

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Konstrukce efektu pro elektrofonickou kytaru**

**vedoucí práce: Ing. Jan Hrubý  
autor: Bc. Jan Neubauer**

**2012**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2011/2012

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

Jméno a příjmení: Jan NEUBAUER  
Osobní číslo: E10N0122P  
Studijní program: N2612 Elektrotechnika a informatika  
Studijní obor: Komerční elektrotechnika  
Název tématu: Konstrukce efektu pro elektrofonickou kytaru  
Zadávací katedra: Katedra technologií a měření

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte možnosti obvodových řešení daného typu efektu.
2. Navrhněte dané zařízení.
3. Zařízení realizujte a ověřte jeho parametry.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Hrubý**  
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**  
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**

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



  
Doc. Ing. Vlastimil Štořil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce se zabývá návrhem a realizací efektu pro elektrofonickou kytaru. V první části je zaměřena na teoretický rozbor jednotlivých součástí bloků. Následuje realizace samotného efektu s kompletními výpočty.

## **Klíčová slova**

Kytarový efekt, operační zesilovač, univerzální filtr

## **Abstract**

This thesis deals with design and implementation of an effect for electric guitar. The first part focuses on the theoretical analysis of the individual parts of blocks. It follows in the implementation of the effect with complete calculations.

## **Key words**

Guitar effect, operational amplifier, universal filter

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V Plzni dne 11/5/2012

Jan Neubauer

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Hrubému za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>10</b>
<b>1 FYZIKÁLNÍ PRINCIPY HUDEBNÍCH NÁSTROJŮ .....</b>	<b>11</b>
1.1 VNÍMÁNÍ ZVUKU.....	11
1.2 VYTVÁŘENÍ TÓNŮ V HUDEBNÍCH NÁSTROJÍCH.....	12
1.3 OBALOVÁ KŘIVKA .....	13
<b>2 KYTAROVÉ EFEKTY .....</b>	<b>15</b>
2.1 HISTORIE .....	15
2.2 OBECNÝ POPIS .....	16
2.3 ZKRESLOVACÍ EFEKTY .....	16
2.4 MODULAČNÍ EFEKTY .....	17
2.4.1 Modulační efekty pracující se změnou frekvenční charakteristiky.....	17
2.4.2 Modulační efekty, které nemění frekvenční charakteristiku .....	18
2.5 NAPÁJENÍ EFEKTŮ.....	19
<b>3 BLOKOVÉ SCHÉMA.....</b>	<b>20</b>
<b>4 RC ČLENY.....</b>	<b>21</b>
4.1 DOLNÍ PROPUST .....	22
4.2 HORNÍ PROPUST .....	23
4.3 REALIZACE RC ČLENŮ.....	24
<b>5 OPERAČNÍ ZESILOVAČE.....</b>	<b>26</b>
5.1 DĚLENÍ ZESILOVAČŮ.....	26
5.2 NEINVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ.....	26
5.3 NAPĚŤOVÝ SLEDOVAČ.....	27
<b>6 UNIVERZÁLNÍ FILTR.....</b>	<b>29</b>
6.1 REALIZACE UNIVERZÁLNÍHO FILTRU .....	31
<b>7 DIODOVÉ OMEZOVAČE.....</b>	<b>40</b>
7.1 SOFT CLIPPING .....	40
7.2 HARD CLIPPING.....	40
<b>8 KOREKTORY .....</b>	<b>46</b>
<b>9 SCHÉMA.....</b>	<b>53</b>
9.1 SEZNAM SOUČÁSTEK .....	53
9.2 NAVRŽENÉ DESKY PLOŠNÉHO SPOJE .....	54
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>55</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>56</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>1</b>



## Úvod

Kytarové efekty jsou elektronické obvody, ve kterých je měněn zvuk elektrofonických nebo elektroakustických hudebních nástrojů. Efekty se můžeme rozdělit na dvě skupiny – zkreslovací a modulační. Zkreslovací efekty signál zdeformují, například ořezají špičky. Na druhou stranu modulační efekty signál upraví tak, že změní frekvenční charakteristiku nebo přidají jeho zpožděné kopie. Pro nás jsou důležité zkreslovací efekty.

Efekty se vyrábějí v mnoha provedeních. Bývají integrované v kytarovém zesilovači, jako počítačový software, nebo v multiektu. Zvuk, jaký efekt vydává, se mezi muzikanty často nazývá různě, například tube overdrive, delay nebo distortion.

Na zvuk, jaký bude efekt vydávat, má vliv mnoho prvků. Snímače na elektrické kytáře přivádějí do efektu vstupní signál o určité úrovni. Koncový zesilovač musí být schopen signál zesílit bez zkreslení již zkresleného signálu nebo potlačení jeho složek. U agresivních zkreslení dochází k velkému přebuzení zesilovače a výsledný zvuk již není čitelný .

Ve své diplomové práci se zabývám využitím různých filtrů a vlivem na signál při různém složení součástek. První část diplomové práce je věnována zvuku a hudebním nástrojům. Dále jsou rozebírány jednotlivé bloky zapojení a navržené velikosti součástek jsou ověřeny pomocí simulace v programu Tina. V poslední části jsou součástky sepsány a navrženy desky plošného spoje pro celý obvod.

## **Seznam symbolů a zkratk**

OZ – operační zesilovač

LFO – Low-frequency Oscillator – nízkofrekvenční oscilátor

DP, HP, PP - filtr typu dolní, horní a pásmová propust

$f_m$  - mezní kmitočet

Q - činitel jakosti

A - amplituda

FET - tranzistor řízený elektrickým polem

MIDI - elektronický komunikační protokol používaný v hudbě

PC - osobní počítač

EQ - ekvalizér

VA - volt-ampérová

LED - dioda emitující světlo

SVF – univerzální filtr

# 1 Fyzikální principy hudebních nástrojů

## 1.1 Vnímání zvuku

Zvukem rozumíme kmitavý pohyb hmotného prostředí (nejčastěji vzduchu), který jsme v určitém kmitočtovém rozmezí schopni vnímat sluchem. Pokud jsou tyto kmity neperiodického charakteru, pak je vnímáme jako hluk. Naopak při periodickém kmitání vznikají hudební zvuky příjemné pro naše ucho. U tónů rozlišujeme tři základní vlastnosti: výšku, intenzitu a barvu.

Absolutní výška tónu je definována kmitočtem  $f$  daného tónu. V hudbě používáme kmitočty v rozmezí od 16 Hz do 16 kHz. Relativní výška tónů měřená poměrem jejich kmitočtů se nazývá interval. Důležité jsou ty, které lze vyjádřit poměrem celých čísel; interval dvou tónů, jejichž poměr kmitočtů je 2 : 1, se nazývá oktáva. V praxi se kmitočtový rozsah rozděluje na 10 oktáv. V rozsahu jedné oktávy můžeme vytvořit tónovou řadu nazývanou stupnice.

Intenzita zvuku  $I$  je časová střední hodnota měrného akustického výkonu a definujeme ji jako akustickou energii, která projde jednotkou plochy kolmou na směr šíření zvuku na jednotku času

$$I = \frac{N}{S} \quad [\text{W/m}^2; \text{W}; \text{m}^2] \quad (1)$$

kde  $N$  je měrný akustický výkon a  $S$  plocha. Pro přehlednější a objektivní měření zvuku se zavádí logaritmické měřítko a definuje se hladina akustické intenzity

$$L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}; \text{W/m}^2; \text{W/m}^2] \quad (2)$$

kde  $I_0$  je prahová intenzita;  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  při  $f = 1 \text{ kHz}$ . Hladina akustické intenzity je fyzikální veličina, která není obecně totožná se subjektivní intenzitou zvukového vjemu.

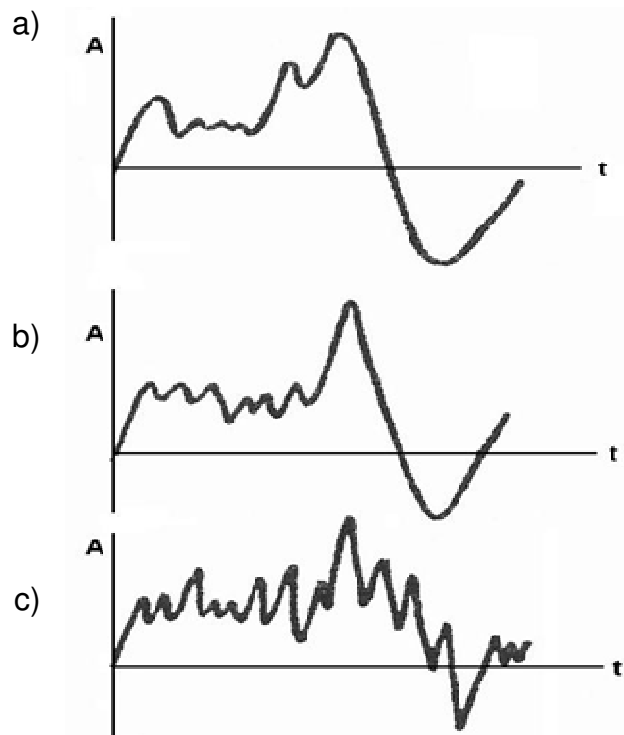
Hudební nástroje vydávají tónové průběhy, které jsou obecně periodické a nesinusové. Každý periodický průběh lze pomocí Fourierovy harmonické analýzy rozložit na řadu harmonických (sinusových) složek, lišících se navzájem amplitudou a fází. Barva zvuku závisí právě na počtu vyšších harmonických a na velikosti jejich

amplitud. Čím vyšší harmonické složky jsou ve složeném tónu obsaženy a čím větší je jejich intenzita, tím ostřeji daný tón zní.

## 1.2 Vytváření tónů v hudebních nástrojích

U většiny hudebních nástrojů se na vytváření znějících tónů podílí vlastní zdroj kmitů a vhodný rezonátor. U strunných nástrojů představuje struna nástroje soustavu kmitajících bodů upevněnou na obou koncích. V koncových bodech se vytvářejí uzly, mezi nimiž vznikají jedna, dvě, tři, atd. půlvlny, které se odpovídajícím způsobem podílejí na zabarvení tzv. čistého zvuku kytary [8].

Struna může vytvářet kromě základní frekvence  $f$  i další harmonické složky  $2f$ ,  $3f$ ,  $4f$  a další. Pokud rozechvějeme strunu uprostřed, vznikají pouze liché harmonické kmitočty. Umístění kytarového snímače v různých vzdálenostech od koncového bodu (kobyly) má podstatný vliv na harmonické složení výsledného průběhu tónu. Na obr. 1.1 jsou časové průběhy totožných tónů. Každý průběh je generován jiným snímačem. Průběh a) je generován snímačem umístěným u krku kytary (v  $1/4$  délky struny), b) snímačem umístěným uprostřed (v  $1/8$  délky struny), c) snímačem umístěným u kobyly (v  $1/16$  délky struny).



Obr. 1.1 Časové průběhy [10]

Elektrofonická kytara, stejně jako jiné typy elektrofonických nástrojů, bývá vybavena tzv. kytarovým snímačem. Jedná se o mechanicko-elektrický měnič signálu. U elektrofonické kytary vznikají drnkáním mechanické kmity strun odpovídající daným hudebním tónům, ty jsou snímačem přeměňovány na elektrický signál.

Existují tyto základní druhy měničů:

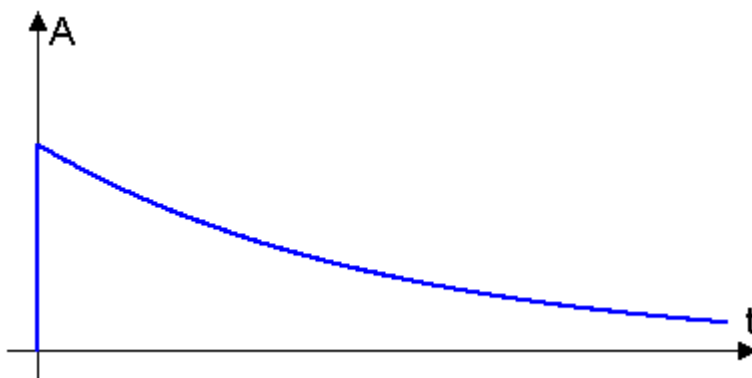
- elektromagnetické
- elektrostatické
- piezoelektrické
- fotoelektrické

Pro elektrofonické kytary jsou v praxi využívány téměř výhradně měniče elektromagnetické, pokud tedy máme na mysli kytaru elektrofonickou v klasickém slova smyslu, jejíž základní konstrukční uspořádání se prakticky nezměnilo od padesátých let. Výjimku tvoří tzv. midi snímače používané v kombinaci se syntetizérem. Tyto snímače využívají piezoelektrického jevu. Princip elektromagnetického snímače je založen na magnetickém indukčním zákonu [10].

### 1.3 Obalová křivka

Časový průběh obalové křivky strunných drnkacích nástrojů má exponenciální průběh, bývá nazýván jako tzv. perkusivní. Tento typ průběhu obalové křivky je důsledkem chvění struny, jež představují mechanické tlumené kmity. Průběh obalové křivky má strmé nasazení (blížící se funkci  $x = 0$ ). Doznívání probíhá exponenciálně, jak ilustruje obr. 1.2 a vztah (3). Jedná se o mechanický přechodový děj a je zde jistá analogie s přechodovými ději elektrickými.

$$A_{(t)} = ke^{t\lambda} \quad \text{pro: } \lambda = -\frac{1}{\tau} \quad (3)$$



Obr.1.2 Obalová křivka

Příčemž  $A$  znamená amplitudu mechanických kmitů (a jim přímo úměrných kmitů elektrických na výstupu snímače), konstanta  $k$  reprezentuje počáteční podmínky rovnice, tedy počáteční výchylku struny, a písmeno  $\tau$  má význam časové konstanty, tedy udává jistou informaci o délce tónu. Proměnná  $t$  představuje čas, běžně tento přechodový děj trvá několik sekund [10].

## 2 Kytarové efekty

### 2.1 Historie

Počátky kytarových efektů jsou spojeny s firmami jako Fender, Marshall, Vox a několik dalších. V 50. letech 20. století se objevují jedny z prvních efektů zvaných delay, které obsahují elektronky a obsahují pásková echa (obr. 2.1). Páskové echo je zjednodušený název pro přístroj, který vytváří simulované ozvěny pomocí záznamu na zmagnetovatelný materiál, obvykle magnetofonový pásek. Používá se právě především v kombinaci s elektrofonickými nástroji. Efektu vytvořenému tímto přístrojem se říká Delay nebo Echo [6].

V 60. letech se objevují efekty typu fuzz osazené především germaniovými tranzistory (křemíkové polovodiče byli dostupné později). Další efekt, který byl vyvinut v této době, je wah-wah neboli „kvákadlo“. V roce 1968 je založena společnost Electro-Harmonix. Ta přišla na trh s efektem zvaným booster. Tyto efekty nevídaným způsobem zkreslovaly signál, přidávaly sustain a vyšší harmonické vlny.

Na začátek 70. let se datují slavné phasery (MXR Phase 90). Firma Electro-Harmonix, která tyto efekty vyráběla, v té době údajně nestíhala výrobu. Roku 1971 je uveden proslulý booster The Big Muff B. Tento fuzz měl výborný dozvuk, krémový zvuk a používali jej třeba Carlos Santana nebo David Gilmour. Tento efekt zřejmě vznikl náhodou, když konstruktéři někde udělali chybu. Na trh se dostávají tranzistory FET, které mají lepší parametry než starší bipolární tranzistory (velký vstupní odpor, menší šum, větší proud mezi emitorem a bází, atd.). Důležité jsou především při miniaturizaci efektů. S tím přímo souvisí rozmach operačních zesilovačů vyráběných již v 60. letech, ale původně určených pro výpočetní techniku té doby.

V polovině 70. let se objevují modulační efekty chorus a flanger, digitální echo a reverb. Roku 1982 je definován formát MIDI a přelom 80. a 90. let pak přináší vše, co známe dodnes. Na rozdíl od zesilovačů, kde jsou stále používány elektronky, jsou u efektů téměř jednoznačně polovodiče. Na začátku nového tisíciletí se spolu s rozvojem PC objevují softwarové efekty [7].



Obr. 2.1 Páskové echo (Roland RE-201) [6]

## 2.2 Obecný popis

Zde si rozebereme některé skupiny zkreslovacích a modulačních efektů, jejich představitele a způsob úpravy vstupního signálu. Všechny tyto kytarové efekty se vyrábějí jako samostatné krabičky, které je možno řadit sériově za sebe a přepínat mezi nimi během hraní. Samostatné efekty se realizují pomocí desky plošných spojů, kde se signál upravuje analogově pomocí polovodičových součástek a operačních zesilovačů. Další možnost realizace jsou tzv. multiefekty, kde se zvuk upravuje digitálně pomocí mikroprocesoru. Tyto multiefekty zpravidla obsahují celou škálu efektů, ale mezi muzikanty nejsou často oblíbené kvůli výslednému chemickému zvuku [3].

## 2.3 Zkreslovací efekty

Fungují na principu změny průběhu sinusoidy.

### OVERDRIVE

Efekt napodobující teplé přirozené zkreslení lampových aparátů, původně navržený pro tranzistorové aparáty, ale své uplatnění našel paradoxně převážně k



„nastartování“ lampových zesilovačů. Má obvykle menší, kulatější a teplejší zkreslení než distortion. Vyskytuje se v kombech, samostatných efektech a multiefektech. Některé overdrivy míchají zkreslený signál s čistým a některé zkreslují jako lampy. Jde o poměrně jemnou úpravu sinusoidy, křivce se pouze více zakulatí vrcholy. Tato úprava je většinou řešena pomocí kondenzátorů [4].

## DISTORTION

Tvoří agresivnější zkreslení s delším sustainem než overdrive. Některé distortiony mají ještě ekvalizér. Vyskytuje se většinou v kombech, samostatných efektech a multiefektech. Signál více komprimuje, sinusoidě je vlastně uříznuta špička. Kvůli výrazné limitaci signálu je třeba pro zachování přirozeného zvuku dobře nastavit úroveň zkreslení. Ke zkreslení signálu se většinou využívají tranzistory bipolární i unipolární [3].

## FUZZ

Produkuje velmi specifický, tlustý a nezaměnitelný tón. Před zkreslením se signál ještě zesílí pro dosažení opravdu velkého zkreslení. Byl vytvořen za účelem napodobení zvuku přebuzeného zesilovače zapojeného do boxu s potrhaným reproduktorem. Údajně málo z fuzzů je opravdu kvalitních a je velmi těžké mezi nimi najít nějaký skutečně dobrý. Fuzz sinusoidu místy řeže a místy zesiluje, aby se modifikovala do přibližně čtvercového tvaru. Využívá pro řešení celou škálu tranzistorů a operačních zesilovačů. Každý výrobce využívá různé postupy, a tak výsledné zvuky mají často úplně odlišný charakter.

## 2.4 Modulační efekty

### 2.4.1 Modulační efekty pracující se změnou frekvenční charakteristiky

#### EKVALIZÉR

Zkráceně EQ, slouží ke zvýraznění nebo naopak potlačení některých frekvenčních pásem, většinou se používá výraz graphic equalizer. Umožňuje nastavovat hlasitost frekvencí v několika pásmech. V každém pásmu můžete zvolit zesílení/zeslabení v decibelech (většinou  $\pm 12 - 20$  dB), navíc EQ obsahuje i potenciometr pro ovládání celkové výstupní hlasitosti. Ekvalizér obsahuje v různých podobách přímo zesilovač, ale ten bývá maximálně pěti pásmový [4].

## FLANGER

Charakter zvuku efektu je dán přimícháním rozladěné a časové zpožděné kopie k původnímu signálu. Hlavním prvkem flangeru je zpožďovací článek s rozsahem mezi 1 – 10 ms. O řízení tohoto efektu se stará LFO. Ten kmitá řádově v jednotkách Hz. Běžný rozsah je mezi 0,5 až 3 Hz. Průběh lze měnit, častý bývá pilový nebo sinusový. Do obvodu je také zavedena zpětná vazba, která je důležitá pro výsledný „plechový“ charakter zvuku efektu. Zpožděný signál má posunutou fázi a dochází k interferenci se vstupem. Celý obvod vykazuje hřebenovitou frekvenční charakteristiku [7]. Ve spojení s čistým zvukem produkuje krystalicky akustický zvuk a ve spojení s distortionem produkuje zajímavý metalový zvuk.

## PHASER

Tento efekt k signálu přidá jeho fázově posunutou kopii (posune se sinusoida průběhu signálu), takže se navzájem překrývají. Tyto fáze jsou navíc posunuty směrem nahoru či dolů (co se výšky tónu týče). Zvuku docílíme průchodem signálu obvodem, který má hřebenovou frekvenční charakteristiku. Ta vykazuje útlum na vybraných pásmech.

Periodickým pohybem těchto pásem pak získáme žádoucí efekt. Základní částí phaseru je širokopásmový filtr. Tento filtr nemění amplitudu, ale otáčí fázi a to v závislosti na frekvenci vstupního signálu. V praxi to znamená, že dochází ke zpoždění signálu, a to tím více, čím vyšší je jeho frekvence. Lidské ucho otáčení fáze nevnímá. Ke slyšitelné interferenci dojde až při smíchání původního signálu se signálem na výstupu filtru [7].

### **2.4.2 Modulační efekty, které nemění frekvenční charakteristiku**

#### DELAY

Delay je opakování tónu se stejnou časovou prodlevou za sebou. Vytváří zpožděnou kopii původního signálu. Je zde velký rozdíl mezi analogovými a digitálními delay efekty. U analogových se čas zpoždění pohybuje maximálně do několika stovek milisekund, digitální jsou schopny dosáhnout zpoždění i několika sekund. Efekt delay lze nalézt v několika variantách (single delay, dynamic delay, dual delay, tape delay).

## REVERB

Někdy se používá označení hall, jde o jeden z nejčastěji užívaných efektů, má ho zabudovaný mnoho komb a zesilovačů. Reverb dodává zvuku na prostorovosti, výsledkem je dojem, jako by se hrálo ve velké místnosti [4]. Algoritmus reverbu se snaží napodobit jeho odezvu na jednotkový impulz. V praxi se používá kombinace různých filtrů. Jeden ze základních algoritmů využívá hřebenových a širokopásmových filtrů. Vstup jde nejprve do čtyř paralelně zapojených hřebenových filtrů. Ty vytvářejí blízké odrazy. Každý z nich zpožďuje signál s jinou hodnotou a tím napodobují zvuk místnosti. Poté jsou výstupy smíchány a signál jde do dvou v sérii zapojených širokopásmových filtrů. První spojuje zpožděné signály a druhý přidává pocit vzdálených odrazů.

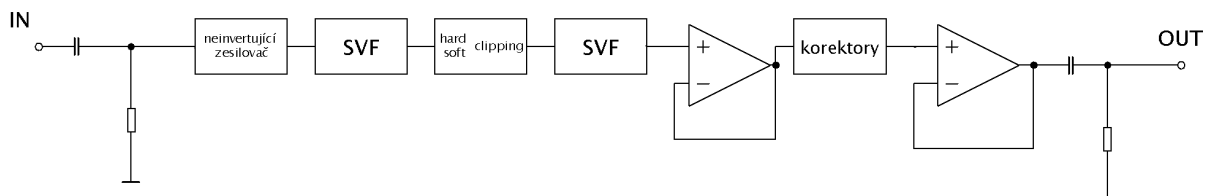
### 2.5 Napájení efektů

Pro správnou funkci efektu je třeba dodat elektrický proud. Toho můžeme docílit několika způsoby. Nejjednodušší je použití klasické 9V baterie, nevýhodou však je, že se po čase vybije, což u některých efektů vadí.

Spolehlivějším způsobem je napájení pomocí adaptérů. Efekty většinou nejsou náročné na odběr proudu, řádově stačí desítky mA. Pokud máme více efektů, je výhodné napájet efekty z jednoho zdroje, v případě že nemají efekty rozdílné požadavky. Je možnost nechat vést z jednoho adaptéru více kabelů pro několik efektů. Nevýhodou tohoto řešení je vznik zdvojeného uzemnění (jedno přes signálové kabely, druhé přes napájecí kabely), které může mít vliv na vznik ruchů. Vhodné je napájení rozdělit a jednotlivé zdroje galvanicky oddělit, ale tyto zdroje jsou však dražší [4].

### 3 Blokové schéma

Blokové schéma kytarového efektu je znázorněno na obr. 3.1. Vstupní signál je přiveden na filtr typu dolní propust. Tato dolní propust slouží k oddělení stejnosměrné složky na vstupu. Za tímto filtrem je zapojen neinvertující zesilovač, který slouží k impedančnímu přizpůsobení obvodu, a dále je třeba dostatečně velká impedance. Dále se skládá z horní propusti realizovanou pomocí state variable filter. Zařazením tohoto obvodu slouží k odfiltrování některých vyšších harmonických frekvencí. Vstupní filtr je nastaven na kmitočtový rozsah elektrofonické kytary. Tento filtr typu horní propust je sestaven pomocí SVF. Výstup je zaveden na omezovače amplitudy složených z různých typů diod. Průběh VA charakteristik diod určuje průběh signálu, tedy i zvukovému zabarvení. Poté znovu na SVF. Druhý SVF je naladěn na mezní frekvenci 7kHz, což je horní mezní kmitočet kytarového reproduktoru a nyní je typu dolní propust. Kvůli impedančnímu přizpůsobení a buzení korektorů jsou dále zapojeny sledovače. Poslední blok představuje opět filtr typu dolní propust z důvodu stejnosměrnému odrušení. Bloky jsou podrobně rozebrány dále. Kompletní schéma s vypočtenými hodnotami součástek nalezneme v příloze A a B.



Obr. 3.1 Blokové schéma kytarového efektu

## 4 RC členy

Mezi nejjednodušší RC členy patří tzv. poločlánky, které jsou složeny z odporu a kondenzátoru, proto se nazývají RC členy. Jedna z těchto součástí je vždy zařazena v sérii a druhá paralelně k výstupu členu. Složitější členy obsahují rezistorů a kondenzátorů několik např. Wienův článek, T článek, aj. Mezi poločlánky patří dolní propust, která propouští nižší kmitočty a vyšší zadržuje. Horní propust pracuje přesně naopak, zadržuje nižší kmitočty a vyšší propouští.

Určující kmitočet je tzv. mezní kmitočet. Při tomto kmitočtu dojde ke zmenšení zisku o 3 dB, označovaný většinou  $f_M$  popř.  $f_0$ ,  $f_D$ ,  $f_C$ . To znamená, že v tomto okamžiku je na výstupu propusti napětí  $1/\sqrt{2}$  x menší než na vstupu. Klesne tedy na 0,707 hodnotu vstupního napětí. Od hodnoty  $f_M$  (-3dB) se přenos mění se strmostí - 20 dB/dekádu.

Vztah pro určení mezního kmitočtu pro danou propust:

$$f_M = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (4)$$

Strmost je dalším důležitým parametrem, který se udává v -dB/dekádu. Posuzuje se od hodnoty přenosu -3 dB. Od této velikosti zisku výstupního napětí z příslušné propusti musí klesat nebo růst v souladu s určitou strmostí. Dekáda znamená kmitočet 10x vyšší nebo 10x nižší, než kmitočet mezní.

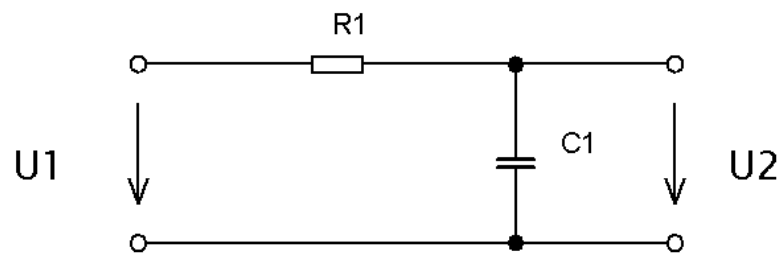
Současně se změnou zisku se posouvá výstupní napětí oproti vstupnímu. Tento posuv se nazývá fázový a označuje se  $\varphi$  a udává se ve stupních.

Výpočet zisku:

$$A_U = 20 \cdot \log \frac{U_{IN}}{U_{OUT}} [-dB] \quad (5)$$

## 4.1 Dolní propust

Tento článek propouští stejnosměrné napětí a nízké kmitočty. Při kmitočtu o dekádu nižší je  $\varphi = 0^\circ$ . Při kmitočtu o dekádu vyšší je  $\varphi = 90^\circ$ . Schéma zapojení je na obr. 4.1.

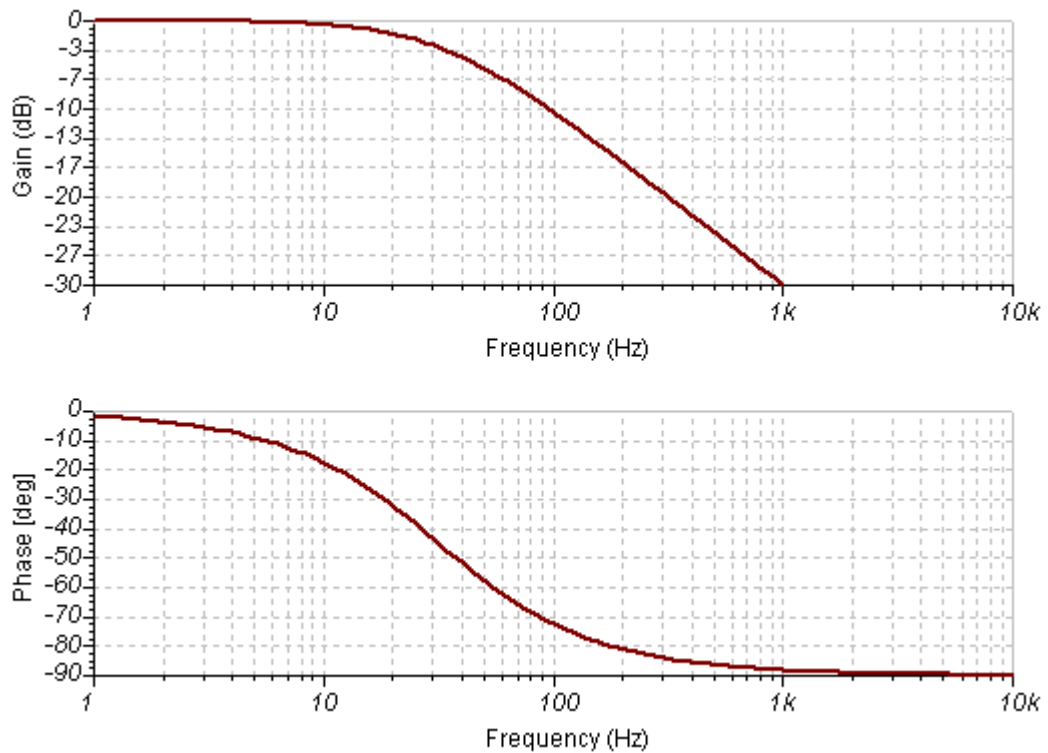


Obr. 4.1 Schéma dolní propusti s RC

Amplitudová charakteristika je grafické znázornění zisku v závislosti na frekvenci. Amplitudová charakteristika dolní propusti je zobrazena na obr. 4.2.

Do hodnoty mezního kmitočtu  $f_M$  klesá zisk nepatrně. Při mezním kmitočtu, jak již bylo řečeno, dochází ke zmenšení zisku o 3 dB.

Fázová charakteristika je grafické znázornění frekvenčního přenosu v závislosti na frekvenci. Fázová charakteristika dolní propusti je zobrazena na obr. 4.2.

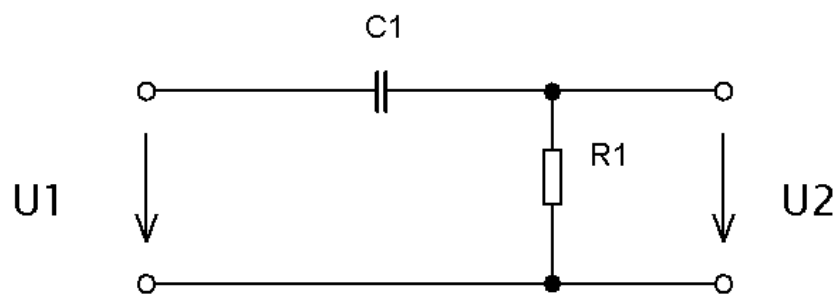


Obr. 4.2 Amplitudová a fázová charakteristika

## 4.2 Horní propust

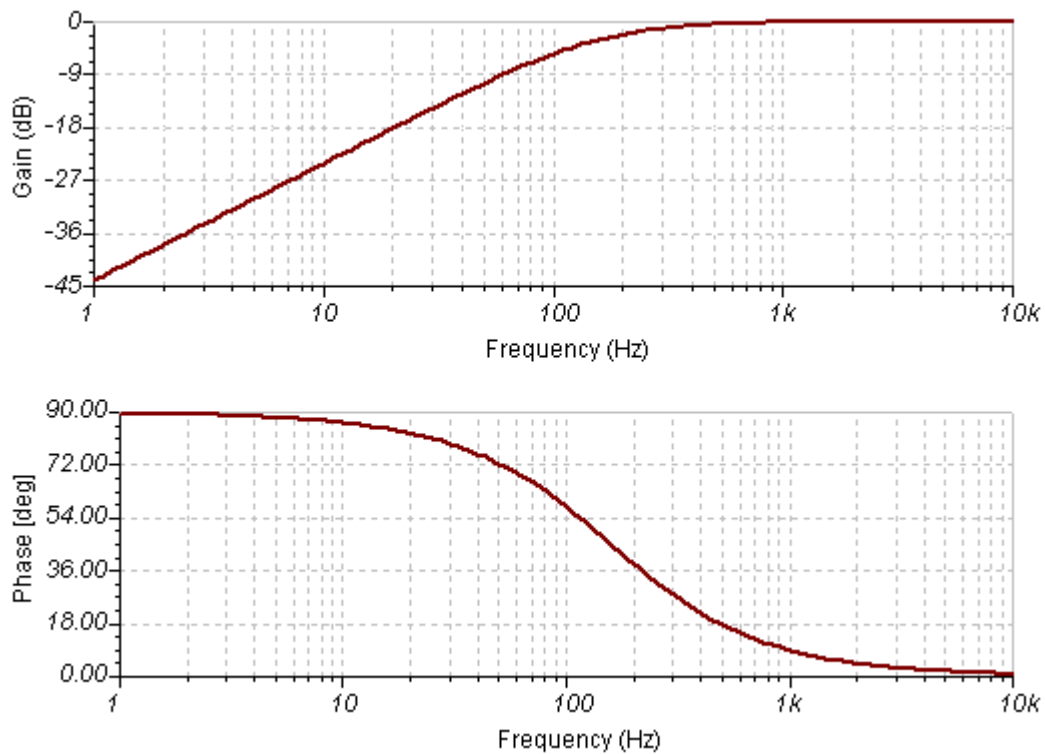
Tento článek nepropouští stejnosměrné napětí vůbec a nízké kmitočty s vysokou ztrátou. Do dosažení mezního kmitočtu (-3 dB) dochází k postupnému zvyšování přenosu o  $-20$  dB/dekádu. Při dalším zvyšování kmitočtu se zisk prakticky nezvyšuje.

Při kmitočtu o dekádu nižší, výstupní napětí předbíhá vstupní o  $\varphi = 90^\circ$ . Při kmitočtu o dekádu vyšší je výstupní napětí se vstupním ve fázi  $\varphi = 0^\circ$ . Schéma zapojení je na obr. 4.3.



Obr. 4.3 Schéma horní propusti s RC

V tomto případě je kondenzátor zapojen v cestě signálu a rezistor paralelně k výstupu propusti. Při stoupajícím kmitočtu se projevuje reaktance kondenzátoru a tím klade signálu stále menší odpor. Na obr. 4.4 jsou zobrazeny charakteristiky pro tento RC článek.



Obr. 4.4 Amplitudová a fázová charakteristika

### 4.3 Realizace RC členů

Pro první blok a poslední blok zapojení určíme mezní kmitočty  $f_M$ . Těmito obvody se docílí nejen oddělení stejnosměrné složky, ale také změkčení výstupního zvuku ze zapojení. Mezní kmitočet vychází z nejnižšího kytarového tónu 82Hz. Tento mezní kmitočet by měl být asi 10x menší.

Vstupní dolní propust

$$f_M = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^{-9}} = 3,29 \text{ Hz}$$



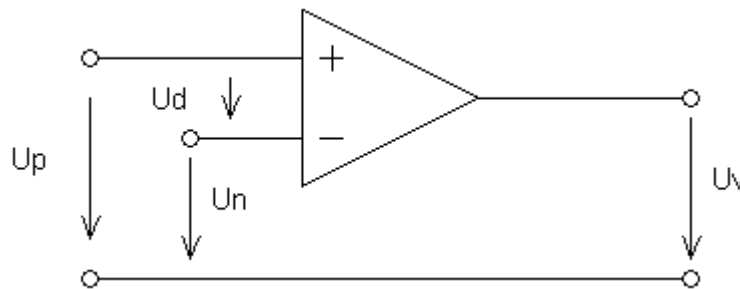
Výstupní dolní propust

$$f_M = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 3,19 \text{ Hz}$$

## 5 Operační zesilovače

### 5.1 Dělení zesilovačů

Operační zesilovač je v podstatě stejnosměrný zesilovač s velkým zesílením a malým vlastním rušením, který je schopný stabilně pracovat v uzavřené zpětnovazební smyčce. Většinou má souměrný diferenciální vstup, jehož signálové svorky se nazývají kladný (neinvertující) vstup a záporný (invertující) vstup. Dále má jednu výstupní svorku. Napětí přivedené na neinvertující vstup vyvolá na výstupu napětí stejné polarity, opačné polarity pokud je napětí přivedeno na svorky invertující. Schématická značka je uvedena na obr. 5.1.

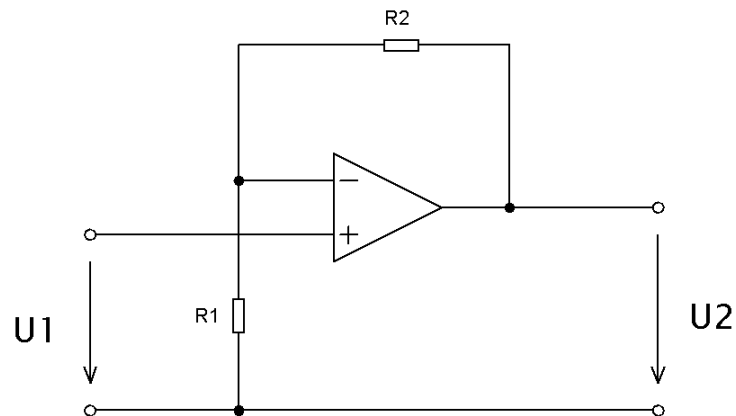


Obr. 5.1 Schématická značka OZ

### 5.2 Neinvertující zesilovač

Základní zapojení je na obr. 5.2. Vstupní napětí je přivedeno na neinvertující vstup (+). Výstupní napětí  $U_2$  je přivedeno pomocí děliče  $R_1$  a  $R_2$  na invertující vstup (-). Rovnice pro neinvertující zesilovač:

$$U_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1 \quad (6)$$



Obr. 5.2 Zapojení neinvertujícího OZ

Výraz v závorce určuje zesílení, jeho hodnota je větší než 1 a s kladným znaménkem. Jedná se o obvod se zápornou zpětnou vazbou, výstupní signál je přiveden na invertující vstup.

Toto zapojení má velký vstupní odpor, řádově jsou to MΩ. Protože vstupní signál je veden přímo do neinvertující vstupu OZ, je vstupní odpor tohoto obvodu dán vnitřním odporem OZ.

Napěťový zisk operačního zesilovače v zapojení:

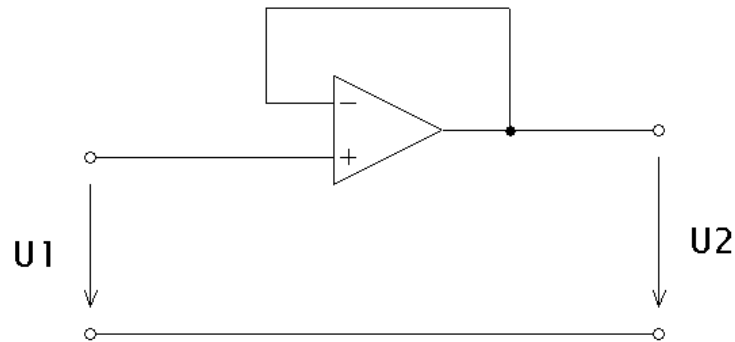
$$A_U = 20 \cdot \log \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 20 \cdot \log \left( 1 + \frac{180 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} \right) = 20 \text{ dB}$$

Tento zisk lze měnit pomocí trimru zapojeného paralelně k odporu  $R_2$ .

### 5.3 Napěťový sledovač

Slouží k úpravě signálu. Vzniká z neinvertující zesilovače jestliže  $R_1 \rightarrow 0$  a  $R_2 \rightarrow \infty$ , pak se vztah (6) mění na

$$U_2 = U_1 \tag{7}$$



Obr. 5.3. Zapojení OZ jako napěťový sledovač

Napětí na vstupu sleduje napětí na výstupu, odtud název napěťový sledovač. Zapojení je na obr. 5.3. Protože toto zapojení má vysoký vstupní odpor a malý výstupní odpor, nazývá se někdy impedanční převodník. Používá se na převod napětí ze zdroje s vysokým vnitřním odporem až desítek  $M\Omega$  (kytarový snímač může mít 5 - 17  $k\Omega$ ) na malou výstupní impedanci, typicky desítky  $\Omega$  (například pro napěťové buzení korektorů). V zapojení slouží k eliminaci různých rušivých šumů, které se do obvodu mohou dostat po připojení méně kvalitních kabelů.

## 6 Univerzální filtr

Na obr. 6.1 je zobrazen univerzální filtr nebo také anglický název state variable filter s použitím tří operačních zesilovačů (dva jsou zapojené jako integrátory). První z filtrů je zapojen jako horní propust a druhý jako dolní propust. Poslechové testy ukázaly, že rezonanční kmitočet vstupního filtru musí být nižší než u výstupního filtru. Odvozením lze nalézt vztahy pro přenos:

dolní propusti

$$K(p)DP = \frac{U_{DP}}{U_1} = - \frac{\omega_A \omega_B K_G}{p^2 + pK_Q \omega_A + \omega_A \omega_B K_t} \quad (8)$$

pásmové propusti

$$K(p)DP = \frac{U_{PP}}{U_1} = \frac{p \omega_A K_G}{p^2 + pK_Q \omega_A + \omega_A \omega_B K_t} \quad (9)$$

a horní propusti

$$K(p)DP = \frac{U_{HP}}{U_1} = - \frac{p^2 K_G}{p^2 + pK_Q \omega_A + \omega_A \omega_B K_t} \quad (10)$$

$$\text{kde } K_G = \frac{R_2}{R_1}; \quad K_t = \frac{R_2}{R_3}; \quad (11)$$

$$K_Q = \frac{R_2 R_4}{(R_4 + R_5) R_t} \quad (12)$$

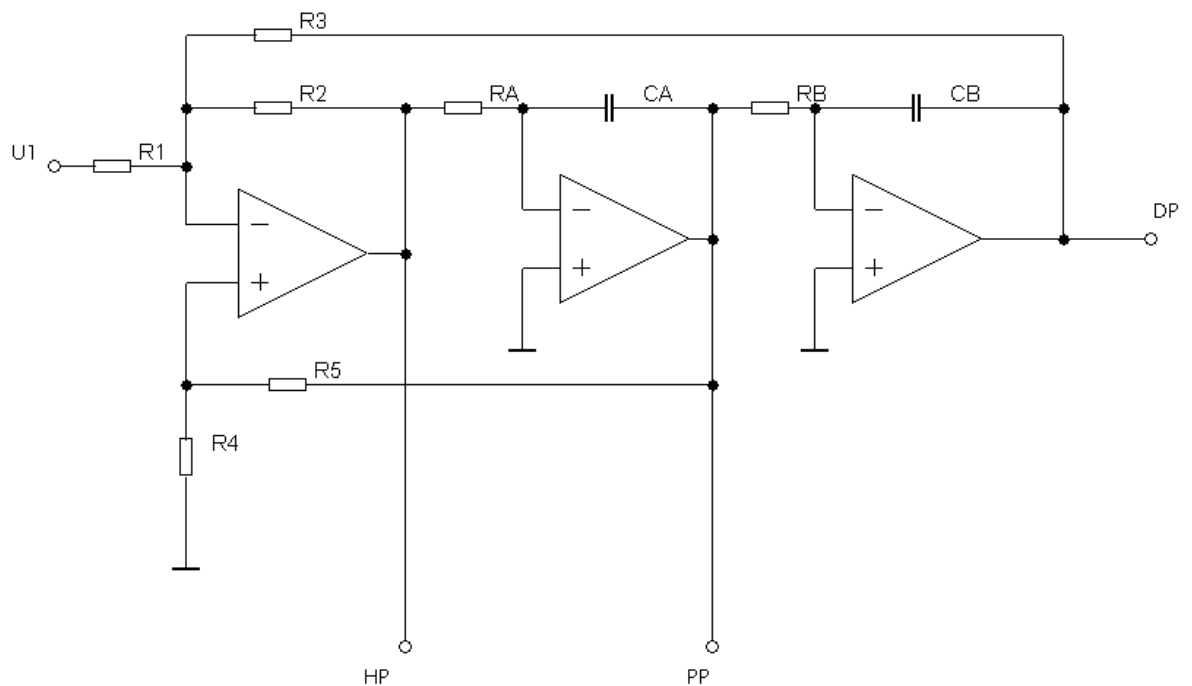
$R_t$  je paralelní kombinace  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$

$$\omega_A = \frac{1}{R_A C_A}; \quad \omega_B = \frac{1}{R_B C_B} \quad (13)$$

Porovnáním vztahů (8) až (10) se základními přenosovými funkcemi vychází pro kritický kmitočet a činitel jakosti vztahy

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_A \omega_B K_t} \quad (14)$$

$$Q = \frac{1}{K_Q} \sqrt{\frac{\omega_B K_t}{\omega_A}} \quad (15)$$



Obr. 6.1 Zapojení univerzálního filtru [8]

Moduly přenosů na kritickém kmitočtu jsou

$$K(\omega_0)_{DP} = \frac{K_G}{K_Q} \sqrt{\frac{\omega_B}{\omega_A K_t}} \quad (16)$$

$$K(\omega_0)_{PP} = \frac{K_G}{K_Q} \quad (17)$$

$$K(\omega_0)_{HP} = \frac{K_G}{K_Q} \sqrt{\frac{\omega_B K_t}{\omega_A}} \quad (18)$$

Z těchto výrazů je zřejmé, že pro

$$\omega A = \omega B; \quad K_t = 1 \quad (19)$$

$$K(\omega_0)_{DP} = K(\omega_0)_{PP} = K(\omega_0)_{HP} = \frac{K_G}{K_Q} \quad (20)$$

Pro plynulé přeladování kritického kmitočtu  $\omega_0$  je třeba současně měnit odpory  $R_A$ ,  $R_B$  nebo kapacity  $C_A$ ,  $C_B$ , aby platila podmínka (19) a z ní vyplývající výhodná rovnost modulů přenosu pro všechny tři výstupy filtru.

## 6.1 Realizace univerzálního filtru

Před vlastní realizací filtru a návrhem plošného spoje je třeba stanovit hodnoty součástek.

Výpočty pro vstupní filtr

$$K_G = \frac{R_5}{R_4} = \frac{33 \cdot 10^3}{33 \cdot 10^3} = 1; \quad K_t = \frac{R_5}{R_7} = \frac{33 \cdot 10^3}{33 \cdot 10^3} = 1;$$

$R_I$  je paralelní kombinace  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_7$

$$\frac{1}{R_I} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_7} = \frac{1}{33 \cdot 10^3} + \frac{1}{33 \cdot 10^3} + \frac{1}{33 \cdot 10^3} = 11 \cdot 10^{-3}$$

Trimrem  $R_{17}$  a  $R_{33}$  je nastavena jakost celého filtru na maximální hodnotu. Teoreticky by mohla nastat situace, kdy se v čitateli objeví 0, ale to se v praxi nestává. Budeme uvažovat, že po nastavení do krajní polohy trimru  $R_{33}$ , bude hodnota  $1 \Omega$ .

Zde jsou trimry nastaveny na maximum

$$K_{\varrho} = \frac{R_5 R_{33}}{(R_{33} + R_{17})R_t} = \frac{33 \cdot 10^3 \cdot 4700}{(4700 + 47 \cdot 10^3) \cdot 11 \cdot 10^3} = 0,27$$

Zde jsou trimry nastaveny na minimum

$$K_{\varrho} = \frac{R_5 R_{33}}{(R_{33} + R_{17})R_t} = \frac{33 \cdot 10^3 \cdot 1}{(1 + 0) \cdot 11 \cdot 10^3} = 3$$

Pro minimální mezní kmitočet je tandemový potenciometr  $P1$  nastaven na maximální hodnotu (10k $\Omega$ ).

$$\omega_{A \min} = \frac{1}{(R_6 + P_{1A}) \cdot C_2} = \frac{1}{(1500 + 10 \cdot 10^3) \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 869,57 ;$$

$$\omega_{B \min} = \frac{1}{(R_8 + P_{1B}) \cdot C_3} = \frac{1}{(1500 + 10 \cdot 10^3) \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 869,57$$

Pro maximální mezní kmitočet je tandemový potenciometr  $P1$  nastaven na minimální hodnotu (0 $\Omega$ ).

$$\omega_{A \max} = \frac{1}{(R_6 + P_{1A}) \cdot C_2} = \frac{1}{(1500 + 0) \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 6666,67 ;$$

$$\omega_{B \max} = \frac{1}{(R_8 + P_{1B}) \cdot C_3} = \frac{1}{(1500 + 0) \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 6666,67$$

$$\omega_{0 \min} = \sqrt{\omega_A \omega_B K_t} = \sqrt{869,57 \cdot 869,57 \cdot 1} = 869,57$$

$$\omega_{0 \max} = \sqrt{\omega_A \omega_B K_t} = \sqrt{6666,67 \cdot 6666,67 \cdot 1} = 6666,67$$



Výpočet rezonančního kmitočtu vstupního filtru

$$f_{0\min} = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{869,57}{2\pi} = 138,40\text{Hz}$$

$$f_{0\max} = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{6666,67}{2\pi} = 1061,03\text{Hz}$$

Výpočet jakosti filtru, kde nejvyšší jakost filtru je při trimrech  $R_{33}$  a  $R_{17}$  nastavených na maximum ( $R_{33} = 4,7\text{ k}\Omega$  a  $R_{17} = 47\text{ k}\Omega$ ).

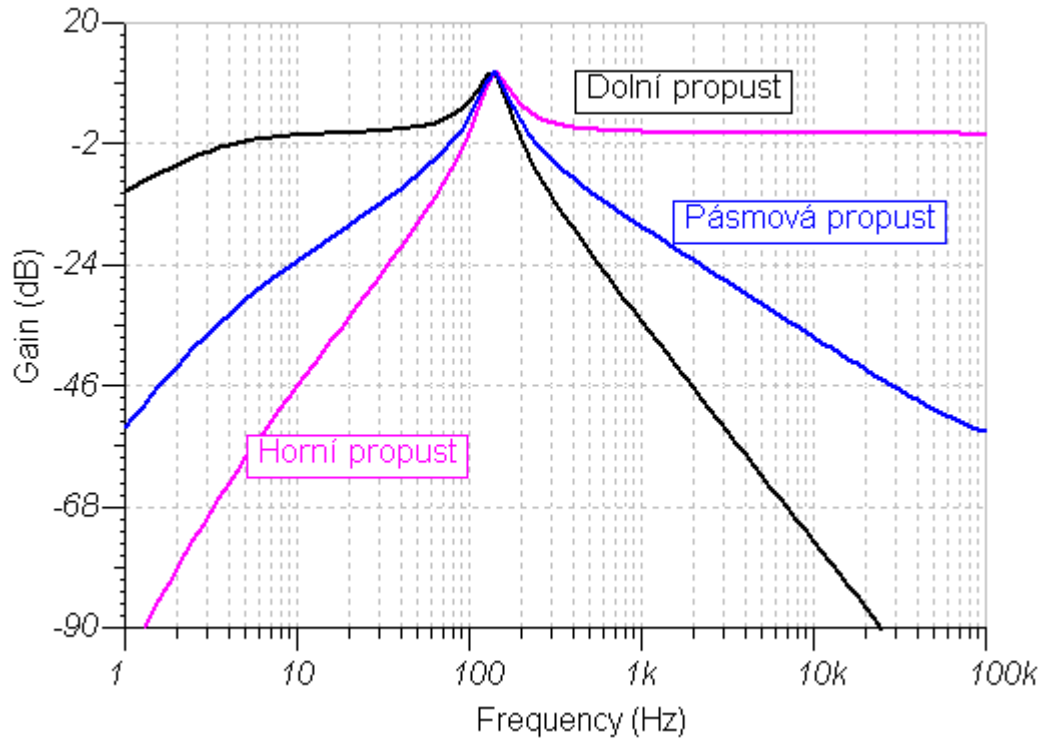
$$Q = \frac{1}{K_Q} \sqrt{\frac{\omega_B K_t}{\omega_A}} = \frac{1}{0,27} \sqrt{\frac{869,57 \cdot 1}{869,57}} = 3,67$$

Zde jsou trimry nastaveny naopak na minimum

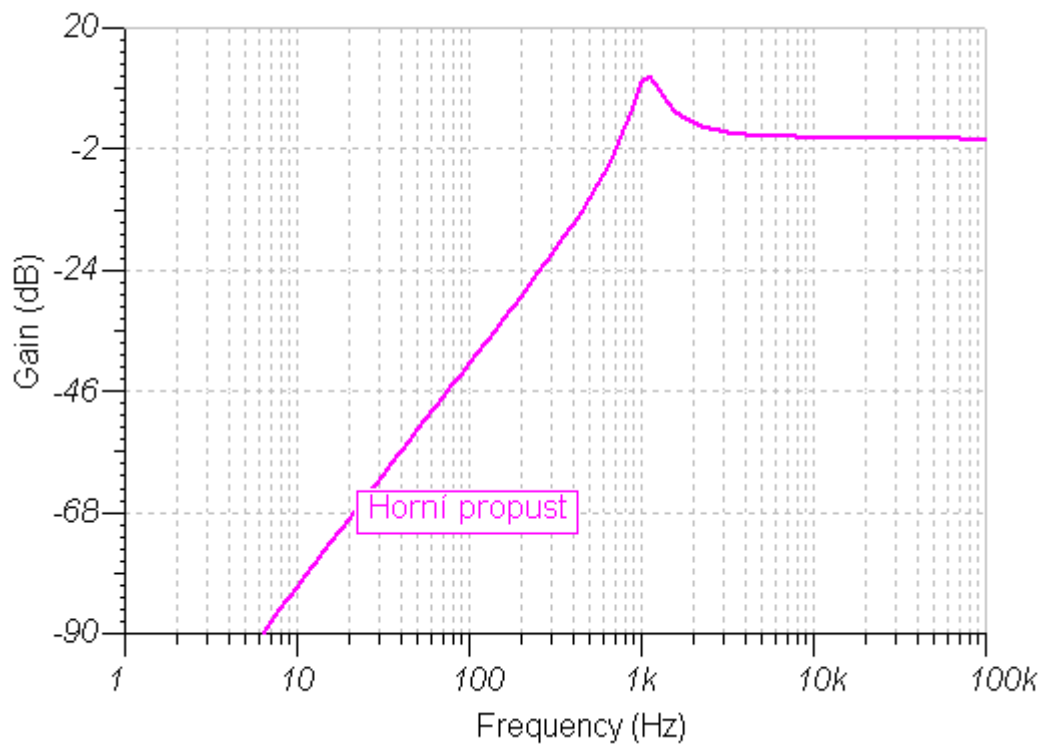
$$Q = \frac{1}{K_Q} \sqrt{\frac{\omega_B K_t}{\omega_A}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{6666,67 \cdot 1}{6666,67}} = 0,33$$

Rezonanční kmitočet vstupního filtru je možné měnit pomocí tandemového potenciometru v rozsahu od 138,4Hz do 1061Hz. Jakost vstupního filtru lze měnit nastavením trimru mezi hodnotami 0,33 až 3,67.

Ověření výpočtu pomocí simulace ( $Q = 3,67$ )

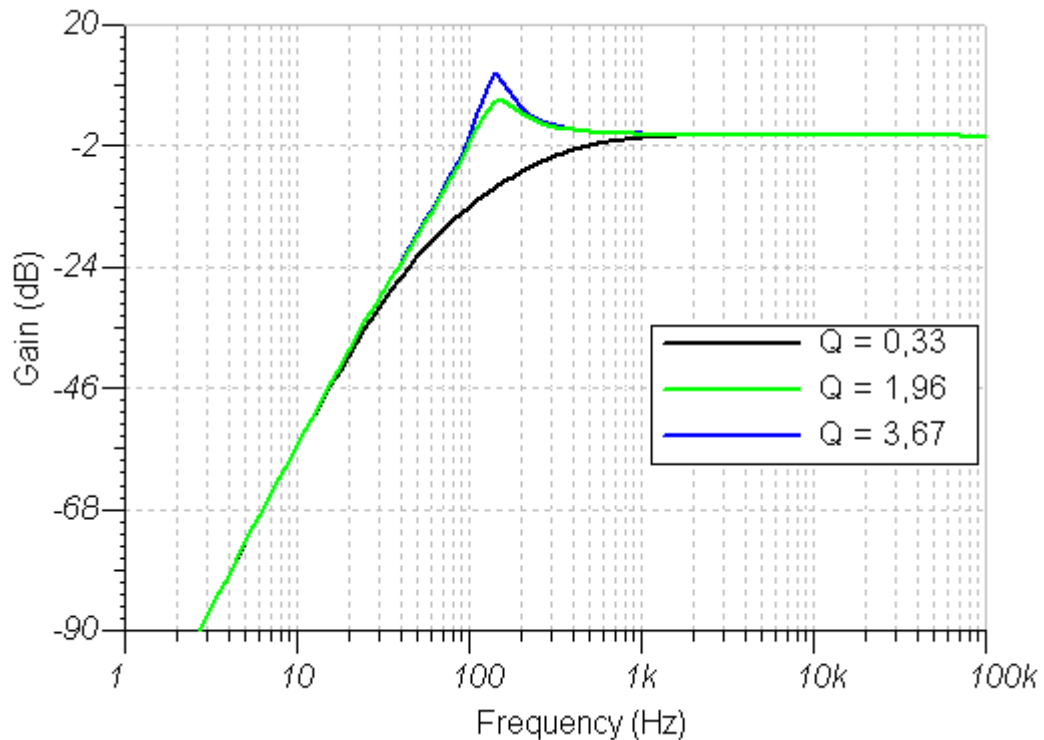


Obr. 6.2 Dolní mezní kmitočet



Obr. 6.3 Horní mezní kmitočet

U vstupního univerzálního filtru je použit výstup horní propusti a byl zvolen tupý průběh, který lze měnit trimry  $R_{17}$  a  $R_{33}$  pro různá  $Q$ . Nastavíme  $Q$  takové, dokud se nám nezačne deformovat výstupní signál. Na obr. 6.4 jsou ukázány průběhy horní propusti s minimálním, středním a maximálním  $Q$ . Při absenci tohoto filtru je subjektivně zvuk tvořený omezovačem amplitudy většinou kytaristů posuzován jako „nelibý“ či „zahlcený“.



Obr. 6.4 Různá nastavení  $Q$  vstupního SVF

Výpočet rezonančního kmitočtu výstupního filtru

$$K_G = \frac{R_{21}}{R_{20}} = \frac{33 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 3,3; \quad K_t = \frac{R_{21}}{R_{23}} = \frac{33 \cdot 10^3}{33 \cdot 10^3} = 1;$$

$R_I$  je paralelní kombinace  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_7$

$$\frac{1}{R_I} = \frac{1}{R_{20}} + \frac{1}{R_{21}} + \frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} + \frac{1}{33 \cdot 10^3} + \frac{1}{33 \cdot 10^3} = 6,2 \cdot 10^{-3}$$

Trimrem  $R_{28}$  a  $R_{34}$  je nastavena jakost celého filtru na maximální hodnotu. Teoreticky by mohla nastat situace, kdy se v čitateli objeví 0, ale to se v praxi

nestává. Budeme uvažovat, že po nastavení do krajní polohy trimru  $R_{34}$ , bude hodnota  $1 \Omega$ .

Zde jsou trimry nastaveny na maximum

$$K_Q = \frac{R_{21} R_{34}}{(R_{34} + R_{28}) R_I} = \frac{33 \cdot 10^3 \cdot 4700}{(4700 + 47 \cdot 10^3) \cdot 6,2 \cdot 10^3} = 0,48$$

Zde jsou trimry nastaveny na minimum

$$K_Q = \frac{R_{21} R_{34}}{(R_{34} + R_{28}) R_I} = \frac{33 \cdot 10^3 \cdot 1}{(1 + 0) \cdot 6,2 \cdot 10^3} = 5,32$$

Pro minimální mezní kmitočet je tandemový potenciometr  $P4$  nastaven na maximální hodnotu ( $47k\Omega$ ).

$$\omega_{A \min} = \frac{1}{(R_{22} + P_{4A}) \cdot C_{10}} = \frac{1}{(15000 + 47 \cdot 10^3) \cdot 1,5 \cdot 10^{-9}} = 10752,69 ;$$

$$\omega_{B \min} = \frac{1}{(R_{24} + P_{4B}) \cdot C_9} = \frac{1}{(15000 + 47 \cdot 10^3) \cdot 1,5 \cdot 10^{-9}} = 10752,69$$

Pro maximální mezní kmitočet je tandemový potenciometr  $P1$  nastaven na minimální hodnotu ( $0\Omega$ ).

$$\omega_{A \max} = \frac{1}{(R_{22} + P_{4A}) \cdot C_{10}} = \frac{1}{(15000 + 0) \cdot 1,5 \cdot 10^{-9}} = 44444,44 ;$$

$$\omega_{B \max} = \frac{1}{(R_{24} + P_{4B}) \cdot C_9} = \frac{1}{(15000 + 0) \cdot 1,5 \cdot 10^{-9}} = 44444,44$$

$$\omega_{0 \min} = \sqrt{\omega_A \omega_B K_t} = \sqrt{10752,69 \cdot 10752,69 \cdot 1} = 10752,69$$

$$\omega_{0 \max} = \sqrt{\omega_A \omega_B K_t} = \sqrt{44444,44 \cdot 44444,44 \cdot 1} = 44444,44$$

## Výpočet rezonančního kmitočtu výstupního filtru

$$f_{0\min} = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{10752,69}{2\pi} = 1,7\text{kHz}$$

$$f_{0\max} = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{444444,44}{2\pi} = 7,1\text{kHz}$$

Výpočet jakosti filtru, kde nejvyšší jakost filtru je při trimrech  $R_{34}$  a  $R_{28}$  nastavených na maximum ( $R_{34} = 4,7\text{ k}\Omega$  a  $R_{28} = 47\text{ k}\Omega$ ).

$$Q = \frac{1}{K_Q} \sqrt{\frac{\omega_B K_t}{\omega_A}} = \frac{1}{0,48} \sqrt{\frac{10752,69 \cdot 1}{10752,69}} = 2,08$$

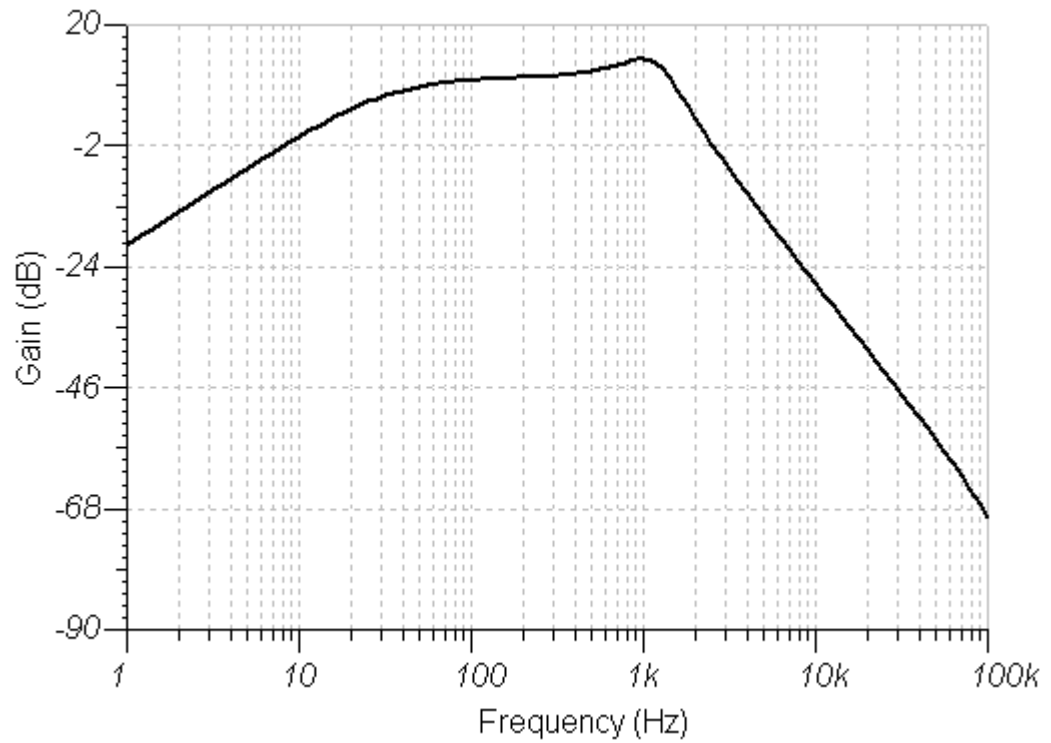
Zde jsou trimry nastaveny naopak na minimum

$$Q = \frac{1}{K_Q} \sqrt{\frac{\omega_B K_t}{\omega_A}} = \frac{1}{5,32} \sqrt{\frac{44444,44 \cdot 1}{44444,44}} = 0,18$$

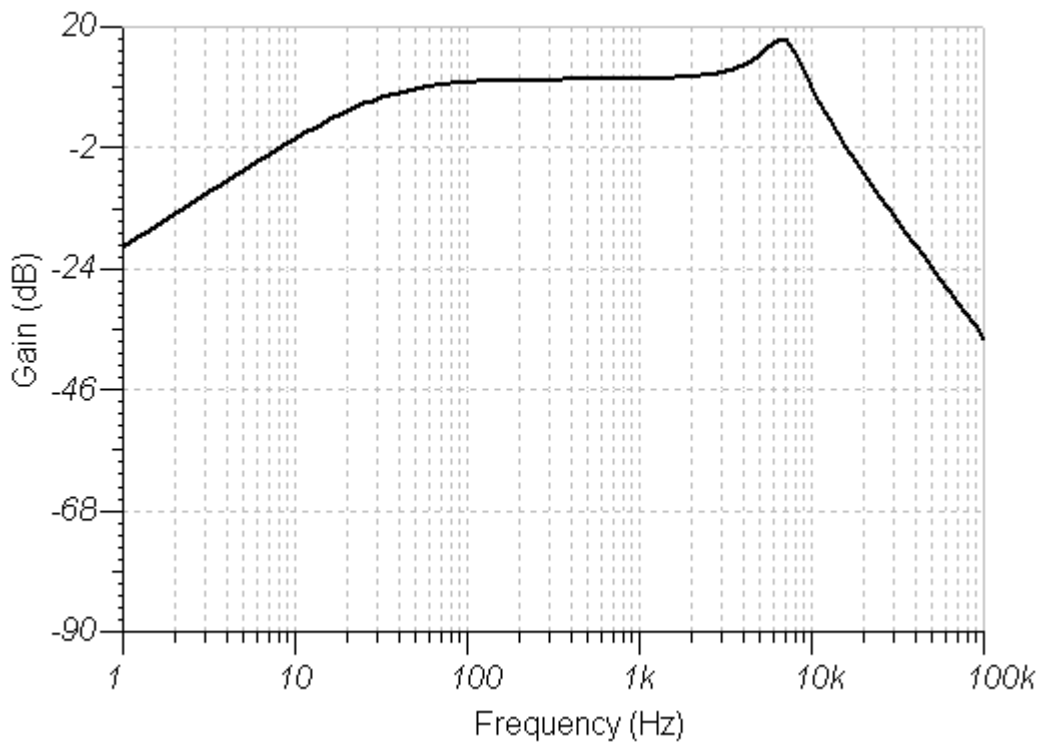
Rezonanční kmitočet výstupního filtru je možné měnit pomocí tandemového potenciometru  $P4$  v rozsahu od 1,7kHz do 7,1kHz. Jakost vstupního filtru lze měnit nastavením trimrů mezi hodnotami 0,18 až 2,08.

Vřazením dolní propusti lze omezit obsah některých vyšších harmonických frekvencí v signálu, které subjektivně dle názorů hudebníků mohou působit „řezavě“.

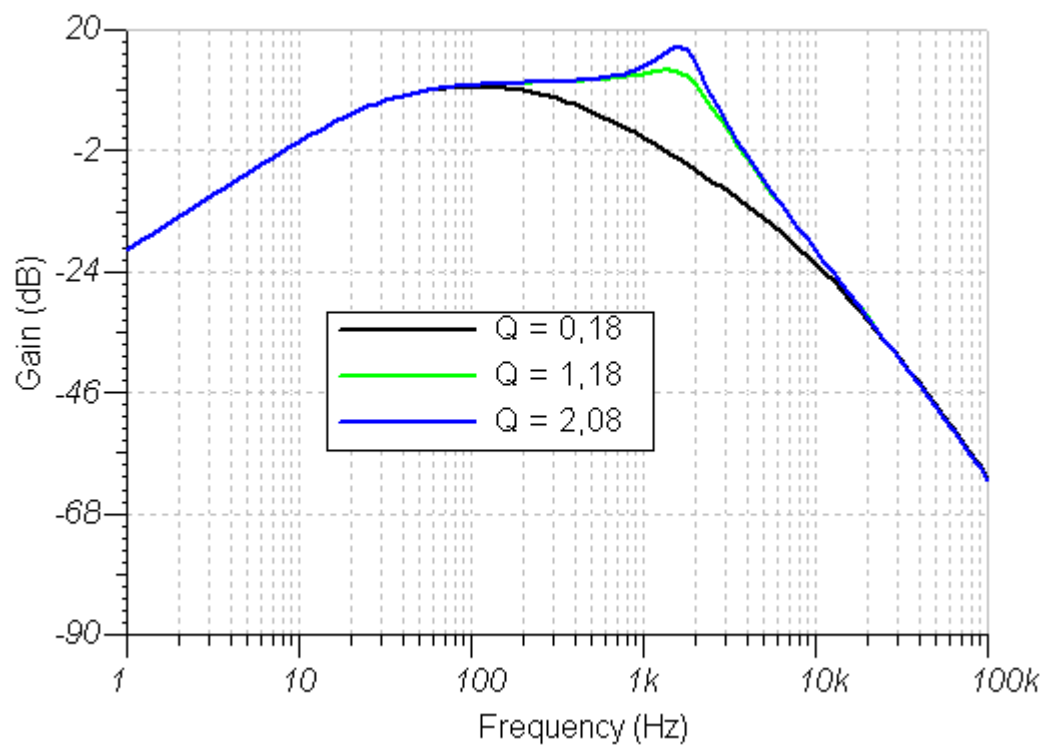
Ověření výpočtu pomocí simulace ( $Q = 2,08$ )



Obr. 6.5 Dolní mezní kmitočet



Obr. 6.6 Horní mezní kmitočet



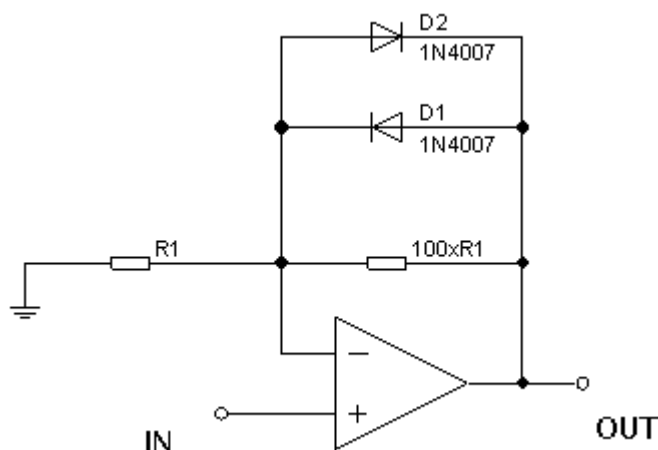
Obr. 6.7 Různá nastavení Q vstupního SVF

## 7 Diodové omezovače

Těmito obvody lze omezovat amplitudu signálu, při které se využívá prahového napětí diody. Obvody s diodovými omezovači se anglicky nazývají hard clipping a soft clipping (tvrdé oříznutí a měkké oříznutí). Prahové napětí diod určuje velikost napětí, kdy dioda začne omezovat vstupní signál. Průběh VA charakteristiky určuje průběh signálu a tím zvukové zabarvení. Různá spektra odpovídají různému zabarvení zvuku. Hudebníci tvrdí, že omezovače zkonstruované z germaniových diod mají „měkčí“ zvuk. Lze předpokládat, že ve spektru bude méně harmonických frekvencí. A u LED diod můžeme předpokládat zcela jiný průběh díky jinému prahovému napětí.

### 7.1 Soft clipping

Tento obvod můžeme najít v efektech, které se na trh uvádějí pod názvem overdrive. Zisk je nepřímo úměrný úrovni vstupního signálu. Zde se zapojují diody antiparalelně do záporné zpětné vazby operačního zesilovače. Využívají se také germaniové či LED diody, které mají různé prahové napětí. Zapojení lze najít i v invertujícím zapojení.



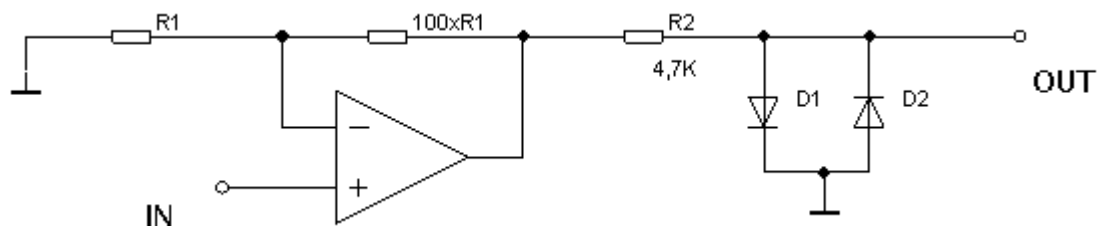
Obr. 7.1 Základní zapojení soft clipping

### 7.2 Hard clipping

Obvykle tento obvod nalézt v efektu zvaném distortion. Úroveň signálu je oříznuta v určitém rozsahu. Diody jsou zapojeny opět antiparalelně, ale na výstupu

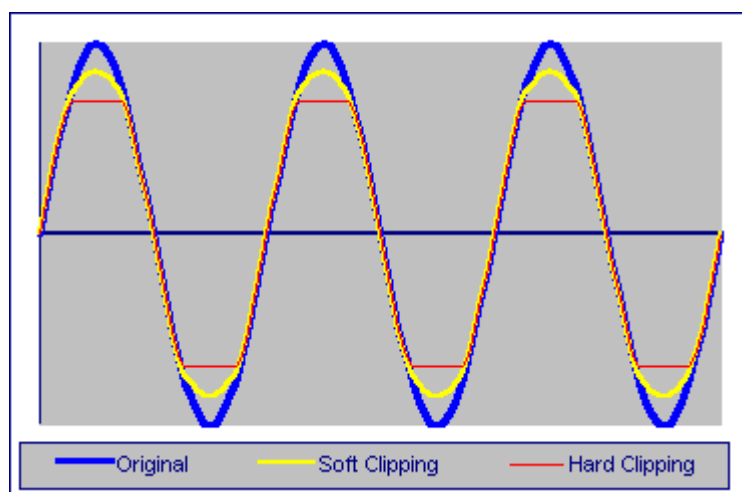


operačního zesilovače a přivedeny na zem. Také se využívají různé typy diod.



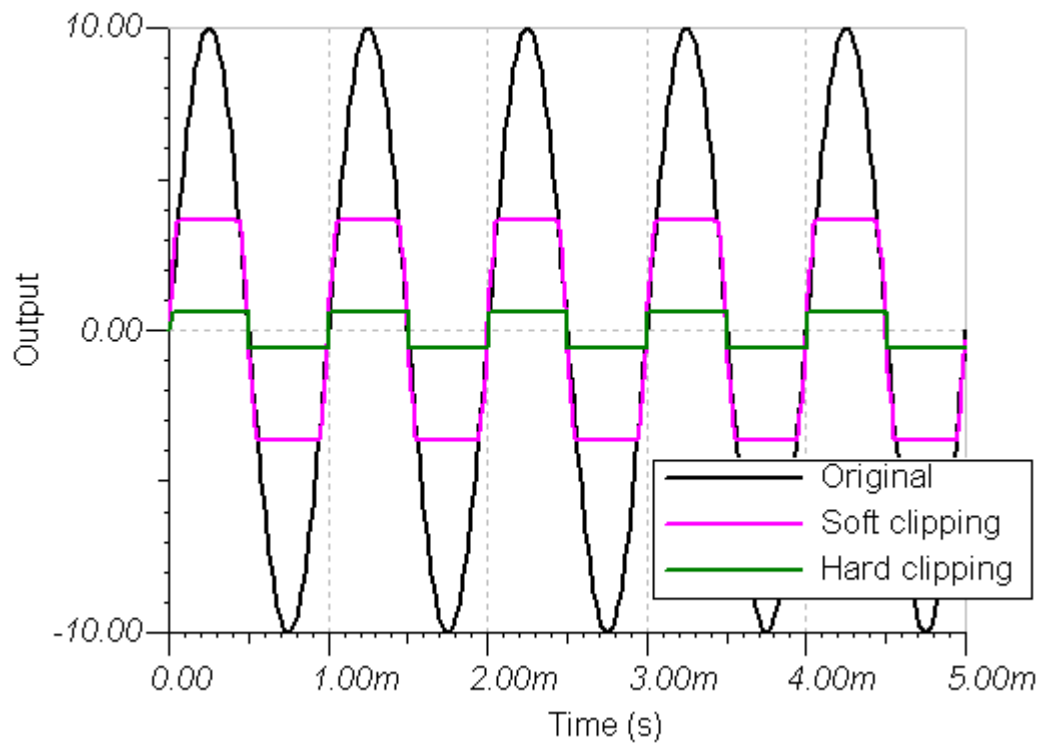
Obr. 7.2 Základní zapojení hard clipping

Na obr. 7.3 je zobrazeno, jak diody ořezávají vstupní signál a je zde velmi dobře vidět rozdíl mezi „tvrdým“ a „měkkým“ oříznutím.

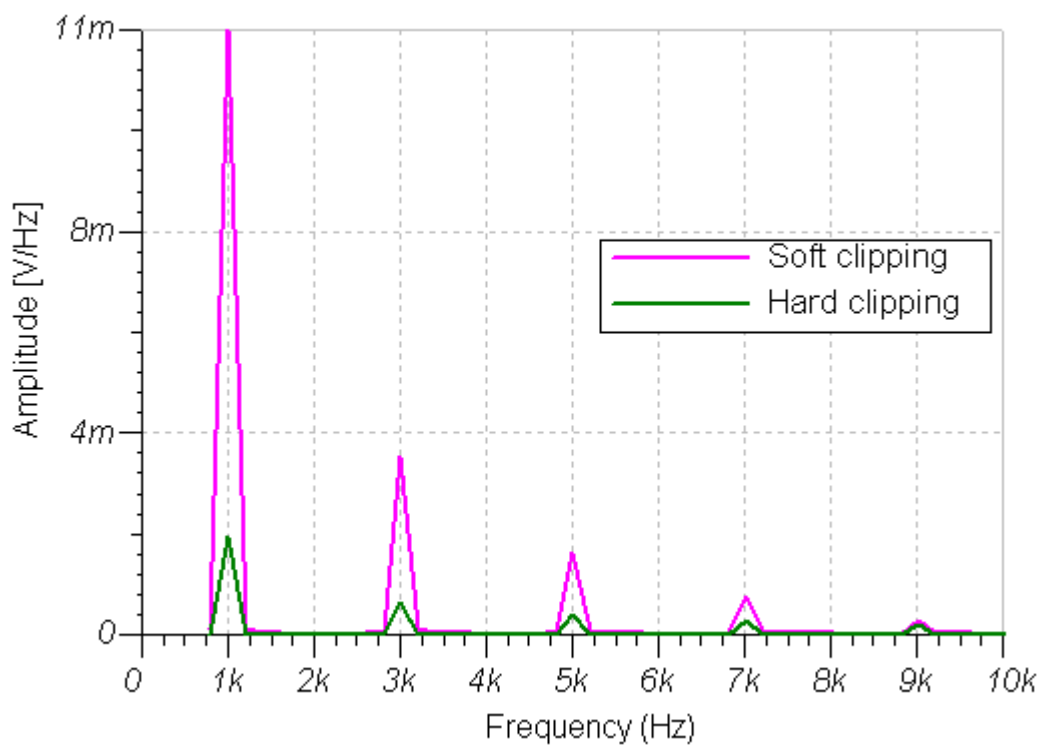


Obr. 7.3 Clipping [1]

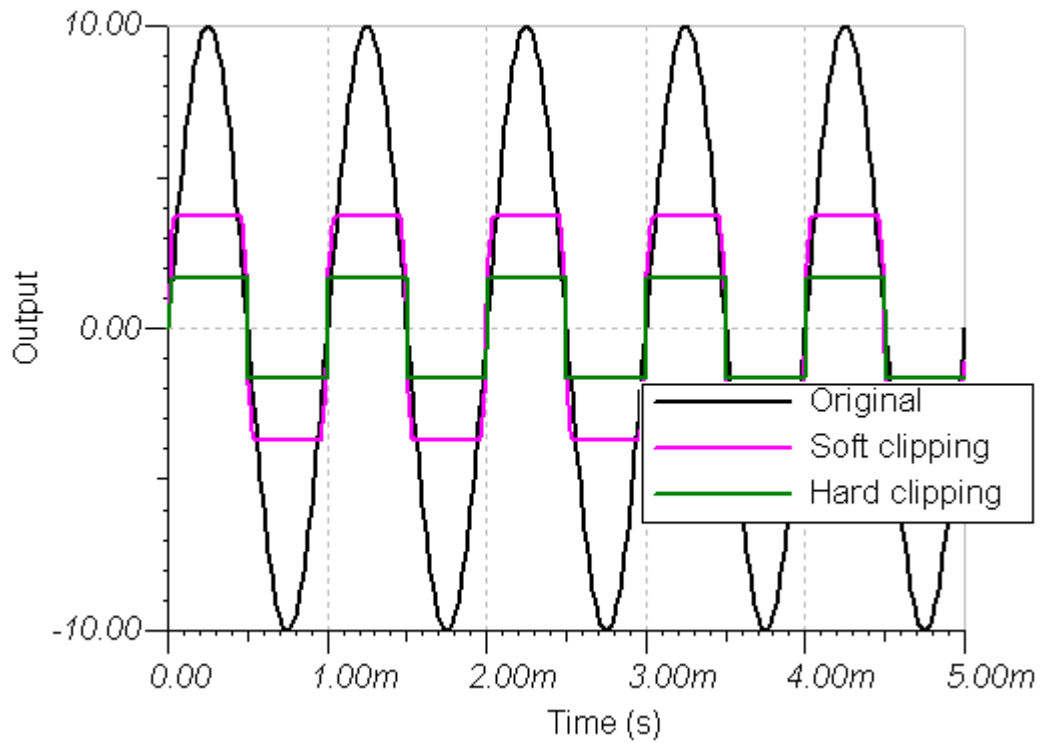
Jak již bylo v úvodu kapitoly uvedeno, má vliv na průběh oříznutí prahové napětí diod např. u křemíkových diod je 0,51V; u germaniových 0,28V.



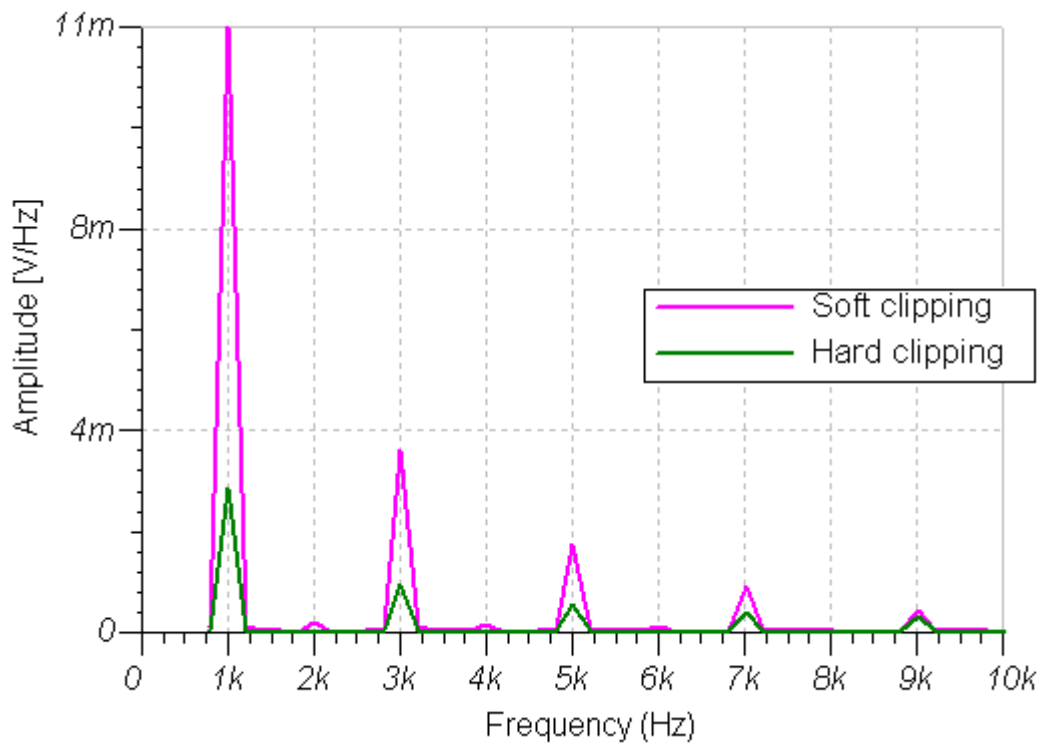
Obr. 7.4 2x křemíková dioda



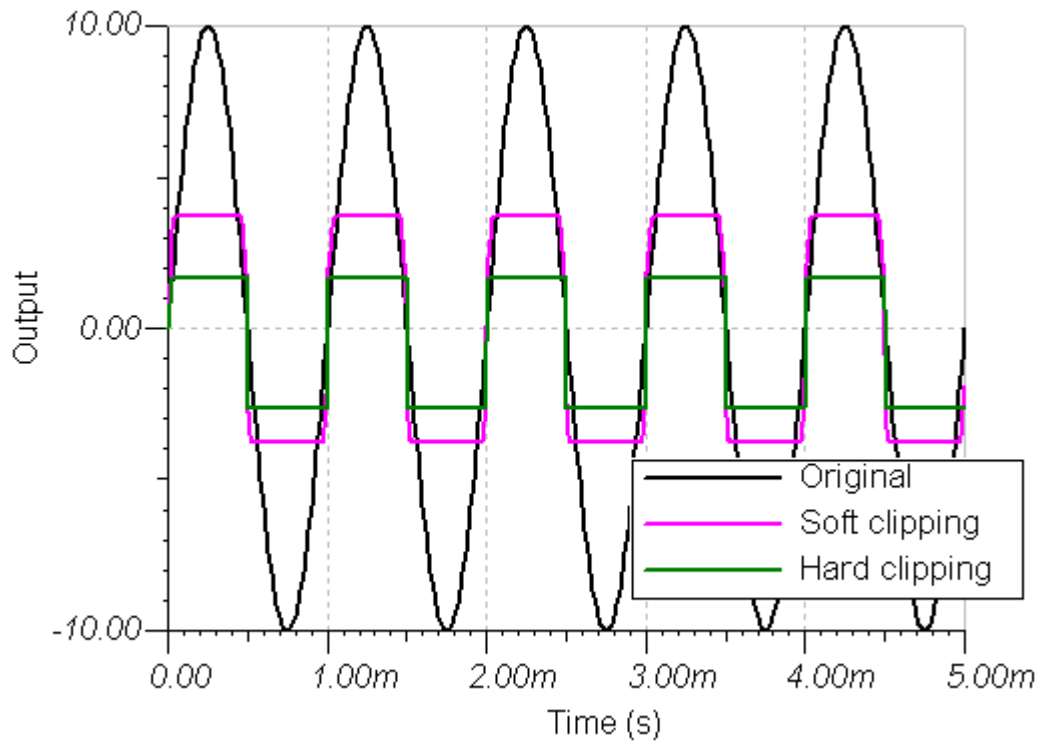
Obr. 7.5 Spektrum 2x křemíková dioda



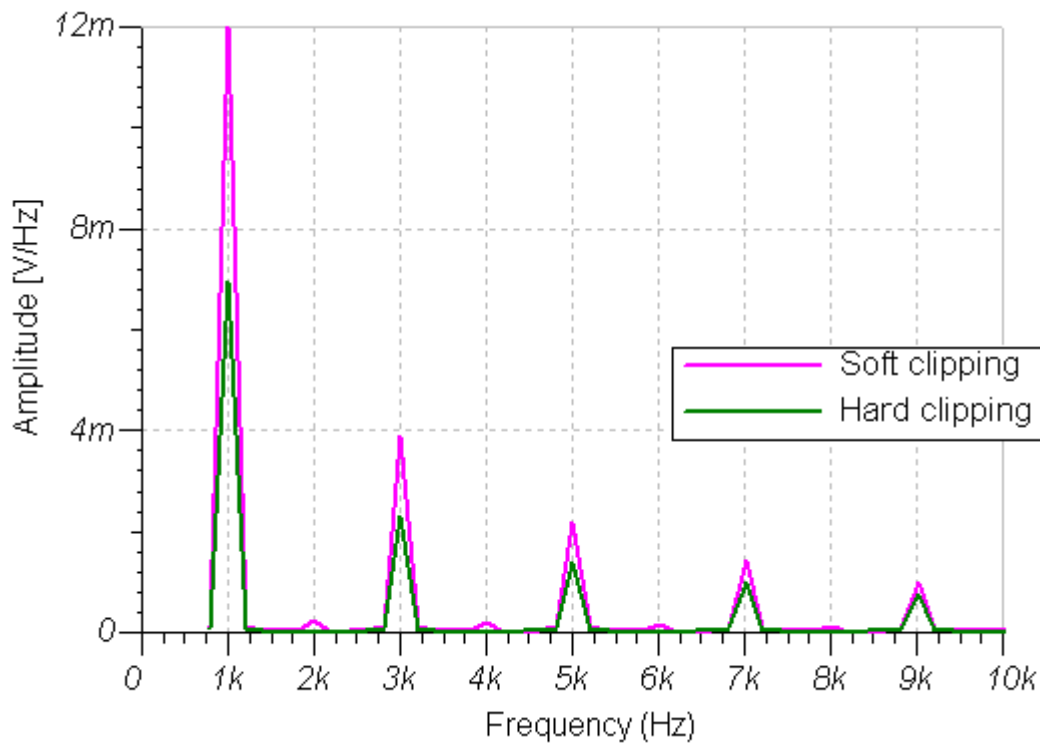
Obr. 7.6 3x křemíková dioda (v jedné větvi jsou dvě diody)



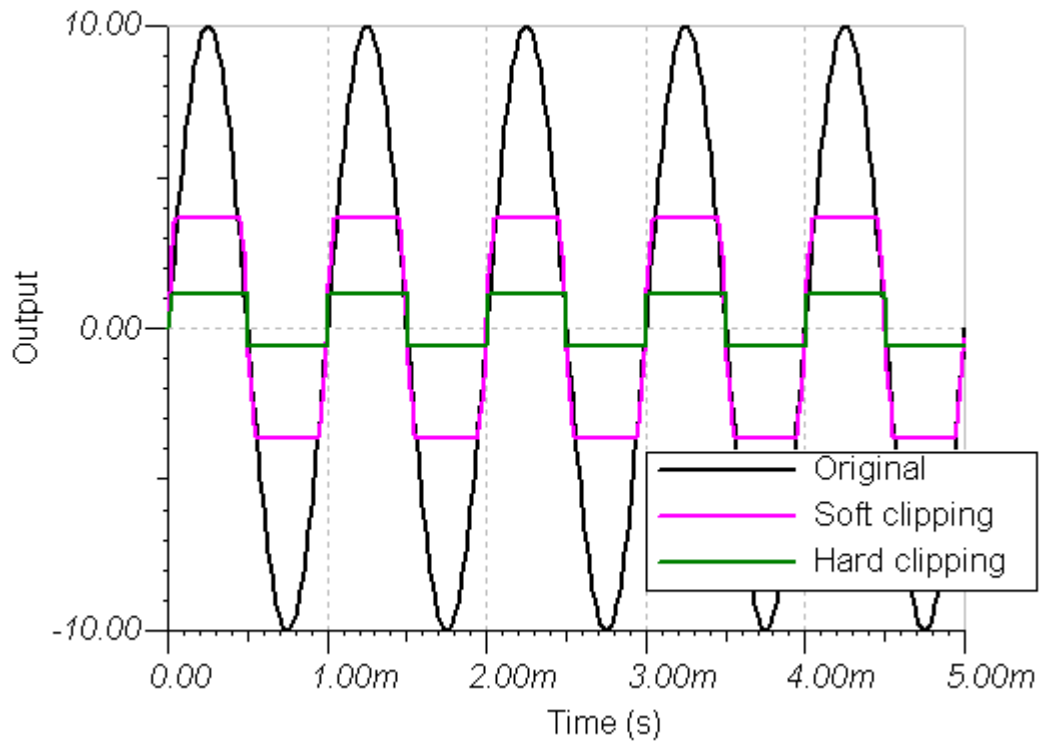
Obr. 7.7 Spektrum 3x křemíková dioda



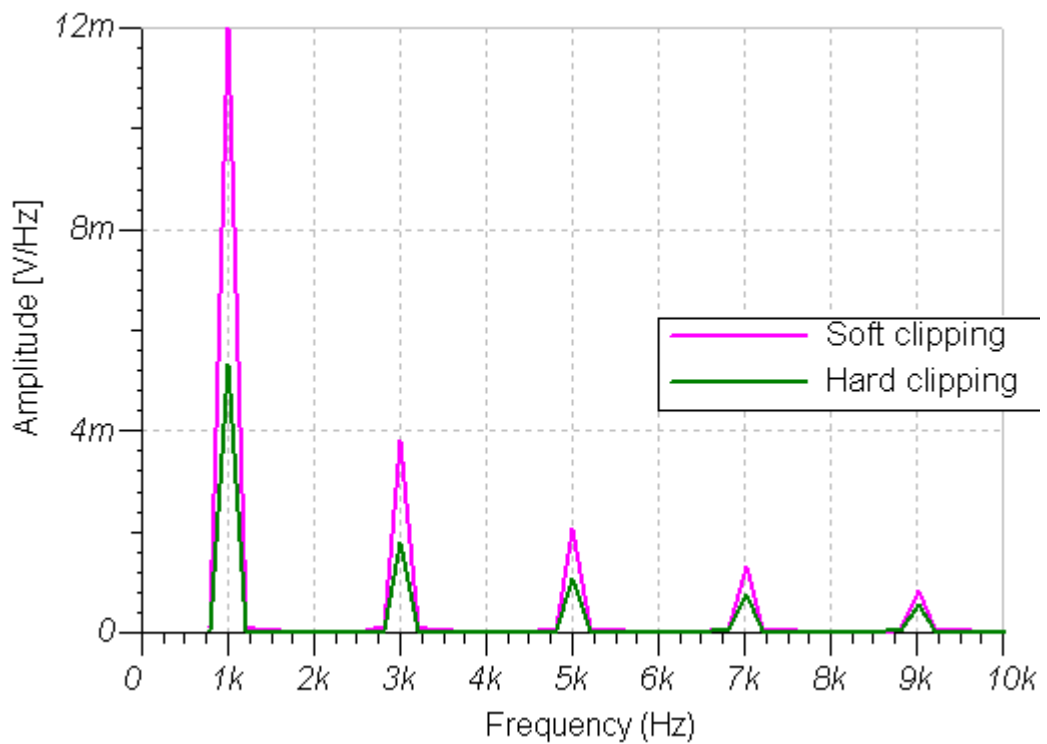
Obr. 7.8 Zapojené antiparalelně zelená a červená LED dioda



Obr. 7.9 Spektrum zelené a červené LED diody



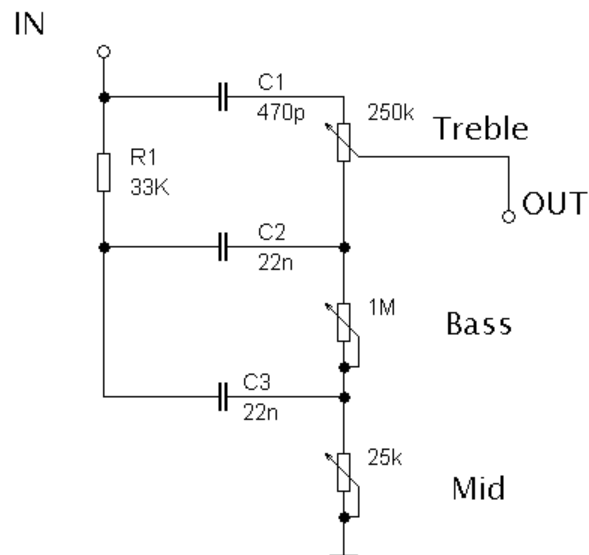
Obr. 7.10 Antiparalelně zapojené červené LED diody



Obr. 7.11 Spektrum antiparalelně zapojených červených LED diod

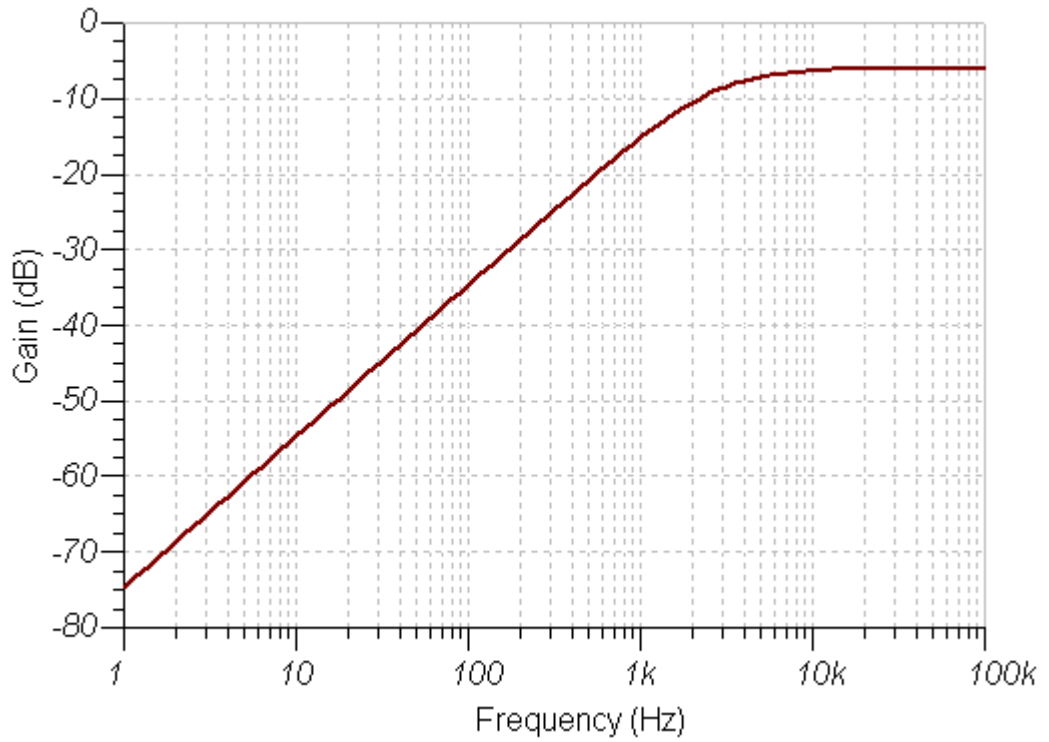
## 8 Korektory

Korektory se začaly používat nejprve v elektronkových zesilovačích. Na obr. 8.1 je zobrazen pasivní 3-pásmový korektor. Matematický popis tohoto korektoru by byl příliš složitý a nepřehledný, a proto vystačíme pouze s popisem grafickým. Ke správné činnosti tohoto korektoru je třeba jej budit napěťovým zdrojem o výstupní impedanci maximálně několik stovek ohmů. Dále je třeba zabezpečit, aby tento korektor byl zatěžován velikou vstupní impedancí následujícího stupně, typicky několik M $\Omega$ .

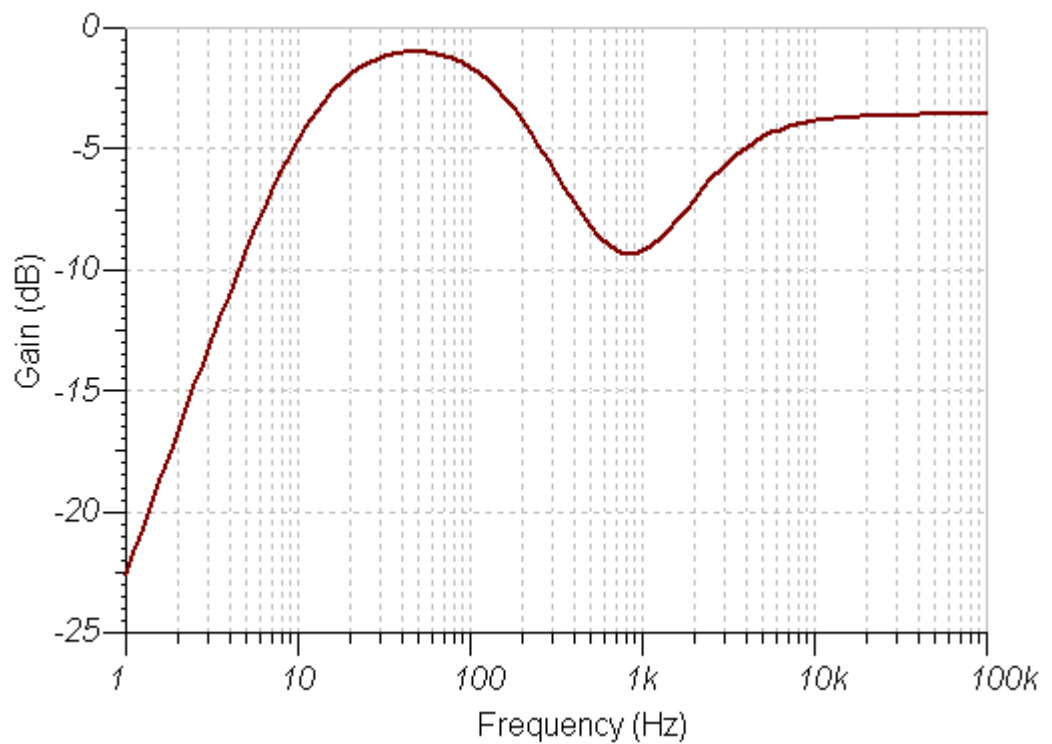


Obr. 8.1 Korektor používaný firmou Marshall

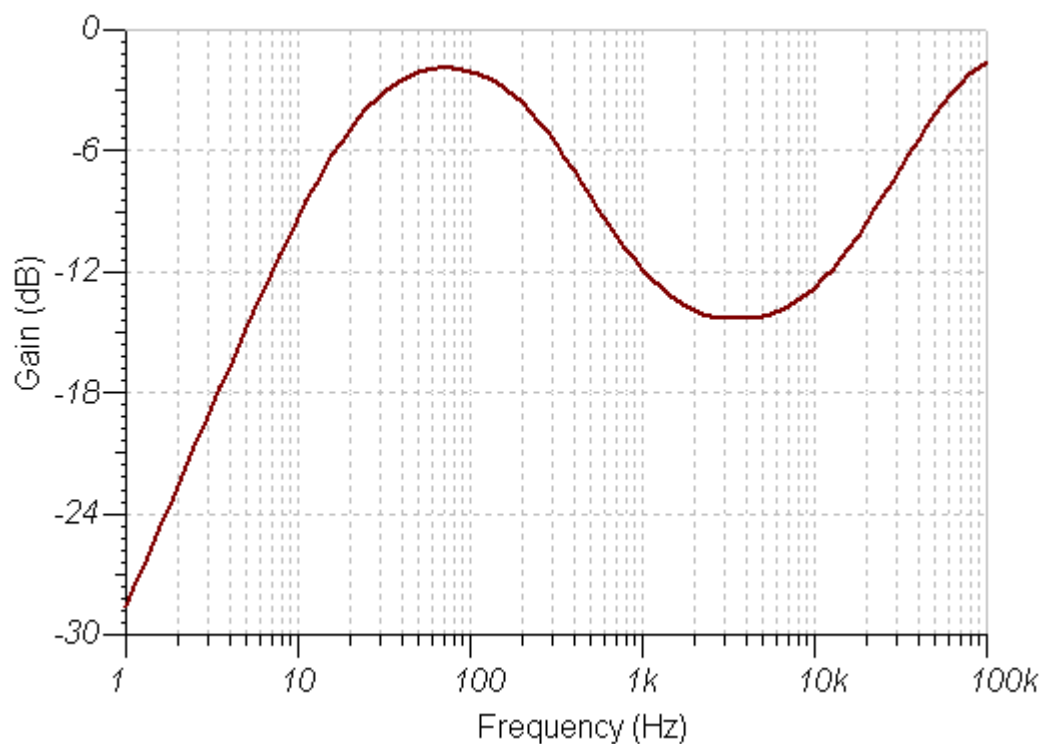
Frekvenční charakteristiky tohoto korektoru jsou zobrazeny níže



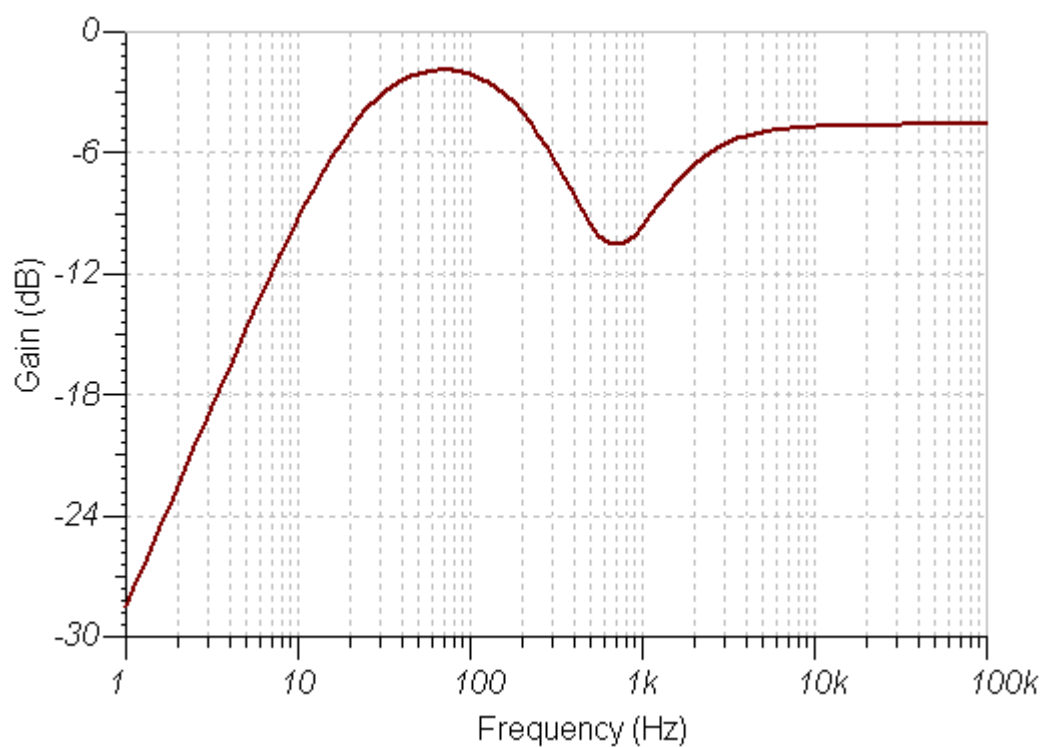
Obr. 8.2 Frekvenční charakteristika (treble 125k, bass 0, mid 0)



Obr. 8.3 Frekvenční charakteristika (treble 125k, bass 1M, mid 25k)



Obr. 8.4 Frekvenční charakteristika (treble 0, bass 500k, mid 12,5k)

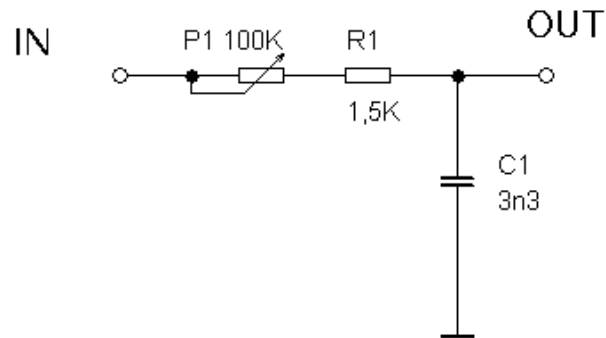


Obr. 8.5 Frekvenční charakteristika (treble 250k, bass 500k, mid 12,5k)

Na obr. 8.6 je zobrazen korektor typu dolní propust. Níže jsou uvedeny mezní kmitočty a ověřeny pomocí simulace. Ke správné činnosti tohoto korektoru je třeba



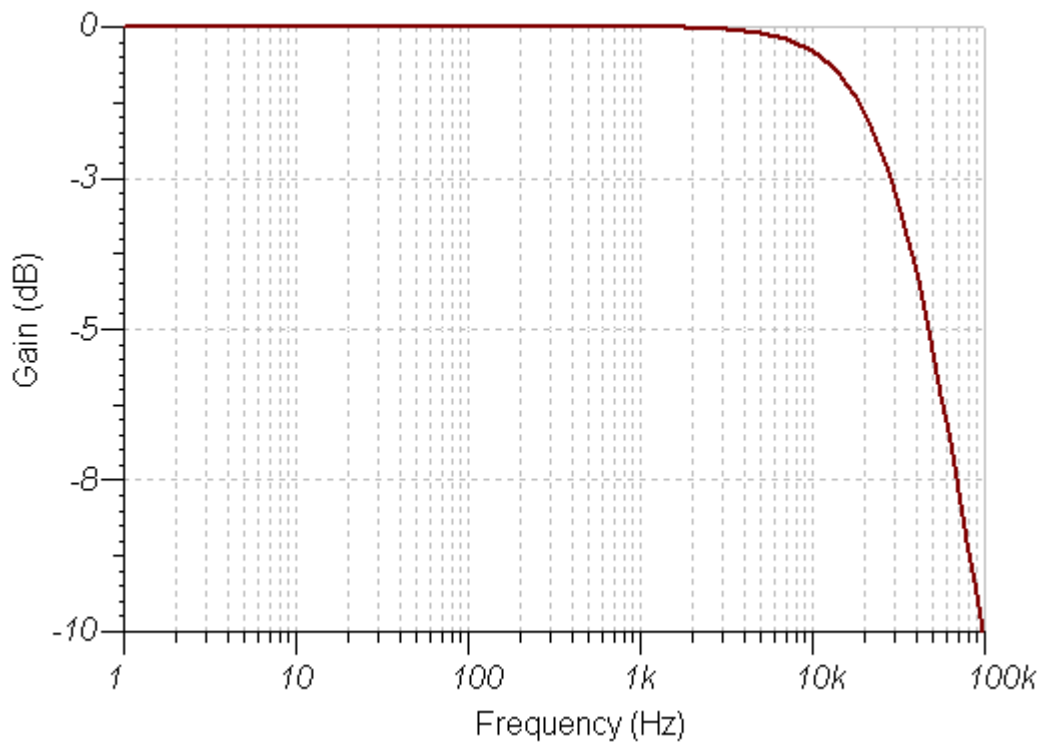
jej budit napěťovým zdrojem o výstupní impedanci maximálně několik stovek ohmů.



Obr. 8.6 Korektor typu dolní propust

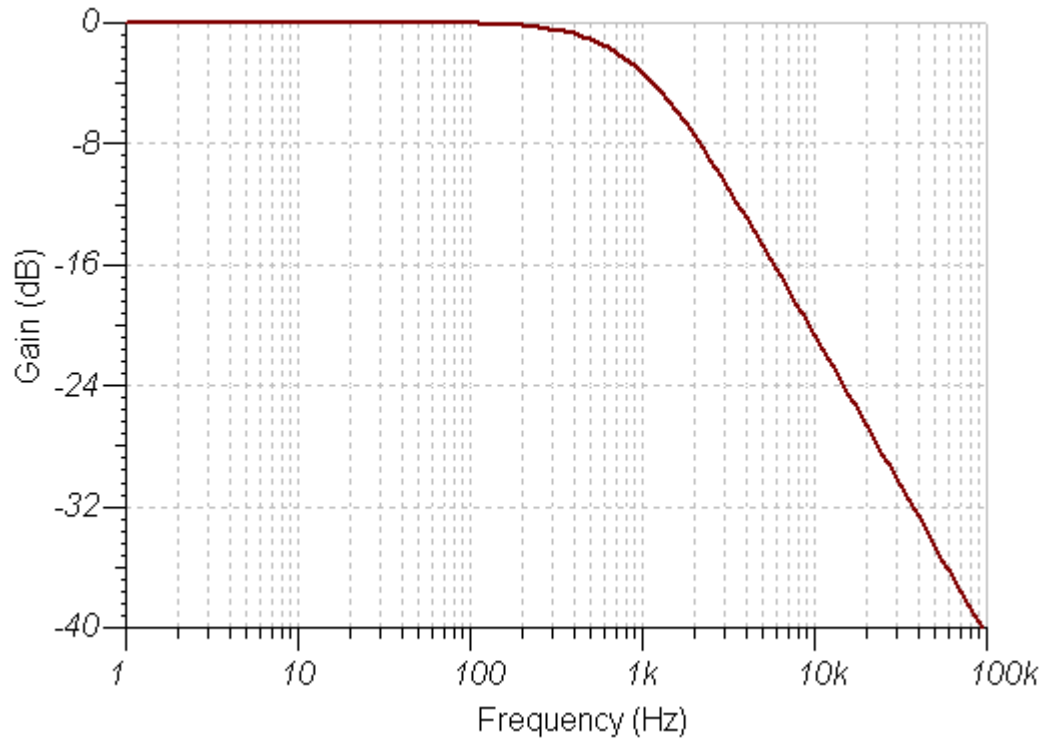
Využijeme vztah (4) a spočítáme mezní kmitočty pro dolní propust

$$f_M = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1500 \cdot 3,3 \cdot 10^{-9}} = 32,15 \text{kHz}$$



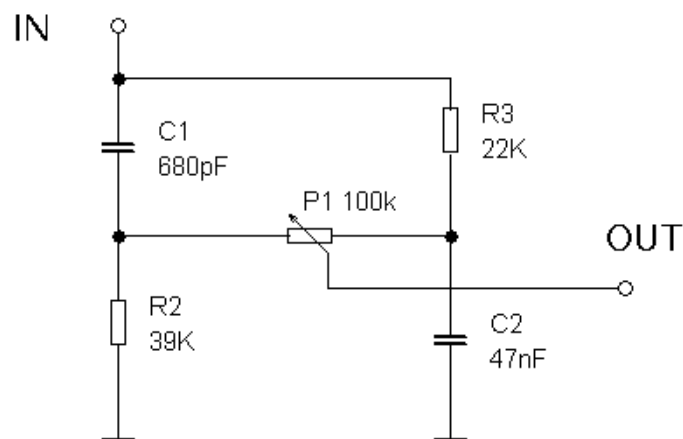
Obr. 8.7 Frekvenční charakteristika (potenciometr nastaven na 0 Ω)

$$f_M = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 101500 \cdot 3,3 \cdot 10^{-9}} = 475,16 \text{Hz}$$



Obr. 8.8 Frekvenční charakteristika (potenciometr nastaven do levé krajní polohy)

Na obr. 8.9 je zobrazen korektor složený z dolní a horní propusti. Je zde opět využito simulace v programu Tina.

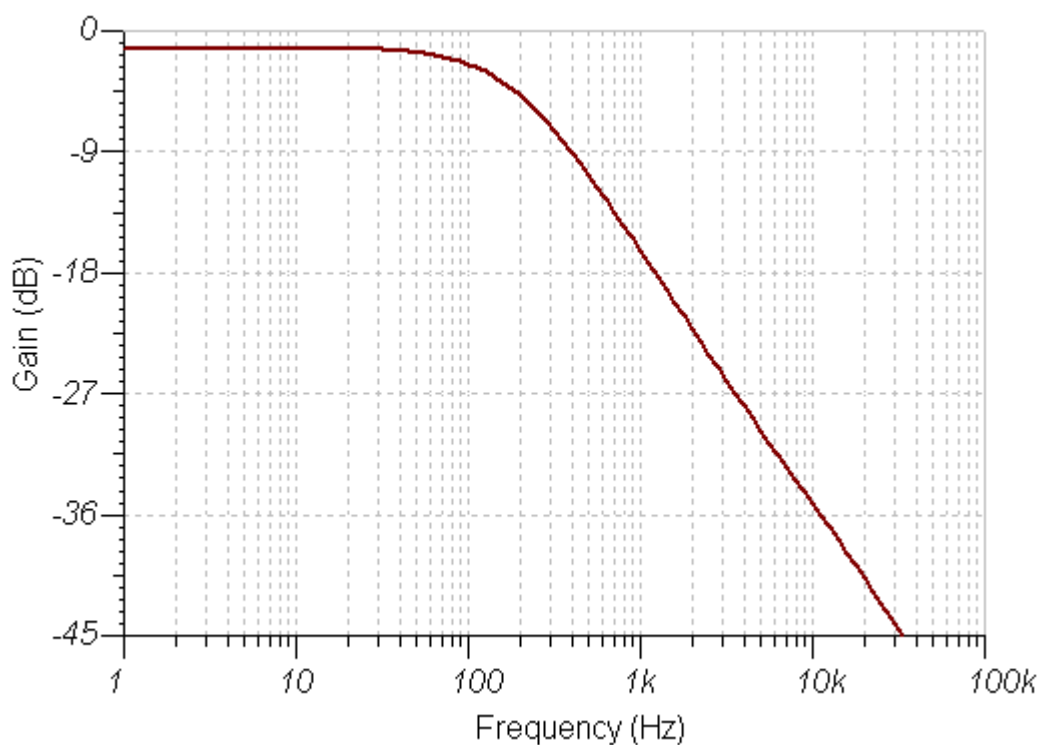


Obr. 8.9 Korektor složený z dolní a horní propusti

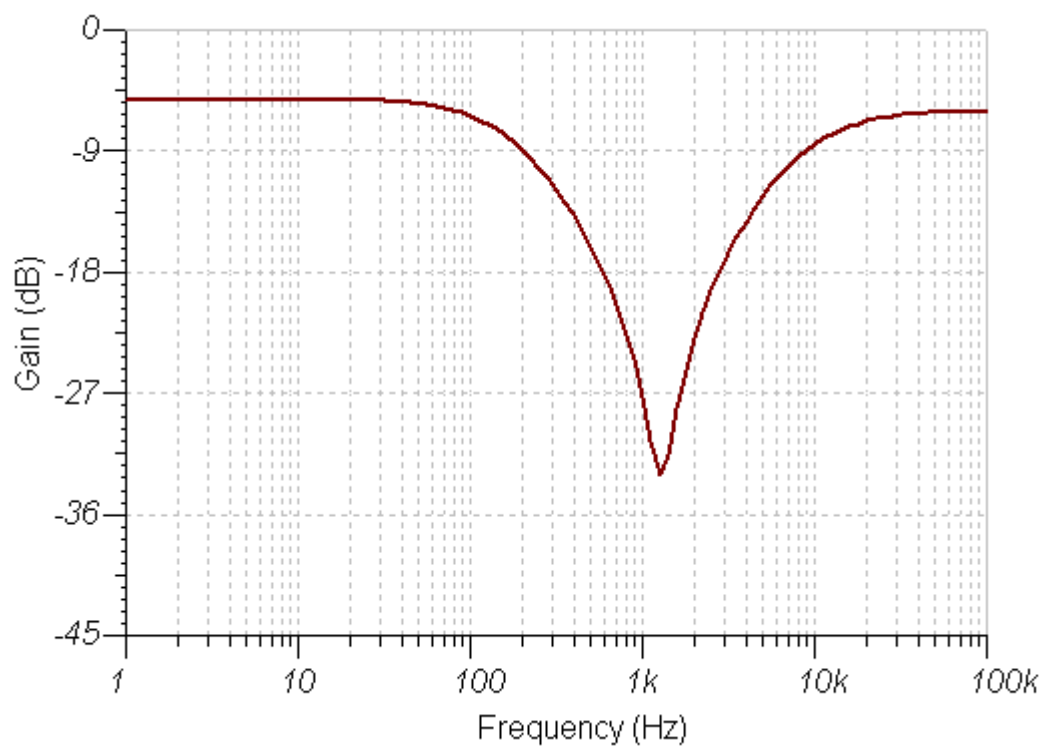
Využijeme vztah (4) a spočítáme mezní kmitočty pro dolní a horní propust

$$f_M = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 39000 \cdot 680 \cdot 10^{-12}} = 6 \text{ kHz}$$

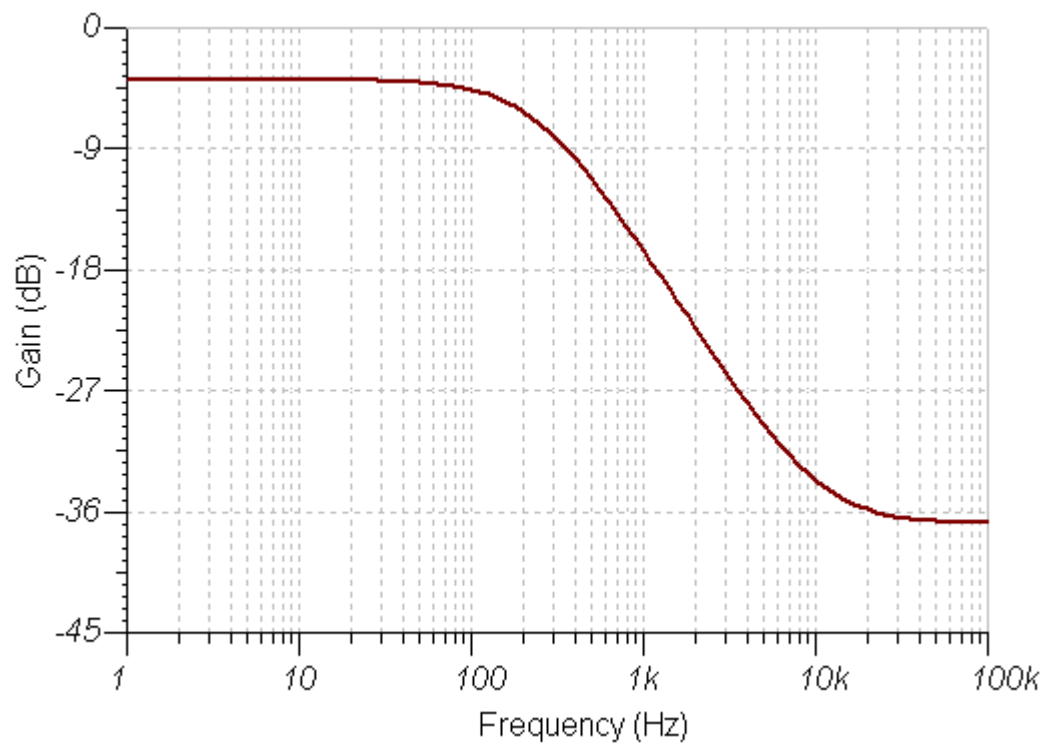
$$f_M = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 22000 \cdot 47 \cdot 10^{-9}} = 153,9 \text{ Hz}$$



Obr. 8.9 Frekvenční charakteristika (potenciometr nastaven na 0 Ω)



Obr. 8.10 Frekvenční charakteristika (potenciometr nastaven na 50 kΩ)



Obr. 8.11 Frekvenční charakteristika (potenciometr nastaven na 100 kΩ)

## 9 Schéma

viz příloha A a B

### 9.1 Seznam součástek

Rezistory	Trimr R28 50k/L
R1 M22	Trimr R34 4k7/L
R2 20k	
R3 20k	
R4 33k	Kondenzátory
R5 33k	C1 220nF
R6 1k5	C2 100nF
R9 180k	C3 100nF
R10 4k7	C5 47pF
R11 M33	C7 47pF
R12 20k	C9 1,5nF
R13 22k	C12 1000nF
R20 10k	12x 100nF blokovací
R21 33k	
R22 15k	Ostatní
R23 33k	6xIO TL072
R24 15k	
R31 8k2	
	<b>Korektory</b>
Potenciometry	Rezistory
	R1 33k
	R2 1k5
Trimr R32 500k/G	R3 22k
P1 tandemový 10k/L	R4 39k
Trimr R17 47k/L	
Trimr R33 4k7/L	Potenciometry
P4 47k/L	P1 250k/G
P5 4k7/G	P2 1M/G

P3 25k/L

P4 100k/G

P5 100k/L

Kondenzátory

C1 470pF

C2 22nF

C3 22nF

C4 3,3nF

C5 680pF

C6 47nF

## **9.2 Navržené desky plošného spoje**

viz přílohy F a G

## Závěr

V první části diplomové práce jsem se zabýval vlastnostmi zvuku. Dále jsem popsal funkci zkreslovacích a modulačních efektů a pro práci důležité efekty distortion a overdrive. Efekty jsou využívány v různých stylech hudby a některé efekty určily směr hudebních stylů.

V následující části je popisováno celé schéma, nejdříve obecně a poté dosazeno do vzorců a vypočítány základní hodnoty jednotlivých funkčních bloků. Nejprve je popsán blok s RC filtry, realizovaný jako dolní propust a odvozen mezní kmitočet od nejnižšího kytarového tónu. Poté je zapojen neinvertující zesilovač s velkým vstupním odporem. Dále je horní propust sestavena pomocí state variable filter, který je v obvodu využit ještě jednou, avšak jako dolní propust. Mezi oběma SVF jsou obvody omezovačů, které se skládají z několika kombinací germaniových, křemíkových a LED diod zapojených antiparalelně. Jako další je zapojen sledovač pro buzení dalšího obvodu a tím jsou korektory, které se skládají vždy z jednoho nebo více filtrů. A nakonec opět impedanční přizpůsobení v podobě sledovače a následuje dolní propust. Schéma zapojení je v příloze A a B. Kompletní schéma s různými typy omezovačů jsou v přílohách C a D. A kompletní navržené desky pro výrobu najdeme v přílohách F a G. V příloze E je oddělen obvod s korektory z důvodu usnadnění návrhu desky plošného spoje.

Bloky omezovačů vychází z efektu distortion a overdrive. Distortion propůjčí kytarě agresivní nabuzený zvuk díky ořezávání špiček signálu. Proto jeho název hard clipping. Overdrive produkuje naopak jemnější a čitelnější diodové zkreslení a proto název soft clipping. Overdrive je též citlivější na dynamiku úhozu hráče a lépe s ním „spolupracuje“. Tento zvukový charakter ho předurčuje k použití v méně agresivních stylech hudby.

Realizované zařízení je zamýšleno jako univerzální overdrive/distortion s širokými možnostmi nastavení a z toho vycházející široké palety barev zvuků.

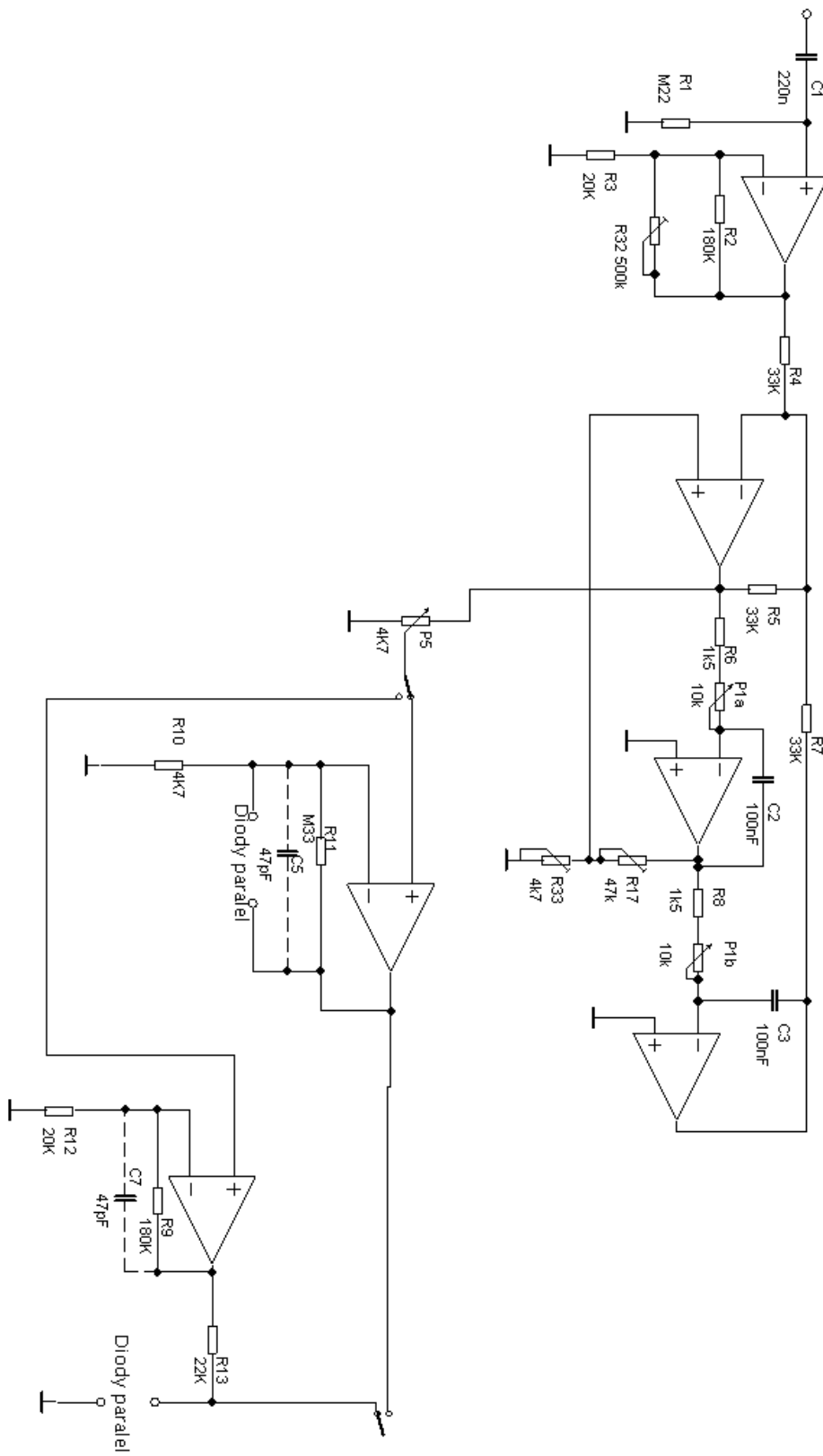
## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SCHEMATICS EFFECTS 2 [online]. Poslední změna 29. 2. 2012. [Cit. 3. 3. 2012]. Dostupné z WWW: [http://www.klimaco.net/Music\\_rnd\\_pages/schematics\\_effects\\_2.htm](http://www.klimaco.net/Music_rnd_pages/schematics_effects_2.htm)
- [2] PUNČOCHÁŘ J. *Operační zesilovače v elektronice*. Praha, Ben: 2005. ISBN 80-7300-059-8.
- [3] GENERAL GUITAR GADGETS [online]. Poslední změna 9. 3. 2012. [Cit. 25. 4. 2012]. Dostupné z WWW: <http://www.generalguitargadgets.com/>
- [4] MÜLLER, Radek. *Návrh před zesilovače pro vytváření kytarových efektů*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [5] VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ [online]. Poslední změna 10. 9. 2008. [Cit. 5. 2. 2012]. Dostupné z WWW: [http://uprt.vscht.cz/ucebnice/LO/download/Navod\\_OZ.pdf](http://uprt.vscht.cz/ucebnice/LO/download/Navod_OZ.pdf)
- [6] WIKIPEDIE [online]. Poslední změna 15. 12. 2011. [Cit. 1. 3. 2012]. Dostupné z WWW: [http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1skov%C3%A9\\_echo](http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1skov%C3%A9_echo)
- [7] MUZIKUS, Hudební portál [online]. Poslední změna 14. 4. 2012. [Cit. 16. 4. 2012]. Dostupné z WWW: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Jak-pracuji-efekty-l~19~leden~2009/>
- [8] SÝKORA, R., KRUTÍLEK, F. a VČELAŘ, J. *Elektronické hudební nástroje a jejich obvody*. Praha, SNTL: 1981.
- [9] VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA [online]. Poslední změna 13. 4. 2005. [Cit. 10. 2. 2012]. Dostupné z WWW: [http://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly\\_akustika.htm](http://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm)
- [10] HRUBÝ, Jan. *Konstrukce předzesilovače pro elektrickou kytaru*. Plzeň, 2007. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.

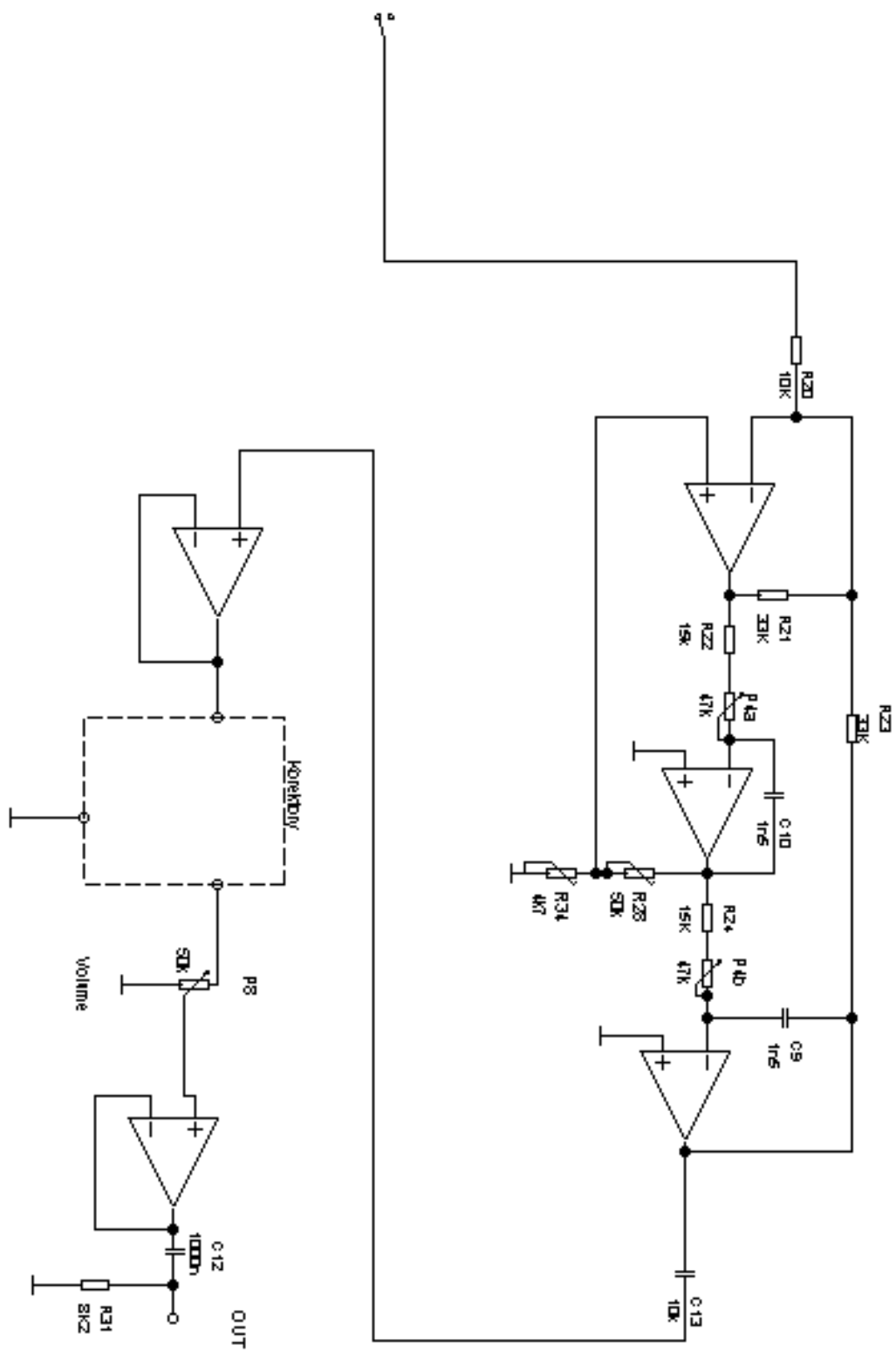


# Přílohy

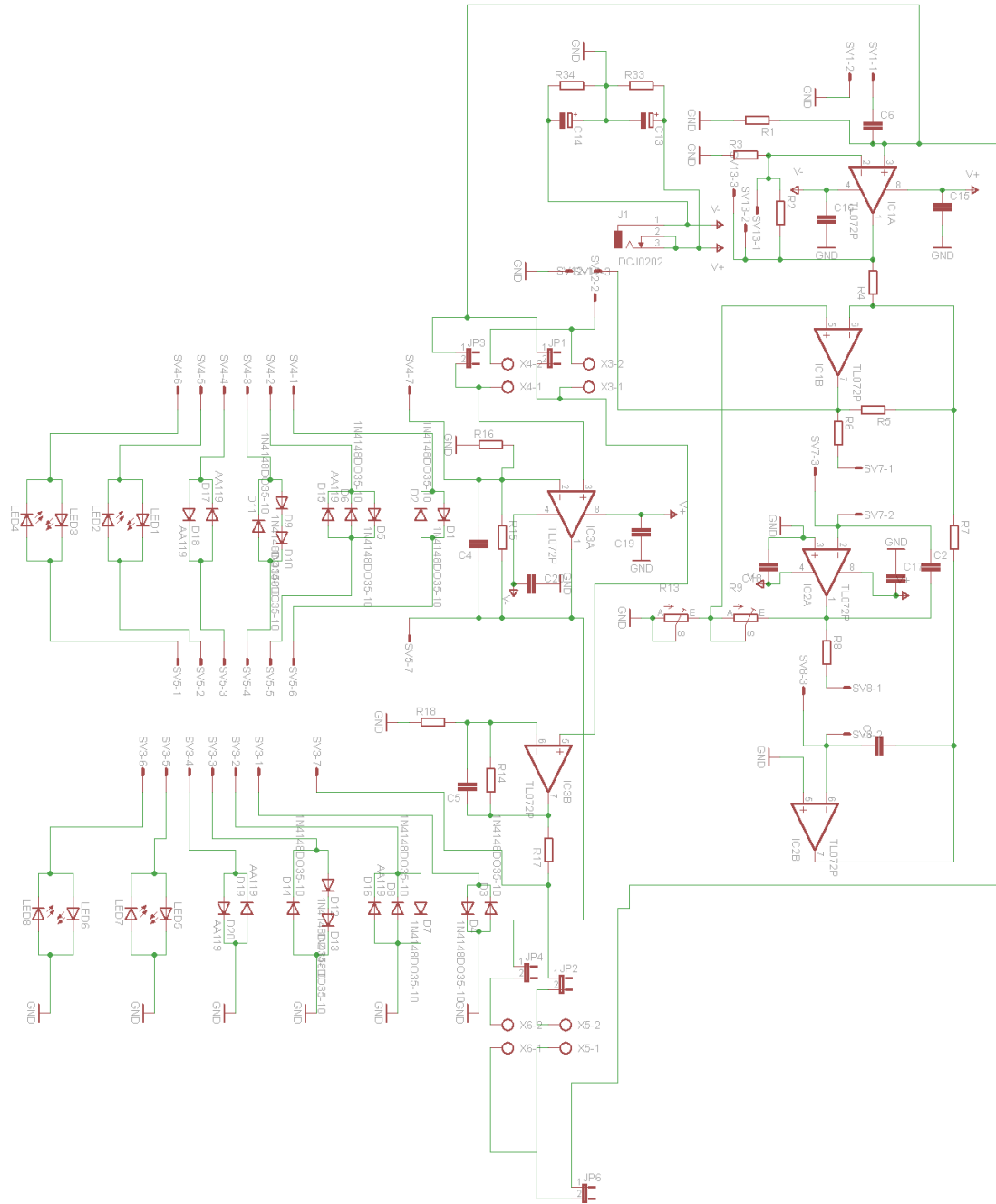
## Příloha A - 1. část obvodu



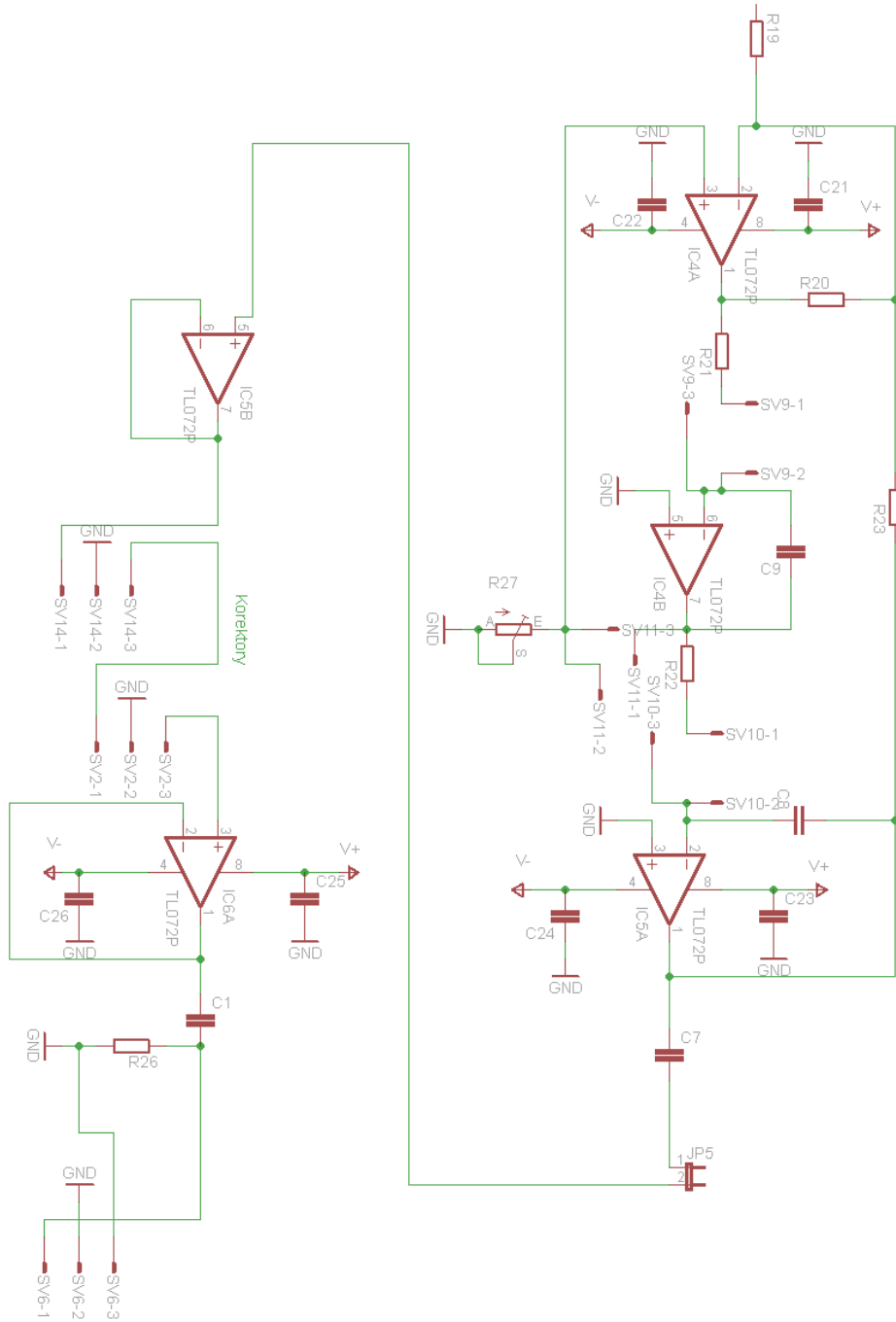
Příloha B - 2. část obvodu



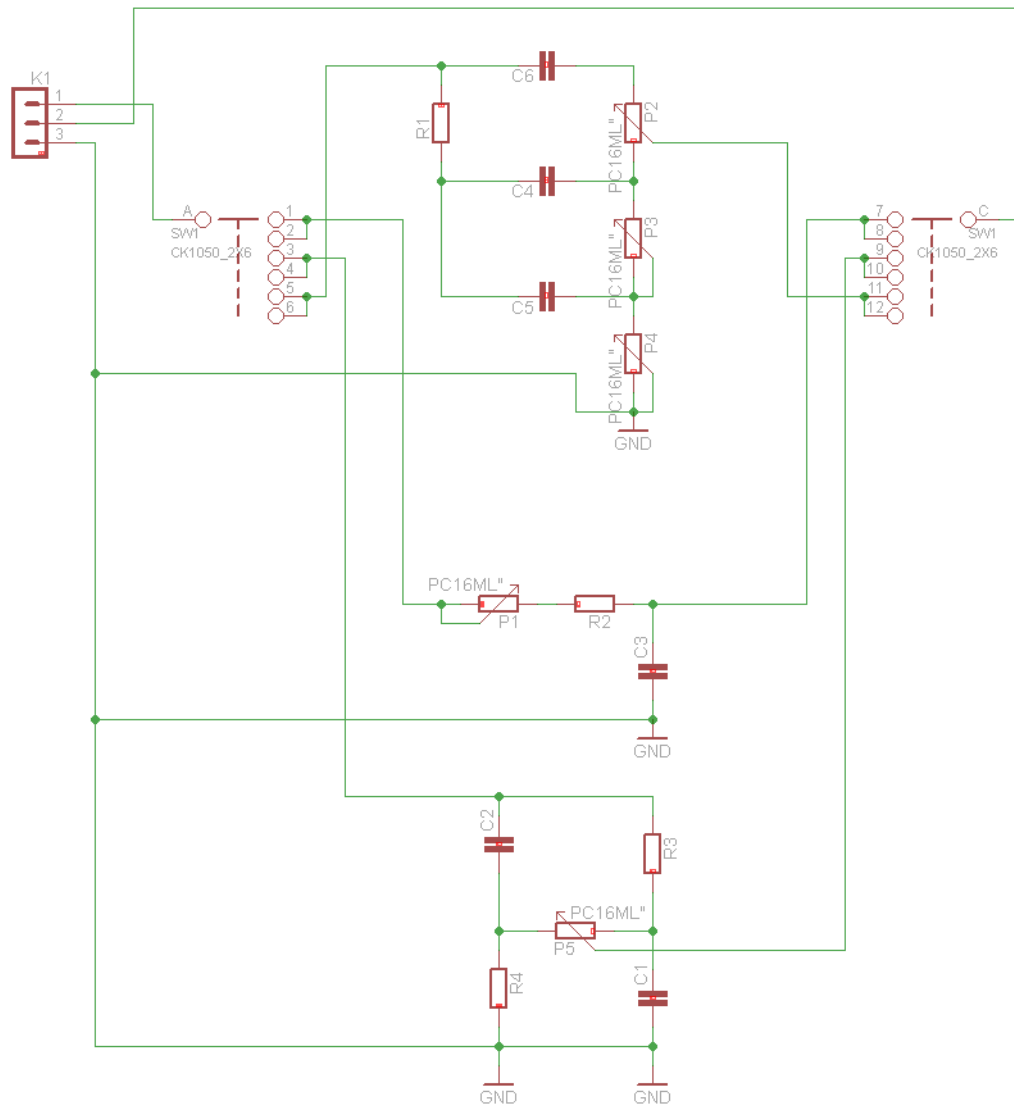
# Příloha C - 1. část obvodu v programu Eagle



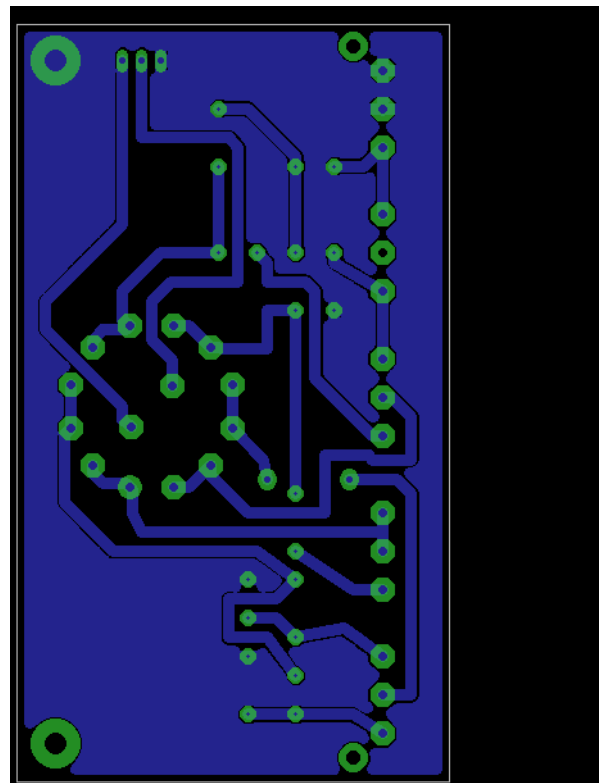
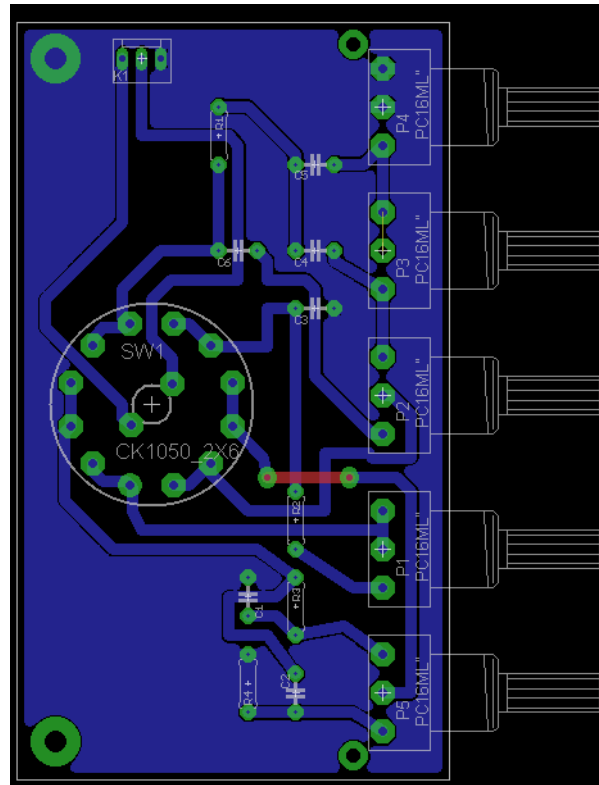
## Příloha D - 2. část obvodu v programu Eagle



# Příloha E - schéma korektorů v programu Eagle



Příloha F - návrh DPS pro korektory



Příloha G - návrh DPS pro celý obvod

