

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce fázovací jednotky pro kytaru

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Rostislav FLEK**
Osobní číslo: **E09B0264P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Konstrukce fázovací jednotky pro kytaru**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

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

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

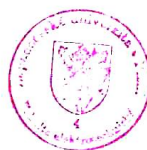
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

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

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**



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



L.S.



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na obvodové řešení fázového efektu pro kytaru, konstrukci a následné měření jeho parametrů. Návrh efektu je detailně rozebrán a rozdělen do tří hlavních částí. Přiblíží Vám co se děje s kytarovým signálem v jednotlivých částech obvodu až po výsledný zvuk efektu a to vše s náležitým matematickým odvozením. Nakonec upozorňuje na možné chyby a vylepšení, které nám zaručí lepší funkčnost, odladění a spolehlivější práci fázového efektu.

Klíčová slova

Fázovací článek, fázová modulace, generátor tvarových kmitů, konstrukce fázovací jednotky pro kytaru

Abstract

This work is focused on the circuit of phase effect for guitar, his construction and subsequent measurement of the parameters. Design effect is discussed in detail and divided into three main parts. Closer to what is going on with the guitar signal in different parts of the circuit to the sound effect and all with appropriate mathematical derivation. Finally, we note the possible errors and enhancements that will give us better function, debugging and reliable work phase effect.

Key words

phasing article, phase modulation, waveform generator, construction phasing unit for guitar,

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 4.6.2013

Jméno příjmení

.....

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ	10
SEZNAM SOUČÁSTEK	12
1 POPIS SCHÉMA VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ ČÁSTI ZAŘÍZENÍ	14
1.1 HŘEBENOVÝ FILTR	15
2 POPIS SCHÉMA FÁZOVACÍCH STUPŇŮ	16
2.1 ZÁKLADNÍ SCHÉMA FÁZOVACÍHO STUPNĚ	16
2.2 JEDNOTLIVÉ FÁZOVACÍ STUPNĚ V NÁVRHU	17
2.3 FÁZOVÁ MODULACE.....	18
2.3.1 <i>Směšování signálů se vzájemně proměnnou fází</i>	19
3 POPIS SCHÉMA GENERÁTORU PRAVOÚHLÉHO PRŮBĚHU	21
3.1 GENERÁTORY	25
3.1.1 <i>Generátory tvarových kmitů</i>	26
ZÁVĚR	28
POUŽITÁ LITERATURA	29
PŘÍLOHA A	30
SCHÉMA ZAPOJENÍ	30
A.1 FÁZOVACÍ JEDNOTKA S NAPÁJENÍM A FILTRAČNÍMI KONDENZÁTORY	30
PŘÍLOHA B	32
DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	32
B.1 HORNÍ ČÁST DESKY FÁZOVACÍ JEDNOTKY.....	32
B.2 DOLNÍ ČÁST DESKY FÁZOVACÍ JEDNOTKY	33
B.3 OSAZOVACÍ VÝKRES	33
PŘÍLOHA C	34
MĚŘENÍ KYTAROVÉHO EFEKTU	34
C.1 MĚŘENÍ VSTUPNÍCH A VÝSTUPNÍCH SIGNÁLŮ FÁZOVÉHO EFEKTU	34

Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na obvodové řešení kytarového efektu typu Phaser a jeho následný návrh, konstrukci a měření.

Na dnešním trhu existuje nepřeberné množství kytarových efektů. Ty nejznámější z nich jsou např. Fuzz efekt (slouží ke zkreslení signálu, výsledný signál je agresivnější a hutnější), Tremolo efekt (vzniká ztlumováním a zesilováním signálu), Vibrato efekt (tvořený zpomalením a následným zrychlením signálu), Echo efekt (vytváří ozvěnu a dozvuk signálu), Chorus efekt (násobí původní signál, takový signál je poté jemně zrychlený či zpomalený a vzniká dojem mohutnosti), Leslie efekt (efekt vytvářející rotaci signálu), Flanger efekt (navozuje dojem prolétávajícího letadla) a Phaser efekt (podobný Flanger efektu, který má navíc stoupající a klesající charakter). Všechny tyto efekty jsou dnes k dostání v softwarové, pedálové či rack (efekty pro zabudování do skříně) podobě.

První efekty spatřili světlo světa už v 50. letech, kdy nebyli ještě dostupné křemíkové polovodiče. První Phaser efekt byl vyroben na začátku 70. let firmou Electro-Harmonix, který pomáhal vyvíjet Jimi Hendrix. Následně byl nejvíce používán kapelami Pink Floyd a Metallica.

Phaser vzniká otáčením fáze, ale lidské ucho toto otáčení fáze nevnímá. Znamená to, že čím vyšší je frekvence, tím dochází ke většímu zpoždění. Výsledný efekt vznikne, je-li smíchán fázově otočený zvuk s původním signálem. Hudebníci říkají, že Phaser „dýchá“ nebo-li si tento efekt můžete představit jako mexickou vlnu na fotbalovém hřišti. Pokud použijeme efekt na hudbu, bude znít dost nepřirozeně, a proto se efekt zásadně aplikuje pouze na nástroje (kytara, saxofon, baskytara, klávesy, atd.). Krabička s Phaser efektem se zapojuje mezi nástroj a zesilovač. Dnešním zvykem je používat tento efekt v tišších pasážích hudby či v sólových pasážích nástroje, aby si mohl posluchač zvuk vychutnat a neztratil se v hudbě mezi ostatními nástroji.

Tato práce je rozdělena do tří hlavních částí, kde je detailně rozebráno schéma kytarového efektu a zároveň popsáno jak a pomocí čeho dosáhneme fázového efektu.

Seznam symbolů

$A(\Omega)$ [dB].....	Napět'ový přenos
Ω [Hz].....	Poměrný kmitočet
$\omega_0, \omega_1, \omega_2$ [rad/s].....	Vztažný kmitočet k hodnotě
ω [rad/s].....	Úhlová frekvence
ψ [°].....	Úhel posuvu fáze
k [-].....	Celé kladné číslo
f [Hz].....	Frekvence nosné vlny
Δf [Hz].....	Rozdíl maximální frekvence a frekvence nosné vlny
IN [-].....	Vstup pro kytarový signál
IN1, IN2 [-].....	Pady pro připojení spínače
NAP1, NAP2, NAP3 [-].....	Pady určené pro připojení napájení
OUT [-].....	Výstup kytarového efektu
SW1, SW2, SW3 [-].....	Pady určené k připojení spínače
U_1 [V].....	Napětí vstupního zesilovače
U_2 [V].....	Výstupní napětí vstupního zesilovače
U_{f1} [V].....	Vstupní napětí fázovacího stupně
U_{f2} [V].....	Výstupní napětí fázovacího stupně
GND [-].....	Uzemnění
Drain, Source, Gate [-].....	Elektrody tranzistoru FET
FET [-].....	Tranzistor řízený polem (Field Effect Transistor)
$\varphi, \varphi_1, \varphi_2$ [°].....	Fázový posuv
$x(t)$ [-].....	Modulační signál
$y(t)$ [-].....	Nosný signál
$z(t)$ [-].....	Modulovaný signál
U_x [V].....	Napětí získané z děliče napětí
U_0 [V].....	Napětí odpovídající hodnotě -12V
U_{out} [V].....	Obecně značené výstupní napětí
$+U_{sat}$ [V].....	Kladné saturační napětí
$-U_{sat}$ [V].....	Záporné saturační napětí

U_{in} [V].....	Obecně značené vstupní napětí
U_k [V].....	Komparační meze komparátoru
U_h [V].....	Šířka hysterézní smyčky
i [A].....	Proud procházející odporem R_s
i_c [A].....	Proud kondenzátoru
i_r [A].....	Proud rezistoru
Phaser	Fázovací efekt
X [-]	Amplituda modulačního signálu
Y [-]	Amplituda nosného signálu
Jack	Konektor pro hudební nástroje
R_s [Ω]	Sériově sečtené odpory R_{25} a R_1

Seznam součástek

Keramické kondenzátory

C₁, C₄, C₅..... 100nF

C₂, C₇ 470nF

C₃ 330nF

C₆ 47nF

Elektrolytické kondenzátory

C₈ 5uF

C₉ 500nF

Fóliové kondenzátory

C₁₀ – C₁₄, C₁₇ – C₂₁..... 100nF

Tantalové kondenzátory

C₁₅, C₁₆ 100nF

Integrované obvody

IC1..... LM1458N

IC2 – IC5..... NE5532N

Tranzistory

Q₇ - Q₁₂ BF245

Potenciometry

R₁..... M47

R₂, R₅ 10kΩ

R₃, R₄ 50kΩ

Rezistory

R₁₂ – R₂₃, R₃₆, R₄₁..... 22kΩ

R₆ – R₁₁, R₃₂, R₃₃..... 10kΩ

R₂₉ – R₃₁..... 47kΩ

R₃₄, R₃₅..... M1

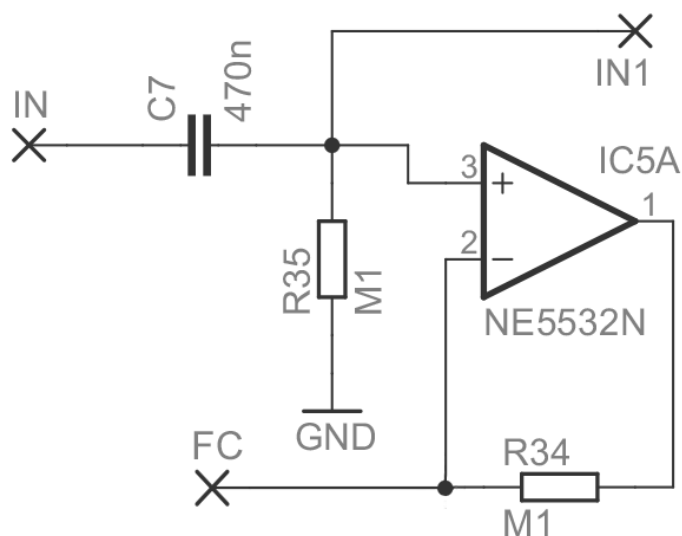
R₄₀, R₄₃..... 1kΩ

R₂₄..... 10M

R₂₅..... 4k7

R ₂₆	1M
R ₂₇	M33
R ₂₈	M47
R ₄₂	33kΩ
Trimry	
R ₄₄	33kΩ
R ₄₅	3k9
R ₄₆	12kΩ

1 Popis schéma vstupní a výstupní části zařízení

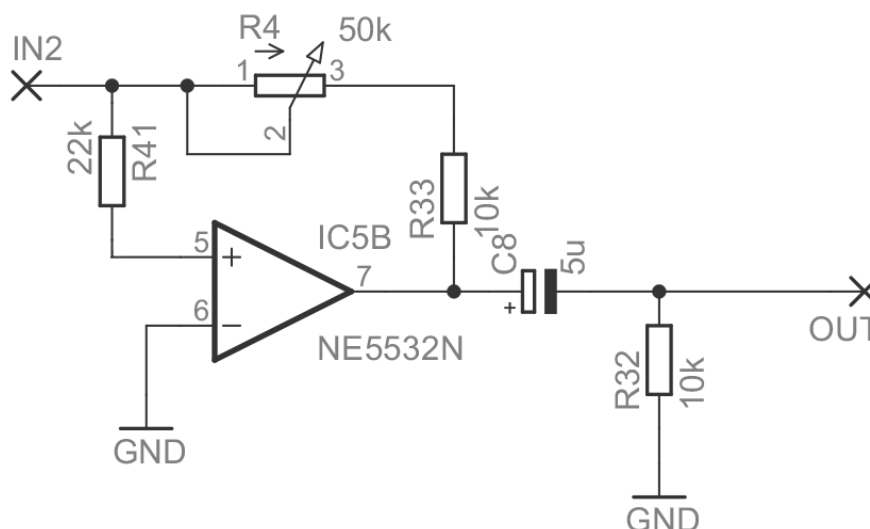


Obr. č.1 Vstupní část fázového efektu

Operační zesilovač IC5A pracuje jako vstupní zesilovač s velkou impedancí. Odpor R_{35} nastavuje vstupní citlivost fázového efektu a společně s kondenzátorem C_7 pracuje jako derivační článek. Na pad IN je přiveden vstupní signál z kytary či jiného nástroje. Pad IN1 odděluje vstupní a výstupní část celého zařízení a to nám umožňuje používat buď čistý kytarový signál či sfázovaný signál. Na pad FC je připojena část obvodu s jednotlivými fázovacími články.

Budeme-li uvažovat vstupní napětí U_1 na vstupu IN, pak napětí U_2 v bodě FC, tedy poté co signál projde operačním zesilovačem IC5A bude :

$$U_2 = U_1 \frac{j\omega R_1 C}{1 + j\omega R_1 C} \quad (1.1)$$



Obr. č.2 Výstupní část fázového efektu

Potenciometr R_4 slouží k nastavení výstupní úrovně signálu. Přes rezistor R_{36} a potenciometr R_5 viz. (Obr. A.1), který je připojený k zesilovači IC5B je přiveden sfázovaný (upravený) signál a zde je sečtený s nesfázovaným signálem a zesílen. Na výstup OUT je poté tento sfázovaný signál poslán do náležitého kytarového komba či reproboxu.

1.1 Hřebenový filtr

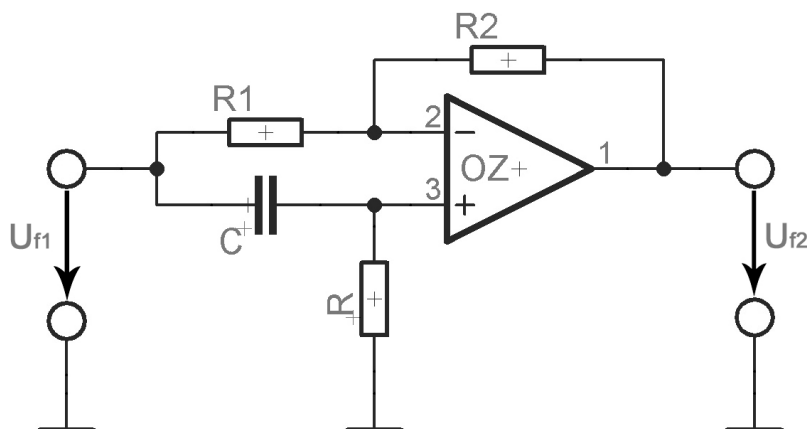
Jak u Phaser či Leslie efektu se často můžeme setkat z názvem Hřebenový filtr, Hřebenový efekt nebo-li Small Stone. V roce 1974 vyrobila firma Electro Harmonix první efekt s názvem Small Stone effect. Později se na trhu objevili firmy, které přinesli efekt úplně stejného charakteru, ale nesl název Phaser effect. Dva odlišné názvy ovšem úplně stejný efekt.

Tyto efekty vznikají vlivem fázové modulace. Čistý (nesfázovaný) signál sloučíme s fázově posunutým signálem a vzhledem ke sčítání a odečítání jednotlivých složek signálů dostaneme Hřebenový efekt. Tento efekt vnímáme v běžném životě takřka každý den. Pokud bychom byli v prostředí kde je klid a zahráli bychom na nějaký nástroj, naše ucho uslyší přesně ten samý tón co jsme na nástroj zahráli. Pokud se ale uzavřeme do místnosti, kde vznikají odrazy a zahrajeme-li totéž na nástroj, vlny na naše ucho nedopadnou ve stejném čase (ve stejné fázi). Některé frekvence jsou zesílené jiné naopak zeslabené, což vzniká právě odečítáním či sčítáním stejného signálu s rozdílnou fází. Ne vždy je Small Stone efekt žádaný.

Nahrávací studia se tomuto efektu co nejvíce vyhýbají. Aby se vyhnuli hřebenovému efektu používají tzv. tlumiče jako jsou paravany, závěsy, desky potažené textilií. Jakmile je hřebenový efekt v nahrávce zaznamenán už ho nelze odstranit žádným jiným efektem.

2 Popis schéma fázovacích stupňů

2.1 Základní schéma fázovacího stupně



Obr. č.3 Jednoduchý neinvertující fázovací stupeň

Fázovací článek obecně plní funkci zpožďovacího členu. Setkat se můžeme s invertujícím zapojením a neinvertujícím zapojením. Invertující zapojení se liší pouze prohozením součástek C a R viz. (Obr. č.3).

Napětový přenos jednoho fázovacího stupně je:

$$A(\Omega) = \frac{j\Omega - 1}{j\Omega + 1} \quad (2.1)$$

kde Ω je tzv. poměrný kmitočet, který určuje proměnnost rovnice:

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (2.2)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \quad (2.3)$$

Převědeme-li napět'ový přenos z rovnice (2.1) na exponenciální tvar, dostaneme:

$$A(\Omega) = e^{j \arctg \frac{2\Omega}{\Omega^2 - 1}} \quad (2.4)$$

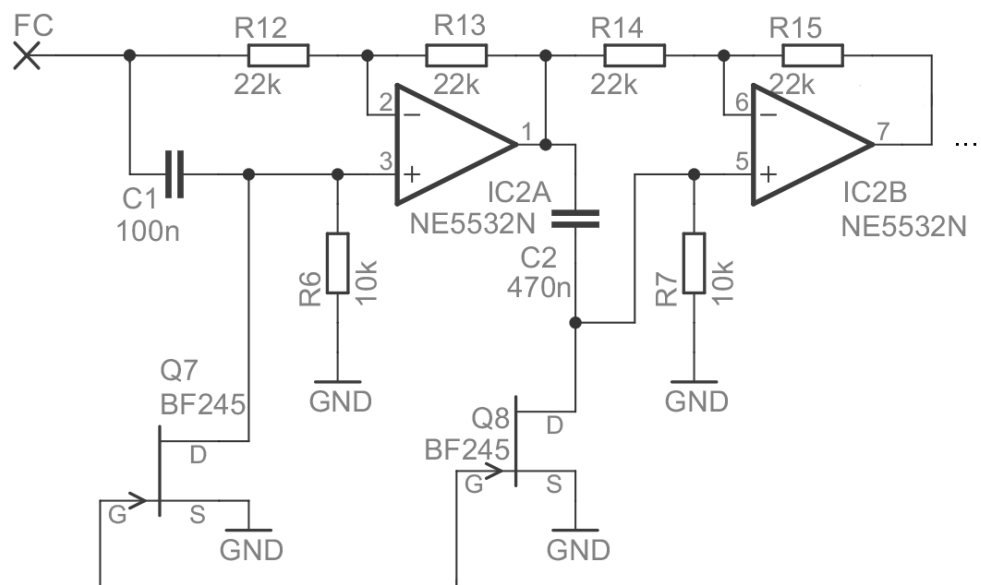
Jelikož zapojení obsahuje šest fázovacích stupňů, tak celkový napět'ový přenos je:

$$A(\Omega) = e^{j 6 \arctg \frac{2\Omega}{\Omega^2 - 1}} \quad (2.5)$$

Poté co projde čistý (nesfázovaný) signál blokem šesti fázovacích stupňů je jeho celkový úhel posuvu fáze:

$$\psi = 6 \arctg \frac{2\Omega}{\Omega^2 - 1} \quad (2.6)$$

2.2 Jednotlivé fázovací stupně v návrhu



Obr. č.4 Zapojení dvou fázovacích stupňů

Návrh kytarového efektu obsahuje dohromady šest fázovacích stupňů (Obr. A.1). Výše je zobrazen výřez dvou fázovacích stupňů (Obr. č.4). Oba stupně jsou realizovány

dílčími fázovacími stupni viz. (Obr. č.3). Fázovací stupně jsou tvořeny šesti nízko-šumovými operačními zesilovači typu NE5532 s velmi malým zkreslením. Napájení a GND fázovacích stupňů je ošetřeno filtračními fóliovými kondenzátory s malým teplotním koeficientem a ztrátami, které zabraňují pronikání rušení do signálu při překlápění obvodu. Na bod FC je připojen signál, který byl zpracován vstupním zesilovačem IC5A viz. (Obr. č.1). Odporů R_6 , R_7 , R_8 , R_9 , R_{10} , R_{11} viz. (Obr. A.1) omezují shora odpor R viz. (Obr. č. 3).

Blok fázovacích stupňů dále obsahuje napěťově řízený odpor, který je realizovaný pomocí unipolárních tranzistorů FET. Pro funkčnost musí být rezistor umístěn mezi drain a source FET tranzistoru a napětím na gate je řízen jeho odpor. Čím větší bude odpor tranzistorů, tím menší bude výsledný fázový posuv.

2.3 Fázová modulace

Fázová modulace je modulace, u které měníme modulačním signálem fázi nosné vlny, ale amplituda nosné vlny zůstává stejná viz. (Obr. č.4). Zvuk pomocí této modulace vzniká následkem časově se měnící fáze tónových signálů. Takový zvuk nabývá stejného dojmu jako při kmitočtové modulaci. Pokud je fáze měněna plynule, tak i kmitočet je měněn plynule.

Mějme modulační signál o frekvenci ω_1 s fází φ_1 , který můžeme popsat rovnicí:

$$x(t) = X \sin(\omega_1 t + \varphi_1) \quad (2.7)$$

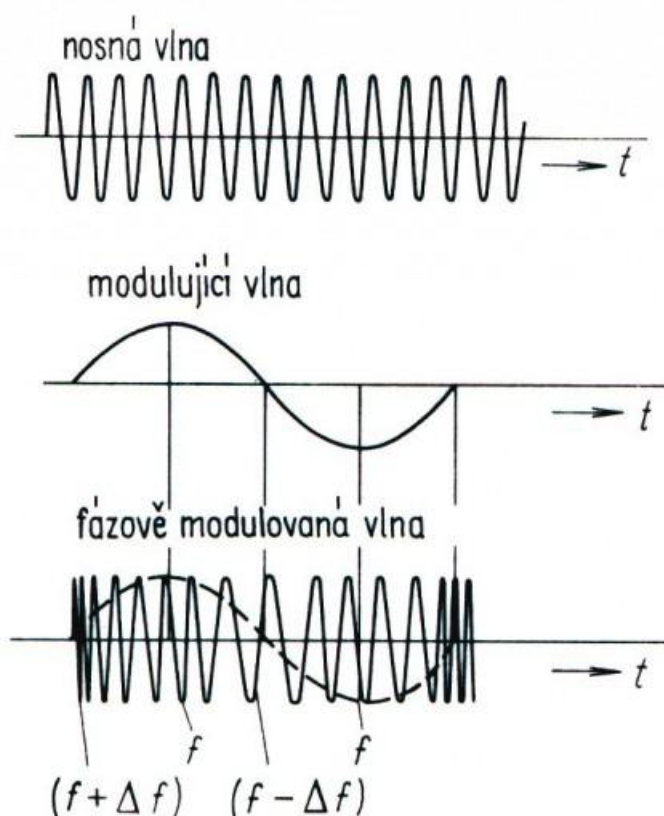
poté nosný signál lze popsat:

$$y(t) = Y \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \quad (2.8)$$

Modulovaný signál je pak popsán vztahem:

$$z(t) = Y \sin(\omega_2 t + x(t) + \varphi_2) \quad (2.9)$$

Pokud srovnáme fázovou a frekvenční modulaci zjistíme, že v krátkém časovém úseku se chovají shodně, ale v delším časovém úseku při konstantní hodnotě modulačního signálu má fázová modulace neměnný fázový posuv. Naopak frekvenční modulace má v takovém případě lineárně se měnící fázový posuv. Jako další rozdíl mezi těmito druhy modulace může být, že pomocí fázové modulace nelze přenést stejnosměrný signál, ale frekvenční modulací ano.



Obr.č.4 Fázová modulace [9]

Modulovaný průběh má frekvenci nosné vlny v okamžiku, kdy má modulační signál nulovou derivaci nebo-li v čase se nemění viz. (Obr. č.4). Výraz $(f + \Delta f)$ vyjadřuje maximální frekvenci modulovaného signálu. Modulovaný signál má nejvyšší frekvenci v okamžiku, kdy se modulační signál nejrychleji mění, tudíž má nejvyšší derivaci. Analogicky $(f - \Delta f)$ je minimální frekvence modulovaného signálu.

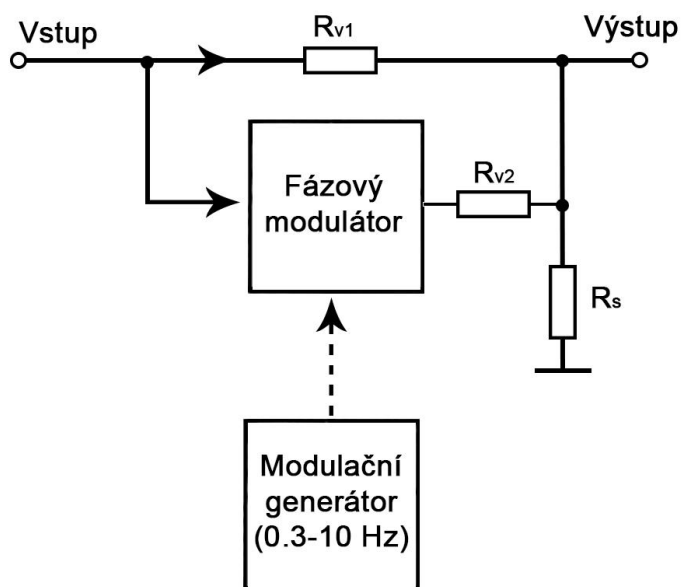
2.3.1 Směšování signálů se vzájemně proměnnou fází

Sloučíme-li ve vhodném poměru signály (s proměnnou fází) na výstupu fázového modulátoru se signálem na vstupu (s neproměnnou fází) fázového modulátoru vzniknou hlasitostní minima pro složky signálů, které jsou v daném okamžiku v protifázi tzn. fázový posun $\varphi = 180^\circ$. Tyto hlasitostní minima se budou rovnoměrně posouvat v závislosti na modulačním kmitočtu přes celý rozsah kmitočtů ve kterém fázový modulátor pracuje a vytváří fázový posun:

$$\varphi = (2k - 1) * \pi \quad (2.10)$$

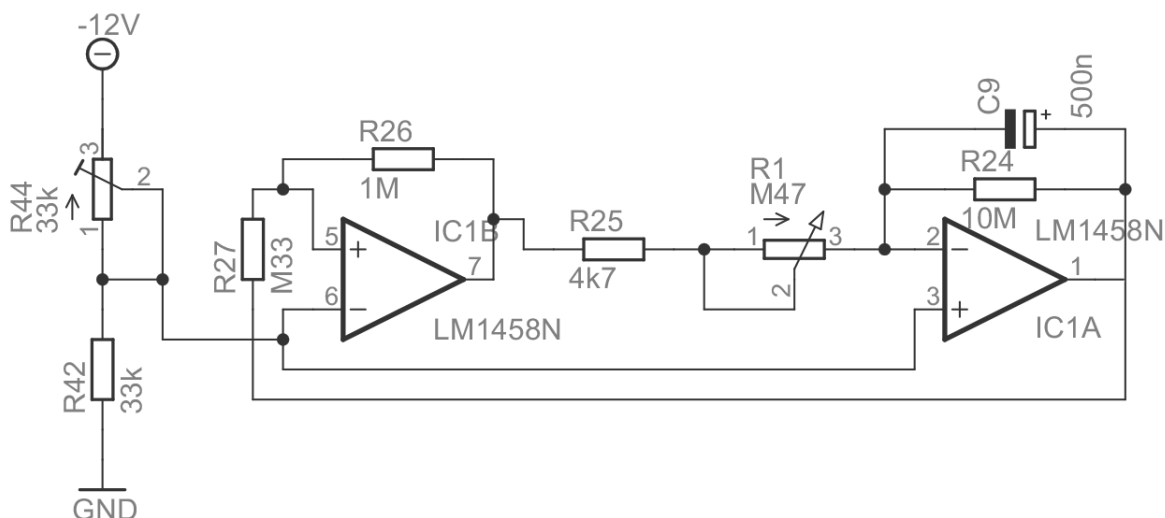
Kde π je úhel 180° a k je celé kladné číslo.

Zvukový efekt vzniklý metodou směšování signálů se vzájemně proměnnou fází poté nazýváme phasing viz. (Obr. č.5). Takový efekt jde dle potřeby dále upravit, abychom dostali parametry, které potřebujeme např. větší mohutnost a prostorovost zvuku. Takového parametru dosáhneme pokud jako modulační signál použijeme spojitý signál s měnící se periodou několika sekund.[1]



Obr. č.5 Blokvé schéma phaseru

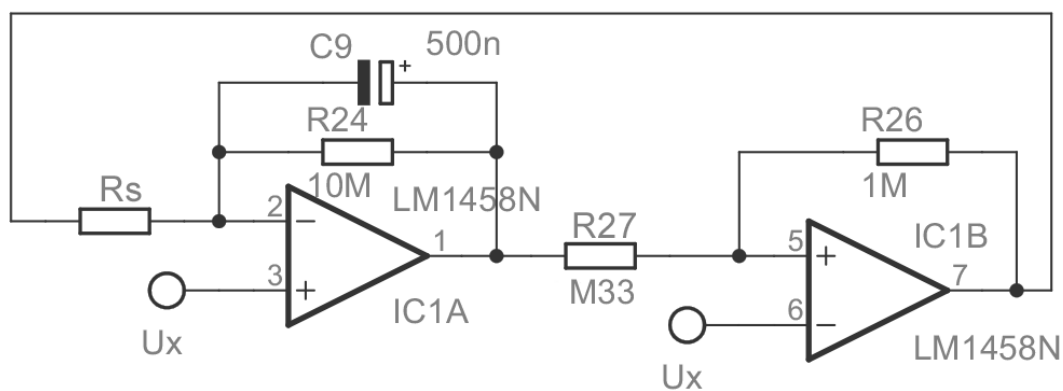
3 Popis schéma generátoru pravoúhlého průběhu



Obr. č.6 Generátor signálu pravoúhlého průběhu

Jako generátor pravoúhlého průběhu je použit dvojitý zesilovač LM1458 s velkým ziskem a velkým rozsahem vstupního napětí. Operační zesilovač IC1A plní funkci integrátoru a operační zesilovač IC1B funguje jako komparátor s hysterezí. Velikost kmitočtu je řízena pomocí potenciometru R_1 .

Na místech SW1, SW2 a SW3 je připojen spínač, díky němuž lze zvolit fázovou modulaci pomocí generátoru signálu pravoúhlého průběhu či potenciometrem R_2 . Trimry R_{45} a R_{46} slouží k ladění kmitočtového rozsahu, budeme-li pro fázovou modulaci využívat potenciometr R_2 . Poměr mezi fázově posunutým a fázově neposunutým signálem určujeme potenciometrem R_3 , který zároveň ovlivňuje intenzitu celého efektu viz. (Obr. A.1).



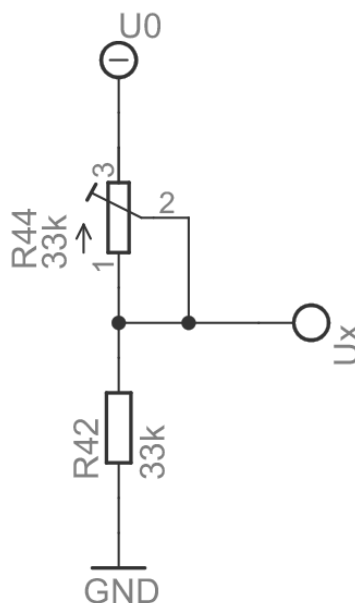
Obr. č.7 Zjednodušení relaxačního generátoru

Relaxační generátor se vyznačuje tím, že nemá stabilní stav a neustále kmitá mezi dvěma mezními hodnotami. Tyto mezní hodnoty jsou dány množstvím nahromaděné energie v akumulacním prvku. Směr toku této energie řídí komparátor, který se překlápí vždy, když nahromaděná energie v akumulacním prvku dosáhne mezní hodnoty. Relaxační generátor tedy pracuje tak, že se nabije akumulacní prvek, energie dosáhne horní mezní hodnoty, komparátor se překlápí, energie dosáhne dolní mezní hodnoty, komparátor se překlápí a tak pořád dokola.

Pro matematické odvození relaxačního generátoru je nutné překreslit (Obr. č.6) do lépe proveditelné podoby viz. (Obr. č.7). Hodnoty i označení je zachováno až na odpor R_s , který má hodnotu sériově sečtených odporů R_{25} a R_1 .

Napětí U_x je získáno z děliče napětí viz. (Obr. č.8) a jeho hodnota je:

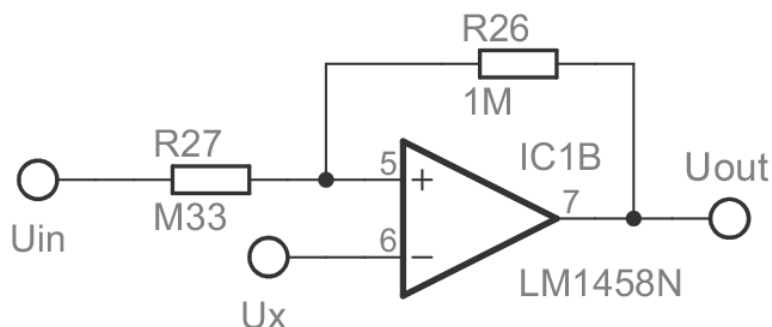
$$U_x = U_0 \frac{R_{42}}{R_{44} + R_{42}} \quad (3.1)$$



Obr. č.8 Dělič napětí připojený k relaxačnímu generátoru

Přičemž hodnota napětí U_0 je -12V.

Při výpočtu komparačních mezí relaxačního generátoru budeme vycházet ze zapojení komparátoru s hysterezí viz. (Obr. č.9).



Obr. č.9 Komparátor s hysterezí

Kde pro výstupní napětí $U_{\text{out}} = +U_{\text{sat}}$

$$\frac{U_{\text{sat}} - U_x}{R_{26}} = \frac{U_x - U_{\text{in}}}{R_{27}} \quad (3.2)$$

Po úpravách dostaneme výraz napětí U_{in} :

$$U_{\text{in}} = U_x \left(1 + \frac{R_{27}}{R_{26}} \right) - \frac{R_{27}}{R_{26}} U_{\text{sat}} \quad (3.3)$$

Pro výstupní napětí $U_{\text{out}} = -U_{\text{sat}}$

$$\frac{U_{\text{in}} - U_x}{R_{27}} = \frac{U_x + U_{\text{sat}}}{R_{26}} \quad (3.4)$$

Po náležitě úpravě dostaneme opět výraz napětí U_{in} :

$$U_{\text{in}} = U_x \left(1 + \frac{R_{27}}{R_{26}} \right) + \frac{R_{27}}{R_{26}} U_{\text{sat}} \quad (3.5)$$

Z těchto výsledků dostaneme komparační meze komparátoru:

$$U_k = U_x \left(1 + \frac{R_{27}}{R_{26}} \right) \pm \frac{R_{27}}{R_{26}} U_{\text{sat}} \quad (3.6)$$

Ze vztahu vidíme, že hystereze komparátoru závisí na poměru rezistorů R_{26} a R_{27} .

Nyní známe komparační meze komparátoru a z nich můžeme odvodit dobu za kterou výstupní

napětí integrátoru přejde z jedné komparační úrovně na druhou komparační úroveň. Tato doba také odpovídá šířce hysterézní smyčky.

Vztah je dán rozdílem kladné komparační meze a záporné komparační meze:

$$U_h = \left(1 + \frac{R_{27}}{R_{26}}\right) + \frac{R_{27}}{R_{26}} U_{sat} - U_x \left(1 + \frac{R_{27}}{R_{26}}\right) + \frac{R_{27}}{R_{26}} U_{sat} \quad (3.7)$$

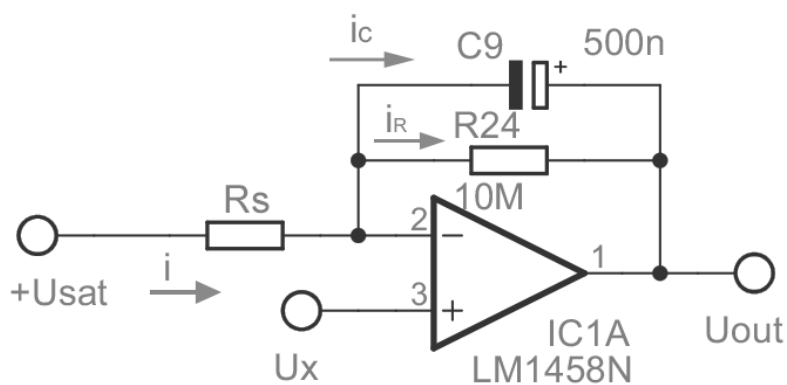
Po úpravě tohoto výrazu dostáváme výsledek:

$$U_h = \frac{2R_{27}}{R_{26}} U_{sat} \quad (3.8)$$

Použijeme-li hodnoty v našem návrhu, dostáváme šířku hystereze přibližně:

$$U_h = \frac{2 \times M33}{1M} U_{sat} \cong \frac{2}{3} U_{sat} \quad (3.9)$$

Délka periody je přímoúměrná právě velikosti napětí U_h .



Obr. č.10 Integrátor v relaxačním generátoru

Relaxační generátor se kromě komparátoru také skládá s integrátorem, který obsahuje akumulací prvek viz. (Obr. č.10). V našem případě je akumulací prvkem relaxačního generátoru kondenzátor.

Proud procházející odporem R_s je dán napětím $+U_{sat}$ a napětím U_x :

$$i = \frac{+U_{sat} - U_x}{R_s} \quad (3.10)$$

Proud kondenzátorem C_9 je dán derivací napětí na tomto prvku:

$$i_c = C \frac{d}{dt}(U_x - U_{out}) = C \left(0 - \frac{d}{dt} U_{out} \right) = -C \frac{dU_{out}}{dt} \quad (3.11)$$

Proud odporem R_{24} je vyjádřen:

$$i_R = \frac{U_x - U_{out}}{R_{24}} \quad (3.12)$$

Dle I. Kirchhoffova zákona dostáváme součtem proudů i_c a i_R proud i :

$$i - i_c - i_R = 0 \Rightarrow i = i_c + i_R \quad (3.13)$$

Dosazením do Kirchhoffova zákona získáme rovnici:

$$\frac{+U_{sat} - U_x}{R_s} = -C \frac{dU_{out}}{dt} + \frac{U_x - U_{out}}{R_{24}} \quad (3.14)$$

Po náležitých úpravách získáváme výraz pro výstupní napětí integrátoru U_{out} :

$$\frac{dU_{out}}{dt} = -\frac{1}{R_{24}C} U_{out} + U_x \left(\frac{1}{R_{24}} + \frac{1}{R_s} \right) - \frac{1}{R_s C} U_{sat} \quad (3.15)$$

Přičemž napětí U_x je napětí z děliče viz. (Obr. č.8) a vše za tímto napětím v rovnici (3.15) lze považovat za konstanty.

3.1 Generátory

Za generátor považujeme zdroj energie či nějakého signálu. Velmi často se k realizaci používají oscilátory. Existuje mnoho druhů generátorů, které se dělí podle toho jaké jsou na ně kladené požadavky ohledně číslicové či analogové techniky nebo jejich kombinací.

V elektronických hudebních nástrojích jsou používány 3 základní skupiny generátorů:

- 1) Tónové generátory
- 2) Pomocné generátory
- 3) Podle tvaru kmitů

- a) generátory harmonických kmitů (pracují jako harmonické oscilátory)
- b) generátory tvarových kmitů (pracují jako klopné obvody)
- c) generátory tvarových (obdélníkových a trojúhelníkových) kmitů – tyto generátory jsou pomocí nelineárních obvodů tvarovány a výsledkem je výstupní napětí harmonického průběhu s minimálním zkreslením. Takové generátory jsou označovány jako tzv. funkční generátory.[1]

3.1.1 Generátory tvarových kmitů

V technice elektronických hudebních nástrojů mají generátory tvarových kmitů jako jsou multivibrátory a relaxační oscilátory rozsáhlé a pestré využití. Z různých uzlů většiny těchto generátorů lze současně odebírat také různá napětí, např. obdélníkového či exponenciálního průběhu. Generátory se často pojmenovávají podle toho jaký generují průběh (obdélníkový, pilový, atd.)

V obvodech generátorů tvarových kmitů dochází ke skokovým změnám napětí či proudu, které se periodicky opakují. Takové obvody musí tedy obsahovat minimálně jeden akumulační prvek (kondenzátor, induktor). Těmto skokovým změnám odpovídají přechody nelineárního obvodu z jednoho mezního stavu do druhého, které jsou vyvolány kladnou zpětnou vazbou v obvodech generátoru. Kladná zpětná vazba je dána zapojením např. multivibrátor se dvěma tranzistory nebo aktivním členem např. doutnavkou. Kromě zpětné vazby dále obvod obsahuje i zápornou zpětnou vazbu, která zajišťuje rozkmitání generátoru tvarových kmitů. Podmínky, které musí být splněny pro správnou funkčnost generátoru:

- 1) Obvod generátoru s odpojeným aktivním členem musí být ve stabilním aktivním stavu. Toho lze dosáhnout stejnosměrnou zpětnou vazbou zapojenou přes celý obvod generátoru či lokálními stejnosměrnými zpětnými vazbami uvnitř aktivního obvodu.
- 2) Vytvoření nadkritické celkové kladné zpětné vazby. Vznikne připojením setrvačného členu k aktivnímu obvodu do větve, která zavádí kladnou zpětnou vazbu nebo zápornou zpětnou vazbu. Lze použít i jejich kombinaci, ale pouze s dvěma setrvačnými členy. Podle typu setrvačného prvku (obvykle kondenzátoru) se musí zvolit také vhodné zapojení, abychom zajistili nadkritické velikosti zpětné vazby do určitého mezního kmitočtu. [1]

Rozdělení generátorů tvarových kmitů využívají kondenzátor jako setrvačný prvek:

Dle zapojení kondenzátoru

Generátory s kondenzátorem v kladné zpětné vazbě

Generátory s kondenzátorem v obvodech s celkovou nebo lokální zápornou zpětnou vazbou

Generátory s kondenzátorem v kladné i záporné zpětné vazbě

Dle aktivního obvodu

Generátor s jednou aktivní součástí s vnitřní kladnou zpětnou vazbou

Generátor se dvěma aktivními součástkami se vzájemnými kladnými zpětnými vazbami

Generátor se složitějším aktivním obvodem obsahující např. logické integrované obvody, operační zesilovač

Dle způsobu řízení kmitočtu

Generátory s řízením kmitočtu pasivními prvky např. změnou rezistorů

Generátory s řízením kmitočtu napětím či proudem [1]

Závěr

Během bakalářské práce jsem nabyl spoustu praktických i teoretických vědomostí, které jsem aplikoval pro návrh a konstrukci fázovací jednotky. Bohužel jsem nemohl práci dokončit v plném rozsahu jelikož se mi zařízení nepovedlo dostat do funkčního stavu. Oslovil jsem desítky firem na výrobu tištěného spoje, ale vzhledem k jejich absolutnímu nezájmu mi cenově vyhovět i přes apelování na statut studenta a časovým prodlevám jsem se rozhodl k variantě navrhnout fázovací jednotku, vyrobit tištěný spoj a až poté testovat její funkčnost. Efekt jsem testoval na kytáře Gibson Flying V a při zjištění nefunkčnosti jsem provedl rozsáhlé testování.

Celý návrh jsem důkladně proměřil, zda-li nejsou někde studené spoje či nežádoucí propojení a znovu zkontroloval zapojení dle schématu. Pro napájení jsem použil symetrické napájení +12V a -12V. Na Obr. C.1 lze vidět měření pomocí osciloskopu. Na vstup efektu jsem z generátoru použil sinusový průběh (dolní signál) o frekvenci 440Hz což odpovídá tónu či struně kytary A. Výstup fázového efektu je horní signál na Obr. C.1. Na výsledku měření je vidět úplná absence fázovacích článků. Sinusový průběh byl změněn na obdélníkový a to může mít za následek relaxační generátor. Momentálně shledávám chybu v samotném návrhu fázovací jednotky, kterou jsem ale prozatím neobjevil.

Filtrační kondenzátory a kondenzátory použité ve fázovacích stupních byli vybrány namátkou a tudíž je možné, že při uvedení efektu do provozu může dojít k loupání v reproboxu či nežádoucímu šumu. Lze poté odstranit vhodnými velikostmi kondenzátorů. Vstup a výstup efektu je realizován kombinací Jack – Jack, které mají průměr 6,3 mm. Oba využívají dvojitého zemnění. První zemnění je zcela standardní a druhé zamezuje rušení při náhlém povysunutí konektoru.

Pro živé hraní je lepší bude-li efekt napájen adaptérem místo baterií jelikož při částečně vybité baterii může docházet k praskání, které bude způsobeno generátorem. Efekt se ve většině případů ovládá nohou, tudíž lze místo tlačítkového přepínače zapojit „šlapadlo“.

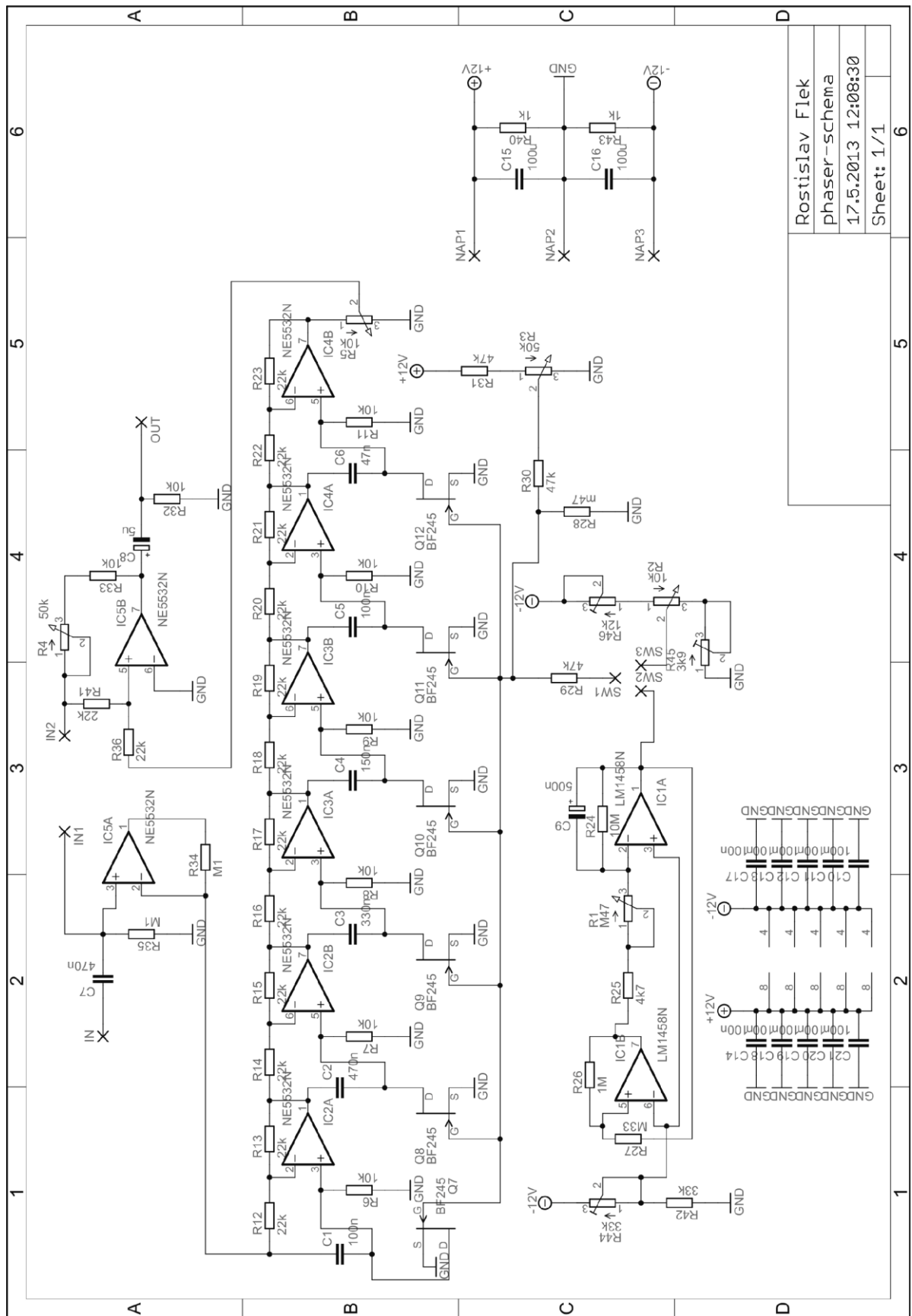
Použitá literatura

- [1] SÝKORA, R.; KRUTÍLEK, F.; VČELAŘ, J.: *Elektronické hudební nástroje a jejich obvody*, SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha 1 1981
- [2] SMOLÍK, F.: *Amatérské rádio 1980, řada A číslo 9*; vydavatelství Naše vojsko, Praha 1 1980
- [3] SMOLÍK, F.: *Amatérské rádio 1991, řada B číslo 1*; Magnet-Press, Praha 1 1991
- [4] KRÁTKÝ, P.: *Magazín praktické elektroniky, číslo 11*; KTE Short Market, Praha 7 1996.
- [5] RONEŠOVÁ, A.: Příklady výpočtů relaxačních generátorů [online].
[cit. 28.5.2013].
Dostupné z: http://home.zcu.cz/~ronesova/index.php?menuitem=aes_rrg
- [6] KOULAKOS, F.: *Hearing Effects: Modulation (rotary speaker, chorus, flanger, phaser)* [online] [cit. 28.5.2013]. Dostupné z:
<http://www.easyeartraining.com/2011/02/17/hearing-effects-modulation-rotary-speaker-chorus-flanger-phaser/>
- [7] JEŽ, R.; JIRÁSEK, O.: *Zoufalý aranžér VIII - Efektovaná kytara - vibráto, phaser, chorus, flanger, pitch shift*, Praha 8 2010, [online] [cit. 29.5.2013]. Dostupné z:
<http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-workshopy/Zoufaly-aranzer-VIII-Efektovana-kytara-vibrato-phaser-chorus-flanger-pitch-shift~02~zari~2010/>
- [8] ŠTEFL, V.: *Galerie nejtýpějších ovladačů efektů VII. - Phaser*, Praha 8 2011, [online] [cit. 29.5.2013]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-serialy/Galerie-nejtypictejsich-ovladacu-efektu-VII-Phaser~17~srpen~2011/>
- [9] *Fázová modulace, rozdíl mezi fázovou a frekvenční modulací* [online] [cit. 29.5.2013]. Dostupné z: http://www.ackoo.estranky.cz/clanky/fazova-modulace_-rozdil-mezi-farovou-a-frekvencni-modulaci.html

Příloha A

Schéma zapojení

A.1 Fázovací jednotka s napájením a filtračními kondenzátory



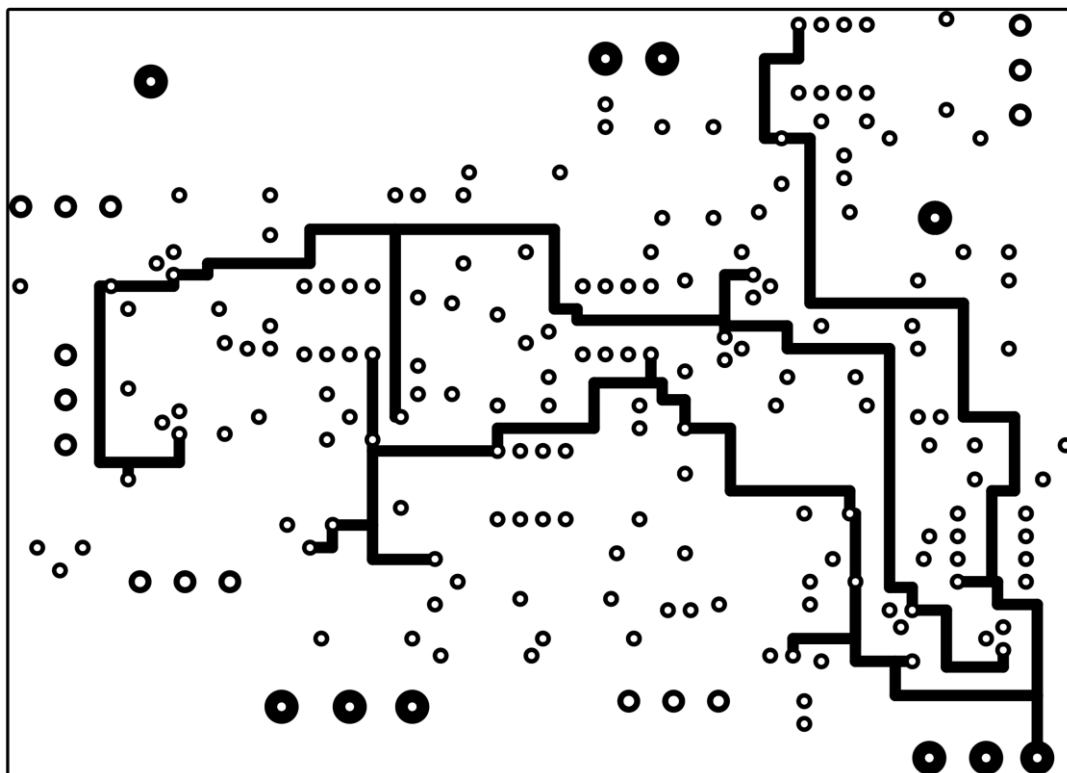
Rostislav Flek
 phaser - schema
 17.5.2013 12:08:30
 Sheet: 1/1

Obr. A.1 Schéma fázovacího efektu v programu Eagle

Příloha B

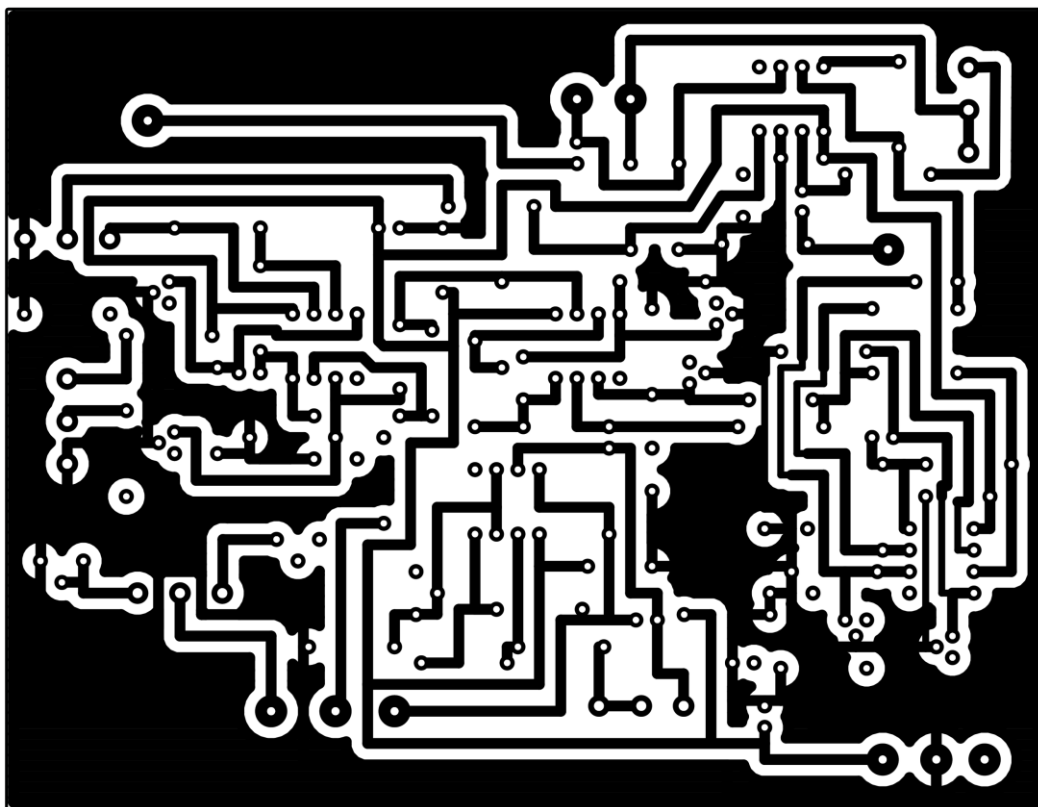
Desky plošných spojů

B.1 Horní část desky fázovací jednotky



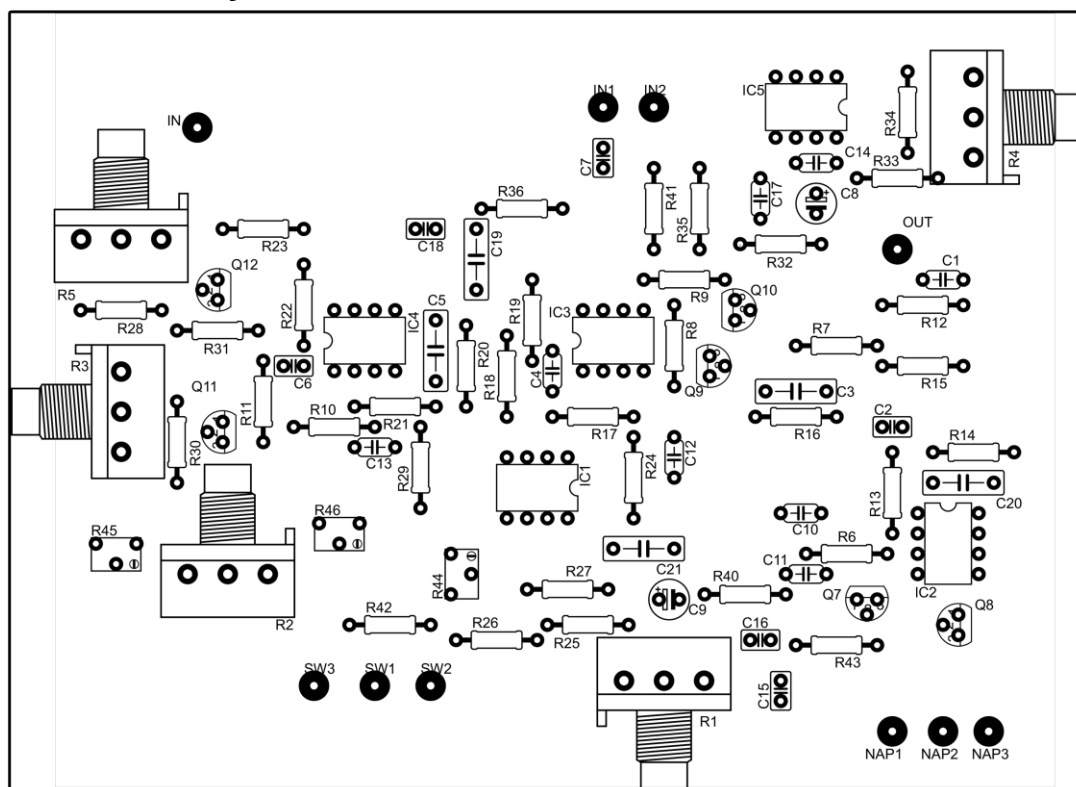
Obr. B.1 Horní část tištěného spoje z pohledu součástek

B.2 Dolní část desky fázovací jednotky



Obr. B.2 Dolní část tištěného spoje z pohledu spojů

B.3 Osazovací výkres

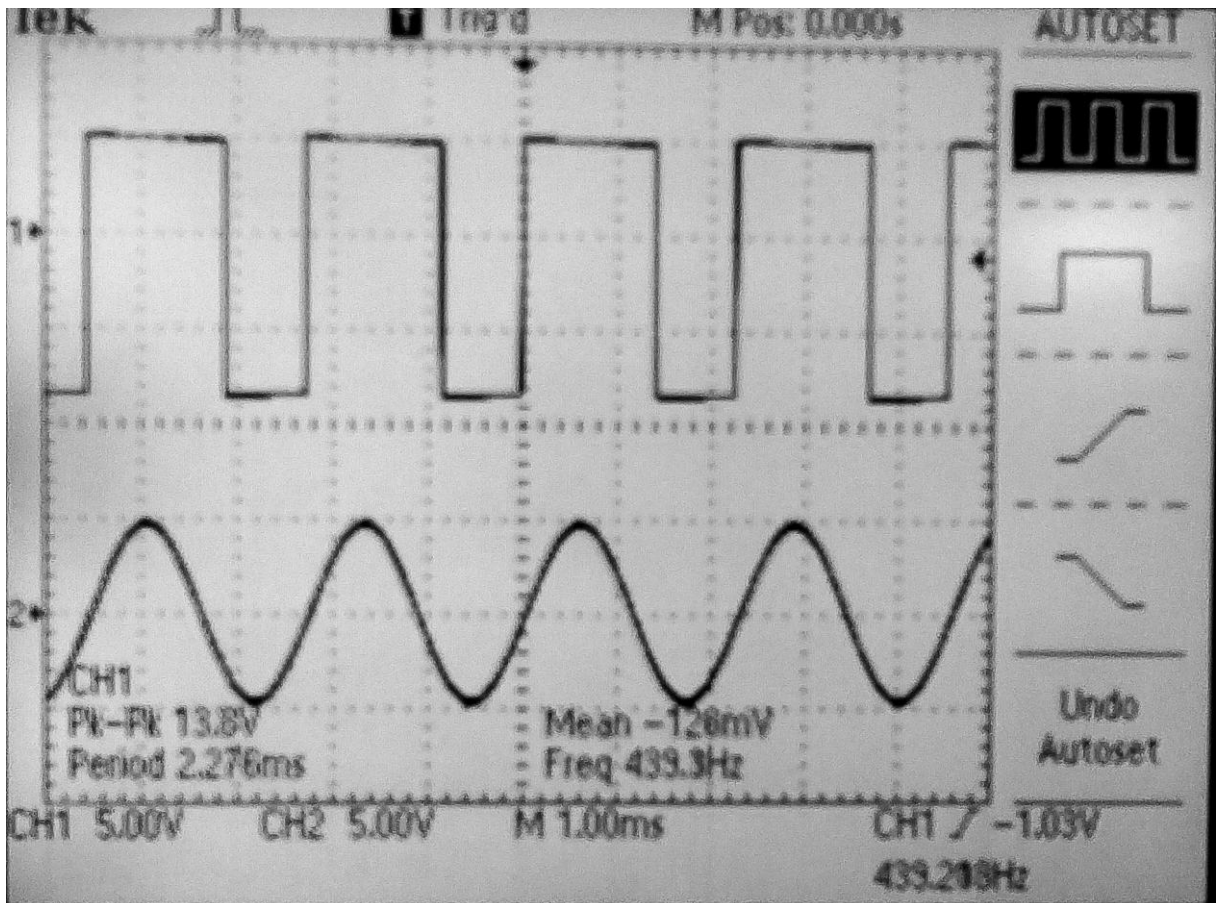


B.3 Umístění součástek na desce plošných spojů z pohledu shora [B3]

Příloha C

Měření kytarového efektu

C.1 Měření vstupních a výstupních signálů fázového efektu



Obr. C.1 Měření vstupních a výstupních signálů fázového efektu