

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Kytarový efekt s elektronikou**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2016/2017

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš NOVÝ**  
Osobní číslo: **E15N0031P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Kytarový efekt s elektronikou**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

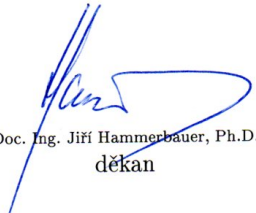
1. Provedte rešerši použití elektronek v moderních kytarových efektech.
  2. Navrhněte zapojení, vhodné ovládací prvky a mechanické provedení vybraného kytarového efektu.
  3. Zvolený kytarový efekt vyrobte a ověřte jeho základní funkčnost.
-

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

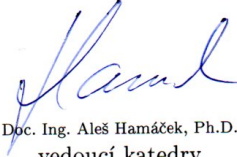
**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Pavel Karban, Ph.D.**  
Katedra teoretické elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**  
Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

## **Anotace**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na konstrukci kytarového efektu s elektronkou. V textu je popsáno základní rozdělení a princip funkce kytarových efektů a elektronek a také vybrané, běžně dostupné elektronkové efekty. Hlavní část práce se věnuje kompletnímu návrhu a konstrukci elektronkového kytarového efektu s elektronkou 12AX7 na základě schéma sériově vyráběného efektu Westbury W-20. Princip funkce zapojení a předpokládané vlastnosti efektu jsou teoreticky objasněny dle dostupných zdrojů a literatury. Text obsahuje také popis postupu výroby mechanické konstrukce včetně návrhu a realizace designu a rozložení ovládacích prvků. Po výrobě efektu je měřeními ověřena jeho základní funkčnost a vlastnosti.

## **Klíčová slova**

Kytarový efekt, elektronkový efekt, analogový efekt, digitální efekt, modulační efekt, zkreslující efekt, elektronka, overdrive, distortion, fuzz, compressor, booster, echo, reverb, delay, flanger, phaser, chorus, vibrato, tremolo, softwarový efekt, elektronka 12AX7, dvojitá trioda, Effectrode pedals, Westbury W-20, zkreslení, asymetrický soft - clipping, sudé harmonické



## **Abstract**

This thesis is focused on design and construction of the guitar effect with the vacuum tube. There is a description of basic distribution and principle of function of guitar effects and vacuum tubes and also the selected, commercially available tube effects. The main part of the thesis is devoted to complete design and construction of the guitar tube effect with the tube 12AX7. The effect is based on scheme of mass-produced guitar effect Westbury W-20. The principle of circuits function and the expected properties of tube effect are theoretically explained by available resources and literature. The text also contains a description of the production of chassis including design and realization of the design and the layout of controls. After production, the basic functionality and properties of effect are verified by measurement.

## **Key words**

Guitar effect, vacuum tube effect, analog effect, digital effect, modulatory effect, distorting effect, vacuum tube, overdrive, distortion, fuzz, compressor, booster, echo, reverb, delay, flanger, phaser, chorus, vibrato, tremolo, software effect, vacuum tube 12AX7, double triode, Effectrode pedals, Westbury W-20, distortion, asymmetrical soft-clipping, even harmonics

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou 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 diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 14.5.2017

Tomáš Nový

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, doc. Ing. Pavlu Karbanovi Ph.D., za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1. HISTORIE KYTAROVÝCH EFEKTŮ</b> .....	<b>10</b>
<b>2. ROZDĚLENÍ KYTAROVÝCH EFEKTŮ</b> .....	<b>12</b>
2.1 ROZDĚLENÍ EFEKTŮ DLE JEJICH FUNKCE.....	12
2.2 ROZDĚLENÍ EFEKTŮ DLE TECHNOLOGIE PŘENOSU SIGNÁLU.....	29
2.3 ROZDĚLENÍ EFEKTŮ DLE ZPŮSOBU OVLIVNĚNÍ SIGNÁLU.....	30
<b>3. MODERNÍ ELEKTRONKOVÉ EFEKTY</b> .....	<b>31</b>
3.1 ELEKTRONKY.....	31
3.2 DOSTUPNÉ ELEKTRONKOVÉ EFEKTY.....	34
<b>4. NÁVRH ZAPOJENÍ</b> .....	<b>40</b>
4.1 ELEKTRONKA 12AX7.....	40
4.2 FUNKCE EFEKTU.....	41
<b>5. KONSTRUKCE EFEKTU</b> .....	<b>47</b>
5.1 VÝROBA DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	47
5.2 VÝROBA MECHANICKÉ KONSTRUKCE.....	48
5.3 ROZLOŽENÍ OVLÁDACÍCH PRVKŮ.....	51
<b>6. OVĚŘENÍ ZÁKLADNÍ FUNKČNOSTI EFEKTU</b> .....	<b>53</b>
6.1 MĚŘENÍ.....	53
6.2 ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	60
6.3 FOTOGRAFIE EFEKTU.....	61
<b>7. ZÁVĚR</b> .....	<b>62</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>64</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>I</b>

## Úvod

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na konstrukci kytarového elektronkového efektu.

Kytarové efekty jsou elektronická zařízení, která se využívají v kombinaci s hudebním nástrojem, v tomto případě s kytarou, nebo s jinými zdroji zvuku za účelem ovlivnění signálu, který tyto zdroje zvuku produkují. Některé efekty mohou signál ovlivňovat jen velice jemně tím, že zvuk vhodně „dobarví,“ jiné zase signál radikálně zdeformují, což zapříčiní jeho zkreslení. Využití těchto efektů je především při živém vystupování, ale v případě, že se jedná o velice kvalitní efekty, jsou využívány i při práci v nahrávacích studiích. Práce je konkrétně zaměřena na efekt, který se řadí mezi tzv. „stompbox“ efekty. Jde o malý pedálový efekt v kovovém šasi, umístěný na zemi před hudebníkem. Efekt lze však umístit také do kytarového zesilovače, rack skříně společně s dalšími efekty, nebo jej lze zabudovat přímo do nástroje.

Text práce je rozdělen do pěti částí. V úvodu je stručně popsána historie kytarových efektů a jejich rozdělení z hlediska funkce, přenosu signálu a ovlivnění signálu. V následující části jsou popsány a porovnány nejvýznamnější modely dostupných elektronkových kytarových efektů od různých výrobců a také historie, popis funkce a rozdělení elektronek. Další část práce se podrobně věnuje funkci vybraného zapojení a jeho jednotlivých částí. Ve čtvrté části je popsán proces výroby efektu od návrhu desky plošných spojů po design, rozložení ovládacích prvků a finální sestavení. V závěru práce jsou uvedeny výsledky a zhodnocení měření.

## 1. Historie kytarových efektů

Potřeba nějakým způsobem měnit, kreslit či modulovat kytarový signál se rozvinula především ve 40. a 50. letech 20. stol., kdy byly vyvinuty zásadní modely elektrických kytar Fender Stratocaster a Telecaster a Gibson Les Paul, ze kterých dnes vychází všechny další typy elektrických kytar. V této době se mění styl hry na kytaru a rychle se vyvíjí hudební žánr vycházející hlavně z blues – rock'n'roll. Čistý akustický zvuk kytary přestal být atraktivní a hledal se způsob, jak jej upravit.

První kytarové efekty byly zabudovány přímo v samotných nástrojích a byly mechanické. V roce 1930 vyrobila americká společnost Rickenbacker International Corporation upravenou španělskou kytaru s motorovým mechanismem, který pohyboval s kobylkou a vytvářel tak efekt vibráta. Tyto nástroje však byly velice nepraktické a výsledný efekt nebyl příliš dobrý. Z tohoto důvodu se začínaly vyvíjet efekty, které byly montovány do samostatných pouzder nebo byly zabudovány v kytarových zesilovačích. Jako první samostatný efekt se uvádí Tremolo Control model 601, který v roce 1940 vyrobila firma DeArmond. Jednalo se o elektromechanický efekt typu tremolo a jeho princip spočíval v tom, že se periodicky uzemňoval kytarový signál procházející přes mechanicky rozkmitávané váleček naplněný elektrolytickou tekutinou. V následujících letech se spíše rozmáhá produkce vestavěných efektů typu tremolo, echo, reverb a vibrato, které jsou prodávány spolu s kytarovými zesilovači, jako rozšiřující možnost nastavení jejich zvuku. Od roku 1960 se experimentovalo s páskovými efekty typu echo, z nichž nejznámější je Watkins Copicat navržený Charlie Watkinsem v roce 1961 a který se v různých verzích a s různými inovacemi vyrábí dodnes. [1]



Obr. 1 Watkins Copicat 1970 (převzato z [2])

Koncem 60. let 20. stol. se již začínají objevovat první efekty typu distortion, které se později staly bezkonkurenčně nejpoužívanějšími efekty vůbec. V tomto období se také přechází z elektronkových efektů, které byly drahé, křehké a rozměrné, na tranzistorové, které byly levnější, odolnější vůči otřesům a díky menším rozměrům také praktičtější. Tím v podstatě vznikl koncept klasického pedálového efektu, jež se používá dodnes. Je ovšem nutné dodat, že i přes zjevně nevýhodné vlastnosti elektronek nepřestaly být elektronkové efekty využívány. Především profesionální muzikanti si velmi oblíbili specifický elektronkový zvuk, který tranzistorové efekty nedokázaly napodobit. V polovině 70. let 20. stol. jsou pak vyvíjeny především modulační efekty typu phaser, chorus a flanger. Dalším milníkem ve vývoji kytarových efektů je jejich digitalizace, která umožnila rozmach především tzv. multiektů, tedy zařízení, které umí simulovat více efektů. První digitální efekty byly vyráběny již počátkem 80. let 20. stol. Zcela přelomový byl pak rok 1996, ve kterém byla patentována technologie, která umožňovala alespoň částečně simulovat charakteristický zvuk a vlastnosti elektronek. To způsobilo, že většina dnes komerčně vyráběných efektů jsou tranzistorové. [1] [3]



Obr. 2 Jeden z nejznámějších kytarových efektů Ibanez Tube Screamer TS808 (převzato z [4])

S rozvojem výpočetní techniky vznikly také tzv. softwarové efekty, které jsou využívány v nahrávacích studiích při postprodukci nahraných skladeb. Jedná se o virtuální efekty, které simulují zvuk klasických efektů. V současné době jsou vyráběny jak analogové, tak digitální efekty i multiefekty a na trhu je nepřehledné množství všech uvedených typů a jejich variací. Elektronkové efekty se dnes vyrábí spíše výjimečně, ale jsou velice ceněny pro jejich příjemně přirozený zvuk, případně zkreslení. [1] [3]

## 2. Rozdělení kytarových efektů

V dnešní době nabízí trh nepřehledné množství kytarových efektů od různých výrobců a je tedy velice těžké se bez potřebné přípravy v této nabídce zorientovat a případně vybrat ten správný efekt. Kytarové efekty se mohou dělit podle mnoha kritérií. Nejčastější rozdělení je dle funkce efektu, tedy podle toho, jak nám efekt změní kytarový signál, což v konečném důsledku vnímáme jako změnu zvuku elektrické kytary. Pokud ovšem pomíneme samotnou funkci, lze efekty dělit do jiných skupin, nejčastěji pak dle technologie přenosu signálu a způsobu ovlivnění signálu.

### 2.1 Rozdělení efektů dle jejich funkce

Funkce kytarového efektu je vlastnost, která zajímá většinu hudebníků ze všeho nejvíce, protože nám říká, jakým způsobem se změní zvuk elektrické kytary, pokud tento efekt použijeme. Do dnešní doby se vyvinulo mnoho různých typů efektů, ale většinou se vždy jedná o modifikace třinácti základních typů efektů, jejichž vlastnosti a funkce jsou popsány v následujícím textu.

#### 2.1.1 Efekty typu overdrive, distortion a fuzz

Hlavní funkcí všech efektů v této skupině je vytvořit zkreslený a agresivní kytarový zvuk. Využití najdou tyto pedály téměř ve všech hudebních směrech a stylech a lze je považovat za základní vybavení každého kytaristy.

Prvními efekty z této skupiny jsou pedály s označením „overdrive.“ Toto přívlastko po překladu znamená doslova „být přebuzený.“ Overdrive pedály byly vyvinuty na základě experimentování s elektronkovými zesilovači, kdy byly elektronky ve výkonovém stupni zesilovače cíleně přebuzovány až na hranice jejich možností. Výsledkem bylo, že se původně čistý, nezkreslený zvuk kytary proměnil díky přebuzení elektronek na příjemně nakřáplý, tedy zkreslený zvuk. [5]



Princip funkce efektu spočívá v tom, že se co možná nejrealističtěji simulují vlastnosti přebuzených elektronkových zesilovačů. Zkreslení obecně znamená, že se mění tvar signálu při jeho přenosu. Většinou je toto zkreslení nežádoucí a je snaha ho minimalizovat. V případě overdrive efektů je však této skutečnosti využíváno a signál je zpracováván způsobem, který se nazývá soft-clipping, neboli měkká limitace signálu. Principiálně jde pouze o to, že se přenášenému zvukovému signálu upravuje velikost amplitudy na nastavenou úroveň, ale jinak se signál nemění. Nejvíce používaný integrovaný obvod pro overdrive pedály byl jednoznačně japonský JRC 4558D, který se však již nevyrábí a dnes je nahrazován novějším integrovaným obvodem RC 4558. [5] [6] [7] [8]

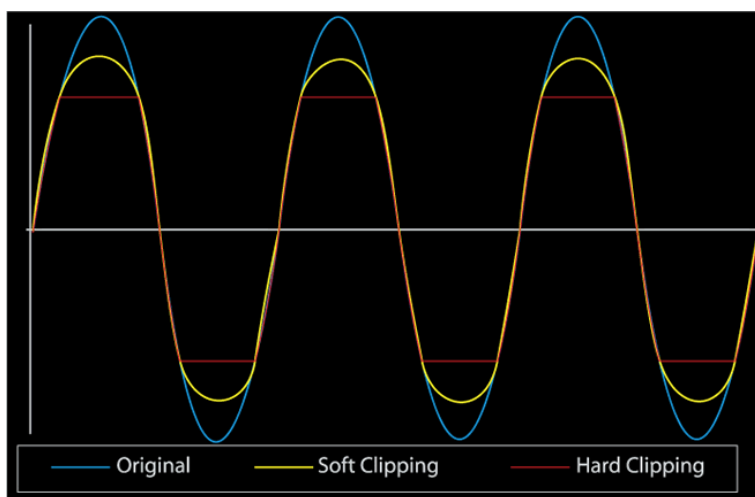
Nejznámějšími overdrive efekty jsou bezesporu Ibanez Tube Screamer TS808 a jeho nástupce TS9 a potom Roland Boss Overdrive OD-1 a Super Overdrive SD-1. Pedál TS808 se začal vyrábět v roce 1979 v Japonsku a je považován za základní a zároveň nejkopírovanější overdrive efekt na světě. Nutno dodat, že ve stejné době se také vyráběl již zmíněný Roland Boss Overdrive OD-1 a i přesto, že se schematicky od Ibanez TS808 prakticky nelišil, nebyl tak populární. Paradoxní je, že tento efekt dokázal věrohodněji simulovat vlastnosti elektronek pomocí asymetrického soft-clippingu, kdy je každá polovina sinusoidy v jedné periodě zkreslena jinak, prezentován však byl jako elektronkový simulátor. Ibanez TS808 naopak využíval symetrický soft-clipping, kdy jsou obě poloviny sinusoidy zkresleny stejně, což však odpovídá vlastnostem elektronek méně. Ovšem jak již vyplývá z názvu, efekt byl mylně prezentován v podstatě jako elektronkový. V době, kdy se do popředí dostávaly levné tranzistorové zesilovače, které neměly příliš dobrý zvuk, každý logicky volil jako vhodnou alternativu co nejlepší kytarový efekt a v mnoha případech měl díky lepší propagaci navrch pedál od firmy Ibanez. [9]



Obr. 3 Roland Boss Overdrive OD-1 (převzato z [10])

Dalším typem efektů v této skupině jsou distortion pedály. Jedná se pravděpodobně o nejpoužívanější efekty vůbec a jak již vyplývá z názvu, jejich hlavním úkolem je co nejvíce zkreslit kytarový zvuk. Původ těchto pedálů lze hledat ve snaze odstranit ze signálu extrémně vysoké a hluboké frekvence a naopak zvýraznit střední frekvence. Jako vedlejší produkt se pak projevilo poměrně agresivní zkreslení signálu, čehož se následně začalo využívat pro zkreslení kytarového zvuku. [5] [6] [7]

Na rozdíl od overdrive efektů, v tomto případě se signál zpracovává způsobem nazývaným hard-clipping, neboli tvrdá limitace signálu. Princip je takový, že se dle nastavené úrovně odříznou špičky amplitudy signálu. Rozdíl mezi měkkou a tvrdou limitací signálu je zřetelný z obr. 4. [8]



Obr. 4 Zpracování signálu způsobem soft-clipping a hard-clipping (převzato z [11])

Nejvýraznějšími efekty v této kategorii jsou Roland Boss Distortion DS-1 a ProCo Sound Rat. Obliba těchto pedálů je způsobená především jejich univerzálností, díky které mohou být použity téměř ve všech hudebních stylech. Distortion DS-1 od japonské firmy Roland Boss byl uveden na trh v roce 1978 s integrovaným obvodem Toshiba TA7136AP. V průběhu let se efekt dočkal několika inovací a dalších třech vydání v letech 1996, 2000 a 2006. Jako obvykle je však originální vydání nejvíce ceněné a přisuzují se mu nejlepší vlastnosti. V roce 1978 byl na trh uveden také pedál Rat od americké firmy ProCo Sound. Původní zapojení efektu s integrovaným obvodem LM308 se během let mnohokrát změnilo a bylo také vydáno mnoho dalších variant. Oproti svému konkurentovi má pedál Rat více agresivnější charakteristiku zkreslení a výsledný zvuk je spíše více středový. [12] [13]



Obr. 5 ProCo Sound Rat (převzato z [13])

Posledním typem efektů v této skupině jsou fuzz pedály. Tyto efekty byly prvními zkreslujícími pedály vůbec a teprve z nich se vyvinuly overdrive a distortion pedály. Zároveň jsou však nejméně používaným typem zkreslení. Důvodem je jejich specifická charakteristika zkreslení, která nedovoluje příliš široký záběr použití. Ze všech uvedených typů efektů je zkreslení fuzz pedálů nejagresivnější a jde v podstatě o simulaci stavu, kdy hrozí, že elektronka shoří. [5] [6] [7]

V případě fuzz efektů se signál zpracovává pomocí asynchronního hard-clippingu a tím způsobem, že horní polovina sinusoidy je v podstatě zcela odříznuta a zůstává pouze dolní část sinusoidy, oříznutá dle nastavené úrovně. Výsledkem takto zdeformovaného signálu je pak velice drsné a hutné zkreslení. [14]

Nejvýznamnějším zástupcem fuzz efektů je Fuzz Face vyrobený v roce 1966 britskou společností Arbitrer Electronics Ltd. Oblibu si získal zejména proto, že ve své době neměl příliš velkou konkurenci, jednalo o první stombox efekt s nožním přepínačem a také proto, že ho při svých vystoupeních používal legendární kytarista Jimi Hendrix. Jedná se o velice jednoduchý pedál, jehož základ, dle originálního zapojení, tvoří dva germaniové tranzistory. Díky nim jsou původní pedály velice ceněným zbožím, protože se jim opět přisuzují nejlepší zvukové vlastnosti. Zároveň s tím jsou ale tyto tranzistory velice náchylné na změnu teploty a tak je jejich funkčnost velice nestabilní. Z tohoto důvodu byly v průběhu let nahrazovány stabilnějšími křemíkovými tranzistory. [14]



Obr. 6 Fuzz Face od Arbiter Electronics Ltd (převzato z [15])

### 2.1.2 Efekty typu compressor a booster

Hlavní funkcí obou typů efektů z této skupiny je zvýraznit kytarový signál. Na rozdíl od předchozí skupiny efektů je toho dosaženo nedestruktivní cestou, kdy není kytarový signál nijak zdeformován, tedy zkreslen. Opět se jedná o jedny ze základních efektů každého kytaristy, které mají široké využití.

Compressor efekty slouží především k tomu, aby vyrovnaly dynamiku hraní. Snaží se tedy vyrovnat rozdíly mezi tichými a hlasitými pasážemi skladby. Díky tomu je kytarový zvuk po celou dobu hraní výrazný a pohybuje se v nastavených mezích. Efekt také pomáhá prodloužit tóny při jejich doznívání. Compressor pedály je však třeba používat s rozvahou tam, kde se to opravdu hodí. Velice často je totiž výhodné s dynamikou hraní pracovat a nesprávné použití efektu tuto možnost znemožní. [5] [16]

Základním funkčním prvkem je ve většině případech komparátor napětí, který porovnává referenční napětí a napětí získané z detektoru hlasitosti. Referenční napětí se mění v závislosti na nastavení komprese efektu. Detektor hlasitosti je vstupní obvod, který kontroluje průměrnou hlasitost vstupního signálu. [16]

Nejvíce používaným compressor efektem je MXR 102 Dyna Comp, který vytvořila společnost MXR v roce 1972. Do podvědomí se dostal především díky výborným kompresním vlastnostem, nízké ceně a velice jednoduchému ovládání. To je tvořeno pouze

dvěma ovládacími prvky pro výstupní hlasitost a nastavení úrovně komprese. Schéma zapojení, ve kterém je již od počátku používán operační zesilovač CA3080, se stalo předlohou pro mnoho dalších, následně vyráběných compressor efektů. Samotný pedál MXR byl několikrát inovován a kromě běžné verze se v současné době také vyrábí model MXR 1976 Dyna Comp, ve kterém je použito schéma zapojení a komponenty shodné s modelem vyráběným v roce 1976, který je dlouhodobě považován za nejpovedenější. [16] [17] [18]



Obr. 7 MXR 102 Dyna Comp (převzato z [17])

Efekty typu booster mají za úkol pouze zesílit hlasitost, tedy zvětšit amplitudu signálu. Využívají se především pro zvýraznění kytarových sól, kdy je třeba, aby kytara vynikala nad ostatními nástroji. Tyto efekty se však často používají také jako ekvalizér vhodný pro zvýraznění určitého rozsahu frekvencí, nebo pro zesílení signálu v dlouhých efektových smyčkách, kde hrozí velká ztráta signálu. [19]

U booster efektů se tedy v podstatě žádný efekt netvoří, procházející kytarový signál je pouze zesílen pomocí neinvertujícího operačního zesilovače na požadovanou úroveň. U složitějších zapojení jsou do obvodu efektu navíc přidány korekce pro basové, středové a vysoké kmitočty, díky kterým lze nastavit rozsah frekvencí, které chceme zvýraznit. [19]

Stejně jako v případě compressor efektů, i zde patří mezi nejvýraznější pedál od firmy MXR. Efekt s označením M-133 MicroAmp byl vydán roku 1973 jako součást série Reference Series a stejně jako ostatní produkty z této série vyniká především kvalitním

zpracováním, příznivou cenou a jednoduchostí ovládání. To je tvořeno jediným potenciometrem pro nastavení požadované úrovně zesílení a nožním přepínačem. Během své historie byl tento efekt inovován pouze minimálně a současné pedály se od původních liší kromě použití nových komponent pouze tím, že přibyla kontrolka indikující zapnutí efektu a konektor pro připojení síťového adaptéru. [19] [20]



Obr. 8 MXR M-133 MicroAmp (převzato z [21])

### 2.1.3 Efekty typu echo, delay a reverb

Všechny efekty z této kategorie ovlivňují kytarový zvuk nedestruktivně, nezkrslují ho a zároveň všechny pracují nějakým způsobem s ozvěnou. Obecně platí, že použitím těchto efektů ať už pro kytaru, zpěv, nebo jiné nástroje se docílí toho, že výsledný zvuk bude plnější, získá prostor a nebude znít příliš tence. Princip těchto efektů spočívá v tom, že vstupní signál je smíchán se svojí vlastní kopií, která je však zpožděná. Rozdíl mezi jednotlivými efekty je pak dán rozdílným způsobem tvorby ozvěny. Na rozdíl od předchozích, tyto pedály již nepatří mezi základní vybavení každého kytaristy, ale většinou platí, že kdo je vyzkouší, pravděpodobně už se bez nich neobejde.

Jako echo se označují analogové efekty, které většinou pro tvorbu ozvěny využívají nekonečnou smyčku magnetofonové pásky. Efekt je tvořen tak, že vstupní signál je nakopírován a následně je dle nastavení zpožděn a smíchán na výstupu efektu s původním

signálem. Tím se docílí toho, že výsledný kytarový zvuk je bohatší a hutnější. Jde v podstatě o simulaci situace, kdy stejný kytarový part hraje více kytaristů najednou. [16]

Princip echa s magnetofonovou páskou je poměrně jednoduchý. Smyčka z magnetofonové pásky probíhá okolo čtecí hlavy, která zaznamenává vstupní signál. V závislosti na výrobci efektu se lze setkat s jednou, či více reprodukcními hlavami, které reprodukují nahraný vstupní signál s určitým zpožděním. Zpoždění je dáno fyzickou vzdáleností reprodukcčních hlav od čtecí hlavy. Na konci smyčky pak páska probíhá okolo permanentního magnetu, který ji vymaže. [16] [22]

Jak jsem již zmiňoval v kapitole o historii kytarových efektů, nejznámějším efektem typu echo využívajícím magnetofonovou pásku je Watkins Copicat navržený Charlie Watkinsem v roce 1961. Tento efekt má konkrétně tři reprodukcční hlavy, díky kterým si lze nastavit zpoždění reprodukováného signálu na 151 ms, 288 ms a 415 ms. Zároveň také umožňuje zavést zpětnou vazbu z výstupu na vstup efektu. Díky tomu se jedná o poměrně variabilní efekt s různými možnostmi nastavení. Vlivem nedokonalosti celého zařízení a opotřebení pásky, které je časem nevyhnutelné, přidává tento efekt do výsledného zvuku jisté zabarvení, které se pro něj stalo charakteristickým a díky kterému si získal oblibu. Zajímavostí je, že se v různých verzích a s různými inovacemi vyrábí dodnes. Na *obr. 1* je zobrazen model z roku 1970. [1] [22]

Jelikož efekty typu echo s magnetofonovou páskou nejsou příliš praktické, byla vytvořena jejich obdoba, která se nazývá delay. Výsledný efekt je tedy stejný, avšak způsob tvorby je jiný. Zároveň také delay pedály disponují širšími možnostmi nastavení. Díky tomu také naprostá většina kytaristů využívá právě delay efekty, zatímco páskové echo efekty jsou spíše používány v nahrávacích studiích.

V efektech typu delay se již nenachází pohybující se magnetofonová páska a je tedy nutné vytvořit efekt ozvěny jinak. Při vstupu do efektu je kytarový signál načten do paměti a následně je nakopírován. Zkopírovaná část signálu je zpožděna o nastavenou úroveň a následně poslána zpět na vstup, kde je smíchána s původním signálem. Na rozdíl od efektů typu echo, které průchozí signál mírně zabarvují, zde je každé opakování přesnou kopií originálního signálu a zároveň je u každé kopie záměrně snižována hlasitost. Ačkoliv tento způsob tvorby ozvěny funguje výborně, může výsledný zvuk působit příliš uměle a

nepřirozeně. Z toho důvodu byly vytvořeny delay pedály, které umí simulovat vlastnosti echo efektů s magnetofonovou páskou. Tím se do průchozího signálu přidá jisté zabarvení, typické právě pro echo efekty, což dodá výslednému zvuku kytary větší přirozenost. [16] [23]

Nejlépe hodnocenými efekty typu delay jsou MXR M169 Carbon Copy a Roland Boss DD-3 Digital Delay. Prvně jmenovaný je kompletně analogový efekt s jednoduchým ovládním, které tvoří tři potenciometry a jeden přepínač. Díky tomu lze nastavit počet opakování, hloubku a zpoždění, které může být nastaveno až na 600 ms. Přepínačem lze měnit zvukový charakter ozvěny. MXR M169 Carbon Copy je označován za nejkvalitnější delay pedál, jaký dnešní trh nabízí, o čemž svědčí i fakt, že byl zvolen nejlepším pedálovým efektem od firmy MXR za celou její historii. Roland Boss DD-3 Digital Delay je zatím poslední verze digitálního delay pedálu, který vychází ze svého předchůdce s označením DD-2 z roku 1983. Ovládní a možnosti nastavení efektu je stejné jako u konkurenčního pedálu od firmy MXR, nabízí však delší dobu zpoždění, která může být až 800 ms. [16] [24] [25]



Obr. 9 Roland Boss DD-3 Digital Delay (převzato z [26])

Efekty typu reverb využívají ozvěnu k simulaci prostorového pocitu. Díky nim lze kytarový zvuk, případně nahrávku, umístit do prostoru, který se dle nastavení efektu může měnit. Nejčastěji bývá možnost volit mezi prostory: malá místnost, velká místnost, koncertní hala a otevřený prostor. Kromě těchto základních typů existuje řada dalších, které se liší v závislosti na výrobci. U efektů typu reverb je velice zřetelný rozdíl mezi úrovněmi



zpracování. Zatímco kvalitní pedály přidají do zvuku hloubku a pocit prostoru, méně kvalitní pedály zvuku spíše pouze uberou na srozumitelnosti. [16]

Reverb efekt je dán součtem odrazů zvuku od stěn místnosti, ve které je zvuk reprodukován. Protože každý prostor má jiné vlastnosti, využívá se pro jeho definici impulzní charakteristika, kdy je zkoumána odezva prostoru na jednotkový zvukový impulz. Na základě impulzní charakteristiky jsou pak vytvořeny obvody efektu tak, aby simulovaly vlastnosti daného prostoru. [16]

Nejlépe hodnoceným efektem typu reverb je TC Electronic Hall of Fame Reverb. Jedná se všestranný pedál, který vyniká především skvělým zvukem, kvalitou zpracování a jednoduchým ovládáním. K dispozici jsou čtyři potenciometry a jeden přepínač. Pomocí potenciometrů lze nastavit dobu, po kterou bude reverb efekt působit, charakter tónu, poměr čistého signálu a signálu s reverb efektem a typ prostoru. Lze volit mezi jedenácti různými typy prostorů, přičemž pokud je potenciometr přepnut na polohu *TonePrint*, lze do pedálu pomocí USB rozhraní nahrát vlastní předlohu reverb efektu. Přepínač umožňuje nastavit časové prodloužení mezi zahraným tónem a momentem, kdy začne reverb efekt působit. [27]



Obr. 10 TC Electronic Hall of Fame Reverb (převzato z [28])

#### 2.1.4 Efekty typu flanger, phaser a chorus

Také efekty zařazené do této skupiny upravují kytarový signál nedestruktivně, bez zkreslení, a k tvorbě efektu využívají kopírování a zpoždování vstupního signálu. Hlavní funkcí je obohatit čistý kytarový zvuk. Efekty typu flanger a phaser patří mezi méně využívané efekty, které jsou vhodné pro použití pouze v určitých hudebních stylech. Efekty typu chorus jsou naopak velice univerzální a patří spolu s distortion efekty k nejvíce využívaným.

Flanger pedály simulují zvuk, který vzniká při periodicky se měnícím zpomalování magnetofonové pásky. Efekt lze přirovnat ke zvuku, který vydává gramofon přehrávající starou a zprohýbanou gramofonovou desku. V kombinaci s původním kytarovým zvukem vzniká zajímavý efekt, který vytváří charakteristický houpavý zvuk. To dodává nahrávce, či hře na kytaru větší hloubku a prostor. [29]

Ke vzniku efektu vedla náhodná situace, kdy bylo zjištěno, že pokud se na otáčející se magnetofonový kotouč mírně zatlačí rukou, nahrávka se zpomalí a zároveň se změní její ladění. Na výstupu efektu se tedy objeví mírně zpožděný signál se změněným laděním, který se následně smíchá s původním signálem. Hlavním prvkem každého flanger efektu je nízkofrekvenční oscilátor, který plní funkci zpoždovacího článku a díky kterému je také dosaženo charakteristického houpavého zvuku. [29]

Z mnoha výborných efektů typu flanger lze vybrat tři, které jsou oblíbené především na základě přijatelné ceny, jejich univerzálnosti a kvalitě zpracování. První je pedál Stereo Electric Mistress od firmy Electro-Harmonix. Jedná se o velice jednoduchý digitální efekt, který je odvozen od analogového flanger pedálu Deluxe Electric Mistress. Na rozdíl od svého předchůdce je však levnější a součástí pedálu je navíc druhý efekt typu chorus. Druhým pedálem je MXR M-117R Flanger. Tento analogový efekt je velice variabilní a nabízí mnoho možností nastavení a skvělý zvuk. Díky tomu jej lze v různém nastavení použít jako kvalitní efekt typu delay, vibrato, chorus a samozřejmě především jako flanger. Ze všech uvedených pedálů je nejdražší, ale s ohledem na kvalitu zpracování a jeho variabilitu je jeho vyšší cena oprávněná. Posledním významným flanger pedálem je BF-3 Flanger od firmy Roland Boss. Jedná se opět o digitální pedál, který na rozdíl od ostatních nabízí možnost nastavení rozsahu frekvencí, se kterými bude efekt pracovat, možnost nastavení rychlosti opakování efektu v

průběhu hraní, tzv. funkce tap tempo, a potenciometr *mode*, díky kterému lze volit mezi již přednastavenými styly flanger efektu. Nejzajímavější funkce je aktivována, pokud se potenciometrem nastaví styl *momentary*. To umožní aplikovat flanger efekt pouze pokud stlačíme ovládací pedál nohou dolů. V momentě, kdy je ovládací pedál uvolněn, efekt přestane působit. Tato funkce je velice výhodná v situacích, kdy chce hráč zvýraznit pouze krátkou část skladby. Další výhodou je pak přítomnost dvou různých vstupů přizpůsobených pro kytaru a baskytaru. [29] [30]



Obr. 11 Roland Boss BF-3 Flanger (převzato z [31])

Efekty typu phaser simulují jakousi vlnu prostupující frekvenčním pásmem kytarového signálu. Některé frekvence jsou v daný okamžik velice výrazné a některé naopak zcela vymizí. Jak vlna postupuje, zvýrazňované pásmo frekvencí se periodicky mění. To vytváří charakteristický vlnivý projev phaser pedálů. Stejně jako v předchozím případě, i zde je snaha o obohacení kytarového zvuku vytvořením určitého prostoru a hloubky. [29]

Požadovaný efekt je vytvořen tak, že vstupní signál prochází obvodem s frekvenční charakteristikou, která vykazuje v určitých frekvenčních pásmech útlum, přičemž tato pásma se periodicky mění. Obvod tvoří série širokopásmových filtrů, které otáčejí fázi vstupního signálu, přičemž platí, že počet útlumů ve frekvenčním pásmu je roven polovině použitých širokopásmových filtrů. Na výstupu efektu je takto upravený a původní signál opět smíchán. [29] [32]

Nejvýraznějším zástupcem efektů typu phaser je MXR M-101 Phase 90. Originální pedál byl vyroben již v roce 1974 a proslavil ho především známý kytarista Eddie Van Halen,

který se dokonce podílel na vývoji jedné řady tohoto efektu. Dnes se mezi nejkvalitnější phaser pedály řadí především model MXR CSP-026 Handwired 1974 Vintage Phase 90, který odkazuje na již zmíněný originál vyráběný v roce 1974. Jedná se o velice jednoduchý efekt s pouze jedním ovládacím prvkem, kterým lze nastavit rychlost efektu. I přesto je poměrně variabilní a nabízí rozmanité nastavení projevu. [32] [33]



Obr. 12 MXR M-101 Phase 90 (převzato z [34])

Efekty typu chorus simulují hru více nástrojů najednou. Pokud bude hrát více kytaristů najednou stejnou skladbu, každý bude hrát v mírně odlišném tempu, každý bude mírně rozladěný v porovnání s ostatními a každý také bude mít jiný zvuk. Celkový zvuk však bude pestrý, plný a bohatý. Stejně jako distortion pedály definují zkreslený zvuk, chorus pedály definují zvuk čistý a patří mezi nejpoužívanější efekty. [29]

Princip funkce je velice podobný jako u flanger efektů. Hlavním prvkem je opět nízkofrekvenční oscilátor, který plní funkci zpoždovacího článku a také tvoří charakter zvuku. Na rozdíl od flanger efektů již zde nemá vliv rozladění, ale pouze zpoždění signálu. Zpoždovacích prvků bývá v obvodu efektu zapojeno více. Jsou zapojeny paralelně a každý z nich je různě nastaven. Všechny jsou poté smíchány s originálním signálem, což vytvoří požadovaný efekt. U kvalitnějších efektů pak v obvodu bývá zapojen další nízkofrekvenční oscilátor, který ovládá úroveň upraveného signálu, přimíchávaného k původnímu signálu. Tím se docílí kolísání hlasitosti jednotlivých výstupů ze zpoždovacích členů, což výsledný zvuk ještě více přiblíží reálnému souboru nástrojů. [29] [35]

Mezi nejvýraznější efekty typu chorus patří jednoznačně Roland Boss CE-1 Chorus vyrobený v roce 1976. Je velice oblíbený pro svůj kvalitní výstupní zvuk. I proto bylo již vydáno mnoho novějších verzí, z nichž poslední je Roland Boss CE-5 Stereo Chorus Ensemble. Dalším významným pedálem je Electro-Harmonix Small Clone, který nejvíce proslavil zpěvák a kytarista Kurt Cobain. Jedná se o analogový, levný a velice jednoduchý efekt. Nejvíce doporučovaným chorus efektem je v dnešní době TC Electronic Corona Chorus ze série TonePrint. Jedná se tedy o jeden z pedálů, do kterých je možné stáhnout vlastní přednastavené zvuky pomocí USB rozhraní. Možnosti nastavení jsou tedy poměrně široké. K ovládání slouží čtyři potenciometry a jeden přepínač. Pomocí potenciometrů lze nastavit rychlost efektu, charakter tónu, poměr čistého signálu a signálu s chorus efektem na výstupu a hloubku modulace signálu. Přepínač slouží k přepínání mezi dvěma styly chorus efektu a funkcí *TonePrint*. [29] [36]



Obr. 13 TC Electronic Corona Chorus (převzato z [37])

### 2.1.5 Efekty typu vibrato a tremolo

Oba typy efektů v této skupině ovlivňují kytarový signál nedestruktivně, bez zkreslení. Hlavní funkcí je opět obohatit čistý kytarový zvuk. Tyto kytarové pedály mají velice specifický projev, který je vhodný pro použití pouze v určitých hudebních stylech. Z tohoto důvodu nejsou efekty typu vibrato a tremolo příliš rozšířené.

Efekty typu vibrato simulují techniku hry na kytaru, při které se úmyslně kolísá prsty na hmatníku. Pravidelné kolísání způsobí jemnou změnu výšky hraného tónu. Hlavní funkcí těchto efektů je tedy periodicky měnit ladění procházejícího signálu, což způsobí charakteristicky houpavý projev. Tím se docílí toho, že výsledný kytarový zvuk je bohatší a plnější. [16]

Realizace vibrato efektu je poměrně jednoduchá. Součástí obvodu je jeden zpoždovací členek, který zpomaluje průchozí signál a otáčí jeho fázi. Jako zpoždovací členek se používá nízkofrekvenční oscilátor. Míra zpoždění je dána nastavením efektu. Tento princip je velice podobný jako u efektů typu flanger. Na rozdíl od flanger efektů se zde však nezavádí zpětná vazba na vstup pedálu a změněný signál není smíchán s původním. [16]

V současné době je nejvíce doporučovaným vibrato pedálem TC Electronic Shaker Vibrato ze série TonePrint. Jedná se o velice kvalitní pedál, který lze snadno přizpůsobit vlastním potřebám díky funkci TonePrint. Ta umožňuje stáhnout vlastní přednastavené zvuky do pedálu pomocí USB rozhraní. K ovládání slouží čtyři potenciometry a jeden přepínač. Pomocí potenciometrů lze nastavit zpoždění, hloubku modulace signálu, charakter tónu a rychlost, s jakou vibrato efekt začne působit. Třípolohový přepínač slouží k přepínání mezi normálním režimem efektu, funkcí *TonePrint* a funkcí *Latch*. Ta umožňuje použít vibrato efekt pouze pokud nohou stlačíme ovládací vypínač dolů. V momentě, kdy je vypínač uvolněn, efekt přestane působit. Tato funkce je velice výhodná v situacích, kdy chce hráč použít efekt pouze na krátkou chvíli. [38]



Obr. 14 TC Electronic Shaker Vibrato (převzato z [39])

Hlavní funkcí efektů typu tremolo je periodicky měnit úroveň hlasitosti kytarového zvuku. Rychlost změny hlasitosti je dána nastavením efektu. Charakteristickým projevem tremolo pedálů je sekání výstupní zvuk. Jelikož efekt jinak neupravuje procházející signál, lze jeho vhodnou aplikací zajímavě obohatit nejen kytarovou hru, ale i další nástroje a zpěv. [29]

Princip tvorby tremolo efektu se může u různých výrobců lišit. Nejčastěji je však obvod efektu realizován digitálně, nebo pomocí fotocitlivé součástky, na kterou bliká světelný zdroj řízený nízkofrekvenčním oscilátorem. Řídicím členem je tedy opět nastavitelný nízkofrekvenční oscilátor, který ovládá rychlost tremolo efektu. V současné době převládají digitální tremolo efekty, které jsou spolehlivější. Zapojení s fotocitlivými součástkami je používáno méně, z důvodu větší poruchovosti. [29]

Nejvíce doporučovaným tremolo efektem je Diamond Pedals Tremolo. Jedná se o velice kvalitní a přizpůsobivý pedál, který má mnoho možností nastavení a nabízí širokou škálu výstupních zvuků. Ovládání je realizováno pomocí čtyř potenciometrů a jednoho přepínače. Potenciometry lze nastavit rychlost a hloubku tremolo efektu a hlasitost a charakter výstupního zvuku. Přepínačem lze měnit tvar průchozího signálu. Díky tomu se může na výstupu objevit mírně zkreslený signál, z čehož vyplývá, že lze tento pedál používat i jako booster. Rychlost efektu lze také nastavit pomocí speciálního tlačítka, které je označené jako *Tap/Dbt*. Jeho opakovaným stlačením lze nastavit požadované tempo, což je pro mnohé kytaristy přirozenější a tedy více přesné. [40]



Obr. 15 Diamond Pedals Tremolo (převzato z [41])



### 2.1.6 Softwarové efekty

Softwarové efekty byly vyvinuty výhradně pro použití v nahrávacích studiích. Jedná se o virtuální efekty, které nahrazují klasické pedálové efekty. Většinou jsou některé základní efekty prodávané jako součást profesionálních nahrávacích programů. Rozšiřující efekty je pak možné získat ve formě volného, či placeného software, který je označován jako *plug-in*. Tyto virtuální efekty lze libovolně aplikovat na nahranou zvukovou stopu, soubor nástrojů, nebo na kompletní nahrávku. Impulsem pro vznik softwarových efektů byl především rozmach malých nahrávacích studií, které neměly dostatek financí na profesionální vybavení. Použitím softwarových efektů odpadá problém se šumem, který působí na kytarový signál procházející klasickými pedály, bohužel však nedosahují takových kvalit jako pedálové efekty. Výstupem softwarových efektů je tedy šumem méně zdeformovaný signál, samotný efekt je však ve většině případů méně přirozený a umělý ve srovnání s pedálovými efekty.

Mezi nejkvalitnější a nejpoužívanější softwarové efekty v současné době patří Guitar Rig 5 od společnosti Native Instruments. Jedná se o softwarový balíček obsahující simulace kytarových zesilovačů a reproduktorových boxů, mikrofonů a pedálových efektů. Z pohledu kytarových efektů tento software umožňuje sestavení vlastní efektové smyčky, ve které lze využít a kombinovat všechny základní efekty uvedené v předchozích kapitolách. Kvůli autorským právům mají jednotlivé pedály v tomto software originální jména, většinou se však jedná o simulace známých a hojně využívaných efektů. Za skupinu overdrive pedálů je v nabídce efekt Skreamer, jehož předlohou se stal Ibanez Tube Screamer TS808 a za skupinu distortion pedálů je v nabídce efekt Distortion, který simuluje Roland Boss Distortion DS-1.

[42]



Obr. 16 Prostředí Guitar Rig 5 (převzato z [43])



## 2.2 Rozdělení efektů dle technologie přenosu signálu

Dle technologie přenosu signálu lze kytarové efekty dělit na analogové a digitální. Z historického hlediska byly nejdříve vyvíjeny analogové efekty, digitální se objevily až počátkem 80. let 20. stol.

### 2.2.1 Analogové efekty

Analogové efekty zpracovávají analogový signál bez nutnosti jej převádět do digitální podoby. Obecně mírně zkreslují procházející signál, což je paradoxně bráno jako přednost, která přidává do kytarového zvuku lidskou nedokonalost a přirozenost. Lépe reagují na dynamiku hry a díky absenci A/D a D/A převodníků mají také rychlejší odezvu. V jednom pedálu se obvykle vyskytuje pouze jeden typ efektu společně se základním ovládáním. Ve srovnání s digitálními efekty tedy mají méně funkcí a možností nastavení výstupního zvuku a jsou většinou dražší. Nevýhodou analogových efektů mohou být změny vlastností některých analogových součástek v závislosti na jejich stáří, či teplotě okolního prostředí. [3] [44]

### 2.2.2 Digitální efekty

Digitální efekty převádí průchozí analogový signál do digitální podoby, zpracují ho a následně jej zpětně převádí opět na analogový signál. Z toho vyplývá, že digitální efekty pracují jen se zjednodušenou informací o původním signálu a jejich výstupní zvuk je tedy méně kvalitní. Práce s digitálním signálem je však rychlejší a méně náročná, což je důvod, proč digitální efekty nabízejí mnohem více funkcí a možností nastavení výstupního zvuku. Velice často se také kombinuje více typů digitálních efektů v jednom pedálu. Takové zařízení se nazývá multieffekt a může obsahovat až několik desítek různých typů efektů. I když je zpracování digitálního signálu rychlé, odezva celého pedálu je pomalejší než u analogových efektů. Způsobují to A/D a D/A převodníky v obvodu efektu, které jsou nutné pro převedení analogového signálu na digitální. Nevýhodou digitálních efektů je především jejich strojový a umělý projev a také špatná odezva na dynamickou hru. [3] [44]

## **2.3 Rozdělení efektů dle způsobu ovlivnění signálu**

Všechny uvedené základní typy efektů ovlivňují průchozí signál několika způsoby, podle kterých se dělí na dvě skupiny.

### **2.3.1 Modulační efekty**

Efekty, které průchozí signál nezdeformují, ale pouze upravují jeho amplitudu, frekvenci, nebo vytváří kopie původního signálu, se nazývají modulační. Tyto efekty se nejčastěji využívají pro obohacení čistého zvuku. Mezi modulační efekty patří tyto typy kytarových pedálů: compressor, booster, echo, reverb, delay, flanger, phaser, chorus, vibrato a tremolo.

### **2.3.2 Zkreslující efekty**

Efekty, které mají za úkol kytarový signál zdeformovat a tím změnit jeho tvar, se nazývají zkreslující. Tyto efekty záměrně mění tvar průchozího signálu, což způsobí jeho zkreslení, které je žádoucí při hře na elektrickou kytaru. V závislosti na tom, jak moc se změní tvar průchozího signálu, se mění i charakter a agresivita zkreslení. Do této skupiny patří tyto typy efektů: overdrive, distortion a fuzz.

### 3. Moderní elektronkové efekty

V současné době se výrobou profesionálních elektronkových efektů zabývá minimum firem. Použití elektronek v jakémkoliv zařízení totiž přináší řadu nevýhod a konstrukčních problémů. Z těchto důvodů již nejsou elektronkové efekty schopny konkurovat stále se zlepšujícím tranzistorovým efektům. Jedinou vlastností, díky které elektronkové efekty ještě zcela nezanikly, je jejich charakteristický zvukový projev, který je podle mnohých významných muzikantů a konstruktérů kytarových zesilovačů a efektů nenahraditelný. Jedná se však o velice subjektivní názor.

#### 3.1 Elektronky

Elektronka je hermeticky uzavřená skleněná baňka, ze které je vyčerpán vzduch a ve které jsou umístěny minimálně dvě, případně více elektrod. Podle počtu elektrod se rozpoznávají jednotlivé druhy elektronek. Jedná se o historicky první zesilovací prvek, který měl velký význam pro vývoj elektroniky až do doby, než byly elektronky nahrazeny tranzistory. Princip činnosti elektronek je dán jevem, při kterém jsou teplem uvolňovány elektrony. Tento jev je nazýván termoemise. Uvnitř elektronky musí být minimálně dvě elektrody: katoda a anoda. Katoda slouží k emisi elektronů, čehož docílíme jejím rozžhavením. Rozlišujeme dva typy této elektrody. Může být buď přímo žhavená, nebo nepřímo žhavená, přičemž druhý způsob je častější. Nepřímo žhavená katoda je sestavena z wolframového vlákna, které obklopuje kovová trubička pokrytá emisní vrstvou. Ta je nejčastěji tvořena směsí oxidů barya a stroncia. Tento způsob konstrukce katody pomáhá snížit její potřebnou pracovní teplotu a tím i žhavicí příkon a také zvýšit životnost elektronky. Pokud je mezi anodu a katodu připojen zdroj napětí tak, aby na anodě byl kladný potenciál zdroje, katodou emitované elektrony budou přitahovány k anodě a elektronkou tak začne protékat elektrický proud. Toto je základní princip funkce elektronky, ovšem pro to, aby elektronka fungovala jako zesilovací prvek, je nutné přidat další elektrodu. Ta se nazývá mřížka a je umístěna mezi anodou a katodou. Změnou napětí na mřížce lze regulovat tok elektronů mezi anodou a katodou. Pro správnou funkci elektronky je rozhodující zachovat uvnitř baňky vakuum. Proto je na vnitřní straně elektronky nanášena vrstva látky schopná absorbovat zbytkové plyny a vlhkost. Tato látka se nazývá getr a je tvořena slitinou různých kovů. Nejčastěji používané kovy pro tyto účely jsou: baryum, titan a zirkonium. [45] [46]

### 3.1.1 Historie elektronek

Jako první si jevu, který elektronky využívají ke své funkci, všiml v roce 1883 americký vynálezce Thomas Alva Edison, který se snažil prodloužit životnost svých žárovek a také zabránit jejich černání. Do žárovky proto zatavil kovovou destičku a zjistil, že pokud na ni připojí kladný potenciál zdroje, galvanometr, připojený mezi vláknem žárovky a destičkou, detekuje určitý elektrický proud. Edison tak nevědomky sestavil nejjednodušší typ elektronky se dvěma elektrodami - diodu. Nedokázal si však tento jev vysvětlit, a tak první, kdo jej popsal, byl až v roce 1904 britský fyzik Joseph John Thompson. Ten následně tento jev využil k sestavení prvního usměrňovače. Ve stejném roce si další britský fyzik John Ambrose Fleming nechal patentovat vysokofrekvenční detektor, využívající taktéž elektronku se dvěma elektrodami. V roce 1907 sestavil americký fyzik a vynálezce Lee de Forest první elektronku se třemi elektrodami a tím i první zesilovací prvek, když mezi anodu a katodu dosud známých diod vložil kovovou mřížku. Zjistil, že malou změnou napětí na mřížce lze v širokém rozsahu měnit proud procházejících elektronů. S ohledem na dostupné vybavení a znalosti materiálů však nebylo možné dosahovat uvnitř baněk tak vysokého stupně vakua, který elektronky ke své funkci potřebují. Proto byly De Forestovi elektronky velice nestabilní a měly krátkou životnost. Komerčně použitelné se elektronky staly až v roce 1912, kdy byly natolik zdokonaleny, že je bylo možné využívat jako zesilovače pro nově vznikající telefonní společnosti. V roce 1913 pak americký vynálezce Edwin Howard Armstrong přispěl objevem vysokofrekvenční zpětné vazby, díky čemuž bylo možné konstruovat poměrně citlivé přijímače, které od roku 1914 začala sériově vyrábět německá společnost Telefunken. S rozvojem radiotechniky bylo nutné dále vyvíjely i samotné elektronky, a tak vznikaly společnosti zaměřující se výhradně na jejich produkci. Mezi první patřila americká společnost General Electric, která se produkcí elektronek zabývala od roku 1918. [47]

### 3.1.2 Druhy elektronek

Jednotlivé druhy elektronek lze rozeznat podle počtu elektrod. Nejjednodušším typem elektronky je dioda, která má pouze dvě elektrody. Diody nemají žádnou řídicí mřížku, kterou by bylo možné ovlivňovat tok elektronů a nemohou tedy být použity jako zesilovací prvek. Využívají se především jako usměrňovače. [45]

Historicky prvním zesilovacím prvkem byla elektronka se třemi elektrodami – trioda. Kromě anody a katody se uvnitř skleněné baňky nachází řídicí mřížka, kterou je možné řídit tok elektronů mezi katodou a anodou. Pokud není na mřížku přivedeno žádné napětí, tok elektronů není nijak omezován. Pokud však na mřížku přivedeme záporný potenciál, elektrony emitované katodou budou odpuzovány a tím se sníží elektrický proud procházející elektronkou. Ze všech druhů elektronek vykazují triody nejmenší šum a lze je tedy používat pro zesílení i velmi slabých signálů. Výraznou nevýhodou je však parazitní kapacita mezi řídicí mřížkou a anodou, kvůli které není možné získat maximální zesílení. [45] [48]

Nevýhody triod byly částečně odstraněny přidáním stínící mřížky, která je připojena na kladný potenciál, mezi řídicí mřížku a anodu. Tak vznikla elektronka se čtyřmi elektrodami – tetroda. Tetrody mají vyšší výkon než triody, ovšem výstupní signál je poměrně zkreslen. Důvodem zkreslení je sekundární emise elektronů, způsobená tím, že elektrony dopadají na anodu s příliš velkou energií a vyrážejí z ní jiné. [45] [49]

Pentoda je elektronka s pěti elektrodami. V porovnání s tetrodou, obsahuje hradící mřížku, která je umístěná mezi stínící mřížkou a anodou a je připojena k zápornému potenciálu. Funkcí hradící mřížky je zpomalit tok elektronů a tím odstranit sekundární emisi na anodě. Výhodou tohoto systému mřížek je odstranění sekundární emise elektronů a zvýšení výkonu. V porovnání s triodou vykazují pentody vyšší šum ve výstupním signálu. [45] [50]

Zvláštní skupinu tvoří svazkové tetrody, které jsou kombinací klasické tetrody a pentody. Sekundární emise je zde odstraněna tak, že jsou emitované elektrony soustředěny do svazků a funkci hradící mřížky zde plní bezpečnostní plechový rámeček umístěný mezi stínící mřížkou a anodou. Uspořádání elektronů do svazků je docíleno geometrickým uspořádáním mřížek, kdy řídicí a stínící mřížka musí být přesně v zákrytu. Proto je svazkové tetrody poměrně náročné vyrobit. V porovnání s pentodou mají svazkové tetrody větší účinnost a menší zkreslení. [45] [49]

Dále existují další typy elektronek s vyšším počtem mřížek, které neslouží jako zesilovací prvky a v současné době se už téměř nevyužívají. V oblasti kytarových zesilovačů a efektů se nejčastěji používají elektronky typu: pentoda, tetroda a svazková tetroda, trioda.

Velmi často se také využívají kombinované elektronky, kde lze v jedné baňce nalézt více elektrodoových systémů. [45]

## 3.2 Dostupné elektronkové efekty

V současné době se přední výrobci kytarových efektů zabývají vývojem elektronkových efektů většinou pouze v rámci jediného modelu, případně v rámci jedné efektové série. Výjimku tvoří britská firma Effectrode, která se na elektronkové kytarové efekty specializuje. V portfoliu společnosti lze nalézt většinu z uvedených základních efektů, jejichž kvalitu dosvědčuje i řada referencí od profesionálních muzikantů.

### 3.2.1 Effectrode Pedals

Veškeré efekty společnosti Effectrode se vyznačují vysokou kvalitou zpracování signálu a také kvalitní konstrukcí. Kytarový signál je vždy upravován analogově pomocí elektronek, ke kterým je snadný přístup a u kterých efekty umožňují nastavení biasu v závislosti na použitém typu elektronky. Díky této vlastnosti jsou všechny efekty extrémně variabilní a lze je snadno modifikovat dle vlastních potřeb. Každý efekt také disponuje funkcí True Bypass, která zajišťuje vedení kytarového signálu mimo obvod efektu, pokud není efekt zrovna používán. Signál je veden ze vstupu přímo na výstup a efekt tak představuje v podstatě pouze kus kabelu. Tím se docílí toho, že nebude docházet ke ztrátám kytarového signálu v obvodu efektu. Jako příslušenství se ke každému efektu dodává přepínatelný 12V adaptér schopný pracovat se vstupním napětím 100 – 240 V. Společně s adaptérem je také dodávána sada nástavců pro různé typy zásuvek, díky které je možné efekty používat v podstatě kdekoliv na světě. Nejvýznamnějším umělcem, který efekty Effectrode používá, je David Gilmour ze skupiny Pink Floyd. [51]

Prvním z nabízených efektů je Effectrode Tube Drive. Primárně se jedná o efekt typu overdrive, ale v závislosti na různém nastavení jej lze zařadit i do skupin boost a distortion efektů. V zapojení je použita trojice dvojitých triod 12AX7. Jednotlivé elektronky lze však nahradit jinými typy dvojitých triod, kterými mohou být např. 12AY7 a 12AV7. V závislosti na složení trojice elektronek v zapojení tak lze získat poměrně širokou paletu zvuků při stejném nastavení efektu. Tube Drive také disponuje obvodem s označením Bax-Stack, který funguje jako aktivní booster. Na rozdíl od klasickým pasivních boosterů, které fungují na

principu ořezávání určitého frekvenčního pásma, Bax-Stack booster pouze zesílí požadované frekvenční pásmo. Výsledný zvuk tedy není ochuzen o určitou část frekvenčního pásma, čímž získáme plný a bohatý zvuk, ve kterém jsou pouze zesíleny určité zvolené frekvence. [52]

Effectrode Tube-Vibe je opět kombinovaný efekt typu chorus a vibrato. V zapojení je použita trojice dvojitých triod 12AU7. Jednotlivé elektronky lze opět nahradit jinými typy dvojitých triod, kterými mohou být u tohoto efektu např. 12AX7 a 12AY7. Efekt je tedy opět velice variabilní a v závislosti na složení trojice elektronek v zapojení lze snadno modifikovat jeho zvukový projev. [53]

Effectrode Delta-Trem je efekt typu tremolo. V zapojení jsou použity dvě elektronky a kytarový signál je zpracováván duálně. V případě, že je výstup efektu přiveden ke dvěma kytarovým zesilovačům, umožňuje duální zpracování signálu střídavé využití obou zesilovačů, což navíc vytváří prostorový efekt, který více zvýrazní samotný tremolo efekt. Tremolo efekt je tvořen pomocí součástky nazvané „raysistor“, která byla speciálně pro tento efekt vyvinuta tak, aby byl přenášený signál co nejméně rušen, nebo znehodnocován nechtěným zkreslením. Raysistor tvoří světelný zdroj, řízený nízkofrekvenčním oscilátorem, a foto-rezistor. [54]

Dalším z nabízených efektů je Effectrode Phaseomatic, který spadá do skupiny phaser efektů. V zapojení je opět použita trojice dvojitých triod, kde lze opět kombinovat nejčastěji některé z elektronek 12AX7, 12AY7, 12AU7 a 12AV7. Jedná se tedy o stejně variabilní efekt s širokými možnostmi nastavení zvuku jako jsou Tube Drive a Tube-Vibe. [55]

V nabídce firmy se vyskytují další tři jednoduché efekty z limitované edice, které pro svoji funkci využívají miniaturní elektronky N.O.S. Philips 6112. Patří mezi ně: Effectrode Mercury Tube Fuzz, Effectrode PC-2A Tube Compressor a Effectrode Fire Bottle Tube Booster. Jedná se o malé a kompaktní efekty, které nejsou tak variabilní jako ostatní uvedené, avšak stále patří zvláště po zvukové stránce mezi špičku v oblasti kytarových efektů. [51]



Obr. 17 Effectrode Mercury Tube Fuzz (převzato z [56])

### 3.2.2 Vox Tone Garage Pedals

Vox Tone Garage Pedals je efektová série od firmy Vox, která se zabývá především produkcí kytarových zesilovačů. Obsahuje pět analogových kytarových efektů, z nichž tři využívají ke své funkci elektronku 12AX7. Patří mezi ně distortion pedál Vox V8 Distortion, overdrive pedál Vox Straight 6 Drive a booster pedál Vox Flat 4 Boost. Jedná se o kvalitní efekty využívající technologii Hi-Volt, která umožňuje přivádět na elektronky napětí až 200 V i přesto, že je možné efekt napájet pouze 9V adaptérem, nebo šesti AA bateriemi, které mají delší výdrž než běžně používané 9V baterie. Zajímavou předností je možnost odpojit efekt od napájení pomocí přepínače on/standby, díky kterému se baterie zbytečně nevybijí, pokud není efekt zrovna používán. Každý efekt také disponuje funkcí True Bypass. [57]



Obr. 18 Vox Flat 4 Boost (převzato z [58])



### 3.2.3 Electro-Harmonix Tube Pedals

Americká společnost Electro-Harmonix se zabývá výrobou klasických tranzistorových efektů a v současné době také patří k největším výrobcům elektronek na světě. Nabídka společnosti však zahrnuje také sérii elektronkových pedálů. Všechny efekty pracují s technologií Hi-Volt, která umožňuje použité elektronky dostatečně vybudit, a disponují funkcí True Bypass. [59]

Prvním efektem z nabídky je compressor pedál EHX Black Finger. Jedná se o efekt, kde je komprese kytarového signálu řízena světelným zdrojem. Pedál obsahuje dva světelné zdroje, mezi kterými lze volit a měnit tak charakter výstupního zvuku. V zapojení jsou použity dvě elektronky 12AX7. Tento pedál je kromě elektrické kytary vhodný i pro použití na jiné hudební nástroje a zpěv. [60]

Dalším efektem z této série elektronkových pedálů je EHX English Muff'n. Jedná se o efekt typu distortion, který pro svou funkci využívá dvě elektronky 12AY7. Vyznačuje se širokým zvukovým projevem, který sahá od jemně nakřáplého zvuku až po velice zkreslený, a také citlivostí na dynamiku hry na kytaru. [61]



Obr. 19 EHX English Muff'n (převzato z [64])

EHX Tube Zipper je hybridní pedál, který kombinuje efekty typu distortion, overdrive a auto-wah pedál. Základem wah-wah efektů je pásmová propust, kterou lze ve frekvenčním pásmu posouvat. Posun pásmové propusti je realizován buď mechanicky, pomocí nožního pedálu, nebo automaticky v závislosti na dynamice hry na kytaru. Pokud je efekt realizován automatickým posunem pásmové propusti, jsou takové pedály označovány jako auto-wah pedály. V zapojení efektu EHX Tube Zipper se nachází dvě elektronky 12AX7. [62]

Posledním elektronkovým pedálem od firmy Electro-Harmonix je EHX Wiggler. Jedná se o efekt, který kombinuje efekty typu vibrato a tremolo. V zapojení efektu se opět nachází dvě elektronky 12AX7. EHX Wiggler se vyznačuje především širokými možnostmi nastavení jednotlivých efektů, díky čemuž jej lze využít i pro jiné nástroje a aplikace. [63]

### 3.2.4 Blackstar HT Pedals

Britská společnost Blackstar, zabývající se především produkcí elektronkových zesilovačů a reboxů, vyvinula sérii elektronkových efektů s označením HT. Jedná se o kvalitně zpracované pedály využívající technologie Hi-Volt a True Bypass. V zapojení všech modelů z této série je vždy použita jedna elektronka 12AX7. Na rozdíl od konkurence, pedály ze série HT disponují speciálně upraveným výstupem pro nahrávání, díky kterému je možné zároveň hrát přes kytarový zesilovač a také nahrávat. Do série HT spadá celkem devět pedálů. Mezi základní efekty patří booster pedál HT-Boost, overdrive pedál HT-Drive, distortion pedál HT-Dist, delay pedál HT-Delay a reverb pedál HT-Reverb. Dále firma nabízí další tři speciální efekty typu distortion. HT-DistX se vyznačuje velice agresivním zkreslením označovaným jako „hi-gain.“ HT-Dual je dvoukanálový efekt, kde lze na každém kanálu nastavit různou úroveň zkreslení signálu a libovolně mezi nimi přepínat. HT-Metal je pak kombinací obou předchozích efektů. Jedná se tedy také o dvoukanálový efekt, který však umožňuje dosahovat i hi-gain zkreslení. Posledním pedálem ze této série je multieffekt HT-Modulation, který obsahuje efekty typu flanger, phaser, chorus a tremolo. [65] [66]



Obr. 20 Blackstar HT-DistX (převzato z [67])

### 3.2.5 Ostatní

Existuje řada profesionálních výrobců kytarových efektů, kteří mají ve svém portfoliu jeden či více elektronkových pedálů. Vybral jsem proto další čtyři nejvíce doporučované efekty, kromě již uvedených.

První efekt je Tube Factor od německé firmy Hughes&Kettner. Jedná se o kombinovaný booster/overdrive pedál využívající obě důležité technologie Hi-Volt a True Bypass, který navíc nabízí možnost nastavení dvou různých módů. V zapojení efektu se nachází jedna elektronka 12AX7. [68]

Dalšími efekty jsou Ibanez TK999US a Butler Audio Tube Driver. Originální modely obou efektů jsou v podstatě totožné, protože původní návrh Tube Driver pedálu vytvořil B.K. Butler právě pro japonskou společnost Ibanez. V obou případech se tedy jedná o overdrive pedál, který využívá pro svou funkci elektronku 12AU7, která má nižší činitel zesílení než typ 12AX7. Díky tomu je výsledný zvuk i při maximálním vybuzení velice příjemný a obsahuje pouze jemné zkreslení. Zajímavostí u pedálu Tube Driver je, že se u pozdějších verzí objevil potenciometr umožňující nastavení biasu, díky čemuž bylo možné jak měnit charakter zkreslení, tak měnit samotnou elektronku a efekt nastavit dle typu použité elektronky. Tyto verze jsou velice vyhledávané, protože umožňují široké možnosti nastavení zvuku. [69] [70]

Posledním efektem je pedál Stone Groove od americké společnosti Masterbuilt. Pedál kombinuje efekty typu overdrive a distortion. V zapojení se opět nachází jediná elektronka 12AX7 a stejně jako předchozí efekty i tento využívá technologie Hi-Volt a True bypass. [71]



Obr. 21 Hughes&Kettner Tube Factor (převzato z [68])

## 4. Návrh zapojení

Při výběru vhodného schéma zapojení bylo nutné zohlednit několik faktorů, mezi které patřily především typ a kvalita efektu, dostupnost informací a jednotlivých komponent a také typ použité elektronky. Jelikož cílem této diplomové práce je postavit efekt, který lze aktivně využívat pro živá vystoupení, záměrně jsem hledal schéma pro typ pedálu, který ve svém kytarovém vybavení dosud postrádám. Jedná se o overdrive/distortion pedál, který je vhodný především pro zvýraznění kytarových sól. Schémat zapojení takových efektů lze na internetu dohledat mnoho, avšak jedná se většinou o amatérské návrhy, nebo modifikace efektů od profesionálních výrobců. Problém u efektů zkonstruovaných svépomocí je především nemožnost posoudit jejich kvalitu. S ohledem na požadované vlastnosti jsem proto zvolil schéma efektu „Westbury W-20,“ který byl sériově vyráběn v 80. letech. V zapojení se nachází elektronka 12AX7, která se používá i ve většině moderních elektronkových efektech. Kompletní schéma zapojení Westbury W-20 se nachází v příloze A.

### 4.1 Elektronka 12AX7

Elektronka 12AX7 je dvojitá trioda s nepřímým žhavením. Na trh byla uvedena již v roce 1947 americkou firmou RCA. Pro stejnou elektronku se v Evropě také rozšířilo označení ECC83, které používala nizozemská společnost Philips. Ve srovnání s ostatními podobnými elektronkami má 12AX7 nejvyšší hodnotu činitele zesílení  $\mu = 100$  a také vykazuje velice nízkou hodnotu šumu ve výstupním signálu. Tyto vlastnosti činí z elektronky 12AX7 vhodný zesilovací prvek i pro velmi slabé signály. Jednotlivé vývody elektronky jsou vyvedeny na celkem devět pinů, které jsou kompatibilní se standardními patičkami. [72]



Obr. 22 Elektronka ECC83S (12AX7) od slovenské firmy JJ Electronics (převzato z [73])

## 4.2 Funkce efektu

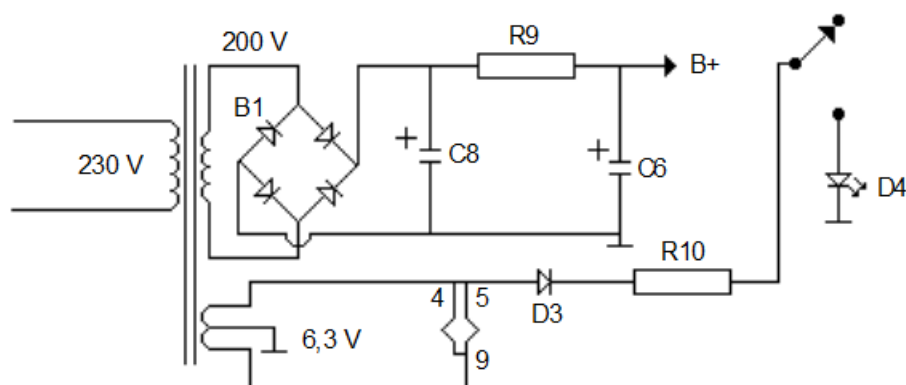
V zapojení efektu Westbury W-20 se elektronka 12AX7 využívá jako zesilovač kytarového signálu. Ten je na výstupu z elektrické kytary poměrně slabý a v závislosti na typu použitých kytarových snímačů se jeho amplituda pohybuje v rozmezí 0,5 – 1,5 V. Pokud se použije pro aplikaci efektu klasický pedál, který pracuje s nízkým napětím 9 V, amplituda průchozího signálu se nijak nezmění a signál bude zesílen až koncovým zesilovačem. Pokud se však využije efekt s elektronkou, který pracuje s vysokým napětím, je možné kytarový signál již při průchodu pedálem zesílit. Rozdíl v amplitudách vstupního a výstupního signálu je vyjádřen činitelem zesílení  $\mu$ . Hodnota činitele zesílení se mění v závislosti na použité elektronce a jak jsem již uváděl, nejvyšší hodnota se udává právě u elektronek typu 12AX7, kde se  $\mu = 100$ . Na vstup kytarového zesilovače se tedy dostává daleko silnější signál, než je tomu v případě klasických efektů. V konečném důsledku se tedy použití elektronkového efektu projeví jako výrazné zvýraznění a zesílení kytarového signálu. Tato část zpracování signálu odpovídá principu funkce efektů typu booster, který jsem popsal v kapitole 2.1.2 Efekty typu compressor a booster. Z toho důvodu se elektronkové efekty také často označují jako předzesilovací stupně, neboli „preamp,“ a ač se to neuvádí, kromě své hlavní funkce mají všechny elektronkové efekty zároveň funkci efektů typu booster.

### 4.2.1 Napájení

Většina klasických efektů je v současné době napájena 12V adaptérem. Některé moderní elektronkové efekty ve svém zapojení využívají nízkonapěťové elektrony, které mohou být napájeny také 12V adaptérem. Projev těchto elektronek je však v porovnání s těmi klasickými poměrně nevýrazný a jejich použití v kytarových efektech je brán spíše jako marketingový tah. Pro větší část efektů se využívá elektronek, které pro svou funkci potřebují vysoké napětí, díky kterému se jejich pracovní bod pohybuje ve vhodnější části V-A charakteristiky. V případě 12AX7 může být na anodu přivedeno napětí až 250 V. Z toho důvodu musí být u těchto efektů použit zdroj napětí přizpůsobený pro daný typ pedálu.

Podle originálního schéma zapojení pro Westbury W-20 je pro napájení efektu nutný síťový transformátor s primárním vinutím na 230 V a dvěma sekundárními vinutími na 200 V resp. 6,3 V s vyvedeným středem. První zmíněné sekundární vinutí slouží k napájení anod obou triod elektronky 12AX7. Na *obr.23* je jeho vývod označen znakem B+. Střídavé napětí 200 V je nejdříve usměrněno dvoucestným usměřňovačem DB104 a dále je vyhlazeno

filtračním kondenzátorem  $C_8$  a RC integračním článkem tvořeným rezistorem  $R_9$  a kondenzátorem  $C_6$ . Druhé sekundární vinutí je určeno pro žhavení jednotlivých triod elektronky 12AX7. První dvojčíslí v označení elektronek udává přibližnou hodnotu napětí pro žhavení, tedy v tomto případě 12,6 V. Z toho důvodu má sekundární vinutí vyvedený střed a jednotlivá žhavicí tělesa obou triod tak mohou být zapojena paralelně a napájena napětím pouze 6,3 V.



Obr. 23 Schéma napájení efektu

#### 4.2.2 Zesílení signálu

Elektronka 12AX7 je dvojitá trioda a průchozí signál je zesilován ve dvou fázích v každé triodě zvlášť. Ke každé elektrodě elektronky je připojen rezistor, který má své specifické označení a funkci.

První rezistor se nazývá „grid stopper“ a je zapojen mezi vstupem efektu a mřížkou první triody. Důvodem je kapacita samotné elektronky, jejíž hodnota je u typu 12AX7 přibližně 151 pF. Vznik kapacity je dán konstrukcí elektronky, kde jsou uvnitř baňky v určité vzdálenosti umístěny dvě opačně polarizované destičky (anoda a katoda). Společně s uvedeným rezistorem je tak vytvořena dolní propust, která má za úkol eliminovat vysoké frekvence. Důvodem pro aplikaci dolní propusti je především škodlivý vliv vysokých frekvencí na kytarový signál, kde mohou působit jako šum. Také mohou způsobit škodlivé oscilace, které vedou ke zvýšení toku elektronů mezi katodou a anodou, což může v konečném důsledku vést až ke zničení elektronky. Tento problém se nazývá „red-plating“ a jeho název je odvozen od stavu, kdy se anoda elektronky vlivem velkého elektrického proudu příliš zahřeje a zčervená. Ideální hodnota závěrného rezistoru je ve spojení s elektronikou 12AX7  $R = 68 \text{ k}\Omega$ . Ve schéma zapojení je tento rezistor označen jako  $R_3$ . [74]

Rezistor zapojený mezi mřížkou a zemí se nazývá „grid leak.“ Změnou velikosti jeho hodnoty lze řídit poměr kytarového signálu, který bude uzemněn a který bude napájet mřížku elektronky. Na základě této skutečnosti lze pak dělit vstupy efektů i zesilovačů na nízko-impedanční a vysoko-impedanční. Čím větší bude hodnota tohoto rezistoru, tím silnější bude signál na mřížce. V případě elektronkových efektů je žádoucí, aby kytarový signál připojený na mřížku byl co nejsilnější, a proto se navrhuje s vysoko-impedančními vstupy. Ani efekt Westbury W-20 není výjimkou a ve schématu lze grid leak rezistor nalézt pod označení  $R_5$  s hodnotou  $R = 1 \text{ M}\Omega$ . Dalším účelem tohoto rezistoru je umožnit uzemnění nahromaděných elektronů, které při emisi neprošli skrz mřížku a usadili se na ní. Pokud by nedošlo k jejich uzemnění, zásadně by se změnila poměry mezi jednotlivými elektrodami, což by mělo negativní dopad na funkci elektronky. [74]

Další významnou částí zapojení je katodový rezistor pro nastavení biasu elektronky, který je umístěn mezi katodou a zemí. Jako bias se označuje klidový proud elektronů z katody k anodě a jeho změnou se nastavuje pracovní bod elektronky. Pokud by bias nebyl řízený, hrozí situace, kdy bude klidový proud příliš veliký, elektronka se začne přehřívat a může dojít až k její destrukci. Stabilizace klidového proudu je zajištěna tím, že se na řídicí mřížku přivede napětí, které je vzhledem ke katodě negativní. V závislosti na velikosti tohoto napětí je pak více, či méně elektronů odpuzováno od mřížky. Jelikož je řídicí mřížka připojena přes grid leak rezistor, na kterém nedochází k žádnému úbytku napětí, k zemi, bude mít stejný potenciál jako zem. Katoda elektronky je připojena k zemi přes katodový rezistor, na kterém ovšem dochází k určitému úbytku napětí, který je dán průchodem elektrického proudu, vzniklým termoemisí na katodě. Z toho je patrné, že katoda bude kladněji nabitá, vzhledem k zemi a tím také k řídicí mřížce, právě o úbytek napětí na katodovém rezistoru. Vhodnou volbou katodového rezistoru tak lze nastavit správný klidový proud elektronky, neboli bias. Čím větší bude mít katodový rezistor hodnotu tím bude menší klidový proud. V případě, že bude jeho hodnota příliš velká a klidový proud příliš malý, elektrony emitované katodou se nedostanou k anodě a elektronka nefunguje. Z toho důvodu se volí hodnota katodového rezistoru spíše malá. V případě elektronky 12AX7 je ideální hodnota  $R = 1,5 \text{ k}\Omega$ . Ve schématu je katodový rezistor označen jako  $R_4$ . [74]

Poslední rezistor se nazývá anodový a je zapojen mezi anodou a zdrojem napětí. Pro správnou funkci elektronky je důležitý ze dvou důvodů. Jeho první funkcí je upravit vstupní napětí ze zdroje na úroveň, která je pro napájení anody dané elektronky ideální. V případě

elektronky 12AX7 je vhodné anodové napětí 150 V. Typická hodnota anodového rezistoru pro uvedenou elektronku je  $R = 100 \text{ k}\Omega$  a stejnou hodnotu má i rezistor použitý ve schématu pro efekt Westbury W-20, který je označen jako  $R_2$ . Další funkce anodového rezistoru souvisí se skutečností, že elektronka je transkonduktivní zařízení, tedy že změnou vstupního napětí je dosaženo změny proudu na výstupu. Tento jev je dán tím, že vstupní napětí, přivedené na řídicí mřížku, ovlivňuje tok elektronů z katody k anodě, tedy elektrický proud procházející elektronkou. Ten je nutné převést zpět na napěťový signál a právě k tomuto účelu také slouží anodový rezistor. Průchodem proudu přes tento rezistor vznikne podle Ohmova zákona napětí, které se bude měnit vlivem proměnného proudu a jehož velikost bude záviset na hodnotě anodového rezistoru. Čím větší tato hodnota bude, tím větší bude výsledné zesílení elektronky. [74]

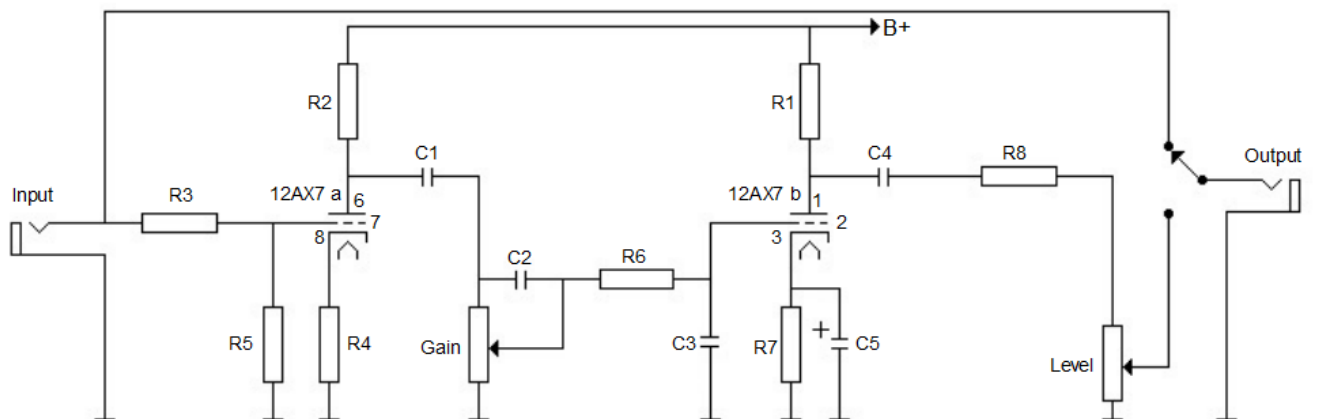
Další důležitou součástí je vazební kondenzátor, přes který prochází výstupní signál elektronky. Jeho funkcí je oddělit stejnosměrné napětí, které napájí anodu elektronky, a střídavé napětí, vytvořené na anodovém rezistoru. Kondenzátorem projde dál ke zpracování pouze střídavé napětí, tedy zesílený kytarový signál. Zároveň je zajištěno, že stejnosměrné napájecí napětí bude připojeno pouze na anodu elektronky. Ve schématu efektu je vazební kondenzátor označen jako  $C_1$ . [74]

Pokud je kytarový signál přiváděn na řídicí mřížku, elektronka se chová jako fázový invertor. Tato skutečnost je daná tím, že pokud je na řídicí mřížku přivedeno kladné napětí, elektrony emitované katodou mohou snáze procházet k anodě, což zapříčiní její záporné nabití. Naopak, pokud je na řídicí mřížku přivedeno záporné napětí, elektrony emitované katodou jsou mřížkou brzděny a k anodě je jich přitaženo méně. Díky tomu zůstává anoda kladně nabitá. Z toho důvodu je v první triodě kytarový signál zesílen, ale její výstupní signál není ve fázi se vstupním. [74]

Jelikož je elektronka 12AX7 dvojitá trioda, je výstupní signál první triody přiváděn přes dolní propust, tvořenou rezistorem  $R_6$  a kondenzátorem  $C_3$ , na řídicí mřížku druhé triody, kde opět dojde stejným způsobem k jeho zesílení a také k otočení jeho fáze. Díky tomu je výstupní signál celé elektronky ve fázi s původním kytarovým signálem. Vhodnou volbou součástek dolní propusti lze ovlivnit frekvenční pásmo, které bude zesíleno druhou triodou a tím i celkový projev efektu. Pro druhou triodu lze ve schématu zapojení opět nalézt anodový rezistor  $R_1$ , katodový rezistor  $R_7$  a vazební kondenzátor  $C_4$ . Úroveň výstupního signálu je



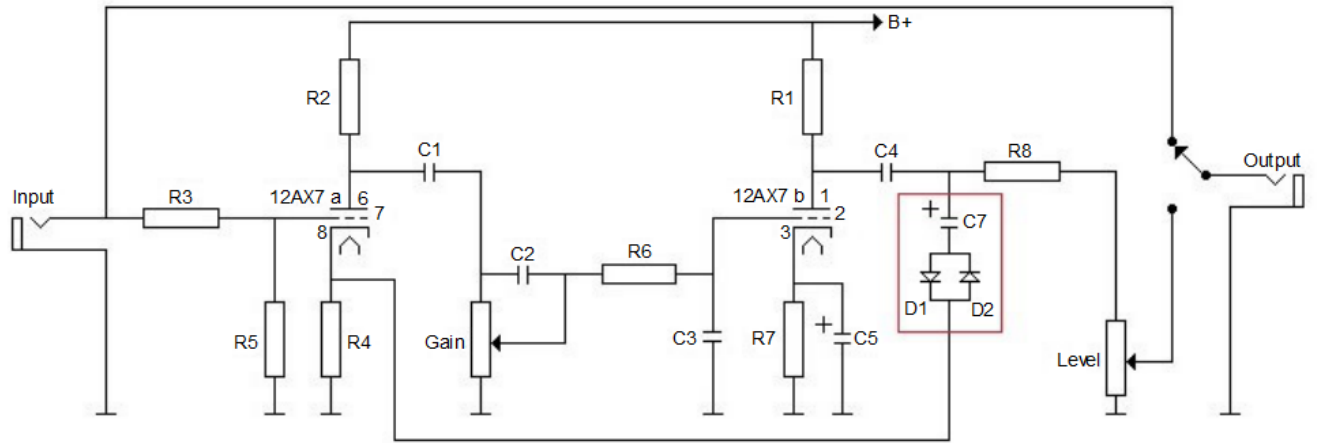
nakonec upravena rezistorem  $R_8$  a „level“ potenciometrem pro nastavení hlasitosti. Funkcí rezistoru  $R_8$  je omezit úroveň výstupního signálu efektu, která by mohla být příliš vysoká pro ostatní efekty zapojené v efektovém řetězci. Zároveň je tímto zajištěno, že „level“ potenciometr může být využíván v celém svém rozsahu.



Obr. 24 Schéma pro zesílení signálu s elektronkou 12AX7

### 4.2.3 Zkreslení

Pro zkreslující efekt je nutné, aby byl průchozí signál nelineárně limitován. V případě pedálu Westbury W-20 je využíváno dvojice antiparalelně zapojených diod  $D_1$  a  $D_2$  v záporné zpětné vazbě. Diody jsou nelineární prvky s daným saturačním napětím, které je různé v závislosti na typu použitých diod. Pokud je úroveň průchozího signálu nižší než je toto saturační napětí, je veškerý signál přenesen na výstup a není zkreslen. Pokud však úroveň průchozího signálu přesáhne saturační napětí diod, část výstupního signálu je přivedena zpět na vstup, kde dochází k nelineární limitaci vstupního signálu, což způsobí jeho zkreslení. Míra zkreslení je kontrolována „gain“ potenciometrem, který je umístěn mezi oběma zesilovacími stupni elektronky a má vliv na úroveň signálu vstupujícího na mřížku druhé triody. Na obr. 25 je červeným rámečkem vyznačena část zapojení zodpovědná za zkreslující efekt. [75]



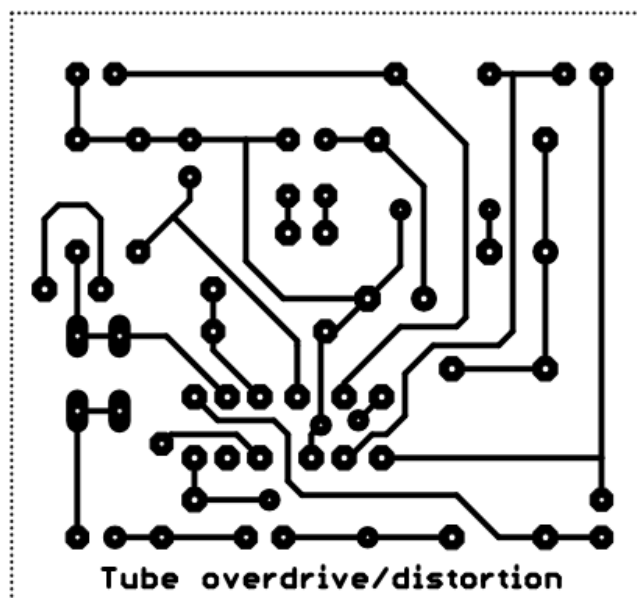
Obr. 25 Schéma se zkreslující částí zapojení

## 5. Konstrukce efektu

Konstrukce kytarového efektu probíhala ve dvou fázích. Nejdříve bylo nutné nakoupit veškeré potřebné komponenty a navrhnout, vyrobit a osadit desku plošných spojů. Ve druhé fázi pak byla objednána rozměrově odpovídající efektová krabice, která byla následně upravena dle rozložení ovládacích prvků.

### 5.1 Výroba desky plošných spojů

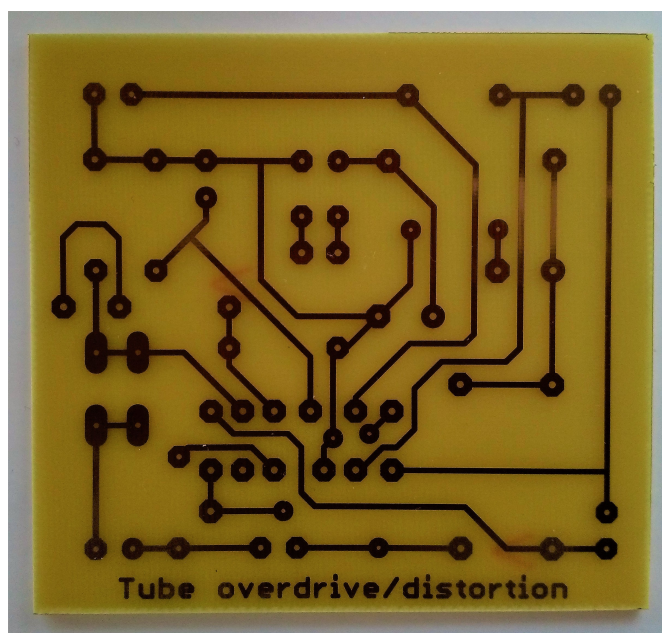
Při výrobě efektu byla snaha o to, aby kromě komponent, které musí být umístěny na efektové krabici, byla většina součástek umístěna na desku plošných spojů. Pro návrh byl použit program Eagle 7.6.0.



Obr. 26 Návrh desky plošných spojů

Navrženou desku plošných spojů jsem poté nechal vyrobit u specializované firmy. Výroba probíhala fotochemickou cestou na desce s vrstvou pozitivního fotorezistu. Dle dodaného schématu byla vyrobena filmová matrice, která se použila pro přenesení navrženého motivu. Po osvětlení desky přes filmovou matici pomocí zdroje UV světla se naruší struktura nekrytého laku. Dále se deska vkládá do roztoku NaOH, tzv. vývojky. Narušený lak se ve vývojce odplaví, zatímco neporušený lak se naopak vytvrdí. Tímto způsobem se zaručí, že se po vložení desky do leptacího roztoku vyleptá pouze měď mimo požadovaný motiv. Nejčastěji používaný leptací roztok je chlorid železitý  $\text{FeCl}_3$ . Po procesu leptání je nutné

nejdříve desku omýt vodou a mýdlem, aby se odstranily zbytky leptacího roztoku, který působí na desku korozivně. Následně je nutné odstranit také vytvrzený fotorezist pokrývající jednotlivé cesty motivu. Fotorezist je dobře rozpustitelný v běžných rozpouštědlech, např. lihu. Po odstranění fotorezistu je vhodné desku opět omýt vodou a nanést pájitelný lak. Ten zamezí oxidaci mědi a také podporuje proces pájení. Deska vyrobená tímto způsobem je velice kvalitní a požadovaný motiv je přesně přenesen i v jemných detailech.



Obr. 27 Vyrobená deska plošných spojů

## 5.2 Výroba mechanické konstrukce

Při výrobě mechanické konstrukce efektu byl kladen důraz především na to, aby byly veškeré části umístěny uvnitř efektové krabice. Důvodem je jednak ochrana uživatele před úrazem elektrickým proudem, jelikož efekt ke své činnosti potřebuje vysoké napětí, dále ochrana elektronky před poškozením a v neposlední řadě také kompaktnost celého zařízení. Do efektové krabice tedy bylo nutné umístit DPS s rozměry 80 x 85 mm, napájecí transformátor s rozměry 50 x 50 x 63 mm, elektronku 12AX7 s patičí a veškeré další ovládací prvky. Jako nejvhodnější se ukázaly hliníkové univerzální krabice od firmy Hammond, která je nabízí v mnoha různých rozměrových provedeních. Materiál pro krabici jsem zvolil s ohledem na použití efektu, který je zamýšlený jako „stompbox,“ neboli efekt, který je umístěn na zemi a ovládá se nohou. Hliník, který je lehký, dobře opracovatelný a zároveň odolný proti

poškození, je pro tento účel velice vhodný. Dle uvedených rozměrů jednotlivých komponent jsem objednal krabici s označením 1590D s rozměry 183 x 115 x 52 mm s odnímatelným dnem, díky kterému se lze velice snadno dostat k veškerým částem zapojení.



*Obr. 28 Hammond 1590D (převzato z [76])*

Pro design efektové krabice jsem se rozhodl využít metodu leptání. Motiv, který je určený k přenesení na krabici, je nejdříve nutné upravit pomocí grafických programů tak, aby byl zrcadlově obráceně a zároveň, aby barvy byly v negativu. Takto upravený návrh je poté vytištěn laserovou tiskárnou na fotografický papír. Tento krok je důležitý z toho důvodu, že toner laserové tiskárny se do fotografického papíru nenasákne a lze jej teplem opět od papíru oddělit. Jako zdroj tepla poslouží žehlička, kterou se přitiskne vytištěný papír na efektovou krabici a krouživými pohyby se ohřívá celá plocha motivu, aby se přenesl veškerý toner. Tento proces trvá přibližně 25 minut. Toner dokáže odolávat leptacímu roztoku chloridu železitého  $\text{FeCl}_3$ , a ochrání tak pokrytý kov. U ostatních nekrytých částí krabice dochází k vyleptání určité vrstvy kovu. Její tloušťka je dána dobou, po kterou je kov vystaven leptacímu roztoku. V mém případě leptání probíhalo přibližně 20 minut. Následně je nutné krabici omýt vodou a ideálně očistit některým z běžných rozpouštědel, např. acetonem.

Dalším krokem bylo vyvrtání otvorů pro veškeré ovládací prvky a komponenty uchycené na efektové krabici pomocí odstupňované frézky. V přeneseném grafickém motivu byly také vyřezány dva otvory, kterými při zapnutí efektu prosvítá elektronka. Takto upravená krabice pak byla vyleštěna nejprve smirkovými papíry se zrnitostí 120 a 400 a následně smirkovou vodní houbičkou se zrnitostí 800.



*Obr. 29 Efektivní krabice s přeneseným motivem a vyvrtanými otvory*

Pro elektronku byla vyrobena samostatná nosná konstrukce, která je umístěna uvnitř efektové krabice. Její funkce je jednak ochránit elektronku před mechanickým poškozením, ale zároveň také slouží jako reflektor. Konstrukce je zhotovena z matného hliníkového plechu tloušťky 0,5 mm a na jejím povrchu jsou nanášeny tři vrstvy bílé barvy s lakem. Na boku je pak umístěna patice elektronky. Vnitřek je pokryt alobalem, který odráží světelné záření elektronky lépe než materiál konstrukce, který nebylo možné vyleštit tak, aby bylo dosaženo stejné emisivity jako v případě alobalu.

Na vnitřní straně víka efektové krabice je přilepena vrstva filcu, která zabraňuje zkratování součástek umístěných na desce plošných spojů. Tato vrstva nemá vliv na odvod tepla, které vzniká uvnitř efektu a jehož hlavním zdrojem je elektronka. Ta je uzavřena uvnitř samostatné konstrukce a teplo je odváděno dvěma průduchy na horní ploše efektové krabice.

### 5.3 Rozložení ovládacích prvků

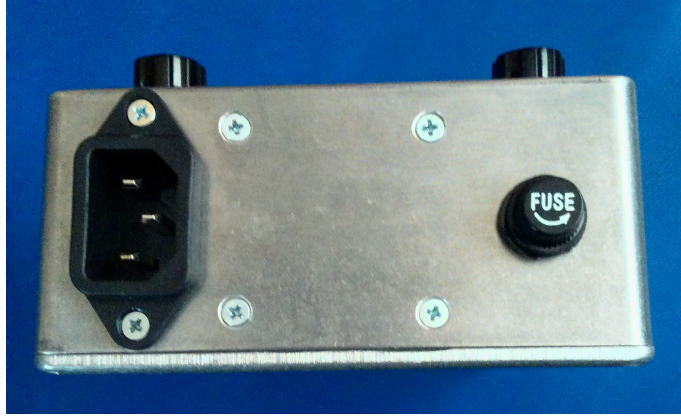
Na horní ploše efektové krabice se nachází většina ovládacích prvků. V dolní části je umístěn nožní přepínač, kterým se aktivuje obvod efektu. K tomuto přepínači náleží indikační dioda umístěná nad ním. V prostřední části se nachází hlavní vypínač celého efektu a zároveň žhavení elektronky. Nad tímto vypínačem jsou dva otvory, které slouží jako průzor na elektronku. V horní části se pak nacházejí potenciometry ovládající hlasitost a míru zkreslení. Korekce „volume“ je umístěna vlevo a korekce „gain“ vpravo.



Obr. 30 Rozložení ovládacích prvků na horní ploše efektové krabice



Na čele efektové krabice se nachází pojistka a síťový napájecí konektor. Na pravém boku je umístěn vstupní konektor jack 6,3 mm, na levém boku pak stejný konektor pro výstup.



*Obr. 31 Rozložení ovládacích prvků na čele efektové krabice*

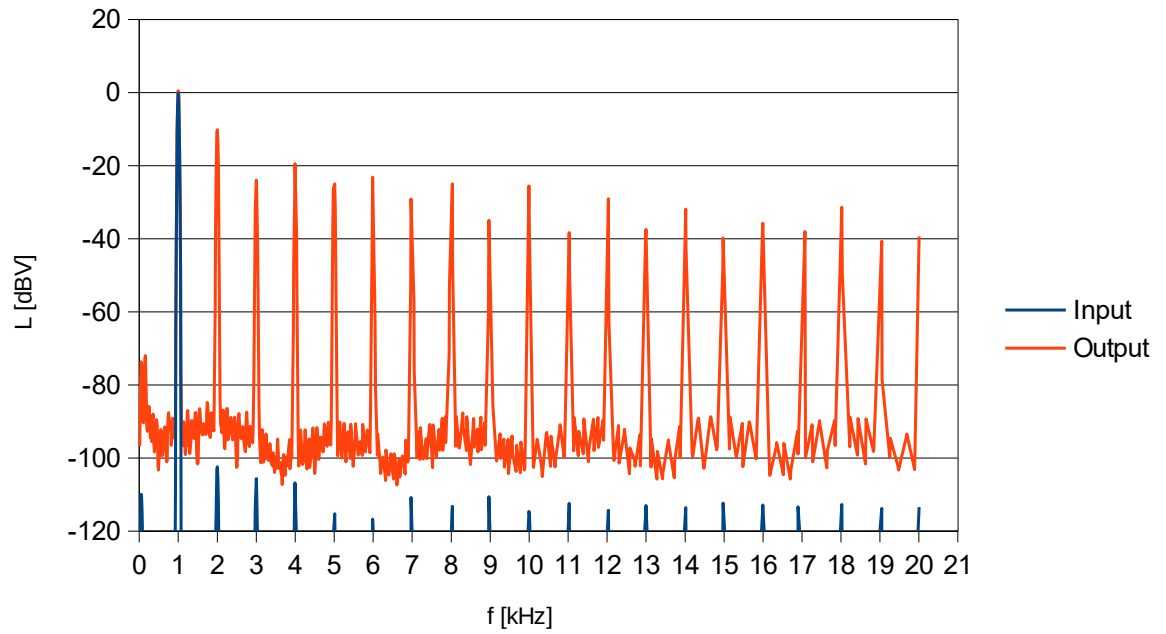


## 6. Ověření základní funkčnosti efektu

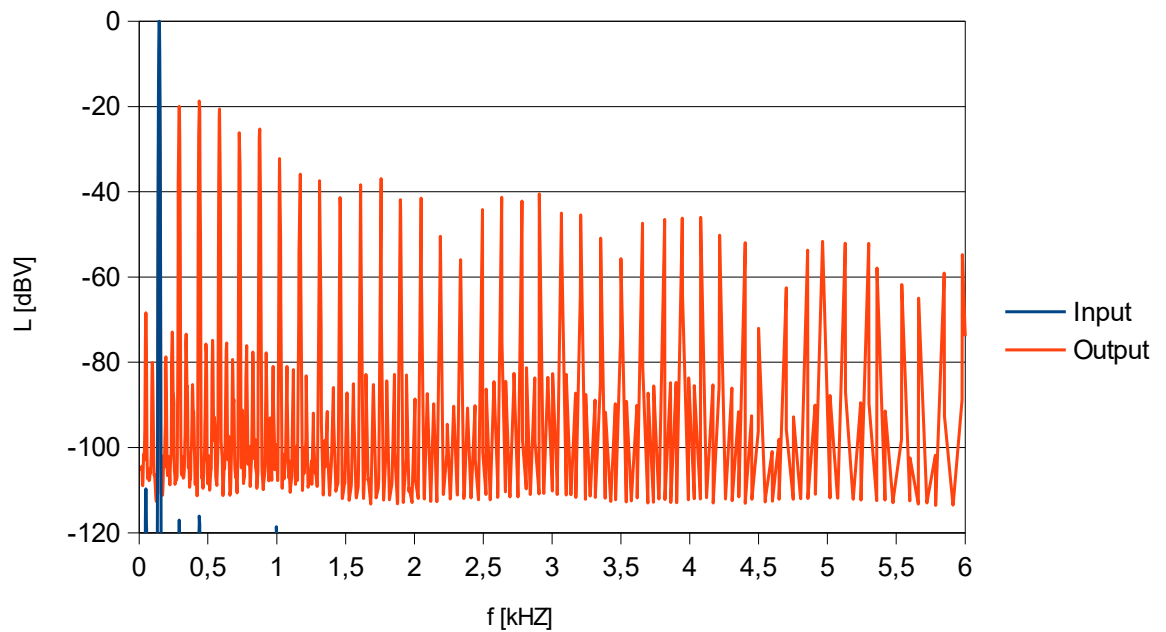
Předpokládané vlastnosti a funkčnost postaveného elektronkového efektu byly prokázány laboratorním měřením. Požadovaným výsledkem bylo především dokázat smysl používání elektronek v kytarových efektech a také schopnost efektu zkreslovat průchozí kytarový signál. Zkreslení, které produkují elektrony, je obecně považováno za více přirozené pro lidský sluch než zkreslení tranzistorové. Je to dáno tím, že pokud je elektronka donucena pracovat mimo lineární oblast převodní charakteristiky, omezuje výstupní napětí pozvolna, bez ostrého zlomu, což je pro lidský sluch příjemnější. Tento způsob zkreslení se nazývá soft - clipping a speciálně u elektronek se jedná o asymetrický soft - clipping, kdy je každá polovina sinusoidy v jedné periodě zkreslena jinak. Tranzistory naopak pracují v tomto ohledu precizněji, a tak omezují výstupní napětí okamžitě s ostrým zlomem. Tento způsob zkreslení se nazývá hard - clipping. V konečném důsledku je však tato z technického hlediska negativní vlastnost elektronek považována za klíčovou a právě díky ní jsou elektrony dodnes hojně využívány v oblasti kytarových zesilovačů a efektů.

### 6.1 Měření

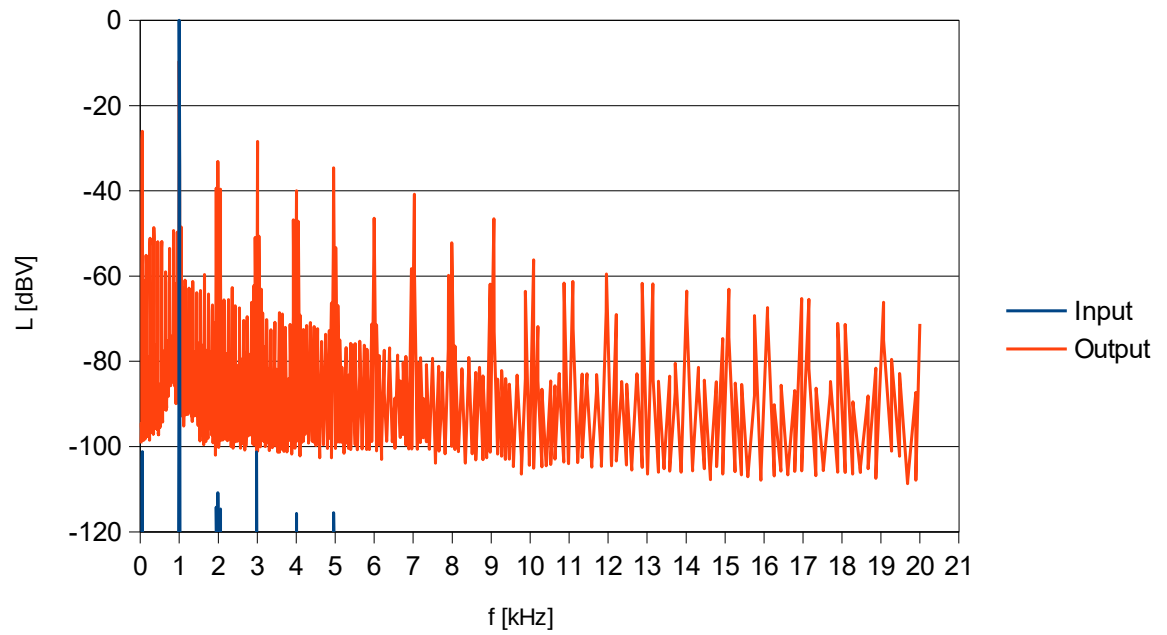
Výše popsaný rozdíl ve zpracování signálu pomocí elektrony a tranzistoru je kromě různého sluchového vjemu také zřetelný ve frekvenčním spektru. Signál zkreslený elektronkou obsahuje více zvýrazněné sudé harmonické, zatímco signál zkreslený tranzistorem naopak obsahuje více zvýrazněné liché harmonické. Postavený elektronkový efekt byl připojen ke generátoru sinusového signálu se základním kmitočtem nejdříve 1 kHz a následně 146 Hz. Druhý uvedený kmitočet odpovídá rychlosti kmitání kytarové struny s označením D. Stejnému měření byl poté pro porovnání podroben také tranzistorový „distortion“ pedál Black Audio Infinity Driver. Měření obou efektů probíhalo pro různá nastavení korekce „gain“, zatímco „volume“ korekce byla vždy nastavena v maximální poloze. Následující grafy znázorňují výsledky měření při nastavení obou korekcí v maximální poloze. Ostatní výsledky měření elektronkového efektu při různém nastavení korekcí se nacházejí v příloze B. Zhodnocení jednotlivých měření se nachází v kapitole 6.2.



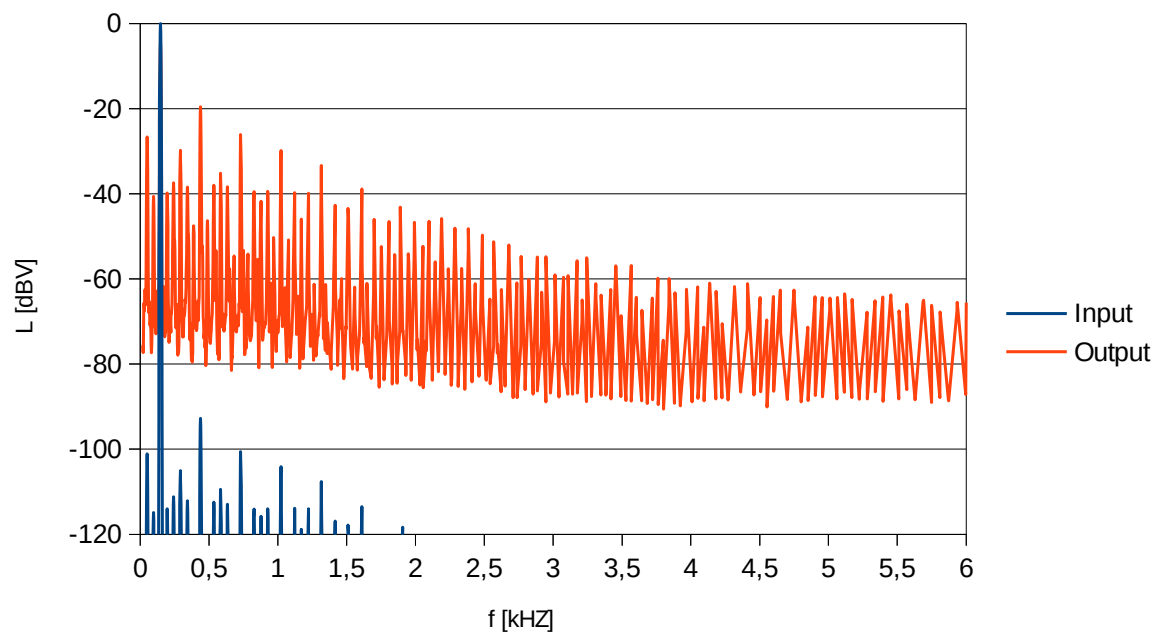
Graf č. 1 Frekvenční spektrum elektronkového efektu pro základní frekvenci 1 kHz



Graf č. 2 Frekvenční spektrum elektronkového efektu pro základní frekvenci 146 Hz

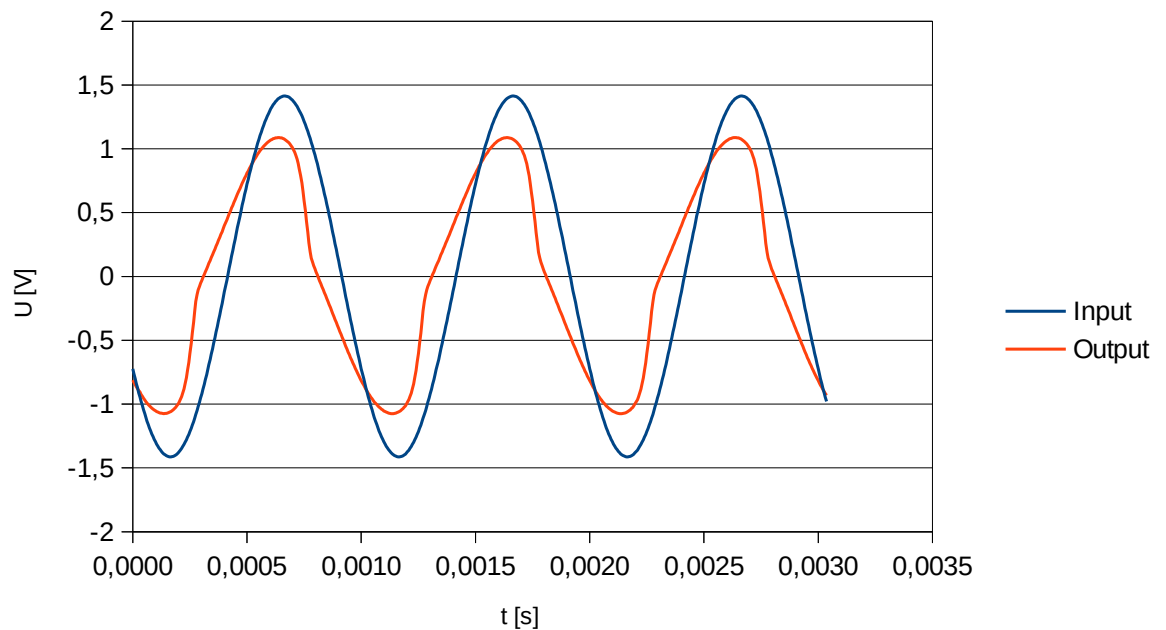


Graf č. 3 Frekvenční spektrum tranzistorového efektu pro základní frekvenci 1 kHz

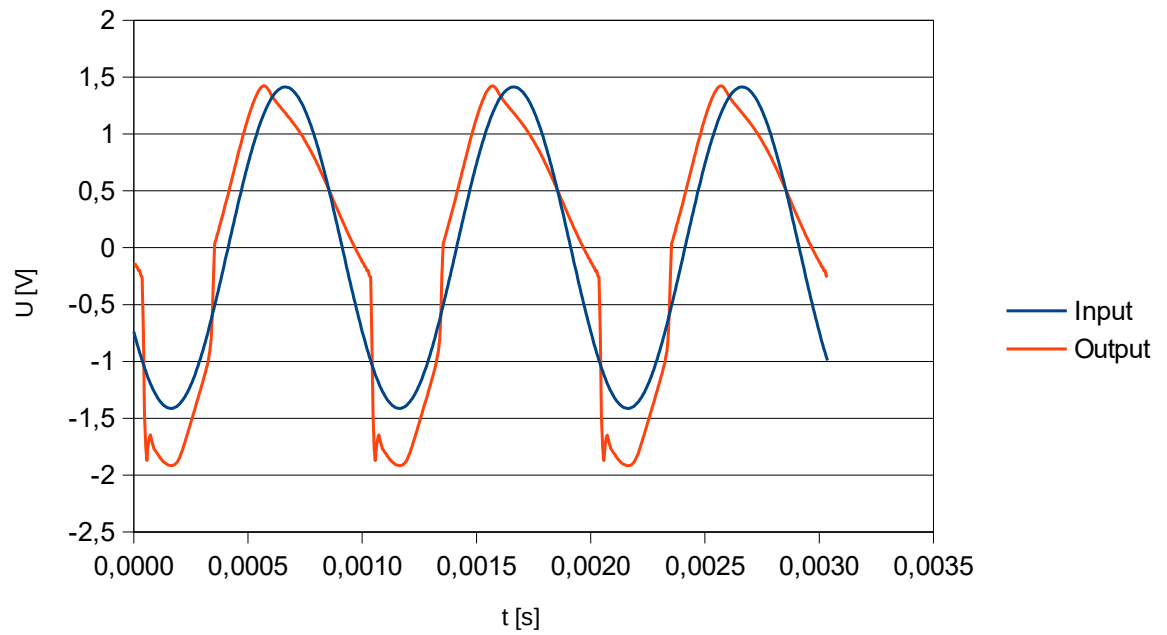


Graf č. 4 Frekvenční spektrum tranzistorového efektu pro základní frekvenci 146 Hz

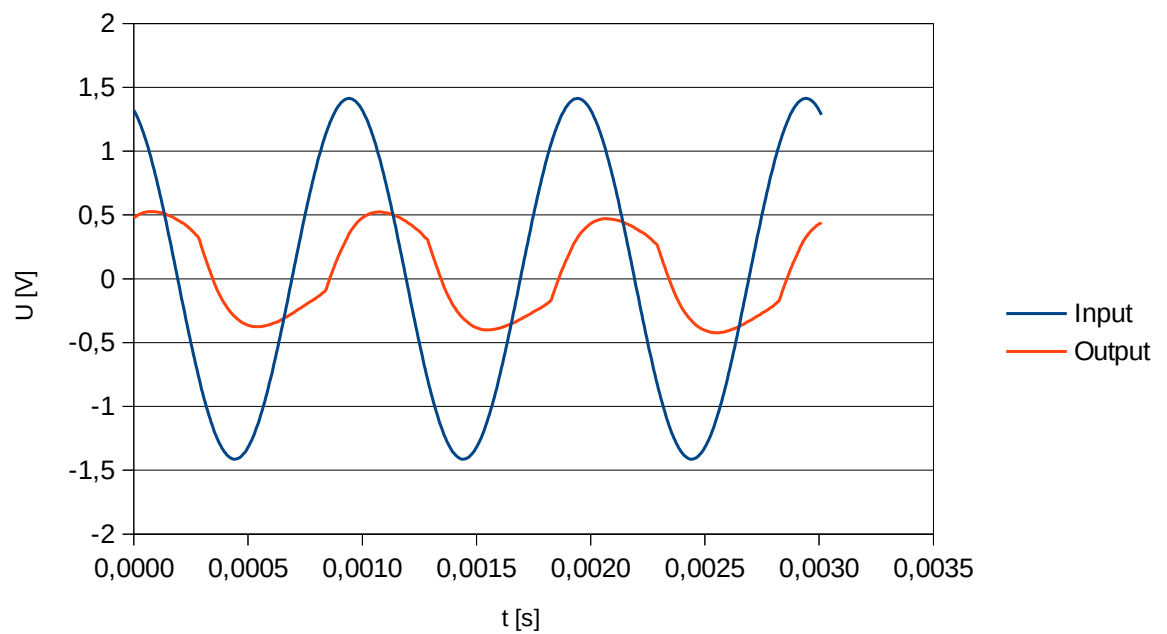
Stejným způsobem probíhalo i měření průběhu výstupního signálu v závislosti na nastavení korekce „gain.“ Oba efekty byly opět připojeny ke generátoru sinusového signálu s amplitudou 1,4 V a kmitočtu 146 Hz a 1 kHz. Korekce „volume“ byla nastavena vždy v maximální poloze, zatímco korekce „gain“ byla postupně nastavována do poloh: 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 a max. Následující grafy znázorňují výsledky měření při základním kmitočtu 1 kHz a pro nastavení korekce „gain“ v polohách 0,1 a max. Ostatní výsledky měření elektronkového efektu při různém nastavení korekcí se nacházejí v příloze B. Zhodnocení jednotlivých měření se nachází v kapitole 6.2.



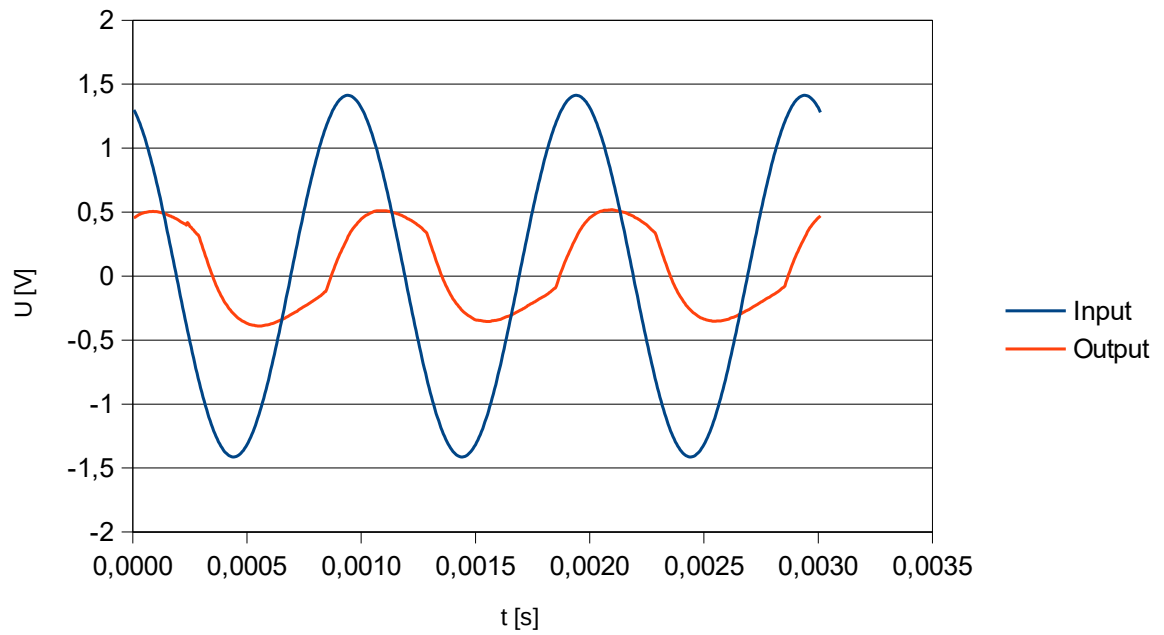
Graf č. 5 Zkreslení výstupního signálu elektronkového efektu při nastavení korekce „gain“ v poloze 0,1



Graf č. 6 Zkreslení výstupního signálu elektronkového efektu při nastavení korekce „gain“ v maximální poloze

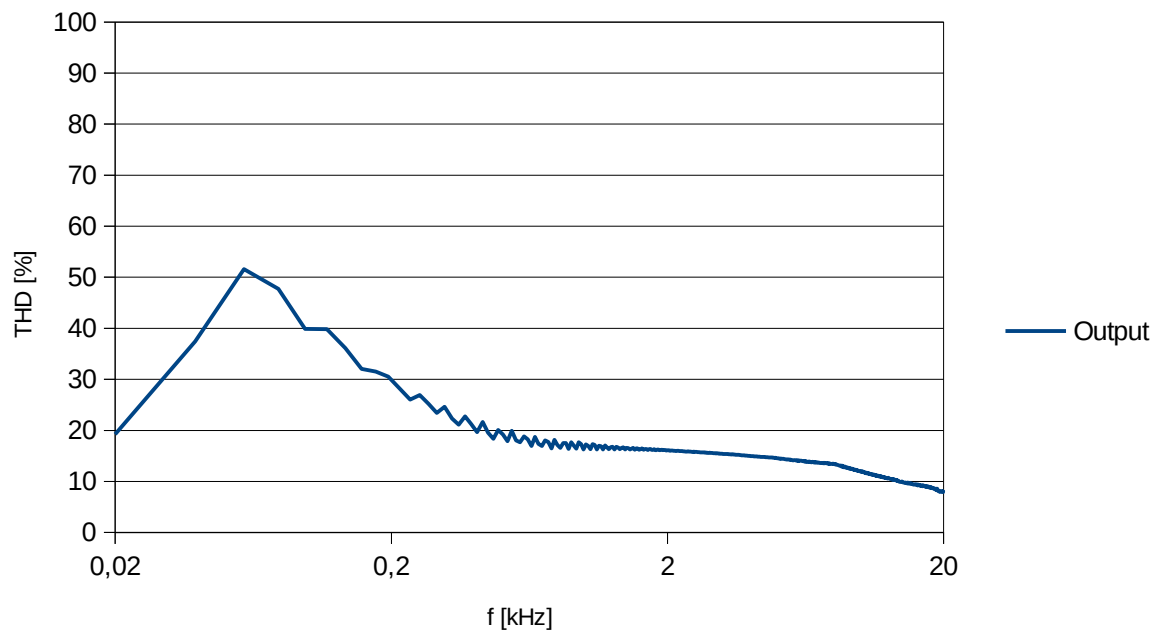


Graf č. 7 Zkreslení výstupního signálu tranzistorového efektu při nastavení korekce „gain“ v poloze 0,1

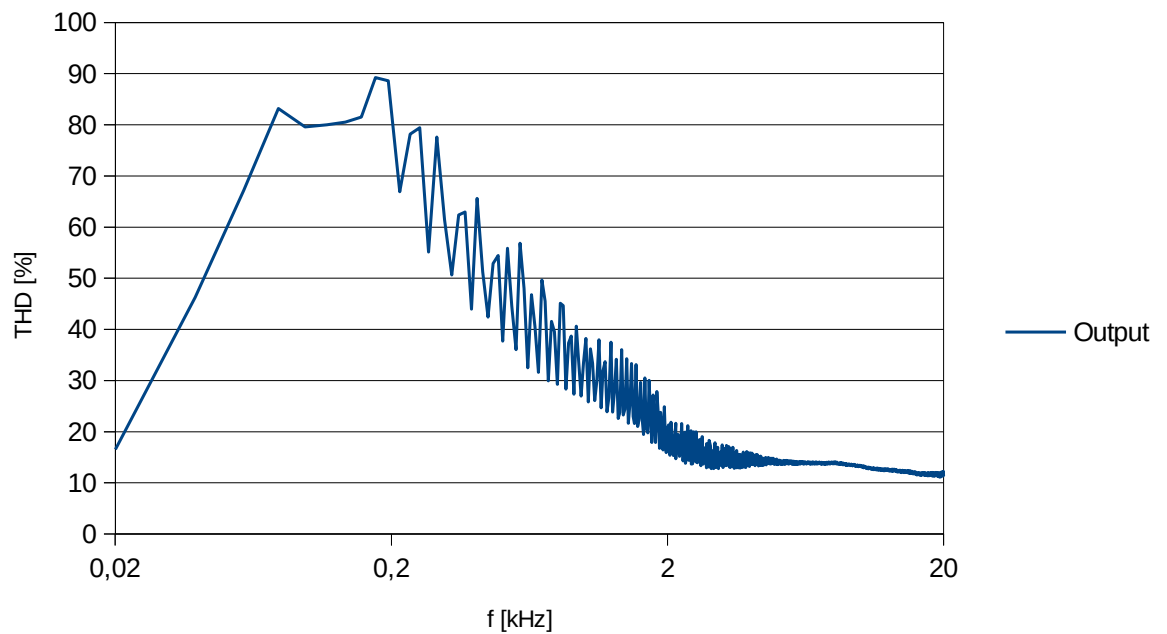


*Graf č. 8 Zkreslení výstupního signálu tranzistorového efektu při nastavení korekce „gain“ v maximální poloze*

Z principu funkce efektu je zřejmé, že výstupní signál vzniká smícháním původního kytarového signálu a signálu, zkresleného pomocí obvodů efektu. Poměr těchto dvou signálů lze vyjádřit veličinou THD, která udává míru zkreslení sinusového signálu. Poslední měření tedy bylo zaměřeno právě na tuto veličinu. Efekt byl opět připojen ke generátoru sinusového signálu s amplitudou 1 V a kmitočtu 146 Hz. Korekce „volume“ byla nastavena vždy v maximální poloze. Korekce „gain“ byla postupně nastavována do poloh: 0,2, 0,3, 0,5 a max. Následující grafy znázorňují výsledky měření při nastavení korekce „gain“ v polohách 0,2 a max. Ostatní výsledky měření elektronkového efektu při různém nastavení korekcí se nacházejí v příloze B. Zhodnocení jednotlivých měření se nachází v kapitole 6.2.



Graf č. 9 THD elektronkového efektu při nastavení korekce „gain“ v poloze 0,2



Graf č. 10 THD elektronkového efektu při nastavení korekce „gain“ v maximální poloze

## 6.2 Zhodnocení měření

Jednotlivými měřeními byla ověřena základní funkčnost celého efektu a zároveň byly potvrzeny i teoretické předpoklady jeho vlastností. Zásadním faktorem při volbě elektronkového efektu je schopnost elektronek zvýrazňovat sudé harmonické, které jsou pro lidský sluch přirozenější a příjemnější. Frekvenční spektrum bylo měřeno se základními kmitočty 1 kHz a 146 Hz. Z grafu č. 1 je patrné, že sudé harmonické jsou mírně zvýrazněné v porovnání s lichými. V grafu č. 2 již tento trend tolik patrný není. Pro vyšší frekvence má tedy elektronka tendenci více zkreslovat průchozí signál. Důvodem, proč nejsou sudé harmonické více výrazné, je pak samotný návrh zapojení, ve kterém je elektronka zamýšlena spíše jen jako zesilovací prvek. Zkreslení, produkované elektronkou, je jen mírné a za hlavní zkreslovací prvek lze tedy považovat dvojici antiparalelně zapojených diod v záporné zpětné vazbě. Pokud porovnáme frekvenční spektra elektronkového a tranzistorového efektu, lze konstatovat, že předpokládané zvýraznění lichých harmonických u tranzistorového efektu je výraznější. Zároveň je také zřetelné větší zesílení veškerých frekvencí celého frekvenčního spektra.

Měření průběhu výstupního signálu prokázalo, že elektronkový efekt skutečně zkresluje způsobem zvaným asymetrický soft - clipping. V grafu č. 6 je zřetelné výrazně jiné zkreslení záporné poloviny sinusoidy výstupního signálu. Jelikož je korekce „gain“ realizována logaritmickým potenciometrem, je možné míru zkreslení výstupního signálu poměrně citlivě regulovat převážně v první polovině dráhy potenciometru. Toto je dobře viditelné, pokud porovnáme grafy č. 5 a 6, které zobrazují průběh výstupního signálu při minimálním a maximálním nastavení korekce „gain.“ Pokud byla korekce „gain“ nastavena do polohy 0,1, výstupní signál byl zkreslen pouze mírně. Při maximálním možném zkreslení je však již patrná zásadní deformace zdrojového signálu. Z toho vyplývá, že rozsah nastavení zkreslení výstupního signálu má sestavený efekt poměrně široký. Tranzistorový efekt měl korekci „gain“ realizovanou potenciometrem lineárním, kterým není možné tak citlivě regulovat nárůst zkreslení. Z toho důvodu je rozdíl v průběhu výstupního signálu pro různá nastavení korekce „gain“ jen nepatrný. Pokud opět porovnáme oba efekty, je velice patrná především zesilovací schopnost elektronek a tedy také funkce elektronkových efektů jako předzesilovacích stupňů. Zatímco úroveň výstupního signálu tranzistorového efektu při maximálním nastavení korekce „gain“ je nižší než úroveň zdrojového signálu, u elektronkového efektu je při stejném nastavení úroveň výstupního signálu vyšší. Tato

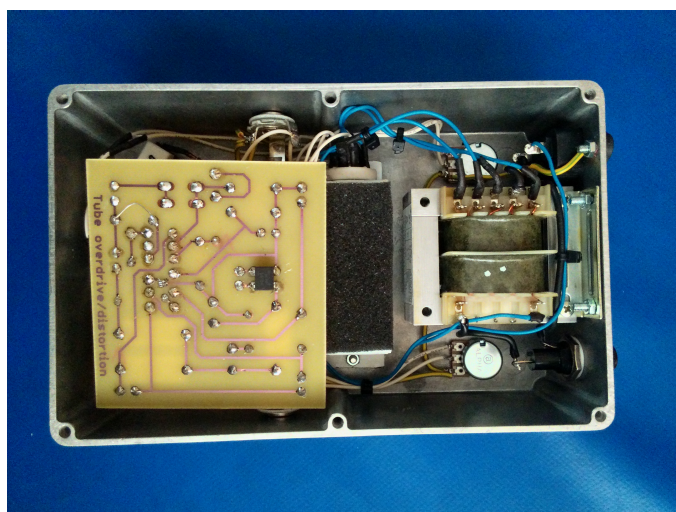


skutečnost je zřetelná v grafu č. 6. Míra zkreslení zdrojového signálu, vyjádřená jako veličina THD, byla pro základní kmitočet 146 Hz při maximálním nastavení korekce „gain“ změřena až 90 %, zatímco při nastavení korekce „gain“ v poloze 0,2 hodnota THD dosahovala přibližně 51 %.

### 6.3 Fotografie efektu



*Obr. 32 Elektronkový efekt*



*Obr. 33 Vnitřní uspořádání jednotlivých částí efektu*

## 7. Závěr

V teoretické části práce je popsána historie, principy funkce a nejvýznamnější modely základních kytarových efektů, které se v dnešní době používají. Samostatná kapitola je pak věnována elektronkovým kytarovým efektům. V současnosti je vývoj a výroba těchto efektů realizována předními výrobci kytarových efektů většinou pouze v rámci jednoho modelu, či jedné efektové série. Nejvýznamnějším výrobcem je britská společnost Effectrode, která se naopak na elektronkové efekty specializuje a nabízí většinu z uvedených základních typů kytarových efektů. Nejpoužívanějším typem elektronky v kytarových efektech je dvojitá trioda 12AX7.

V následující části práce je podrobně popsána funkce zapojení efektu Westbury W-20. Jako vzor pro stavbu efektu bylo toto zapojení zvoleno především z toho důvodu, že se jedná o sériově vyráběný pedál a jeho kvalita by tudíž měla být dostatečná pro živé vystupování. Důležitým faktorem při výběru schématu bylo také použití elektronky 12AX7, která má největší činitel zesílení, disponuje nízkou úrovní šumu ve výstupním signálu a je napájena vysokým napětím, které je vhodné pro správnou funkci. Další výhodou je také dostupnost a poměrně nízká cena použitých součástek.

Hlavním cílem bylo zkonstruovat funkční elektronkový efekt. Zbylá část práce je tedy zaměřena na jeho výrobu a ověření funkčnosti. V rámci výroby efektu bylo nutné navrhnout a vyrobit desku plošných spojů, navrhnout design a rozložení ovládacích prvků pro efektovou krabici a ověřit, zda jeho vlastnosti odpovídají teoretickým předpokladům.

Na základě provedených měření lze konstatovat, že projev zkonstruovaného efektu odpovídá předpokládaným vlastnostem elektronkových efektů. Důležitými poznatky jsou skutečnosti, že elektronkové efekty zvýrazňují sudé harmonické ve výstupním signálu, které jsou lidským uchem vnímány příjemněji než liché a pokud elektronka zkresluje průchozí signál, děje se tak způsobem nazývaným asymetrický soft - clipping. Tyto vlastnosti jsou zodpovědné za specifický zvukový projev elektronek a lze je považovat za zásadní aspekt, díky kterému jsou elektronky zvláště v oblasti kytarových elektronkových zesilovačů a efektů stále hojně využívány.

Celkové náklady spojené s výrobou tohoto elektronkového efektu dosáhly přibližně 2500 Kč. Tato částka je srovnatelná s levnějšími dostupnými elektronkovými efekty, ovšem v porovnání s těmi profesionálními, např. od firmy Effectrode, je poloviční. Značnou část tvoří především na zakázku vyrobený síťový napájecí transformátor (730 Kč), hliníková efektová krabice Hammond 1590D (750 Kč) a elektronka 12AX7 (290 Kč).

Téma své diplomové práce jsem si vybral především z toho důvodu, že se ve svém volném čase mimo jiné věnuji hudbě a především hře na elektrickou kytaru. Oblast kytarových efektů a také otázka využití elektronek při jejich výrobě mě vždy velice zajímala. Zvukový projev elektronkových efektů je velice specifický, a proto jsem rád, že postavený pedál je funkční a splnil má očekávání.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] Howstuffworks.com. [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z:

<http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/audio-music/guitar-pedal1.htm>

[2] Musictech.net. [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z:

[musictech.net/2014/05/watkins-copicat/](http://musictech.net/2014/05/watkins-copicat/)

[3] Analogový kytarový multieffekt využívající ke zkreslení signálu elektronku [online]. Brno, 2014 [cit. 2016-10-12]. Dostupné z:

[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=84891](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84891). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

[4] Bobsguitars.com. [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z:

<https://bobsguitars.com/product/tube-screamer-ts808/>

[5] Howstuffworks.com. [online]. [cit. 2016-11-2]. Dostupné z:

<http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/audio-music/guitar-pedal2.htm>

[6] Muzikus.cz. [online]. [cit. 2016-11-2]. Dostupné z:

<http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Kytarove-zkresleni-Nic-jednodussiho~03~zari~2003/>

[7] Muzikus.cz. [online]. [cit. 2016-11-2]. Dostupné z:

<http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-serialy/Letem-kytarovym-svetem-Krabicky-slapky-pedaly-obecne-1~02~cerven~2003/>

[8] Wikipedia.org. [online]. [cit. 2016-11-2]. Dostupné z:

<https://cs.wikipedia.org/wiki/Overdrive>

[9] Premiarguitar.com. [online]. [cit. 2016-11-2]. Dostupné z:

[http://www.premiarguitar.com/articles/Green\\_Giant\\_History\\_of\\_the\\_Tube\\_Screamer](http://www.premiarguitar.com/articles/Green_Giant_History_of_the_Tube_Screamer)

- [10] Equipboard.com. [online]. [cit. 2016-11-2]. Dostupné z:  
<http://equipboard.com/items/boss-od-1-overdrive-guitar-effects-pedal>
- [11] Pcars-forum.de. [online]. [cit. 2016-11-2]. Dostupné z:  
<https://www.pcars-forum.de/thema/2211-jack-spades-ffb-einstellungen-f%C3%BCr-konsoleros-deutsche-excel-tabelle-zur-%C3%BCbertrag/?pageNo=4>
- [12] Electromash.com. [online]. [cit. 2016-11-10]. Dostupné z:  
<http://www.electromash.com/boss-ds1-analysis>
- [13] Electromash.com. [online]. [cit. 2016-11-10]. Dostupné z:  
<http://www.electromash.com/proco-rat>
- [14] Electromash.com. [online]. [cit. 2016-11-10]. Dostupné z:  
<http://www.electromash.com/fuzz-face>
- [15] Gilmourish.com. [online]. [cit. 2016-11-10]. Dostupné z:  
[http://www.gilmourish.com/?page\\_id=73](http://www.gilmourish.com/?page_id=73)
- [16] Muzikus.cz. [online]. [cit. 2016-12-3]. Dostupné z:  
<http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Jak-pracuji-efekty-II~05~brezen~2009/>
- [17] Bestguitareffects.com. [online]. [cit. 2016-12-3]. Dostupné z:  
<http://www.bestguitareffects.com/mxr-dyna-comp-review-best-guitar-compressor-pedal/>
- [18] Electromash.com. [online]. [cit. 2016-12-3]. Dostupné z:  
<http://www.electromash.com/mxr-dyna-comp-analysis>
- [19] Electromash.com. [online]. [cit. 2016-12-4]. Dostupné z:  
<http://www.electromash.com/mxr-microamp>
- [20] Equipboard.com. [online]. [cit. 2016-12-4]. Dostupné z:  
<http://equipboard.com/posts/best-boost-pedals>

[21] Sweetwater.com. [online]. [cit. 2016-12-4]. Dostupné z:

<http://www.sweetwater.com/store/detail/MicroAmp>

[22] Muzikus.cz. [online]. [cit. 2016-12-4]. Dostupné z:

<http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-testy/WEM-Custom-Copicat-Tube-Echo-historicky-test~22~unor~2007/>

[23] Electromash.com. [online]. [cit. 2016-12-5]. Dostupné z:

<http://www.electromash.com/back-talk-analysis>

[24] Equipboard.com. [online]. [cit. 2016-12-5]. Dostupné z:

<http://equipboard.com/posts/best-delay-pedals>

[25] Stinkfoot.se. [online]. [cit. 2016-12-5]. Dostupné z:

<http://stinkfoot.se/archives/516>

[26] Boss.com. [online]. [cit. 2016-12-5]. Dostupné z:

<https://www.boss.info/us/products/dd-3/>

[27] Equipboard.com. [online]. [cit. 2016-12-7]. Dostupné z:

<http://equipboard.com/posts/best-reverb-pedals>

[28] Tcelectronic.com. [online]. [cit. 2016-12-7]. Dostupné z:

<http://www.tcelectronic.com/hall-of-fame-reverb/>

[29] Muzikus.cz. [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:

<http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Jak-pracuji-efekty-I~19~leden~2009/>

[30] Equipboard.com. [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:

<http://equipboard.com/posts/best-flanger-pedals>

[31] Artesmusic.com. [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:

[http://www.artiesmusic.com.au/product\\_detail.php?prd\\_code=BF3](http://www.artiesmusic.com.au/product_detail.php?prd_code=BF3)

- [32] Electromash.com. [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:  
<http://www.electromash.com/mxr-phase90>
- [33] Equipboard.com. [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:  
<http://equipboard.com/posts/best-phaser-pedal>
- [34] Soundaffectspremier.com. [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:  
<http://www.soundaffectspremier.com/effects-c1/chorus-modulation-pedals-c19/phase-90-m101-phaser-effects-pedal-p501>
- [35] Electromash.com. [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:  
<http://www.electromash.com/boss-ce-2-analysis>
- [36] Equipboard.com. [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:  
<http://equipboard.com/posts/best-chorus-pedals>
- [37] Sweetwater.com. [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:  
<http://www.sweetwater.com/store/detail/Corona>
- [38] Equipboard.com. [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z:  
<http://equipboard.com/posts/best-vibrato-pedal>
- [39] Tcelectronic.com. [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z:  
<http://www.tcelectronic.com/shaker-vibrato/>
- [40] Equipboard.com. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:  
<http://equipboard.com/posts/best-tremolo-pedal>
- [41] Blackandwhiteblues.com. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:  
[http://www.blackandwhiteblues.com/Diamond\\_Tremolo\\_Pedal\\_p/trm-1.htm](http://www.blackandwhiteblues.com/Diamond_Tremolo_Pedal_p/trm-1.htm)
- [42] Uberchord.com. [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z:  
<https://www.uberchord.com/blog/top-5-guitar-plugins-you-need-to-know-amplitude/>

- [43] Audiofanzine.com. [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z:  
<http://en.audiofanzine.com/plugin-amp-simulator/native-instruments/guitar-rig-series-guitar-rig-5-player/editorial/articles/3+free-amp-simulators-face-off.html>
- [44] Elektronicka-hudba.telotone.cz. [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z:  
<http://elektronicka-hudba.telotone.cz/clanky/analog-versus-digital>
- [45] Wikipedia.org. [online]. [cit. 2017-1-2]. Dostupné z:  
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronka>
- [46] Wikipedia.org. [online]. [cit. 2017-1-2]. Dostupné z:  
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Getr>
- [47] Zesilovace.cz. [online]. [cit. 2017-1-7]. Dostupné z:  
<http://www.zesilovace.cz/view.php?cisloclanku=2003031202>
- [48] Zesilovace.cz. [online]. [cit. 2017-1-7]. Dostupné z:  
<http://www.zesilovace.cz/view.php?cisloclanku=2003042602>
- [49] Zesilovace.cz. [online]. [cit. 2017-1-7]. Dostupné z:  
<http://www.zesilovace.cz/view.php?cisloclanku=2004010501>
- [50] Zesilovace.cz. [online]. [cit. 2017-1-7]. Dostupné z:  
<http://www.zesilovace.cz/view.php?cisloclanku=2004120601>
- [51] Effectrode.com. [online]. [cit. 2017-1-14]. Dostupné z:  
<http://www.effectrode.com/effects/>
- [52] Effectrode.com. [online]. [cit. 2017-1-14]. Dostupné z:  
<http://www.effectrode.com/tube-drive/>
- [53] Effectrode.com. [online]. [cit. 2017-1-14]. Dostupné z:  
<http://www.effectrode.com/tube-vibe/>



[54] Effectrode.com. [online]. [cit. 2017-1-14]. Dostupné z:

<http://www.effectrode.com/delta-trem/>

[55] Effectrode.com. [online]. [cit. 2017-1-14]. Dostupné z:

<http://www.effectrode.com/phaseomatic/>

[56] Bigcitymusic.com. [online]. [cit. 2017-1-14]. Dostupné z:

<https://www.bigcitymusic.com/products/mercury-tube-fuzz?variant=4870626819>

[57] Frontman.cz. [online]. [cit. 2017-1-14]. Dostupné z:

<http://frontman.cz/efekty-vox-tone-garage-kvalitni-krabicky-nejen-do-garaze>

[58] Citymusic.com. [online]. [cit. 2017-1-14]. Dostupné z:

<http://www.citymusic.com.sg/products/Vox-Tone-Garage-Flat-4-Boost/1041>

[59] Ehx.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:

<http://www.ehx.com/browse/tube-pedals>

[60] Ehx.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:

<http://www.ehx.com/products/black-finger>

[61] Ehx.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:

<http://www.ehx.com/products/english-muff-n>

[62] Ehx.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:

<http://www.ehx.com/products/tube-zipper>

[63] Ehx.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:

<http://www.ehx.com/products/wiggler>

[64] Musiciansfriend.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:

<http://www.musiciansfriend.com/amplifiers-effects/electro-harmonix-classics-english-muffn-overdrive-guitar-effects-pedal>

- [65] Blackstaramps.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:  
<https://www.blackstaramps.com/uk/ranges/ht-pedals>
- [66] Blackstaramps.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:  
<https://www.blackstaramps.com/uk/products/ht-modulation>
- [67] Blackstaramps.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:  
<https://www.blackstaramps.com/uk/products/ht-distx>
- [68] Hughes-and-kettner.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:  
<http://hughes-and-kettner.com/products/tubetools/tube-factor/>
- [69] Butleraudio.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:  
<http://www.butleraudio.com/tubedriver.php>
- [70] Tonereport.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:  
<http://tonereport.com/blogs/toner-tips/coolest-tube-powered-pedals>
- [71] Masterbuiltamplification.com. [online]. [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:  
[http://www.masterbuiltamplification.com/Stone\\_Groove.htm](http://www.masterbuiltamplification.com/Stone_Groove.htm)
- [72] Wikipedia.org. [online]. [cit. 2017-2-10]. Dostupné z:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/12AX7>
- [73] Muziker.cz. [online]. [cit. 2017-2-10]. Dostupné z:  
<https://www.muziker.cz/jj-electronic-ecc83s-12ax7-preamp-valve>
- [74] Youtube.com. [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z:  
<https://www.youtube.com/user/Stratosaurus1>
- [75] Diyforguitar.blogspot.cz. [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z:  
<http://diyforguitar.blogspot.cz/2016/01/how-does-overdrive-or-distortion-work.html>

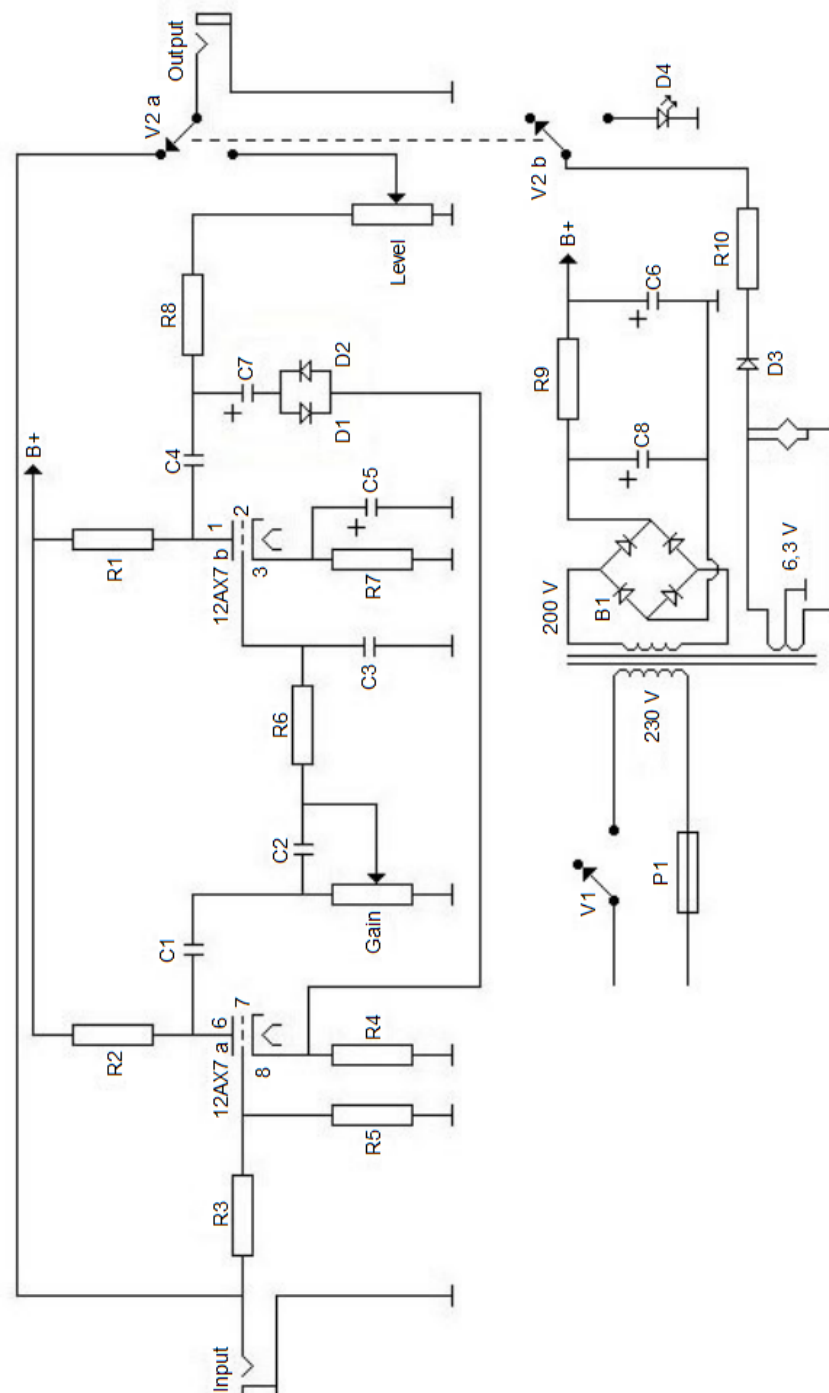
[76] Cz.rs-online.com. [online]. [cit. 2017-3-31]. Dostupné z: <http://cz.rs-online.com/web/p/univerzalni-skrine/3439603/?sra=pstk>

[77] Alldatasheet.com. [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: [http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=12ax7%20datasheet&gclid=CJK47p\\_-5dMCFRNmGwod\\_D0KEA](http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=12ax7%20datasheet&gclid=CJK47p_-5dMCFRNmGwod_D0KEA)

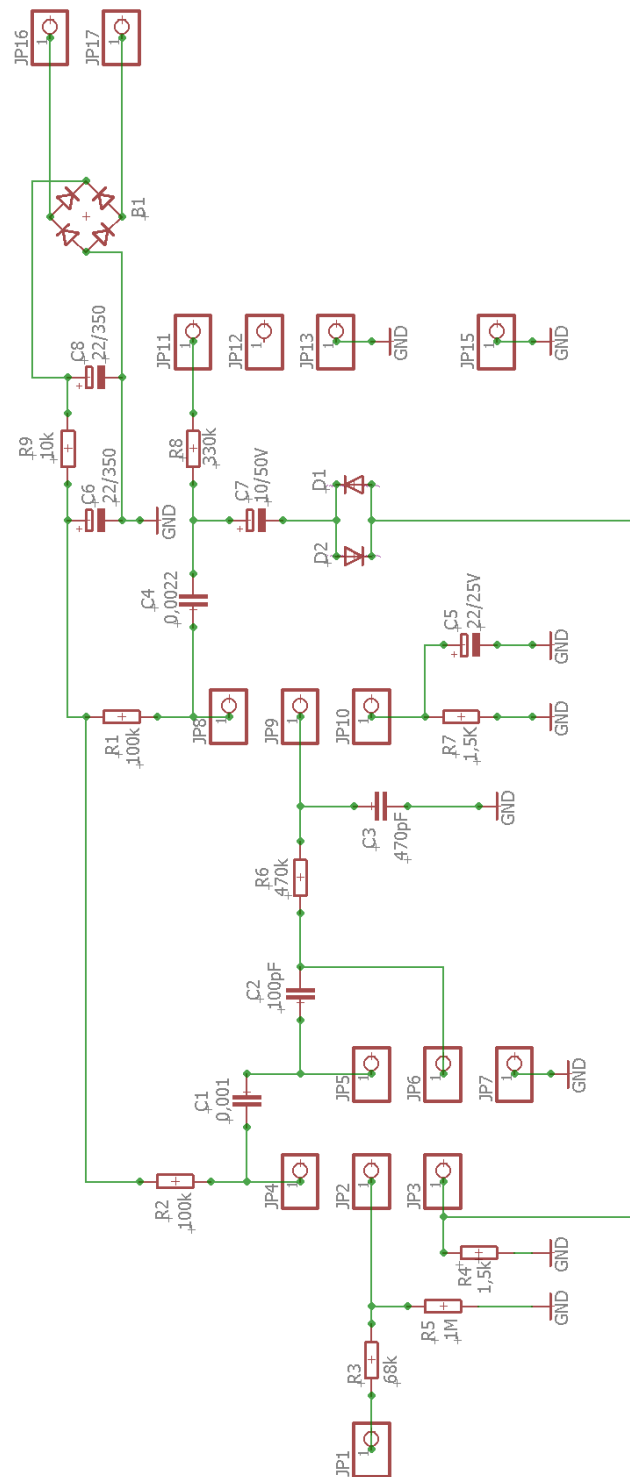
[78] Eurotubes.com. [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: [http://www.eurotubes.com/store/pc/index\\_htm\\_files/ECC%2083%20S.pdf](http://www.eurotubes.com/store/pc/index_htm_files/ECC%2083%20S.pdf)

## Přílohy

### Příloha A – Schéma zapojení

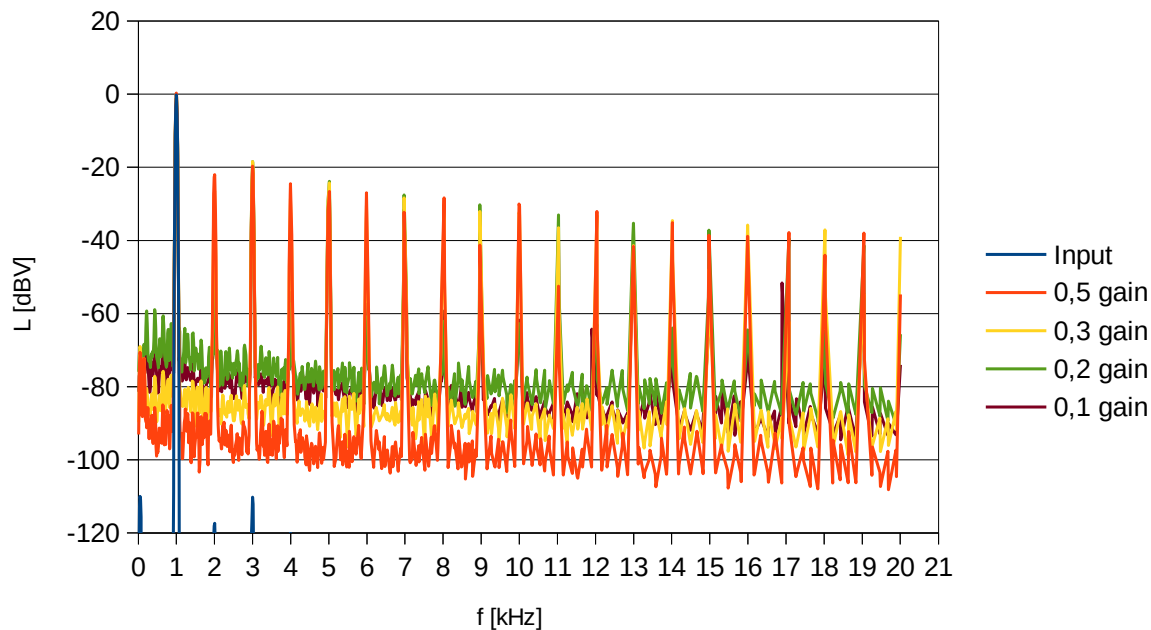


Obr. 34 Schéma zapojení efektu

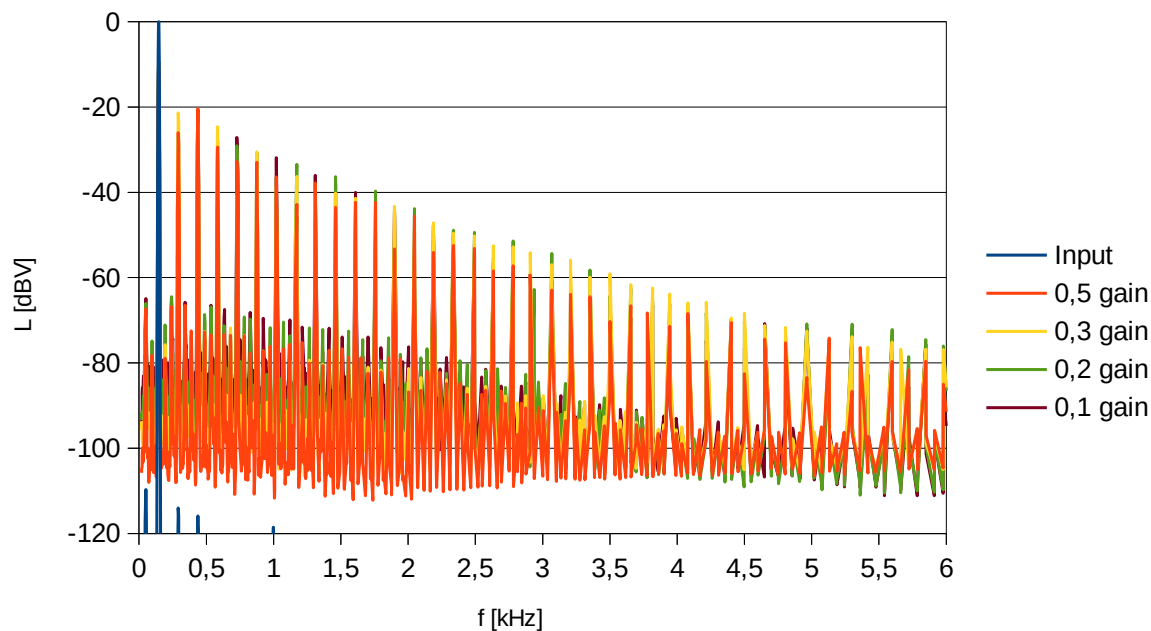


Obr. 35 Návrh zapojení pro desku plošných spojů v programu Eagle 7.6.0

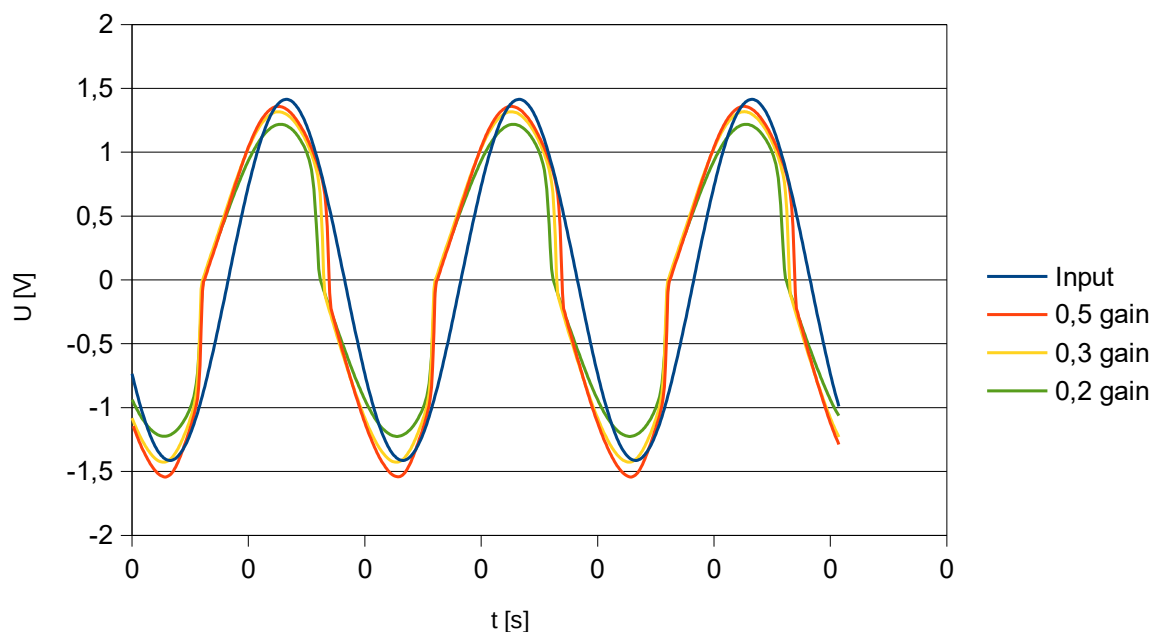
## Příloha B – Měření



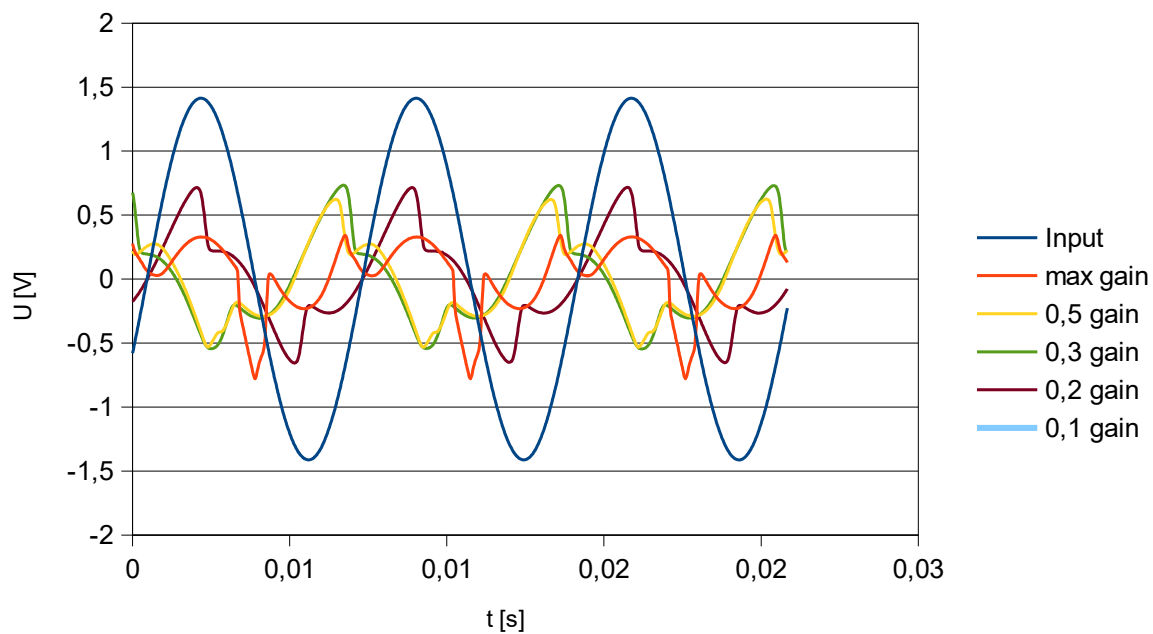
Graf č. 11 Frekvenční spektrum elektronkového efektu pro základní frekvenci 1 kHz při různém nastavení korekce „gain“



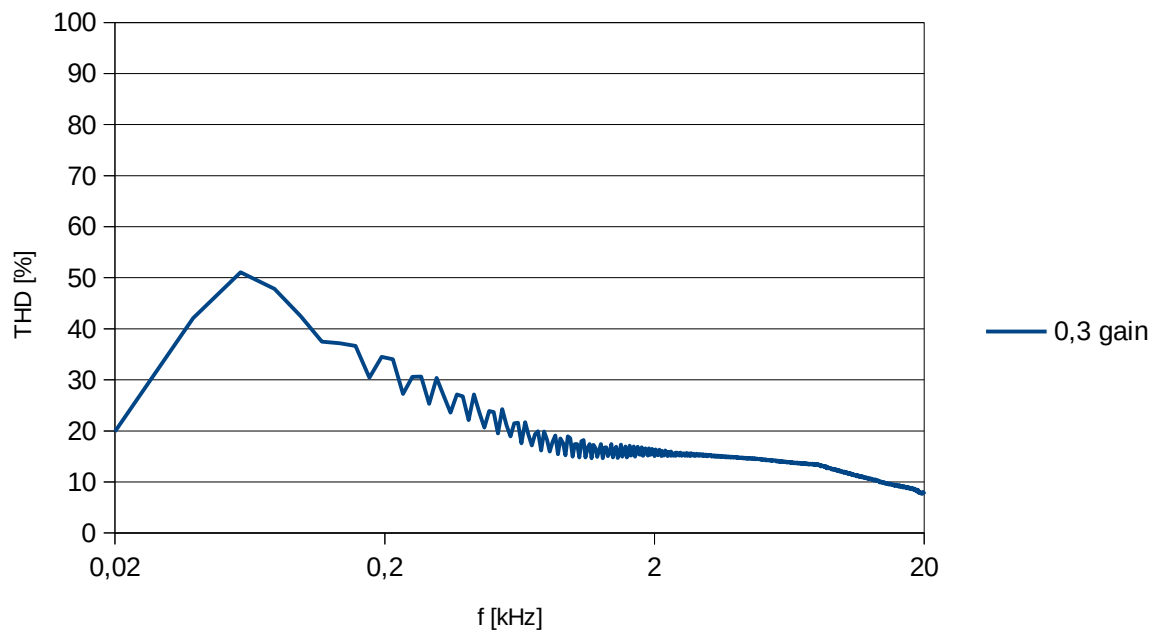
Graf č. 12 Frekvenční spektrum elektronkového efektu pro základní frekvenci 146 Hz při různém nastavení korekce „gain“



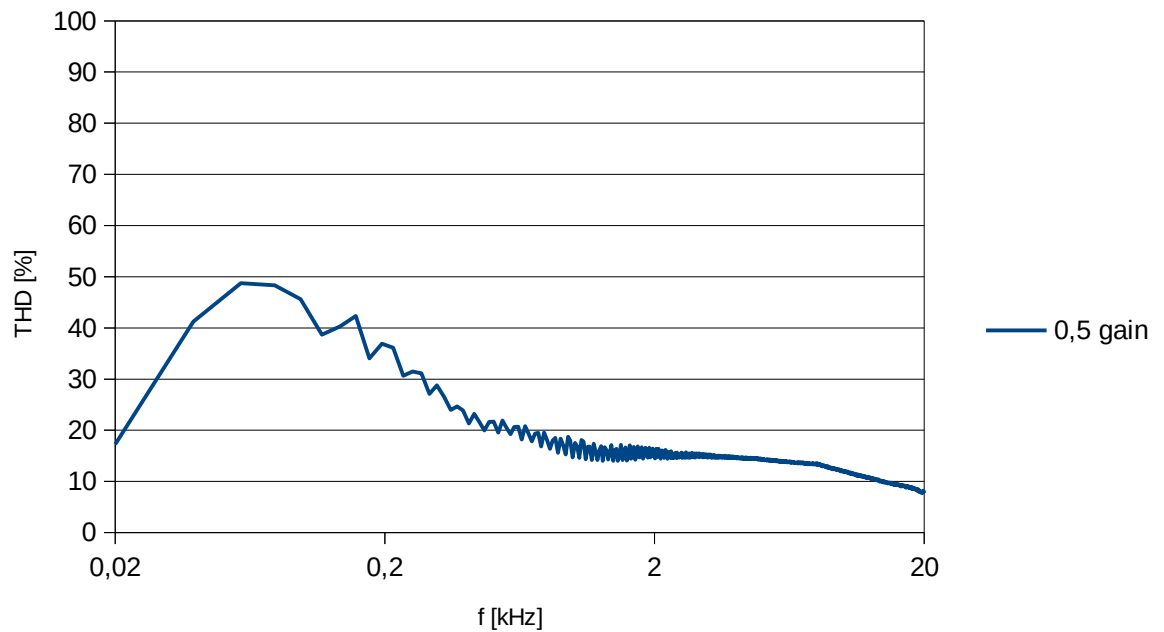
Graf č. 13 Zkreslení výstupního signálu elektronkového efektu pro základní frekvenci 1 kHz při různém nastavení korekce „gain“



Graf č. 14 Zkreslení výstupního signálu elektronkového efektu pro základní frekvenci 146 Hz při různém nastavení korekce „gain“



Graf č. 15 THD elektronkového efektu při nastavení korekce „gain“ v poloze 0,3



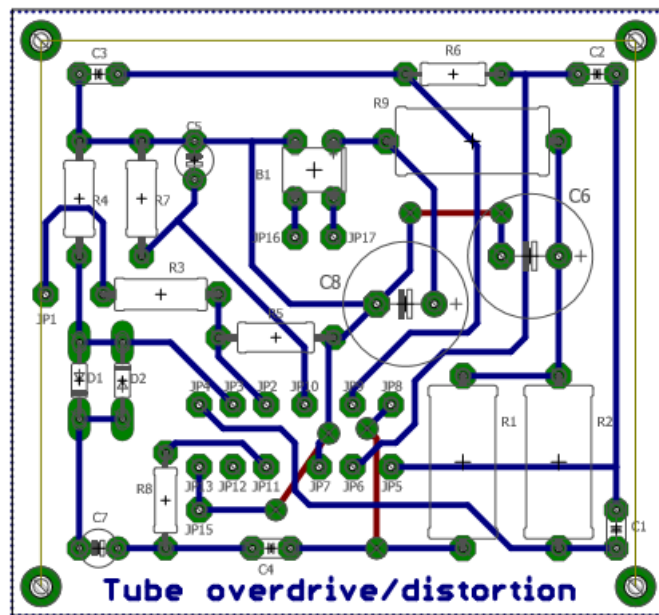
Graf č. 16 THD elektronkového efektu při nastavení korekce „gain“ v poloze 0,5



## Příloha C – Seznam a rozložení součástek

Tab. 1 – Seznam součástek

Součástka	Označení	Hodnota	Počet [ks]	Poznámka
Rezistor	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>	100 kΩ	2	3 W
	R <sub>3</sub>	68 kΩ	1	1 W
	R <sub>4</sub> , R <sub>7</sub>	1,5 kΩ	2	1 W
	R <sub>5</sub>	1 MΩ	1	1 W
	R <sub>6</sub>	470 kΩ	1	1 W
	R <sub>8</sub>	330 kΩ	1	1 W
	R <sub>9</sub>	10 kΩ	1	3 W
	R <sub>10</sub>	1 kΩ	1	3 W
Potenciometr	Gain, Level	1 MΩ	2	Logaritmický
Kondenzátor	C <sub>1</sub>	1 nF	1	Keramický
	C <sub>2</sub>	100 pF	1	
	C <sub>4</sub>	2,2 nF	1	
	C <sub>5</sub>	22 μF / 25 V	1	Elektrolytický
	C <sub>6</sub> , C <sub>8</sub>	22 μF / 250 V	2	
	C <sub>7</sub>	10 μF / 50 V	1	
Dioda	D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , D <sub>3</sub>	1N914	3	-
	D <sub>4</sub>	L-813	1	Červená
Elektronka	-	12AX7	1	+ patice
Usměrňovací můstek	B <sub>1</sub>	1 A / 400 VAC	1	DB104
Konektor	-	10 A / 250 VAC	1	Napájecí konektor do panelu
	Input, Output	-	2	Jack 6,3 mm
Pojistka	P <sub>1</sub>	1A	1	+ patice do panelu
Vypínač	V <sub>1</sub>	10 A / 250 VAC	1	-
	V <sub>2</sub>	6 A / 250 VAC	1	-
Transformátor	-	230 VAC 200 VAC / 30 mA 6,3 VAC / 1,1 A	1	Síťový napájecí



Obr. 36 Návrh rozložení součástek na desce plošných spojů v programu Eagle 7.6.0

**Příloha D – Datasheet pro elektronku 12AX7**

The 12AX7 is a miniature high-mu twin triode each section of which has an individual cathode connection. The 12AX7 is especially suited for use in resistance-coupled voltage amplifiers, phase inverters, multivibrators, and numerous industrial-control circuits where high voltage gain is desired. A center-tapped heater permits operation of the tube from either a 6.3-volt or a 12.6-volt heater supply.

**GENERAL**

Cathode—Coated Unipotential

	<b>Series</b>	<b>Parallel</b>
Heater Voltage, AC or DC	12.6	6.3 Volts
Heater Current	0.15	0.3 Amperes
Envelope—T-6 1/2, Glass		
Base—E9-1, Small Button 9-Pin		
Mounting Position—Any		

Direct Interelectrode Capacitances

	<b>With Shield*</b>	<b>Without Shield</b>
Grid to Plate, Each Section	1.7	1.7 $\mu\mu\text{f}$
Input, Each Section	1.8	1.6 $\mu\mu\text{f}$
Output, Section 1	1.9	0.46 $\mu\mu\text{f}$
Output, Section 2	1.9	0.34 $\mu\mu\text{f}$

**MAXIMUM RATINGS**

**DESIGN-CENTER VALUES, EACH SECTION**

Plate Voltage	300 Volts
Positive DC Grid Voltage	0 Volts
Negative DC Grid Voltage	50 Volts
Plate Dissipation	1.0 Watts
Heater-Cathode Voltage	
Heater Positive with Respect to Cathode	180 Volts
Heater Negative with Respect to Cathode	180 Volts

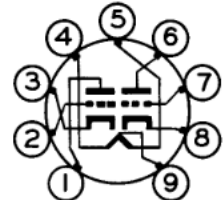
**CHARACTERISTICS AND TYPICAL OPERATION**

**CLASS A<sub>1</sub> AMPLIFIER, EACH SECTION**

Plate Voltage	100	250 Volts
Grid Voltage	-1	-2 Volts
Amplification Factor	100	100
Plate Resistance, approximate	80000	62500 Ohms
Transconductance	1250	1600 Micromhos
Plate Current	0.5	1.2 Milliamperes

\* With external shield (RETMA 315) connected to cathode of section under test.

**BASING DIAGRAM**

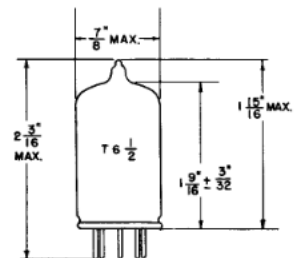


RETMA 9A  
BOTTOM VIEW

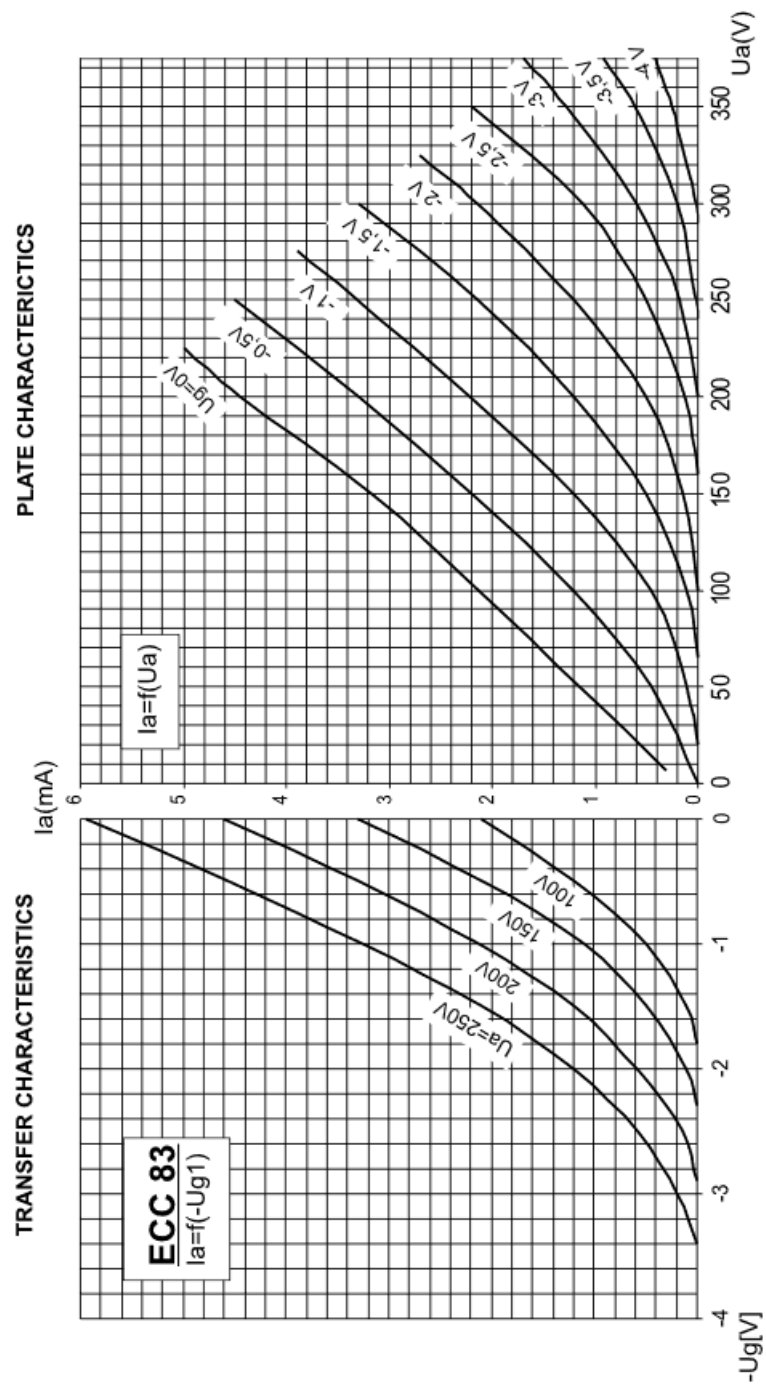
**TERMINAL CONNECTIONS**

- Pin 1—Plate (Section 2)
- Pin 2—Grid (Section 2)
- Pin 3—Cathode (Section 2)
- Pin 4—Heater
- Pin 5—Heater
- Pin 6—Plate (Section 1)
- Pin 7—Grid (Section 1)
- Pin 8—Cathode (Section 1)
- Pin 9—Heater Center-Tap

**PHYSICAL DIMENSIONS**



Obr. 37 Datasheet pro elektronku 12AX7 (převzato z [77])



Obr. 38 Převodní a anodová charakteristika elektronky 12AX7 (převzato z [78])