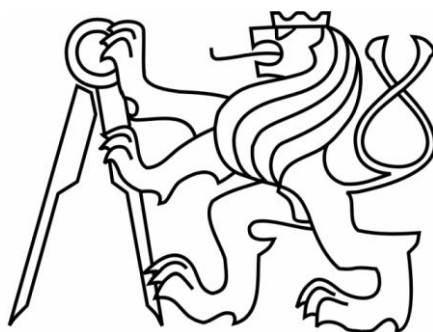


České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky



**Hodnocení zvuku kytarového aparátu pro různé varianty
zesilovacích prvků**

Diplomová práce

2014

Vypracoval: Bc. Lukáš Němec
Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Sovka, CSc

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra radioelektroniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Lukáš Němec**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Multimediální technika

Název tématu: **Hodnocení zvuku kytarového aparátu pro různé varianty zesilovacích prvků**

Pokyny pro vypracování:

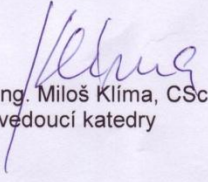
1. Realizujte zapojení předzesilovací i výkonové části pro kytarový aparát
2. Analyzujte výsledné signály pro různé typy zesilovacích prvků kombinujících tranzistorové a elektronkové zesilovče
3. Ověřte rozdíly v kvalitě signálů použitím informativních poslechových testů
4. Na základě analýzy a testů proveďte zhodnocení a formulujte doporučení

Seznam odborné literatury:

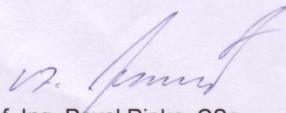
- [1] Štefl, V. Rocková kytara I. 2. vydání. Praha: MUZIKUS, 2001. ISBN: 80-86253-11-2
[2] Štefl, V. Rocková kytara II. Praha: MUZIKUS, 2003. ISBN: 80-86253-25-2

Vedoucí: prof. Ing. Pavel Sovka, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015


Prof. Ing. Miloš Klíma, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 10. 2. 2014

Abstrakt

Tato práce značně rozšiřuje předchozí práci „Subjektivní hodnocení zvuku“, která se zabývá rozdíly mezi elektronkovou a tranzistorovou technikou zesílení signálu pro elektrofonickou kytaru, příp. baskytaru v rámci odlišných názorových rovin mezi hudebníky a zvukovými techniky, příp. nesprávností tvrzení o jejich odlišnostech.

Na rozdíl od předchozí práce je zde realizován nejen předzesilovací stupeň, ale i výkonová část těchto aparátů vč. různých kombinací – tedy kromě jednotného užití stejných zesilovacích prvků v předzesilovací/výkonové části také hybridní kombinace jak s tranzistory, tak elektronkami pro zjištění diferencí těchto prvků.

Cílem této práce je výrazně hlubší zjištění diferencí mezi tranzistory a elektronkami, důraz je kladen rovněž na výsledné spektrální analýzy s ohledem na celkový dojem produkce pro koncové posluchače u všech 4 typů zesilovačů za pomoci zvukových testů s následným statistickým porovnáním výsledků.

Abstract

This work significantly extends previous work “Subjective sound rating”, which explores the differences between tube and transistor signal amplification technology for electric guitar, eventually bass guitar in addition to different discussed opinion among musicians and sound engineers or possibly their misconception about the differences.

Unlike previous work is this work not only focused on preamp stage, but also on the power stage of these amplifiers incl. their combination - i.e. in addition of the same amplifying elements used in preamp / power section also includes hybrid combination of both transistors and vacuum tubes to detect differences of these elements.

The aim of this work is to go deeper to find out the differences between transistors and vacuum tubes, focused on the resulting spectral analysis with respect to the overall impression of music production to listeners of all 4 types of these amplifiers applied in sound tests with statistical results.

Poděkování

Touto formou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Sovkovi CSc. za trpělivost, ochotu a čas, který mi věnoval při zpracování této práce, katedře teorie obvodů a katedře radioelektroniky za technické zázemí, všem účastníkům zvukových testů vč. přátel ze zahraničí za jejich čas a v neposlední řadě své rodině za podporu.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci „Hodnocení zvuku kytarového aparátu pro různé varianty zesilovacích prvků“ vypracoval samostatně s přispěním vedoucího práce a použil k tomu pouze literaturu, kterou uvádím v sekci „Použitá literatura“ přiložené k diplomové práci.

Dále prohlašuji, že nemám námitky proti půjčování, zveřejňování a dalšímu využití práce ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o autorských záležitostech, pokud s tím bude souhlasit katedra radioelektroniky.

V Praze dne 10. 5. 2014

.....
podpis studenta

Obsah

Kapitola 1: Úvod	1
Kapitola 2: Charakteristika problematiky	3
2.1 Úvod do problematiky	3
2.2 Názorové roviny	3
2.3 Výroba aparatur	4
2.4 Porovnání zapojení	5
2.5 Zvukové testy	6
Kapitola 3: Návrh zapojení	8
3.1 Výběr zařízení	8
3.2 Charakteristika vybraného zařízení pro zpracování signálu	9
3.3 Obecná problematika konstrukce	10
3.4 Realizace předzesilovací části	12
3.5 Diference zesilovacích prvků předzesilovací části	13
3.6 Realizace výkonové části	15
3.7 Diference zesilovacích prvků výkonové části	16
Kapitola 4: Záznam zvukových vzorků	18
4.1 Záznamový řetězec	18
4.2 Záznam zvukového signálu	19
Kapitola 5: Měření	20
5.1 Zachování shodných podmínek zpracování vstupního signálu	20
5.2 Analýza analytického signálu v časové doméně	20
5.3 Analýza zaznamenaného signálu ve frekvenční doméně	23
5.4 Analýza měřicího signálu ve frekvenční doméně	25
5.5 Dopad zkreslení signálu na frekvenční doménu	29
5.6 Souvislosti z hlediska hudební teorie	31
5.7 Možné příčiny mylných tvrzení	32
Kapitola 6: Zvukové testy	35
6.1 Návrh zvukových testů	35
6.2 Realizace zvukových testů	36
6.3 Prosazení zvukového charakteru s hudebním podkladem	36
6.4 Návrh programového vybavení	37
6.5 Statistické zpracování výsledků	38

Kapitola 7: Zhodnocení výsledků	43
Kapitola 8: Závěr	45
Použitá literatura a software:	47

Kapitola 1: Úvod

Předložená práce navazuje na předchozí bakalářskou práci zabývající se hodnocením vlivu elektronického zpracování zvuku v hudbě se zaměřením na elektrofonickou kytaru v rámci vedené diskuse o vlivu technického provedení příslušných prvků aparatury, kde hlavní dva směry představuje využití elektronek a tranzistorů.

Významným rozšířením je především výkonová část, díky níž lze celý aparát důvěryhodněji porovnat v různých variantách zapojení s elektronkami i tranzistory (a to i v jeho možných hybridních kombinacích předzesilovací/výkonové části) tak, jak je užíván např. v nahrávacích studiích, živých vystoupení - tedy vč. reproduktorové soustavy.

Oproti předešlé práci je kladen větší důraz na frekvenční analýzy z důvodu často mylných tvrzení o zastoupení harmonických složek vedených jak mezi hudebníky, tak zvukovými techniky, příp. hudebními nadšenci, zároveň je však orientována rovněž na koncové posluchače pod záštitou zvukových testů o slyšitelnosti rozdílu s příp. volbou preference. Vzhledem k tomu, že jde o oblast poměrně širokou a diskutovanou na různých úrovních, je práce zaměřena na získání přehledu o problematice a prověření/objasnění často diskutovaných tvrzení.

Práce je členěna do následujících kapitol. Druhá kapitola je zaměřena na přehled diskuse k dané tématice a situaci v nabídce příslušné elektroniky. Vzhledem k předchozímu málo používanému přístupu ve formě užití pouhé předzesilovací části pro studiové nahrávky bylo zařízení v rámci lepších možností rozšířeno o zmíněnou výkonovou část, kterou se zabývá kapitola 3, zároveň značnému vylepšení předzesilovací části a podrobnějšímu technickému přiblížení dané problematiky z hlediska zapojení. Pro ověření vlivu použitých prvků aparatury je s ohledem na subjektivní charakter vyhodnocení použita metoda zvukových testů orientovaná na koncové posluchače. Zvukové nahrávky byly pořízeny mnohem profesionálnějším přístupem, jež je rovněž oproti předchozí práci podrobněji popsán v kapitole 4. Kapitola 5 shrnuje problematiku na základě podrobnějšího pohledu na průběh signálu jak v časové, tak frekvenční doméně. Následující kapitola je věnována technické stránce zajištění zvukových testů a jejich vlastnímu provedení. Sedmá shrnuje výsledky a obsahuje závěrečné zhodnocení vč. doporučení.

Vzhledem k rozsahu práce musela být v řadě případů volena co nejjednodušší metoda, zároveň by však neměla být nijak ovlivněna správnost výsledků. Přesto by práce měla přispět minimálně k získání/rozšíření přehledu o dané problematice a základního názoru, zda jde o objektivně podložené rozdílné vlastnosti obou postupů zpracování nebo pouze subjektivní hodnocení ovlivněné spíše obecně rozšířeným názorem, případně související s rozdílnou technikou hry, smyšleným názorovým rovinám ohledně diferencí apod.

Kapitola 2: Charakteristika problematiky

2.1 Úvod do problematiky

Pro vybranou oblast kytarových zesilovačů existují základní dvě skupiny aparátů v závislosti na použitém zesilovacím prvku, kterým jsou buď nízkofrekvenční elektronky, pak jsou tato zařízení nazývána „VACUUM TUBE AMPLIFIERS“, či bipolárními / unipolárními tranzistory nebo operačními zesilovači, tedy „SOLID STATE AMPLIFIERS“. Hudebníci díky těmto aparátům pracují se základními dvěma typy zvuku, který se odvíjí dle průběhu signálu. V případě pouhého standardního zesílení se jedná o čistý zvuk (užívaný v hudebních žánrech blues, pop aj.), naopak při záměrné limitaci signálu přebuzenými zesilovacími prvky o zvuk zkreslený (typické pro žánry rock / heavymetal apod.).

Technický vývoj vedl k rozvoji tranzistorové techniky na úkor techniky elektronkové. Jednou z oblastí, kde si však elektronky stále udržují významné postavení je využití právě v oblasti kytarových zesilovačů pro jejich charakteristické zvukové rysy. Subjektivní hodnocení hudebníků vede tedy stále k používání elektronkových aparatur. Je zajímavé porovnání prodeje zesilovačů, které ukazuje kombinaci snahy o jednoduchost a současně kvalitu prezentovaného uměleckého výkonu. Vezmeme-li v potaz produktovou nabídku jednoho z největších výrobců kytarových a baskytarových aparátů, firmu Marshall, je zde zřejmý trend převažujícího objemu prodeje výkonných aparatur v elektronkové verzi, naopak tranzistorových ve verzích s menšími výkony příp. hybridní s elektronkou v předzesilovací části (např. řada AVT této značky). Tento fakt odpovídá tomu, že aparatury s menšími výkony jsou využívány pro běžné cvičení (tranzistorové jsou úspornější z hlediska nákladů pořízení, provozu, jednodušší údržby atd.), naproti tomu pro práci skupin a vystoupení jsou potřeba aparáty s plným výkonem a tam pak jednoznačně převládají aparáty elektronkové.

2.2 Názorové roviny

Nejen v hudební, ale i technické komunitě probíhá rozsáhlá diskuse ohledně charakteru výsledného akustického dojmu hudební produkce těchto aparátů. V rámci této diskuse je často konstatován rozdílný charakter zvuku elektronkových a tranzistorových aparátů, obzvláště v režimu saturace obou typů zesilovacích prvků, přičemž elektronkové aparatury jsou klasifikovány (např. dle zdroje [1]) jakožto „muzikálnější“ v rámci nedokonalosti elektrických vlastností elektronky oproti tranzistoru. Dle zdroje [2] je tento zvukový charakter považován za „plnější, bohatší, teplejší“ a v rámci zmíněné oblasti saturace prvku za mnohem

“přirozenější” při poslechu. Vyjma zdroje [4] nalezneme preferenci elektronkových aparátů ve všech zdrojích [1,2,3,5], kde v závěru hudebník z hlediska jemu blízkého hudebního žánru hodnotí zvuk tranzistorového aparátu naopak jako “mohutnější”. Zároveň však podotýká časté užití elektronkového předzesilovače pro jeho “přirozenější” charakter. Ve většině uvedených zdrojů je vždy zdůrazněno, že závisí na názoru hráče, který typ zesilovače je pro něj přijatelnější v rámci vlastních preferencí a hudebního zaměření.

V technické komunitě zároveň probíhá diskuse o diferenci chování obou prvků ve frekvenční doméně. Existují zde tvrzení o potlačení lichých harmonických složek v rámci zesílení elektronkou a schopností stejné produkce jak sudých, tak lichých harmonických složek v rámci tranzistoru [4] (opakem je např. zdroj [10]), ve zdroji [8] hovoří autor o dominantní 3. Harmonické složce, v jiném zdroji je naopak toto tvrzení následně přímo na adr. daného autora ostře vyvráceno a zároveň poznamenáno vyrušení lichých harmonických složek v rámci koncového stupně pracujícího správně ve třídě push-pull [9]. Mj. tentýž autor oponuje některé aspekty vlastním názorem založeným zřejmě na pouhé praktické zkušenosti nepodložené žádnými (ve většině případů) průkaznými fakty. Jinou názorovou rovinou je odlišnost úrovní prvků (harm. složek) frekvenčního spektra, či různě zjednodušené varianty časových průběhů signálu v limitaci, příp. jeho opomenutí, které považují za poměrně zásadní. Zároveň se objevují názorové roviny o nerozpoznatelnosti charakteru obou prvků, kde autor velmi svérázným způsobem (dle mého názoru rovněž zjednodušeným a téměř mylným přístupem) na tuto problematiku poukazuje [7] – nejedná se totiž ve většině případů o diskusi difference charakteru prvků reprodukční soustavy, ale nástrojové, u reprodukční soustavy lehce saturované v rámci elektronkového zesílení. Již zmíněný autor [8] uvádí zároveň nerozpoznatelnost užití obou prvků při THD (celkové harmonické zkreslení) do 1% z praktické zkušenosti na posluchačích, naopak od THD 30% poukazuje na zásadní odlišnosti v saturaci obou prvků. Na všechny tyto názorové roviny se podíváme blíže v příslušných kapitolách.

2.3 Výroba aparatur

Pokud se podíváme na současnou nabídku různých výrobců aparatur, je zde patrné, že elektronkové aparáty si v kytarovém odvětví udržují své stálé místo již cca 50 let. Např. zmíněný výrobce Marshall nebo pilotní firma kytarových zesilovačů Fender nabízí ve svém katalogu přibližně stejný počet elektronkových i tranzistorových zesilovačů [46] [47]. U stejně významné firmy Mesa Boogie bychom například tranzistorové aparáty hledali velmi obtížně [48]. Přitom nejde pouze o zachování starší nabídky elektronkových aparatur, ale i

v sortimentu všech těchto významných firem se objevují inovované i zcela nové modely, které elektronky stále využívají.

Zajímavé je i to, že při zpracování signálu pomocí digitální DSP procesorové techniky je trend simulovat elektronkové aparatury jak v kytarových procesorech, tak i v obecné audio technice (např. DSP modul Behringer Ultra Dyne 9024). Na simulaci jakýchkoliv tranzistorových prvků jsem při sbírání podkladů nenašel.

2.4 Porovnání zapojení

Konstrukčně jsou zároveň mezi těmito typy velké rozdíly. Zatím co tranzistorová zapojení jsou mnohem menší, mají nižší spotřebu energie, jsou odolná vůči možnému poškození v rámci manipulace a nevyžadují prakticky žádnou údržbu, elektronkové aparáty jsou mnohem náročnější po všech zmiňovaných stránkách.

Náročností na jednotlivé prvky každého z obou typů řešených obvodů je dána i cena každého zapojení. Pomineme-li cenu těchto prvků (tranzistory v řádu korun, předzesilovací elektronky v řádu stovek korun, výkonové tisíce korun), pak je díky mnohem většímu napájecímu a dále potřebnému výstupnímu transformátoru u elektronkových zesilovačů cena mnohem vyšší.

Z hlediska údržby není u tranzistorového zapojení řešeno opotřebování zesilovacích prvků, naopak u elektronkových je třeba měnit v závislosti na intenzitě hraní jak předzesilovací, tak koncové elektronky po několika letech. Takovéto opotřebení se projeví na zvuku ve formě ztráty barvy tónu, mnohdy působícího „tenkým“ či „skřípavým“ dojmem, praskáním aj. zvukovými deformacemi.

Všeobecně lze však naopak o zvukovém charakteru elektronkových zapojení říci, že působí mnohem přirozenějším dojmem, „barevností“ a „plností“ tónu, nehledě na jejich prosaditelnost mezi ostatními hudebními nástroji, které dle mého názoru jejich veškeré zápory vyváží.

Existuje však zároveň také střední cesta při výběru mezi těmito aparáty a tou jsou již zmíněná a u nízkých výkonů oblíbená hybridní zapojení tzv. „VALVE-SOLID STATE“ [47]. Ve většině případů je předzesilovací část tvořena elektronkovými zesilovacími stupni, koncový stupeň pak nejčastěji pomocí výkonových tranzistorů mosfet (u vyšších výkonů), příp. výkonových operačních zesilovačů u zařízení s výkonem nižším. Je jen otázkou, zdali tento typ zapojení není pouze obchodním trikem (z hlediska subjektivního názoru na elektronky mezi hudebníky), což může být dáno návrhem elektrického obvodu, neboť tato

zapojení jsou realizována buď čistě elektronkovou předzesilovací částí, anebo zařazením pouze jedné či více elektronek mezi tranzistory v předzesilovači. Proto je tato varianta v předložené práci ověřována.

Obrácenou variantou kdy předzesilovací část tvoří tranzistory a výkonovou část elektronky (tzv. „SOLID-VALVE STATE“) považují za nejméně přínosnou, při nejmenším po ekonomické stránce, kdy je zapotřebí všech podstatných prvků, jako je tomu u celoelektronkového provedení navzdory absence předzesilovačích elektronek, oproti celotranzistorovému provedení, kde není třeba výstupního transformátoru, napájecího transformátoru znatelně vyšších hodnot a indukčního prvku (tlumivky) v napájecí části. Tato varianta není k nalezení u žádného z předních výrobců a nikdy se žádným zásadním způsobem neprosadila.

2.5 Zvukové testy

Z výše uvedených důvodů vyplývá, že jednou z možností, jak ověřit vliv způsobu zpracování signálu pomocí elektronkové nebo tranzistorové aparatury je použití zvukových testů. Je třeba si uvědomit, že důležitou roli hrají kromě názorů hudebníků či techniků především koncoví posluchači, na které budou tyto zvukové testy zaměřeny. Podstatné je, zda jsou schopni rozeznat rozdíl mezi signálovým zpracováním obou typů aparátů. Kvalitní zvukové zpracování pro ně znamená celkový dobrý dojem z poslechu hudby, kde nehraje roli ani typ zapojení, cena či jiné faktory.

Roku 1972 byla v New Yorku vydána práce pod názvem „Elektronky vs. Tranzistory – je zde zvukový rozdíl?“ [8], která se však přímo zvukovými testy nezabývá. Autor popisuje a ověřuje objektivně technické rozdíly ve zpracování signálu jednotlivými prvky, kde v jedné z kapitol zmiňuje obecně psychoakustické vlivy na posluchače v důsledku poslechu hudby skrze oba typy zapojení, či nahrávky přes staré studiové elektronkové konzole na zpracování hudebních stop, nikoliv však přímo kytarovými aparáty.

Subjektivní hodnocení pomocí poslechových testů i objektivní měření pro ověření výsledků diferencí obou typů zapojení budou oproti předchozí práci realizována již na kompletním kytarovém aparátu, který bude schopen provedení analýzy i zvukových testů pro oba typy tónu, jak pro čisté zvuky, tak pro zvuky zkreslené. Zároveň bude možno kombinovat elektronkové/tranzistorové předzesilovače s výkonovými stupni. Pro identičnost záznamů bude u nahrávání všech 4 typů zapojení kladen důraz na snímanou úroveň a obecně stejné podmínky, nastavení korekcí ekvalizéru i v neposlední řadě totožné kytarové party. Finální

podoba pro hodnocení zvuku a ověření rozdílu posluchači bude probíhat pomocí vytvořeného softwaru.

Z důvodů zmíněných v úvodu tohoto odstavce jsem se rozhodl tuto práci zaměřit především na hodnocení zcela náhodnými posluchači. Na videoportálu YOUTUBE.COM existuje řada testů (např. [6]) pro porovnání elektronkových a tranzistorových aparátů, které však dle mého názoru nelze považovat za relevantní díky užití zcela rozdílných typů aparátů, nehledě na jejich zapojení, neopomenutelná je i absence hybridních zesilovačů. Zároveň jsem nenalezl test, který by hodnotil dvě prakticky totožná zařízení pouze s jiným zesilovacím prvkem (elektronka/tranzistor). Proto je další kapitola věnována technickému řešení zpracování zvukových vzorků pro subjektivní testy se zaměřením na co největší shodu v principu zpracování. Způsob provedení zvukových testů je popsán v kapitole 6.

Kapitola 3: Návrh zapojení

Tato kapitola je věnována návrhu a realizaci zapojení s ohledem na technické diference pro přípravu vzorků k poslechovým testům a následnému měření.

Odstavec 3.1 je věnován výběru zařízení, odstavec 3.2 charakteristice vybraného zařízení, odstavec 3.3 je věnován obecné problematice při konstrukci zařízení, 3.4 realizaci předzesilovací části, 3.5 vlastním diferencím použitých zesilovacích prvků, následně 3.6 realizaci výkonové části a 3.7 pak vlastním diferencím zesilovacích prvků výkonové části.

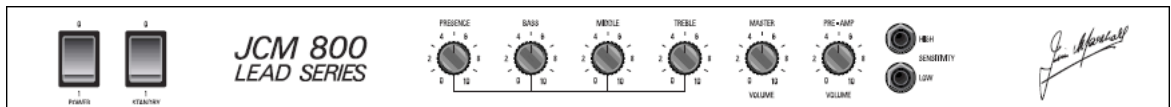
3.1 Výběr zařízení

Jelikož je tato práce koncipována pro zjištění diferencí obou zesilovacích prvků tak, jak se běžně v hudební sféře využívají, bylo použito standardní, v mnoha obměnách často používané zapojení. Testovaná zařízení (v tranzistorové i elektronkové verzi) vychází z legendárního modelu zesilovače JCM 800 2203 firmy Marshall [34], pro jeho všestrannou univerzálnost v mnoha hudebních stylech od bluesu po heavymetalové až thrash metalové zvukové možnosti, nemluvě o jeho oblíbenosti mezi hudebníky, kdy je často nazýván „posledním dobrým Marshalllem“ v historii vývoje této značky. Tento model narozdíl od svých následovníků, kde je často využito operačních zesilovačů v signálové cestě společně s diodovým omezovačem, vychází z předchozích plně elektronkových modelů, které s oblibou používali věhlasní kytaristé např. Jimi Hendrix, Pete Townshend (The Who), dále Angus Young (AC/DC), Aerosmith, v 80. letech kytaristé jako např. Slash (Guns'n'Roses), Randy Rhoads či Zakk Wylde (Ozzy Osbourne), z čistě metalových hráčů Kerry King (Slayer) a nespočet dalších.

Výhoda tohoto aparátu a jeho zmíněná univerzálnost spočívá především v možnosti hráčů upravit či najít svůj vlastní zvuk pomocí efektních krabiček (velmi často pro větší zkreslení tónu s efektem „Overdrive“) bez nutnosti průchodu signálu skrze operační zesilovače s diodovými omezovači pro větší zkreslení či vestavěnými DSP procesory. Tuto možnost výrobce ponechal jako volbu díky zabudované „efektní smyčce“, která umožní připojení DSP procesorů, či jiných efektů mezi předzesilovač a koncový stupeň. U starších modelů si uživatelé často nechávali tyto efektní smyčky do svých aparátů jakožto modifikaci dodělávat – nejčastěji opět v elektronkovém provedení pro neměnný zvukový charakter.

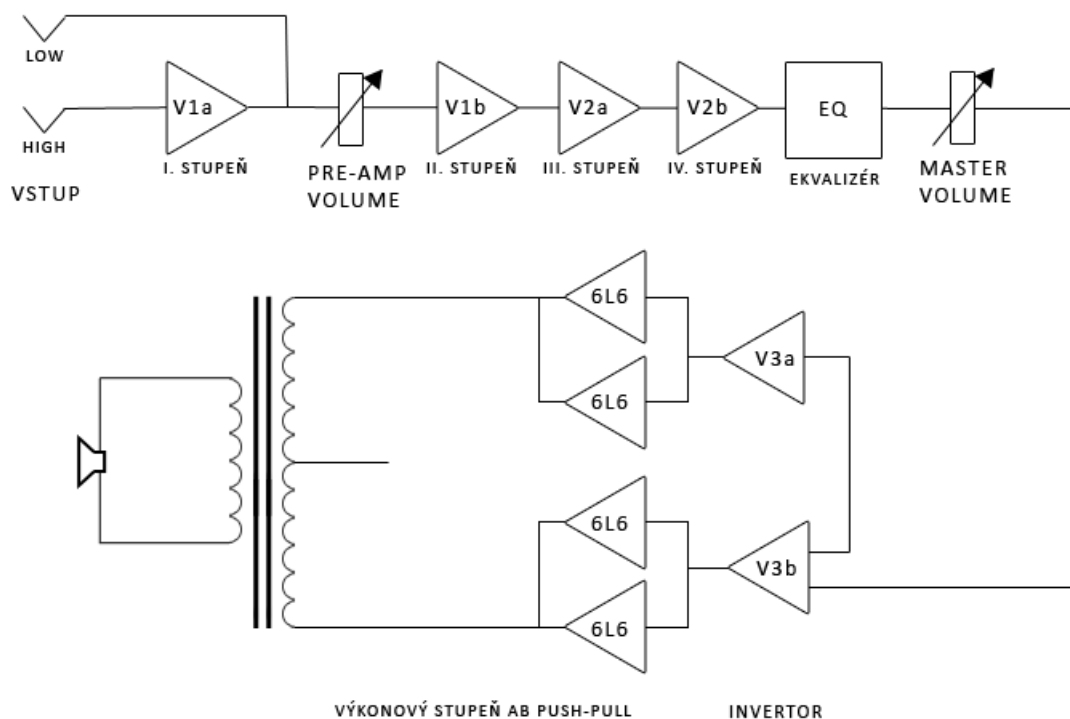
3.2 Charakteristika vybraného zařízení pro zpracování signálu

Model JCM 800 je jednokanálovým zesilovačem se čtyřpásmovým ekvalizérem ve formě otočných potenciometrů *PRESENCE*, *BASS*, *MIDDLE*, *TREBLE* (tedy „přítomnost“ – možnost dalšího nastavení výšek, basy, středy a výšky). Následují potenciometry *MASTER VOLUME* (pro nastavení hlasitosti výkonového stupně) a *PRE-AMP VOLUME* (dále jen *GAIN* – volba prvotní zesilovací úrovně, buzení), který ovlivňuje zároveň míru zkreslení signálu.



Obr. 3.2.1: Čelní panel zesilovače Marshall JCM 800 2203 (převzato z lit. [34])

K dispozici je výběr dvou typů vstupu – LOW / HIGH. Vstup LOW slouží pro typy elektrických kytar osazenými snímači s velkou silou výstupního signálu – nejčastěji snímače tzv. „aktivní“ (tj. snímače s vlastním jednoduchým předzesilovačem v konstrukci napájeném 9V baterií pro silnější signálový výstup – užívaných z pravidla u hudebních stylů s větší mírou zkreslení a ostřejším zvukovým charakterem). Pro kytary se snímači o slabším signálu slouží vstup HIGH.



Obr. 3.2.2: Blokové schéma zesilovače Marshall JCM800 2203

Při pohledu na blokové schéma je při výběru vstupu HIGH využita celá signálová cesta přes všechny zesilovací stupně, naproti tomu výběrem vstupu LOW přivedeme signál až do zesilovacího stupně druhého. Toto řešení mělo sloužit pro vyrovnání podmínek mezi různými typy elektrických kytar - tedy kompenzaci nízkoúrovňového signálu snímačů vůči např. zmíněným aktivním snímačům s naopak vysokou úrovní signálu. Často však byl do vstupu HIGH přiváděn vysokoúrovňový signál z důvodu záměrného většího zkreslení signálu.

Testování proběhne s elektrickou kytarou osazenou právě takovými aktivními snímači EMG 81 a 85 [36], které produkují výstupní signál o špičkové hodnotě 3V pro model 81 a 3.1V pro model 85 při drnknutí jedné struny, 4.5V špičkové hodnoty při více strunách pro oba modely. Oproti pasivním snímačům, které dosahují standardně špičkové úrovně napětí 0.7V je zajištěn dostatečně silný budicí signál pro velké zkreslení obou zapojení.

Pro testování i analýzu čistého zvuku bude použit vstup *LOW* s takovým nastavením potenciometru *GAIN*, aby aparát ani v jednom zapojení signál nelimitoval. Pro zkreslený signál využijeme naopak vstupu *HIGH*, kde bude opět nalezeno takové nastavení obou zapojení aparátu, aby byl signál zkreslen pokud možno co nejvíce a zároveň rovnocenně.

3.3 Obecná problematika konstrukce

U elektronkových aparátů hraje roli řada faktorů, které se na výsledném zvuku podílí. Tyto poznatky jsem nasbíral především prakticky a testováním různých prvků obvodu řadu let při úpravách svého vlastního aparátu.

V první řadě jsou velmi podstatné kvalitní transformátory s dobrým oplechováním, indukční prvek v usměrňovací cestě (tlumivka), dále kvalitní elektrolytické kondenzátory s nízkou hodnotou ESR (sériový odpor kondenzátoru) rovněž v napájecím obvodu.

V případě nekvalitních transformátorů (u elektronkového zesilovače napájecí a výstupní transformátor) může dojít k rušení signálu ve formě šumu nebo častěji díky nekvalitnímu oplechování „brumu“, u výstupního transformátoru dokonce ke změně zvukového charakteru zesilovače. Nejčastější modifikací uživatelů je výměna právě výstupního transformátoru za kvalitnější náhradu (a to i oproti výrobci).

V rámci kvality transformátoru je u elektronkových zapojení třeba zároveň zmínit jejich vliv u žhavení elektronek, resp. jejich samotnému napájení. I zde hraje velkou roli kvalita napájení, na které závisí opět možnost nežádoucích zvukových vlivů.

U některých typů elektronkových zesilovačů (především určených pro styl blues), je ve velké oblibě na místo usměrnění vysokého napětí křemíkovými diodami 1N4007 v Gretzově zapojení použití usměrňovacích elektronek GZ34 (typicky pro britské aparáty, např. Marshall) nebo typ 5U4 (USA – Mesa Boogie). Výsledný podíl na zvuku se projeví u elektronkového usměrňovače mnohem „měkčím“ a barevnějším zvukovým dojmem. Z tohoto důvodu je naopak proti křemíkovým diodám s mnohem ostřejším charakterem zvuku oblíbenější tyto aparáty u bluesových hráčů. Firma Mesa Boogie Engineering u mnoha svých modelů dává dokonce tuto možnost výběru hráčům přepínacím obvodem pro oba typy zapojení usměrňovače.

Tlumivka je v obvodu rovněž velmi podstatným prvkem, který se mimořádně na zvuku podílí co do barvy a charakteru. V některých aparátech je často nahrazována odporem o nízké hodnotě s velkou hodnotou ztrátového výkonu. Není-li zesilovač určen pro „tvrdé“, řekněme „syrové“ zvuky a celý obvod (především ekvalizér) není tomu přizpůsoben, pak díky absenci tlumivky hlavní napájecí linka elektronek není dostatečně „vyhlazena“ v rámci usměrnění střídavého napětí a zvuk se jeví jako „skřípavý“, „tenký“, lidskému uchu nepříliš přirozený.

Obdobné problémy mohou způsobit také elektrolytické kondenzátory. Ze zkušeností při konstrukci, kdy „původní“ nekvalitní kondenzátory byly nahrazeny mnohem kvalitnějšími (zároveň však dražšími), byl výsledek nad očekávání kladný – zvuková barva a dynamika celého aparátu se rázem posunula na mnohem vyšší úroveň.

Obě zapojení byla realizována na pertinaxové liště s pájecími oky způsobem, jakým se od počátku tyto aparáty vyráběly s následným propojením 1mm lankovými vodiči. Výhodou je přehlednost (alespoň z mého pohledu), rychlá oprava případných chyb zapojení a především – možnost experimentování s výměnou prvků při modifikaci. Zároveň je třeba zmínit, že existuje zde i ona známá „fáma“ o údajně mnohonásobném snížení kvality aparátu vlivem „kondenzátorového efektu“ při použití desky plošných spojů oproti pertinaxové pájecí liště. K této názorové rovině bych rád podotkl, že konkrétně model JCM 800 nebyl oproti některým předchozím zapojením takto konstruován a přesto jeho pověst rozhodně netrpí. Mnohem větší roli hraje dle mého názoru použití kvalitních zmíněných prvků a vhodné rozmístění součástek a stínění některých signálových cest. Je-li deska plošných spojů vhodně navrhnutá z hlediska elektromagnetické kompatibility, se správnou šíří spoje a rozmístěním součástek, pak bude fungovat stejně, ne-li lépe a spolehlivěji.

3.4 Realizace předzesilovací části

Obě verze obvodu předzesilovače jak pro elektronkovou tak tranzistorovou část vychází z modelu Marshall JCM 800 2203. Elektronková verze je plně originálním modelem aparátu (viz el. schéma [30] [31]) s dvojitými triodami 12AX7 (namísto ECC83 z hlediska vlastní zvukové preference, zapojením však identické) od firmy Electro-Harmonix [21]. Typ elektronky 12AX7 je standardně použit v zesilovačích pocházejících z USA (značka Mesa Boogie), elektronky ECC83 nalezneme v britských aparátech (značka Marshall/VOX). Druhá verze zesilovače k testování rozdílu je obdobou, kde jakožto náhrada za dvojitě triody byly použity unipolární tranzistory JFET s kanálem N.

Tyto tranzistory mají velmi podobné rysy chování v obvodu (především z hlediska zapojení) jako právě zmíněné elektronkové triody a velmi často se používají v tranzistorových aparátech. V případě rozšířenějšího trendu užití operačních zesilovačů u těchto aparátů je často k vidění typ TL072, který ovšem obsahuje dle svého katalogového listu rovněž na vstupu tranzistoru JFET. Právě z těchto důvodů byl obvod přizpůsoben přímému zapojení těchto tranzistorů pro co největší přiblížení zapojení s elektronkami (dále viz kap. 3.5)

Při výběru relevantního zapojení k modelu JCM800 2203 Master Lead, byla zvažena i možnost originální, údajně tranzistorové verze tohoto aparátu – model Marshall 5010 – označen rovněž jakožto série Master Lead, ale SOLID-STATE, tedy tranzistorový aparát (el. schéma viz [14]). Při bližší analýze samotného zapojení s duálním operačním zesilovačem 1458 jsem však došel k názoru, že dané zapojení bude ve výsledku mnohem vzdálenější modelu 2203 v prakticky komplementární verzi s JFET tranzistoru a to i díky jinému typu bloku zvukového ekvalizéru – který považuji za jednu ze zásadních ovlivňujících faktorů nejen při poslechových testech, který ve zdrojích [6] [4] [8] [11] považuji za poměrně zásadní chybu a znehodnocení celého testování.

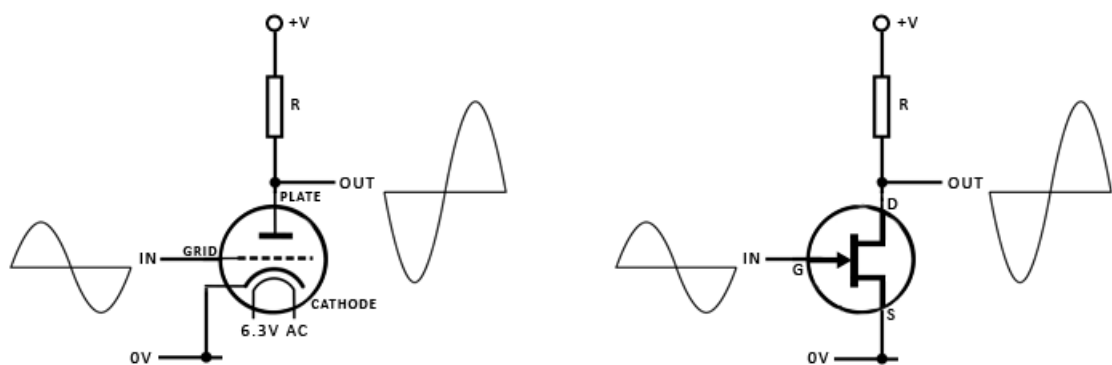
Pro model 2203 dle specifikace (viz [35] zároveň obsažena specifikace modelu 5010) platí zesílení na basech 50Hz o 15dB, středy 600Hz o 9.5dB, výšky na 10KHz o 35dB a presence na 3KHz o 6dB. Naopak u modelu 5010 je zesílení na basech na 100Hz o 15dB, středy 500Hz o 25dB a výšky na nespecifikovaném kmitočtu o 16dB při max. úrovni středového potenciometru nebo 42dB při témže nastavení (zde je ve specifikaci chyba, pravděpodobně se jedná o 42dB při nastavení středů na minimum o pravděpodobné frekvenci 5KHz vzhledem k ostatním modelům a jejich zapojení). V neposlední řadě se u modelu 5010 jedná o třípásmový ekvalizér s absencí potenciometru „presence“.

Změny v obvodu v zapojení s JFET tvoří výměna 100K odporů na původních anodách za 150K odporové trimry pro nastavení pracovních bodů jednotlivých tranzistorů. Napájení na hlavní lince je zde mnohem nižší (cca 20V) oproti zapojení s 12AX7, u kterých je pro správnou funkci třeba anodového napětí okolo 200V. Z toho vyplývá i celková redukce v oblasti zdroje napětí, dále není třeba řešit žhavení oproti elektronkám (tj. vlastní samostatné napájení – 12.6V při sériovém zapojení s proudovým odběrem 150mA, 6.3V s odběrem 300mA v paralelním zapojení žhavení).

Vhodnou náhradou za dvojitě triody dle zdroje [33] je typ JFET tranzistoru J201, který však v ČR není dostupný (typ J201 vychází z použití v emulaci zapojení JCM800 ze zdroje [33]). V původní bakalářské práci byl použit typ BF245A [23], který vykazoval nízkou schopnost limitace v daném zapojení (navzdory již tehdejší výměně a lepších podmínkách oproti typu BF256B). Oproti původní realizaci byl nyní tento typ opět vyměněn za 2SK117 [24] jakožto lepší alternativa. Při testování a hrubém porovnání praktického chování obou předzesilovačů v celém řetězci bylo za těchto podmínek docíleno s typem 2SK117 mnohem většího zkreslení zvuku, celkový zvukový první dojem byl nad očekávání kladný, což tuto práci pro mne staví do naprosto jiné, zajímavější roviny.

3.5 Diference zesilovacích prvků předzesilovací části

Vybrané zapojení s oběma typy zesilovacích prvků je zesilovačem pracujícím ve třídě A, kde dochází k přenosu obou půlvln ze vstupu na výstup symetricky. Toto zapojení lze rovněž nazvat zapojením se společnou anodou/drainem (v závislosti na užitém zesilovacím prvku), vyznačující se především schopností velkého napěťového zesílení, s fázovým posunem o 180°. Toto výchozí zapojení se při použití obou prvků (viz obr. 3.5.1) v zásadě nijak vzájemně neliší.



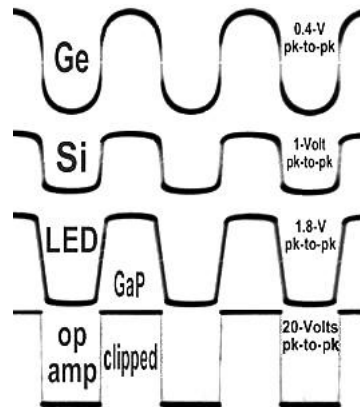
Obr. 3.5.1: Zjednodušené schéma zapojení dvojitě triody a unipolárního tranzistoru JFET ve třídě A (převzato a upraveno schéma z [12] [13])

V případě dvojité triody je vyjma dvou identických částí fungujících jako dva zesilovací prvky (z tohoto důvodu dvojitá trioda) zásadní odlišností již zmíněná nutnost externího napájení (žhavení) fungující společně pro obě poloviny. Výše uvedené zapojení funguje pouze za předpokladu, že katodové napětí je mnohem vyšší nežli napětí na mřížce. Pomineme-li mřížku, pak z hlediska fungování dochází k excitaci elektronů směrem od katody k anodě, uvažujeme-li katodové napětí 0V, anodové dle přibližné standardní hodnoty 250V. Funkci mřížky lze chápat, jakožto určité řízení elektronového proudu. Bude-li napětí na mřížce záporné, např. -50V, pak dochází stále ke zmíněnému elektronovému (resp. proudovému) toku. Čím více se bude toto napětí zvyšovat k 0V, tím nižší tento proud bude až do úplného uzavření při dosažení hodnoty právě 0V. Přidáme-li mezi napájení a anodu rezistor (v uvedeném zapojení R), nastavíme-li pracovní bod mřížky na určité předpětí a přivedeme-li harmonický signál, který bude postupně snižovat/zvyšovat toto napětí, dojde ke stejným výchylkám s mnohem vyšší amplitudou (dáno zapojením), které se projeví na výstupu jako zesílený signál. Z tohoto důvodu je pro správnou funkci třídy A třeba vždy nastavit pracovní bod na polovinu napájecího napětí pro schopnost stejného zesílení obou půlvln signálu.

Pro zapojení s tranzistorem JFET je toto zapojení zcela totožné. Na rozdíl od bipolárního tranzistoru se jedná o prvek řízený rovněž elektrickým polem (tedy stejně jako trioda). Na rozdíl od ostatních unipolárních tranzistorů jde však o stejný princip fungování (rovněž jako u triody) za předpokladu záporného napětí přivedením na pin *GATE*. Nebude-li tato podmínka dodržena, pak P-N přechod způsobí neprůchodnost elektronového toku od *SOURCE* k *DRAIN* a tranzistor je uzavřen.

Porovnáme-li z hlediska zapojení parametry obou prvků – tedy dvojité triody 12AX7EH [21] a JFET tranzistoru 2SK117 [24], vyjma max. přípustného napětí na anodě/drain, které činí max. 300V pro 12AX7 a 50V pro 2SK117, ostatní parametry nabývají přibližně stejných hodnot. Záporné napětí na mřížce je zde max. -55V, pro *GATE* -50V, max. anodový proud 9mA, pro zmíněný JFET je tato hodnota 14mA. Napětí uzavírající chod prvků je pro triodu 0V, u tohoto typu JFET od -0.2 do -1.5V. Rozdílnější hodnotou může být ztrátový výkon na anodě/drain, pro 12AX7 1W, pro 2SK117 300mW, což z druhé strany závisí na způsobu zapojení, stejně tak jako zesilovací činitel, který pro tuto triodu činí 92 (pozn.: pro bipolární tranzistory jsou běžně hodnoty např. 300), pro JFET transistor je podstatným způsobem tato hodnota dána právě v rámci zapojení, ale dle předpokladu je mnohem vyšší což zapříčiní mj. větší úroveň limitace (vzhledem k zapojení JCM800 zřejmě i rychlejší nástup).

V rámci různorodosti použitých materiálů v zesilovacích prvcích bych rád zmínil rovněž odlišné chování těchto prvků v limitaci. Na obr 3.5.2 je možné porovnat odlišnost chování především postavené na germaniové a křemíkové struktuře, v porovnání s chováním operačního zesilovače v limitaci nebo LED diod v těchto obvodech. Tyto průběhy pochází z výstupu signálové cesty tzv. „diodového omezovače“, kde pomocí 2 diod zapojených paralelně na výstupu zesilovacího prvku v obrácené polaritě lze dosáhnout rovněž limitace.



Obr. 3.5.2: Průběhy limitace signálu pro různé typy prvků v závislosti na materiálu

Z uvedených průběhů je limitaci elektronky nejbližší charakterem struktura germaniová, z hlediska způsobu „zaoblení“ signálu oproti ostrým hranám. Za nejméně přívětivý průběh považuji výsledný signál operačního zesilovače, především z hlediska zvukového výsledku. O způsobu průběhu a výsledcích měření signálu vybraných zařízení bude v rámci této práce pokračovat kap. 5.2.

V závěru této podkapitoly bych chtěl zmínit z mého pohledu a předložených diferencí nesmyslnost porovnávání dvou zcela odlišných zapojení dvou naprosto odlišných zařízení po funkční stránce jak činí zdroj [11]. Jestli-že zdroj porovnává rovněž zařízení JCM800 (byť pouze předzesilovací část) se zapojením efektu Marshall Shredmaster (jehož zapojení je u zmíněného zdroje rovněž uvedeno), pak nelze očekávat relevantní výsledky srovnání ani v rámci užití operačního zesilovače vs. dvojitě triody, nemluvě o zcela jiném zapojení tónové clony (ekvalizéru viz kap. 3.4) a naprosto jiného návrhu obecně (viz [11]) s ohledem na výše uvedenou funkci diodového omezovače jež rovněž navíc Marshall Shredmaster obsahuje.

3.6 Realizace výkonové části

Výkonová část rovněž vychází ze zmíněného modelu JCM800 2203, tedy verze o nominálním výkonu 100W. Porovnáme-li obecně výkonovou část tohoto aparátu, je prakticky identická s ostatními výrobci, ať s již zmiňovanou firmou Mesa Boogie či Fender. Jedná se o

zapojení párované dvojice / či čtveřice elektronek ve třídě AB Push-pull, nejčastěji typu EL34 typicky u britských aparátů (Marshall), typu 6L6GC pro aparáty navržené v USA (Fender, Mesa Boogie). Určitou modifikací použité elektronkové verze je použití právě typu 6L6GC [22] navzdory výrobci používanému typu EL34 v tomto modelu, jehož jedinou úpravou obvodu bylo přenastavení pracovního bodu a jeho úprava pro možnost dosažení nižšího napětí. Další odlišností je stejně jako u předzesilovacích elektronek opět nutnost externího napájení (žhavení) o napětí 6.3V a proudovém odběru 0.9A, což při 2-4 koncových elektronkách vyžaduje dostatečně silný napájecí zdroj.

Vzhledem k tomu, že oba typy výkonových elektronek mají samy o sobě své charakteristické zvukové vlastnosti, je poměrně obtížné se v tranzistorové verzi oběma typům přiblížit. Navzdory tomu bylo vybráno nejschůdnější řešení, které navzdory svému předzesilovacímu stupni nabízela výkonová část již zmíněného modelu Marshall 5010. I zde je použita třída A Push-pull, ale s darlingtonovým typem tranzistorů MJ3001 a MJ2501 [28] o nominálním výkonu 30W. Tyto tranzistory však musely být nahrazeny z hlediska nedostupnosti obdobnými typy MJ11015 a MJ11016 [29]. Rozdíl mezi originálními a použitými typy je kromě maximálního možného napětí na kolektoru především ve výkonu, který dle zapojení může být až 200W (u MJ3001/MJ2501 150W, které jsou však zapojeny na výkon 30W). To by však vyžadovalo úpravy obvodu a především výměnu napájecího transformátoru schopného dodat větší výkon. Ostatní typy tranzistorů koncového stupně musely být z hlediska nedostupnosti rovněž nahrazeny běžně dostupnými typy a to 2N3906 [26] namísto všech PNP a BC547 [27] příp. 2N3904 [25] (v invertoru) NPN tranzistorů. Zmíněná záměna tranzistorů BC212 a BC184 nijak neovlivnila funkci obvodu, neboť tyto tranzistory slouží k nastavení pracovního bodu výkonového stupně, který byl následně otestován.

3.7 Diference zesilovacích prvků výkonové části

Na rozdíl od předzesilovací části je úloha výkonového stupně namísto napěťového zesílení zesílením proudovým. Rozdílnou úlohu v realizaci u elektronkové verze oproti tranzistorové je nutnost použití výstupního transformátoru pro převod vysokých napěťových úrovní a malého proudu na hodnoty nižších napětí a vyšších proudů pro buzení reproduktorové soustavy. U tranzistorové verze je v případě použitého zapojení tento převod realizován pomocí darlingtonových tranzistorů vyznačujících se velkým proudovým zesílením.

V praxi se lze setkat se čtyřmi typy tříd těchto koncových zesilovačů - třídou A, push-pull třídami A, B nebo AB. Třída A se často v této sféře používá u aparátů s nižšími výkony (např. Fender Champ Amp 5W / Mesa Boogie LoneStar). Typickými modely použitých elektronek jsou pro Británii EL84, pro USA typ 6V6. Naproti tomu třídy typu push-pull zvyšují oproti klasické třídě A účinnost a efektivitu. Zde oproti třídě A hraje významnou roli invertorová část, jež dělí signál na signál nezměněného průběhu a ve druhé části signál invertovaný. Pro třídu A příp. AB push-pull je takto přenášen celý signál, v případě třídy B push-pull je v jedné větvi vedena pouze kladná půlvlna a vedruhé půlvlna záporná. Výsledkem je separátní zesílení a složení do výsledné podoby výstupního signálu o vyšším proudovém potenciálu. U třídy AB je typické předpětí na výkonových zesilovacích prvcích pracujících ve třídě A, jakožto offset pro posun dané půlvlny do počátku saturace daného prvku s limitací části spodní, následně je k této části přidána v poslední části invertovaná (stejně upravená část signálu) a limitaci se tímto zamezí což lze považovat za určitou symetrizaci signálu. Detailnější rozbor lze nalézt ve zdroji [20]. Z těchto důvodů je pro správné fungování třídy push-pull nutnost párovaných zesilovacích prvků (o stejných převodních charakteristikách) z hlediska symetrické funkce.

Nahlédneme-li do specifikace modelu 2203 [35], je zde udáváno THD 4% při 115W 1KHz, z čehož vyplývá způsob fungování zkreslených signálů (stejně tak jako u jiných výrobců) především předzesilovací částí na rozdíl od dřívějšího trendu v bluesovém žánru pro lehce saturované zvuky koncovým stupněm oblíbených aparátů Fender.

Kapitola 4: Záznam zvukových vzorků

4.1 Nahrávací řetězec

Celý nahrávací řetězec byl sestaven z dostupných komponent domácího studia, zapůjčené profesionální zvukové karty a softwarové vybavy se zapůjčenými originálními licencemi.

Kytarový signál je veden přímo do jednotlivých zesilovačů, zapojených do kytarového reproboxu Marshall 1960B [18] osazeným čtyřmi 12“ 75W reproduktory Celestion G12T-75. Následně je zvuk snímán buď pomocí dynamického nástrojového mikrofonu Shure SM-57 [37], s rozsahem 40–15000Hz nebo studiového kondenzátorového mikrofonu s plochou kmitočtovou charakteristikou Shure KSM-32 [38] o rozsahu 20–20000Hz. Pro účely nahrávání výsledných zvukových ukázek pro poslechové testy je určen řetězec na obr. 4.1.1, obsahující navíc mixážní pult Soundcraft Spirit Live 4 [39] s frekvenčním rozsahem od 22Hz do 22KHz. Tento prvek je vynechán v případě záznamu k měření dle obr. 4.2.2.



Obr. 4.1.1: Schéma zapojení nahrávacího řetězce



Obr. 4.1.2: Schéma zapojení nahrávacího řetězce

Následným společným prvkem je profesionální zvuková karta RME FIREFACE 800 [40], vyznačující se špičkovou kvalitou předzesilovačů, nízkým zpožděním a hodnotou THD 0.00032% při úrovni -110dB. Pro záznam byl použit rovněž profesionální software od společnosti Steinberg – pro výsledné zvukové stopy zvukových testů produkční systém Cubase 5 a pro měřicí účely Wavelab 6.

Jedním s podstatných faktorů, který je třeba si uvědomit, je schopnost frekvenčního pásma celého nahrávacího řetězce. Vzhledem ke zmíněným rozsahům je celkově toto zvukové pásmo omezeno reproduktory Celestion o zmíněném rozsahu 80-5000Hz a na jiných frekvencích tudíž nemá smysl měření provádět. Díky tomu budou měření probíhat přímo na jednotlivých částech obou typů zařízení s měřicím signálem, celková soustava pak společně s kytarovým signálem pouze demonstrativně v tomto rozsahu ze zvukových nahrávek.

4.2 Záznam zvukového signálu

Výsledné zvukové stopy jsou cíleny pro dvě skupiny respondentů – v prvním případě tu, která bude mít možnost absolvovat veškeré zvukové testy za stejných podmínek, druhá, rozšiřující skupina o stejném počtu za podmínek vlastních. Jedním z důvodů tohoto rozdělení je zjištění, zda různé podmínky k poslechu mají na tuto skupinu zásadní vliv, vezmeme-li v potaz, že výsledná produkce ze studií je rovněž digitalizována a převáděna do ztrátových formátů pro transfer do hudebních přenosných zařízení. Z tohoto hlediska je tato skupina právě tou obecně rozšířenou variantou koncových posluchačů.

Pro skupinu se stejnými podmínkami jsou veškeré ukázky produkovány ze systému Cubase 5 v bezztrátovém formátu wav, s nastavením 24bit a 96KHz vzorkování, pro externí skupinu ve formátu MPEG LAYER 3 při nejvyšší možné kvalitě tj. 320kbps, 44.1KHz vzorkování a použitím pravděpodobně nejkvalitnějším kodéru Fraunhofer IIS. Důvod použití kompresního formátu je s ohledem na připravované softwarové vybavení, kde bude možno ukázky hodnotit pomocí webového rozhraní.

Pro měřicí účely je výstupem ze softwaru Wavelab 6 bezztrátový formát wav při nastavení 24bit a 96KHz vzorkování jak pro měřicí účely, tak pro přímé měření signálu z jednotlivých částí zařízení.

Kapitola 5: Měření

V této kapitole je zpracován pohled na rozdílnost obou způsobů technické realizace aparatury na základě přímých měření na obou typech zařízení pro časovou oblast a záznamu signálu pro oblast frekvenční. Oproti předešlé práci je cílem naopak podrobnější rozbor signálu pro ověření, zda subjektivně zjišťované rozdíly mají podklad i v objektivním měření.

Základní podmínkou srovnání je zachování shodných podmínek zpracování vstupního signálu. Tomu je věnován odst. 5.1, kde je diskutována otázka rozdílů z hlediska amplitudy signálu vzhledem k různé úrovni zpracovávaného signálu. V odstavci 5.2 je podrobně sledován průběh signálu v časové doméně pro zesílený i limitovaný signál.

Odst. 5.3 pak obsahuje spektrální rozbor signálu pro vybrané typy signálu z hlediska záznamu pořízeného nahrávacím řetězcem. Pro podrobnější spektrální rozbor bylo učiněno měření v kap. 5.4, které bylo provedeno rovněž záznamem, ale přímo z jednotlivých částí obou zařízení bez použití výše zmíněného nahrávacího řetězce.

5.1 Zachování shodných podmínek zpracování vstupního signálu

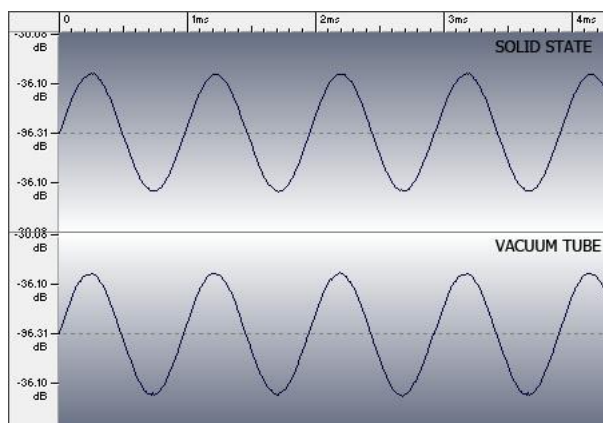
V první řadě je třeba vzhledem ke zmíněným nesrovnalostem limitace signálu obou zapojení (viz odst. 3.2) zajistit stejné podmínky pro porovnání signálu.

Oproti předešlému typu použitých tranzistorů JFET je tento typ mnohem náchylnější k limitování signálu vzhledem k úrovni buzení. Tato vlastnost byla však od určitého zlomového bodu prakticky neměnná. Pro nahrávání zvukových vzorků tedy tento fakt nehrál (vyjma nezkresleného signálu) až tak podstatnou roli oproti měření v časové oblasti pro zjištění rozdílu v nelimitovaném signálu, následně způsobu limitace a jeho frekvenčním analýzám. Velikost vstupního signálu byla pro nelimitovaný (čistý zvuk) zvolena 0.7V špičkové hodnoty v rámci imitace kytarových snímačů o slabší úrovni, pro signál v limitaci (zkreslený zvuk) o hodnotě 4.5V pro imitaci silnějších snímačů a dosažená větší limitace.

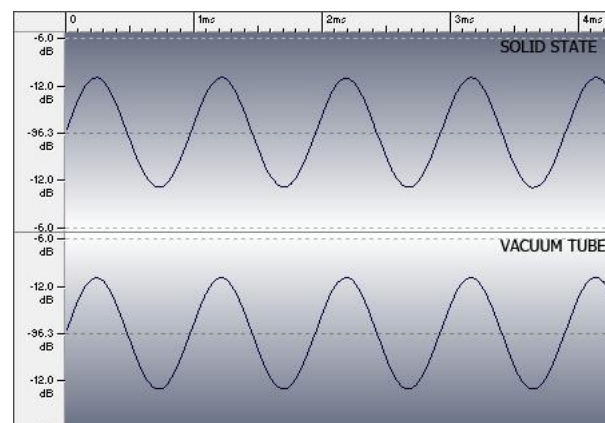
5.2 Analýza analytického signálu v časové doméně

Pro toto měření byl zapůjčen speciálně navržený generátor sinusového průběhu o velmi nízké hodnotě THD, která by jinak toto měření (resp. následné měření ve frekvenční doméně) zcela znehodnotila. Měřící sinusový signál byl o frekvenci 1024 Hz přiveden vždy na vstup daného zesilovače, výstupní signál byl pak zaznamenáván v PC a průběžně sledován pomocí

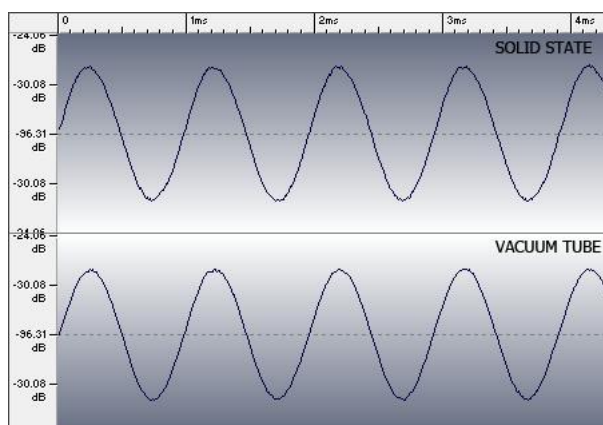
analogového osciloskopu Goldstar 3090 pro kontrolu správnosti zaznamenaných výsledků.



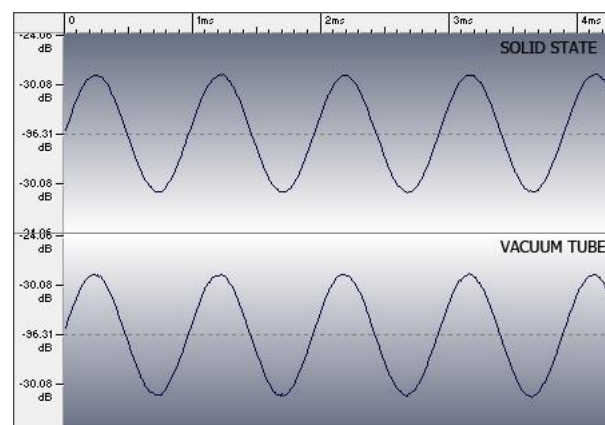
Obr. 5.2.1: II. stupeň (nelimitující)



Obr. 5.2.2: IV. stupeň (nelimitující)



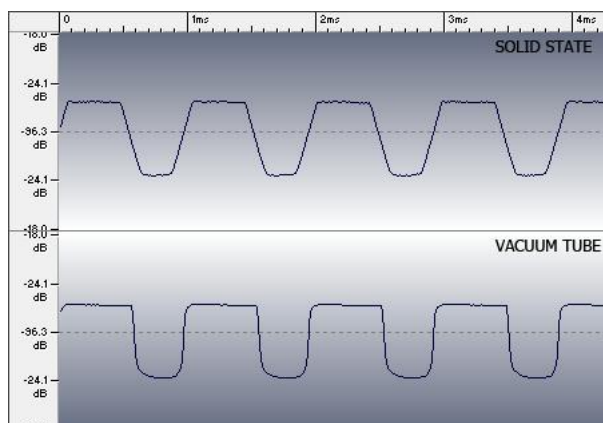
Obr. 5.2.3: Předzesilovací část (nelimitující)



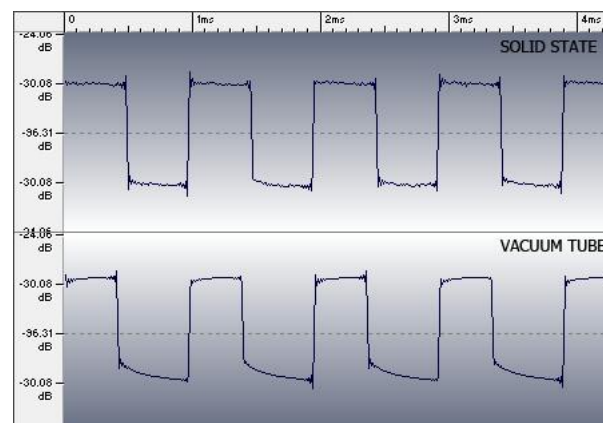
Obr. 5.2.4: Koncový stupeň (nelimitující)

Z výše uvedených průběhů vyplývá na první pohled velmi podobné zpracování signálu pro oba typy zesilovacích prvků při nelimitovaném průběhu. Průběhy na obr. 5.2.1 byly naměřeny přímo na výstupu II. stupně za použití vstupu *LOW* obou zesilovačů pro porovnání čistě jednotlivých nezřetězených prvků. Pro měření bylo podstatné nalézt takové nastavení buzení předzesilovací části potenciometru *GAIN* aby signál nebyl nijak limitován. Navzdory předešlé práci zde bylo toto nastavení mnohem obtížnější nalézt. Pro elektronkové zapojení bylo toto nastavení při použití výchozího typu vstupního signálu (zde již zmíněných 0.7V) a vstupu zesilovače *LOW* (viz blokové schéma kap.) při nastavení 1,5 a pro tranzistorové pod 1. Tato úroveň vždy platila vždy pro kompletní zesilovač a byla ověřena na IV. stupni v rámci možnosti limitace zřetězenými prvky. Výsledný signál z koncového stupně (viz. obr. 5.2.4) byl naměřen na D.I. výstupu, kterým oba typy zapojení disponují. Z celkových výsledků tohoto měření průběhu signálů je patrné, že vyjma rozdílu síly amplitudy po průchodu

různými stupni, bychom na první pohled rozdíl hledali pravděpodobně velmi těžko.



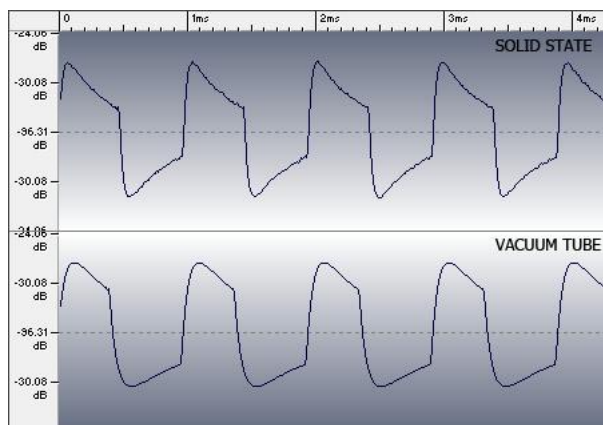
Obr. 5.2.5: II. stupeň (v limitaci)



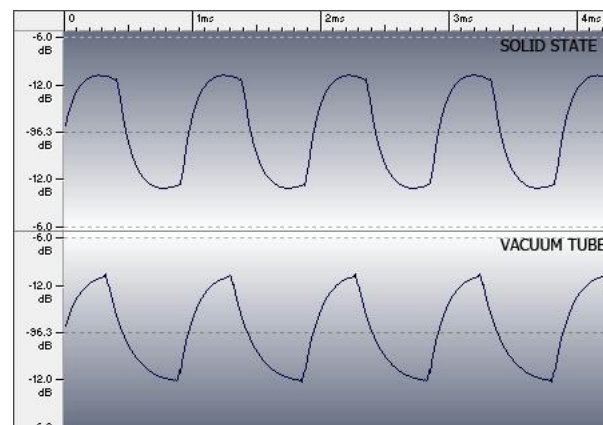
Obr. 5.2.6: IV. stupeň (v limitaci)

Výše uvedené průběhy přináší oproti předchozím již mnohem znatelnější rozdíl v průběhu zpracování při limitaci. Měření bylo provedeno s úrovní vstupního signálu 4.5V zcela identicky jako předešlé. Porovnáme-li průběh II. stupněm (obr. 5.2.5) se zdrojem [8], je zde zcela patrné, že dvojitá trioda má mnohem větší tendenci limitovat především kladnou část amplitudy oproti záporné. U průběhu tranzistoru je rovněž v určitých mezích tato tendence patrna, ale sklony toho to prvku jsou spíše limitovat signál symetricky a do ostřejších hran. Tento fakt byl již zmíněn u vlastnosti germania a křemíku, kde germanium má rovněž jako elektronka tendence signál naopak do hran nelimitovat. Určitou možností za snahy docílení elektronkového průběhu pomocí zmíněného diodového omezovače je použití germaniových diod v zapojení trojice (viz [19] jakožto alternativa), kde k paralelnímu zapojení opačné polarizaci je přidána rovněž paralelně jedna dioda navíc. Pak by podle tohoto zdroje byl signál určitou simulací výše uvedeného průběhu a v některých zapojeních se rovněž používá. Oproti tomu tranzistorové zapojení vykazuje průběh podobný křemíkové struktuře dle očekávání.

Následující průběhy jsou spíše demonstrativního charakteru, neboť s přibývajícím počtem prvků dochází k větší limitaci signálu (u zapojení JCM800 záměrně, stejně tak u ostatních výrobců) a jakékoliv sebemenší rozdíly jsou zřetelnější. Z těchto průběhů i nadále vyplývá vlastnost jiného způsobu limitace záporné fáze signálu oproti pravidelnějším tvarům (obzvláště) křemíkových tranzistorů.



Obr. 5.2.7: Předzesilovací část (v limitaci)



Obr. 5.2.8: Koncový stupeň (v limitaci)

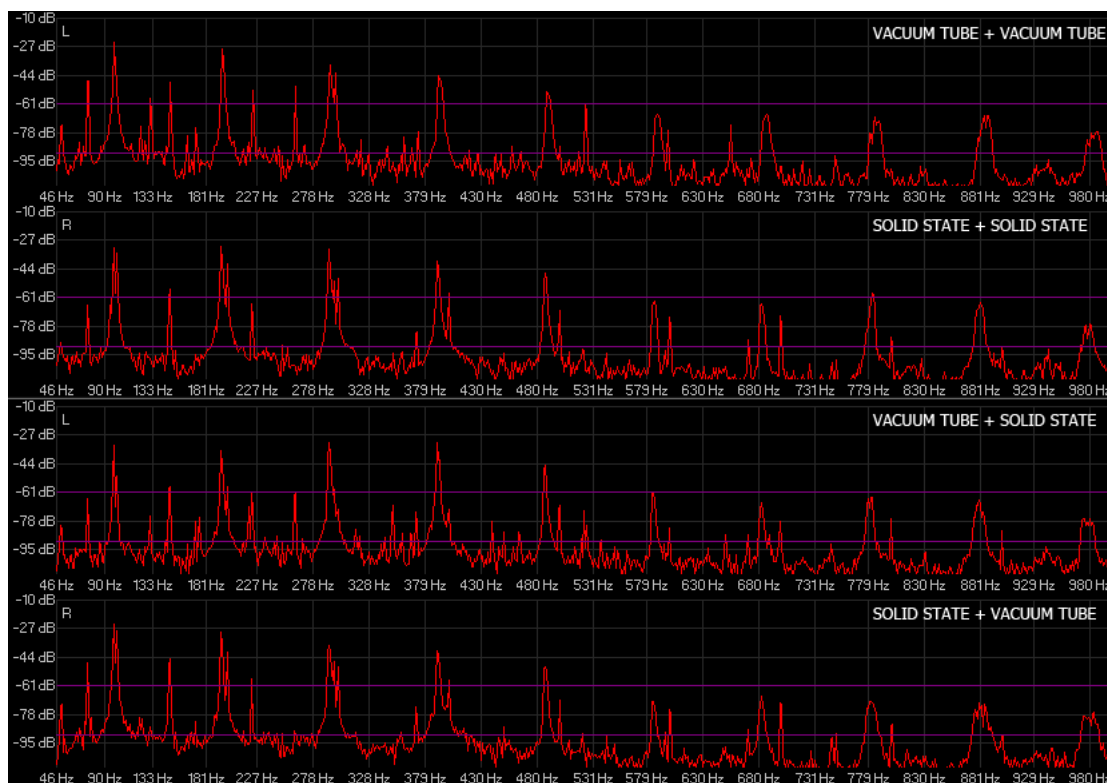
Jedním z důvodů proč nepovažují za zcela korektní porovnávání dvou odlišných typů zařízení u zmíněného zdroje [11] nebo poslechových testů zdroje [6], je zcela viditelný důsledek průchodu ekvalizérem. Z výše uvedených průběhů (obr. 5.2.7) je patrna velká změna tvaru průběhu a to za zcela komplementárního zapojení. Jestliže uvedené zdroje používají jak k měření, tak k poslechovým testům odlišná zařízení, pak lze jen pochybovat o smyslu hledání relevantních diferencí. Odůvodnění pro toto tvrzení a o podstatě dopadu průběhu signálu v časové oblasti na frekvenční doménu bude blíže upřesněno v kap. 5.5.

Výstupní signál ve finální formě je možno vidět na obr. 5.2.8. Výsledná konstrukce obou koncových zesilovačů nevykazuje žádné defekty v časové doméně, pro čistý zvuk (nelimitovaný signál) není patrna žádná známka zkreslení. U zkresleného (limitovaného) signálu zde dochází k určité symetrizaci obou půlvln, což odpovídá skládání normálního a invertovaného průběhu výkonového zesilovače třídy push-pull dle [20]. Nastavení zesílení obou koncových stupňů bylo voleno záměrně nižší tak, aby nedocházelo k jejich samotné limitaci byť v jednotkách %, což by dle specifikace při nízkém nastavení potenciometru *MASTER VOLUME* nemělo nastat.

5.3 Analýza zaznamenaného signálu ve frekvenční doméně

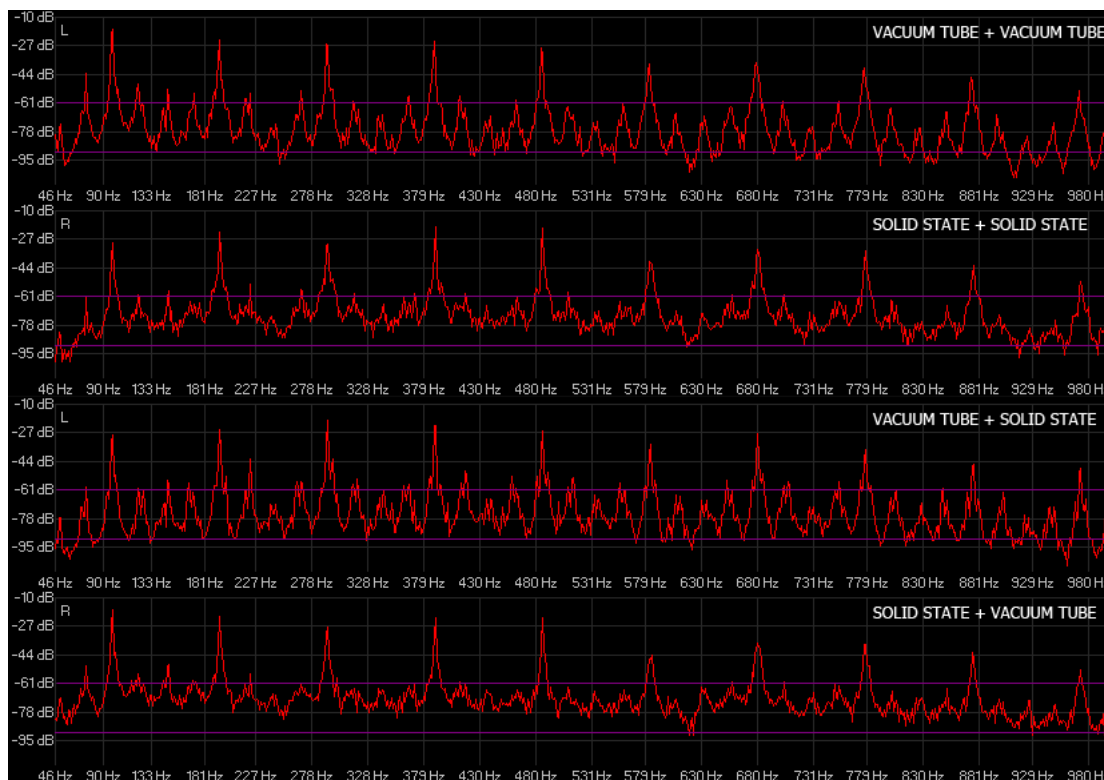
Frekvenční analýza byla provedena vždy z hudebně podobných nahrávek obou zapojení při drknutí jedné struny – tónu G o frekvenci 392Hz. Na rozdíl od předchozí kapitoly je měření zaměřeno na všechny kombinace předzesilovací/výkonové části elektronkové/transistorové techniky. Ekvalizér v zapojení fungující jako frekvenční propust byl u obou zařízení nastaven tak, aby signál neovlivnil a u všech typů zapojení byl pro stejné podmínky použit vždy stejný kytarový snímač EMG 81. Zaznamenané vzorky byly následně

upraveny pro stejný počátek i konec porovnávaných signálů. Výsledná spektrální analýza byla provedena v profesionálním audio softwaru Steinberg Wavelab 6 při standardním nastavení.



Obr. 5.3.1: Spektrum zesíleného signálu

Porovnáme-li výsledná spektra signálu, která jsou spíše demonstrativního charakteru pro obecné posouzení o diferenci, dle obr. 5.3.1 pro “čistý zvuk” můžeme nalézt odchylky, které v určité míře daný zvukový rozdíl zesílení obou prvků způsobují ve všech kombinacích.

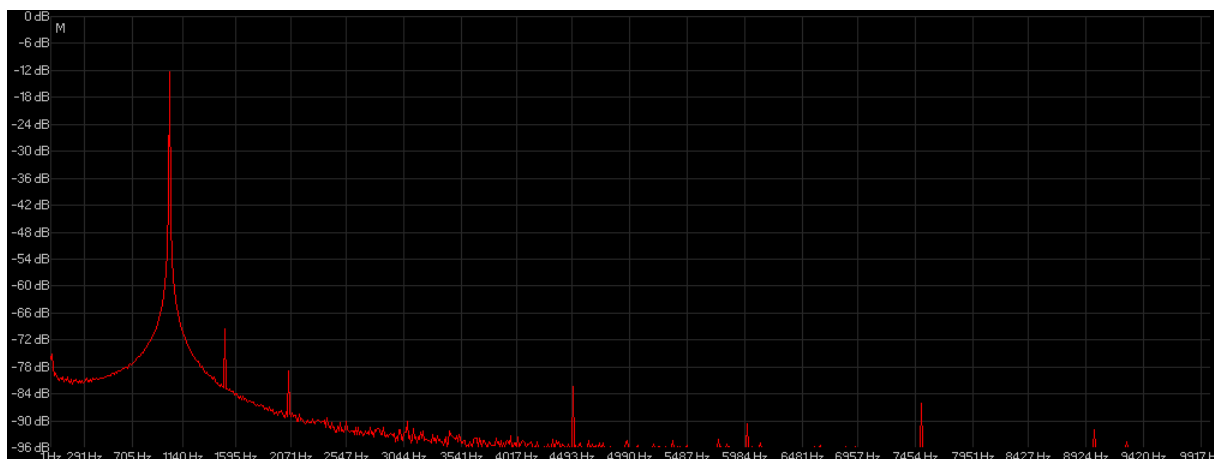


Obr. 5.3.2: Spektrum zesíleného signálu v limitaci

U obr. 5.3.2 pro zkraslený zvuk je rozdíl skutečně mnohem zřetelnější, kde u jednotlivých zapojení spektrum kromě různých úrovní harmonických složek jasně vykazuje především u tranzistorových oproti elektronkovým zapojením odlišný charakter, což plně odpovídá tvrzení o rozdílu zesílení obou prvků v saturaci dle zdroje [4]. Zásadní roli zde hraje zřejmě vždy daná předzesilovací část, neboť podobnost těchto průběhů je při stejném typu bližší. Tento fakt odpovídá vlastnosti zapojení zmíněné v předešlé kapitole, kdy koncový stupeň není oproti předzesilovací části konstruován tak, aby signál limitoval.

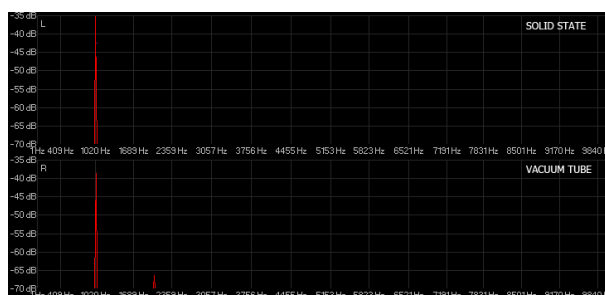
5.4 Analýza měřicího signálu ve frekvenční doméně

Oproti předloženému demonstrativnímu charakteru spektra ze zaznamenaného signálu minulé podkapitoly, je tato podkapitola mnohem přesněji cílena na chování jednotlivých prvků a částí obou typů aparátů. Důležitou roli u těchto spektrálních analýz hraje především použití generátoru sinusového průběhu s nízkou hodnotou THD, pro zamezení výskytu nežádoucích spektrálních složek a dopředu známého spektrálního obsahu tohoto generátoru s chováním zvukového interfacu PC, které by výsledné spektrální analýzy značně ovlivnilo.

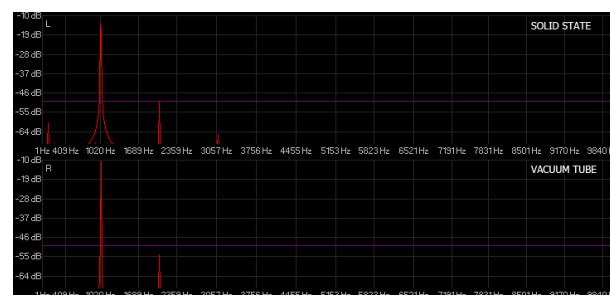


Obr. 5.4.1: Spektrum signálu z generátoru sinového průběhu

Při zvolené frekvenci 1KHz a úrovni 4.5V špičkového napětí generátoru (odpovídající snímači EMG 81) lze vzhledem ke spektru z obr. 5.4.1 nadále uvažovat výsledné analýzy za relevantní od hladiny -70dB pro zaručení minimálního ovlivnění naměřených výsledků.



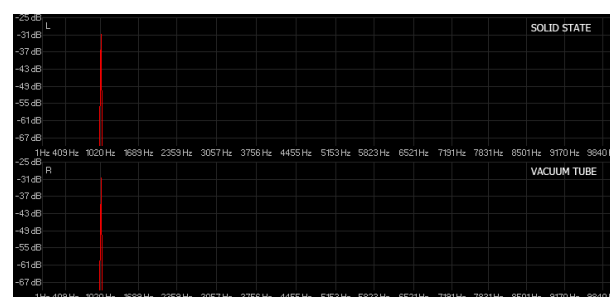
Obr. 5.4.2: II. stupeň



Obr. 5.4.3: IV. stupeň



Obr. 5.4.4: Předzesilovací část

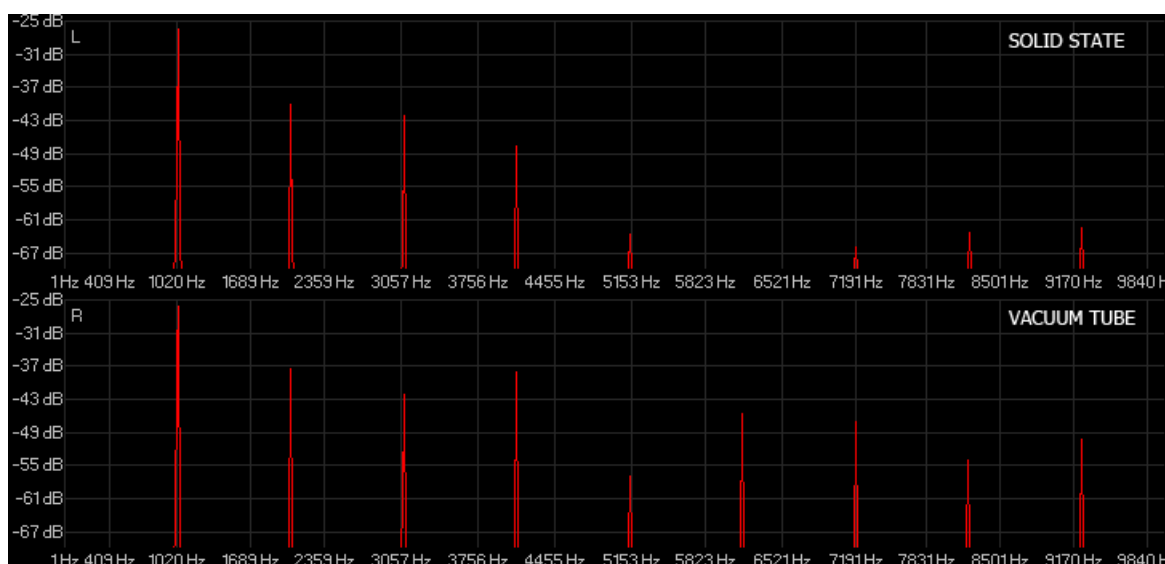


Obr. 5.4.5: Koncový stupeň

Naměřené spektrální analýzy za stejných podmínek jakožto v případě kap. 5.2 při měření časových průběhů zásadní odlišnosti nevykazují. Na IV. stupni se nejvíce projevují pravděpodobné nelinearity obou prvků pod úrovní -50dB. V případě II. stupně a

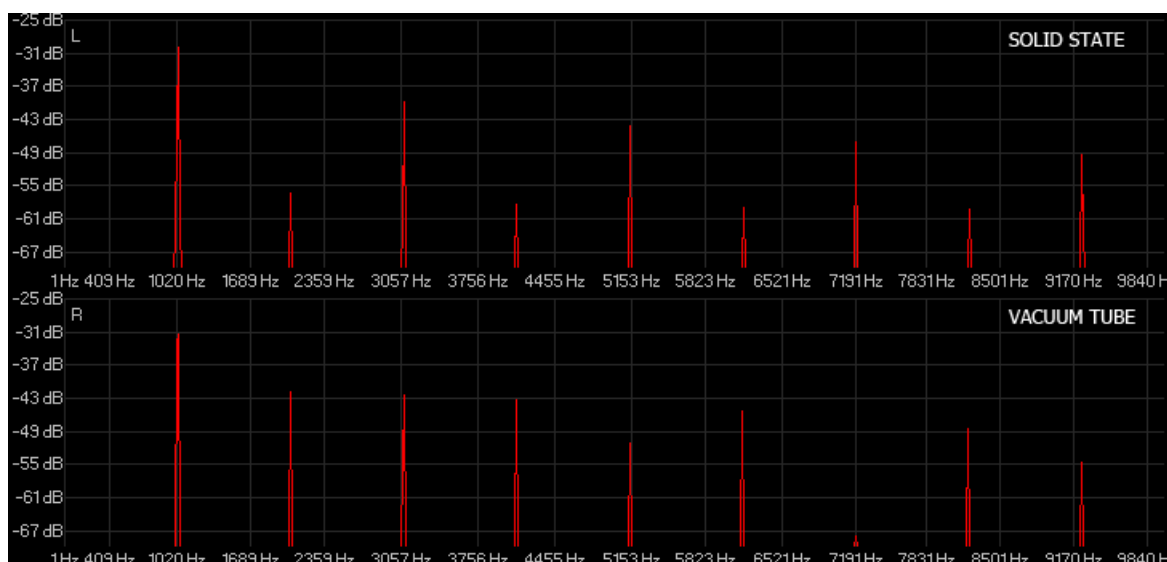
předzesilovací části jsou tyto jevy až pod úrovní -65dB což lze považovat za prakticky nevnímavelný zvukový efekt oproti dominanci amplitudy základní frekvence a s přihlédnutím ke spektru koncového stupně, který je výstupem a tudíž podstatným faktorem, kde se tyto složky neprojeví.

S přihlédnutím na výsledné analýzy „čistého zvuku“ lze konstatovat velmi pravděpodobné tvrzení odpovídající zdroji [8] o nerozpoznatelnosti rozdílu pod úrovní zkreslení 1% mezi oběma prvky. Jednou z častých vlastností přisuzované elektronickým aparátům je především dynamika, která se rovněž s popisovaným zvukovým charakterem ohledně barevnosti tónu při takovémto zkreslení projeví.

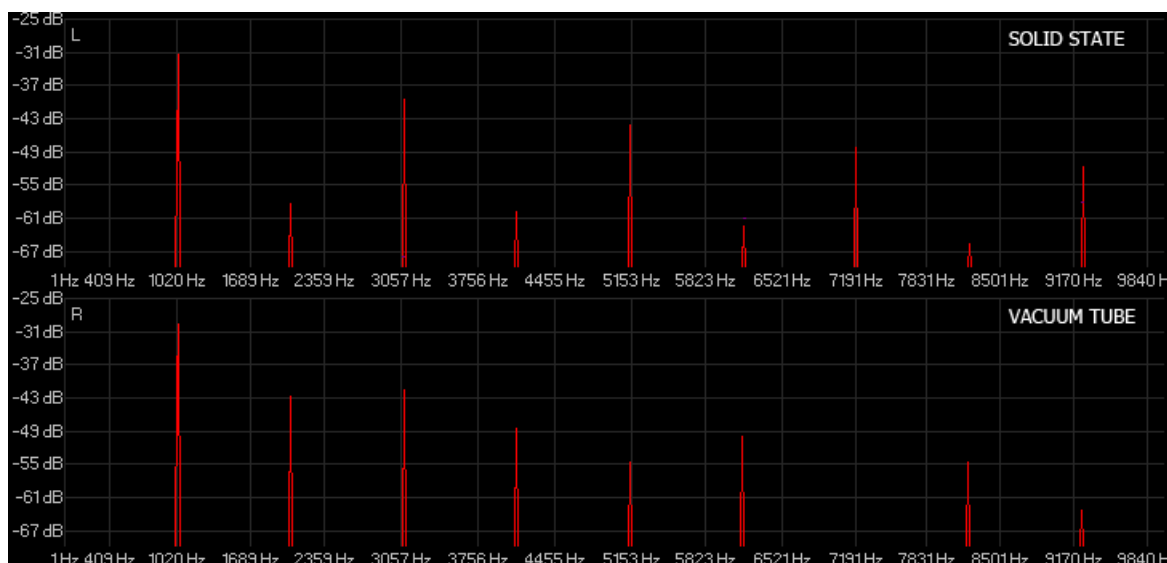


Obr. 5.4.6: Spektrum zesíleného signálu (v limitaci) II. stupeň

Z výše uvedené spektrální analýzy na obr. 5.4.6 jsou již zcela patrné značné rozdíly při limitaci signálu na II. stupni. Rovněž tento II. stupeň odpovídá v tomto případě pouze jednomu prvku – tedy čistému porovnání tranzistoru a elektronky, při vynechané části I. stupně u vstupu *LOW*. S deformací křivky signálu v časové oblasti při limitaci tedy dochází k produkci vyšších harmonických složek ve spektru, které odpovídají vždy zřejmě tvaru průběhu signálu.



Obr. 5.4.7: Spektrum zesíleného signálu (v limitaci) IV. stupeň

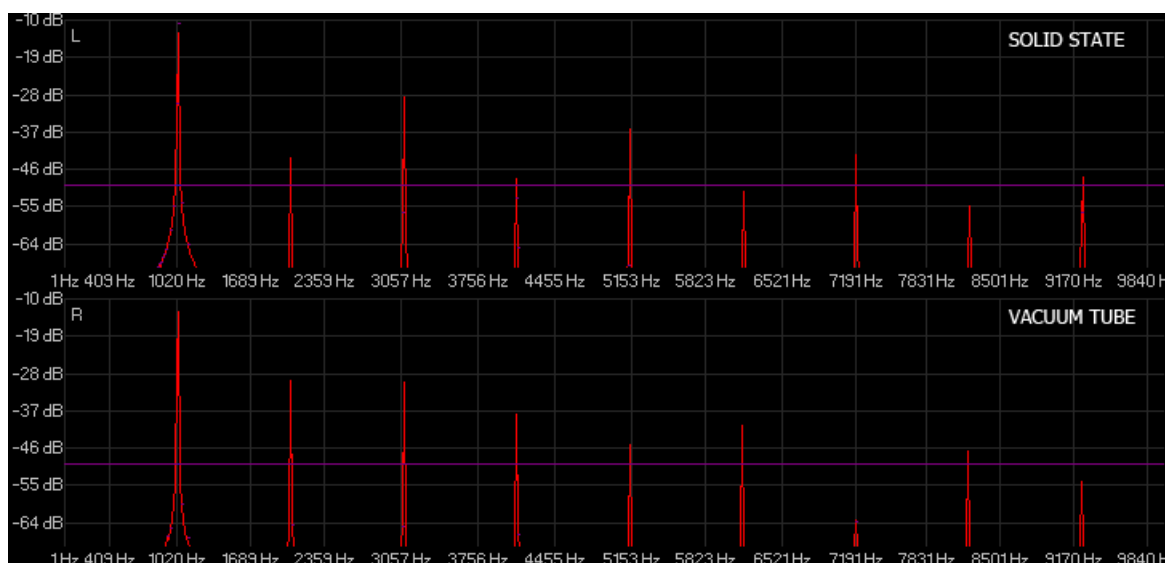


Obr. 5.4.8: Spektrum zesíleného signálu (v limitaci) předzesilovací část

Následné zpracování signálu na výstupu IV. stupně a celé předzesilovací části poměrně shodně vykazuje velkou změnu v obsahu spektra, čím více se průběhy v časové doméně blíží obdélníkovému v případě tranzistoru. U elektronky je již toto spektrum prakticky konstantní pouze s drobnými změnami v amplitudách na jednotlivých frekvencích.

Jedním z pravděpodobně mylných tvrzení např. zdrojů [4] [15] je vlastnost elektronky o „snadné produkci sudých harmonických složek a potlačení lichých“, u tranzistoru o jakési „kooperaci“ [4] a produkci obou možností. Posoudíme-li vývoj změny signálu při postupném zvyšování limitace z naměřených průběhů, pak jednoznačně naopak tranzistor při vysoké úrovni limitace produkuje - nikoliv však potlačuje - oproti elektronce sudé harmonické složky

o mnohem nižších amplitudách. Obě spektra mají sestupnou tendenci, u tranzistoru byla zaznamenána tato vlastnost pravidelnější a na vyšších kmitočtech pomalejší co do velikosti amplitudy, u elektronky naopak s určitou dynamickou vlastností a nízkou úrovní 7. harmonické složky naopak rychlejší.



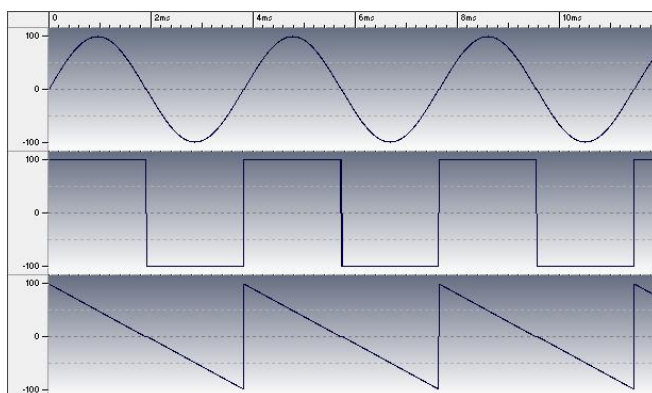
Obr. 5.4.9: Spektrum zesíleného signálu (v limitaci) koncový stupeň

Výsledné spektrum z výstupu obou zapojení prakticky potvrzuje předešlé průběhy v souladu s teorií signálu zdroje [17] a tvrzením zdroje [10]. Navzdory názoru zdroje [9] zde sude harmonické složky ani liché nejsou potlačeny, obě zařízení ve třídě push-pull měla párované zesilovací prvky o stejných hodnotách, které byly ověřeny, tudíž i za předpokladu se tato vlastnost nijak neprojevila. V rámci těchto měření tedy použitý koncový stupeň přenáší limitovaný signál (nikoliv však signál limituje vzhledem ke specifikacím) a obsah spektrálních složek přibližně odpovídá předzesilovací části. Jinou otázkou by byla jeho vlastní limitace, která by zřejmě zapříčinila deformaci signálu opět do tvaru obdelníku, který by u třídy push-pull měl být symetrický vzhledem ke zdroji [20] (což rovněž odpovídá symetrizaci průběhů v kap. 5.2), pak by nastala vyšší produkce lichých harmonických složek, tak jak bylo zjištěno u předzesilovací části, nikoliv v tomto případě jejich rušení apod.

5.5 Dopad zkreslení signálu na frekvenční doménu

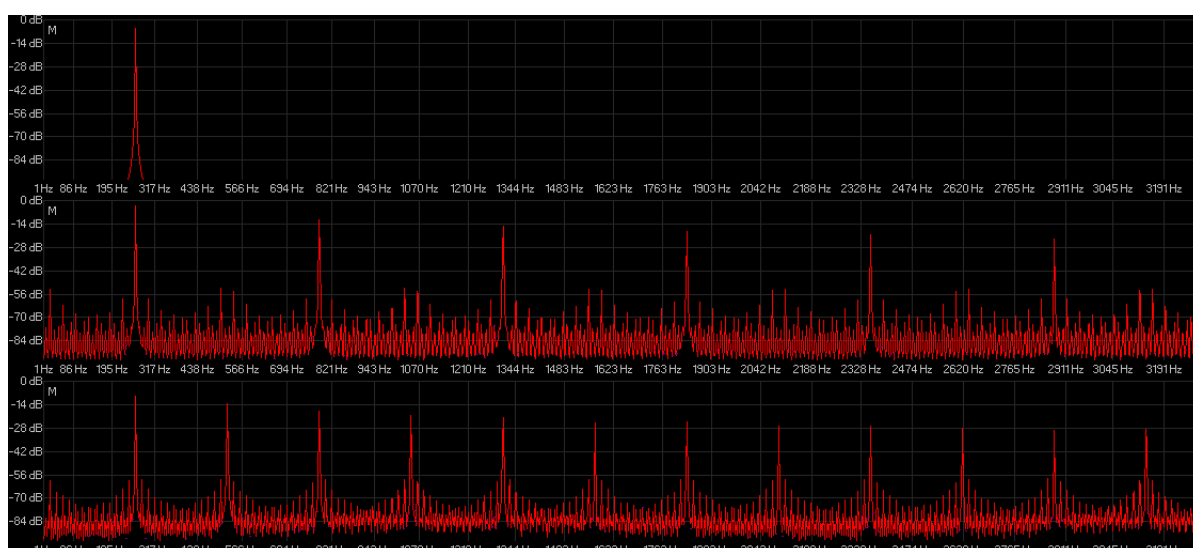
Důležitou vlastností při měření a analýze spektrálního obsahu je předem známá vlastnost generátoru budícího signálu a v neposlední řadě zvukového interfacu PC/ příp. zařízení pro analýzu. Každý z těchto prvků vnáší vždy určitou nepřesnost do celkového měření, neboť každé zařízení produkuje určité harmonické zkreslení. Z naměřených průběhů je patrné, že obecné tvrzení o potlačení harmonických složek elektronkou/tranzistorem je nesprávné.

Harmonické zkreslení zde naopak vzniká, složky jsou zesilovány nebo naopak s další limitací obohacovány. Změna průběhu (tvaru) signálu pak tedy ovlivní vznik výsledných spektrálních složek, kde lze pozorovat jistou souvislost (např. deformací spodní půlvlny signálu apod.) detailněji popsanou ve zdroji [16].



Obr. 5.5.1: Časové průběhy signálu sinus, obdelníku a pilovitého průběhu se sestupnou hranou

S ohledem na časové průběhy naměřené v kap. 5.2, lze s určitou nadsázkou připodobnit výsledné zkreslené průběhy signálu v časové doméně určité syntéze signálů z obr. 5.5.1. U tranzistorové techniky je trend ze sinusového signálu přechod v limitaci do tvaru velmi blízkému obdelníku, s lehkým náznakem pilovitého průběhu v určitých úsecích. Velmi podobné chování průběhu vyjma ostrých hran bylo rovněž zaznamenáno u elektronky.



Obr. 5.5.2: Spektrum signálů sinus, obdelníku a pilovitého průběhu se sestupnou hranou

Obr. 5.5.2 je výslednou spektrální analýzou všech těchto tří typů průběhu signálu. K absolutně nezkrácenému signálu se spektrálním obsahem o jedné základní harmonické složce, lze připodobnit naměřené průběhy pro čistý zvuk v kap 5.2. Již zmíněný možný rozdíl ve zvukovém charakteru obou prvků je tedy jednoznačně dán spektrálním obsahem při THD >0%.

U limitovaného signálu oběma prvky (viz kap 5.2 obr. 5.2.5 průchodu signálu II. stupněm) lze na základě ideálních průběhů obr.5.2.5 připodobnit deformaci signálu ke spektrálnímu obsahu pilovitého průběhu o bohatém harmonickém složení. U tranzistoru na rozdíl od elektronky dochází k přechodu z tohoto „pilovitého průběhu“ blíže k obdélníkovému (průběh IV. stupně kap. 5.2 obr. 5.2.6), kde naopak spektrum sudé harmonické složky neobsahuje, ale díky relevanci k pilovitému průběhu jsou stále, byť méně produkovány oproti lichým. Tento fakt tedy lze považovat vzhledem k měření a těmto analýzám nikoliv za často označovanou „magii“, ale za jednoznačně danou souvislost s teorií signálu.

Další možnou vlastností je větší brilantnost tónu elektronkových aparátů oproti tranzistorovým vzhledem k možnému vzniku/úrovni nelinearitami spektrálních produktů mezi jednotlivými harmonickými složkami, které rovněž z ideálních průběhů (obr. 5.5.2) postrádají sudé složky.

5.6 Souvislosti z hlediska hudební teorie

Porovnáme-li frekvence jednotlivých harmonických složek z pilovitého průběhu předchozí kapitoly s následující tabulkou 5.6.1 o základní harmonické složce 261.63Hz odpovídající hudební notě C 3, pak tvrzení některých autorů o podobnosti sudých harmonických složek v souvislosti s oktávami hudebních tónů lze považovat za v lepším případě nepřesné, u některých autorů tvrzení o identičnosti [4] [15] za mylné, neboť 6. harmonická složka odpovídající notě G 5 a není rozhodně oktávou noty C 5.

Pořadí harm. složky	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Frekvence[Hz]	261.63	523.26	784.89	1046.52	1308.15	1569.78
Odpovídající nota	C 3	C 4	G 4	C 5	E 5	G 5
Frekvence odpovídající noty[Hz]	261.63	523.25	783.99	1046.50	1318.51	1567.98
Odchylka[Hz]	0	+0.01	+0.9	+0.02	-10.36	+1.8
Pořadí harm. složky	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Frekvence[Hz]	1831.41	2093.04	2354.67	2616.30	2877.93	3139.56
Odpovídající nota	A# 5	C 6	D 6	E 6	F# 6	G 6
Frekvence odpovídající noty[Hz]	1864.66	2093.00	2349.32	2637.02	2959.96	3135.96
Odchylka[Hz]	-33.25	+0.04	+5.35	-20.72	-82.03	+3.6

Tab. 5.6.1: Spektrum zesíleného signálu v limitaci elektronky (nahore), tranzistoru (dole)
(hodnoty pro jednotlivé tóny převzaty z [14])

Budeme-li brát v potaz pouze prvních 7. harmonických složek v souvislosti s významností v roli vzniku při distorzi elektronkových i tranzistorových prvků v kytarových aparátech, pak z hudebního hlediska skutečně nejméně přívětivou formou jsou harmonické složky liché. Při stupnici C dur, obsahující noty C, D, E, F, G, A, B, C, je 7. harmonická složka ke všemu nejméně odpovídající a zapříčiní jistou disharmonii tónu.

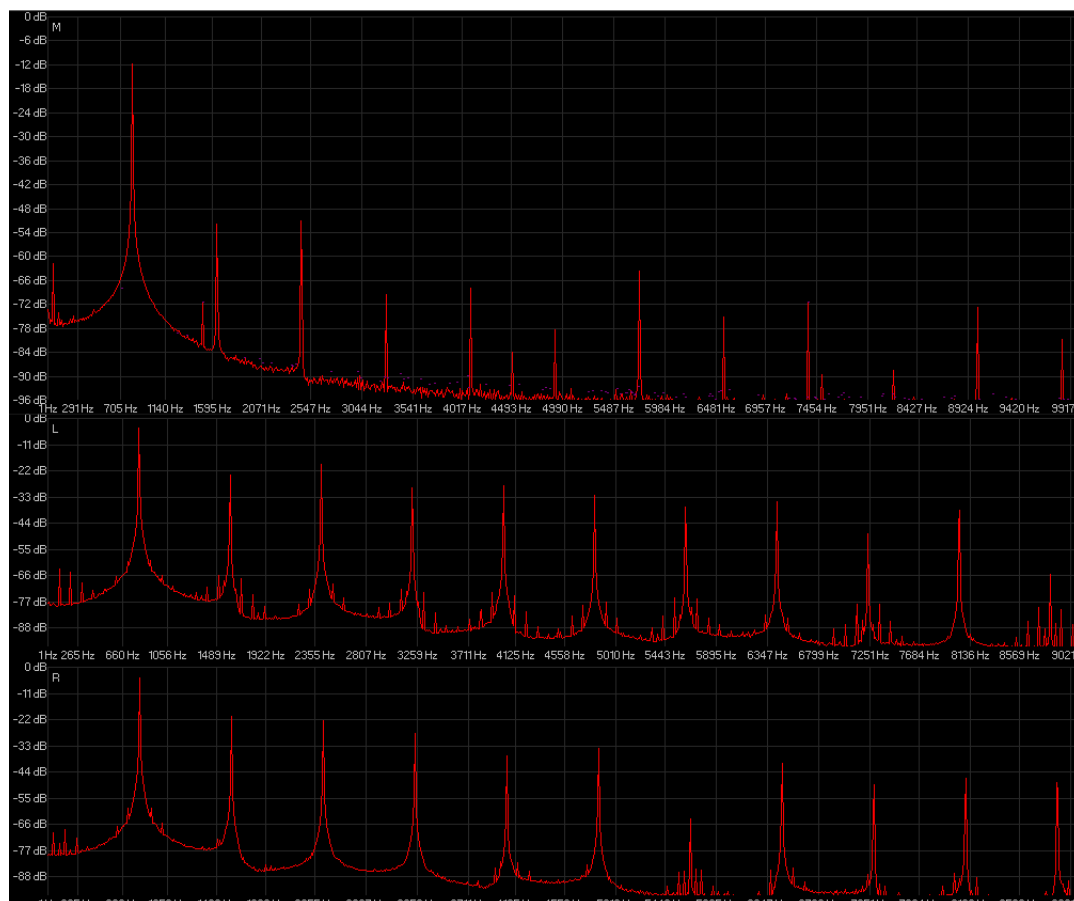
V souvislosti s naměřeným spektrálním obsahem signálu po limitaci tranzistoru dochází při harmonickém zkreslení u tranzistoru k absenci/nížší úrovni sudých harmonických složek, kde s přihlédnutím na výše uvedená tvrzení zůstávají ve spektru dominantní harmonické složky liché oproti mnohem přívětivějším sudým, což zřejmě zapříčiní opět negativní zvukový dopad oproti elektronkám, kde navzdory stejnému naměřenému spektrálnímu obsahu lichých harmonických složek jsou sudé rovněž zastoupeny a 7. harmonická složka zde dokonce prakticky chybí.

5.7 Možné příčiny mylných tvrzení

Z předchozích dvou podkapitol lze v souvislosti s naměřenými průběhy vyvodit určité závěry o nepřesnosti daných tvrzení jednotlivých zdrojů. Kromě odlišnosti vnitřního zapojení daných zařízení k porovnání, možného nedostatku teorie po technické / praktické / hudební stránce, časté záměny sudých harmonických složek za liché jednotlivých zdrojů, lze zřejmě přisoudit některá tvrzení chybám měření, které rovněž v rámci této práce nastaly a znehodnotily tak především spektrální průběhy a bylo nutno celý proces několikrát opakovat.

Prvním zásadním faktorem je THD zařízení budícího měřený signál. Původní zařízení vykazovalo samo o sobě v přímém zapojení spektrum viditelné na prvním průběhu obr. 5.7.1.

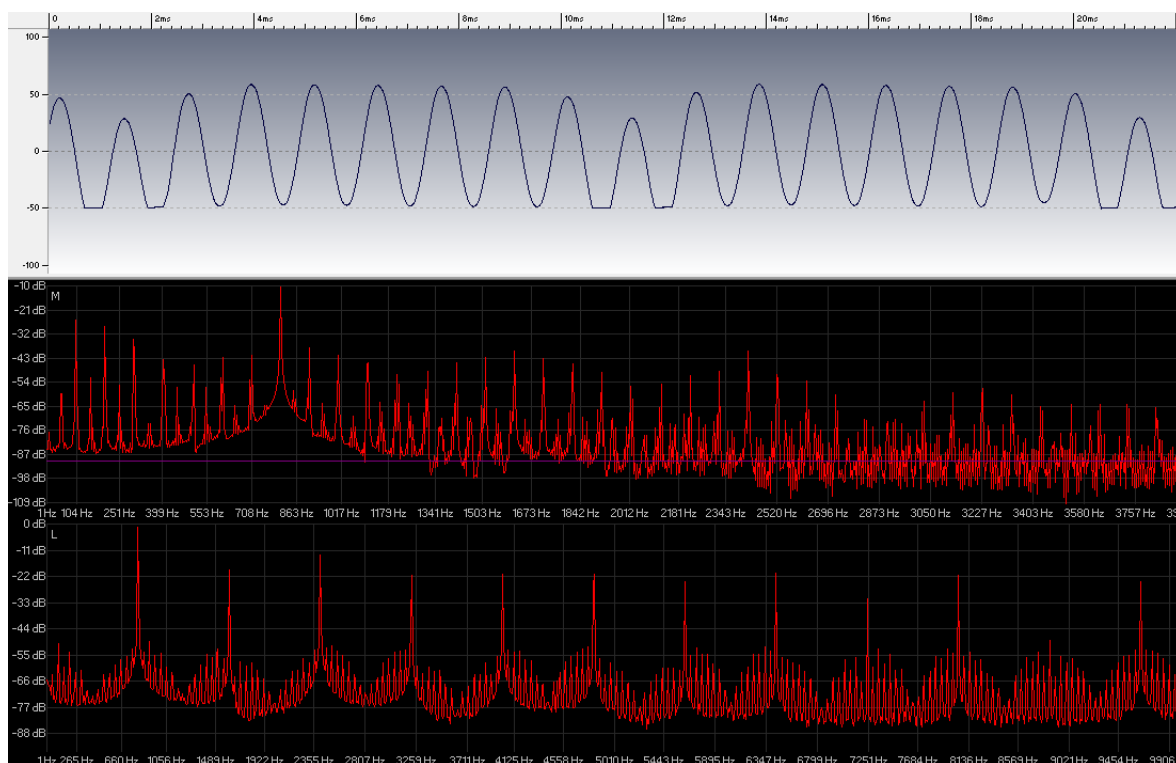
Následná dvě spektra níže jsou spektra tranzistorového a elektronkového průběhu na IV. stupni, která se v porovnání s výsledným obsahem v kap. 5.4 obr. 5.4.7 zásadně liší. Navzdory tendencím obdélníkového průběhu u tranzistorového zesilovače a tím nižší produkci sudých harmonických složek je patrné, že původní přítomné složky jsou pak zastoupeny ve stejné míře díky původnímu spektrálnímu obsahu nevhodného generátoru sinusového průběhu. Tento fakt lze brát jakožto potvrzení o produkci, nikoliv rušení harmonických složek v obou případech zesílení v limitaci jak elektronkové, tak tranzistorové techniky.



Obr. 5.7.1: Spektrum signálů nevhodného sinusového generátoru a následná spektra IV. stupně tranzistorového/elektronkového limitovaného zesílení

Jinou variantou znehodnocení může být kolísavé napájecí napětí, příp. síťové rušení, které se sice ve spektru při často měřeném signálu o frekvenci 1 KHz ve formě harmonické složky prakticky neprojeví, ale zásadně ovlivní jak průběh, tak výsledné spektrum. Bude-li nedostatečně vyhlazené napájecí napětí, dochází k oscilacím celkového průběhu signálu v časové doméně, které může mít za následek průběh viditelný na obr. 6.2.3. Výsledné spektrum pak i v případě nelimitovaného signálu zesilovačem obsahuje díky deformaci půlpln vyšší harmonické složky a vedlejší spektrální produkty. U zkresleného průběhu pak nastává

velké množství těchto vedlejších produktů, které nutně u tranzistoru v limitaci spektrum obsahovat nemusí dle měření této práce. Tyto průběhy je možno vidět rovněž na obr. 6.2.3 a neodpovídají opět výsledným spektrálním měření kap. 5.4.



Obr. 5.7.2: Spektrum oscilujícího sinusového průběhu a výsledné spektrum na IV. stupni nelimitovaného/limitovaného signálu u tranzistorového zapojení

Kapitola 6: Zvukové testy

Tato kapitola řeší otázky spojené se zvukovými testy. V úvodu je třeba zdůraznit, že s ohledem na rozsah práce a ekonomickou stránku je tato kapitola zpracována s ohledem na možnosti, nikoliv tak, že by se vycházelo z předmětu zkoumání a na jeho základě by se vybral postup řešení. To by znamenalo např. využití velkého sálu, hudebního souboru, opakování stejného vystoupení s různým technickým zajištěním atd., což je samozřejmě nereálné. Proto bylo základním úkolem vybrat takový segment hudebního vystoupení a jeho technického zajištění, který bude za daných možností realizovatelný a přitom bude dostatečně průkazný na potvrzení či vyvrácení výchozího tvrzení o odlišnosti obou způsobů realizace technického zabezpečení hudební produkce. Tomu je věnován první odstavec.

Druhý a třetí se pak věnují výběru typu hudebních ukázek. Čtvrtý odstavec je věnován programovému zabezpečení testu a popisu vytvořeného programového vybavení. Poslední odstavec pak shrnuje výsledky zvukových testů.

6.1 Návrh zvukových testů

Dle zdroje [44] by bylo nejpříjemnější zvukový test připravit dle metody tzv. „párového srovnávání“. Tato metoda je jednou z nejzákladnějších a pravděpodobně nejpropracovanějších metod pro subjektivní hodnocení zvukových podnětů vůbec. I přes profesionální charakter by bohužel tato metoda objektivně nepřinesla žádný užitek, neboť testovanými psychoakustickými veličinami jsou např. výška, barva, ostrost, drsnost, tónovost aj. což by vyžadovalo propracovanější produkční a studiovou realizaci na špičkové úrovni, pro větší smysluplnost větší počet respondentů a časovou dispozici k nutné přípravě. Zároveň by bohužel vyžadovalo nemalé finanční prostředky k dostatečnému technickému vybavení a prostorám, neboť testování kompletního zesilovače skýtá mnohá úskalí, která jsou zároveň mimo rozsah této práce.

V rámci této práce je test zaměřen především na rozpoznání rozdílu mezi oběma zesilovacími prvky a jejich kombinaci. Díky tomu nebude testování náročné na posluchače, tak jako zmiňované párové testy. Problematika okolo těchto testů spočívá především v rozsahu testování, což je časově náročné a dále ve formě nuceného výběru, aby testované subjekty v rámci únavy z délky testu, náhodně nevyplňovaly odpovědi. Tato problematika bude vyřešena velmi krátkým softwarovým vybavením pro určení, zdali posluchač slyší rozdíl

či nikoliv, s případnou volbou preference u čtyř variant zapojení (tranzistorový předzesilovač + elektronkový výkonový stupeň, celotranzistorový zesilovač atd.), při čtyřech blocích krátkých zvukových ukázek.

Je tedy třeba si uvědomit, že kvalitativní hodnocení v rámci této práce a tato případná volba preference v závislosti na rozpoznání rozdílu je jen okrajovou záležitostí.

6.2 Realizace zvukových testů

Testování posluchačů bude probíhat pomocí speciálně navrženého software (viz odst. 6.4). Oproti předešlé práci nebylo možno nahrávat všechny čtyři signálové cesty aparátů současně, navzdory tomu bylo dbáno na preciznost a bezchybnost kytarové hry při opakovaném nahrávání ukázek. Výsledkem záznamu signálu z každého zapojení budou hudebně identické nahrávky, které bude díky tomuto softwaru uživatel moci libovolně ve dvou přehrávačích přehrávat a porovnávat zvukový rozdíl při identickém kytarovém podání ve stejných časových úsecích.

V prvním zvukové ukázce proběhne testování samostatného čistého zvuku kytarového signálu pro všechny čtyři typy zapojení, v druhé opět samostatného, tentokrát však zkresleného signálu, v ukázce třetí a čtvrté opět čistého a zkresleného signálu společně s hudebním podkladem vždy pro šest kombinací zapojení těchto čtyř zesilovačů pro vzájemné porovnání.

6.3 Prosazení zvukového charakteru s hudebním podkladem

Poslední dvě zvukové ukázky budou tedy věnovány opět testování všech těchto typů zapojení v rámci čistého a zkresleného zvuku v rámci zmíněné prosaditelnosti mezi ostatními nástroji s hudebním podkladem.

Chování aparátu vůči ostatním nástrojům považuji za nedílnou součást testování, neboť velmi často dochází k zavádějícímu dojmu, kdy hráči mají pocit, že daný aparát jim plně vyhovuje a jeho zvukový charakter je zcela bezchybný. Mnohdy se stává, že i takto hodnocené aparáty jsou později v uplatnění nepoužitelné, protože se nejsou schopny zvukově prosadit vůči hudebnímu celku nebo jejich zvuková barva není tak příznivá, za jakou ji hudebník původně považoval.

Tato vlastnost bude tedy testována na celkem dvou ukázkách postavených na různém typu hudebních žánrů - na bluesovém bude testován čistý zvuk, pro rockový zvuk zkreslený.

6.4 Návrh programového vybavení

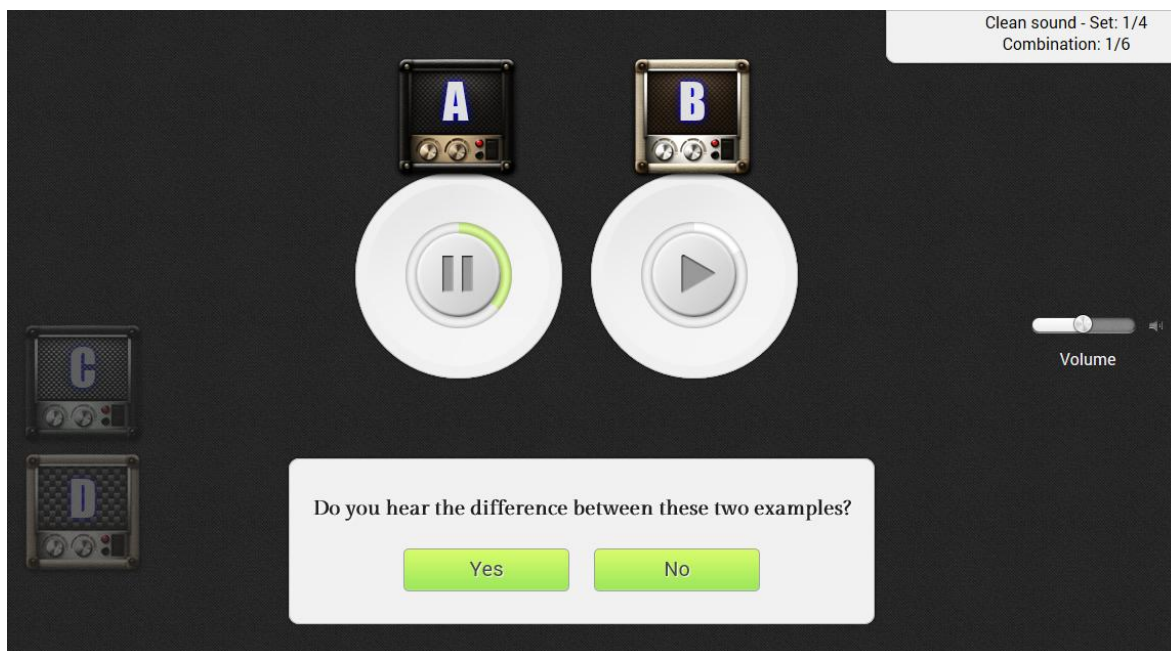
Pro účely této práce bylo speciálně navrženo testovací webové prostředí v technologii HTML5 za pomoci JavaScript knihovny JQuery pro animace a poutavější efektní vzhled a přehrávacím pluginem JPlayer s širokou podporou různých webových prohlížečů. Výsledky budou ukládány pomocí PHP skriptu v rámci technologie AJAX (asynchronní javascript) do MySQL databáze na server. Tato varianta byla oproti předešlé práci zvolena pro možnost testování respondentů mimo ČR v rámci širšího záběru posluchačů. Tito posluchači nebudou mít však oproti rovněž dostupné lokální offline verzi a jejím respondentům zajištěny stejné podmínky pro poslech a jsou spíše podpůrnou skupinou pro případné ověření.

Testovaný subjekt je veden jednoduchým a intuitivním navrženým programovým prostředím postupně přes všechny čtyři výše popsané zvukové ukázky v šesti kombinacích aparátu, tedy samostatně znějícím aparátem s čistým a zkresleným zvukem. Následující dvě ukázky mají opět stejné složení, tentokrát však společně přehrávané s hudebním podkladem z důvodu zjištění zmíněné prosaditelnosti daného zesilovače (viz odst. 6.3).

Tyto zvukové ukázky je možné přehrávat libovolně v každém testovacím bloku programu výběrem možnosti zvukové stopy (A / B, B/C apod. v závislosti na kombinaci), kde možnost A představuje celoelektronkové zapojení, volba B elektronkový předzesilovač a elektronkový výkonový zesilovač, C je celotranzistorovým zapojením a následně D opakem volby B – tedy tranzistorovým předzesilovačem a elektronkovým koncovým zesilovačem. Přehrávání je možné do té doby, dokud uživatel nezodpoví otázku, zda-li je mezi danou kombinací slyšitelný rozdíl, či nikoliv v dolní části grafického prostředí.

V průběhu přehrávání, jehož délka je tedy závislá na uživateli, si posluchač sám přehrává ukázky aparátů dané kombinace, tedy oběma hudebně totožnými nahrávkami zesilovačů s možností nastavení jemu optimální hlasitosti. Pro orientaci a možnost návratu k určitému místu ve zvukovém souboru je program rovněž vybaven ukazatelem pozice záznamu s možností přehrávání od určitého místa.

Přehrávání daného bloku končí po zodpovězení jednoduché otázky, zdali je mezi danými aparáty postřehnutelný zvukový rozdíl a případné volby preference mezi těmito aparáty. V případě, že posluchač označí rozdíl za nepostřehnutelný volbou „Ne“, následuje přechod do dalšího ukázkové kombinace (příp. bloku), v opačném případě je zpřístupněn box s otázkou volby preference, po jehož průchodu následuje rovněž další ukázka.



Obr. 6.4.1: Aplikace pro subjektivní testování

6.5 Statistické zpracování výsledků

Z hlediska povahy předloženého způsobu testování daných metod zpracování zvukového signálu byla vybrána odpovídající statistická metoda dle zdroje [45].

V našem případě hlasují respondenti vždy pro jednu ze dvou variant. To znamená, že náhodná veličina x_i , $i = 1, \dots, N$ nabývá pouze dvou hodnot, a to buď nula (nehlasují pro danou metodu) nebo jedna (hlasují pro danou metodu). Pro vyhodnocení porovnání metod je tedy třeba určit poměr všech hlasů pro danou metodu (tedy všech jedniček) k počtu všech respondentů. Pro odvození zavedeme následující proměnné:

$$\text{poměrná četnost } \mu = \frac{N_1}{N},$$

kde N je počet možných respondentů v celém souboru a N_1 je počet možných hlasů pro danou metodu. Při hlasování provádíme výběr ze skupiny N všech respondentů, označíme jej M . Počet skutečně odevzdaných hlasů pro danou metodu pak M_1 . Potom

$$\text{výběrová relativní četnost je } \hat{\mu} = \frac{M_1}{M},$$

Pro vyhodnocení je potřebné určit intervaly spolehlivosti.

Výběrový rozptyl odhadu $\hat{\mu}$ je roven

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_i - \hat{\mu}^2) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i^2 - \hat{\mu}^2 = \frac{M_1}{M} - \left(\frac{M_1}{M}\right)^2 = \frac{M_1}{M} \cdot \left(1 - \frac{M_1}{M}\right)$$

Koncové body intervalu spolehlivosti pak jsou dány (viz [])

$$I = \frac{M_1}{M} \pm \sqrt{\frac{N - M}{M \cdot (N - 1)} \cdot \frac{M_1}{M} \cdot \left(1 - \frac{M_1}{M}\right)} \cdot \mu\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Kde $\mu\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ je *kritická hodnota normálního rozdělení*. Pro hladinu 0.95 je kritická hodnota $\mu\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 1.96$.

Testy zachycují interval spolehlivosti pro výběrový soubor $N=96$, (vzhledem k 32 respondentům a 6 testům na jeden blok neboli kombinace 4 zesilovačů vzájemně porovnávaných) a $N=5000$ pro rozsah teoretického souboru při velikosti menší až středně velké haly zvukové produkce.

Původním záměrem při testování dvou skupin respondentů (se stejnými/odlišnými podmínkami k provedení testů) bylo samostatné vyhodnocení k porovnání obou skupin a potvrzení/vyvrácení rozdílů odlišných metod. Toto rozdělení vzniklo na základě možnosti testování většího okruhu lidí, především z cizích zemí a to z Estonska, Bulharska, Polska, Itálie, Finska a Brazílie, kde nebylo možné tyto respondenty testovat za zmíněných stejných podmínek. Vzhledem k tomu, že obě skupiny vykazovaly přibližně stejný výsledný charakter, došlo k jejich sloučení a společnému vyhodnocení, které bylo možné na základě stejně širokých konfidenčních intervalů.

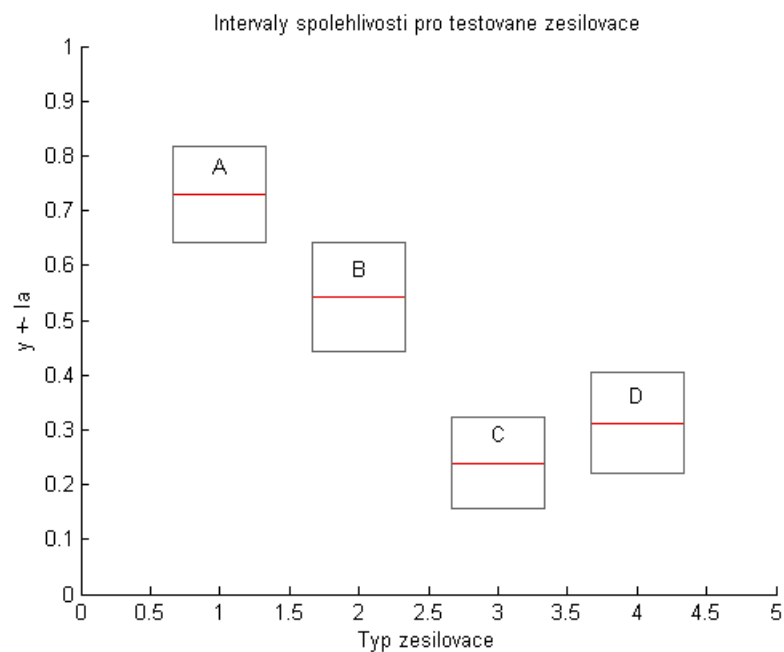
Výsledky tohoto statistického zpracování jsou uvedeny pro samostatný čistý zvuk na obr. 6.5.1, pro samostatný zkreslený zvuk na obr. 6.5.2, následné vyhodnocení pro čistý zvuk s hudebním podkladem na obr. 6.5.3 a pro zkreslený zvuk s hudebním podkladem na obr. 6.5.4. Označení typu zesilovače A/B/C/D je následující:

- A - elektronkový předzesilovač s elektronkovým koncovým stupněm
- B - elektronkový předzesilovač s tranzistorovým koncovým stupněm
- C - tranzistorový předzesilovač s tranzistorovým koncovým stupněm
- D - tranzistorový předzesilovač s elektronkovým koncovým stupněm



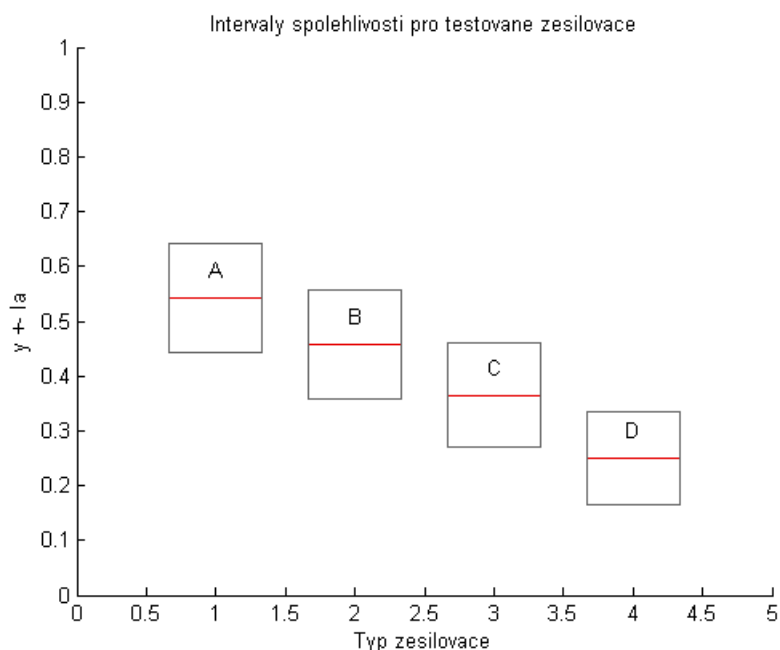
Obr. 6.5.1: Statistické výsledky preference pro čistý zvuk

Porovnáme-li jednotlivé výsledky kombinací všech typů zapojení, pak dle těchto výsledků v rámci čistého zvuku s danou statistickou pravděpodobností 95% celoelektronkový zesilovač *A* má v rámci preference jednoznačně dominující charakter nad zapojením tranzistorové předzesilovací části zesilovače *D*. Zesilovače typu *C* a *D*, stejně tak *A* a *B* nelze v tomto případě za dané statistické metody zhodnotit. Celkově se tyto dvě skupiny mohou zhodnotit jakožto odlišné.



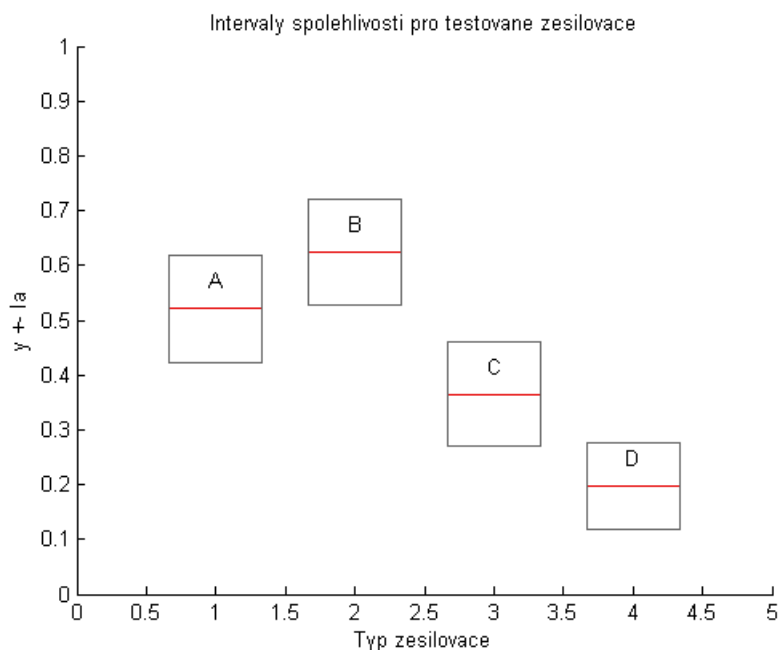
Obr. 6.5.2: Statistické výsledky preference pro zkreslený zvuk

Z hlediska zkresleného tónu je již rozdíl mnohem znatelnější. Zesilovač *A* opět ve výsledcích dominuje nad typem *D*, byť zapojením s elektronkovým výkonovým stupněm, jež odpovídá výsledkům měření harmonických složek, kde sudé harmonické složky nedosahují oproti lichým dostatečné amplitudy ani s elektronkovým koncovým stupněm. Největším rozdílem je zde typ *A* a *C*, tedy naprosto odlišné typy celoelektronkové a celotranzistorové zapojení. Na rozdíl od skupiny *C* a *D* u které z hlediska důvěryhodnosti 95% nelze opět určit rozdíl v preferenci, je již patrný rozdíl mezi zesilovačem *A* a *B*. Obě tyto skupiny se opět od sebe vzájemně liší.



Obr. 6.5.3: Statistické výsledky preference pro čistý zvuk s hudebním podkladem

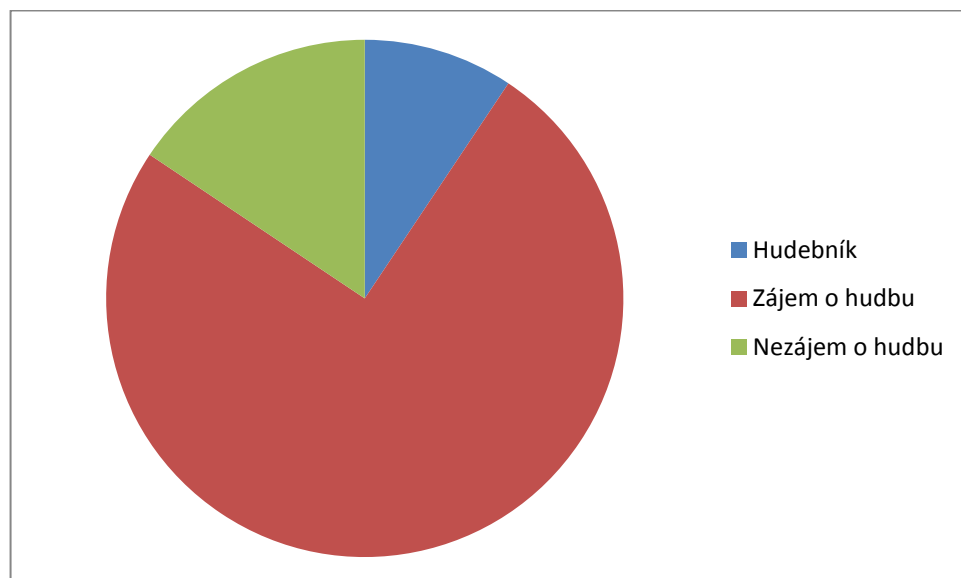
Rozdílnou roli oproti prvnímu testovacímu bloku hraje způsob produkce s hudebním podkladem. Díky tomuto způsobu zde oproti samostatnému testování pro čistý zvuk již charakter vyjma zesilovače *A* a *D* nelze určit. Jistou příčinou může být v tomto případě snížení pozornosti posluchačů díky ostatním hudebním nástrojům a celkové kompozici.



Obr. 6.5.4: Statistické výsledky preference pro zkreslený zvuk s hudebním podkladem

Oproti předešlému bloku čistého zvuku je mnohem výraznější rozdíl při zpracování opět zkresleného zvuku a to i s hudebním podkladem. Zde je dán tentokrát jednoznačný rozdíl mezi typem *B* a *D* (příp. *A* a *D*). Rozdíl zesilovače *C* je významnější proti zesilovači *D*, něco méně však již proti zapojení *A* a zesilovače *A* a *B* v tomto případě nelze z hlediska statistické preference rozeznat.

Kromě testování samotného rozdílu mezi typy zapojení a jejich preferenci byl rovněž analyzován vztah respondentů k hudební sféře. Výsledné složení je zobrazeno v grafu 7.1.



Graf 6.1 Zastoupení typu posluchačů

Kapitola 7: Zhodnocení výsledků

Zhodnocení výsledků můžeme rozdělit do dvou skupin. Jednak na hodnocení v oblasti rozboru signálu, dále na vyhodnocení orientačních poslechových testů.

V případě analýzy zaznamenaného signálu hudebního nástroje je konkrétní vyhodnocení v oblasti kmitočtové velmi obtížně popsitelné (spektrum signálu odst. 5.3). Z tohoto důvodu byl proveden rozbor signálu, který je popsán v odstavci 5.2 a 5.4. Z něj vyplývá, že rozdíl je zřetelný především pro limitovaný signál, jak v oblasti hodnocení časového průběhu signálu, tak ve frekvenční oblasti, kdy jsou rozdíly oproti nelimitovanému průběhu zřejmé a jasně patrné. Vysvětlení této problematiky je podrobně popsáno v odstavci 5.5.

Získané závěry v diferenci z hlediska frekvenčních charakteristik však nejsou v souladu s lit. [4] [8] [9] [15], ale v souladu s lit. [10] [17] na základě podrobného rozboru signálu a souvislosti s teorií signálu vč. zohlednění teorie hudební. Zároveň je však možné konstatovat, že tyto rozdíly jsou objektivně měřitelné a zřetelné.

Pokud jde o zvukové testy, výsledky jsou popsány v odstavci 6.5. I při relativně malém počtu účastníků testy jednoznačně prokazují znatelný zvukový rozdíl mezi danými typy zapojení jak u samostatných zvukových testů, tak u testů vč. zvukového podkladu, který vyplývá z hlediska volby preference, podmíněné potvrzením slyšitelného rozdílu.

Vlastní otázka byla těmito testy zodpovězena jednoznačně vč. stále současného trendu použití elektronkových kytarových aparátů. Provedená frekvenční analýza se ukázala jako velmi zajímavá a přínosná, neboť objasňuje příčiny těchto diferencí navzdory často mylným tvrzením.

Dále je třeba zdůraznit, že test zahrnoval širokou škálu účastníků od aktivních hudebníků, přes pravidelné posluchače až po „hudební laiky“. Navzdory tomu následná diskuse s těmito účastníky potvrdila všeobecné názorové roviny uvedené v úvodním odstavci 2.2, kdy posluchači hodnotili v limitaci elektronkový zesilovač za „plnější“ a „přirozenější“. Jejich celkový dojem, který potvrzují i frekvenční analýzy je větší brilance z hlediska tónového charakteru, při použití tranzistorového stupně pak charakter zvuku za mnohem „agresivnější“. V opačném případě byly tranzistorové aparáty hodnoceny jako méně výrazné, což opět odpovídá výsledkům frekvenčních charakteristik. Celkově je třeba poznamenat

závislost na žánrovém zaměření posluchače, od kterého se odvíjí jeho preference, neboť v mnohých případech byla tato volba podmíněna právě v rámci žánru hudebního podkladu.

Kapitola 8: Závěr

Práce je zaměřena jako mezioborová. Spojuje v sobě jak pohled ze strany hudebníků a posluchačů, tak i ryze technický pohled při řešení technické realizace zařízení i realizovaných testů. Její téma vychází z obecně diskutované otázky, zda použití elektronik nebo tranzistorů při elektronickém zpracování hudební produkce ovlivňuje, příp. jakým způsobem, výsledný hudební efekt. Při shromažďování podkladů se ukázalo, že tato otázka je diskutována nejen mezi hudebníky ať již přímo nebo na různých fórech, ale že k ní existuje i řada materiálů, často v podobě videa, které se s ní zabývají komplexněji a řeší třeba i technické otázky, různé formy zvukových testů apod.

Na základě toho byla práce zpracována se snahou o co nejkompaktnější pohled, který shrnuje různé pohledy na problém. Zjištění uvedená v této práci jsou mnohdy v rozporu s tvrzením zdrojů, které sice ověřují a ukazují existenci popisovaných rozdílů, ale takovými způsoby, které se v této práci nepotvrdily nebo ukázaly z hlediska teorie jako nesprávné.

Z pohledu dalšího využití práce by jistě bylo příjemné uvést standardní formulaci, že dále lze provést náročnější testy a precizněji uvedenou otázku řešit. S ohledem na charakter problematiky není zřejmě reálné, že by někdo takový výzkum podpořil potřebnými prostředky. I proto byla práce spíše orientována důrazně na komplexní pohled na řešenou problematiku a její další využití lze tedy předpokládat při řešení podobné analýzy, kdy poskytne návod přístupu a představu o náročnosti takové, na první pohled velmi jednoduché problematiky.

Zpracování problematiky zahrnovalo výběr technického vybavení, návrh a realizaci úprav vybrané hudební aparatury pro splnění zaměření práce, realizaci hudebních ukázek pro testy (jak jejich pořízení, tak technické zpracování v souladu s požadavky testů), návrh a realizaci programového vybavení pro testy, vlastní realizaci testů, jejich vyhodnocení (včetně následné diskuse s účastníky testů) a realizaci spektrální analýzy průběhu signálů a jeho charakteru.

Z hlediska autora práce byla pro mne zajímavá právě šířka problému a množství zpracovaných materiálů na toto téma. Původně jsem si téma vybral spíše s ohledem na svoji zájmovou oblast mimoškolní aktivity se zájmem o objasnění popisovaných rozdílů z technického hlediska. Zároveň jsem si během zpracování ověřil, že skutečně podrobné

zpracování problematiky (byť na první pohled triviální) je v tomto rozsahu vždy podstatně náročnější.

Použitá literatura a software

Literatura

- [1] *Tube Amps 1: Why Tube Amps?* [online video]. www.oldtonezone.com, 2009 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=Yc-78AKIo5A>
- [2] *Tube guitar amps vs solid state amplifiers pros and cons lesson* [online video]. www.nextlevelguitar.com, 2009 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=JBbnh7boFVA>
- [3] Mathis, J., *Tube verses solid state amps* [online]. Sky Blue Band, [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.skyblueband.net/TubesvsSS.htm>
- [4] *Tubes Vs. Solid State Amplification* [online video]. The Center for Music & Arts Entrepreneurship in association with Loyla University New Orleans, 2009 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=PbJ1GZMi_ho
- [5] O'Neal, M., *TUBES VS TRANSISTORS* [online]. Miles O'Neal, 1999 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.rru.com/~meo/Guitar/Amps/tvt-1.html>
- [6] *Which one is tube* [online video]. Paul Guiffrida, 2009 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=sCkr_i2ZyIM
- [7] *Audio Frequency Generator and Tubes-vs-Solid State Amps* [online video]. Chris Boden, 2010 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=eG41_nFbZwQ
- [8] Hamm, R. O., *Tubes Vs. Transistors, Is There An Audible Difference?* [online] Journal of The Audio Engineering Society, New York, 1972 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://milbert.com/Files/articles/TvsT/tstxt.pdf>
- [9] *Pritchard Amps* [online]. PRITCHARD AMPS., 2006 [vid. 8.3.2012] Dostupné z: http://www.pritchardamps.com/audio_myths.cfm
- [10] *Volume cranked up in amp debate* [online]. Brian Santo, 1994 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: http://www.trueaudio.com/at_eetjlm.htm

- [11] *Methods and ways to improve the quality of work of electronic system which processes signals of electromusical instruments* [online video]. Rovnyakov Oleg, 2009 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://masters.donntu.edu.ua/2009/kita/rovnyakov/diss/indexe.htm>
- [12] *Amplifier* [online]. Wikipedia, 2009 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Amplifier#Class_A
- [13] *Pentode* [online]. Wikipedia, 2009 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Pentode>
- [14] *Waves in Space* [online]. ArtificialTunes.com, 2011 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://artificialtunes.tumblr.com/post/8249542526/waves-in-space-part-1>
- [15] *Distortion. Even and odd order, high and low level* [online fórum]. CarAudioForum, 2010 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://caraudioforum.com/showthread.php?t=327693>
- [16] *Harmonic distortion* [online]. N.H.Crowhurst, 2009 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: http://www.vias.org/crowhurstba/crowhurst_basic_audio_vol2_075.html
- [17] *Soundwaves* [online]. Ben Harris, 2008 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.thedawstudio.com/Tips/Soundwaves.html>
- [18] *Marshall Cabinets* [online]. Jim Marshall Products LTD., 2002 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: http://www.marshallamps.de/service/downloads/Ext_Cab.pdf
- [19] *MOD.IT.YOURSELF PART 2: DIODE CLIPPING* [online]. Cubisteffects, 2010 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.cubisteffects.com/2010/01/mod-it-yourself-part-2-diode-clipping/comment-page-1/>
- [20] *Class A – Exposed & Explained* [online]. Randall Smith, 2005 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://mesaboogie.com/US/Smith/ClassA-WebVersion.htm>
- [21] *Katalogový list 12AX7EH* [online]. Electro-Harmonix, [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.drtube.com/datasheets/12ax7eh-ehx.pdf>
- [22] *Katalogový list 6L6GCJJ* [online]. JJ Electronic, [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.drtube.com/datasheets/6l6gc-jj2003.pdf>

- [23] *Katalogový list BF245A* [online]. Fairchild Semiconductor Corporation, 2003 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/276246.pdf>
- [24] *Katalogový list 2SK117* [online]. Toshiba Corporation, 2003 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.synthdiy.com/files/2008/2sk117.pdf>
- [25] *Katalogový list 2N3904* [online]. Fairchild Semiconductor Corporation, 2011 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/ds/2N/2N3904.pdf>
- [26] *Katalogový list 2N3906* [online]. Fairchild Semiconductor Corporation, 2010 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/ds/2N/2N3906.pdf>
- [27] *Katalogový list BC547A* [online]. Fairchild Semiconductor Corporation, 2002 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/ds/BC/BC547.pdf>
- [28] *Katalogový list MJ3001, MJ2501* [online]. Premier Farnell., 2005 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/314701.pdf>
- [29] *Katalogový list MJ11015, MJ11016* [online]. Semiconductor Components Industries, LLC., 2008 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MJ11012-D.PDF
- [30] *Elektrické schéma předzesilovače JCM800 2203* [online]. Jim Marshall Products LTD., 1988 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://drtube.com/schematics/marshall/2203prem.gif>
- [31] *Elektrické schéma koncového zesilovače a napájení JCM800 2203* [online]. Jim Marshall Products LTD., 1988 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://drtube.com/schematics/marshall/1987pwrn.gif>
- [32] *Elektrické schéma zesilovače Master Lead Combo 5010* [online]. Jim Marshall Products LTD., 1988 [vid. 18.5.2014] Dostupné z: <http://drtube.com/schematics/marshall/5010.gif>
- [33] *Elektrické schéma JCM800 Emulátor* [online]. Electric, 2004 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://img391.imageshack.us/img391/2073/jcm800emulator5nw.jpg>
- [34] *JCM 800 2203 Owners Manual* [online]. Jim Marshall Products LTD., 2002 [vid. 8.5.2014] Dostupné z: <http://www.marshallamps.com/wp-content/uploads/2013/08/JCM800-2203-hbk.pdf>

- [35] *Příručka a specifikace Marshall JCM800 2203, Marshall 5010* [online]. Jim Marshall Products LTD., 1988 [vid. 8.5.2014] Dostupné z:
<http://www.drtube.com/schematics/marshall/jcm800-mv-ld-manual.pdf>
- [36] *Katalogový list EMG81, EMG85* [online]. EMG INC., 2009 [vid. 8.5.2014] Dostupné z:
http://www.emgpickups.com/media/productfile/h/ /h_0230-0106d.pdf
- [37] *Katalogový list SHURE SM57* [online]. Shure Incorporated, 2014 [vid. 8.5.2014]
 Dostupné z: http://cdn.shure.com/specification_sheet/upload/81/us_pro_sm57_specsheet.pdf
- [38] *Katalogový list SHURE KSM32* [online]. Shure Incorporated, 2014 [vid. 8.5.2014]
 Dostupné z: http://cdn.shure.com/specification_sheet/upload/35/us_pro_ksm32_specsheet.pdf
- [39] *Manuál Soundcraft Spirit Live 4* [online]. Soundcraft Electronics Ltd., 1992 [vid. 8.5.2014] Dostupné z:
http://www.soundcraft.com/downloads/fetchfile.aspx?cat_id=user_guides&id=696
- [40] *Specifikace RME FIREFACE 800* [online]. Audio AG, 2014 [vid. 8.5.2014] Dostupné z:
http://www.rme-audio.de/en_products_fireface_800.php
- [41] Němec, L., *Subjektivní hodnocení zvuku*. Praha: FEL ČVUT, 2012
- [42] Štefl, V. *Rocková kytara I*. 2. vydání. Praha: MUZIKUS, 2001. ISBN: 80-86253-11-2
- [43] Štefl, V. *Rocková kytara II*. Praha: MUZIKUS, 2003. ISBN: 80-86253-25-2
- [44] Melka, A. *Základy experimentální psychoakustiky*. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 2005. ISBN: 80-7731-043-0
- [45] Meloun, M., Militký, J. *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-1008-4
- [46] *Fender amplification* [online]. Fender Musical Instruments [vid. 8.5.2014] Dostupné z:
<http://www.fender.com>
- [47] *Marshall amplification* [online]. Jim Marshall Products LTD. [vid. 8.5.2014] Dostupné z:
<http://www.marshallamps.com>
- [48] *MesaBoogie amplification* [online]. Mesa Engineering. [vid. 8.5.2014] Dostupné z:
<http://www.mesaboogie.com>

Software

Steinberg Soft- und Hardware, GmbH. *Wavelab 6* [software]. 2012

Steinberg Soft- und Hardware, GmbH. *Cubase 5* [software]. 2012.

The MathWorks, Inc. *Matlab R2014a* [software]. 2014