

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroniky a informačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Realizace audioefektů pro kytaru

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Petr BERAN**
Osobní číslo: **E18B0001P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Téma práce: **Realizace audioefektů pro kytaru**
Zadávající katedra: **Katedra elektroniky a informačních technologií**

Zásady pro vypracování

Zpracovat přehled zvukových efektů (zpoždění zvuku, flanger, chorus, echo atd.)

1. Navrhnout systém umožňující generování zvukových efektů
2. Realizovat systém umožňující generování zvukových efektů
3. Ověřit funkci systému


Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. https://www.researchgate.net/publication/281835396_Realization_of_guitar_audio_effects_using_methods_of_digital_signal_processing Realization of guitar audio effects using methods of digital signal processing
2. https://www.researchgate.net/publication/236663063_Electric_guitar_-_A_blank_canvas_for_timbre_and_tone
3. Signal Processing for the Electric Guitar <https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-090208-113049/unrestricted/MQPFinalReport.pdf>
4. Analog Musical Distortion Circuits for Electric Guitars <https://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=11227&context=theses>

Vedoucí bakalářské práce: **Prof. Ing. Milan Štork, CSc.**
Katedra elektroniky a informačních technologií

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan





Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

Abstrakt

Předložená bakalářská práce se zabývá popisem principů a realizací nejrozšířenějších efektů pro elektrofonickou kytaru a rozdělením efektů do kategorií dle způsobu jejich práce se zvukem. Po zpracování přehledu principů práce efektových jednotek byly některé z efektových jednotek realizovány a použity pro ověření platnosti teoretických předpokladů uvedených v teoretické části této práce. Realizace efektových jednotek byla provedena nejprve ve formě prototypových zapojení na nepájivém poli, kde došlo k změření jejich vlastností, a následně byl proveden návrh odpovídajících zapojení ve formě oddělených analogových obvodů na deskách plošných spojů.

Klíčová slova

Kytara, efekt, modulace, zvuk

Abstract

The submitted bachelor's thesis deals with the description of principles and realization of the most widely used effects for electrophonic guitar, and the division of effects into categories according to the way they work with sound. After processing an overview of the principles of work of effect units, some of the effect units were realized and used to verify the validity of theoretical assumptions mentioned in the theoretical part of this thesis. The implementation of the effect units was carried out first in the form of prototype connections on the breadboard, where their properties were measured, and subsequently the design of the corresponding connections was carried out in the form of separate analog circuits on printed circuit boards.

Key words

Guitar, effect, modulation, sound

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce je legální.



.....
podpis

V Plzni dne 26.5.2021

Petr Beran

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 ELEKTROFONICKÁ KYTARA	10
1.1 SNÍMÁNÍ SIGNÁLU ELEKTROFONICKÉ KYTARY	10
1.2 PARAMETRY SIGNÁLU ELEKTROFONICKÉ KYTARY	13
2 EFEKTY PRO ELEKTROFONICKOU KYTARU	15
2.1 ROZDĚLENÍ KYTAROVÝCH EFEKTŮ.....	15
2.1.1 <i>Zkreslovací efekty</i>	16
2.1.2 <i>Modulační efekty</i>	18
2.1.3 <i>Zpoždovací efekty</i>	24
2.1.4 <i>Ostatní efekty</i>	26
2.2 NAPÁJENÍ KYTAROVÝCH EFEKTŮ	27
2.3 PROPOJOVÁNÍ KYTAROVÝCH EFEKTŮ.....	28
3 NÁVRH EFEKTŮ PRO ELEKTROFONICKOU KYTARU	30
3.1 OVERDRIVE	30
3.2 WAH-WAH.....	31
3.3 BOOSTER	34
3.4 ZPOŽĎOVACÍ LINKA	35
ZÁVĚR	37
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	39
PŘÍLOHY	1

Úvod

Audioefekty pro elektrofonickou kytaru jsou nedílnou součástí kytarového hudebního světa. Na současném trhu se můžeme setkat s nepřehledným množstvím efektových jednotek. Některé mohou zvuk jen nezkresleně zesilovat, jiné naopak dodat zvuku elektrofonické kytary zcela nový a osobitý charakter.

Nejprve by však bylo vhodné si ujasnit, jak vlastně vznikla samotná elektrofonická kytara, jaké jsou způsoby snímání jejího zvuku a jaké parametry získaného signálu jsou pro nás podstatné. Tyto informace jsou pro samotnou práci s efekty pro kytaru klíčové, jelikož bez elektrofonické kytary bychom neměli důvod se tímto tématem zabývat. Po pochopení těchto principů se můžeme začít zabývat samotnými efekty.

Efekty pro elektrofonickou kytaru mají za sebou dlouhou historickou stopu a jejich zpracování bylo ovlivňováno nejen hudebníky a jejich požadavky na zkreslení a modulaci zvuku, ale taktéž technikou, která byla v dané době dostupná. Z tohoto důvodu se realizace audioefektů s postupem času razantně vyvinula a v současnosti existuje řada možností, jak daného efektu dosáhnout. Příkladem technologického vývoje efektových jednotek může být efekt tremolo, který od doby svého vzniku prošel výraznými změnami ve zpracování elektromechanickým systémem rotujících reproduktorů počínaje a moderními digitálními obvody konče.

Jelikož se svět kytarových efektů neustále rozšiřuje a u některých z kytarových efektů není zcela jasná terminologie popisující jejich funkci, snižuje se tak přehlednost, jak jednotlivé efekty pracují, jak je můžeme realizovat a jaký je jejich úděl při upravování kytarového zvuku. Této problematice se věnuje tato práce.

Seznam symbolů a zkratek

LFO.....	Nízkofrekvenční oscilátor
BBD.....	Bucket bridge device
DSP.....	Digitální signálový procesor
A/D.....	Převodník analogového signálu na signál digitální
D/A.....	Převodník digitálního signálu na signál analogový
OZ.....	Operační zesilovač
SE.....	Společný emitor
DPS.....	Deska plošných spojů

1 Elektrofonická kytara

Elektrofonická kytara je strunný hudební nástroj, který pomocí snímače (nejčastěji elektromagnetického) převádí mechanickou oscilaci ocelových strun na elektrický signál. Tento signál je následně veden přes zesilovač, kde dochází k jeho zesílení, na reproduktor, který provede přeměnu signálu z elektrické energie na energii mechanickou ve formě zvuku. [1]

Historie elektrofonických kytar sahá až do 20. let 20. století, kdy se hudební nadšenci pokoušeli ke snímání zvuku kytary použít vestavěné uhlíkové mikrofony nebo gramofonové přenosky. Takto získaný signál byl však velmi slabý. První elektrofonickou kytaru disponující elektromagnetickým snímačem zkonstruovala firma Rickenbacker v roce 1931, avšak současnou podobu získala kytara až ve 40. a 50. letech 20. století, kdy došlo k uvedení modelů telecaster firmy Fender a Les Paul firmy Gibson, které zapříčinily velký rozmach tohoto hudebního nástroje, zejména v oblasti jazzové a rockové hudby. [2]

1.1 Snímání signálu elektrofonické kytary

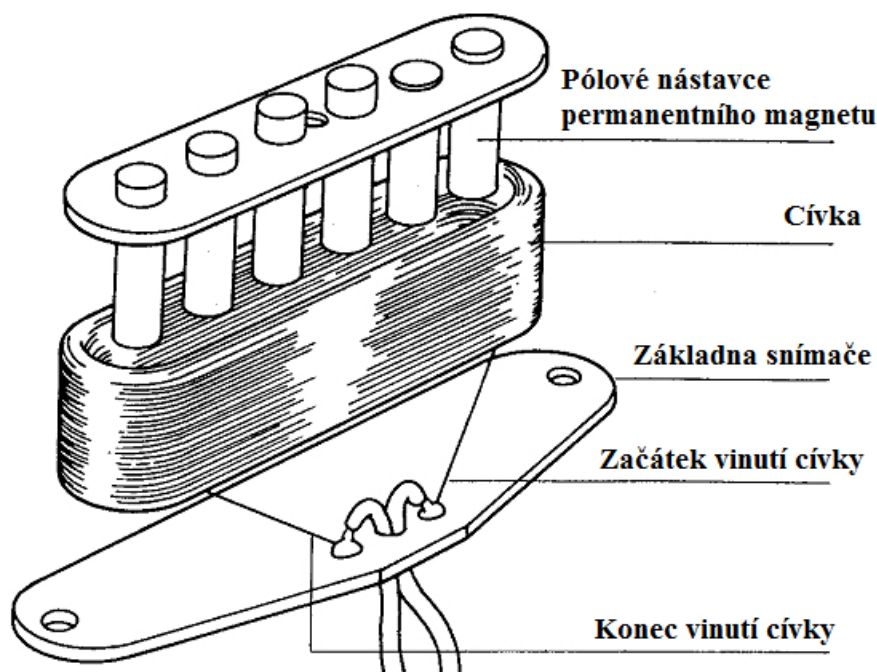
K získání signálu elektrofonické kytary slouží vestavěné snímače. Existuje celá řada snímačů, které můžeme rozdělit do několika základních skupin.

První rozdělení je možné provést na základě výstupu signálu ze snímače. Podle toho rozdělujeme snímače na monofonické, které jsou v současnosti majoritní a mají jeden výstupní signál pro všechny struny, a na snímače polyfonické, kde je signál rozdělený pro každou strunu zvlášť. Toho můžeme využít například pro převod do formátu MIDI, který nám umožní digitální komunikaci mezi hudebním nástrojem a počítačem. S polyfonickými snímači se však setkáme velmi zřídka. [3] [4]

Druhý způsob rozdělení je závislý na nutnosti napájení snímače. Potom jsme schopni rozdělit snímače na aktivní a pasivní. Aktivní snímače potřebují zdroj energie, ale umožňují nám produkovat silnější výstupní signál, který je méně ovlivňován vedením a zároveň není náchylný k zachycení okolních ruchů. Do této skupiny se řadí piezoelektrické, optické a některé elektromagnetické snímače. Tyto snímače se však

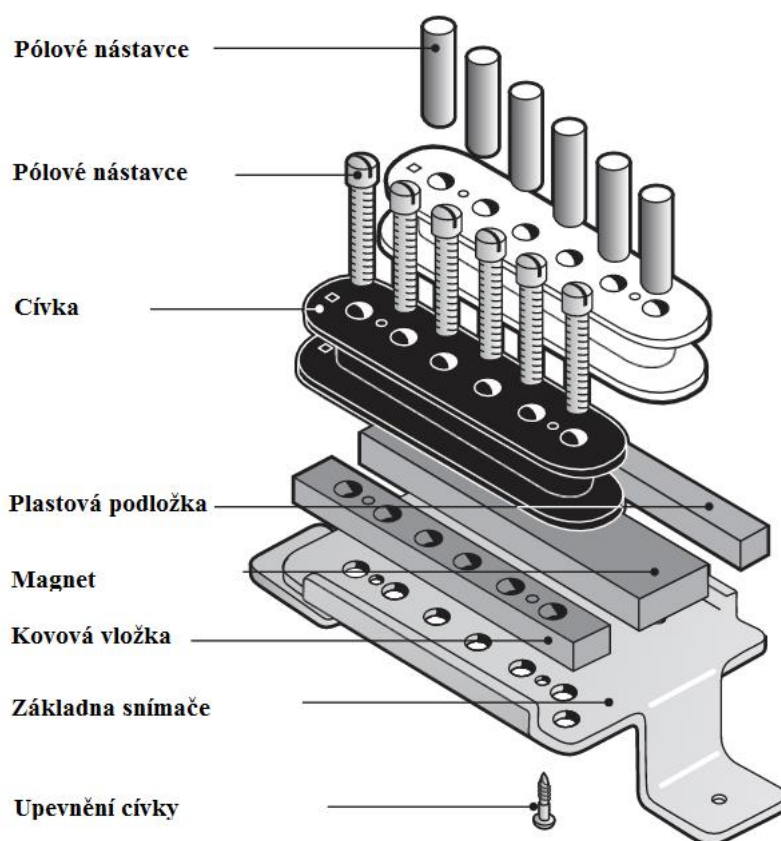
v praxi vyskytují jen ojediněle. Pasivní snímače nevyžadují externí napájení, jelikož jsou tvořeny pouze magnetickými pólovými nástavci a cívkou. Jejich výstupní signál je slabý a jejich frekvenční odezva je mezi jednotlivými modely velmi odlišná. V současnosti se u elektrofonických kytar setkáváme primárně se snímači typu single-coil a humbucker, které se řadí do skupiny pasivních elektromagnetických snímačů. [3] [4]

Single-coil snímače jsou tvořeny jednou cívkou a magnetickými pólovými nástavci. Jak je možné vidět na obrázku 1.1, na každou strunu připadá jeden pólový nástavec. Pokud se nad snímačem, který kolem sebe vytváří magnetické pole rozkmitají struny, změní se elektromagnetický tok a na cívce snímače se začne indukovat napětí. Single-coil snímače snímají kmitání v celém frekvenčním rozsahu, a proto jsou pro ně charakteristické čisté a výrazné výšky. V neprospěch těchto snímačů hraje fakt, že jsou velmi náchylné k zachycení ruchů a brumů. Tato nevýhoda vedla k vyvinutí snímače typu humbucker, který problém se snímáním nežádoucích rušení řeší. Mezi zástupce elektrofonických kytar se snímačem typu single-coil patří zejména modely stratocaster a telecaster firmy Fender. [3] [4]



Obrázek 1.1 Konstrukce snímače typu single-coil, převzato s úpravami z [5]

Snímače typu humbucker pracují na principu magnetické indukce podobně jako snímače single-coil. Jsou tvořeny dvěma stejnými cívkami navinutými na jednom společném jádře, přičemž směr jejich vinutí je opačný. Vinutí obou cívek je zapojeno do série, to má za následek, že nežádoucí rušení přichází na obě cívky zároveň a ve stejné fázi, díky tomu dojde k jejich vzájemnému vyrušení. Naopak celkové výstupní napětí, které je vytvořeno chvěním struny, je vlivem tohoto způsobu zapojení rovno součtu napětí indukovaných na obou cívkách snímače. Důsledkem potlačení rušení je, že dochází k utlumení některých vyšších harmonických frekvencí, a proto je frekvenční spektrum snímačů typu humbucker spíše středové a basové. Charakteristickým modelem elektrofonické kytary s tímto snímačem je Les Paul vyráběný společností Gibson. [3] [4]



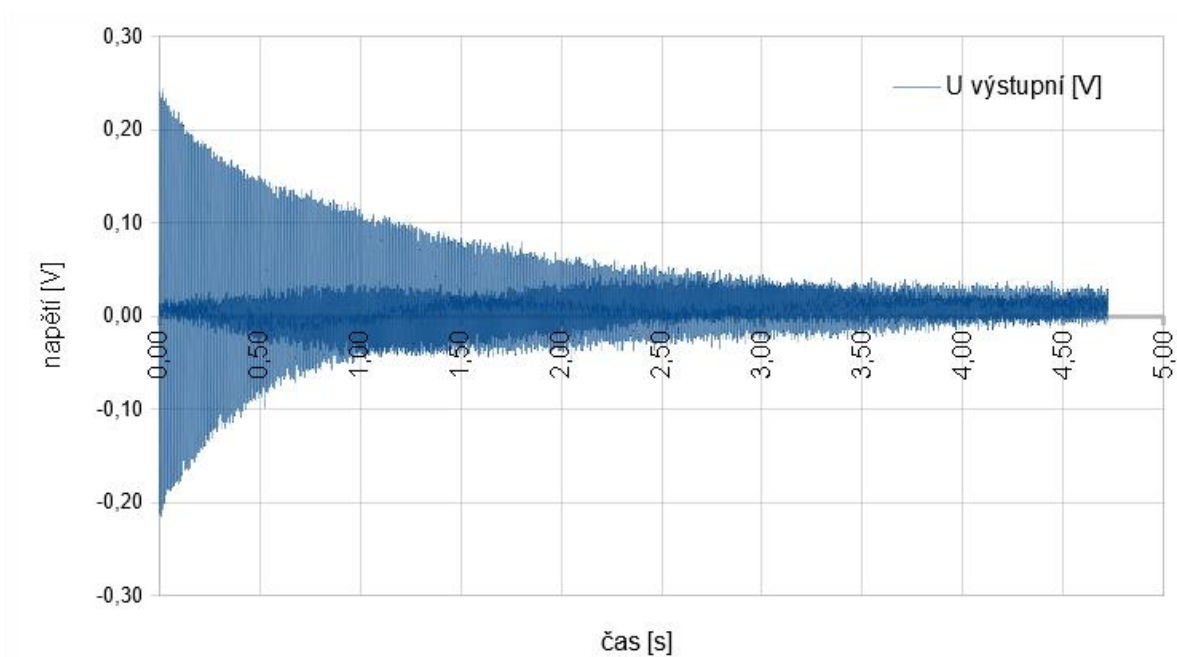
Obrázek 1.2 Konstrukce snímače typu humbucker, převzato s úpravami z [6]

1.2 Parametry signálu elektrofonické kytary

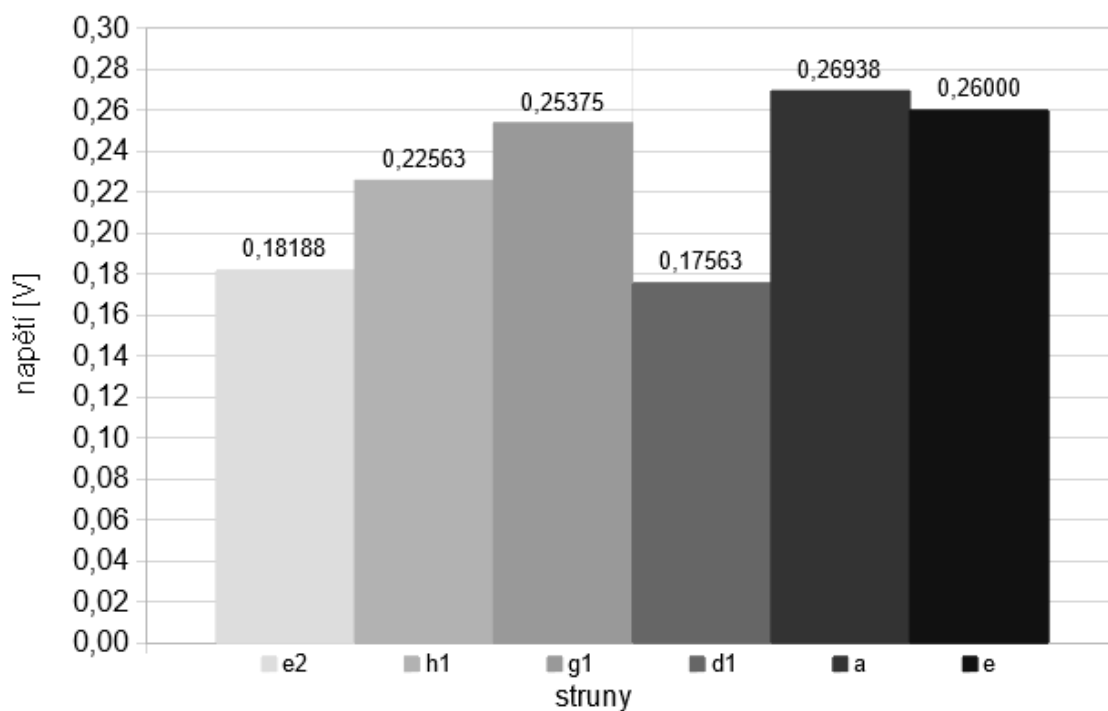
Pro práci se signály elektrofonické kytary je důležité si definovat jejich základní parametry. Důležité jsou pro nás primárně hodnoty výstupního napětí snímače a frekvenční spektrum snímaného signálu.

Výstupní napětí odpovídá napětí indukovanému při rozkmitání struny nad snímačem elektrofonické kytary. Hodnota tohoto napětí se pohybuje v rozmezí 100mV až 1V a je úměrná intenzitě úhozu. K ověření těchto hodnot bylo provedeno měření na kytáře Epiphone Les Paul Standard, která je osazena dvěma snímači typu humbucker. Při provádění měření byly zapojeny oba snímače. Změřený průběh napětí struny g1 je možné sledovat na obrázku 1.3. Maximální hodnota výstupního napětí je v tomto případě 0,25375mV. Na naměřeném průběhu jsme též schopni sledovat exponenciální pokles signálu s časem. Měření bylo provedeno pro všechny struny elektrofonické kytary a porovnání hodnot maximálního výstupního napětí je zobrazeno na obrázku 1.4. [7]

Frekvenční rozsah elektrofonické kytary se pro základní nezkreslený zvuk pohybuje v rozmezí od 80 Hz do 1,2 kHz. Po připojení efektových jednotek však může výsledný signál dosahovat frekvencí až 6 kHz. Frekvenční rozsah signálu elektrofonické kytary je určujícím parametrem při potřebě převodu analogového signálu kytary na signál digitální, jelikož vzorkovací frekvence A/D převodníku signálu musí být dle Shannon-Kotělnikovova teorému alespoň dvojnásobkem maximální frekvence signálu vzorkovaného. Digitalizace signálu je užívána například při realizaci digitálních efektových jednotek nebo pro zpracování signálu počítačem. [7]



Obrázek 1.3 Průběh výstupního napětí elektrofonické kytary



Obrázek 1.4 Porovnání výstupních napětí strun elektrofonické kytary

2 Efekty pro elektrofonickou kytaru

S rostoucí popularitou elektrofonických kytar začali hudebníci hledat nové možnosti, jak dodat čistému zvuku, který byl velmi slabý a jemný osobitý charakter, který reflektuje hudební žánr, kterému se kytarista věnuje. To umožnil vznik kytarových efektů, které uživateli dovolují přizpůsobit si barvu zvuku dle svých představ jednoduchým připojením požadovaného efektu mezi výstup z elektrofonické kytary a vstup zesilovače.

Historie kytarových efektů sahá až do 40. let 20. století, kdy se objevuje první komerčně vyráběný samostatně stojící kytarový efekt Trem Trol 800, jednalo se o typ tremola sestaveného společností DeArmond. V 50. letech se začíná používat páskové echo, které vytváří simulaci ozvěny pomocí mixování zvuku zaznamenávaného na magnetofonový pásek a zvuku z elektrofonické kytary. Raná zařízení pro tvorbu efektů byla velmi drahá a rozměrná, to se změnilo v 60. letech s příchodem tranzistorů, které umožnily vývoj cenově dostupných a snadno přenosných efektů. [8]

Kytarové efekty, se kterými se můžeme v současnosti setkat, mohou být realizovány analogovými obvody, tyto obvody obvykle realizují pouze jeden efekt, který je v separátním pouzdře, tyto „krabičky“ můžeme zapojovat do efektové smyčky a tím vytvářet celou škálu zvuků. Další možností je digitální tvorba efektů pomocí kytarových procesorů, ty často disponují větší škálou efektů v jednom zařízení, uživatel může efekty kombinovat a ukládat do jednotlivých presetů. Tyto efektové jednotky se nazývají multieffekt a jsou podstatně komplikovanější a dražší než samostatně stojící efekty. Kytarové efekty se též mohou vytvářet softwarově pomocí profesionálních nahrávacích programů. [9]

2.1 Rozdělení kytarových efektů

Existuje celá řada kytarových efektů, které se dají rozdělit podle způsobu práce se signálem z elektrofonické kytary. Můžeme je rozdělit na efekty zkreslovací, modulační a zpožďovací.

2.1.1 Zkreslovací efekty

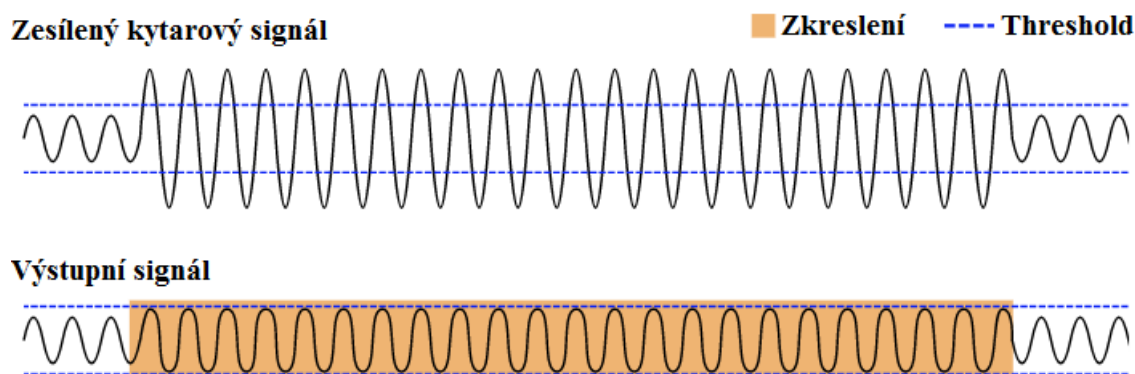
Zkreslovací efekty obecně jsou založeny na principu limitace sinusového hudebního signálu. Tato limitace má za následek to, že dochází k přidání harmonických složek k základnímu kmitočtu signálu z elektrofonické kytary. Tyto nové harmonické složky přidávají základnímu tónu barevné spektrum. Kromě toho má limitace signálu za následek také změnu efektivní hodnoty signálu. Zkreslovací efekty jsou jednoduché a cenově dostupné efekty, které jsou realizovány převážně pomocí analogových obvodů. [10] [11]

Overdrive

Overdrive efekt slouží k simulování zvuku přebuzeného elektronkového zesilovače. Tento efekt je navozen pomocí takzvaného soft diode clippingu.

Jedná se o zapojení obvykle dvou antiparalelních diod v obvodu zpětné vazby zesilovacího prvku. Ve většině případů je pro tento účel používán operační zesilovač v invertujícím zapojení. Díky antiparalelnímu zapojení diod dochází k limitaci kladné i záporné půlvlny sinusového signálu. Limitace se vyznačuje měkkou charakteristikou, jak je ukázáno na obrázku 2.1. Paralelně k diodám může být zapojen potenciometr označovaný jako drive, ten je zde za účelem změny zpětnovazebního odporu sloužícího k regulaci zisku celého obvodu a tím také dochází k regulaci prahu sepnutí zpětnovazebních diod. Dále se na výstupní části obvodu objevují potenciometr tone, kterým je možné regulovat tónovou clonu a level pro nastavení hlasitosti efektu. [11] [12]

Mezi představitele tohoto efektu můžeme zařadit například OCD Overdrive V2 od značky Fulltone, OD-3 od značky Boss nebo TS 808 značky Ibanez.



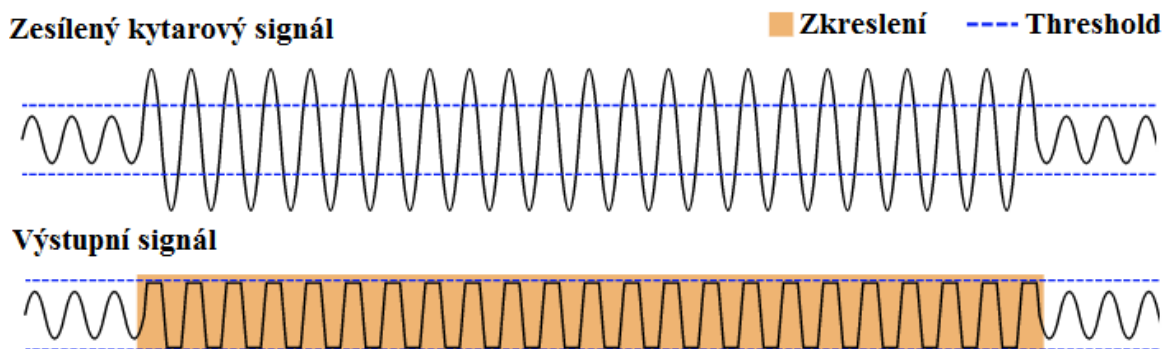
Obrázek 2.1 Porovnání vstupního a výstupního signálu overdrive efektu, převzato s úpravami z [13]

Distortion

Distortion efekt je dalším ze skupiny zkreslovacích efektů. Jak je již ze samotného názvu patrné, tento efekt má za úkol zkreslení signálu vystupujícího z elektrofonické kytary.

Podobně jako tomu bylo u overdrive efektu se tato efekťová jednotka skládá ze zesilovacího prvku, kterým bývá operační zesilovač v invertujícím zapojení a z antiparalelního spojení polovodičových diod. Tyto diody jsou však umístěny mezi výstupem operačního zesilovače a zemí. Tento způsob zapojení se nazývá hard diode clipping. Jako limitační diody můžeme použít křemíkové nebo germániové diody, případně jejich kombinaci. Typ použitého polovodiče se nám projeví různým závěrným napětím diod, které nám ovlivňuje limitaci signálu. Signál přicházející z kytary do efekťové jednotky je nejprve zesílen operačním zesilovačem a následně přiveden na antiparalelně zapojené diody, které signál limitují dle hodnoty jejich závěrného napětí. Pro regulaci zesílení je paralelně k operačnímu zesilovači připojen potenciometr označovaný obvykle názvem distortion. Čím vyšší bude nastavené zesílení původního signálu, tím vyšší bude i jeho limitace. S rostoucím zesílením signálu se nám ale zvyšuje také zesílení šumu, což způsobuje velké problémy, jelikož se tak snižuje odstup požadovaného signálu a signálu šumového. Součástí bývá také potenciometr level, kterým je možné regulovat hlasitost efektu. [11]

Efektové jednotky typu distortion jsou například DS-1 od značky Boss nebo HD 300 od značky Behringer.



Obrázek 2.2 Porovnání vstupního a výstupního signálu distortion efektu, převzato s úpravami z [13]

Fuzz

Posledním ze zástupců zkreslovacích efektů je fuzz. Jedná se o poměrně nestandardní zkreslovací obvod, který mění vstupní sinusový signál z elektrofonické kytary na signál obdélníkový pomocí tranzistorové limitace. Tento efekt má oproti dříve jmenovaným zkreslovacím efektům menší zastoupení.

Základem jsou obvykle dva tranzistorové zesilovače. Efektu zkreslení dosahujeme tak, že nastavíme pracovní bod tranzistorového zesilovače do krajní oblasti převodní charakteristiky, což má za následek limitaci původního signálu. V dřívějších aplikacích se používaly primárně tranzistory germaniové pro jejich hladší zvuk. Germaniové tranzistory jsou však teplotně velmi nestabilní, což mělo za následek proměnnou kvalitu produkovaného zvuku. Dnes se proto u sériově vyráběných fuzz efektů setkáváme převážně s obvody, které využívají tranzistorů křemíkových. [11] [14]

Mezi velmi populárního zástupce tohoto efektu se řadí například 69MKII od značky Fulltone.

2.1.2 Modulační efekty

Modulační efekty mohou upravovat signál vstupující do efektové jednotky v několika ohledech. Mohou ovlivňovat například frekvenční pásmo signálu, hlasitost zvuku, výšku tónu a další. Při použití analogového řešení jsou tyto efekty mnohdy značně komplikované, proto se v současné době stále častěji realizují pomocí digitálních obvodů.

Modulační efekty pracující se změnou frekvenčního pásma

Wah-wah

Efekt wah-wah, který bývá pro svůj osobitý zvuk často nazýván též jako kvákadlo, je prvním ze skupiny modulačních efektů upravujících frekvenční pásmo signálu. Tento efekt vychází z klasických dusítek, které se používají u dechových hudebních nástrojů. [15]

Hlavní částí efektu je řízená pásmová propust. Řídicím prvkem může být potenciometr, ten je nejčastěji realizován ve formě nožního pedálu. Při stlačení pedálu patou je propuštěno pouze frekvenční pásmo hlubokých frekvencí, při stlačení špičkou jsou naopak propouštěny frekvence vysoké. Nevýhodou této realizace je časté mechanické namáhání potenciometru, který musí být z tohoto důvodu často měněn. Dalším způsobem je využití optického řízení pomocí fotorezistoru a LED diody, tím je eliminován problém menší mechanické odolnosti efektové jednotky. Z efektu wah-wah se postupem času vyvinul takzvaný auto-wah, známý též pod korektnějším pojmenováním envelope filter. Tento efekt vytváří stejný efekt jako wah-wah s tím rozdílem, že změna propouštěného frekvenčního pásma není docílena stlačováním pedálu, ale je ovlivňována změnou dynamiky signálu. Tím zcela odpadá řízení efektu pomocí pedálu.[15] [16]

Zástupci wah-wah efektů jsou například GCB 95 vyráběný firmou Dunlop nebo V-847-A od značky Vox. Příkladem envelope filter pedálu je Nano DR.Q od značky Electro-harmonix.

Phaser

Dalším z efektů, které modulují frekvenční pásmo signálu je phaser. Tento efekt má za úkol navodit pocit zvlnění zvuku elektrofonické kytary. Phaser je velmi rozšířeným efektem, který je s oblibou využíván také u klávesových hudebních nástrojů.

Základním prvkem tohoto efektu je all-phase filtr, který je též označován jako filtr širokopásmový. Jedná se o filtr, který na rozdíl od dalších typů filtrů propouští všechny frekvence přivedeného signálu, avšak u definovaných frekvencí ovlivňuje jejich fázový posun. Signál přivedený do efektové jednotky je nejprve rozdělen na dvě části. První část

signálu není nijak modulována a zůstává v původním stavu. Druhá část signálu je vedena přes skupinu all-phase filtrů, které jsou zapojeny kaskádně, jejich počet se obvykle pohybuje mezi dvěma až dvanácti stupni a ve většině případů je sudý. Po průchodu touto kaskádou filtrů jsou obě části signálu mixovány a vedeny na výstup phaseru. Jelikož jsou určité frekvence mixovaných signálů díky kaskádě all-phase filtrů v protifázi, při mixování dojde k jejich vzájemnému utlumení a výstupní signál bude mít hřebenovou frekvenční charakteristiku. [17]

Takto upravený signál by však neměl zvláště výrazný dopad na výsledný zvuk, proto je do obvodu přidáván potenciometr řízený nízkofrekvenčním oscilátorem LFO, pracujícím v rozmezí od jednotek do desítek Hz. Tento potenciometr je připojen ke všem all-phase filtrům kaskády a jeho periodicky se měnící odpor ovlivňuje parametry jednotlivých filtrů. Toto modifikované zapojení umožňuje pravidelnou změnu tlumených frekvencí, a tak vytváří požadovaný efekt. Rychlost změny tlumených frekvencí je možné nastavit potenciometrem nazvaným rate/speed, který řídí frekvenci LFO. Efekt zároveň umožňuje potenciometrem depth nastavit poměr, ve kterém bude mixován původní a upravený signál, což ovlivní jeho výslednou intenzitu. [17]

Mezi efektové jednotky realizující phaser můžeme řadit například MXR Phase 90 od výrobce Dunlop nebo PH-3 od výrobce Boss.

Modulační efekty pracující se změnou výšky tónu

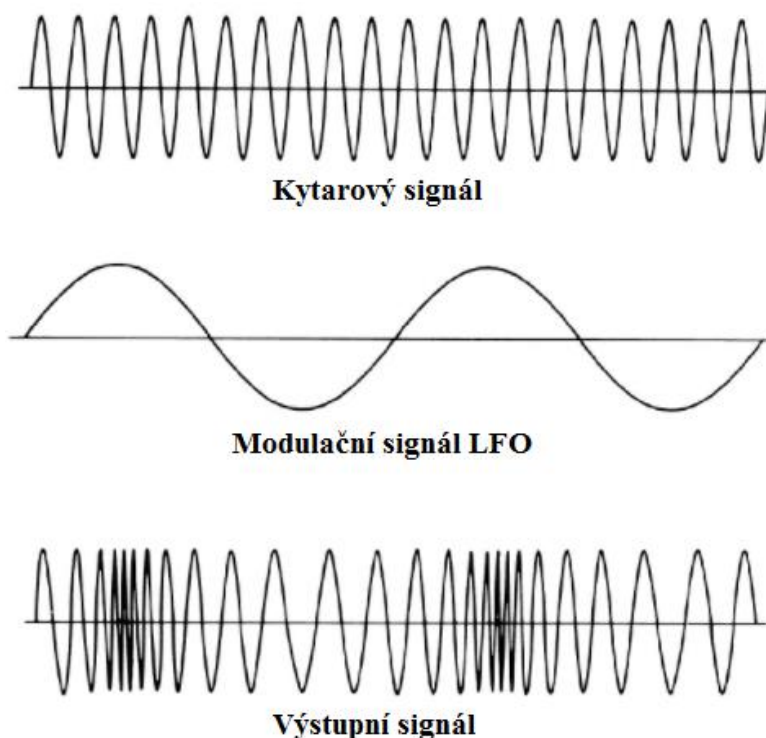
Vibrato

Efekt vibrato je nejjednodušším z modulačních efektů pracujících se změnou výšky tónu. Mimo realizaci pomocí efektových jednotek se často můžeme setkat s elektrofonickými kytarami osazenými takzvanou tremolo pákou, která kytaristovi umožňuje ovlivňovat výšku tónu pomocí mechanického natahování strun kytary. Samotné označení páky tremolo je však poměrně zavádějící s ohledem na rozpor s funkcí tremolo efektové jednotky, která bude popsána v následující podkapitole.

Základem vibrato efektů je zpožďovací linka a nízkofrekvenční oscilátor LFO, který řídí dobu zpoždění v rozmezí od jednotek do desítek milisekund. Modulováním doby

zpoždění signálu dochází ke změně výšky výsledného zvukového signálu. Pokud je doba zpoždění měněna v periodicky se opakujících intervalech, dochází ke vzniku zvuku simulujícího mechanické natahování strun a vzniká tak požadovaný efekt. Takto vzniklý signál je veden na výstup bez mixování se signálem původním, tím se efekt liší od efektu chorus, který z efektu vibrato do značné míry vychází. Řízení rychlosti změny zpoždění je realizováno pomocí potenciometru speed, ten slouží k nastavení frekvence LFO. Dále je možné nastavení maximální změny výšky tónu pomocí potenciometru depth a výsledné hlasitosti zvuku potenciometrem level. [16] [18]

Oblíbenými modely vibrato pedálů jsou například VB-2W od výrobce Boss, M68 od výrobce Dunlop nebo UV300 od výrobce Behringer.



Obrázek 2.3 Porovnání vstupního a výstupního signálu vibrato efektu, převzato s úpravami z [19]

Chorus

Chorus je modulačním efektem, jehož výsledný zvuk napodobuje hru více elektrofonických kytar najednou. Chorus do značné míry vychází z efektu vibrato, jak již bylo zmíněno.

Základní částí efektové jednotky je zpožďovací linka, jejíž zpoždění je řízeno pomocí LFO stejně, jako tomu bylo u vibrato efektu. Zpoždění signálu se u efektu chorus pohybuje mezi 18 až 24 milisekundami. Shodná je taktéž realizace výškové modulace tónu. Rozdíl mezi efekty vibrato a chorus nastává až za modulační částí efektové jednotky, zde totiž dochází k mixování modulovaného signálu s původním vstupním signálem. Takto vzniklý výstupní signál efektové jednotky simuluje zvuk dvou společně hrajících kytar, přičemž jedna z nich má výšku tónů posazenou níže než druhá. Pro regulaci maximální výšky tónu modulovaného zvukového signálu je efekt osazen potenciometrem depth, který řídí amplitudu LFO. Chorus také umožňuje nastavit poměr, ve kterém budou původní a modulovaný signál mixovány. K tomuto účelu slouží potenciometr mix. [20] [21]

Ojedinele se můžeme setkat s chorus efekty, které jsou realizovány s větším množstvím paralelně spojených zpožďovacích linek, což umožňuje simulaci více než dvou hrajících kytar. Počet hlasů je pak možné regulovat potenciometrem voice. [21]

Zástupci tohoto efektu jsou například CE-2W od výrobce Boss nebo XMC od výrobce DigiTech.

Modulační efekty pracující se změnou hlasitosti zvuku

Booster

Tento efekt pracuje na principu zesílení signálu elektrofonické kytary. Jedná se tedy pouze o efekt zvyšující úroveň signálu, který je veden do zesilovače. Při zesílení signálu nad úroveň stanovenou parametry použitého zesilovacího prvku může dojít ke zkreslení výstupního signálu. Tyto efektové jednotky lze považovat za ty nejjednodušší a nejzákladnější kytarové efekty.

Základní částí tohoto efektu je zesilovač, ten může být realizován tranzistorem nebo operačním zesilovačem. Zesílení je následně regulováno pomocí potenciometru, který je označen jako level. Dražší modely umožňují také nezávislou regulaci hloubek a výšek pomocí potenciometrů low a high. [15]

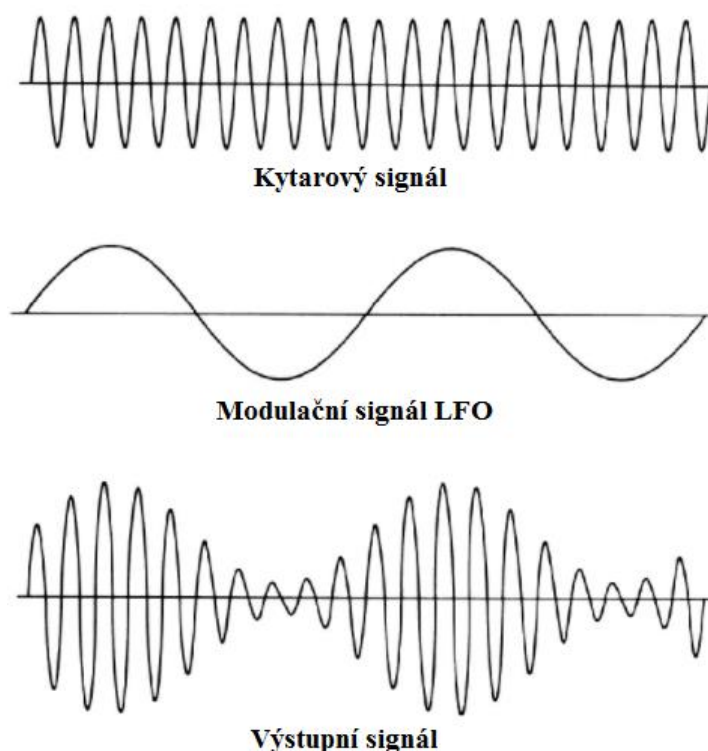
Mezi zástupce tohoto efektu patří například CS-Ranger od značky Fulltone nebo MXR M293 od značky Dunlop.

Tremolo

Dalším ze skupiny modulačních efektů, které pracují se změnou hlasitosti zvuku, je efekt tremolo. Tento efekt je jedním z nejstarších používaných efektů a zároveň prvním efektem, který řada výrobců implementovala do samotného zesilovače. Důvodem vzniku efektu byla snaha o získání plnějšího zvuku z elektrofonické kytary.

Princip efektu spočívá v pravidelné změně hlasitosti zvuku, která je obvykle řízena pomocí nízkofrekvenčního oscilátoru LFO, jehož frekvence se pohybuje v rozmezí od 0,1Hz do 20Hz, nastavení frekvence oscilátoru se projevuje na rychlosti změny hlasitosti výsledného zvuku. Tento parametr je možné řídit potenciometrem width. Způsobů realizace tremolo efektu je několik. Jeden z nejstarších je modulace předpětí řídicí mřížky zesilovací elektronky pomocí LFO, pokles tohoto napětí se projevuje snížením počtu přenesených elektronů a tím dochází k menšímu zesílení a naopak. Modernějším způsobem realizace je použití fotorezistoru, který je v pravidelných intervalech ozařován zdrojem světla. Rychlost rozsvícení a zhasínání světla je řízena LFO. Další možností je použití optočlenu. Toto zapojení nám vytváří napěťový dělič, jehož napěťový poměr je řízený LFO. Při zapnutí efektové jednotky je horní hranice hlasitosti zvuku ovlivněna pouze silou úhozu na elektrofonickou kytaru, dolní hranice zvuku je ovlivňována útlumem efektu, který je regulovatelný pomocí potenciometru označeného jako depth a zpravidla se pohybuje mezi 0 až 6dB. Další důležitou vlastností je nastavení modulačního průběhu signálu, ten je v základních provedeních efektu pouze sinusový, ale u dražších modelů je možné využít také průběhu trojúhelníkového a obdélníkového. Změna modulačního průběhu má významný vliv na výslednou barvu zvuku. [20]

Zástupci tohoto efektu jsou například TR2 od značky Boss, TRMINI od značky Ibanez nebo VE3 od značky Voodoo Lab.



Obrázek 2.4 Porovnání vstupního a výstupního signálu tremolo efektu, převzato s úpravami z [19]

2.1.3 Zpožďovací efekty

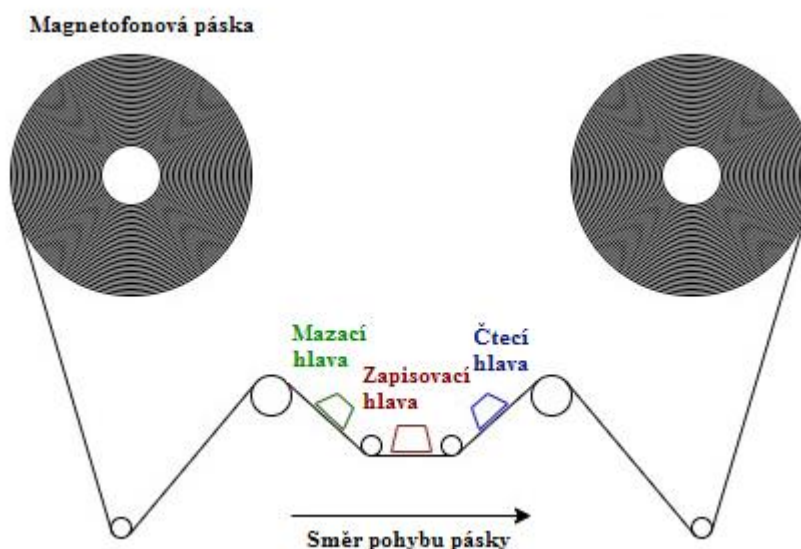
Zpožďovací efekty mají za úkol vytvořit zvuk navozující iluzi většího prostoru. Jedná se o skupinu efektů, které modulují časový průběh zvuku. Tento modulovaný zvuk je následně mixován se zvukem původním. První zpožďovací efekty byly realizovány pomocí záznamu zvuku na magnetofonovou pásku, vzhledem k vysoké ceně a rozměrnosti tohoto řešení se však dnes zpožďovací efekty vyrábějí převážně ve formě digitálních obvodů. [22]

Delay

Delay, někdy také označovaný jako echo, je zpožďovací efekt, který slouží k navození větší prostorovosti zvuku z elektrofonické kytary. Tohoto efektu je dosaženo pomocí

simulované ozvěny, která je vytvářena mixováním původního a zpožděného zvukového signálu.

Prvním ze způsobů analogové realizace zpoždění je takzvaný páskový delay. Toto zařízení je tvořeno magnetofonovou páskou a třemi hlavami, které slouží pro mazání, zápis a čtení signálu z pásky. Magnetofonová páska je nejprve vedena přes mazací hlavu, kde dochází k odstranění předchozího zaznamenaného zvuku, následně je pomocí zapisovací hlavy zaznamenan zvuk nový, který je po průchodu čtecí hlavou mixován s původním nezpožděným zvukem. Samotná magnetofonová páska je obvykle spojena do nekonečné smyčky, tím odpadá nutnost její časté výměny. Doba zpoždění zvuku je regulována rychlostí navíjení magnetofonové pásky. Nevýhodou tohoto způsobu realizace je rychlé opotřebení záznamového pásku, velký rozměr a vysoká cena efektové jednotky. Přesto je tato metoda zpoždování mezi hudebníky stále používána, jelikož díky nedokonalému zaznamenávání zvuku na pásek vytváří líbivé zkreslení. Zástupcem páskového delay efektu je například Replicator od firmy T-Rex. [23]



Obrázek 2.5 Popis činnosti páskového delaye, převzato s úpravami z [23]

Dalším analogovým řešením delay efektu je použití technologie bucket bridge device (BBD), která je realizována formou integrovaného obvodu. Jedná se o kaskádně propojenou síť paměťových kondenzátorů. Na vstupní část tohoto obvodu je přiveden audio signál, který prochází skrze jednotlivé kondenzátory a tím vzniká jeho zpoždění vůči signálu původnímu. Funkci tohoto obvodu je možné přirovnat k posuvnému registru. Rychlost průchodu je řízena hodinovými impulzy realizovanými pomocí LFO. Toto řízení

obvodu má za následek, že signál vycházející z BBD obvodu je podobný digitálně vzorkovanému signálu s tím rozdílem, že signál je stále spojitý v amplitudě. Z tohoto důvodu je nutno použít další pomocné obvody, které tento efekt eliminují. Dobu zpoždění je v tomto případě možné regulovat změnou rychlosti hodinových impulsů, které řídí BBD obvod, a její délka se pohybuje v řádech jednotek až desítek milisekund. Zpožděný zvukový signál může být pomocí zpětné vazby přiveden opět na vstup BBD obvodu, což uživateli umožňuje vícenásobné opakování zvuku, množství opakování je řízeno potenciometrem označovaným jako feedback. Mezi takto realizované delay efekty se řadí například Memory Man od výrobce Electro-Harmonix nebo Vapor Trail od výrobce Seymour Duncan. [23]

Jelikož je analogová realizace delay efektu poměrně komplikovaná, je jeho realizace často provedena digitálně. Zvuk vytvořený digitální cestou je sice více umělý než u analogového řešení, to je způsobeno ztrátami vzniklými při vzorkování a kvantování původního analogového signálu, digitální efektová jednotka však nabízí mnoho možností, jak je možné zvuk dále upravovat, což je nespornou výhodou. Základní částí takto realizovaného delay efektu je digitální signálový procesor (DSP) a převodníky analogového signálu na digitální (A/D) a naopak (D/A). Vstupní signál je přiveden přes A/D převodník do DSP, který má určitou vnitřní paměť, tou může být například paměť RAM, zde je daný vzorek zvukového signálu uložen po dobu, která je regulována potenciometrem s názvem delay a udává danou dobu zpoždění. Tato doba se u digitálního delay efektu pohybuje od jednotek milisekund po jednotky sekund. Po uplynutí stanovené doby je signál veden přes D/A převodník do mixeru, kde dochází k přimixování k původnímu nezpožděnému signálu. Obdobně jako u analogové realizace je i zde umožněno vedení zpožděného signálu pomocí zpětnovazební smyčky zpět na vstup zpožďovacího bloku, na rozdíl od analogové realizace však není zpracováván signál nijak tlumen, a proto je možné vytvoření teoreticky nekonečné signálové smyčky. Zástupcem digitálních delay efektů je například DD-8 od výrobce Boss. [16] [23]

2.1.4 Ostatní efekty

Noise gate

Noise gate je efektová jednotka, která nemá za úkol signál zkreslovat nebo modulovat, ale slouží k odfiltrování nežádoucích šumů a brumů.

Výstupní signál z elektrofonické kytary obsahuje výrazné šumové rušení, které je pro další zpracování nutné odstranit. Jelikož jsou tyto rušivé signály obvykle výrazně slabší než signál užitečný, pracuje tato efektová jednotka na principu odstranění signálů, které nepřekračují stanovenou hodnotu.

Jedním ze způsobů realizace tohoto efektu je použití napět'ového komparátoru. Ten porovnává hodnotu vstupního napětí s napětím komparačním, pokud je vstupní napětí nižší, je výstupní napětí efektu rovno nule. V opačném případě se vstupní napětí objeví na výstupu noise gate efektu. Úroveň komparačního napětí je možné regulovat potenciometrem označeným jako threshold. Dražší efekty tohoto typu umožňují také regulovat rychlost nárůstu a poklesu signálu při překročení komparační úrovně pomocí potenciometrů attack a release. Případně lze také řídit dobu, po kterou se signál může bez utlumení nacházet pod komparační úrovní, tato doba je určena potenciometrem hold.

Mezi zástupce tohoto efektu patří například efekty NS-2 od výrobce Boss nebo Tone Corset od výrobce Electro-Harmonix.

2.2 Napájení kytarových efektů

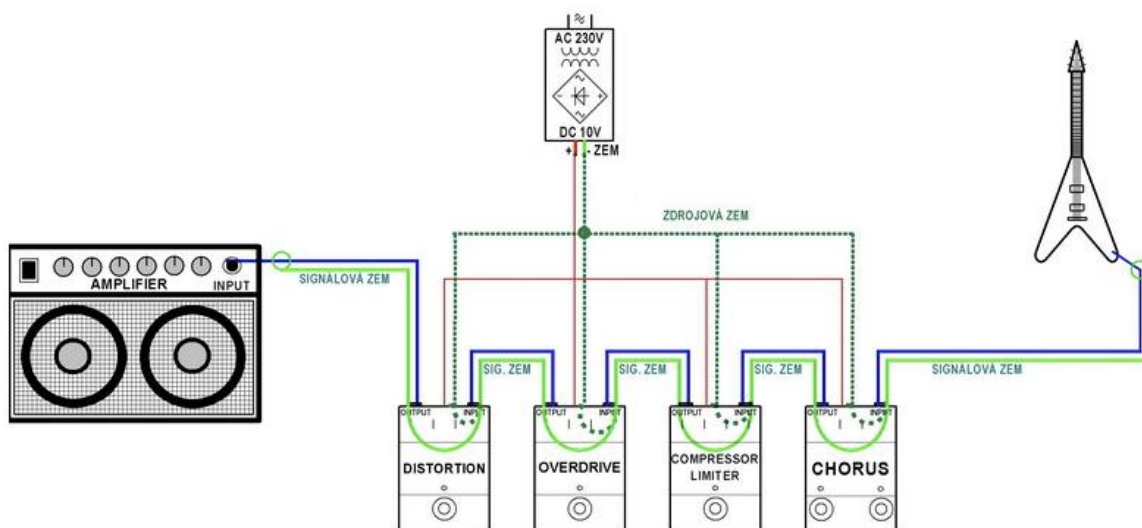
V současnosti existuje hned několik způsobů, jak může být kytarový efekt napájen. Hlavními parametry pro určení vhodného způsobu napájení jsou potřebné napětí, které se pohybuje v řádech jednotek až desítek voltů (nejčastěji se setkáváme s 9V), a odebíraný proud v miliampérech.

První z možností napájení je využití baterií. Výhodou tohoto způsobu napájení je, že výstupní signál z efektové jednotky není ovlivňován ruchy z napájecí sítě. Velkou nevýhodou je však krátká výdrž baterie, která se u složitějších modulačních efektů pohybuje pouze v řádech hodin. Z tohoto důvodu je bateriové napájení používáno převážně u jednodušších efektů. [25]

Další ze způsobů napájení využívá síťových napájecích adaptérů. Setkat se můžeme s adaptéry, které jsou určeny přímo pro daný kytarový efekt. Tyto adaptéry jsou však drahé a při využití více efektových jednotek vzniká problém s přehledností jejich zapojení. [25]

Odstranění tohoto nedostatku je umožněno použitím univerzálního napájecího adaptéru a takzvaného daisy-chain zapojení. Jedná se o zapojení, při kterém je několik efektových jednotek propojeno napájecím kabelem a napájeno z jednoho univerzálního adaptéru, přehlednost zapojení tak značně vzroste. Podmínkou pro správnou funkci tohoto zapojení je stejné napájecí napětí všech efektů a celkový odběr proudu nižší než maximální proud, který adaptér umožňuje dodávat. Nevýhodou společného napájení za pomoci daisy-chain zapojení je však vznik brumů, které jsou způsobeny společným zdrojovým uzemněním všech efektů. Zapojení je znázorněno na obrázku 2.6. [25] [26]

Posledním a zároveň nejvhodnějším způsobem napájení jsou takzvané multizdroje, jedná se opět o síťový adaptér, který má však několik napájecích větví. Takto realizované napájení má pro každou větev galvanicky oddělenou zem, což má za následek výrazné snížení rušení.[25] [26]



Obrázek 2.6 Univerzální adaptér v daisy-chain zapojení, převzato s úpravami z [26]

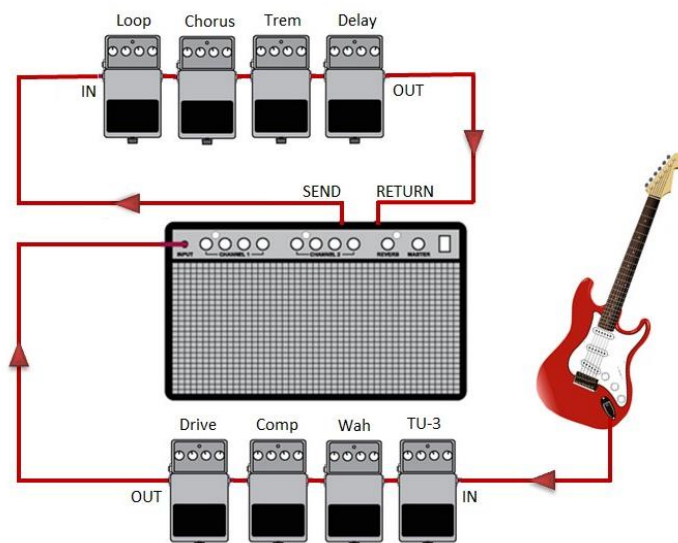
2.3 Propojování kytarových efektů

Při praktickém používání efektových jednotek se můžeme velmi často setkávat s jejich vzájemným propojováním. Propojení kytarových efektů nemá striktně daná pravidla, avšak existují zásady, při jejichž dodržení je kvalita a zřetelnost výsledného zvuku nejlepší.

Zařízení, které je umístováno na samotný začátek efektového řetězce, je pedálová ladička. Ačkoli se nejedná o kytarový efekt, je ladička důležitou součástí řetězce. Pro správné ladění elektrofonické kytary je nutné, aby signál vstupující do ladičky nebyl jakkoli zkreslený nebo modulovaný. [27]

Za pedálovou ladičkou jsou již umístěny samotné efektové jednotky, které jsou nejčastěji propojeny v následujícím pořadí: efekty modulující frekvenční pásmo zvuku (např. wah-wah), zkreslovací efekty (např. overdrive), ekvalizér, modulační efekty pracující se změnou výšky tónů (např. vibrato), modulační efekty pracující se změnou hlasitosti zvuku (např. tremolo) a celý řetězec je zakončován zpoždovacími efekty (např. delay). [27]

V řadě případů se můžeme setkat také s takzvanými efektovými smyčkami. Jedná se o zapojení často využívané u kytarových zesilovačů, které již interně obsahují některé z efektů. Kytarový zesilovač se skládá z předzesilovače, který ovlivňuje barvu zvuku a obsahuje integrované efekty a z koncového zesilovače, jehož hlavní funkcí je výsledné zesílení signálu. Samotná efektové smyčka se nachází právě mezi těmito dvěma částmi kytarového zesilovače a můžeme ji najít pod označením FX loop. Pokud kytarový zesilovač obsahuje například některý ze zkreslovacích efektů a uživatel chce připojit některý z efektů zpoždovacích, měl by být tento efekt dle dříve řečených pravidel umístěn na samém konci efektového řetězce. To umožňuje právě efektové smyčka mezi předzesilovačem a koncovým zesilovačem. [28]



Obrázek 2.7 Možné zapojení efektové smyčky, převzato s úpravami z [29]

3 Návrh efektů pro elektrofonickou kytaru

V předchozí kapitole bylo definováno, jakou funkci jednotlivé efekty plní a jak je můžeme realizovat. Tato kapitola se věnuje některým samotným návrhům z popsaných efekto­vých jednotek a následnému ověření jejich funkce v praxi.

Návrhy jednotlivých efektů jsou realizovány jako oddělené jednotky, jelikož toto řešení umožňuje větší variabilitu jejich propojení v efekto­vém řetězci.

3.1 Overdrive

Prvním navrhovaným efektem je zkreslovací efekt overdrive. Základními prvky celého obvodu jsou operační zesilovač TL082 a dvojice standardních křemíkových signálových diod 1N4148. Schéma zapojení je znázorněno na obrázku 3.1 a pro přehlednost je rozděleno do tří částí.

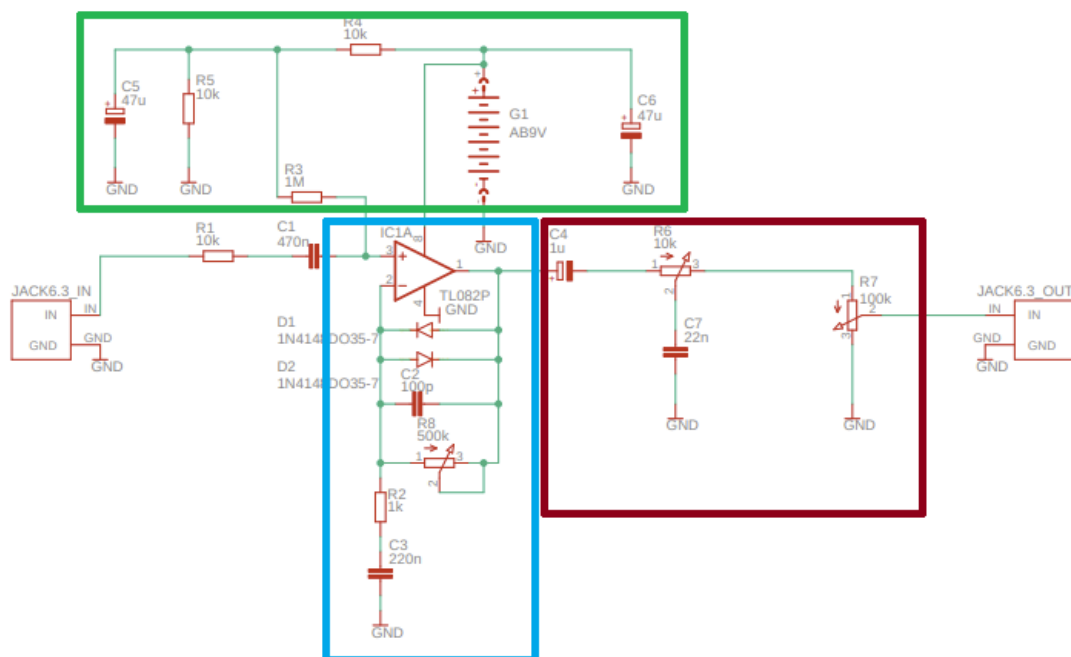
První částí obvodu je zeleně vyznačená napájecí oblast. Jako napájecí zdroj je v tomto případě použita baterie o napětí 9V. Pomocí rezistorů R4 a R5 je realizován napěťový dělič, kterým je napájecí napětí rozděleno na poloviny, což umožňuje napájet OZ jen z jednoho zdroje. Pokud bychom pro napájení použili zdroj s napětím $\pm 9V$, tato část obvodu by ve výsledném zapojení nemusela být použita, avšak tento způsob napájení by z praktického hlediska nebyl vhodný.

Druhou částí obvodu je zkreslovací oblast, která je vyznačena modře. V této části obvodu dochází k zesílení kytarového signálu operačním zesilovačem. Ve zpětné vazbě invertujícího vstupu OZ jsou antiparalelně zapojeny dvě křemíkové diody, které zkreslují signál metodou soft clipping. Velikost zesílení a taktéž zkreslení je regulovatelná pomocí logaritmického potenciometru R8. K diodám je paralelně zapojený kondenzátor C2, který slouží ke zlepšení stability zkreslovací části obvodu a potlačení vzniklých šumů.

Třetí částí obvodu je výstupní oblast, ve které dochází k závěrečným úpravám zkresleného zvukového signálu. Pomocí potenciometru R6 a kondenzátoru C7 je realizována tónová clona. Jedná se o zapojení regulovatelné dolní propusti. Zkreslený a

tónově regulovaný signál je následně přiveden na lineární potenciometr R7, kterým je nastavována výsledná hlasitost výstupního signálu.

Funkčnost tohoto zapojení byla před výrobou efektové jednotky ověřena pomocí realizace na nepájivém poli. Výsledný zkreslený signál odpovídal teoretickým předpokladům. Průběh naměřeného signálu je součástí přílohy 1.



Obrázek 3.1 Schéma zapojení realizovaného efektu overdrive, převzato s úpravami z [30]

3.2 Wah-wah

Dalším z navrhovaných efektů je modulační efekt wah-wah. Návrh této efektové jednotky byl proveden dvěma způsoby.

První způsob návrhu využíval ve svém zapojení operační zesilovač TL082 a pásmový twin-T filtr. Jedná se o filtr realizující pásmovou zádrž, která je složena ze dvou paralelně spojených T článků. První z článků je sestaven ze dvou sériově zapojených rezistorů a kondenzátoru spojeného se zemí, druhý článek je složen obdobně ze dvou sériově spojených kondenzátorů a rezistoru spojeného se zemí. Pokud je rezistor druhého článku nahrazen potenciometrem, vzniká přeladitelný filtr pásmové zádrže. Takto vzniklý filtr byl připojen do zpětné vazby invertujícího vstupu OZ. Zapojení filtru přeladitelné pásmové

zádrže ve zpětné vazbě svým fungováním vytváří filtr pásmové propusti. Při ověřování činnosti navrženého zapojení v laboratoři pracovalo dle principu wah-wah efektu, avšak pouze v nízkém kmitočtovém pásmu. Proto došlo k vytvoření druhého návrhu zapojení.

Druhý způsob návrhu wah-wah efektu byl proveden s využitím integrovaného obvodu MAX7490 od společnosti Maxim. Jedná se o filtr druhého řádu se spínanými kapacitami, který je možné použít jako pásmovou propust. Propouštěné pásmo je možné ladit změnou frekvence hodinového signálu přivedeného na filtr. Pro hodnotu požadované propustné frekvence platí:

$$(1) \quad f_0 = \frac{f_{CLK}}{100}$$

Kde f_0 je požadovaná propustná frekvence filtru pásmové propusti a f_{CLK} je frekvence řídicího hodinového signálu. Maximální použitelná frekvence hodinového signálu je udávána jako 40MHz. Z této hodnoty tedy lze odvodit, že filtr je možné využít v rozsahu od 1Hz do 40kHz. Tento rozsah je vzhledem k podstatně nižšímu frekvenčnímu rozsahu elektrofonické kytary pro realizaci wah-wah efektu plně dostačující. Filtr zároveň umožňuje nastavit šířku propouštěného frekvenčního pásma, a to použitím následujícího vztahu:

$$(2) \quad Q = \frac{R_3}{R_2}$$

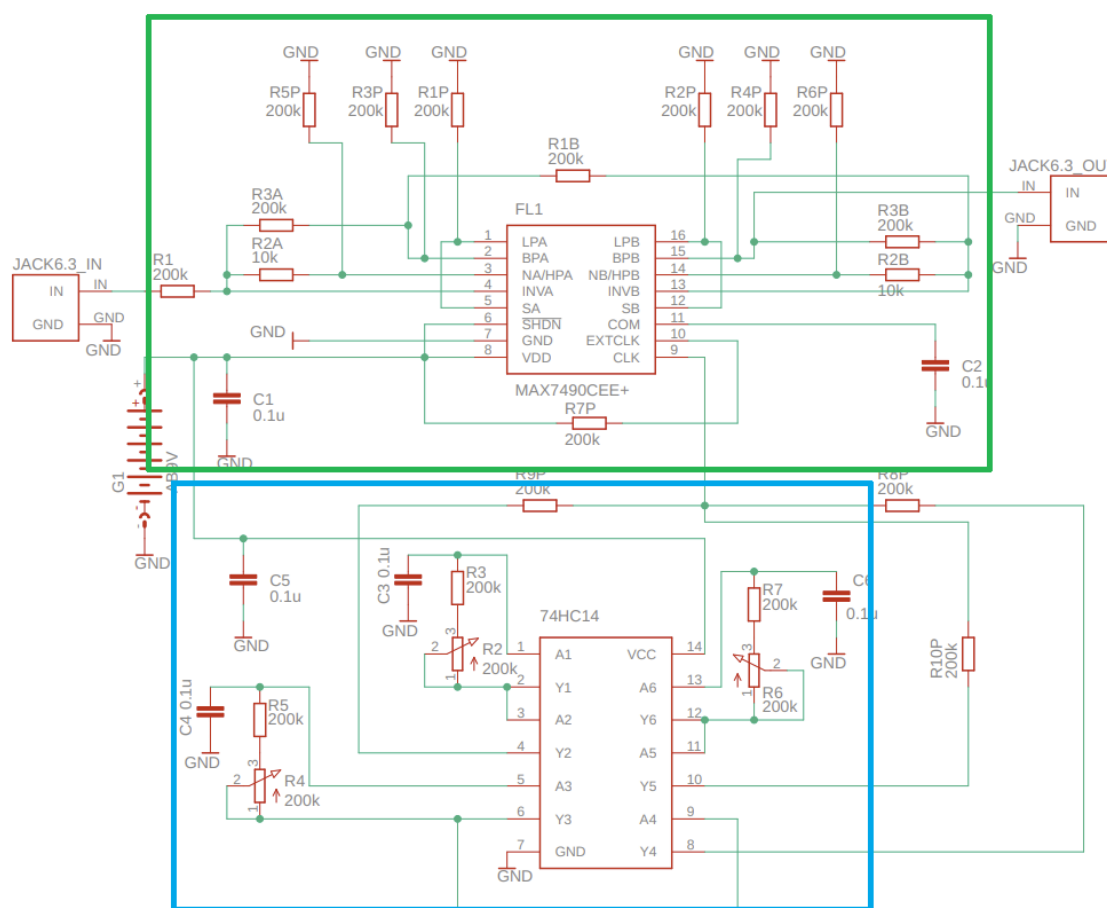
Kde Q je hodnota udávající šířku propouštěného frekvenčního pásma. Jedná se tedy o vzdálenost od frekvence f_0 při které dojde k útlumu signálu o 3dB. Poměr R_3 / R_2 odpovídá poměru rezistorů R_{3A} / R_{2A} nebo R_{3B} / R_{2B} v uvedeném schématu zapojení. Aby bylo propustné pásmo symetrické z obou stran, je nutné zvolit hodnoty rezistorů tak, aby platilo, že $R_{2A} = R_{2B}$ a $R_{3A} = R_{3B}$. Zapojení filtru bylo provedeno dle doporučení výrobce a je znázorněno ve schématu na obrázku 3.2 zeleně. Vnitřní zapojení filtru je součástí přílohy 5.

Jako zdroj hodinového signálu byl použit integrovaný obvod 74HC14, v jehož pouzdře se nachází šest invertorů. Hodinový signál byl realizován jako oscilátor se Schmittovým

klopným obvodem a jeho zapojení je ve schématu na obrázku 3.2 vyznačeno modře. Pro testovací účely byly realizovány tři oscilátory s odlišnými vlastnostmi, ve výsledném zapojení na DPS byl však použit pouze jeden. Obvod by bylo možné modifikovat přepínačem, který by umožnil mezi jednotlivými oscilátory přepínat. Řízení frekvence jednotlivých oscilátorů lze regulovat potenciometry R2, R4 a R6.

Odpory, které jsou ve schématu označené jako RxP slouží pouze pro měřicí a testovací účely. Ve výsledném zapojení na DPS nebyly tyto odpory osazeny.

Na rozdíl od prvního zapojení, které využívalo twin-T filtru, se při realizaci integrovanými obvody dosáhlo při zkušebním testování výrazně lepších výsledků.



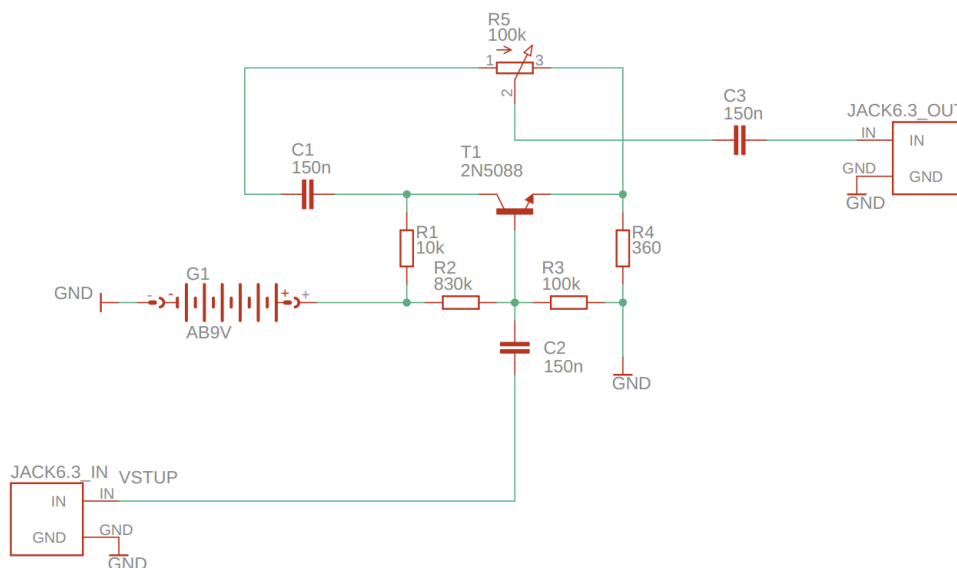
Obrázek 3.2 Schéma zapojení realizovaného efektu wah-wah

3.3 Booster

Efekt booster je nejjednodušším z navrhovaných a realizovaných efektů. Jedná se o efekt, který pouze moduluje hlasitost kytarového signálu. Při přebuzení však také může vnášet do zvuku jemné zkreslení. Efekt lze realizovat několika způsoby, přičemž základem je vždy prvek zajišťující zesílení signálu. K tomuto účelu lze využít zesilovače operačního nebo tranzistorového.

První návrh byl proveden za použití OZ. Schéma zapojení je obdobné jako na obrázku 3.1. Jedinou změnou v zapojení je odstranění dvojice antiparalelně zapojených signálových diod ze zpětné vazby invertujícího vstupu OZ. Takto realizované zapojení pracovalo při zkušebním testování zcela spolehlivě a pokud je do obvodu na obrázku 3.1 zařazen přepínač, který umožní odepnutí signálových diod, vytvoříme efektovou jednotku, která je schopna realizovat efekt booster i efekt overdrive a to bez značných přidaných nákladů.

Druhým způsobem, jak lze provést návrh a realizaci efektu booster, je použití tranzistorového zesilovače. Schéma zapojení použité pro realizaci efektu je na obrázku 3.3. Ačkoli je tento návrh s ohledem na výhodnost použití zapojení s OZ poměrně absurdní, důvodem jeho realizace je značná obliba zvuku vzniklého tranzistorovým zesílením mezi hudebními nadšenci. Jako zesilovací prvek byl při návrhu zvolen křemíkový bipolární NPN tranzistor 2N5088 v zapojení se společným emitorem (SE). Pro zapojení SE je typické, že zesílené výstupní napětí je oproti napětí vstupnímu fázově posunuto o 180° , to však z hlediska vnímání vytvářeného zvuku nemá žádný vliv na jeho kvalitu. Jelikož spotřeba efektu je dostatečně nízká, byla jako napájecí zdroj zvolena 9V baterie, což je praktické z hlediska snadné manipulace s efektovou jednotkou. Hlasitost a míra zkreslení efektu je regulovatelná lineárním potenciometrem R5.



Obrázek 3.3 Schéma zapojení realizovaného efektu booster, převzato s úpravami z [31]

3.4 Zpoždovací linka

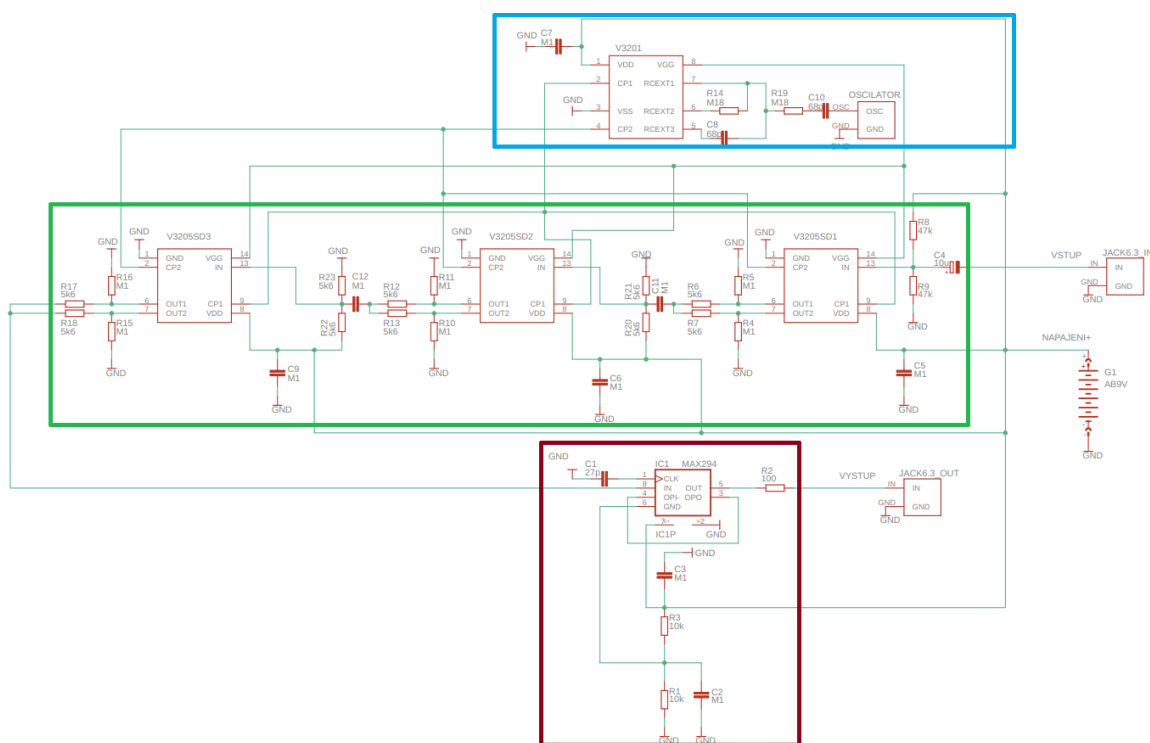
Na rozdíl od předchozích návrhů, které vždy představovaly jeden určitý typ efektu, tento návrh reprezentuje pouze samotné zapojení zpoždovací linky, kterou je možné použít pouze s drobnými úpravami pro několik typů efektových jednotek. Schéma zapojení zpoždovací linky je znázorněno na obrázku 3.4.

Zpoždění vstupního signálu je realizováno sériovým zapojením až tří analogových zpoždovacích linek V3205SD, které jsou ve schématu označeny zeleně. Jedná se o zpoždovací linky navržené společností Coolaudio přímo pro využití v audiotechnice. Integrovaný obvod se vyznačuje nulovým přídavným šumem $L_i = 0\text{dB}$ a velkým odstupem mezi zvukovým signálem a šumem $S/N = 60\text{dB}$. Tyto zpoždovací linky pracují na principu BBD, tedy posouvají náboj mezi jednotlivými paměťovými kondenzátory analogové zpoždovací linky. Zpoždění každé z linek lze regulovat pomocí připojeného hodinového signálu v rozmezí 20,48ms až 204,8ms. Generování hodinového signálu je zajištěno obvodem V3102, ve schématu označen modře. Jedná se o CMOS integrovaný obvod s nízkou výstupní impedancí, který je navržen přímo pro účel řízení BBD obvodů. Základní frekvence generovaného hodinového signálu je 40kHz. Při této generované frekvenci je zpoždění zpoždovací linky minimální, tedy 20,48ms. Pokud je frekvence hodinového signálu vstupujícího do zpoždovací linky snížena, dochází úměrně k tomu ke zvýšení doby zpoždění. Výstupní signál sériové zpoždovací linky je přiveden na filtrační obvod

MAX294 od společnosti Maxim, ve schématu označen červeně. Jedná se o aktivní filtrační obvod osmého řádu se spínanými kapacitami, který je ideální pro kontinuální filtraci signálu. Filtrační obvod je nutné zařadit z důvodu vyhlazení signálu vytvořeného zpoždovací linkou, jelikož ten podléhá určitému druhu vzorkování, jak bylo vysvětleno v kapitole 2.1.3. Vyhlazený signál je již připraven k použití, jenž se odvíjí od typu realizované efektové jednotky. Jednotlivé obvodové bloky byly zapojeny dle doporučení výrobců v dokumentaci. Zapojení zpoždovací linky bylo před výrobou otestováno na prototypové desce a fungovalo dle předpokladů. Průběh naměřeného signálu je součástí přílohy 2.

Jak již bylo v úvodu řečeno, zapojení zpoždovací linky je univerzální a lze jej využít k realizaci několika efektů, mezi které patří například delay, vibrato a chorus. Pro finální realizaci byl však zvolen pouze efekt delay, kterým lze demonstrovat funkci zpoždovací linky nejlépe.

Zapojení zpoždovací linky delay efektu se plně shoduje s obrázkem 3.4. Aby bylo docíleno zvuku navozujícího ozvěnu, je nutné rozdělit vstupní signál z elektrofonické kytary tak, aby bylo možné pracovat nejen se signálem zpožděným, ale i se signálem původním, u kterého nedochází k žádným změnám. K umožnění regulace poměru, ve kterém jsou zpožděný a původní signál před přivedením na výstup mixovány, lze zakončení zpoždovací linky doplnit potenciometrem, kterým je možné regulovat hodnotu signálu vystupujícího ze zpoždovací linky.



Obrázek 3.4 Schéma zapojení realizované zpoždovací linky

Závěr

Záměrem této práce bylo vypracovat přehled zvukových efektů, které jsou nejčastěji realizovány ve formě efektových jednotek pro elektrofonickou kytaru. Toho bylo docíleno vytvořením přehledného seznamu kytarových efektů, který jednotlivé efekty rozčleňuje do několika skupin. Skupiny byly seřazeny podle způsobů zpracování zvukového signálu, což usnadňuje celkovou orientaci v přehledu efektových jednotek. Stěžejní efekty byly doplněny obrázky, které znázorňují průběhy původního a upraveného zvukového signálu, díky čemuž si čtenář snadno vytvoří rychlou představu o principu práce dané efektové jednotky. Pro důslednost byla věnována pozornost také možnostem napájení a řetězení popisovaných efektů v efektovém řetězci.

Dále byl proveden návrh a realizace systému pro generování zvuku. Systém byl navržen ve formě oddělených efektových jednotek, které je možné zapojit do efektového řetězce. Z vypracovaného seznamu zvukových efektů bylo zvoleno několik efektových jednotek, pro které bylo navrženo zapojení vycházející z principů popisovaných v teoretické části práce. Navržené obvody byly nejprve osazeny na nepájivém poli a podrobeny měření v laboratoři. Při tomto ověřování bylo zjištěno několik drobných

nedostatků, které byly před finálním návrhem DPS odstraněny. Nejvýraznější problém nastal u obvodu wah-wah realizovaného v zapojení twin-T, který při měření nedosahoval uspokojivých výsledků. Z tohoto důvodu bylo od twin-T zapojení upuštěno a bylo zvoleno modernější zapojení s obvodem MAX7490, které bylo vyhodnoceno jako výrazně účinnější. U efektových jednotek bylo také provedeno ověření jejich praktické funkce při zapojení do signálového řetězce elektrofonické kytary. Ve spojení s elektrofonickou kytarou efekty pracovaly dle teoretických předpokladů a dosahovaly uspokojivých výsledků z hlediska zpracování kytarového signálu.

Výrazný problém nastal při konečné výrobě jednotlivých DPS. Výroba měla být z důvodu urychlení provedena přímo na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Materiály potřebné pro výrobu byly dodány s dostatečným předstihem, ale výrobní proces byl pozdržen z důvodu výměny rozbité frézy a následným problémem s nedodáním licence k obslužnému programu frézy nové. Z tohoto důvodu nebylo možné jednotlivé efektové jednotky zkompletovat a vykonat závěrečná měření před odevzdáním této práce. Závěrečná měření navržených efektových jednotek budou provedena ihned po dodání vyrobených DPS.

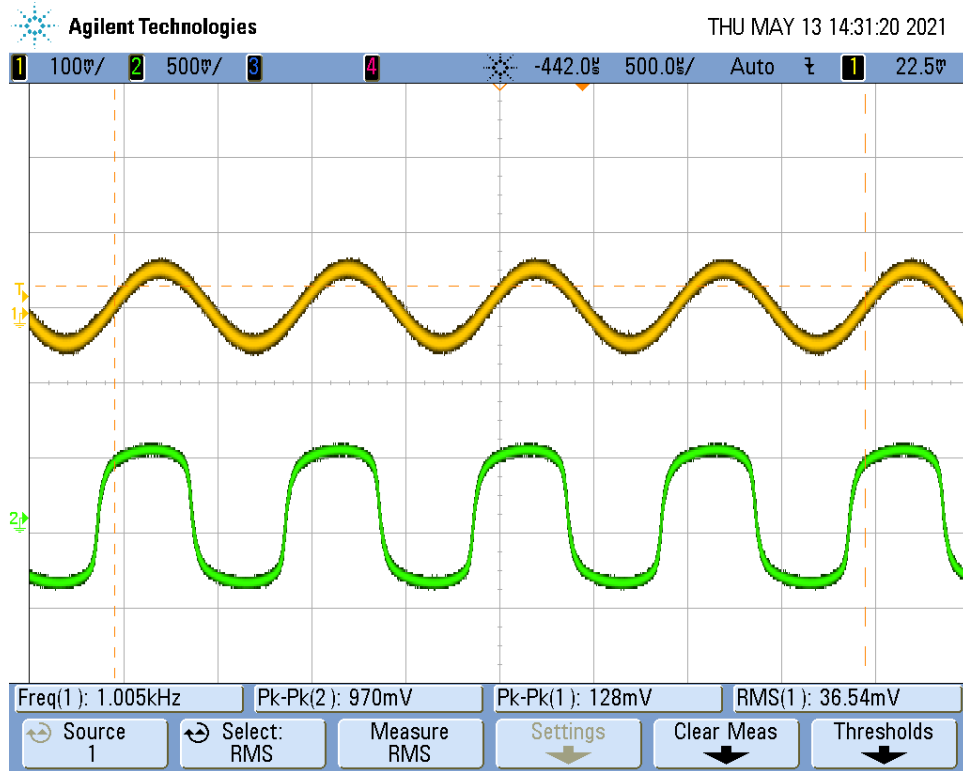
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Elektrická kytara – Wikipedie. [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_kytara
- [2] Elektrická kytara | Jazyková škola Pelican. *PELICAN Jazyková škola Brno / Jazyková škola Pelican* [online]. Copyright © 2015 Pelican. All rights reserved. [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: <https://www.skolapelican.com/elektricka-kytara/>
- [3] TO ZÁKLADNÍ O SNÍMAČÍCH - Hudební fórum. *Hudební fórum - Obsah* [online]. Copyright © phpBB Limited [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: <https://hudebniforum.cz/to-zakladni-o-snimacich-7031>
- [4] Elektromagnetický snímač – Wikipedie. [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%BD_sn%C3%ADma%C4%8D
- [5] Seymour Duncan The Anatomy Of Single Coil Pickups - Guitar Pickups, Bass Pickups, Pedals. *Seymour Duncan Guitar Pickups, Bass Pickups, Pedals* [online]. Copyright © 2020 Seymour Duncan. Santa Barbara, California. All rights reserved. [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: <https://www.seymourduncan.com/blog/latest-updates/the-anatomy-of-single-coil-pickups>
- [6] Humbucker Pickup Kit | stewmac.com. *Everything for building and repairing stringed instruments! / stewmac.com* [online]. Copyright © 2021 Stewart [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: <https://www.stewmac.com/video-and-ideas/online-resources/learn-about-guitar-pickups-and-electronics-and-wiring/humbucker-pickup-kit.html>
- [7] » Guitars » Recordingology. » *Recordingology* [online]. Copyright © 2010 [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: <http://recordingology.com/in-the-studio/guitars/>
- [8] History of Guitar Effects | HowStuffWorks. *Electronics / HowStuffWorks* [online]. Copyright © 2021 HowStuffWorks, a division of [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: <https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/audio-music/guitar-pedal1.htm>
- [9] Sekernice Jiřího Špalka #7 - Kytarové efekty / procesory. *REGIOLIST ! MUSIC* [online]. Copyright © 2016 REGIOLIST [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: <https://regiolist.cz/sekernice-jiriho-spalka-7/>
- [10] Make It Loud: Boosting, Compressing or Distorting a Signal | HowStuffWorks. *Electronics / HowStuffWorks* [online]. Copyright © 2021 HowStuffWorks, a division of [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/audio-music/guitar-pedal2.htm>

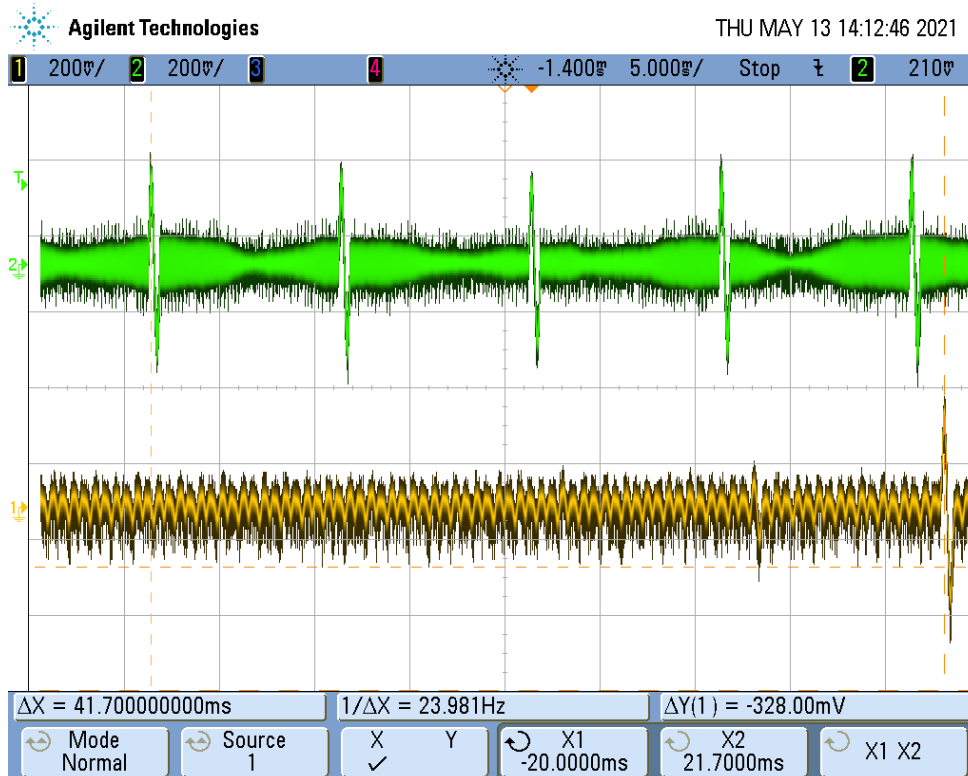
- [11] Kytarové zkreslení? Nic jednoduššího! - muzikus.cz. [online]. [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Kytarove-zkresleni-Nic-jednodussiho~03~zari~2003/>
- [12] Soft Clipping. *Elliott Sound Products - The Audio Pages (Main Index)* [online]. Copyright © 2006, Rod Elliott [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://sound-au.com/articles/soft-clip.htm>
- [13] Distortion (music) - Wikipedia. [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_\(music\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_(music))
- [14] Fuzz Effects Explained. Versus overdrive, distortion | Kuassa. *Best Guitar Amp Simulator, Audio VST Plugins and Rack Extension* [online]. Copyright © 2010 [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://www.kuassa.com/fuzz-effects-explained/>
- [15] Sekernice Jiřího Špalka #8 - Kytarové efekty / přehled a popis funkcí. *REGIOLIST ! MUSIC* [online]. Copyright © 2016 REGIOLIST [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://regiolist.cz/sekernice-jiriho-spalka-8/>
- [16] Jak pracují efekty II - muzikus.cz. [online]. [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Jak-pracuji-efekty-II~05~brezen~2009/>
- [17] What Are Phaser Pedals (Guitar/Bass FX) & How Do They Work? – My New Microphone. *My New Microphone – Everything You Need To Know About Microphones* [online]. Copyright © 2021 Fox Media Tech Inc. [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://mynewmicrophone.com/what-are-phaser-pedals-guitar-bass-fx-how-do-they-work>
- [18] What Are Vibrato Guitar Effects Pedals & How Do They Work? – My New Microphone. *My New Microphone – Everything You Need To Know About Microphones* [online]. Copyright © 2021 Fox Media Tech Inc. [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://mynewmicrophone.com/what-are-vibrato-guitar-effects-pedals-how-do-they-work/>
- [19] *301 Moved Permanently* [online]. [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://web.stanford.edu/class/ee26n/Assignments/Assignment3.html>
- [20] Jak pracují efekty I - muzikus.cz. [online]. [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Jak-pracuji-efekty-I~19~leden~2009/>
- [21] What Are Chorus Pedals (Guitar/Bass FX) & How Do They Work? – My New Microphone. *My New Microphone – Everything You Need To Know About Microphones* [online]. Copyright © 2021 Fox Media Tech Inc. [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://mynewmicrophone.com/what-are-chorus-pedals-guitar-bass-fx-how-do-they-work/#What-Are-Chorus-Pedals-&-How-Do-They-Work?>

- [22] Delay (audio effect) - Wikipedia. [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 16.04.2021]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Delay_\(audio_effect\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Delay_(audio_effect))
- [23] What Are Delay Pedals (Guitar Effects) & How Do They Work? – My New Microphone. *My New Microphone – Everything You Need To Know About Microphones* [online]. Copyright © 2021 Fox Media Tech Inc. [cit. 16.04.2021]. Dostupné z: <https://mynewmicrophone.com/what-are-delay-pedals-guitar-effects-how-do-they-work/>
- [24] What is a Noise Gate and how to use it? | HSR. *Home Studio Recordings | HSR* [online]. Copyright © 2021 [cit. 16.04.2021]. Dostupné z: <https://homestudiorecordings.com/what-is-a-noise-gate/>
- [25] Jak napájet kytarové efekty - Svět-kytar.cz. *Svět kytar - Protože jeden svět nestačí...* [online]. [cit. 22.04.2021]. Dostupné z: <https://www.svetkytar.cz/napajeni-efektu>
- [26] Zdroje pro pedalboardy 8x10V - Smrčka Effects. *Smrčka Effects - kytarové efekty, kabely, zdroje a příslušenství* [online]. Copyright © Smrčka Effects [cit. 22.04.2021]. Dostupné z: <https://smrckaeffects.com/zdroje-pro-pedalboardy-8x10v/>
- [27] Pořadí kytarových efektů v pedalboardu - Svět-kytar.cz. *Svět kytar - Protože jeden svět nestačí...* [online]. [cit. 22.04.2021]. Dostupné z: <https://www.svetkytar.cz/poradi-efektu>
- [28] Tipy a triky nastavení - Efektová smyčka aneb jak si to hodit (1. část) - muzikus.cz. [online]. [cit. 22.04.2021]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-serialy/Tipy-a-triky-nastaveni-Efektova-smycka-aneb-jak-si-to-hodit-1-cast~09~leden~2012/>
- [29] Something similar to FX loop | NI Community Forum. [online]. Copyright © [cit. 22.04.2021]. Dostupné z: <https://www.native-instruments.com/forum/threads/something-similar-to-fx-loop.374347/>
- [30] How to design a basic overdrive pedal circuit | Wampler Pedals. *Wampler Pedals | Wampler, where tone chasing begins and ends - pedals, amps, blogs, videos, podcasts...* [online]. Copyright © 2021 Wampler Pedals. All Rights Reserved [cit. 29.04.2021]. Dostupné z: <https://www.wamplerpedals.com/blog/uncategorized/2020/05/how-to-design-a-basic-overdrive-pedal-circuit/>
- [31] How To Make A Boost Pedal – DIY Booster For Electric Guitar (tutorial) – Boost Driver - YouTube. *YouTube* [online]. Copyright © 2021 Google LLC [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ANkNvOFgYKk>
- [32] MAX7490 Dual Universal Switched-Capacitor Filters. *Maxim integrated* [online]. [cit. 26.05.2021]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/analog-filters/MAX7490.html>

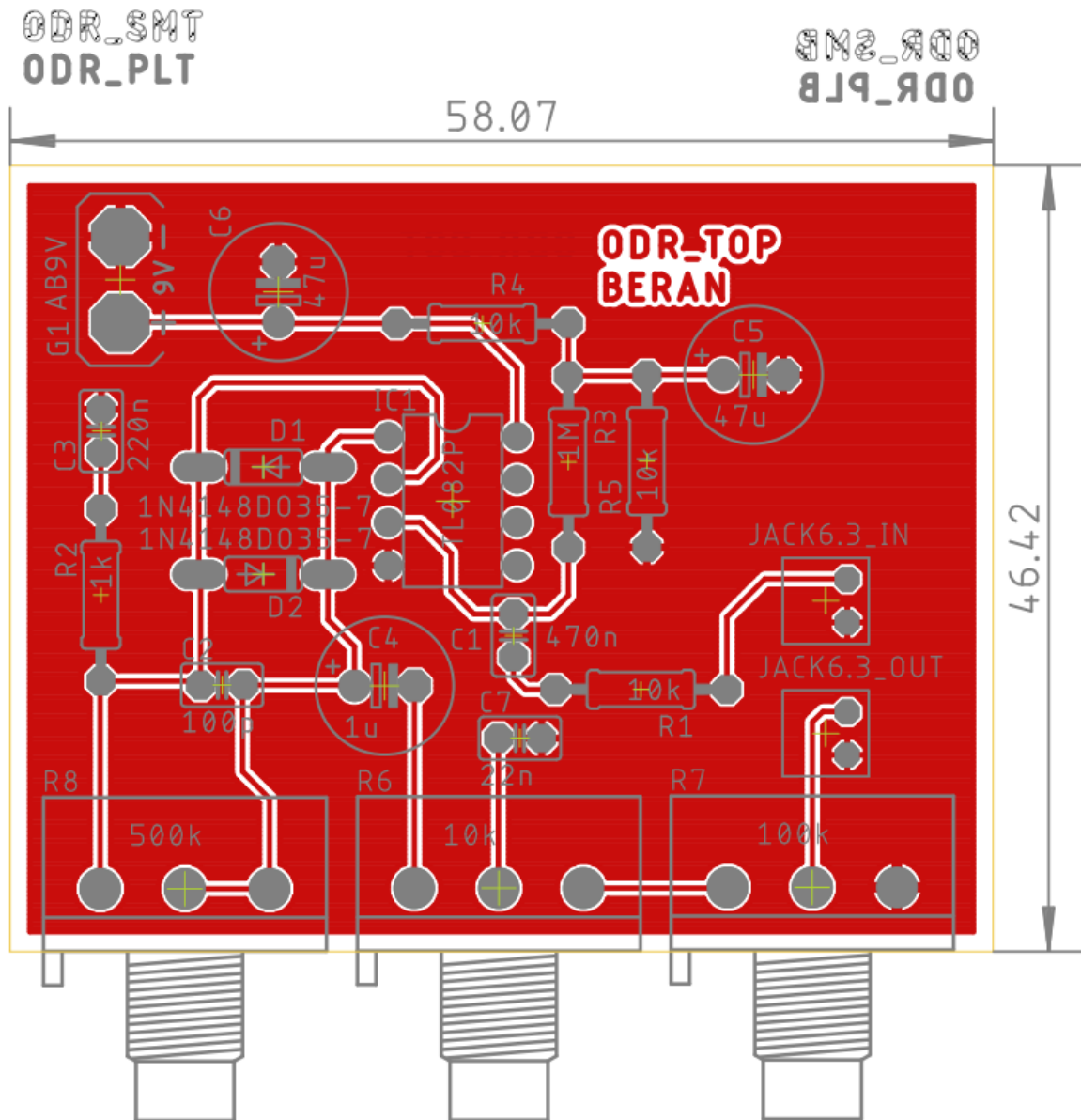
Přílohy



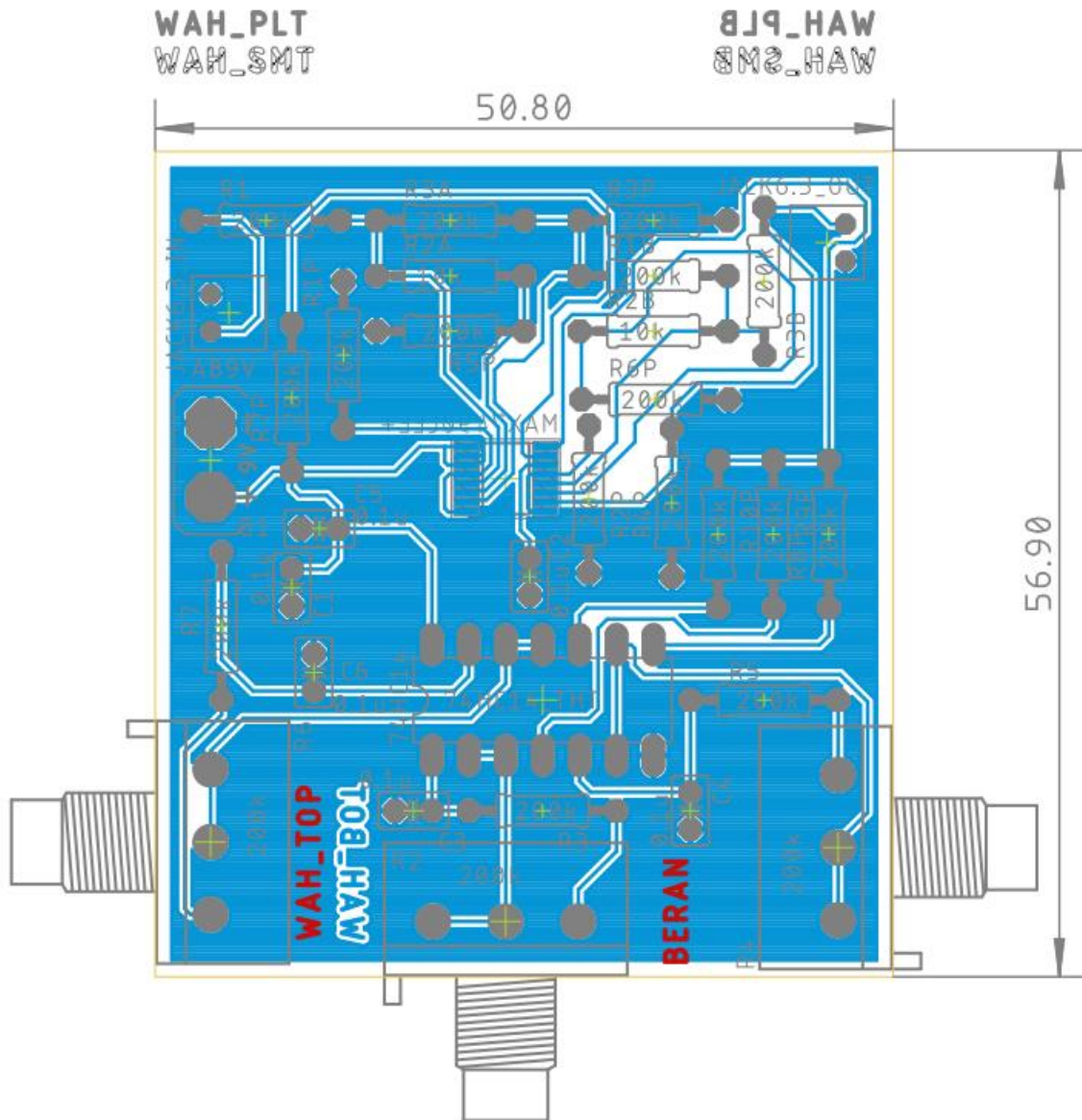
Příloha 1 Naměřený průběh overdrive efektu (vstupní signál nahoře)



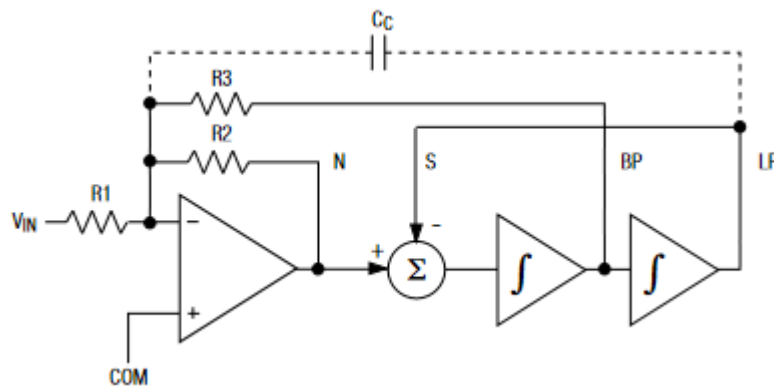
Příloha 2 Naměřený průběh zpožďovací linky (vstupní signál nahoře)



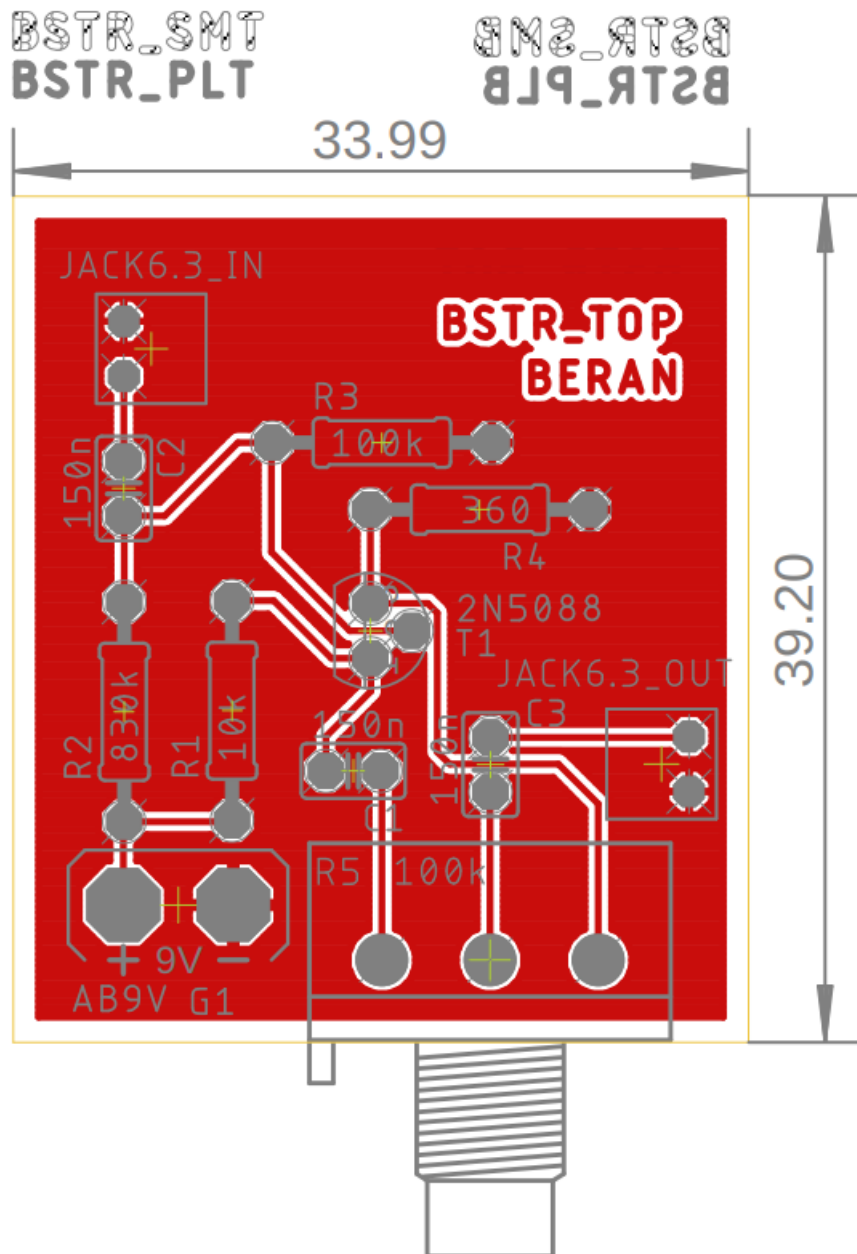
Příloha 3 Navržená DPS pro efekt overdrive



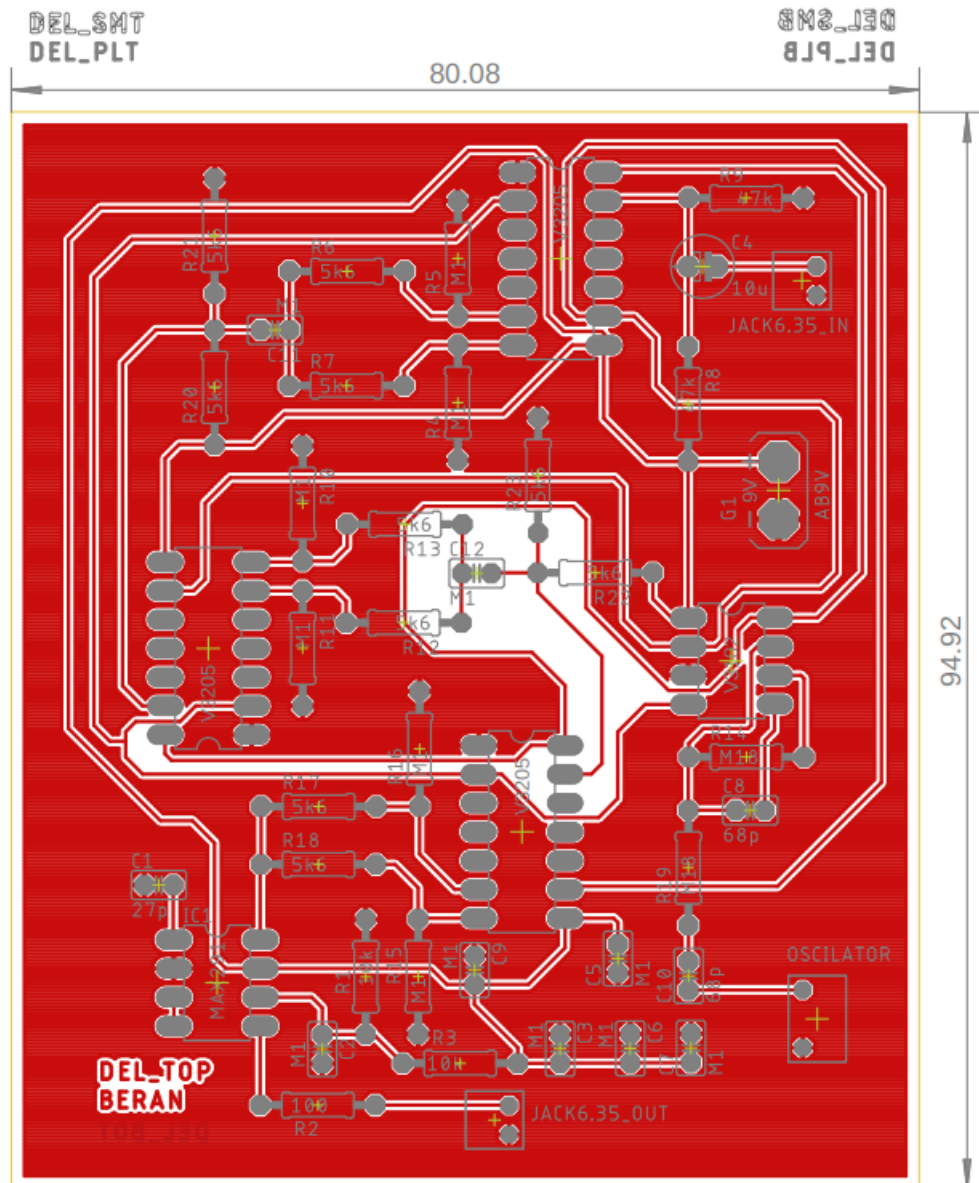
Příloha 4 Navržená DPS pro efekt wah-wah



Příloha 5 Vnitřní zapojení integrovaného obvodu MAX 7490, převzato z [32]



Příloha 6 Navržená DPS pro efekt booster



Příloha 7 Navržená DPS pro zpožďovací linku