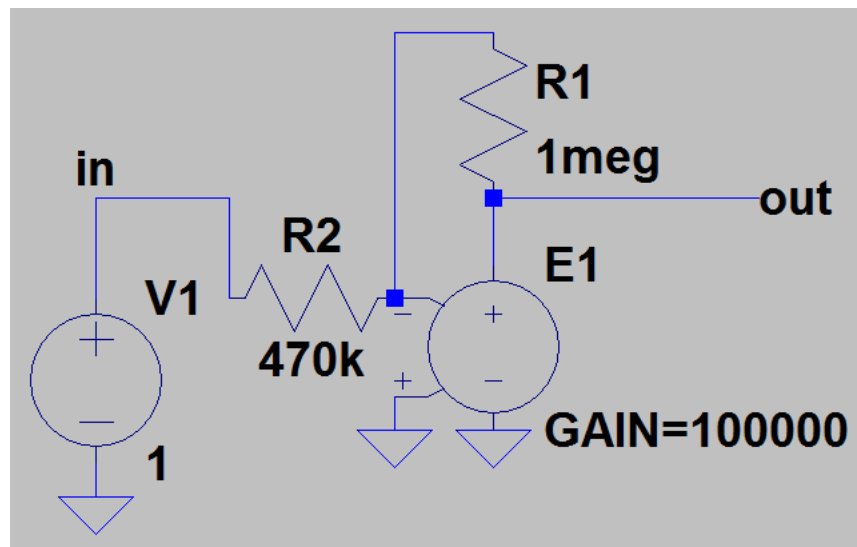


Obrázek 17 - Zapojení efektu chorus Little Angel [17]

Jako první bude analyzován zesilovač. V tomto případě jde o invertující zesilovač s operačním zesilovačem LM358-N. I u tohoto zesilovače je díky tomu, že nemá symetrické napájení, vytvářen takzvaný umělý střed výstupního napětí, jako tomu bylo u efektu distorion [4].

Následovat budou výpočty určitých parametrů zesilovače, kterými jsou: napěťový přenos, vstupní odpor, dolní mezní kmitočet zesilovače a horní mezní kmitočet.

Pro zjištění vstupního odporu a napěťového přenosu bylo potřeba sestrojít NLO samotného zesilovače s OZ viz obrázek 17 [5].



Obrázek 18 - NLO zesilovače u efektu chorus

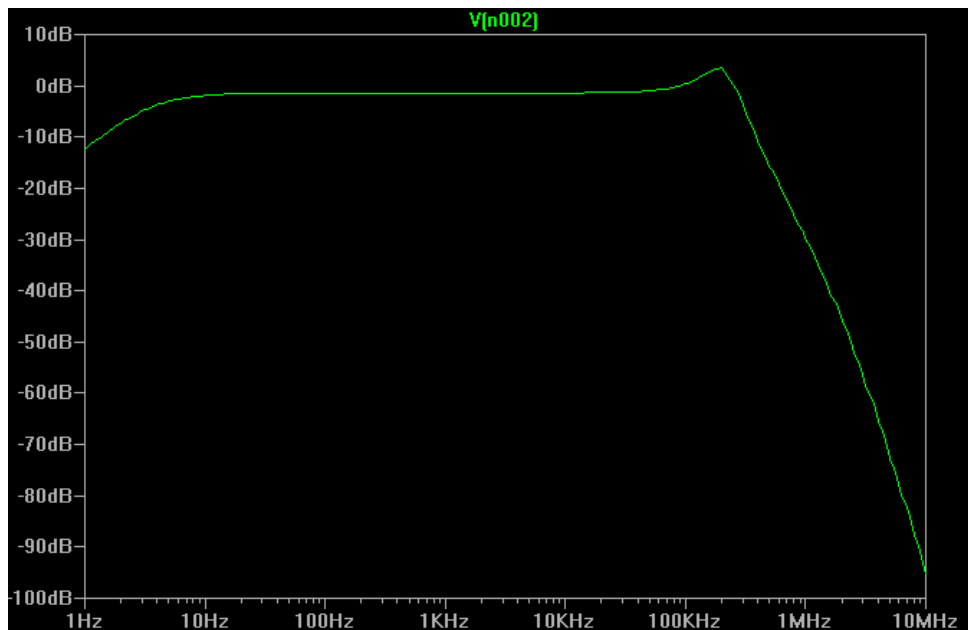
Hodnota parametru GAIN v NLO je přebrána z datasheetu operačního zesilovače LM358-N [7].

Napěťový přenos po provedení op analýzy v programu LTSpice vyšel -2,12 a vstupní odpor vyšel 470 kΩ. Hodnota zesílení vypočítaná pomocí NLO v programu LTSpice odpovídá hodnotě, která je získána po dosazení do vzorce pro výpočet zesílení invertujícího zesilovače:

$$A_{u1} = -\frac{R1}{R2} = \frac{1000 \text{ k}\Omega}{470 \text{ k}\Omega} = -2,12$$

$$R_{vst} = \frac{V_{in}}{-I_{Vin}} = \frac{1}{-(-2,127 * 10^{-6})A} = 470 \text{ k}\Omega$$

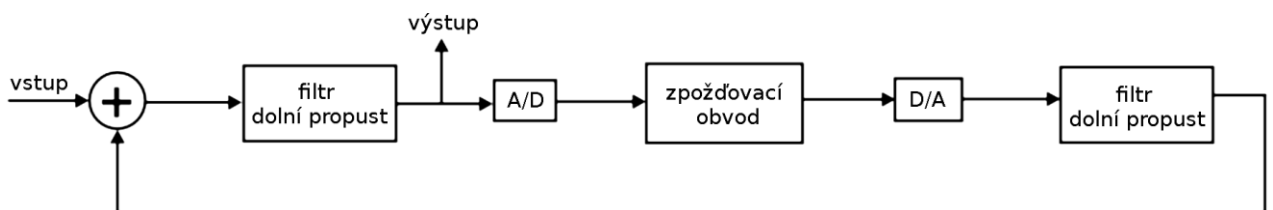
Z analýzy mezních kmitočetů bylo zjištěno, že dolní mezní kmitočet zesilovače je 3,4 Hz a horní mezní kmitočet je 307,8 kHz viz obrázek 18.



Obrázek 19 - Frekvenční charakteristika zesilovače u efektu chorus

Další důležitá část obvodu je LFO oscilátor, který obsahuje operační zesilovač LM358-N, dva potenciometry a vstupuje jako referenční signál do echo procesoru PT3299. Jak je z popisu potenciometrů na schématu viz obrázek 16 zřejmé, jeden ovlivňuje amplitudu (depth) a jeden frekvenci (speed) výstupního signálu z oscilátoru. Oscilátor osciluje v intervalu od 1,3 Hz do 12,88 Hz.

Samotný echo procesor PT2399 je v tomto obvodu stěžejní, jelikož díky němu, je docíleno výsledného charakteristického zvuku efektu chorus. Je zřejmé, že jeho zapojení v tomto efektu je inspirováno doporučeným zapojením, které je dostupné v datasheetu [8]. Jak již bylo zmíněno, důležitým prvkem efektu chorus je zpoždovací článek. Zde ke zpoždování vstupního signálu dochází způsobem, že zesílený signál vstupuje do integrovaného obvodu PT2399, kde prochází filtrem dolní propust a následně je převeden na posloupnost bitů pomocí A/D převodníku. Tento, již digitálně reprezentovaný signál, vstupuje do zpoždovacího obvodu a následně je pomocí D/A převodníku převeden na analogový signál, který je demodulován filtrem dolní propust a přimíchán k původnímu zesílenému signálu [8]. Výsledný signál jde přes filtr dolní propust na výstup viz obrázek 19.



Obrázek 20 - Blokové schéma vytváření echa

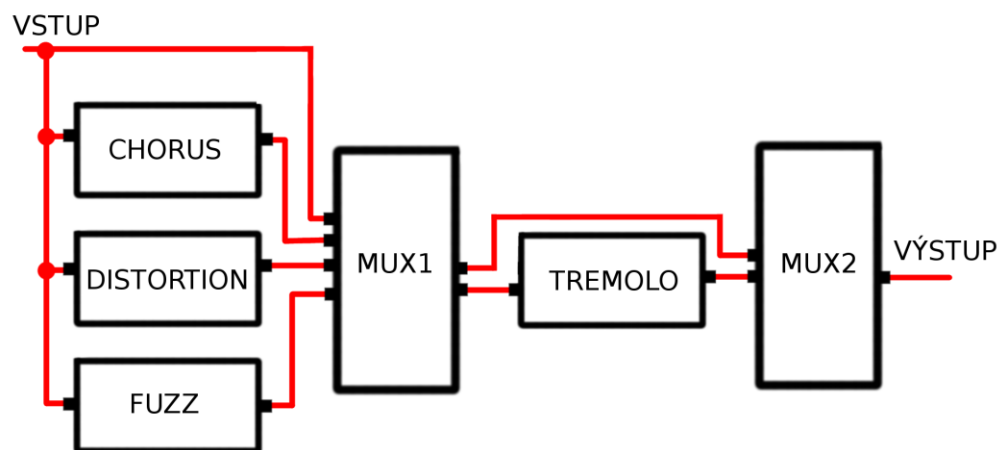
4 ŘÍZENÍ EFEKTŮ

4.1 Koncepte řízení

Pro přepínání mezi efekty byly použity dva multiplexory 74HCT4051N.

Koncepce přepínání efektů je taková, že si uživatel bude moci pomocí tlačítek navolit, který efekt si vybere a na efekt chorus, fuzz a distortion bude možné navíc aplikovat efekt tremolo, což znamená, že v tomto ohledu bude 8 různých možností nastavení efektu (8 různých cest pro signál) viz obrázek 20.

Na ovládání efektu, co se týče primárních nastavení, byla použita tři tlačítka a jeden přepínač. Prvním tlačítkem se vybírá z efektu chorus, fuzz a distortion. Druhým se efekt, který je vybraný prvním tlačítkem, aktivuje a třetím se aktivuje tremolo, které může být použito na již zkreslený, nebo čistý kytarový signál. U efektu tremolo lze navíc pomocí přepínače zvolit způsob ovládání frekvence jeho LFO. První způsob je manuální, což znamená, že je frekvence LFO ovládána pomocí potenciometru a druhý je bezdotykový, kde je frekvence LFO závislá na vzdálenosti nohy uživatele od efektové krabičky. Měření vzdálenosti je zde zajištěno ultrazvukovým modulem HC-SR04



Obrázek 21 - Blokové schéma multiplexování signálů

4.2 Řídící obvod a jeho funkce

Finální zařízení bude obsahovat 3 DPS. Dvě z nich budou obsahovat pouze efekty a jedna bude řídicí. Nyní bude vysvětlena funkce řídicího obvodu a budou představeny jeho prvky.

Pro ovládání multiplexorů a ostatních prvků efektu (signalizace, tlačítka, modul HC-SR04) byl na řídicí desce použit procesor ATmega8, který disponuje 23 vstupně-výstupními piny a s externím krystalem může být jeho frekvence až 16 MHz [9]. U procesoru ATmega8 je v tomto případě tento externí krystal použit a jeho frekvence je tedy zmiňovaných 16 MHz.

Dále se na této desce nachází stabilizátor napětí L78s05cv, jehož výstupní napětí je 5 V [11]. Je to z toho důvodu, že celé zařízení bude napájeno 9 V a nějaké obvody vyžadují napájecí napětí 5 V.

Přepínání mezi efekty zajišťují dva multiplexory 74HCT4051N, které jsou schopné multiplexovat analogový signál v rozmezí od -5 V do 5 V, což je patrné z datasheetu této součástky [10]. Tyto multiplexory vyžadují symetrické napájení, které v obvodu zajišťuje součástka Tma0505D, což je DC/DC měnič [12]. Multiplexory 74HCT4051N jsou 8-kanálové a ovládají se pomocí tří pinů: s0,s1 a s2. Změnou bitové kombinace na těchto pinech, lze tyto kanály různě propojovat [10].

Dále se na desce také nachází 6-pinový konektor na programování, konektor na modul HC-SR04, konektor na zelenou, červenou a RGB signalizační diodu, dva PLF konektory, které slouží k propojení hlavní řídicí desky s deskami, na kterých se nachází efekty a 5 konektorů na 3 tlačítka a dva přepínače.

4.2.1 Řízení ultrazvukem

Jak již bylo zmíněno tak jeden ze způsobů řízení frekvence LFO tremola je bezdotykový a frekvence LFO je závislá na vzdálenosti nohy uživatele od efektové krabičky.

Efekt tremolo obsahuje dva potenciometry, které ovládají frekvenci zmíněného LFO. Jeden je manuální a jeden digitální. Byl tedy vybrán digitální potenciometr MCP4151 s hodnotou celkového odporu 50 k Ω . Tento potenciometr má rozlišení 8 bitů (256 kroků) [13]. Jelikož

tento potenciometr bude sloužit jako náhrada potenciometru s hodnotou 25 k Ω , bude použita jen polovina jeho rozsahu.

Pomocí tří tranzistorů MOSFET, je zařízeno, aby se vždy uplatňoval pouze jeden potenciometr v závislosti na stavu ovládacího pinu z procesoru.

Bezdotykového řízení frekvence LFO efektu tremolo jde docílit pomocí modulu HC-SR04, což je ultrazvukový modul, který je schopný měřit vzdálenost od 2 cm do 400 cm [14]. Jeho funkce spočívá v tom, že modul vyšle z vysílače ultrazvukový signál který se odrazí od překážky nacházející se před modulem a vrátí se zpět do přijímače. Hodnota s kterou modul pracuje je čas, za který vyslaný signál dorazil zpět. Z této hodnoty už lze dopočítat vzdálenost překážky od modulu. Podle hodnoty vzdálenosti je poté příslušně nastaven digitální potenciometr v efektu tremolo.

4.3 Program

Neméně důležitou částí tohoto projektu je software, který bude správně řídit celé zařízení. Procesor ATmega8 byl programován v jazyce C.

Jako první byla naprogramováno přepínání efektů. Signalizace diod byla vymyšlena tak, že RGB dioda bude svítit třemi různými barvami podle toho, který efekt je vybrán. Ve stavu, kdy je efekt vybrán a není aktivován bude tato dioda příslušnou barvou blikat. Po aktivaci efektu dioda přestane blikat a bude zvolenou barvou nepřerušovaně svítit. Rozsvícení zelené diody bude signalizovat to, že je aktivováno tremolo. Volba způsobu ovládání frekvence LFO u tremola bude zajištěna páčkovým přepínačem. Ostatní volby (přepínání efektů a jejich aktivace) budou zprostředkovávány pomocí tří tlačítek.

Program je tedy vystavěn tak, že je nastaveno přerušení na přetečení časovače Timer/Counter0, který je 8 bitový. Hodiny časovače jsou nastavené s předděličkou 1024 a jeho výchozí hodnota v registru TCNT0 je 100. Vždy po přetečení je do registru TCNT0 tato hodnota opětovně uložena. V tomto přerušení, které se odehrává každých cca 10 ms, se kontrolují stavy jednotlivých tlačítek a přepínače. Na pinech procesoru, kde jsou připojena tlačítka a přepínač, jsou nastaveny pull-up odpory. Na pinu je tedy při nezmáčknutém tlačítku nebo nepřepnutém přepínači 5 V (pin ve stavu H) a při zmáčknutí tlačítka nebo přepnutí přepínače dojde k uzemnění a na pinu se objeví 0 V (pin ve stavu L) [15].

V přerušení, jak již bylo zmíněno, se kontrolují tlačítka. Všechny tlačítka aktivují při sepnutí určitou funkci efektu a při opětovném sepnutí ji deaktivují. Jinak tomu samozřejmě je u přepínače, kde jedna poloha znamená aktivaci určité funkce a druhá deaktivaci. Každé tlačítko má v programu svoje počítadlo, které musí napočítat pět po sobě jdoucích stavů L (sepnuté tlačítko) na příslušném pinu a poté program vyhodnotí tlačítko jako sepnuté. Pro vyhodnocení dalšího stavu sepnutí je potřeba aby počítadlo napočítalo pět po sobě jdoucích stavů H (nesepnuté tlačítko) na příslušném pinu a poté opět pět po sobě jdoucích hodnot L. Program vždy bere pět vzorků z důvodu ošetření proti zákmitům na tlačítku. U přepínače toto ošetření není a pouze se v programu zjišťuje stav na pinu, kam je připojen.

Po tomto procesu ve zmíněném přerušení se volá metoda, kde jsou nastaveny multiplexory. Nastavují se podle proměnných, ve kterých je informace, zda je tlačítko ve stavu sepnutém nebo vypnutém, což neznámá, že program zjišťuje informaci o stavu pinu, kde je připojeno příslušné tlačítko, ale zjišťuje stav proměnné jejíž hodnota je buď 1 (sepnuté) nebo 0 (nesepnuté). K negaci této hodnoty dochází při každém vyhodnocení sepnutého tlačítka pomocí pěti vzorků programem [15].

Při aktivaci ovládání LFO efektu tremola pomocí modulu HC-SR04 přepínačem program začne vykonávat určité funkce, které budou nyní popsány. Modul HC-SR04 má čtyři piny, které jsou spojeny s procesorem. Dva jsou napájení a zem a další dva jsou echo a trigger [14].

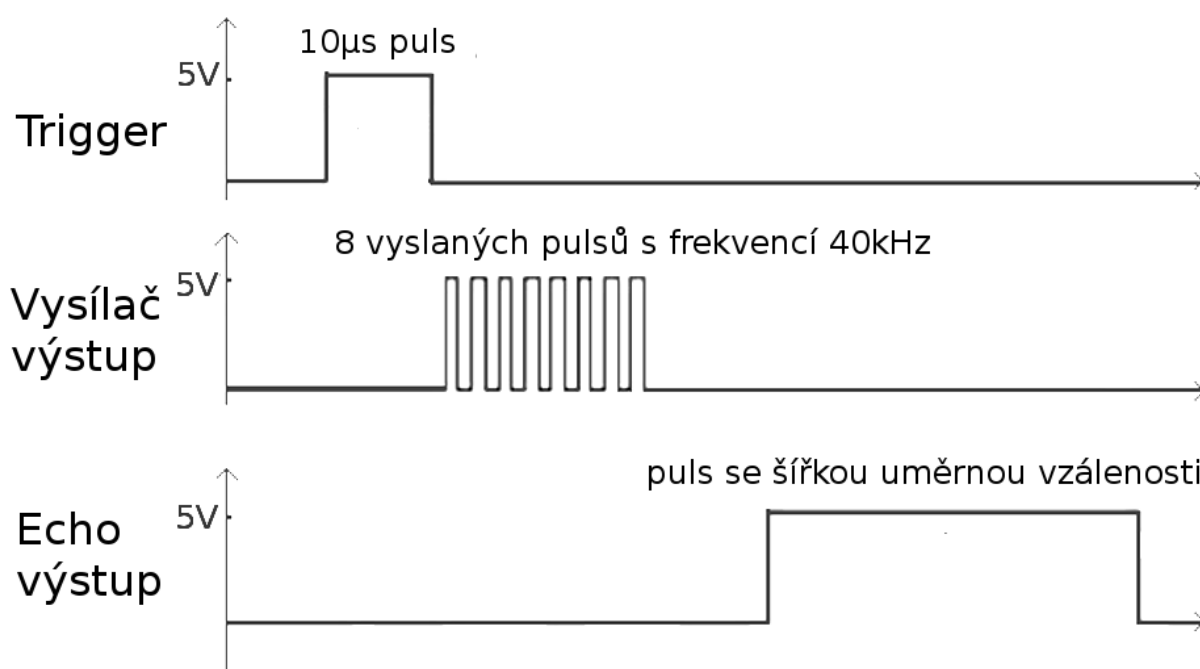
Po vyslání 10 μ s pulsu procesorem na pin trigger vyšle modul ultrazvukový signál z jeho vysílače, ten se odrazí od překážky nacházející se před modulem a putuje zpět do přijímače na modulu. Po přijmutí vyslaného signálu se v modulu na pinu echo objeví puls, podle jehož délky se dá vypočítat vzdálenost překážky od modulu viz obrázek 21. Výpočet vzdálenosti v centimetrech je dán vztahem:

$$l[cm] = \frac{T_{echo}[\mu s]}{58}$$

Programově je toto řešené tak, že je vyslán 10 μ s puls na trigger modulu a je nastaveno externí přerušení na jakoukoli logickou změnu na pinu procesoru, který je připojen na echo výstup z modulu. Pokud dojde k zaznamenání změny stavu na tomto pinu program povolí přerušení na přetečení časovače Timer/Counter2 a vynuluje ho. Hodiny časovače jsou nastavené bez předděličky a při každém přetečení inkrementují proměnnou, ve které je při dalším zaznamenání logické změny stavu na pinu připojeném k echo výstupu z modulu

celkový počet přetečení, který se vynásobí číslem 256 a přičte k aktuální hodnotě v registru TCNT2 časovače [15]. Po vynásobení této hodnoty číslem 0,0625 dostáváme délku pulsu echa v mikrosekundách. Pro získání vzdálenosti modulu od překážky v centimetrech stačí tuto hodnotu v mikrosekundách vydělit číslem 58. V tomto projektu je vzdálenost měřená od 3 cm do 26 cm. Hodnoty větší než 26 cm jsou programem limitovány právě na 26 cm. Je zde tedy 23 možných úrovní vzdálenosti překážky od modulu.

Po zjištění vzdálenosti překážky od modulu stačí už pouze nastavit digitální potenciometr na příslušnou hodnotu podle úrovně zjištěné vzdálenosti. Digitální potenciometr MCP4151 používá pro komunikaci s procesorem rozhraní SPI. Procesor tedy do digitálního potenciometru vyšle 16 bitů. Prvními 8 bity určujeme, zda chceme z potenciometru číst, zapisovat do něj, inkrementovat hodnotu polohy jezdce, nebo ji dekrementovat [13].

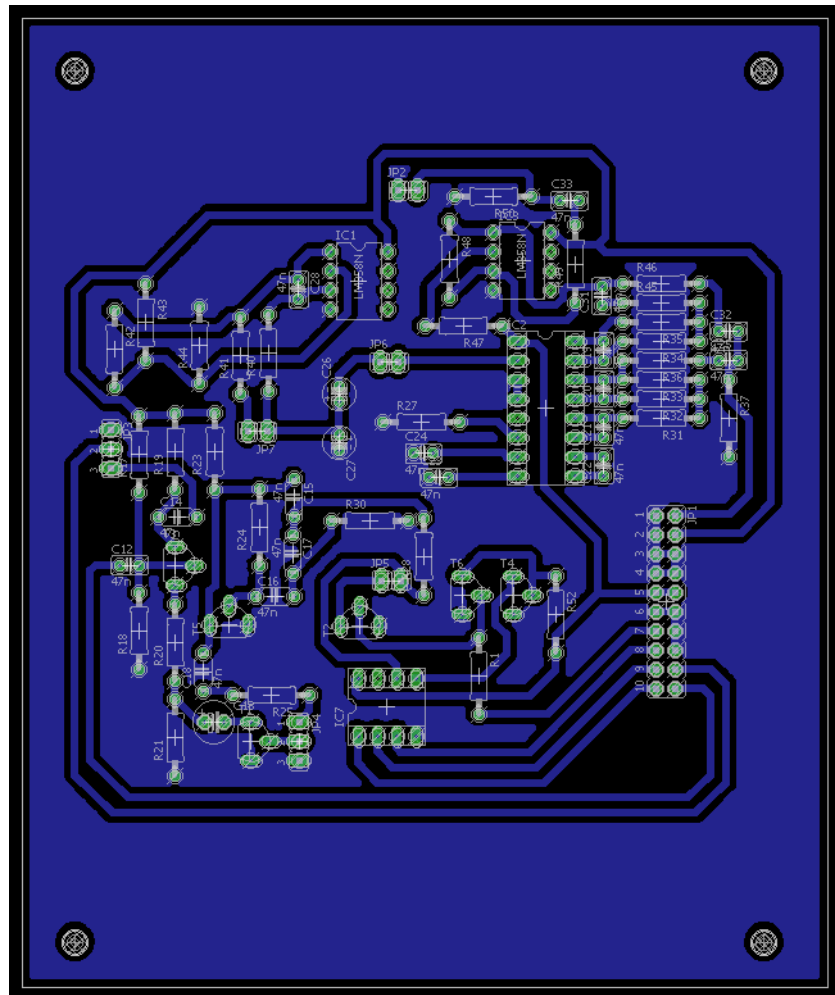


Obrázek 22 - Funkce modulu HC-SR04

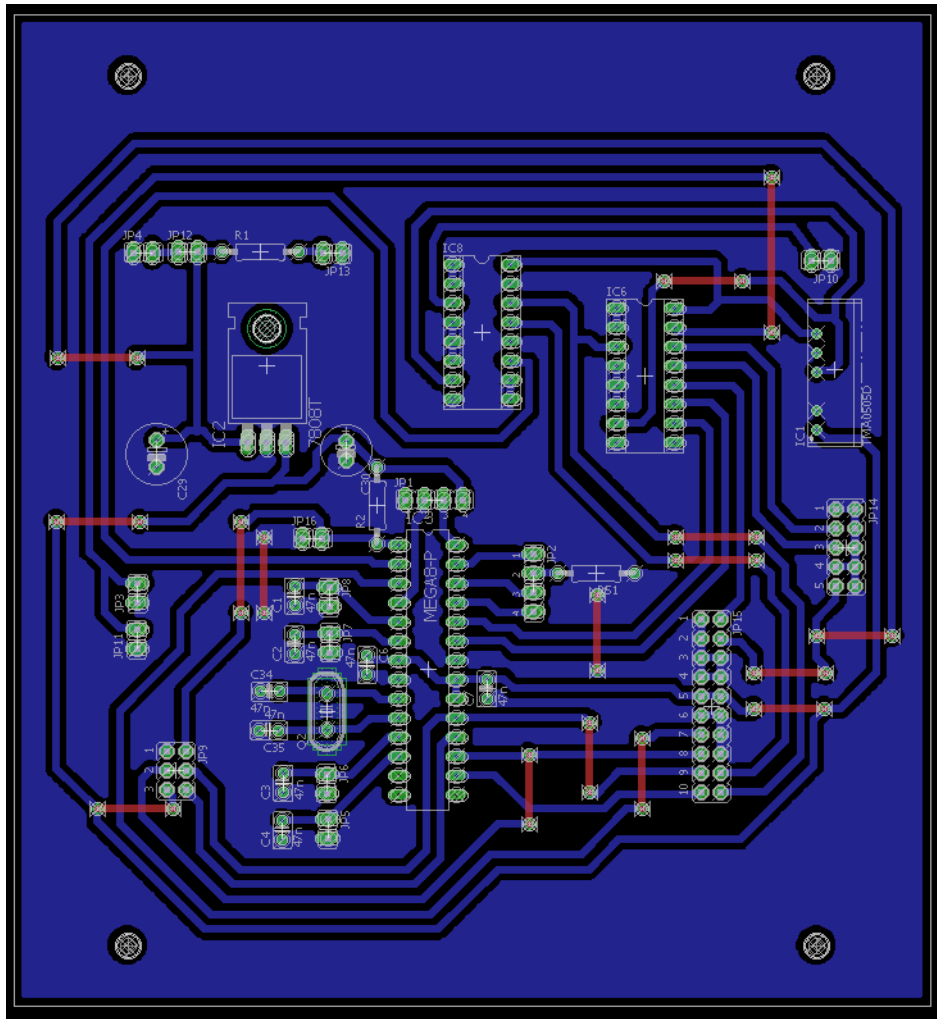
5 KONSTRUKCE

5.1 Návrh DPS

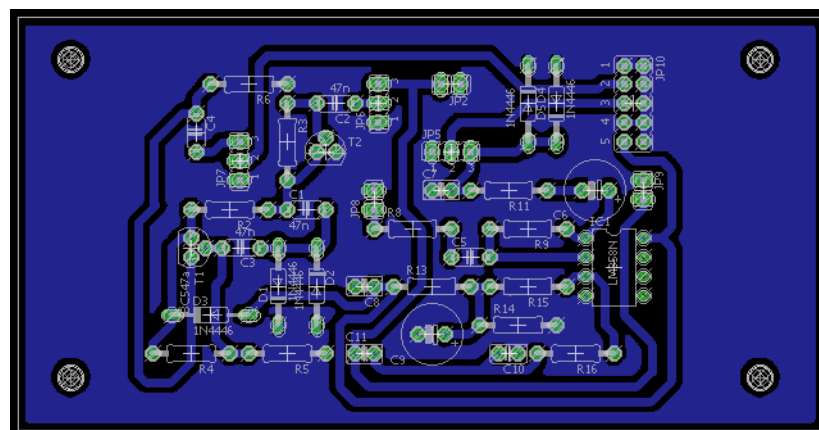
V předposlední fázi bylo potřeba udělat návrh desek plošných spojů pro projekt. Tři jednovrstvé desky (dvě s efekty a jedna řídicí) byly navrženy v programu Eagle. Na první se nachází efekt chorus a tremolo viz obrázek 22, na druhé se nachází efekt fuzz a distortion viz obrázek 24 a třetí deska je řídicí viz obrázek 23. Po návrhu desek v programu Eagle byly desky vyrobeny, osazeny a oživeny.



Obrázek 23 - Návrh DPS pro efekt tremolo a chorus



Obrázek 24- Návrh DPS pro řídicí desku



Obrázek 25 - Návrh DPS pro efekt fuzz a distortion

5.2 Montáž

Poslední fází tohoto projektu byla finální montáž. Osazené a oživené desky byly vsazeny ve dvou patrech do vyvrtané celokovové krabičky. Pro montáž desek do krabičky byly použity distanční kovové sloupky. Na zadní stranu krabičky byly namontovány dva konektory 6,3 mm pro vstup signálu z kytary a výstup signálu z efektu do kytarového aparátu. Na přední část efektu byla osazena takzvaná „footswitch“ tlačítka viz obrázek 25. Jejich název vyplývá z faktu, že se spínají většinou nohou. Na krabičce si můžeme dále všimnout dvou sekcí potenciometrů. První sekce se šesti potenciometry slouží k nastavování efektů chorus, fuzz a distortion a druhá se třemi potenciometry slouží k nastavování efektu tremolo. Vedle červené krytky diody, která signalizuje, že je efekt zapnutý, se nachází dva přepínače. Jeden slouží k zapínání efektu a druhý k přepínání manuálního a bezdotykového režimu ovládání frekvence LFO v efektu tremolo.



Obrázek 26 - Efektová krabička



Obrázek 27 - Efektová krabička se sundaným krytem s ovládacím panelem

6 ZÁVĚR

V práci byly probrány způsoby pro úpravu akustického kytarového signálu. Byla zde vysvětlena obecná funkce vybraných kytarových efektů. Konkrétní vybrané kytarové efekty byly samostatně podrobně analyzovány. Byly porovnány výstupní průběhy efektů ze simulací s průběhy reálnými z osciloskopu.

Následně byla probrána koncepce řízení jednotlivých efektů, která se týkala přepínání mezi efekty a možnosti řídit frekvenci LFO u tremola manuálním i bezdotykovým způsobem. Bezdotykové ovládání bylo možné uskutečnit pomocí ultrazvukového modulu HC-SR04.

Po vysvětlení funkce řídicího obvodu byl popsán program, kterým je celé zařízení řízeno. Následovala finální konstrukce výrobku, která obsahuje návrh DPS a montáž elektroniky do krabičky.

Výsledky celkové práce jsou vesměs pozitivní. Funkce efektů po zvukové stránce je velmi dobrá. U efektu fuzz by však bylo na místě do budoucna udělat ještě pár změn v zapojení a docílit tak více „hutného“ výsledného zvuku, jelikož aktuální zvuk efektu je docela „tenký“.

Analogové efekty jsou většinou napájeny z 9 V baterie, avšak v mé práci, kde je integrováno více analogových efektů do jedné krabičky je výsledný odběr cca 150 mA, což způsobuje brzké vybití baterie. To půjde do budoucna vyřešit přiděláním napájecího konektoru a vhodným adaptérem.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Jak pracují efekty I* [online]. časopis Muzikus, 2009 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Jak-pracuji-efekty-I~19~leden~2009/>
- [2] BURIÁN, Roman. *Kytarové efekty a aparáty od začátku*. HITBOX, 2001. ISBN 80-85648-27.
- [3] *Kytarové zkreslení? Nic jednoduššího!* [online]. časopis Muzikus, 2003 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Kytarove-zkresleni-Nic-jednodussiho~03~zari~2003/>
- [4] BRTNÍK, Bohumil a David MATOUŠEK. *Elektronické prvky*. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-426-2.
- [5] BRTNÍK, Bohumil. *Elektrické obvody v příkladech*. BEN - technická literatura, 2010. ISBN 978-80-7300-436-1.
- [6] *Phase-shift oscillator* [online]. Wikipedia [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_oscillator
- [7] *LM358* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://www.fairchildsemi.com/products/analog-mixed-signal/amplifiers-comparators/operational-amplifiers/LM358.html>
- [8] *PT2399* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.princeton.com.tw/en-us/products/multimediaaudioic/echoprocessor.aspx>
- [9] *ATmega8* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega8>
- [10] *74HCT4051N* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://eu.mouser.com/ProductDetail/NXP-Semiconductors/74HCT4051N112/?qs=me8TqzrmIYVHfYIIvF8Kug==>
- [11] *L78S05cv* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://www.st.com/content/st_com/en/products/power-management/linear-voltage-regulators/standard-voltage-regulators/l78s.html
- [12] *TMA0505D* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.tracopower.com/products/browse-by-category/find/tma/3/>
- [13] *MCP4151* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP4151>
- [14] *HC-SR04* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.mpja.com/Ultrasonic-Ranging-Raspberry-Pi-Arduino-Compatible-Module/productinfo/19605+UT>

[15] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce Bascom*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-115-2.

[16] *Hard and soft clipping* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z:
<http://www.gmarts.org/?go=217%20low%20frequency%20oscillator>

[17] *Little Angel* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z:
<http://www.diystompboxes.com/smfforum/index.php?topic=86297.0>

8 PŘÍLOHY

Příloha - CD