



Středoškolská technika 2025

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

SYNTETIZÁTOROVÉ MODULY

Dominik Hubáček

Střední průmyslová škola Karviná

Žižkova 1818/1A, Karviná

Anotace

Práce je zaměřená na realizaci modulárních syntetizátorů, zařízení schopných generovat a různě tvarovat elektrické signály. Cílem práce je návrh a realizace modulárních syntetizátorů s vysokou modularitou. Práce popisuje funkci, realizaci a chování 10 modulů, které spadají mezi základní sadu pro práci s Eurorackem. Dále jsou zde popsány ukázky propojení modulů mezi sebou a jejich sdílené chování, které mezi sebou vytvářejí.

Klíčová slova

Eurorack, syntetizátor, modul, zvuk, signál, schéma, elektrické součástky, deska plošných spojů, prototyp, analýza.

Annotation

The thesis focuses on the design and implementation of modular synthesizers, devices capable of generating and shaping electrical signals in various ways. The goal of the thesis is to design and implement modular synthesizers with a high degree of modularity. The thesis describes the function, implementation, and behavior of ten modules that form a basic set for working with Eurorack. Furthermore, it presents examples of module interconnections and their shared behavior.

Key words

Eurorack, synthesizer, module, sound, signal, diagram, electrical components, printed circuit board, prototype, analysis.

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Martinovi Kijonkovi, Ph.D a paní Mgr. Renátě Kondělkové za podnětné připomínky a pomoc při zpracování práce. Dále děkuji škole za všechny vypůjčené přístroje, které jsem při vypracovávání práce potřeboval.

Obsah

Úvod	1
1 Teoretická část	2
1.1 Elektrické součástky a obvody	2
1.2 Blokové diagramy	8
1.3 Druhy syntetizátorových modulů	10
1.3.1 Napětově řízený oscilátor	11
1.3.2 Napětově řízený filtr	12
1.3.3 Napětově řízený zesilovač	14
1.3.4 Analogový kopač	15
1.3.5 Hajtka ve stylu TR-606	16
1.3.6 Virbl ve stylu TR-808	17
1.3.7 ADSR modul	18
1.3.8 Dvojitý sklápěč signálu	19
1.3.9 Opakovač signálu	20
1.3.10 Tří kanálový mixer s diodovým zkreslováním	20
1.4 Sdílené chování signálu mezi moduly	21
1.4.1 Oscilátor s dvojitým sklápěčem signálu	21
1.4.2 Oscilátor se zesilovačem řízeným ADSR	22
1.4.3 Bicí nástroje s tří kanálovým mixérem	22
1.4.4 Virbl s řízeným filtrem	23
1.4.5 Komplexní zapojení euroracku	24
2 Praktická část	24
2.1 Testování prototypů a výběr součástek	24
2.1.1 Prototyp napětově řízeného oscilátoru	25
2.1.2 Prototyp napětově řízeného filtru	29
2.1.3 Prototyp napětově řízeného zesilovače	31
2.1.4 Prototyp analogového kopače	33
2.1.5 Prototyp hajtek ve stylu TR-606	36
2.1.6 Prototyp virblu ve stylu TR-808	41
2.1.7 Prototyp ADSR modulu	46
2.1.8 Prototyp dvojitého sklápěče signálu	47
2.1.9 Prototyp opakovače signálu	48

2.1.10 Prototyp tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním.....	49
2.2 Finální úpravy.....	50
2.3 Návrh tištěných spojů	51
2.4 Realizace modulů	53
2.5 Analýza chování modulů.....	55
2.5.1 Analýza napěťově řízeného oscilátoru	55
2.5.2 Analýza napěťově řízeného filtru	58
2.5.3 Analýza napěťově řízeného zesilovače	59
2.5.4 Analýza analogového kopače	60
2.5.5 Analýza hajtek ve stylu TR-606	63
2.5.6 Analýza virblu ve stylu TR-808	65
2.5.7 Analýza ADSR modulu.....	67
2.5.8 Analýza dvojitého sklápěče signálu	70
2.5.9 Analýza opakovače signálu	72
2.5.10 Analýza tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním	72
Závěr.....	75
Zdroje	75
Seznam obrázků	78
Seznam tabulek	83
Seznam grafů.....	84

Úvod

Hudba je umělecký žánr, který provázelo lidstvo po tisíce let. V dnešní době je jedním z největších uměleckých žánrů hned vedle literárních a výtvarných žánrů. Existuje tolik stylů hudby, že jich bylo napočítáno přes 1500 druhů. Velmi známými styly hudebního žánrů jsou rock, pop, house, techno a mnoho dalších. Elektronické hudební styly jsou jedny z novějších stylů hudebního žánru a tato práce se bude zabývat jejich tvorbou na elektrotechnické úrovni.

Cílem této práce je ukázat, jak se elektronická hudba vytváří. Přesně řečeno její jednotlivé hudební nástroje – syntetizátory nebo též modulární syntetizátory. Vysvětlit jejich teoretický princip a sestavit je v praktické části. Následně poukázat na souvislosti mezi těmito nástroji a jak jsou schopny společně vytvářet elektronickou hudbu, nebo její části. Modulární syntetizátory, které jsou cílem této práce, musí splňovat normy pro modulární syntetizátory eurorack, jinak by byly většinou nepoužitelné v aplikacích tvorby elektronické hudby, jelikož se ukládají do speciálních skříní se stanoveným měřítkem a elektrickou normou.

První část se zabývá druhy syntetizátorových modulů. Tato část se zabývá vysvětlováním principu chování a funkce jednotlivých modulů. Popisuje se zde chování 10 různých modulů, kde každý plní svůj účel při tvorbě elektronické hudby. Mezi tyto moduly patří moduly pro tvorbu tónů, bubnů, virblů a činelů. Dále moduly pro úpravy signálů, a to signálů vstupních a signálů výstupních. Nakonec moduly pro opakování a míšení signálů.

Druhá část je teoreticko-praktickou částí, kde se již vytvořené teoretické elektronické obvody sestavují do podoby prototypů a vybírají se zde vhodné elektronické součástky pro správnou funkci elektrického obvodu.

Ve třetí části probíhají finální úpravy elektronických obvodů, kde se už jenom upravuje pouze jejich kvalita a životnost. Kvalitou se zde označuje zbavení se všech částí signálu, které jsou zkresleny špatnou hodnotou či kvalitou součástky. Životností se zde pak označuje výdrž tohoto obvodu při zatížení, aby nedocházelo k častým poruchám. Takovýto obvod je pro vylepšenou životnost ještě upraven přidáváním různých bezpečnostních součástek pro odolnost vůči chybám operátora.

Čtvrtá část je částí praktickou. Zde se prototypově zkontrolovaný obvod kompletuje do podoby desky plošných spojů, které budou součástky spojovat natrvalo. Tato část je obtížnější, jelikož je zde potřeba pečlivě sledovat všechny meze, které je potřeba dodržovat při tvorbě desky plošných spojů, a to včetně všech norem, které se pro syntetizátorové moduly musí dodržovat.

V páté části se všechny moduly realizují. Do natištěných desek plošných spojů se postupně vsazují všechny potřebné součástky, které byly v daném modulu uplatněny v druhé a třetí části. Každá součástka je přitom potřeba napájet páječkou, aby měly správný kontakt a nepadaly z desky. Na finální osazenou desku se poté montuje přední panelová deska, která slouží pro uchycení modulu do skříně Eurorack a zároveň pro případné nápisy a dekorace.

V poslední šesté části probíhá analýza všech vyhotovených modulů, kde se vyhotovené moduly kontrolují, zdali se chovají dle teoretických principů a zda někde uprostřed procesu výroby nedošlo k neošetřeným chybám.

1 Teoretická část

V této části si představíme 10 modulů, které spadají mezi základní sadu modulů pro tvorbu a modulaci zvuků. U každého modulu si popíšeme jejich teoretickou funkci a návrh. Dále si popíšeme jejich teoretické chování, které by měly vykazovat mezi sebou. Přesnou analýzu chování a sdíleného chování si podrobněji popíšeme v kapitole 6 - Analýza chování modulů.

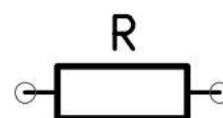
1.1 Elektrické součástky a obvody

Pro lepší pochopení elektrických součástek a obvodů je v této kapitole popsáno jejich základní chování a funkce včetně jejich elektrických veličin.

Elektrický proud je popisován jako průtok elektronů vodičem za určitý čas. Známe ji jako fyzikální veličinu konající ztrátové teplo při průchodu vodičem s daným odporem. Toto chování je popisováno jako Jouleovo teplo.

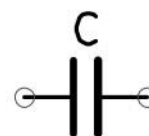
Elektrické napětí je popisováno jako rozdíl potenciálů mezi dvěma body elektrického pole, které může zapříčinit průchod elektrického proudu mezi těmito body. Velikost elektrického napětí zvyšuje schopnost překonávat potenciální překážky jako může být vzduchová mezera.

Rezistor je pasivní elektronická součástka, jejichž vlastností je v ideálním případě pouze elektrický odpor. Elektrický odpor jako reálná složka je součástí impedance, která se dělí na reálnou a imaginativní složku bránící průchodu elektrického proudu. Vztah mezi elektrickým odporem v závislosti na elektrickém napětí a proudu popisuje Ohmův zákon.



Obr. č. 1 Rezistor

Kondenzátor je pasivní elektronická součástka spadající mezi frekvenčně závislé. Její fyzikální veličinou je kapacita a její imaginativní složkou je kapacitance, která je součástí impedance. Kapacita je schopnost vodiče uchovávat elektrický náboj. Pro kondenzátor je pak kapacita popisována jako náboj uchovaný mezi deskami kondenzátoru o elektrickém napětí 1 V.



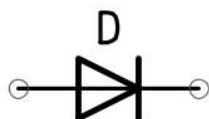
Obr. č. 2 Kondenzátor

Dioda je elektrotechnická součástka založená na fyzikálních principech polovodičů a PN přechodu. Základním úkolem diody je propouštět proud pouze jedním směrem a bránit mu v průchodu ve směru opačném. Chování diody popisuje její volt-ampérová charakteristika. Existuje více typů diod.

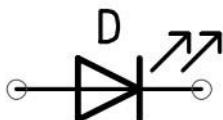
Světelná dioda, přesněji popisována jako elektroluminiscenční dioda nebo též zkráceně LED, je typ diody, která je schopna vyzařovat světlo. K vyzařování světla přitom dochází, když částice uvnitř PN

přechodu spadnou do nižší energetické hladiny a zbavují se přebytečné energie. Tato energie je pak vyzařována jako

záření elektromagnetického spektra o určité vlnové délce.



Obr. č. 3 Dioda



Obr. č. 4 Světelná dioda

Fotorezistor je součástka velice citlivá na okolní světlo. Při posvícení na fotorezistor zmenšuje svůj elektrický odpor lineárně. Je sestaven jako přechod kov-polovodič, kde polovodičem je vhodně zvolený materiál s vysokou citlivostí světla.

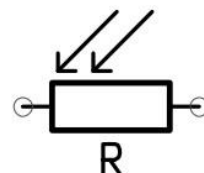
Tranzistor je třívrstvá elektrotechnická součástka založená na tranzistorovém jevu. Je složena ze dvou PN přechodů a její základní dělení je na bipolární a unipolární tranzistory. V této práci se budeme zabývat pouze bipolárními tranzistory. Bipolární tranzistory jsou tranzistory řízené elektrickým proudem, kde jen malé změny proudu na přechodu báze-emitor vyvolají velké změny proudu protékajícího přechodem kolektor-emitor. Má mnoho využití v oblasti zesilovací a výpočetní techniky. V moderní době se však u výpočetní techniky více

Termistor je součástka svojí veličinou podobná předchozímu fotorezistoru a rezistoru. Rozdílem je její závislost na změny teplot. Dělíme ji na dva typy, a to PTC termistor (Positive Temperature Coefficient) a NTC termistor (Negative Temperature Coefficient). PTC termistor s rostoucí teplotou zvyšuje svůj odpor. NTC termistor s rostoucí teplotou snižuje svůj odpor. Volt-ampérová charakteristika termistoru však není lineární.

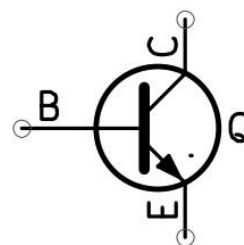
Přepínač je elektrotechnická součástka částečně mechanická. Úkolem přepínače je schopnost přepínat mezi dvěma polohami a je zařazení. Při typem spínače. Jako elektro-mechanická součástka musí odolávat poruše mechanické námaze a elektrickým vlastnostem.

Konektor je součástka zajišťující rozebíratelné elektrické spojení. Je vyráběn v mnoha provedení a stylech podle potřeb elektrického obvodu. Mezi konektory spadají i audio konektory, které využíváme v této práci a slouží pro přenos elektrického signálu.

využívají tranzistory unipolární kvůli menším tepelným ztrátám jakožto součástky řízené napětím. Bipolární tranzistory se dělí na NPN a PNP.



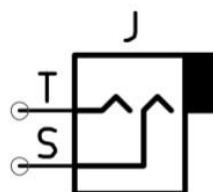
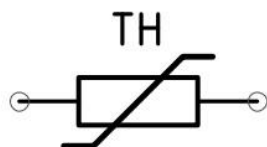
Obr. č. 5 Foto rezistor



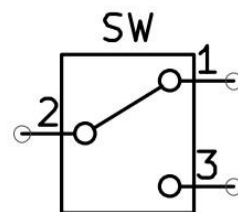
Obr. č. 6 Tranzistor

Pojistka je součástka, která hraje kritickou úlohu v ochranně

spotřebičů a zařízení a průtoku velkého proudu pojistka přeruší vedení elektrického proudu.



Obr. č. 8 Přepínač



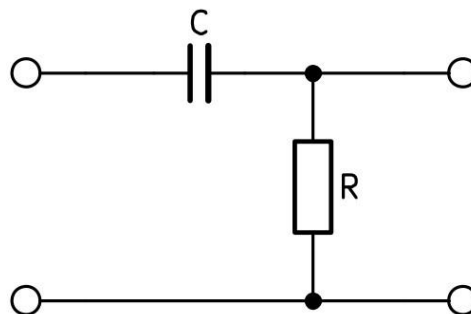
Nejčastěji se používají právě tavné pojistky, které v případě poruchy přepálí svoje spojení a tím zamezí průtoku proudu. Toto přerušení ale znamená, že je po opravě nutné pojistku vyměnit za novou.

Obr. č. 9 Konektor

Obr. č. 10 Pojistka

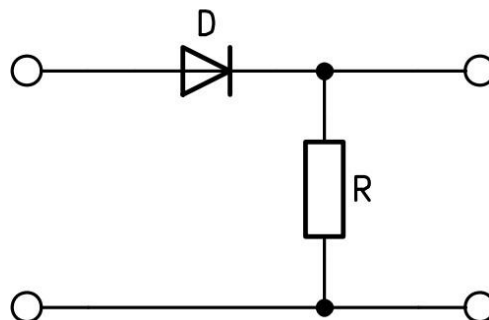
Obr. č. 7 Termistor

RC článek je elektrický obvod složený z rezistoru a kondenzátoru. Používá se pro pasivní filtraci signálu, jelikož mění výstupní napětí na základě vstupního kmitočtu. Zapojení rezistoru a kondenzátoru je zaměnitelné, a proto tvoří integrační a derivační dvojbran. Charakteristiky těchto dvojbranů jsou na sebe vzájemně invertované. V obvodech modulů používáme předně derivační dvojbran, ale není zde použit tak, jak je principiálně dáno. Využíváme ho hlavně jako posuv napětí na nulu. Jelikož napětí je pouhou hladinou potenciálu mezi dvěma body, lze ji velmi dobře posouvat nahoru i dolů. Signál se obecně bude při zpracovávání posouvat nahoru nebo dolů, a proto je potřeba ho vždy vyrovnat na nulu. Chování nabíjení a vybíjení RC článu popisuje tzv. časová konstanta vypočítaná jako odpor násobený kapacitou.



Obr. č. 11 RC článek

Diodový článek je speciálně navržený obvod, kde dioda je zapojena do propustného směru a na N části přechodu je k diodě připojen rezistor, který je svojí druhou částí připojen k referenční nule. Toto zapojení slouží pro propust pouze kladného signálu. Používá se v místech, kde se nesmí dostat napěťově záporný signál, protože by mohl poškodit součástku, která tento signál přijme. Rezistor zde slouží kvůli nulování plovoucího kontaktu. Když není integrovaný obvod připojený na logický výstup, mohou jeho kontakty tzv. plavat ve vzduchu. Tyto plovoucí kontakty vykazují nestálý logický signál kvůli okolnímu elektromagnetickému rušení a mohou způsobit abnormální chování integrovaného obvodu. Tomuto chování zamezujeme právě připojením rezistoru na referenční nulu.

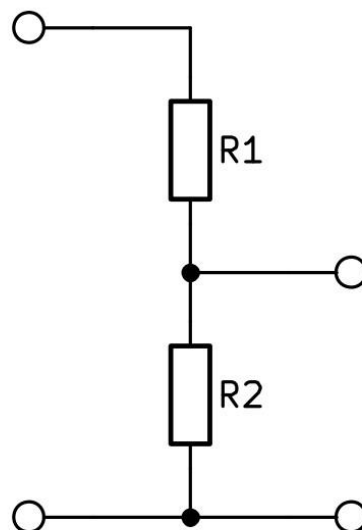


Obr. č. 12 Diodový článek

Dělič napětí je obvod sestavený ze dvou rezistorů. Dělič napětí, jak vyznívá z názvu má schopnost dělit napětí na určité úrovně. Má velmi mnoho využití pro různé úpravy signálu. Existuje více provedení děličů napětí jako jsou potenciometry a trimery. Tyto součástky jsou nastavitelné děliče napětí a manuálním či automatickým posuvem jsou schopné měnit svojí výstupní hladinu signálu jezdce.

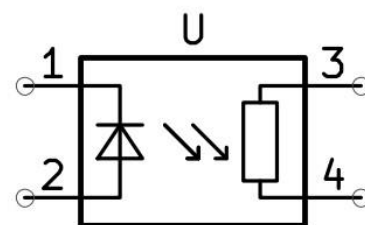


Obr. č. 14 Nalevo potenciometr, napravo trimr



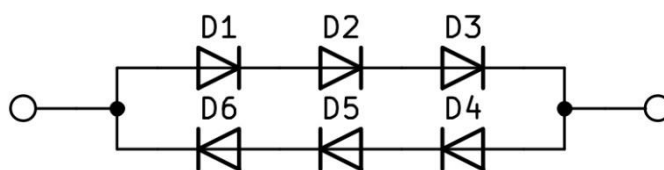
Obr. č. 13 Dělič napětí

Odporový optický izolátor je typ optočlenu, který je složený z fotorezistoru a světelné diody. Má velmi dobrou lineární volt-ampérovou charakteristiku, a proto je vhodný do aplikací pro lineární řízení elektrického signálu. V dnešní době již nejsou tak používány, jelikož je nahradili optoelektronické polovodičové prvky, jako je fototranzistor. Ty však postrádají lineární schopnost řídit napětí, a proto jsou pro zvukovou technologii stále velmi hodně používané odporové optické izolátory.



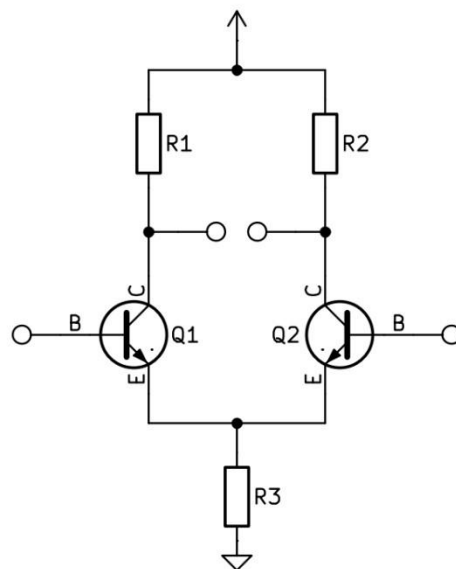
Obr. č. 15 Odporový optický izolátor

Diodový žebřík je obvod sestaven pouze z usměrňovacích diod. Obvod slouží jako kaskádový dělič napětí, který od napětí odčítá poklesy napětí diod. Velmi často se používá pro zkreslování signálu a má svoje využití i pro modelování sinusového průběhu z trojúhelníkového průběhu signálu.



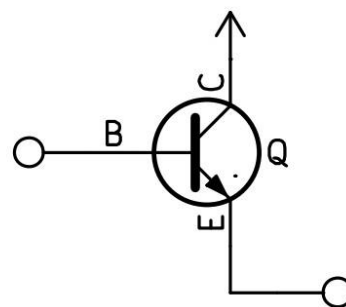
Obr. č. 16 Diodový žebřík

Rozdílový zesilovač je komplexní zapojení tranzistoru do zrcadlové podoby. Toto zapojení je, jak již vyznívá z názvu, schopno odečítat napěťové hladiny U_1 a U_2 mezi sebou. Výsledné napětí je poté změřitelné mezi kontakty U_0 .



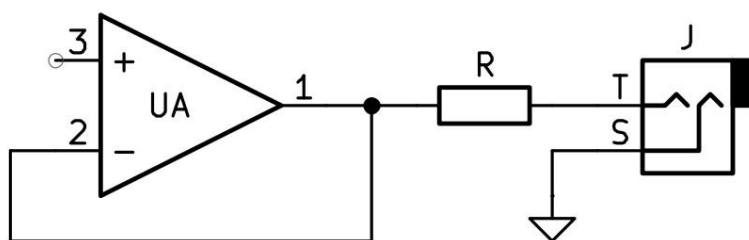
Obr. č. 17 Rozdílový zesilovač

Emitorový sledovač je obvod, ve kterém je tranzistor zapojený jako emitorový sledovač. Jeho vstupní napětí převádí na výstup se zesílením 1, proto je označován jako sledovač. Impedance vstupu sledovače je velmi vysoká a jeho výstupní impedance je velmi nízká. Je tedy často užíván v aplikacích, kde je potřeba izolovat obvod od jeho výstupu. Takovým obvodem může být například oscilátor.

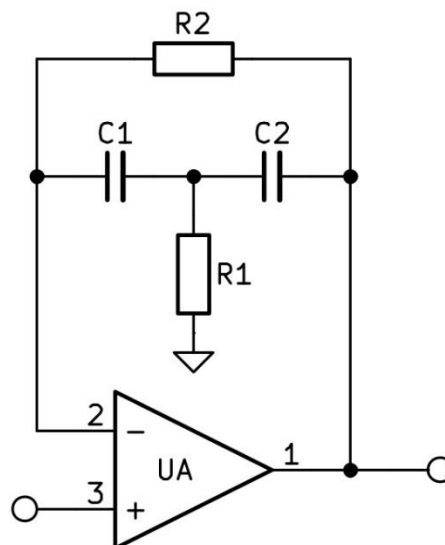


Obr. č. 18 Emitorový sledovač

Limitační odpor je část obvodu, kde je mezi výstup nízko impedančního prvku a výstup samotný vložen limitační rezistor. Jelikož u modulů je výstupem hlavně jejich napětí. Snažíme se limitovat průtok proudu, a to hlavně v případech, kdy se nedbalostí operátora vyzkratují výstupy modulů s referenční nulou. V takovémto případě by totiž došlo k poškození výstupu.

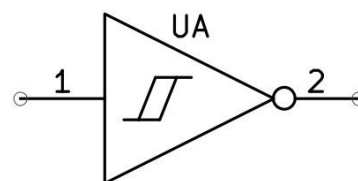


T-můstek je obvod složený ze dvou rezistorů, dvou kondenzátorů a jednoho operačního zesilovače. Funguje jako tlumený oscilátor, který na každý vstupní puls vygeneruje oscilovaný puls na výstupu. Je velmi často využíván jako generátor kopů analogových kopačů. Lze ho ovšem využít i jako pásmový filtr s aktivním prvkem.



Obr. č. 20 T-můstek

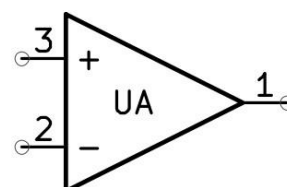
Invertovaný Schmittův klopný obvod je velmi uplatňovaný obvod z řady klopných obvodů. Dokáže totiž rozlišit, kdy je analogový signál logickou jedničkou a kdy logickou nulou. Lze ho sestavit z diskretních součástek, ze známého NE555 časovače nebo z operačního zesilovače.



Vyrábí se i jako samostatný integrovaný obvod. Nevýhodou *Obr. č. 21 Invertovaný Schmittův klopný obvod*

je však jeho rozhodovací schopnost, která je na bodě přelomu velmi nejistá. Proto se u Schmittova obvodu provádí tzv. hystereze, kdy se logická hodnota nepřepne, dokud nepřekoná analogový signál hysterezní zónu.

Operační zesilovač je velmi oceňovaný komplexní integrovaný obvod schopný provádět různé zesilovací, matematické a porovnávací operace. První operační zesilovač byl postaven již v době elektronek a dodnes zůstává největším elektronickým úspěchem v mnoha aplikacích. Ačkoliv jsou operační zesilovače dokonalé elektronické obvody, je potřeba



Obr. č. 22 Operační zesilovač

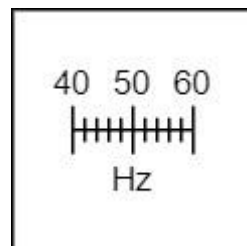
nastavit jejich výstupní tzv. offset neboli nulu. Už od výroby mohou mít charakteristiky tranzistorů uvnitř operačního zesilovače mezi sebou miniaturní rozdíly. Kromě nastavení nuly

je však potřeba zamezit tzv. driftu neboli pomalé změně. Tato změna nuly je způsobena nejčastěji změnou okolní teploty nebo malou změnou napájecího napětí operačního zesilovače.

1.2 Blokové diagramy

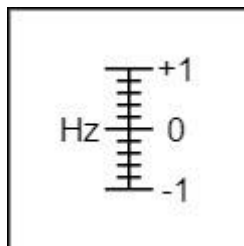
Blokové diagramy zjednodušují pochopení funkce komplexního obvodu. Tato kapitola popisuje druhy blokových diagramů používané pro zápis zpracování analogového nebo digitálního signálu. Blokové diagramy pro zpracovávání signálu nemají ustálenou normu a každý výrobce popisuje zpracovávání signálu jinou formou. Z tohoto důvodu některé blokové diagramy neuvidíte v běžných obvodech.

Blok znázorňující frekvenci signálu. Nastavuje frekvenci pro další připojené bloky.



Obr. č. 23 Blok frekvence

Blok pro úpravu frekvence. Funguje jako dočasná výchylka pevně nastavené frekvence. Výchylka se nastavuje v jednotkách hertz.



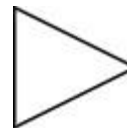
Obr. č. 24 Blok stoupání

Blok sčítající vstupní signály do jednoho. Sčítání probíhá na základě matematické operace sčítání. V praktickém zapojení se výstupní signály spojují do jednoho bez jakékoliv úpravy.



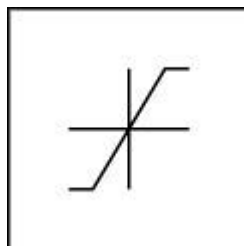
Obr. č. 25 Blok sčítače

Blok zesilující signál, který tímto blokem prochází. Jako praktický zesilovač signálu zde může být například často používaný operační zesilovač.



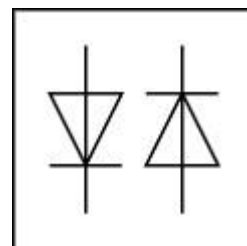
Obr. č. 26 Blok zesilovače

Blok, který limituje vstupní signál na určitou nastavenou hranici. Průchod signálu za tuto hranici je vystříhnut, takže výstupní signál nikdy nepřekročí tuto hranici.



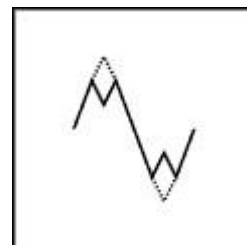
Obr. č. 27 Blok limitace

Blok, který zkresluje signál. Vstupnímu signálu je tímto blokem upravována jeho forma a výstup pak vypadá více zdeformovaný.



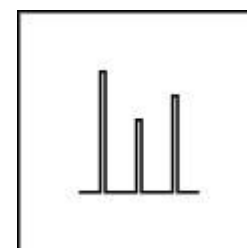
Obr. č. 28 Blok zkreslení

Blok podobný limitaci signálu. Liší se v procesu, kdy dojde k překročení hranice. Místo vystříhnutí dojde k překlopení amplitudy signálu o 180° . Výstup vypadá jako překlopená část průběhu signálu.



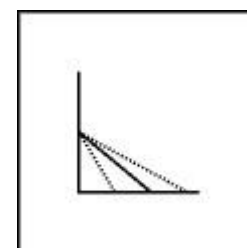
Obr. č. 29 Blok sklápěče

Blok upravující sílu amplitudy signálu. Oproti zesilovači signálu se ale liší v tom, že signál dokáže pouze tlumit. Ztlumený signál v impulsích zní jako zmenšená síla klepnutí.



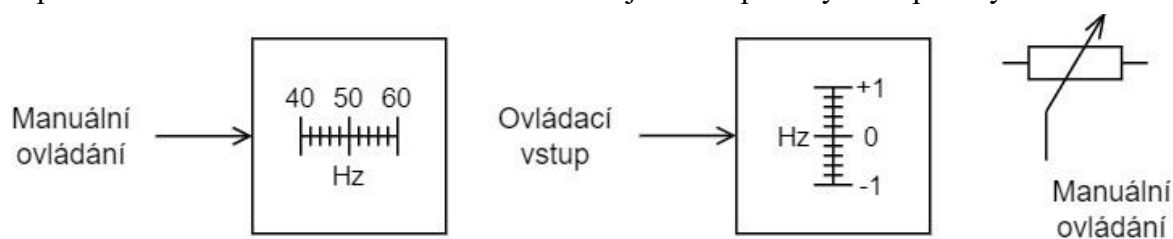
Obr. č. 30 Blok amplitudy

Blok, který upravuje dobu tlumení signálu. Změna doby útlumu signálu mění dobu délky hraní dotyčného tónu. Přidává tak signálu jeho charakteristickou ozvěnu.



Obr. č. 31 Blok tlumení

Bloky znázorňující možnosti nastavení signálu. Signál lze nastavit buď ovládacím vstupem nebo manuálně. U manuálního nastavení jsou zde použity dva způsoby znázorňování.



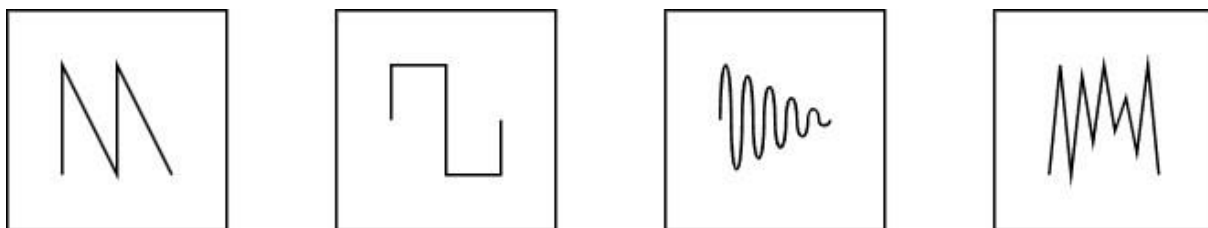
Obr. č. 32 Nalevo manuální nastavení, uprostřed ovládané nastavení, napravo druhý způsob znázornění manuálního nastavení

Bloky, které upravují frekvenční pásmo procházejícího signálu. Každý blok upravuje jinou část frekvenčního pásma signálu. Máme horní propust, dolní propust, pásmovou propust a pásmovou zadrž.



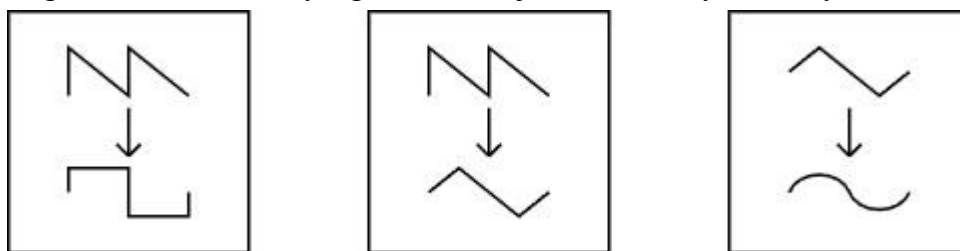
Obr. č. 33 Bloky frekvenčních pásem

Bloky vytvářející signál o charakteristickém průběhu. Každý blok je označen symbolem tvořeného průběhu.



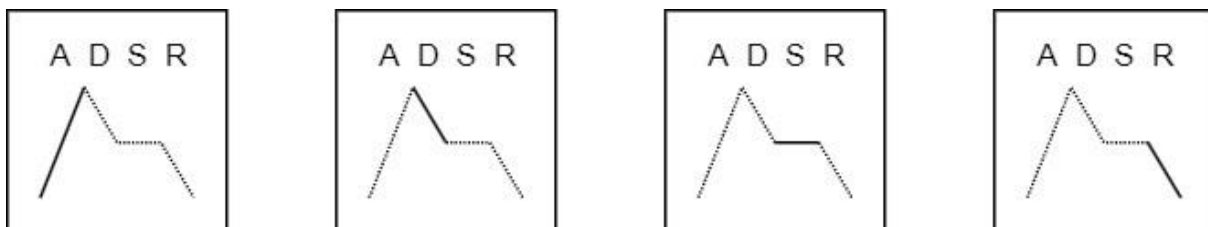
Obr. č. 34 Bloky generátorů signálů

Bloky, které převádí formu průběhu signálu na jinou formu. Příkladem může být převod pilovitého signálu na obdélníkový signál. Převod je znázorněn symbolicky na bloku.



Obr. č. 35 Bloky modulátorů

Série bloků, které upravují vstupní impulsní signál pro bloky vytvářející zvuk na základě těchto impulsů. Jsou označovány jako síla náběhu (Attack), doba snížení (Decay), úroveň podržení (Sustain) a délka dozívání (Release).



Obr. č. 36 Bloky ADSR

1.3 Druhy syntetizátorových modulů

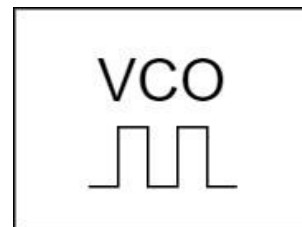
Pro všechny syntetizátorové moduly platí, že jejich maximální vstupní i napájecí napětí nesmí překročit 12 V. Výstupy modulů jsou impedančně posíleny, aby nedocházelo k vyrušení

práce vnitřních obvodů. Všechny výstupy modulů jsou opatřeny limitačním odporem, který zaručuje, že v případě zkratu nedojde k poškození výstupu modulů.

1.3.1 Napětově řízený oscilátor

Spadá mezi úplný základ všech syntetizátorových modulů.

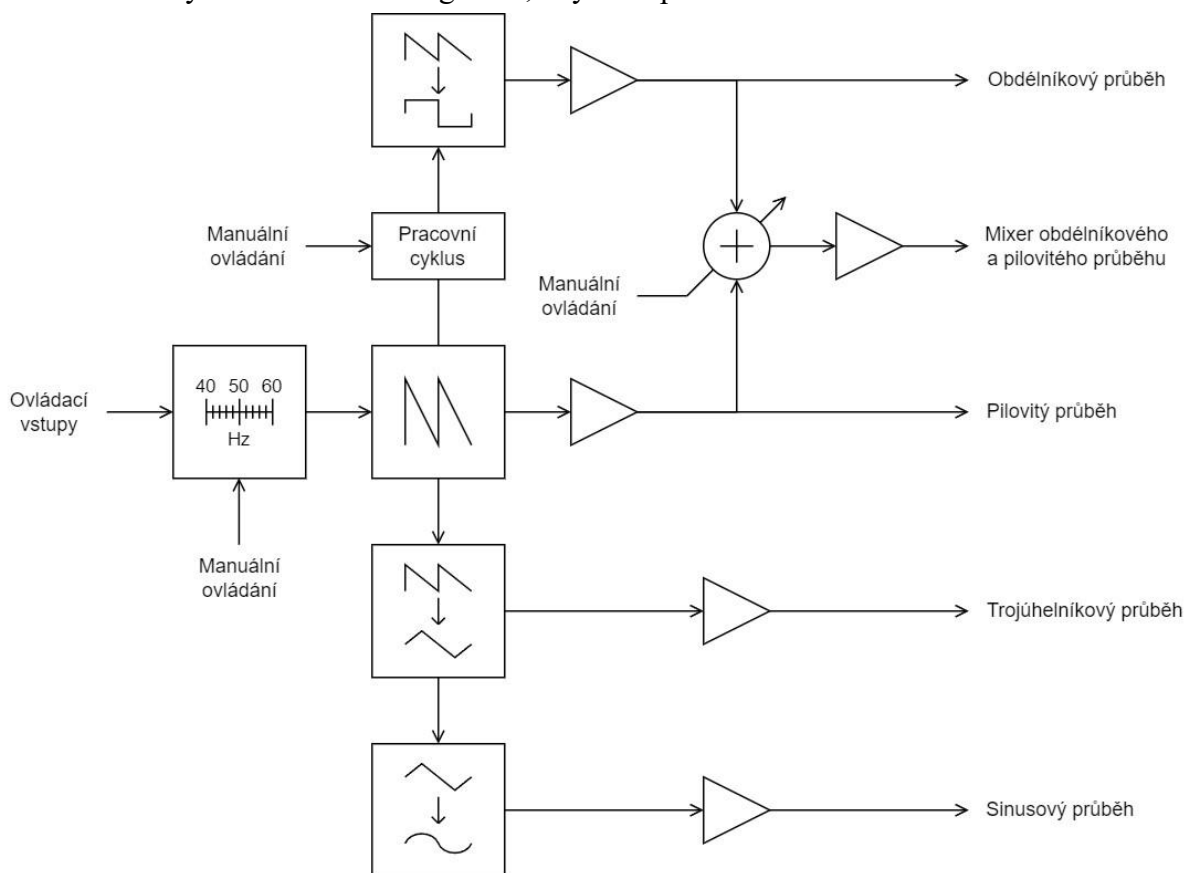
Jakožto oscilátor je schopen generovat signál různého tvaru, frekvence a amplitudy. Všechny tyto parametry přitom můžou být řízeny napětově. Nejčastěji se zde ale řídí napětím pouze frekvence, jelikož se průběhy oddělují a amplituda se nastavuje napětově řízeným zesilovačem, který je popsán v pozdější části této kapitoly.



Obr. č. 37 Blok napětově

řízeného oscilátoru

Základním principem napětově řízeného oscilátoru je generovat signál za pomoci obvodu, jehož útlum signálu je nulový, dochází tedy k netlumené oscilaci. Takovýto obvod by v ideálním světě elektroniky měl nulové ztráty. Jelikož tento obvod sestavujeme ve světě reálném, dochází zde ke odporovým ztrátám, a tedy k útlumům signálu. Proto je nutné zajistit oscilaci neustálým dodáváním energie tak, aby se nepřerušilo.



Obr. č. 38 Blokový diagram napětově řízeného oscilátoru

Do vstupů pro řízení frekvence se nejčastěji připojuje řízení za pomoci napětí. Druhů vstupů je více, ale nejčastěji se používá normovaný vstup a plovoucí vstup. U normovaného vstupu se obecně udává ovládání 1 V na oktávu. Existují ale i ovládání 2 V na oktávu, 5 V na oktávu nebo 8 V na oktávu. U

plovoucího vstupu neexistuje přesný poměr, protože jeho nastavení hladiny napětí lze posouvat. Udává se ale maximum a to do 10 voltů.

Mimo ovládání napětím lze řízení frekvence ovládat i manuálně. Manuálním ovládáním měníme hladinu napětí a tím i řízenou frekvenci. Ovládání probíhá především potenciometry a dělí se na hrubé nastavení frekvence a hladké nastavení frekvence.

Řízení frekvence převádí hladinu napětí na vstupech a na manuálním ovládání. Sčítá je a výsledné napětí upravuje tak, aby bylo schopné řídit frekvenci dle normy 1 V na oktávu. Existuje mnoho typů řízení frekvence, které hodně závisí i na vybraném typu oscilátoru. Ty nejjednodušší využívají charakteristiky tranzistorů. Ty složitější využívají operační zesilovače nebo logické obvody.

Oscilátory vytváří netlumené periodické kmitání určitého kmitočtu. Pro tvorbu kmitání využívá LC nebo RC obvodů, kde R je rezistor, L je cívka a C je kondenzátor. Mnoho různých oscilátorů dokáže vytvářet různé periodické průběhy signálu. Od klasické sinusoidy až po speciální, jako jsou různé matematické funkce. Tento oscilátor vytváří periodické kmitání pilovitého průběhu a využívá k tomu RC članku. K tvorbě pily dochází postupným vybíjením kondenzátoru, který po dosažení určité hranice je opět nabit na nastavenou hodnotu. Při opakování začne oscilátor vykreslovat průběh zubů pily.

Modulátor obdélníkového průběhu využívá hranice překlápění mezi vyšším a nižším napětím. Pokud pilovitý průběh překročí tuto hranici, obdélníkový průběh přeskočí na vyšší hladinu napětí. Jakmile ale pilovitý průběh spadne pod tuto hranici, obdélník se překlápí zpět na nižší hranici napětí. Díky nastavení zesílení pilovitého průběhu pak lze nastavovat pracovní cyklus obdélníkového průběhu. Pracovním cyklem se myslí doba, kdy je obdélníkový průběh na vyšší hladině a doba, kdy je obdélníkový průběh na nižší hladině.

Modulátor trojúhelníkového průběhu moduluje pilovitý průběh na trojúhelníkový tak, že rozdělí pilovitý průběh na dva stejné pilovité průběhy. Jeden z nich otočí o 180° a pak je sečte zpět dohromady. Výsledkem je trojúhelníkový průběh o stejné periodické frekvenci.

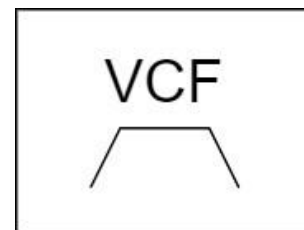
Modulátor sinusového průběhu dokáže trojúhelníkový průběh modulovat na sinusový mnoha různými způsoby. Mezi nimi je nejčastěji způsob matematické integrace trojúhelníkového průběhu na sinusový, kdy sleduje změnu vzrůstu signálu a tuto změnu zapisujeme jako novou funkci. Druhý způsob, jak lze převést trojúhelníkový průběh na sinusový je za pomoci charakteristiky diody. Přiložením charakteristiky diody k sinusovému průběhu lze zjistit, že do sebe zapadají. Díky sérii diod lze trojúhelníkový průběh ořezat na sinusový, musí být, ale následně zesílen kvůli ztrátám z ořezání signálu.

Mixer mění poměr mezi pilovitým a obdélníkovým průběhem. Výsledný signál zní více nerealisticky.

1.3.2 Napětově řízený filtr

Velmi hodně využívaný modul pro úpravu signálu z hlediska frekvenčního pásma. Mnoho různých signálů je složena z více harmonických frekvencí. Harmonickou frekvencí se myslí frekvence, která je vyšším řádem frekvence základní. Například tón C1 je přibližně 32.7

Hz, zatímco tón C2 je přibližně 65.4 Hz. Tón C2 je dvojnásobkem tónu C1, takže je jeho harmonickou frekvencí. Takovému signálu je potřeba někdy ztlumit určité frekvenční pásmo. Ať už to jsou výšky, středy či hloubky. Útlum pásma je

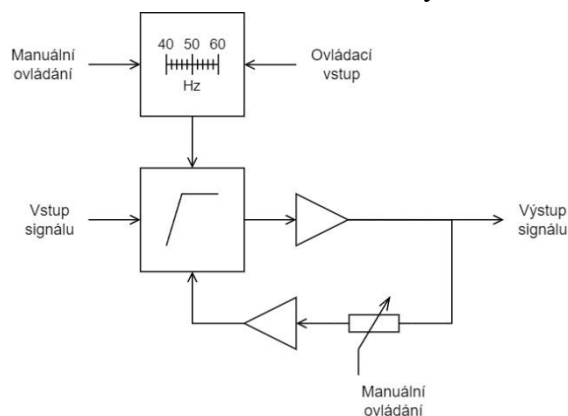


Obr. č. 39 Blok napěťově řízeného filtru

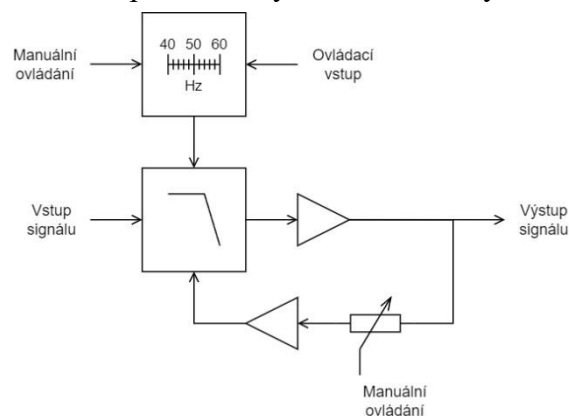
měřený v jednotkách dB a lze ho umístit nejlépe kdekoli na frekvenčním pásmu.

Napěťově řízený filtr reaguje na určité frekvence jinak než na ostatní. Tyto frekvence pak tlumí o nastavený útlum v dB. Kromě práce útlumu dokáže napěťově řízený filtr vytvářet tzv. rezonanci. Rezonance, jak vyznívá z názvu, je rozkmitání určité části signálu. Takže místo hladkého obdélníkového průběhu budeme mít obdélníkový průběh s rozkmitanými špičkami.

Obecně dělíme filtr na nízko pásmový filtr a vysoko pásmový filtr. Pokročilé filtry, které dokážou nastavovat útlum v určitých částech frekvenčního pásma, nazýváme ekvalizéry.



Obr. č. 40 Blokový diagram horní propusti napěťově řízeného filtru



Obr. č. 41 Blokový diagram dolní propusti napěťově řízeného filtru

Vstupním signálem je nejčastěji signál vytvořený oscilátorem nebo signál složený, jako může být například kytara, bubny nebo piano.

Manuální ovládní filtru dovoluje posouvat hranici mezní frekvence manuálně. Pro každý filtr je manuální ovládní samostatné. Ovládací vstup přijímá vstupní ovládací signál, který poté ovládá řízení filtru. Mezi ovládacím vstupem s nastavením a manuálním ovládním filtru lze přepínat.

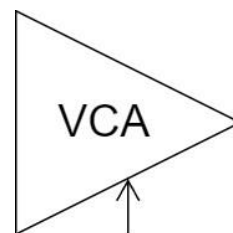
Dolní pásmová propust a horní pásmová propust jsou části obvodu, které zodpovídají za útlum signálu v oblasti mezní frekvence. Mezní frekvence je oblast, kde dochází k útlumu signálu. Fungují na bázi RC článku, který může být zapojen buď jako integrátor pro nízko pásmový filtr nebo jako derivátor pro vysoko pásmový filtr. Pro sestavení filtru lze použít i RL nebo LC článek. Obecným obvodem pro jakékoliv frekvenční filtry je tedy RLC obvod. RLC

filtry samotné řadíme mezi pasivní filtry, protože nám signál pouze tlumí. Existují ale i filtry aktivní, které signál ztlumí v nastavené části pásma a poté ho zesílí.

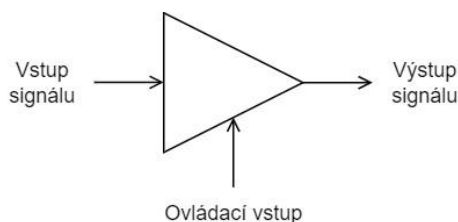
Rezonátor je část obvodu, která posílá výstupní signál zpět na vstup filtru. Díky zpožděné reakci filtračního obvodu na změnu signálu je vstupní signál rozkmitán. Výstupní signál se totiž kvůli zpožděné reakci filtru začne přičítat k signálu vstupnímu. Tím dojde k zvýšení napětí nad limit napětí vstupního. Na grafu ho lze poznat jako rozkmit signálu ve vrchní části amplitudy. Tato rezonance ale neprobíhá neomezeně, protože dochází ke ztrátám v podobě vyrovnávání napětí na vstupu. Pokud je ale zesílení vyšší, než je zesílení 1, dochází k nekonečné rezonanci.

1.3.3 Napětově řízený zesilovač

Napětově řízený zesilovač je modul pro amplitudovou úpravu signálu. Amplitudou se myslí velikost hladiny napětí signálu prostupujícího modulem. Modul je schopen zvyšovat nebo snižovat svoje zesílení podle velikosti ovládacího napětí. Při nulovém řídicím napětí je výstupní signál ztlumen na minimální možný výstup zesilovače.



Napětově řízené zesilovače se často používají v kombinaci Obr. č. 43 Blok napětově s napětově řízenými oscilátory, vytváří tak signál v podobě impulsu. řízeného zesilovače Jako příklad může být stisknutí noty na klavíru. Dobře ovládaný signál dokáže vytvářet na napětově řízeném zesilovači pocit dozvuku.



Obr. č. 42 Blokový diagram napětově řízeného zesilovače

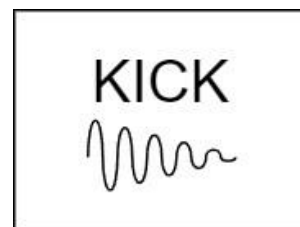
Vstupním signálem je nejčastěji oscilátor. Mohou to ale být i jiné zdroje signálu. Signál je na vstupu zmenšen nejméně 1000x za pomoci děliče napětí, aby nebyl schopen ovlivnit chování rozdílového zesilovače bez použití řídicího napětí.

Ovládací vstup řídí otevření zesilovače. Kvůli velikosti hladiny napětí je upravena předzesilovačem.

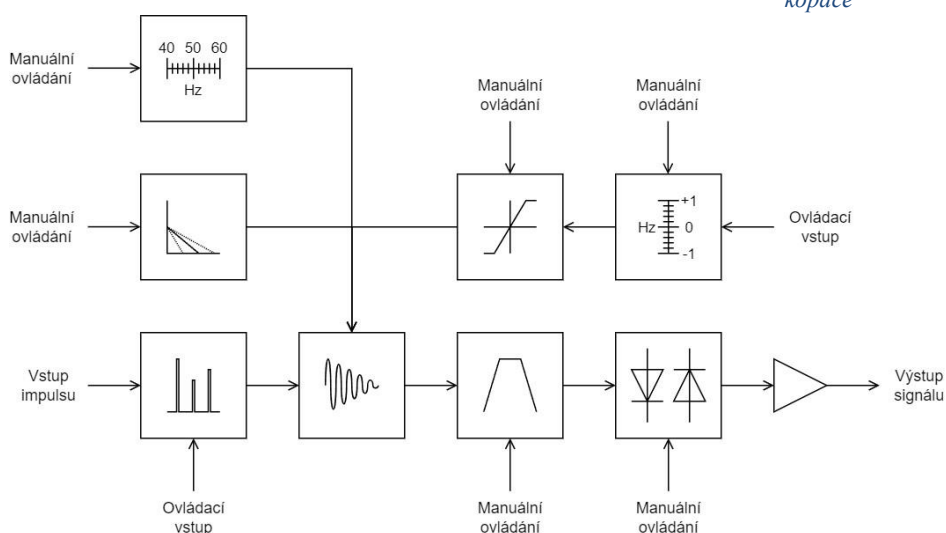
Řízený zesilovač funguje na bázi rozdílového zesilovače. Vstupní signál je přiváděn na jednu stranu rozdílového zesilovače. Napětí druhé strany rozdílového zesilovače je nulové vůči referenční nule. Před dodáním řídicího signálu je rozdílné napětí přibližně 0 V. Po dodání řídicího napětí je napájecí část rozdílového zesilovače přitáhnuta do oblasti záporného napětí. Toto má za následek otevření obou stran rozdílového zesilovače. Vstupní signál přitom působí na jednu ze stran rozdílového zesilovače, která je poté rozdílná oproti napětí druhé strany. Tento rozdíl je snímán druhým rozdílovým zesilovačem, který poté rozdíl obou napětí zesílí.

1.3.4 Analogový kopač

Analogový kopač je modul pro tvorbu zvuku podobného zvuku kopače (největší buben bicí soupravy). Funguje na podobných principech jako oscilátor nebo filtr. Využívá RLC obvodů k tvorbu tlumených kmitů signálu. Lze u něho upravovat mnoho parametrů. Příkladem může být frekvence, stoupání, tón, doba pádu nebo zkreslení signálu. Existuje ale i mnoho dalších parametrů, které signál kopače upravují.



Obr. č. 45 Blok analogového kopače



Obr. č. 44 Blokový diagram analogového kopače

Vstupní signál je v podobě impulsu. Vstupem je obdélníkový nebo impulsní průběh. Signál je převeden na impuls, kterému je ovládacím vstupem upravena jeho síla. Upravený impuls pokračuje na vstup impulsového oscilátoru.

Impulsový oscilátor vytváří impulsy v podobě tlumených sinusových kmitů. Je nejčastěji sestaven z T-můstku. Může být sestaven i z jiného RLC obvodu, který je schopen vyprodukovat tlumený sinusový signál. Na každý impuls přivedený na vstup T-můstku se vytvoří tlumené sinusové kmitání. Frekvence kopání se nejčastěji pohybuje v rozmezí od 40 Hz do 200 Hz.

U impulsového oscilátoru lze nastavit dobu pádu. Doba pádu dovoluje prodloužit tlumené sinusové kmitání i o několik sekund. Zvětšením doby pádu vytváříme signálu ozvěnu. Stoupání dovoluje posouvat frekvenci oscilátoru o několik hertzů nahoru nebo dolů. Výstup stoupání je limitován kvůli rozsahu frekvence. Moc vysoká frekvence by zkreslovala analogový kopač.

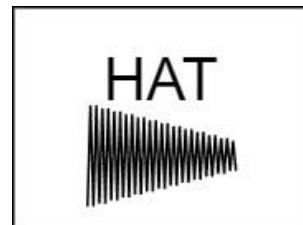
Výstupní signál oscilátoru je upraven pásmovou propustí, která dovoluje zvýraznit určité pásmo frekvencí před ostatními. Po úpravě pásma lze signálu upravit jeho formu. Úpravou formy měníme agresivitu signálu. Kopnutí tak lze slyšet více agresivní.

1.3.5 Hajtka ve stylu TR-606

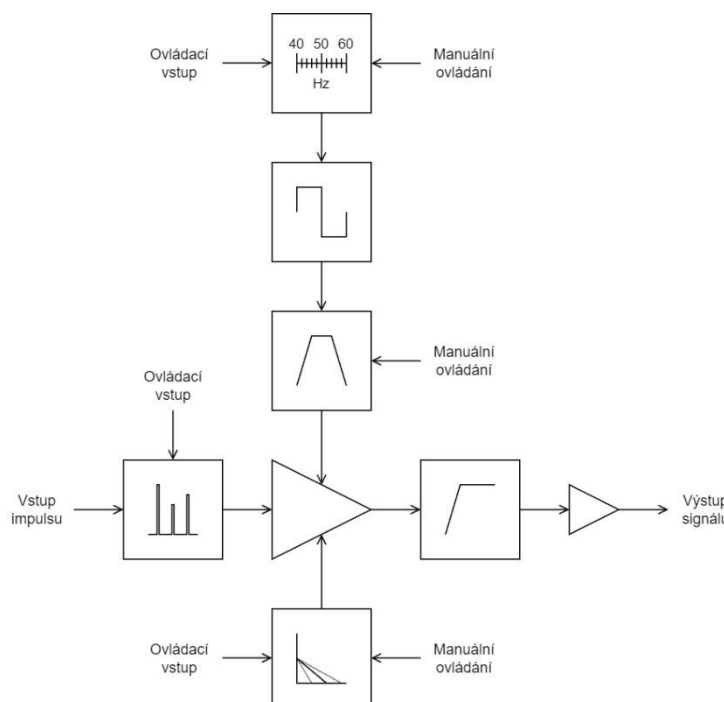
Hajtka ve stylu TR-606 je modul pro napodobování zvuku činelů. Charakteristický zvuk modulu je podobný stylu Roland TR606 Drumatixu, zařízení pro vzorkování bicí soupravy. Podobně jako modul analogového kopače funguje na principu obvodu RLC.

Rozdílem je však metalický zvuk, který je u modulu hajtek nejčastěji používán. Metalický zvuk je napodobován mixováním několika

frekvenčně nezávislých zdrojů obdélníkového průběhu. Skrze obvod *Obr. č. TR-606 46 Blok hajtek ve stylu* reagující na impulsy je smíšený signál propouštěn v podobě impulsů připomínající úhozů na činely.



Existuje více různých stylů, ve kterém se modul hajtek provádí. Každý má přitom svůj charakteristický tón. Stejně jako analogový kopač má k dispozici řadu parametrů, které nastavují charakter výsledného signálu. Základními parametry je nastavení frekvence, tónu, doby pádu nebo přízvuku signálu.



Obr. č. 47 Blokový diagram hajtek ve stylu TR-606

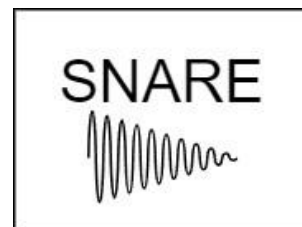
Na modulátoru hlasitosti s principem řízeného zesilovače jsou připojeny tři vstupy a jeden výstup. Na první vstup je připojen vstup impulsu, kterému skrze ovládací vstup upravujeme jeho sílu. Druhým vstupem upravujeme modulátoru hlasitosti jeho dobu otevření. K třetímu vstupu modulátoru hlasitosti připojujeme netlumený oscilátor obdélníkových průběhů.

Oscilátor je složen z několika menších oscilátorů obdélníkových průběhů, které se poté sčítají do jednoho signálu obdélníkových průběhů. Výstup oscilátoru je upraven skrze pásmovou propust, kterou zvýrazňujeme určité pásmo frekvencí před ostatními.

Modulátor hlasitosti otevírá propust signálu řízenou impulsy. Každý impuls otevře zesilovač na určitou dobu stanovenou dobou pádu signálu. Výstup modulátoru hlasitosti prochází skrze horní pásmovou propust, která propouští pouze výškové frekvenční pásmo.

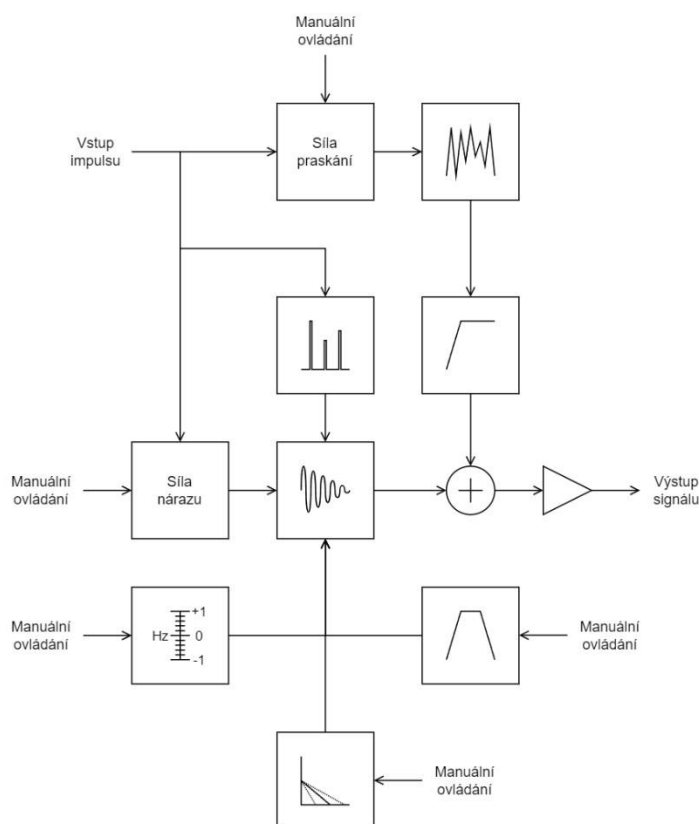
1.3.6 Virbl ve stylu TR-808

Virbl ve stylu TR-808 je modul pro tvorbu signálu podobného malému bubnu (malý buben na čelní straně bicí soupravy). Jeho charakteristický zvuk je založen na stylu Roland TR-808 rytmického skladatele, zařízení pro skládání bicích signálů. Existuje více různých stylů, ve kterém se moduly virblů provádějí. Signál virblu je nejčastěji složením signálu podobného analogovému kopači a signálu bílého šumu. Skládá se tedy ze středních a vysokých frekvencí.



Obr. č. 48 Blok virblu ve stylu TR-808

Stejně jako modul analogového kopače a modul hajtek je nastavitelný v mnoha parametrech. Mezi tyto parametry patří tón, doba pádu, stoupání, síla nárazu a síla praskání. Silou nárazu se myslí velikost počátečního signálu napodobující náraz paličky do malého bubnu. Síla praskání pak nastavuje otřes, který je slyšitelný po úhozu do malého bubnu.



Obvod virblu rozdělujeme na dva samostatné obvody. Prvním obvodem je obvod vytvářející dolní frekvenční část bubnu neboli buben samotný. Druhý obvod vytváří horní frekvenční část bubnu, konkrétně jeho vysokofrekvenční praskající šum, který je při každém úhozu slyšitelný. Dolní frekvenční část je tvořena impulsním oscilátorem tlumeného sinusového průběhu. Vstupní signál je dělený na impulsní signál pro oscilátor, upravený silou signálu, a pro impulsní signál, který posiluje počáteční uhození na buben neboli jeho počáteční rozkmit.

U oscilátoru lze nastavit dobu pádu pro ozvěnu bubnu, pásmovou propust pro zvýraznění určité části frekvenčního pásma před zbytkem celého pásma a stoupání, které dočasně vychyluje nastavenou frekvenci o jednotky hertzů.

Horní frekvenční část je tvořena generátorem bílého šumu. Bílý šum označuje chaotický neperiodický průběh, který poté slouží jako napodobení otřesu malého bubnu. Bílý šum je jeden z mnoha druhů různých šumů. Každý šum má přitom jiný zvukový charakter a jiné složení.

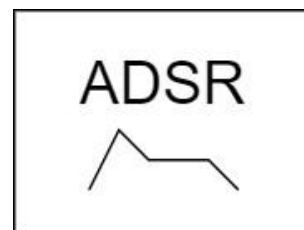
Pojmenování šumů je analogií frekvenčního spektra ke spektru viditelného světla. Například hnědý (červený) šum je frekvenčně hluboký a purpurový (fialový) šum je frekvenčně vysoký.

Generátor bílého šumu je ovládán silou praskání, která mění hlasitost bílého šumu. Výstupní signál bílého šumu prochází horní propustí, která odfiltruje nižší frekvenční pásmo od vyššího.

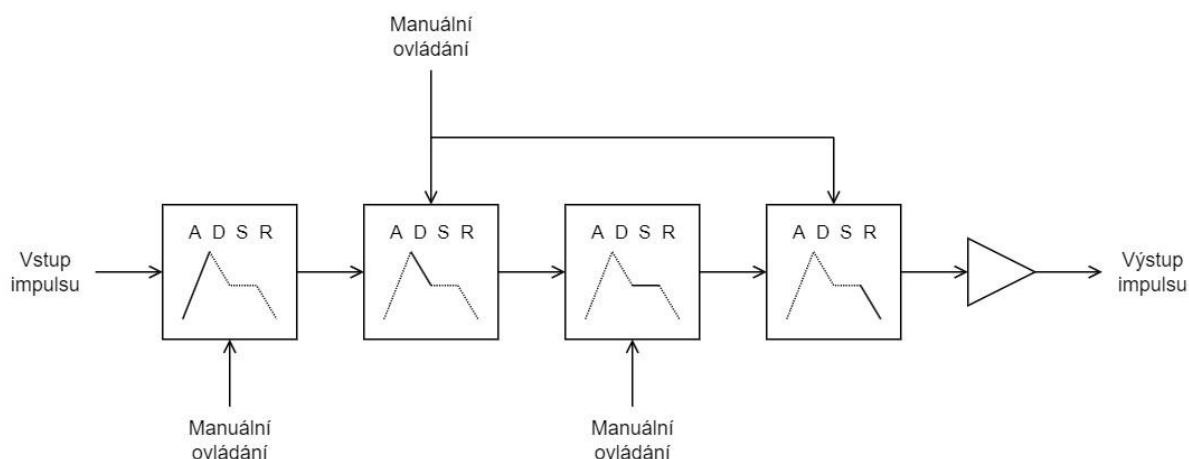
Obě části se poté spojují dohromady skrze sčítací mixer. Výstupní signál je kombinací obou obvodů, kde spodní část tvoří charakter bubnu a horní část tvoří otřes bubnu při úhozu.

1.3.7 ADSR modul

Jedná se o vstupní typ modulu, který upravuje vstupní signál pro ostatní moduly. Nejčastějším vstupním signálem je obdélníkový průběh. ADSR modul tomuto průběhu upravuje jeho dobu nárustu (Attack), dobu úpadku (Decay), dobu udržení (Sustain), dobu uvolnění (Release). ADSR moduly pro svoji funkci využívají nejčastěji kondenzátorů díky jejich funkci dočasného uchovávání energie.



Obr. č. 51 Blok ADSR



Obr. č. 50 Blokový diagram ADSR

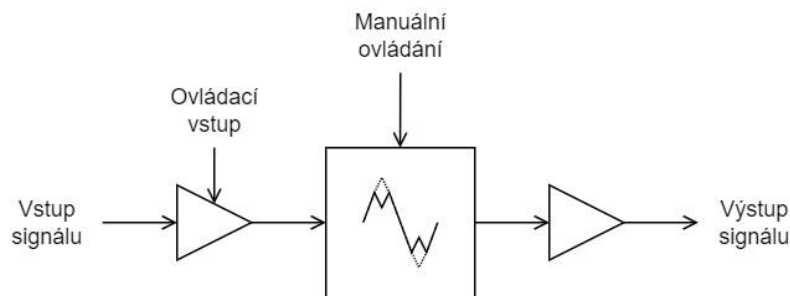
Doba nárustu (Attack) určuje, kdy se signál dostane na maximální hodnotu napětí. Doba úpadku (Decay) určuje, jak rychle se signál dostane na hodnotu udržení. Doba udržení (Sustain) určuje, jak dlouho bude signál podržen před uvolněním. Doba uvolnění (Release) určuje, kdy signál spadne na minimální hodnotu napětí.

1.3.8 Dvojitý sklápěč signálu

Dvojitý sklápěč signálu je modul pro upravování tvaru zpracovávaného signálu. Výstupní signál je stejný jako vstupní. Pokud ale vstupní signál překročí hranici napětí, překlápí se o 180°. Amplitudu signálu lze nastavovat vstupním zesilovačem signálu. Dvojitý sklápěč signálu dokáže vstupní signál překlápět dvakrát, pokud amplituda signálu překročí hranici dvakrát. Překlápí se pouze ta část amplitudy, která překročila hranici překlápění signálu.



Obr. č. 53 Blok dvojitého sklápěče signálu



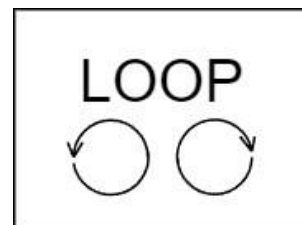
Obr. č. 52 Blokový diagram dvojitého sklápěče signálu

Vstupním signálem je signál, který bude dvojitým sklápěčem upraven na požadovaný tvar. Není vhodný pro signály ovládací. Před zesilovač zesiluje vstupní signál na požadovanou hodnotu pro překlopení. Manuální řízení dovoluje řídit před zesilovač manuálně.

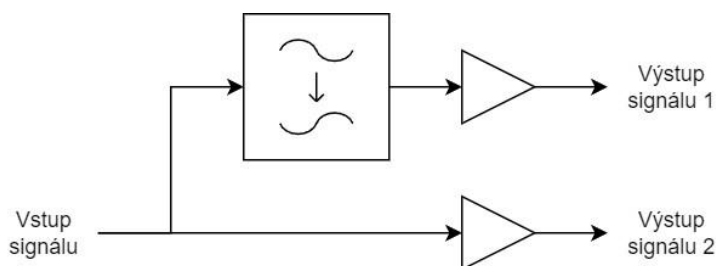
Sklápěč signálu sklápí signál na základě jeho amplitudy. Pokud amplituda signálu překročí hranici překlopení, překročená amplituda signálu bude překlopena o 180°.

1.3.9 Opakovač signálu

Opakovač signálu je nejjednodušší ze všech modulů. Jeho jedinou prací je kopírovat signál, který sleduje na vstupu, nejčastěji impulsní signál. Jeho výstupem je invertovaný a neinvertovaný signál. Je používán především pro vstupní signály jako opakovač.



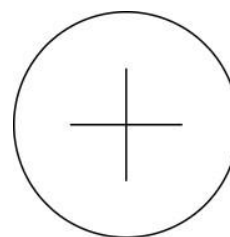
Obr. č. 54 Blok opakovače signálu



Obr. č. 55 Blokový diagram opakovače signálu

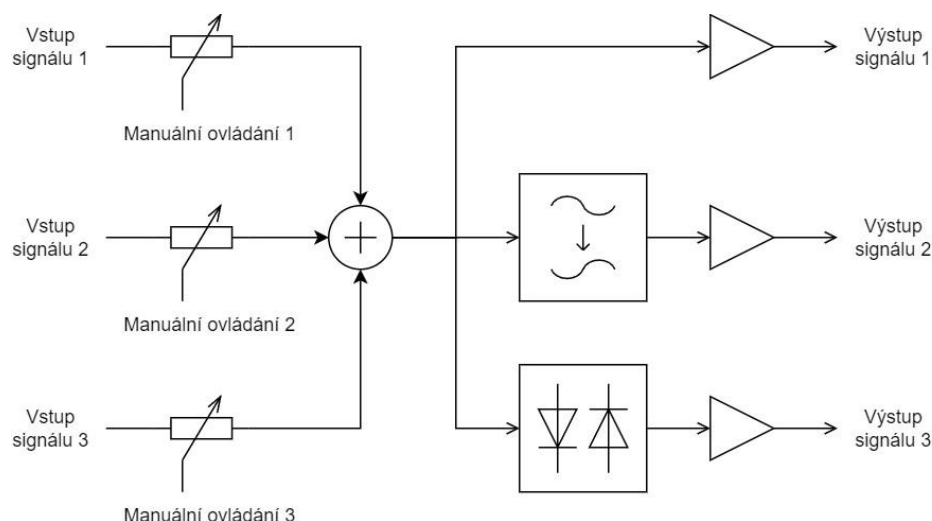
1.3.10 Tři kanálový mixer s diodovým zkreslováním

Modul tří kanálového mixeru dovoluje smíchávat signály jednotlivých modulů do jednoho signálu. Poměr mezi těmito signály je měnitelný. Znamená to, že lze upravovat amplitudu každého signálu a tím posílit amplitudu slabšího signálu anebo zeslabit amplitudu silnějšího signálu tak, aby jejich výstup byl v rovnováze.



Obr. č. 56 Blok tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním

Vedlejší funkcí tří kanálového mixeru je jeho diodové zkreslení, které dovoluje signál zkreslovat, tzn. upravovat jeho čistotu. Výsledkem bude hrubší, agresivní signál.



Obr. č. 57 Blokový diagram tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním

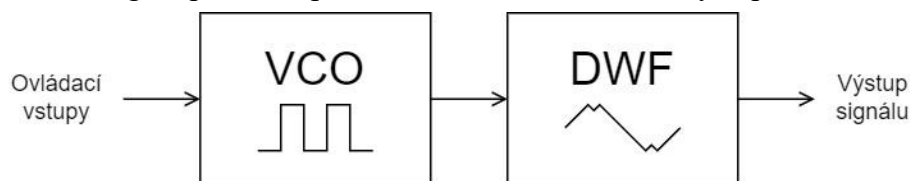
Vstupy signálu jsou výstupy různých modulů, které je potřeba sloučit do jednoho signálu. Manuálními poměry lze nastavovat jednotlivé amplitudy signálu, které se poté sčítají do signálu jednoho Výstupní signál je součtem těchto tří kanálů. Výstupní signál se dělí na tři výstupy. Prvním výstupem je signál dále neupravovaný. Druhým výstupem je invertovaný výstup, který je otočen o 180° proti neupravovanému výstupnímu signálu. Třetím výstupem je signál se zkreslením. Manuální nastavení mění zdeformování signálu. Výsledný signál je agresivnější na poslech.

1.4 Sdílené chování signálu mezi moduly

Poslední kapitola teoretické části popisuje chování jednotlivých modulů mezi sebou. Modulární syntetizátory mají mnoho různých kombinací, v jakých je lze zapojit. Tato část bude pokrývat 5 příkladů zapojení od jednoduchých až po ty komplexní.

1.4.1 Oscilátor s dvojitým sklápěčem signálu

Výstup napěťově řízeného oscilátoru je připojen ke vstupu dvojitého sklápěče signálu. Generovaný signál různého tvaru je poslán na vstup sklápěče signálu, který poté sklápí signál o 180° pokaždé, co signál přesáhne přednastavenou hranici hladiny napětí.

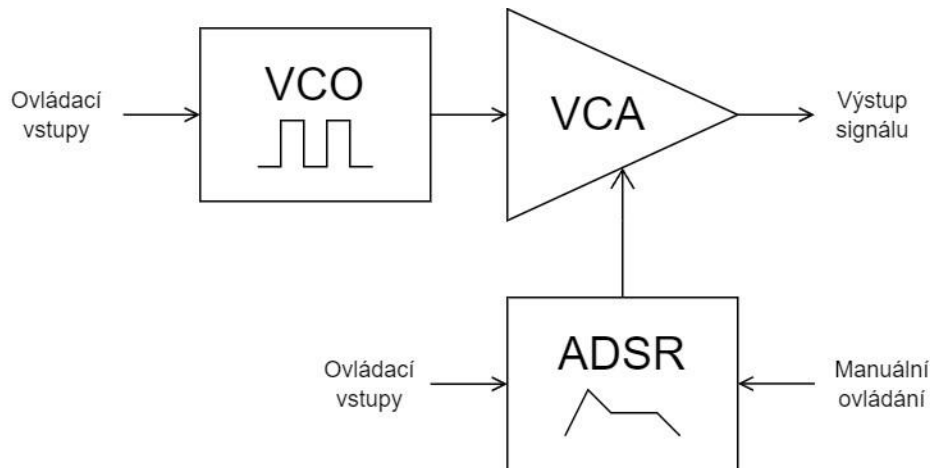


Obr. č. 58 Blokový diagram oscilátoru s dvojitým sklápěčem signálu

Výsledkem tohoto zapojení je přechodově se transformující signál, který při konzistentním upravování zní více futuristicky. Mělo by v něm jít slyšet více různých tónů naráz, ačkoliv je to stále jenom jeden tón nastavený oscilátorem.

1.4.2 Oscilátor se zesilovačem řízeným ADSR

Toto zapojení se skládá ze tří modulů. Výstup modulu ADSR je připojen k řídicímu vstupu modulu napětově řízeného zesilovače. K modulu napětově řízeného zesilovače je taktéž připojen i modul napětově řízeného oscilátoru. Výstup oscilátoru je připojen ke vstupu signálu, který bude upraven napětově řízeným zesilovačem.

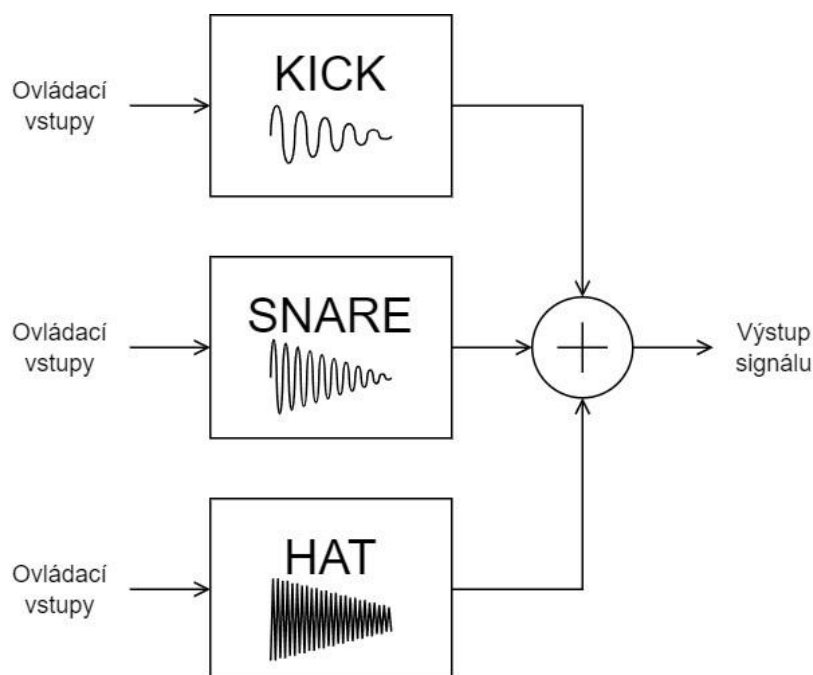


Obr. č. 59 Blokový diagram oscilátoru se zesilovačem řízeným ADSR

Výsledkem zapojení je nastavitelný signál generovaný oscilátorem. Obvod je schopen generovat místo konzistentního signálu signál impulsní. Díky ADSR modulu jsme schopni nastavovat dobu otevření, dobu udržení a dobu uzavření každého z impulsů. Obvod je tedy schopen generovat tóny s intervalem podobným hraní na klávesy nebo drnkání na jakýkoliv hudební nástroj.

1.4.3 Bicí nástroje s tří kanálovým mixérem

Obvod je složen ze čtyř individuálních modulů. Jednotlivé moduly představující bicí nástroje, tedy moduly analogový kopač, hajtky ve stylu TR-606 a virbl ve stylu TR-808 jsou připojeny na modul tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním.

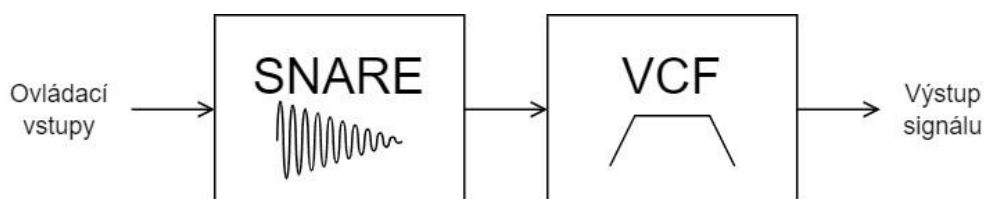


Obr. č. 60 Blokový diagram bicích nástrojů s tří kanálovým mixérem

Výstupním signálem je mix těchto tří různých modulů bicích nástrojů. Mezi moduly lze volně nastavovat výstupní poměr hlasitosti a modul mixeru poskytuje normální, invertované i zkreslené připojení s nastavitelným zkreslováním. Tato kombinace modulů lze dobře využít jako skladatel rytmů, který je v dnešní době součástí mnoha různých moderních písní.

1.4.4 Virbl s řízeným filtrem

Tento obvod demonstruje zapojení jakéhokoliv modulu generujícího signál spolu s napětově řízeným filtrem. Jako příklad je v obvodu připojen ke vstupu napětově řízeného filtru virbl ve stylu TR-808. Výstupní signál virblu prostupuje filtrem, který poté upravuje nastavené pásmo kmitočtu.

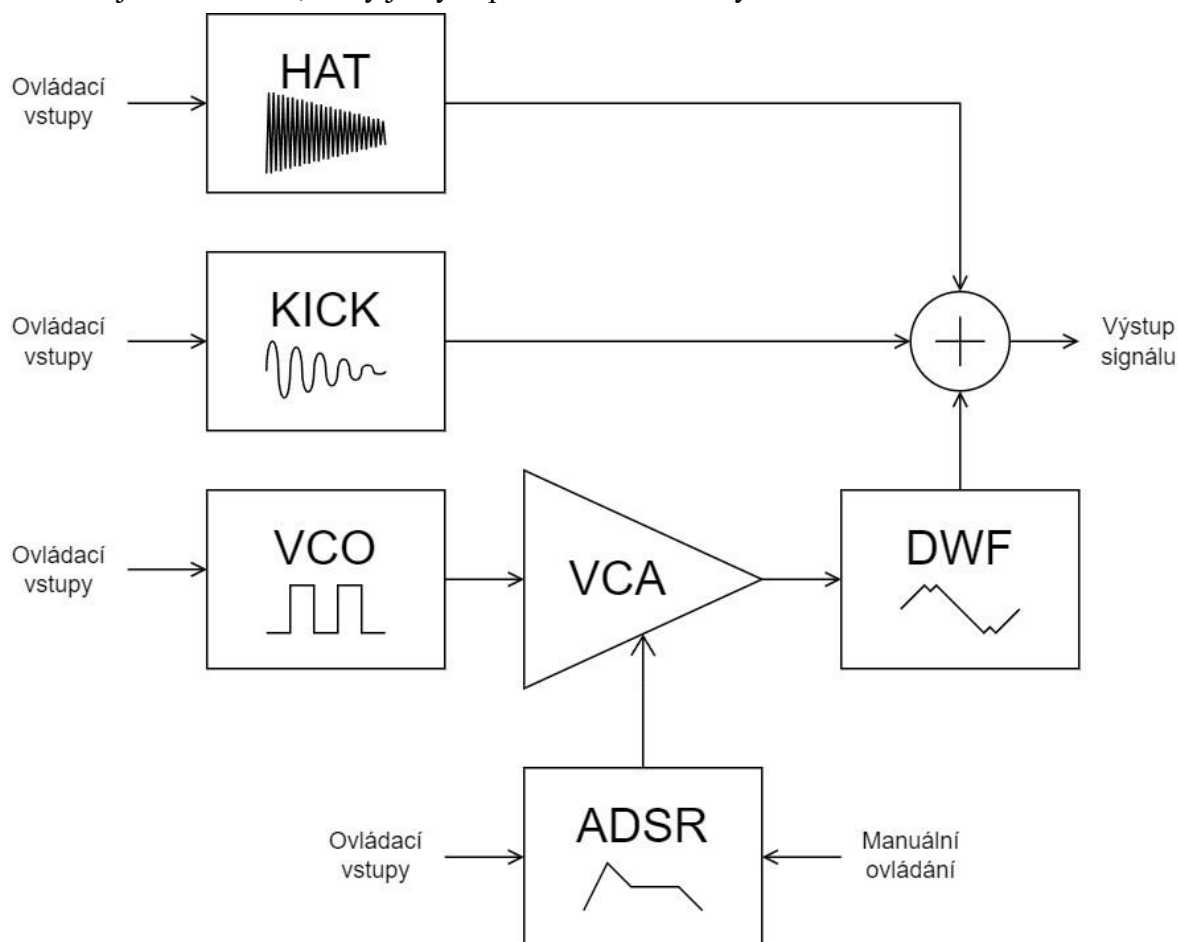


Obr. č. 61 Blokový diagram virblu s řízeným filtrem

Výstupní signál je tak ztlumen o pásmo kmitočtů nastavených filtrem. Vedlejším efektem napětově řízeného filtru je zesílení mezní části kmitočtu díky rezonujícímu efektu filtru. U signálu upraveného filtrem by měly být více znatelné výšky nebo hloubky na základě nastavení, které bylo na napětově řízeném filtru přednastaveno.

1.4.5 Komplexní zapojení euroracku

Komplexním zapojením euroracku myslíme zapojení, které obsahuje několik jednotlivých větví sloužících pro generování a úpravu signálů. Tyto signály se poté mohou sloučit do jednoho celku, který je výstupem modulárních syntetizátorů eurorack.



Obr. č. 62 Blokový diagram komplexního zapojení euroracku

Výstupem tohoto komplexu jsou různé spletené zvuky a zvukové efekty, které poté slouží k tvorbě hudby, filmových efektů, nebo k dalšímu možnému využití v oblasti generování a úpravy signálů.

2 Praktická část

Praktická část se zabývá řešením, stavbou a chováním modulárních syntetizátorů. U každého modulu je podrobně rozebráno jeho funkční schéma včetně finálních úprav. Je zde vysvětlen návrh tištěných spojů a konstrukce každého modulu. Nakonec je u každého modulu provedena kompletní analýza všech jeho parametrů.

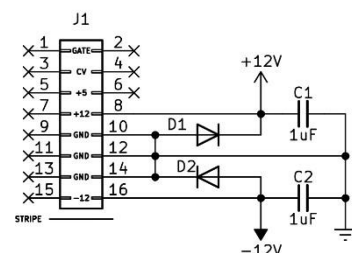
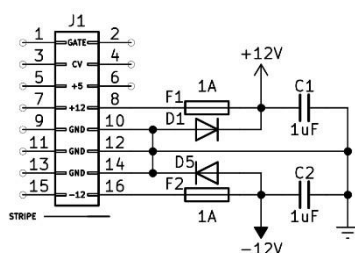
2.1 Testování prototypů a výběr součástek

Napájení všech modulů tvoří konektor normy Eurorack (obr č. 11 nalevo). Jedná se o 16 pinový konektor, který dodává +/- 12 V, dále 5 V spolu se společnou referenční zemí. Na

Standard Eurorack power connections

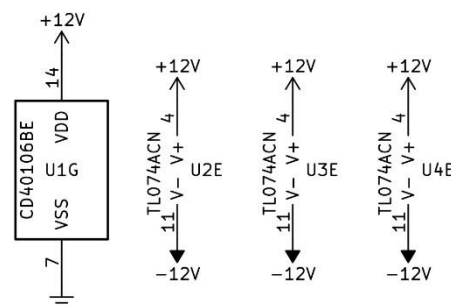
Gate
CV
+5v
+12v
Ground
Ground
Ground
-12v

16 pin 10 pin



U první verze (obr č. 11 uprostřed) jsou na piny +/- 12 V připojené dvě pojistky. Mezi piny +/- 12 V a referenční zem jsou připojeny dvě proti polarizační diody a dva kondenzátory proti vysokofrekvenčnímu rušení. Protože se zdroj samotný stará o ochranu proti přepětí a proti zkratu, byly u druhé verze pojistky odstraněny (obr č. 11 napravo).

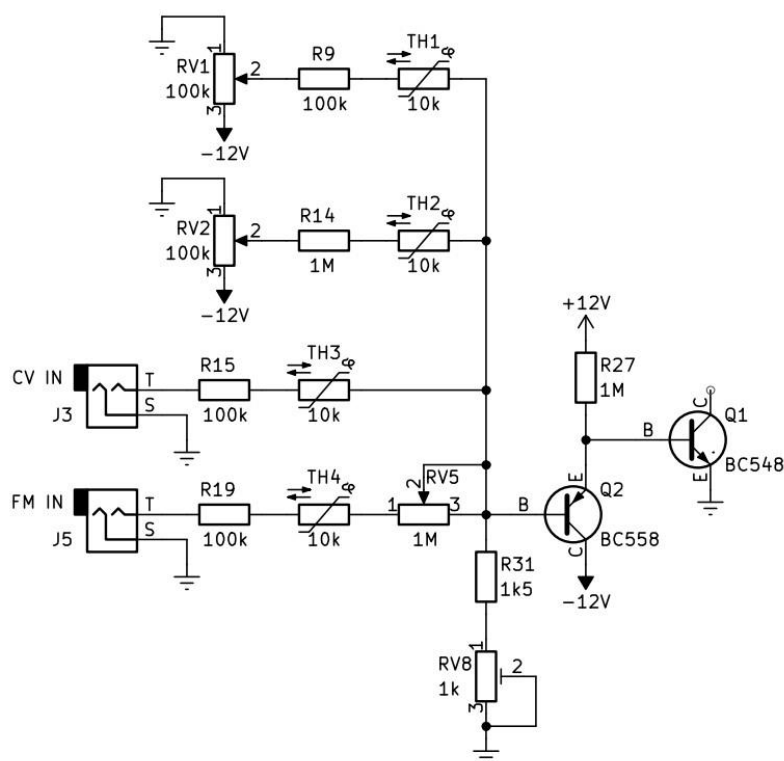
U všech funkčních schémat je vyznačeno napájení všech integrovaných obvodu. Toto značení zde slouží jako zjednodušení při orientování se ve schématu.



2.1.1 Prototyp napět'ově řízeného oscilátoru

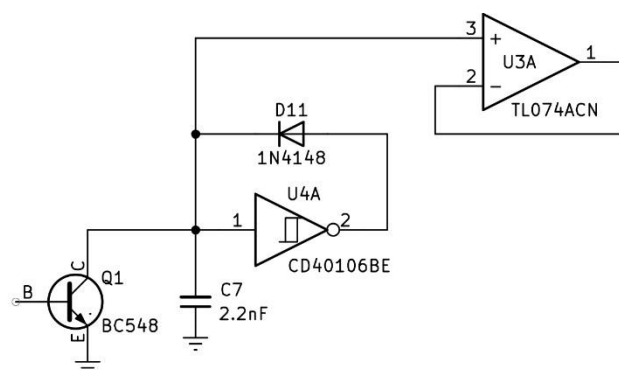
25

Výsledné napětí vstupuje do tranzistoru Q2, který pro tranzistor Q1 tvoří zpětnou vazbu. Tato zpětná vazba zabraňuje změnám zesílení tranzistoru v důsledku změny okolní teploty. Při zahřívání tranzistoru dochází k jeho otevírání. Zpětná vazba reaguje na toto otevírání tak, že se taktéž více otevře. Větší otevření na tranzistoru Q2 způsobí úbytek proudu na vstupu Q1 a tím přivře tranzistor Q1. Termistory TH1, TH2, TH3 a TH4 omezují tranzistor Q2, protože tranzistor Q2 má silnější vliv na změny teplot než tranzistor Q1. Rezistor R27 omezuje průtok proudu do tranzistoru Q2 a do vstupu tranzistoru Q1. Tranzistor Q1 je součástí RC obvodu oscilátoru.



Obr. č. 66 Vstup napětově řízeného oscilátoru

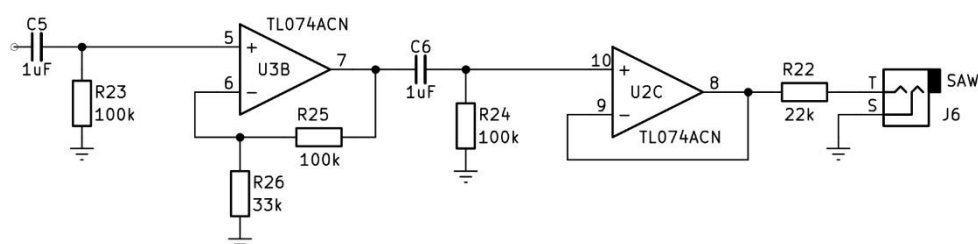
RC obvod oscilátoru zde představuje tranzistor Q1 připojený paralelně ke kondenzátoru C7. Tranzistor Q1 dovoluje nastavovat frekvenci oscilátoru na základě jeho otevření. O nabíjení RC obvodu se stará invertovaný Schmittův klopný obvod U4A, který při každém dostatečném úbytku napětí na RC obvodu dodá do RC obvodu proud, který znova nabije kondenzátor C7. Dioda D11 mezi vstupem a výstupem



Obr. č. 67 Oscilátor napětově řízeného oscilátoru

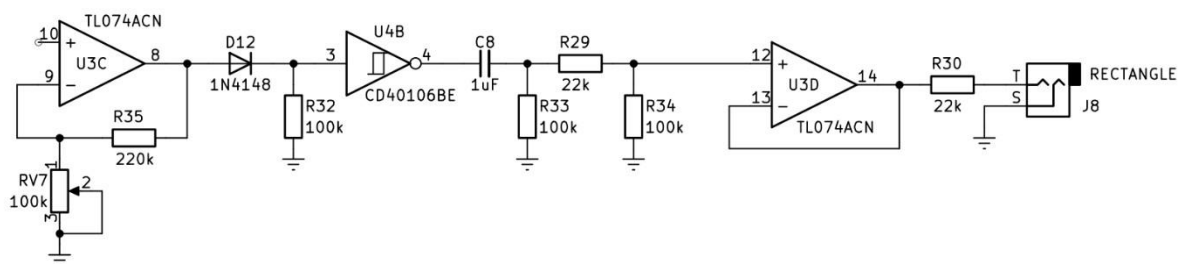
invertovaného Schmittova klopného obvodu slouží jako zábrana proti vybíjení RC obvodu v době, kdy je klopný obvod v logické nule. Výstup oscilátoru prochází skrze operační zesilovač U3A, který slouží jako sledovač napětí. Sledované napětí na oscilátoru vysílá na svůj výstup a tím zabráňuje vnějšímu vyrušení chodu oscilátoru. Výstupem oscilátoru je pilovitý průběh.

Výstup oscilátoru tvoří derivační obvod R23 a C5, který srovnává pozici napětí na referenční nulu. Za obvodem RC je operační zesilovač v zapojení neinvertujícího zesilovače. Operační zesilovač U3B s odpory R25 a R26 zesiluje pilovitý průběh oscilátoru na požadované napětí bez otáčení průběhu o 180° . Výstup zesilovače je opět opraven na referenční nulu R24 a C6 derivačním obvodem. Konec modulátoru pilovitého průběhu tvoří limitační obvod U2C a R22 s výstupem na J6 (SAW).



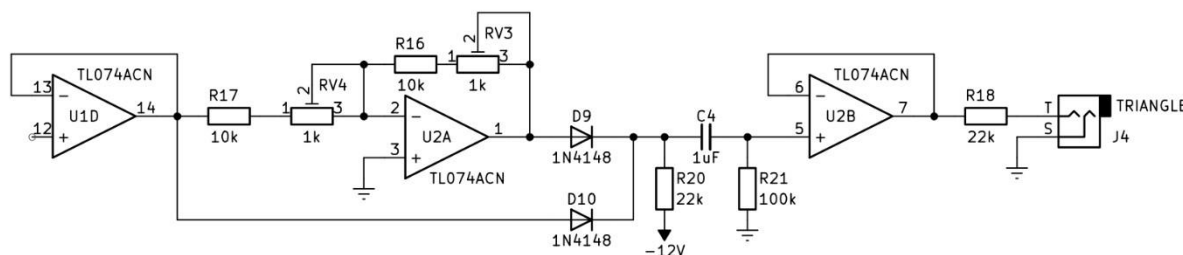
Obr. č. 68 Modulátor pily napětově řízeného oscilátoru

Z modulátoru pilovitého průběhu se obvod dělí do dalších dvou částí. První část je modulátor obdélníkového průběhu. Pilovitý signál je zesílen skrze neinvertující zesilovač U3C s odporem R35 a potenciometrem RV7, který nastavuje velikost zesílení. Výstup, který je ořezán o zápornou část signálu pomocí diody D12, vstupuje do invertovaného Schmittova klopného obvodu U4B. Pokaždé, co hladina napětí překoná hranici klopného obvodu, překlápí se tento obvod. Toto překlápění vytváří obdélníkový průběh. Frekvence průběhu je přímo závislá na frekvenci oscilátoru. Výstup je vyrovnán na referenční nulu derivačním obvodem R33 a C8. Jelikož je výstupní napětí klopného obvodu větší jak 10 V, je potřeba snížit děličem napětí R29 a R34. Výstup obdélníkového průběhu prochází limitačním obvodem U3D a R30 s výstupem na J8 (RECTANGLE). Odpor R32 za diodou slouží jako referenční logická nula, protože při závěrném stavu diody dochází na vstupu klopného obvodu k tzv. plovoucímu vstupu, který nemá konzistentní hodnotu a mohou tak nastat falešné impulsy. Potenciometr RV7 slouží k nastavení pracovního cyklu obdélníkového průběhu.



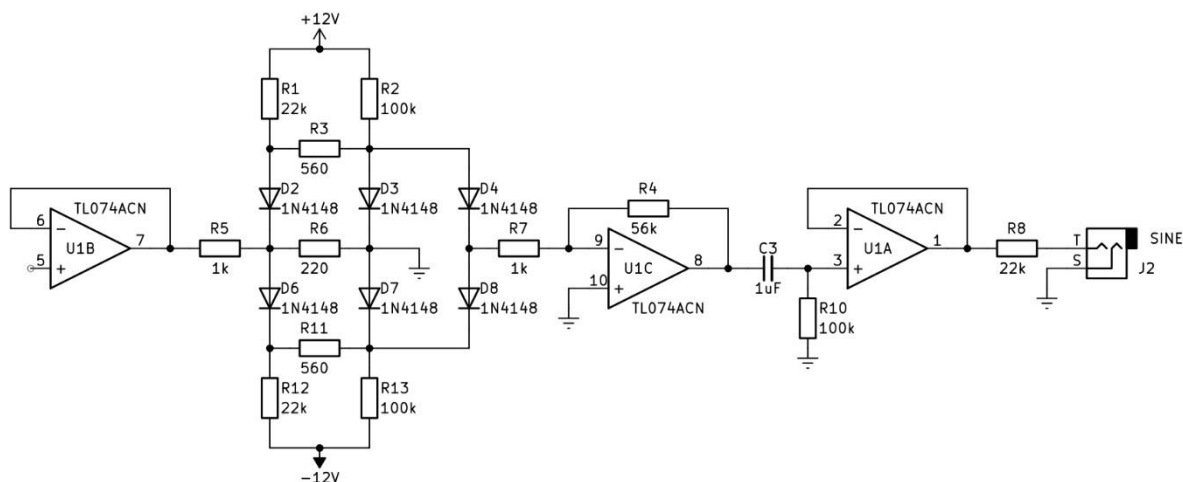
Obr. č. 70 Modulátor obdélníku napětově řízeného oscilátoru

Druhou částí je modulátor trojúhelníkového průběhu, který převádí pilovitý průběh na trojúhelníkový průběh. Výstup pilovitého průběhu je sledován operačním zesilovačem U1D, který posílá signál na invertující zesilovač U2A s odpory R17 a R16. Tyto odpory musí být shodné, aby zesílení zesilovače bylo v poměru 1. Pro zajištění stejných hodnot je možné doladit hodnoty odporů trimery RV3 a RV4. Výstup zesilovače prochází diodou D9 a slučuje se s původním pilovitým průběhem, který prochází diodou D10. Diody brání průchodu záporné části pilovitého průběhu a prochází tedy jenom kladná část pilovitého průběhu. Při sloučení obou částí vzniká trojúhelníkový průběh, který je poté vyrovnaný středem na referenční nulu derivačním obvodem R21 a C4. Rezistor R20 slouží jako výpusť hromadící se hladiny napětí mezi diodami a kondenzátorem, jelikož by se hladina napětí pak nedala měnit a došlo by k zamezení průchodu průběhu signálu. Výstup je limitován limitačním obvodem U2B a R18 s výstupem na J4 (TRIANGLE).



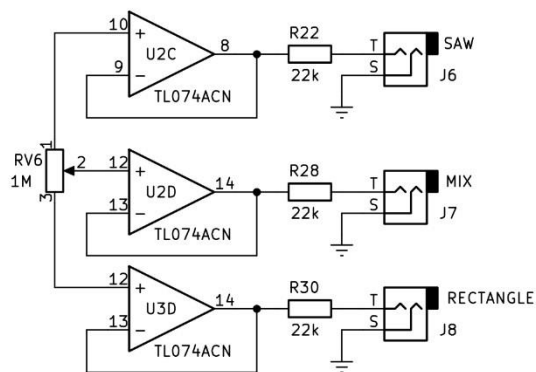
Obr. č. 69 Modulátor trojúhelníku napětově řízeného oscilátoru

Z trojúhelníkového průběhu je možné vytvořit ještě sinusový průběh, a to jeho ořezáním. Výstup trojúhelníkového průběhu vstupuje do sledovače napětí U1B, který signál vysílá na ořezávací obvod. Ten je složen ze série diod a rezistorů, ve kterém jsou obě poloviny trojúhelníkového průběhu ořezány a poté sloučeny zpět dohromady. Výstupní sinusový signál je silně ořezaný, a proto je nutné ho zesílit zpět na normální hodnotu invertujícím zesilovačem U1C s odpory R4 a R7. Invertující charakter zesilovače v tomto případě zde neplní žádnou funkci. Výstup je vystředěn derivačním obvodem R10 a C3 limitován limitačním obvodem U1A a R8 s výstupem na J2 (SINE).



Obr. č. 72 Modulátor sinusoidy napětově řízeného oscilátoru

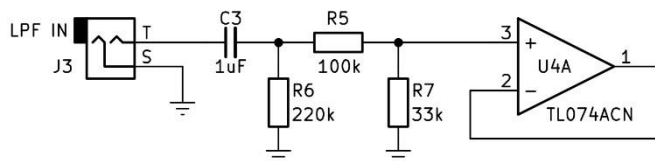
Výstup pilovitého a obdélníkového průběhu tvoří ještě mixovaný výstup, u kterého je možné nastavovat poměr mezi těmito výstupy. Poměr se nastavuje potenciometrem RV6, který leží mezi oběma průběhy. Výsledné napětí jezdce potenciometru vstupuje do limitačního obvodu U2D a R28 s výstupem na J7 (MIX).



Obr. č. 71 Mixovaný výstup pily a obdélníku

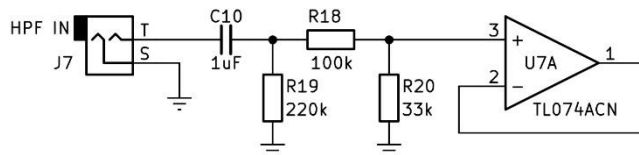
2.1.2 Prototyp napětově řízeného filtru

Vstupní části dolní a horní propusti jsou mezi sebou shodné. Vstup dolní propusti je vyrovnán na nulu derivačním RC obvodem R6 a C3. Poté je ztlumen o $\frac{3}{4}$ vstupního



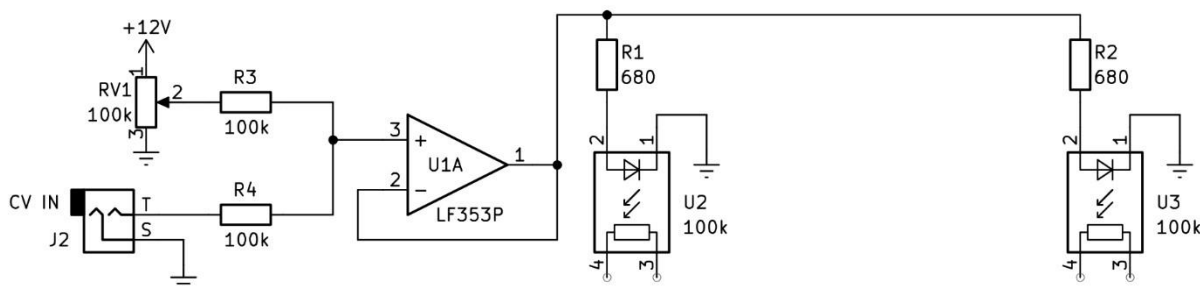
signálu napětovým děličem R5 a R7. Obr. č. 74 Vstup horní propusti napětově řízeného filtru

Filtrační obvod je od vstupu oddělen operačním zesilovačem U4A, který pracuje jako impedanční posilovač.

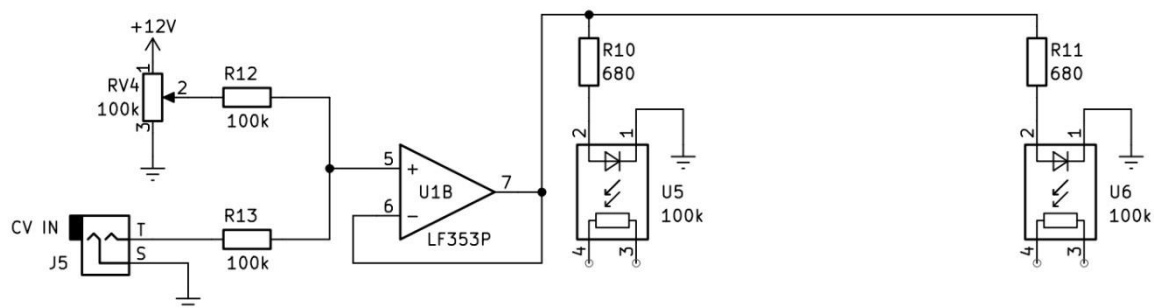


Obr. č. 73 Vstup dolní propusti napětově řízeného filtru

Napětové ovládání obou filtrů taktéž stejného elektrického obvodu. U dolní propusti je vstup ovládání mixován s potenciometrem RV1. Oba vstupy jsou mezi sebou děleny pomocí rezistorů R3 a R4, které vytváří váhu změny mezi nimi. Výstup mixování je impedančně posílen operačním zesilovačem U1A. Výstup zesilovače poté ovládá dvojici odporových optických izolátorů U2 a U3 sestrojených ze dvou foto odporů a dvou světelných diod. Proud světelných diod je limitován odpory R1 a R2, aby nedošlo k proudovému přetížení světelných diod. Výstupy foto odporů ovládají filtrační část dolní propusti.



Obr. č. 76 Ovládání dolní propusti napětově řízeného filtru

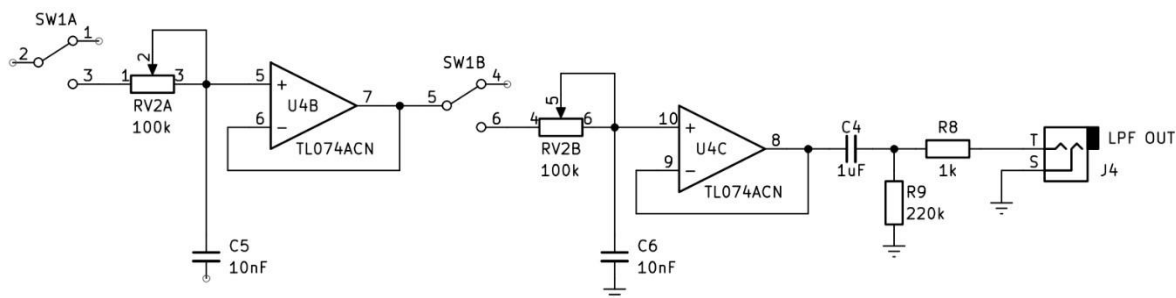


Obr. č. 75 Ovládání horní propusti napětově řízeného filtru

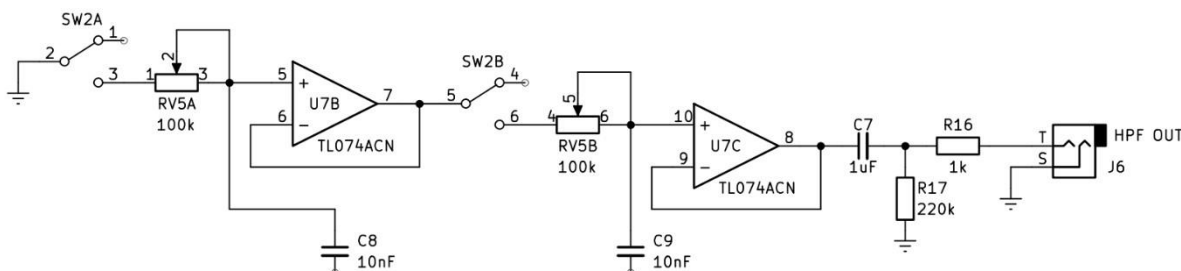
Napětově řízený filtr se dělí na dva oddělené obvody. V teoretické části jsou popsány jako dva shodné elektrické obvody. V praktickém zapojení se ale liší v počtu filtračních řádů. Filtrační řád je počet za sebou jdoucích RC filtrů. Čím vyšší je řád, tím strmější je útlum za mezní frekvencí. Dolní pásmová propust používá dva filtrační řády. Horní pásmová propust využívá jenom jeden filtrační řád. Důvodem je způsob, jakým využíváme RC obvod pro horní a dolní propust.

Filtrační části obou filtrů jsou shodné, ale liší se v místě připojeného vstupu filtru. U dolní propusti je vstup filtru připojen na přepínač SW1A, který dovoluje přepínat mezi manuálním a napětovým ovládáním filtru. Přepínač je rozdělen na dva oddělené přepínače označené písmeny A a B ovládané stejnou páčkou. Manuální ovládání je vytvořeno tzv. stereo potenciometrem RV2, který se stejně jako přepínač dělí na dva samostatné potenciometry sjednocené jedním ovládacím řemínkem. Výstup potenciometru RV2A prochází operačním zesilovačem U4B ve funkci impedančního posilovače. Na stejný vstup tohoto zesilovače je připojen kondenzátor C5, který vytváří s potenciometrem, popřípadě s foto odporem, RC obvod chovající se jako dolní propust. Druhá část filtru prochází stejným procesem, tedy přepínačem SW1B, dále potenciometrem RV2B a je posílen operačním zesilovačem U4C s kondenzátorem C6 připojeném v zapojení RC. Výstup obou řádu je vyrovnán na nulu RC článkem R9 a C4 a je limitován odporem R8. Na rozdíl od dolní propusti je vstup horní propusti připojen ke

kondenzátoru druhého řádu C9. Toto připojení se poté chová jako derivátor pro horní propust, avšak přicházíme o jeden filtrační řád horní propusti.

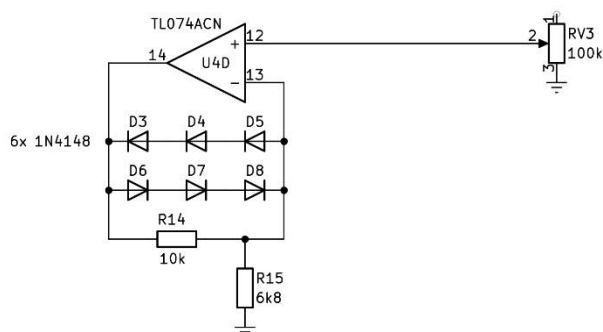


Obr. č. 79 Filtr horní propusti napětově řízeného filtru

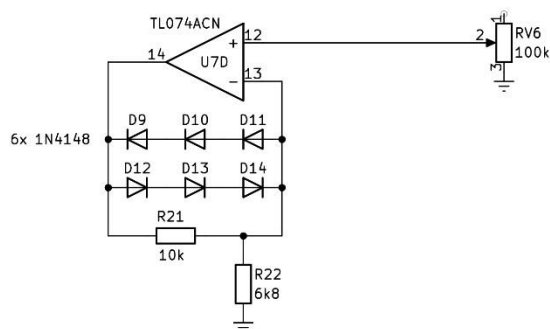


Obr. č. 78 Filtr dolní propusti napětově řízeného filtru

Zpětné vazby obou filtrů jsou opět totožné. U dolní propusti je vstup zpětné vazby připojen k potenciometru RV3, který určuje sílu zpětné vazby. Výstup potenciometru prochází operačním zesilovačem U4D v neinvertujícím zesilovacím zapojení, kde zesílení je určeno rezistory R14 a R15. Zesilovací obvod je upraven pomocí šesti diod D3 až D8 zapojených jako diodový žebřík. Tyto diody dovolují zpětné vazbě jemně zkreslit výstupní signál a zároveň vytvořit pevný limit pro délku trvání rezonance. Výstup zpětné vazby je poté připojen zpět na první RC článek ke kondenzátoru C5.



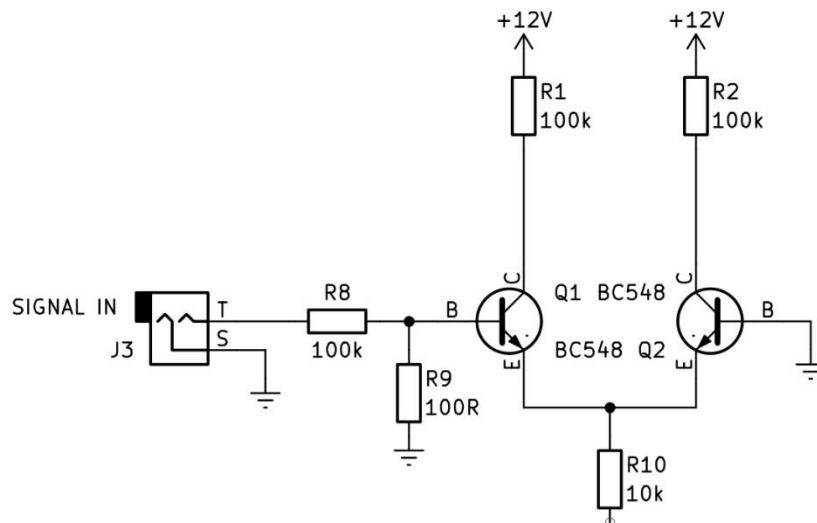
Obr. č. 77 Zpětná vazba dolní propusti napětově řízeného filtru



Obr. č. 80 Zpětná vazba horní propusti napětově řízeného filtru

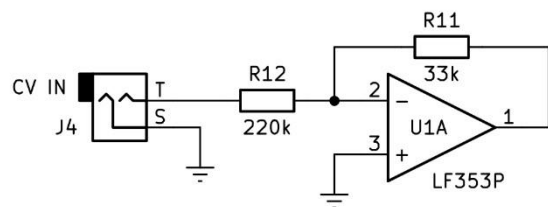
2.1.3 Prototyp napětově řízeného zesilovače

Vstupní obvod řízeného zesilovače je zmenšen děličem napětí R8 a R9. Výstup děliče vstupuje na tranzistorový rozdílový zesilovač. Rozdílový zesilovač je tvořen dvěma identickými tranzistory Q1 a Q2.



Obr. č. 81 Vstup a tranzistorový rozdílový zesilovač napětově řízeného zesilovače

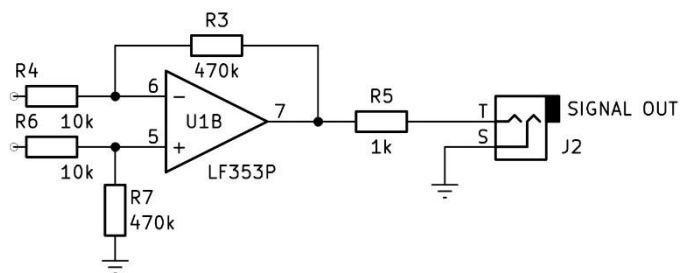
Kolektory obou tranzistorů jsou připojené ke zdroji skrze dvojici rezistorů R1 a R2. Emitory obou tranzistorů jsou k sobě připojené a k nim je připojen rezistor R10, na který je připojen ovládací obvod tvořený invertujícím zesilovačem rezistory R11 a R12.



Báze prvního tranzistoru je připojena k děliči Obr. č. 82 Ovládání napětově řízeného zesilovače vstupu signálu. Báze druhého tranzistoru je

připojena k referenční zemi.

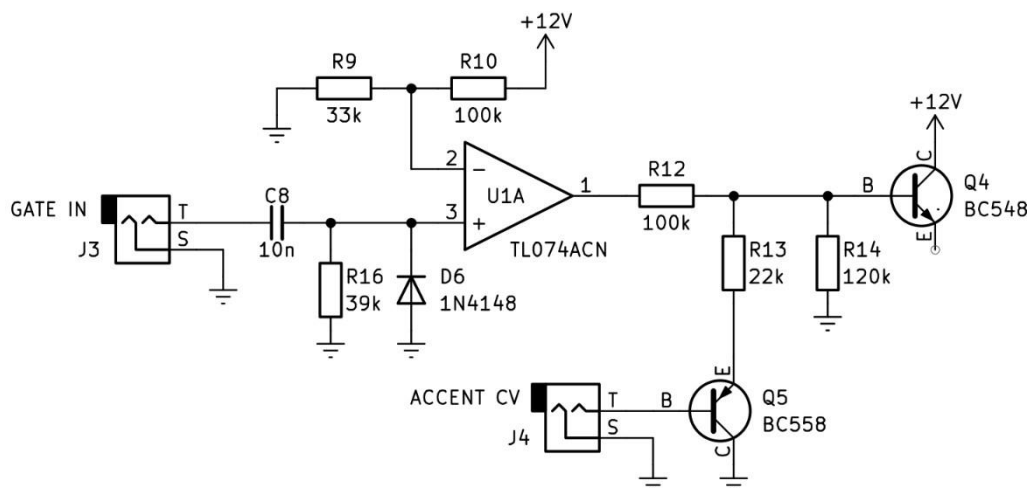
Rozdíl naměřeného napětí z tranzistorového rozdílového zesilovače je snímán dalším rozdílovým zesilovačem tvořeným operačním zesilovačem U1B v rozdílovém režimu. Součástí operačního rozdílového zesilovače jsou rezistory R3, R4, R6 a R7, které stanovují poměr snímaného rozdílu. Výstup prochází limitačním odporem R5.



Obr. č. 83 Operační rozdílový zesilovač a výstup napětově řízeného zesilovače

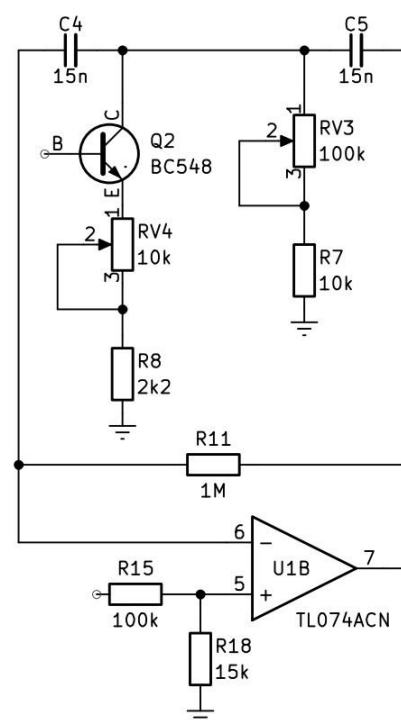
2.1.4 Prototyp analogového kopače

Vstupní signál prochází derivačním RC článkem R16 a C8 ve funkci dirakovy delty, tedy filtru, který mění jakkoliv dlouhý signál na impuls s velmi krátkou dobou trvání. Vstup je chráněn proti záporné části diodou D6 připojené v opačném zapojení. Vstupní impuls dále vstupuje do neinvertujícího zesilovače U1A s rezistory R9 a R10. Výstup zesilovače je rozdělen děličem R12 a R14. Pro libovolné nastavení hladiny napětí impulsu je mezi děličem připojen obvod tvořený rezistorem R13 a tranzistorem Q5. Výstup impulsu prochází emitorovým sledovačem Q4.



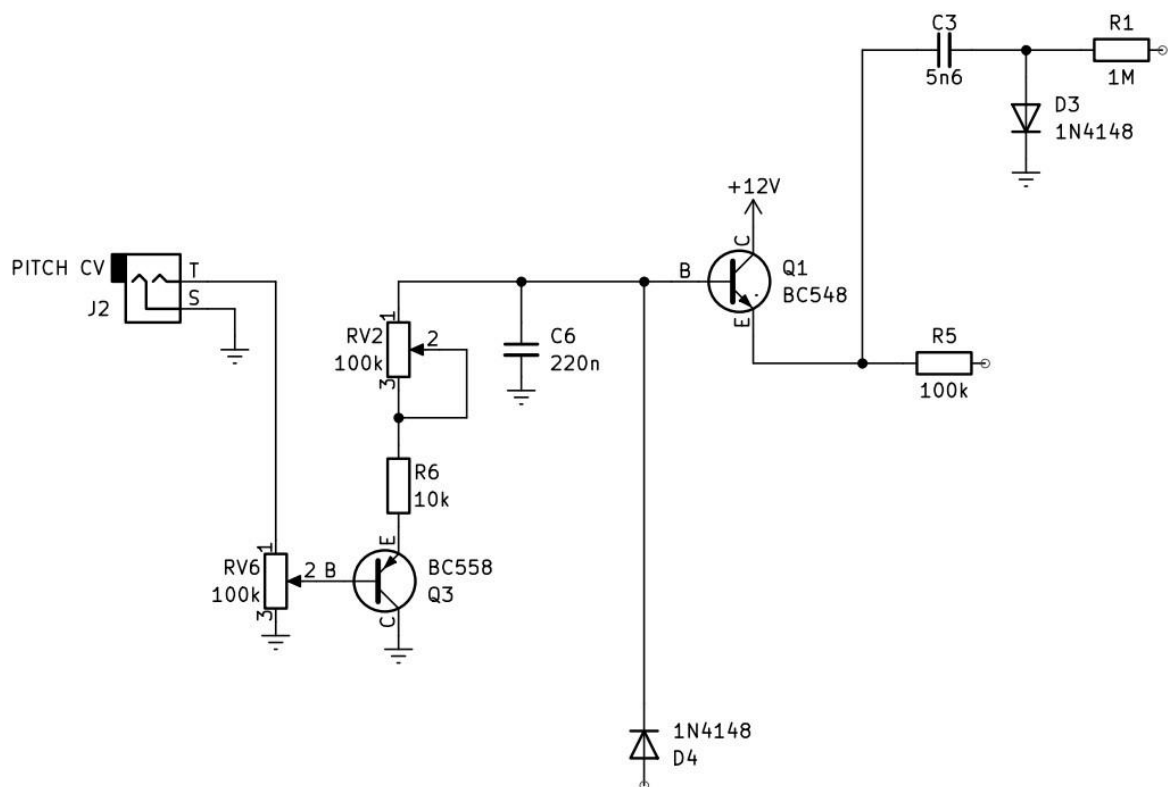
Obr. č. 84 Vstup analogového kopače

Oscilátor tvoří T můstek složený z rezistorů R11 a R7, dále z kondenzátorů C4 a C5. T můstek je připojený ve zpětné vazbě operačního zesilovače U1B. Na neinvertující vstup operačního zesilovače přichází impuls upravený děličem napětí R15 a R18. Frekvenci oscilací nastavujeme odporem RV3. Tranzistor Q2 s potenciometrem RV4 a rezistorem R8 slouží pro ovládání stoupání.



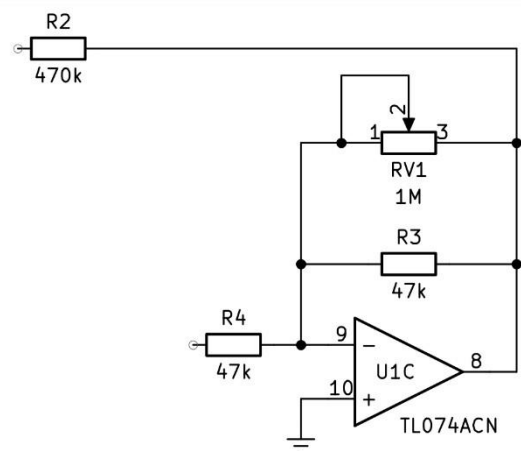
Obr. č. 85 Oscilátor analogového kopače

Obvod stoupání ovládá tranzistor Q2. Vstup ovládání stoupání má nastavitelnou hladinu napětí pomocí potenciometru RV6. Tento vstup poté ovládá tranzistor Q3, který mění rychlost vybíjení kondenzátoru C6. Rychlost vybíjení je dále nastavitelná za pomoci potenciometru RV2 s rezistorem R6. Nabíjecí impuls pro kondenzátor přináší dioda D4, která je připojena ke vstupnímu obvodu. Výstup stoupání vstupuje na emitorový sledovač Q1, který signál přenáší na T můstek skrze rezistor R5. Pro plynulejší pád stoupání je k emitoru tranzistoru Q1 připojen obvod s kondenzátorem C3, diodou D3 a rezistorem R1. Kondenzátor C3 se při impulsu stoupání nabíjí díky diodě D3 na její druhé straně. Při vybíjení kondenzátoru C3 zpět do obvodu je vybíjení zpomalené rezistorem R1, díky kterému je pád stoupání plynulejší.



Obr. č. 86 Stoupání analogového kopače

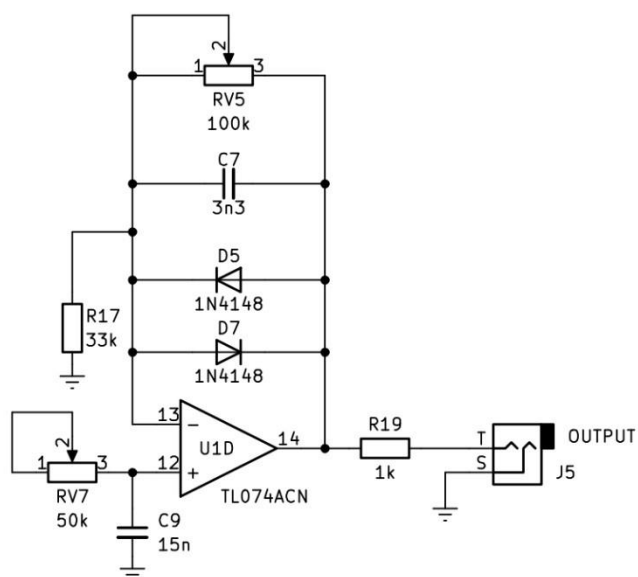
Obvod pro dobu pádu tvoří operační zesilovač U1C připojeny k výstupní části T můstku. Operační zesilovač pracuje v režimu invertujícího zesilovače pomocí rezistorů R3 a R4. Velikost zesílení je do určité části nastavitelná pomocí potenciometru RV1. Výstup zesilovače je připojena zpět do T můstku skrze rezistor R2. Obvod posílá část signálu zpět na oscilátor, díky kterému je doba oscilace delší.



Obr. č. 87 Doba pádu analogového kopače

Výstup T můstkového oscilátoru je snímán operačním zesilovačem U1D v režimu impedančního posilovače.

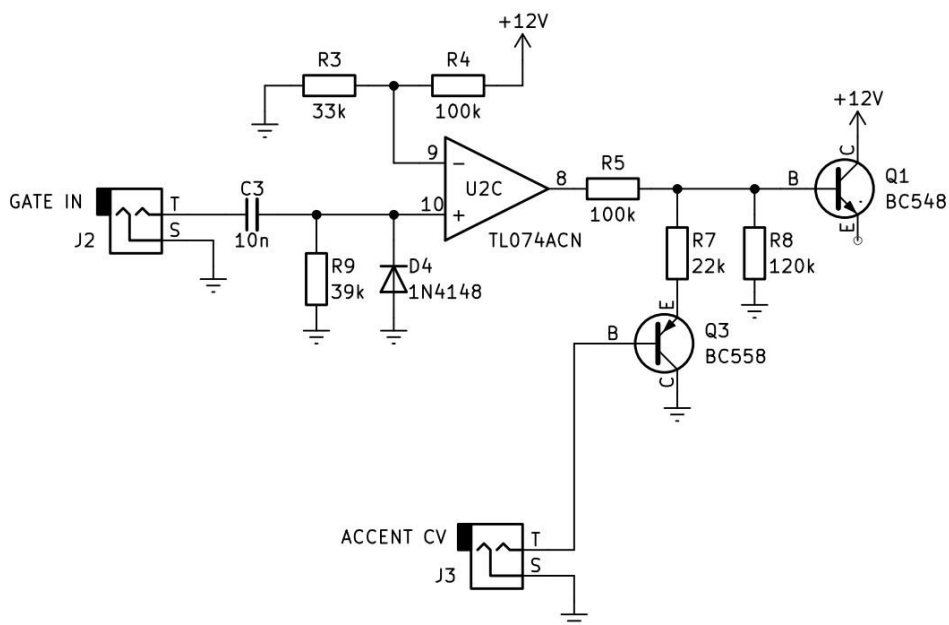
Vstup zesilovače je upraven RC obvodem s nastavitelným odporem RV7 a kondenzátorem C9, který tvoří dolní propustný filtr pro zvýraznění nižších frekvencí. Zpětná vazba je tvořena dvěma diodami D5 a D7 spolu s rezistorem R17, které upravují zkreslení signálu. Velikost zkreslení je možné upravit pomocí potenciometru RV5. Kvůli moc agresivnímu zkreslení je do zpětné vazby vložen kondenzátor C7, který vyhlazuje agresivní zkreslení. Konečný výstup je poté limitován rezistorem R19.



Obr. č. 88 Výstup analogového kopače

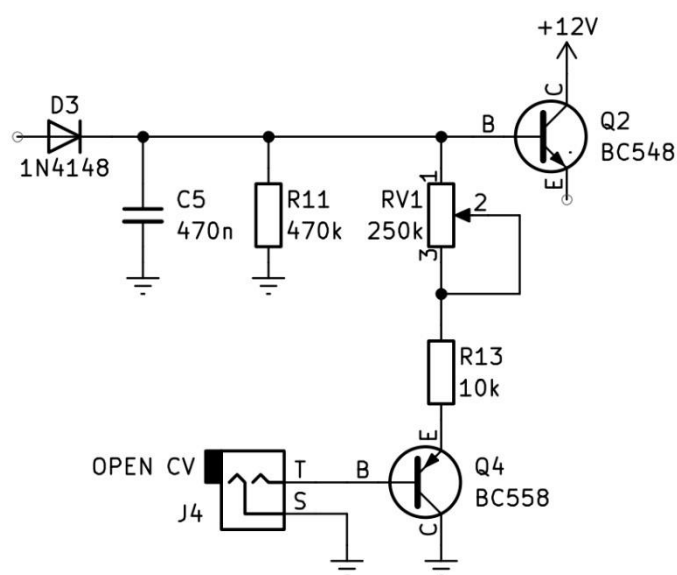
2.1.5 Prototyp hajtek ve stylu TR-606

Vstupní obvod pracuje stejně jako obvod u analogového kopače. Vstupní impuls je převeden na impuls o velmi krátké době trvání. Opět ho tvoří RC obvod R9 a C3. Vstup je chráněn proti zápornému signálu diodou D4. Poté prochází neinvertujícím zesilovačem U2C s rezistory R3 a R4. Výstupní impuls prochází děličem napětí R5 a R8 s přidanou větví R7 a Q3, která upravuje velikost úrovně impulsu. Signál je poté impedančně upraven emitorovým sledovačem Q1.



Obr. č. 89 Vstup hajtek ve stylu TR-606

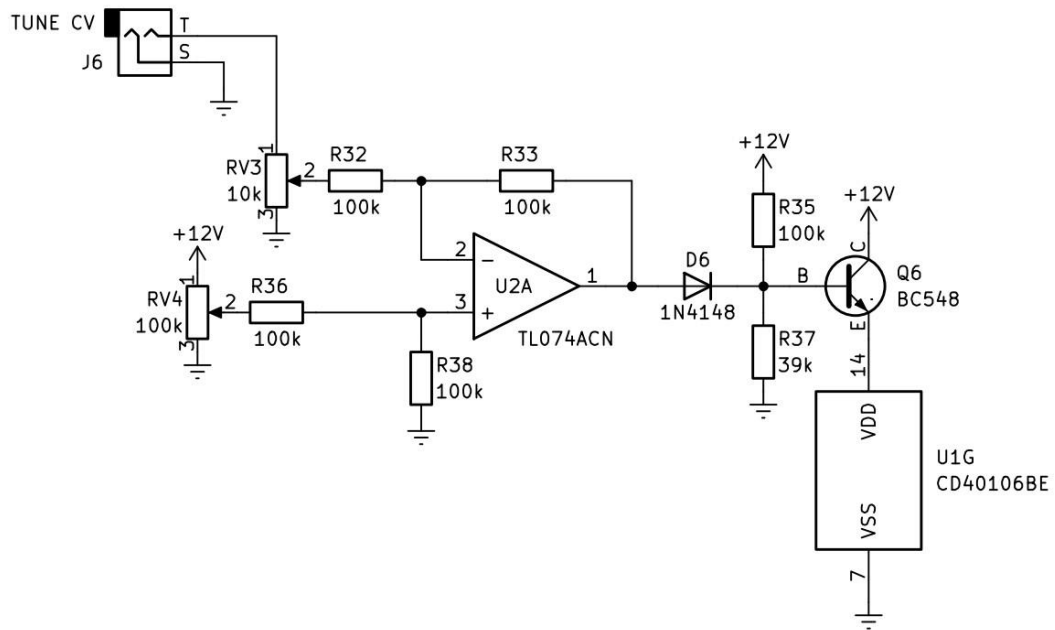
Impuls prochází diodou D3 a nabíjí kondenzátor C5. Tento kondenzátor je postupně vybíjen rezistorem R11. Zrychlené vybíjení je uskutečněno větví RV1, R13 a Q4, která dovoluje měnit dobu pádu pomocí ovládacího napětí. Výstupní doba pádu impulsu impedančně posílena emitorovým sledovačem Q2.



Obr. č. 90 Doba pádu hajtek ve stylu TR-606

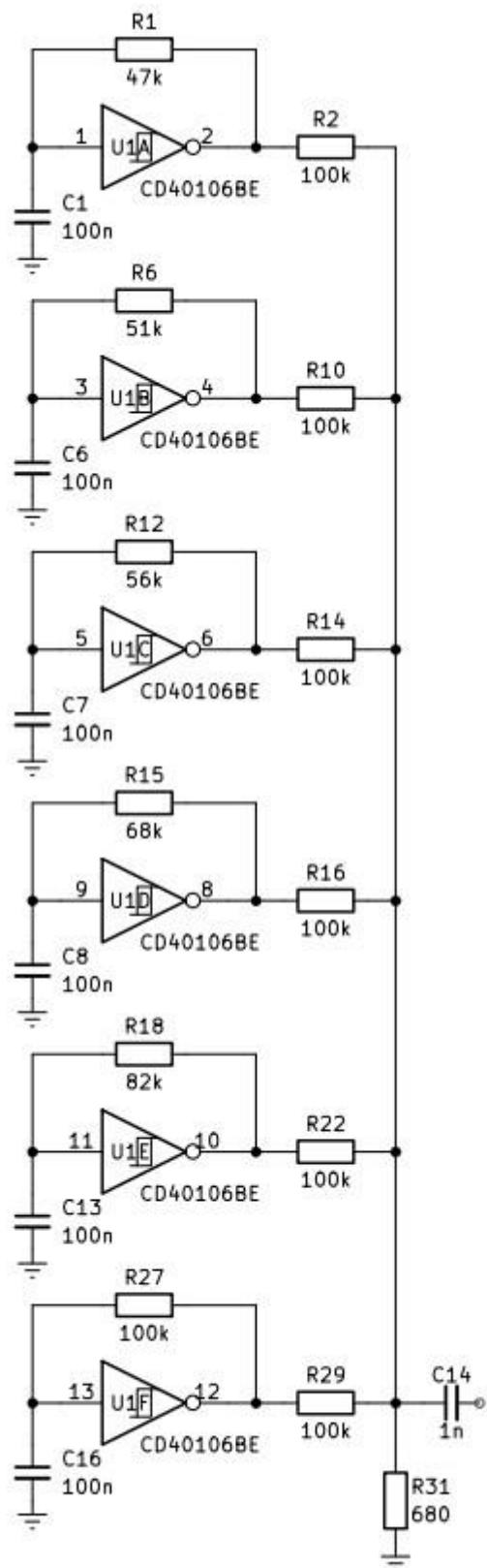
Frekvence oscilačního obvodu je ovládána zvláštním způsobem. Oscilátor tvoří šestice Schmittových klopných obvodů, které je potřeba ovládat stejnou ovládací složkou. Nabízí se možnost upravovat frekvenci změnou RC obvodů každého oscilátoru. Mnohem jednodušší metodou je ale ovládat samotné napětí, které je Schmittovým klopným obvodům dodáváno.

Obvod, který mění frekvenci je tedy sestaven následovně. Vstup ovládání změny frekvence prochází skrze potenciometr RV3 a rezistor R32 a je připojen k operačnímu zesilovači U2A. k též zesilovači je připojena i druhá větev s potenciometrem RV4 a děličem napětí R36 a R38. Operační zesilovač U2A operuje ve funkci rozdílového zesilovače. Výstup zesilovače prochází diodou D6, která brání možnému zápornému napětí a je upraven děličem napětí R35 a R37. Konečný ovládací signál mění napětí báze tranzistoru Q6, který mění napájecí napětí pro Schmittův klopný obvod U1.

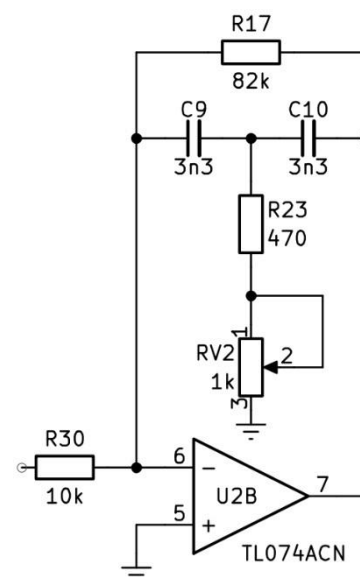


Obr. č. 91 Nastavení frekvence hřtek ve stylu TR-606

Oscilátor hajtek je tvořen šesti Schmittových klopných obvodů U1A až U1F. Každý individuální oscilátor tvoří jeden RC obvod, jeden Schmittův klopný obvod a jeden výstupní rezistor. Výstupní rezistory vyvažují úroveň napětí mezi sebou, aby se jeden oscilátor nepřekřikoval přes druhý. Výstupu oscilátoru je upraveno napětí, kde výstupní rezistory oscilátoru pracují s rezistorem R31 jako dělič napětí. Signál poté prochází kondenzátorem C14, který je součástí pásmové filtrace v dalším odstavci.



Obr. č. 92 Oscilátor hajtek ve stylu TR-606



Pásmová propust je tvořen operačním zesilovačem U2B a dvojicí RC obvodů, které fungují jako horní a dolní pásmová propust. Dohromady tedy tvoří oboustrannou pásmovou propust. Jelikož se jedná o rezonanční pásmovou propust, je do zpětné vazby operačního obvodu vložen Tmůstek, který se chová jako rezonátor. Jeden RC obvod tvoří rezistor R30 a kondenzátor C14 viditelný v předchozím obrázku. Druhý RC obvod tvoří dva rezistory R17 a R23, dále dva kondenzátory C9 a C10. Tón pásmové propusti lze

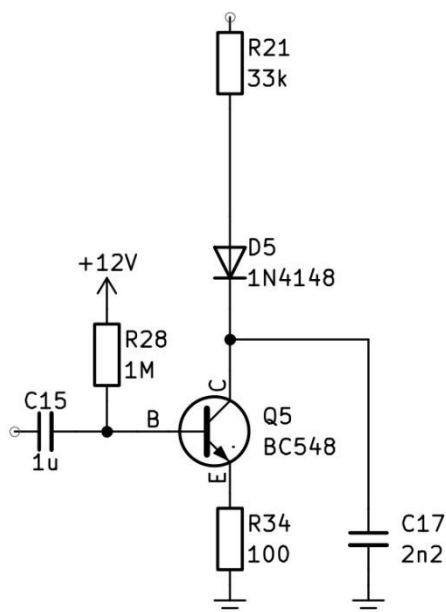
nastavit pomocí potenciometru RV2.

Jelikož je výstup oscilátoru neustále otevřený a aktivně generuje výstupní signál, modulátor hlasitosti tento signál propouští pouze při vstupním impulsu. Modulátor hlasitosti je sestaven jako zjednodušený napěťově řízený zesilovač tvořený tranzistorem Q5 v kombinaci s rezistory R21 a R34. Signál propouští pouze tehdy, pokud je napětí na vstupu rezistoru R21 vyšší jak 0 V. Vstup tranzistoru Q5 je srovnán na nulu kondenzátorem C15 a pro zajištění otevřeného stavu

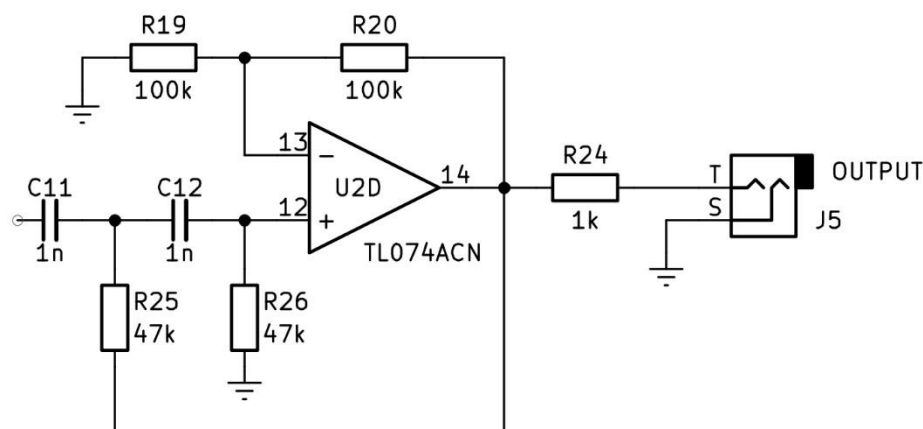
tranzistoru Q5 je báze přitažena ke kladnému napětí skrze rezistor R28. Jelikož by v případě, že se bázové napětí rovná nule, začal procházet proud kolektorem a směrem nahoru k rezistoru R21, vytvářel by nechtěný signál, který by byl zaznamatelný na výstupu modulu. Proti tomuto chování přikládáme mezi rezistor R21 a kolektor tranzistoru Q5 diodu D5, která tomuto průchodu brání. Nakonec je na kolektor přidán kondenzátor C17, který vyhlazuje velmi syčivý zvuk vydávaný modulátorem hlasitosti.

Obr. č. 93 Pásmová propust hajtek ve stylu TR-606

Obr. č. 94 Modulátor hlasitosti hajtek ve stylu TR606



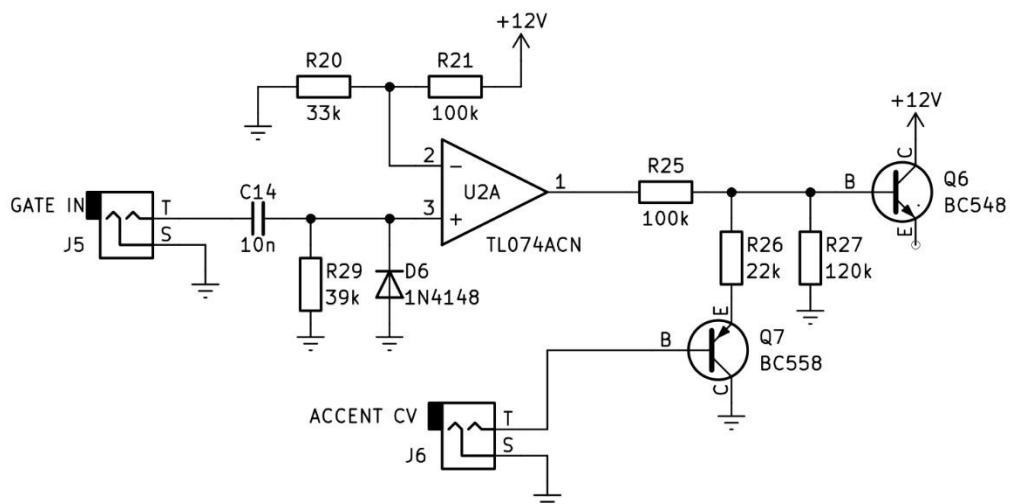
Konečnou částí modulu hajtek je rezonující aktivní horní propust druhého řádu. Je tvořena dvojicí RC obvodů R25 a C11, dále R26 a C12, které se připojují na neinvertující vstup operačního zesilovače U2D. Jelikož má obvod rezonovat, je výstup operačního zesilovače vytažen na rezistor R25, takže posílá část signálu zpět na vstup. Tato rezonance je ale slabá, a proto je potřeba zesilovači zvýšit jeho zisk. Zisk zesilovače je proto navýšen pomocí napěťového děliče R19 a R20. Výstupní signál prochází limitačním odporem R24.



Obr. č. 95 Aktivní rezonující horní propust druhého řádu hajtek ve stylu TR-606

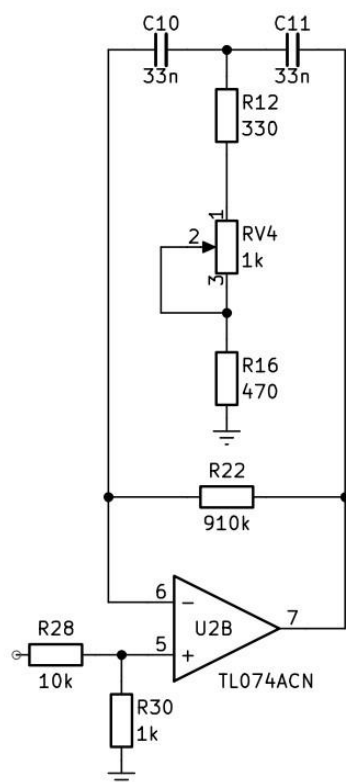
2.1.6 Prototyp virblu ve stylu TR-808

Vstup modulu virblu je stejný jako u analogového kopače a u hajtek ve stylu TR-606. Opět je impulsní signál převeden na dirakotův skrze RC obvod R29 a C14. Vstup je chráněný proti zápornému napětí diodou D6 a signál poté vstupuje do operačního zesilovače U2A pracující ve funkci neinvertujícího zesilovače s rezistory R20 a R21. Výstup zesilovače je upraven děličem R25 a R27 s přidanou větví R26 a Q7, která dovoluje nastavovat hladinu úrovně napětí. Impuls je poté impedančně posílen tranzistorem Q6 ve funkci emitorového sledovače.



Obr. č. 96 Vstup virblu ve stylu TR-808

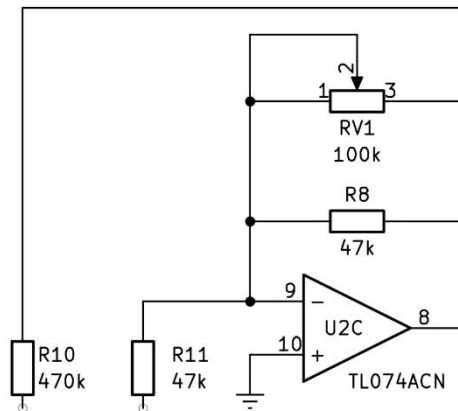
Impulsní signál se poté dělí na dvě samostatné větve. První větev vytváří hloubky virblu. Signál tedy prochází děličem napětí R28 a R30 a vstupuje do tlumeného oscilátoru tvořeného operačním zesilovačem U2B a T-můstkem R12 a R22, C10 a C11. Oscilátoru lze upravovat jeho tón pomocí potenciometru RV4 s rezistorem R16 zapojeného do série s rezistorem R12.



stylu TR-808

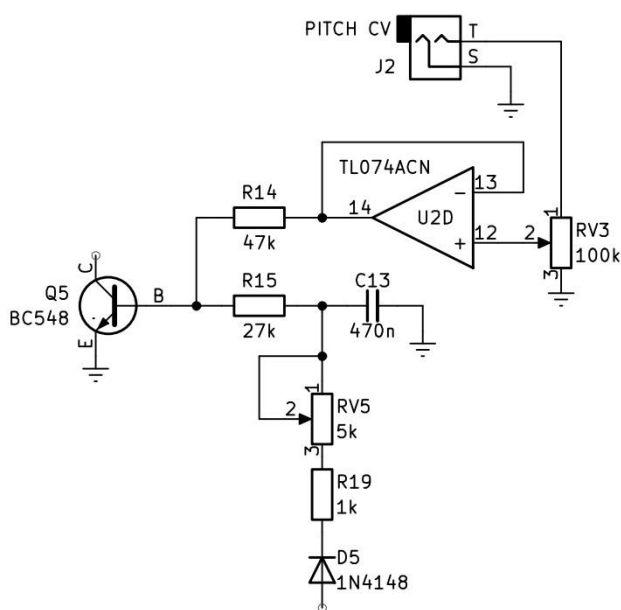
Obr. č. 98 Doba pádu virblu ve

Obr. č. 97 Oscilátor virblu ve stylu TR-808



Na oscilátor je připojen obvod pro úpravu doby pádu signálu (viz. obr. č. 98). Je tvořený operačním zesilovačem v režimu invertujícího zesilovače s rezistory R11 a R8. Dělič napětí zpětné vazby je nastavitelný pomocí potenciometru RV1. Výstup směřuje zpět do T-můstku oscilátoru skrze rezistor R10.

K též oscilátoru je také připojen obvod pro počáteční stoupání frekvence. Obvod reaguje na impulsy přes rezistor R19 a diodu D5 připojenou k výstupu vstupního obvodu a jeho síla je ovladatelná pomocí potenciometru RV5. Impuls se poté uloží do kondenzátoru C13 a skrze rezistor R15 se jeho proud projevuje na tranzistoru Q5, čím dojde k rychlejší počáteční oscilaci. Rychlost vybíjení lze ovládat pomocí operačního zesilovače U2D ve funkci sledovače napětí. Vstupnímu ovládacímu signálu je nastavován poměr účinku skrze potenciometr RV3 a jeho výstup poté mění dobu vybití kondenzátoru skrze

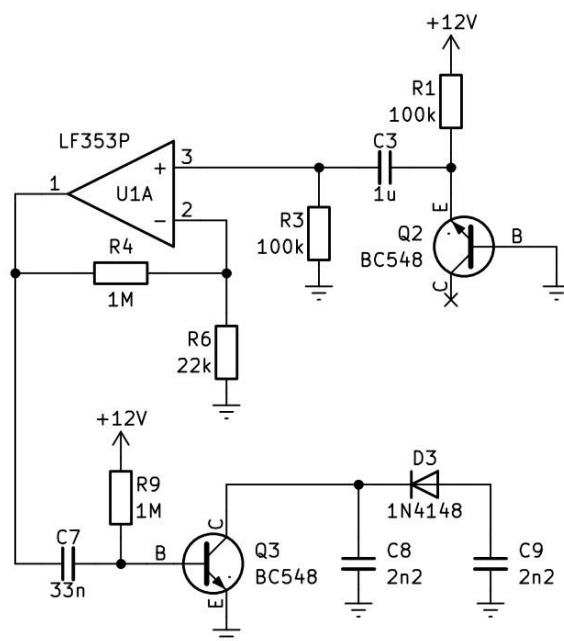


Obr. č. 99 Stoupání virblu ve stylu TR-808

rezistor R14.

Druhá větev virblu vytváří bílý šum podobající se třesu prášku. Využívá k tomu generátoru bílého šumu, který využívá neobvyklé chování se tranzistoru. Obvod začíná u tranzistoru Q2 zapojený tak, že je báze připojena k referenční nule, kolektor je volně ponechaný a nepřipojený. Emitor poté slouží jako výstup šumu. Šum je vytvářen tak, že je přechod báze emitor proražen napětím dodávaným rezistorem R1. Náhodné odchylky procházejícího proudu, které vznikají díky

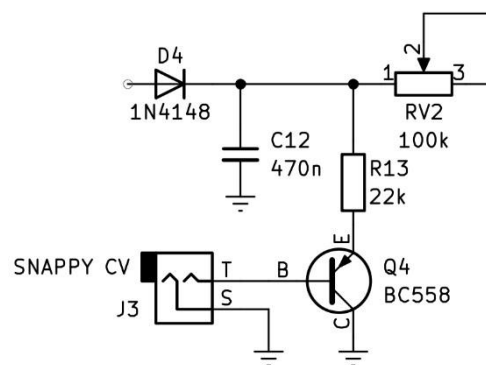
nepřipojenému kolektoru poté zachycuje operační zesilovač U1A. Náhodný signál je přitom vyrovnán na nulu RC derivačním obvodem R3 a C3. Zesilovač tento signál zesílí o velmi vysoký násobek zisku s pomocí rezistorů R4 a R6. Výstupní bílý šum vstupuje do modulátoru hlasitosti pracujícím na stejném



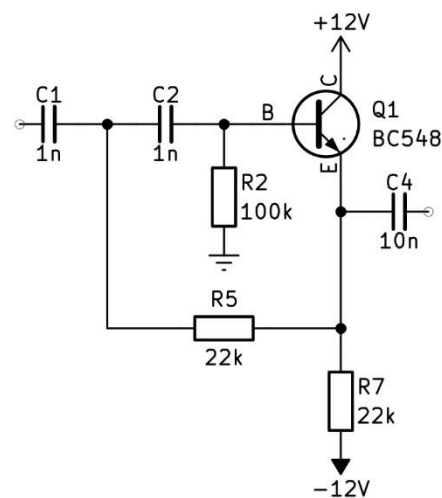
Obr. č. 100 Generátor bílého šumu virblu ve stylu TR-808

principu, jako to bylo u modulu hajtek ve stylu TR-606. Signál je vyrovnán na nulu kondenzátorem C7 a tranzistoru Q3 je přitažena báze ke kladnému napětí skrze rezistor R9. Dioda D3 brání průchodu proudu v opačném směru, aby nedocházelo k nechtěným signálům v případě, že je signál vstupního impulsu nulový. Kondenzátory C8 a C9 poté slouží jako vyhlazovací kondenzátory pro velmi silný syčivý zvuk signálu.

Pro ovládání modulátoru hlasitosti je z impulsního signálu vyvedena větev, která prostupuje diodou D4 a nabíjí kondenzátor C12. Kondenzátor se poté vybíjí skrze potenciometr RV2. Rychlost vybíjení lze ovládat i napětím pomocí přidané větve R13 a Q4. Výsledný impuls se poté vybíjí na modulátoru hlasitosti a zároveň tím dovoluje modulátoru hlasitosti nechat projít signál bílého šumu na výstup.



Obr. č. 101 Modulátor hlasitosti virblu ve stylu TR-



808

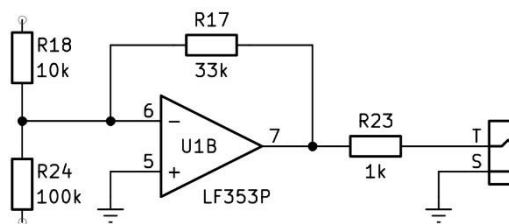
Výstupní bílý šum je poté upraven aktivní rezonanční horní propustí druhého řádu podobného tomu z hajtek ve stylu TR-606. Na vstupu jsou připojeny dva RC obvody R5 a C1, dále R2 a C2. Jako aktivní prvek je zde použit tranzistor Q1 a pro uskutečnění rezonance je rezistor R5 připojen mezi výstup tranzistoru a první RC obvod. Aby tranzistor dokázal operovat v plném rozsahu, je potřeba připojit emitor k (-12) V. Mezi emitor a (-12) V napájení je přiložen rezistor R7, který upravuje stejnosměrnou složku tranzistoru. Výstup je poté vyrovnán na nulovou pozici kondenzátorem C4.

s rezistory R18, R24 a R17. Výstup je opatřen limitačním odporem R23.

Výstupy obou větví se poté spojují do jedné v poměru určeném rezistory R18 a R24. Výstup je zesílen operačním zesilovačem U1B pracujícím v režimu invertujícího zesilovače

Obr. č. 102 Aktivní rezonanční horní propust druhého řádu virblu ve stylu TR-808

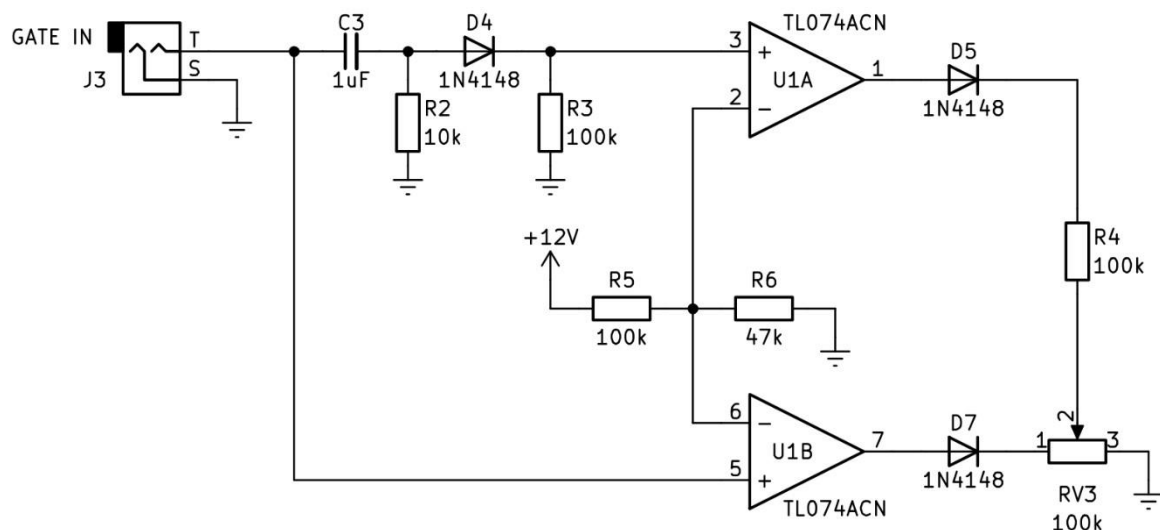
Obr. č. 103 Výstup virblu ve stylu TR-808



2.1.7 Prototyp ADSR modulu

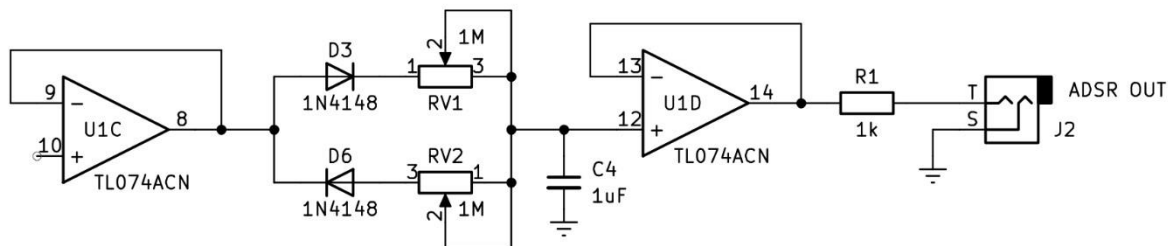
Vstup ADSR modulu je rozdělen do dvou částí. První část mění jakkoliv dlouhý vstupní impuls na dirakovu deltu, tedy signál velmi krátké doby trvání pomocí RC obvodu R2 a C3.

Dioda D4 poté chrání obvod před záporným napětím. Pro zajištění nulového napětí v případě, že není na vstupu žádný signál je mezi výstup diody D4 a vstup operačního zesilovače U1A přiložen rezistor R3 připojený k referenční nule. Výstup operačního zesilovače opět prochází diodou D5. Druhá větev neupravuje vstupní signál, pouze ho zesiluje operačním zesilovačem U1B. výstup zesilovače prochází diodou D7 a jeho poměr k první části je upravován potenciometrem RV3 a rezistorem R4. Oba operační zesilovače U1A i U1B jsou zapojeny jako neinvertující zesilovače se shodnými rezistory R5 a R6. Druhá větev slouží jako funkce S v ADSR modulu. Drží tedy napětí do doby, dokud je přítomen signál na vstupu ADSR.



Obr. č. 104 Vstup a S funkce modulu ADSR

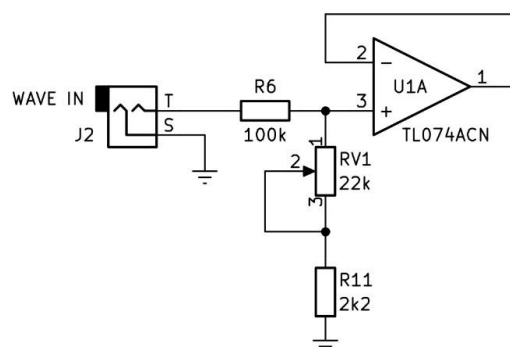
Výstup z diody D5 smíchaný s poměrem signálu z rezistoru R4 přichází na vstup operačního zesilovače U1C, který impedančně posiluje příchozí vstupní signál. Výstup sledovače napětí nabíjí kondenzátor C4 skrze diodu D3 a potenciometr RV1 ve funkci A. Jeho vybíjení poté nastává skrze diodu D6 a potenciometr RV2 ve funkci D a R. Napětí na kondenzátoru sleduje operační zesilovač U1D, který ho impedančně posiluje. Výstup je limitován odporem R1.



Obr. č. 105 A a R(D) funkce, dále výstup modulu ADSR

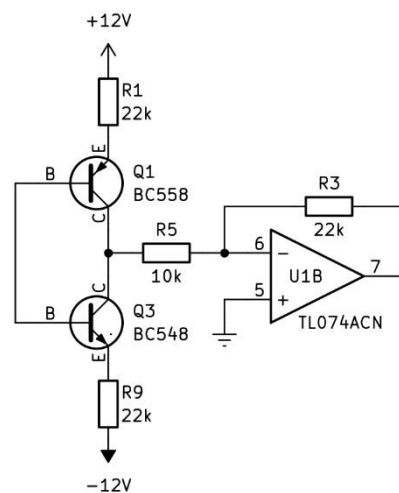
2.1.8 Prototyp dvojitého sklápěče signálu

Vstup modulu tvoří dělič napětí R6 a R11 s nastavitelným poměrem pomocí potenciometru RV1. Výstup děliče je poté sledován operačním zesilovačem U1A



Obr. č. 106 Vstup dvojitého sklápěče signálu

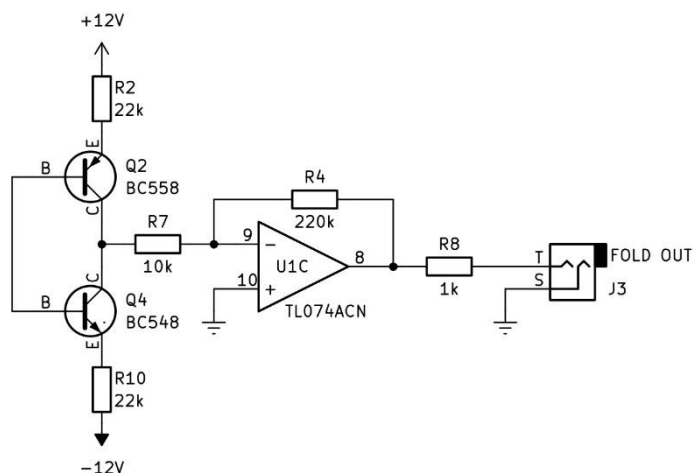
Modul se dělí na dva stupně. Oba stupně jsou principiálně totožné, liší se však v hodnotách součástek. Výstup sledovače napětí U1A vstupuje na báze tranzistorů Q1 a Q3 pracujících v saturačním režimu. Tranzistory pokrývají rozsah od 12 V do (-12) V s rezistory R1 a R9. Kolektory obou tranzistorů jsou propojené mezi sebou a jejich výstup prochází operačním zesilovačem U1B ve funkci invertujícího zesilovače s rezistory R5 a R3.



Obr. č. 107 První stupeň dvojitého sklápěče signálu

Výstup druhého stupně přichází na operační zesilovač U1C zapojený ve funkci invertujícího zesilovače s rezistory R4 a R7.

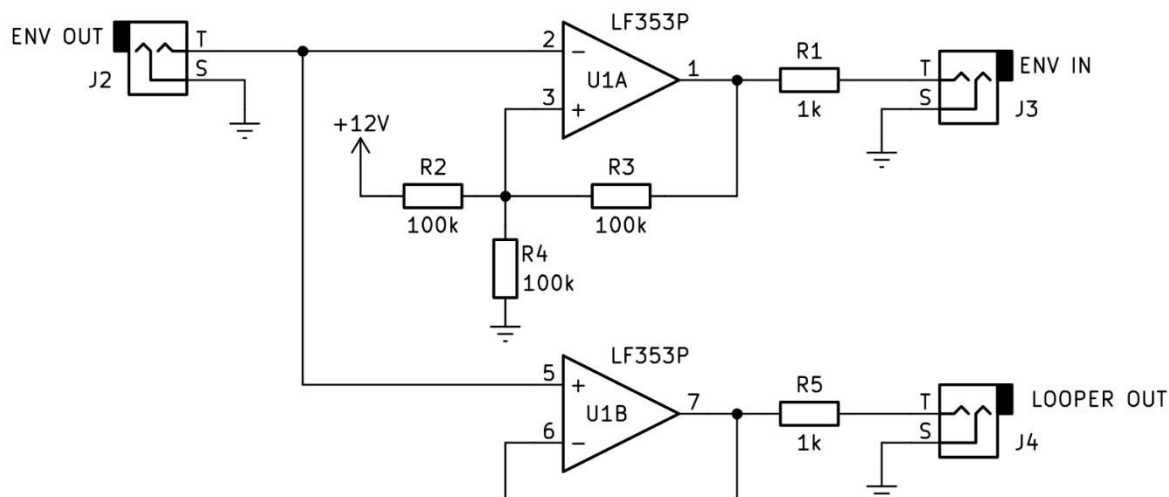
Výstup je limitován rezistorem R8.



Obr. č. 108 Druhý stupeň a výstup dvojitého sklápěče signálu

2.1.9 Prototyp opakovače signálu

Vstupní signál se dělí do dvou individuálních větví. První větev je připojena k operačnímu zesilovači pracující v režimu invertujícího Schmittova klopného obvodu spolu s rezistory R2, R3 a R4.

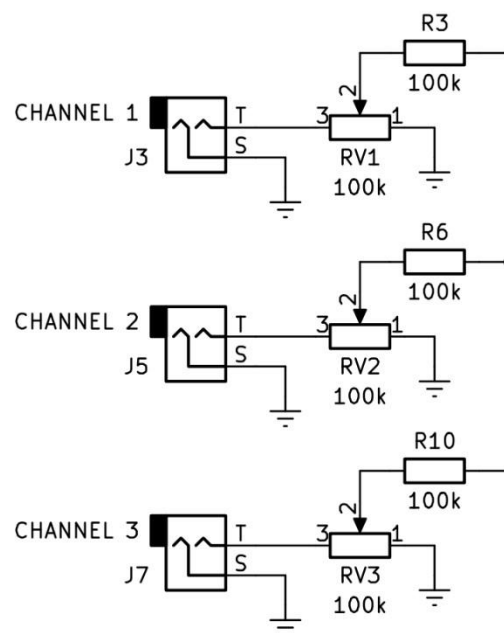


Obr. č. 109 Obvod opakovače signálu

Druhá větev kopíruje signál přicházející na vstup modulu opakovače a vysílá ho na výstup. Oba výstupy jsou limitovány odpory R1 a R5 proti přetížení

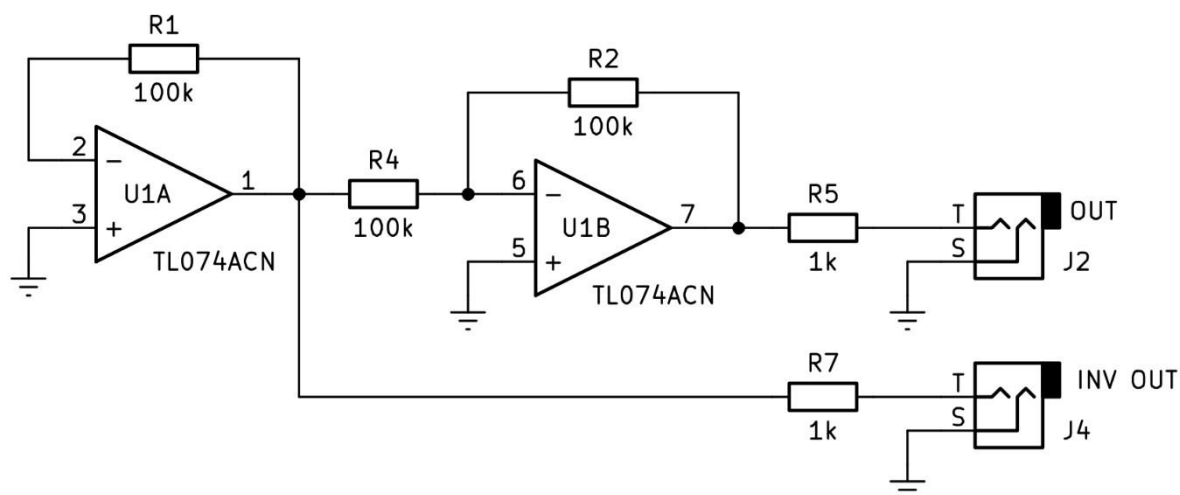
2.1.10 Prototyp tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním

Vstupy mixeru jsou rozděleny do tří kanálů. Každý kanál obsahuje jeden potenciometr a jeden rezistor pro ovládání poměru vstupu vzhledem k ostatním vstupním kanálům. Výsledný poměr je součtem všech tří kanálů.



Obr. č. 110 Vstupy tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním

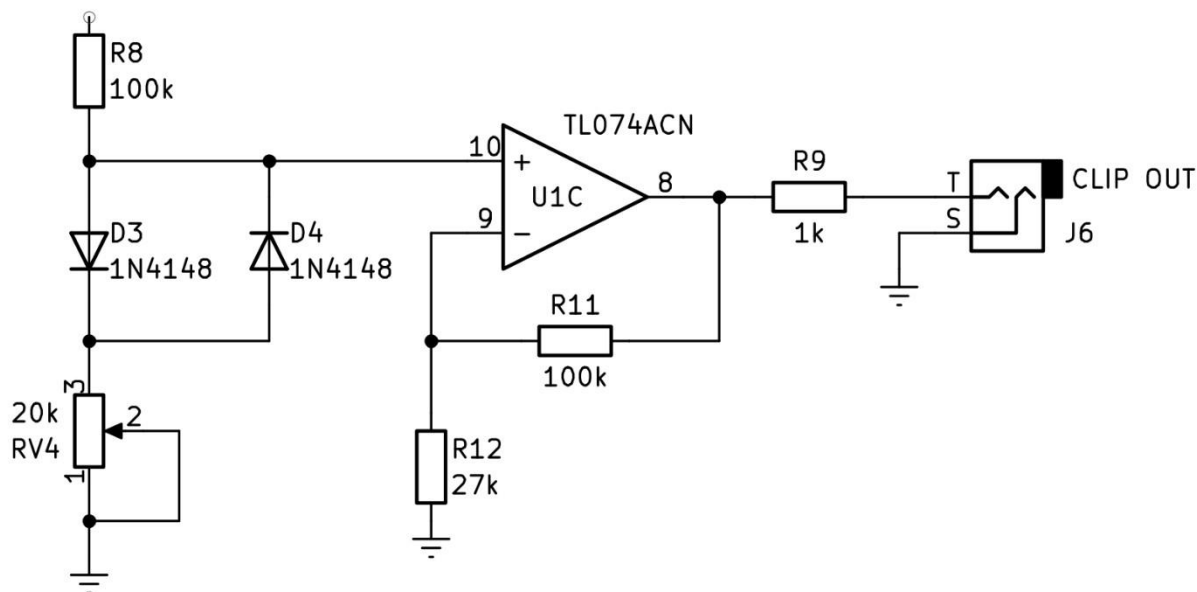
Výstupy mixeru jsou tři. První dva jsou invertovaný a normální výstup. Výstupní signál mixeru vstupuje na operační zesilovač U1A pracující jako invertující zesilovač s rezistory R3, R6, R10 a R1. Výstup zesilovače vstupuje do dalšího invertujícího zesilovače U1B s rezistory R2 a R4. Výstup prvního zesilovače vytváří invertující výstup signálu. Výstup druhého zesilovače tvoří normální výstup. Oba výstupy jsou limitovány odpory R5 a R7.



Obr. č. 112 Normální a invertovaný výstup tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním

Třetí výstup je výstup upravený diodovým zkreslováním. Neinvertovaný výstup vstupuje do rezistoru R8. Z rezistoru je signál upraven diodovým zkreslováním pomocí diod D3 a D4. Zkreslení lze měnit potenciometrem RV4. Zkreslený signál vstupuje na operační

zesilovač U1C pracující v režimu neinvertujícího zesilovače s rezistory R11 a R12. Výstup je limitován odporem R9.



Obr. č. 111 Zkreslený výstup tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním

2.2 Finální úpravy

Před samotnou realizací modulárních syntetizátorů muselo být vyměněno několik elektronických součástek, které nevyhovovaly plánované konstrukci. Jedná se o součástky se špatnou velikostí nebo špatným usazováním.

Potenciometry v prototypové byly navrženy tak, že jejich ovládání je ze strany konektorů. Problémem je, že deska musí být natočená čelem nahoru, a tedy i konektory součástek. Proto musely být klasické potenciometry nahrazeny potenciometry RK097.



Obr. č. 113 Potenciometr RK097

Další změna proběhla u vstupních a výstupních konektorů. Konektory původně byly konektory navrženy pro velikost 6,3 mm. Později musely být tyto konektory vyměněny za konektory 3,5 mm, protože eurorack pracuje s konektory 3,5 mm.



Obr. č. 114 Audio konektory, nalevo 6,3 mm, napravo 3,5 mm

Knoflíky, které se nasazují na potenciometry, měly původně být více úzké. Při realizaci však došlo k problému se skladovou zásobou prodejce, u které byly tyto knoflíky pořízeny. Je tedy možné vidět tyto knoflíky pouze u modulu napěťově řízeného filtru. U ostatních byly pořízeny větší knoflíky.



Obr. č. 115 Knoflíky potenciometrů, nalevo užší, napravo širší

2.3 Návrh tištěných spojů

Deska tištěných spojů, zkráceně DPS (anglicky Printed Circuit Board neboli PCB) je deska s elektricky vodivými cestami. Je osazována elektrickými součástkami, které jsou na desku upevňovány metodou pájení. Tím je u součástek zaručena jejich nehybnost a správná funkce.

Návrhy desek tištěných spojů se dříve prováděly manuálně. V moderní době se ale provádí skrze různé aplikace vyvinuté pro návrh tištěných spojů. V této práci je k návrhu tištěných spojů využívána aplikace KiCAD. Jedná se o veřejně



dostupný software, který byl vytvořen komunitou *Obr. č. 116 Logo KiCAD k* bezplatnému užívání. Dovoluje vytvářet schémata,

které se poté převádí na otisky součástek. Ty se v návrhu DPS usazují tak, aby byla zajištěn pořádek při navrhování. Po usazení součástek v návrhu se řeší jejich propojení mezi nimi. Je kritické, aby bylo propojení dostatečné pro proudy a napětí, které budou mezi součástkami procházet. Je taky důležité dodržovat pořádek při propojování jednotlivých cest, které zamezí případnému vzniku chyb.

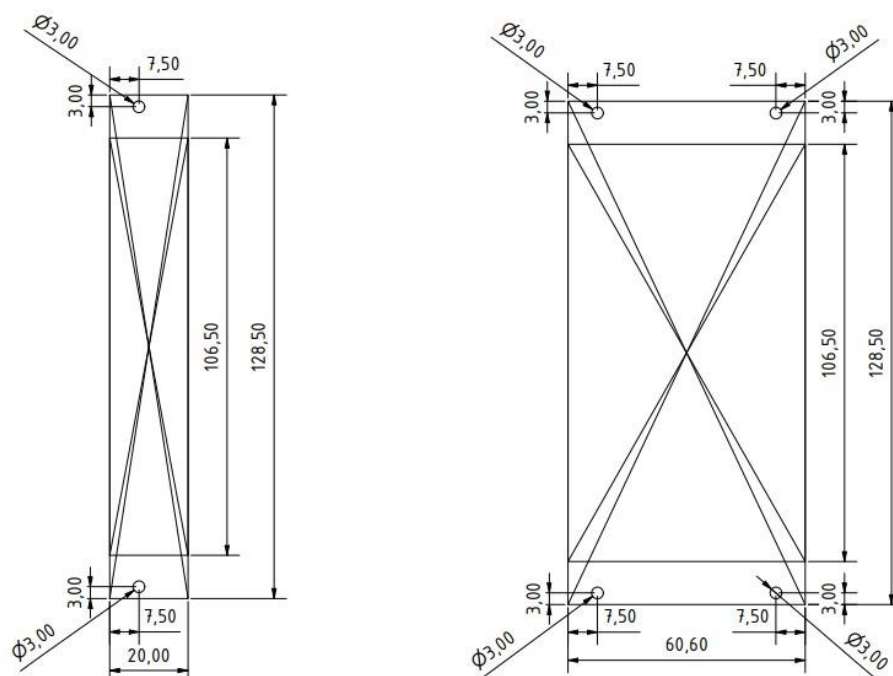
KiCAD jakožto volně dostupná aplikace podporuje tzv. pluginy. Ty rozšiřují základní funkce KiCADu. Při propojování desek byl v práci využit plugin freerouting. Freerouting je pokročilý algoritmus, který samostatně propojí všechny cesty mezi součástkami. Je možné v něm nastavit i limity, které je potřeba, aby cesty dodržovaly pro zajištění



Obr. č. 117 Logo Freerouting efektivity. Nevýhodou pluginu je ale nepořádek, který

při navrhování vznikne, jelikož jakožto algoritmus nedokáže plugin rozeznat pořádek, který by měl při automatickému propojování dodržovat. Řídí se totiž pouze pravidly, která jsme mu jakožto uživatelé poskytli. V složitějších zapojeních se proto stále využívá manuálního propojování, které je mnohokrát překontrolováno a přepočítáváno.

Všechny moduly využívají jeden systém navrhování. Dvouvrstvé DPS vyrobené z materiálu FR4. Materiál FR4 je tvrzená sklo-laminátová deska, která je z obou stran potištěná měděnou vrstvou. Tloušťka všech desek modulů je 1,6 mm a šířka všech spojů je 0,25 mm. Dimenzování DPS modulů Eurorack je na výšku maximálně 106,5 mm. Délka desek je určena jednotkami HP, kde každá jednotka HP představuje 5,08 mm, v praxi se ale vždy tyto hodnoty upravují a tedy 1 HP představuje 5 mm. Přední panel modulu má výšku 128,5 mm. Délka předního panelu je stejná jako délka DPS. Uchycení modulu je vždy 3 mm od horního a spodního okraje předního panelu a 7,5 mm od levého a pravého okraje předního panelu. Počet děr je většinou sudý a rozhoduje se na základě hmotnosti a velikosti modulu.



Obr. č. 118 Obrázek dimenzování modulu

Velikost modulu [HP]	Vypočítaná velikost modulu [mm]	Velikost modulu v praxi
----------------------	---------------------------------	-------------------------

1,0	5,08	5,00
1,5	7,62	7,50
2,0	10,16	9,80
4,0	20,32	20,00
6,0	30,48	30,00
8,0	40,64	40,30
10,0	50,80	50,50
12,0	60,96	60,60
14,0	71,12	70,80
16,0	81,28	80,90
18,0	91,44	91,30
20,0	101,60	101,30

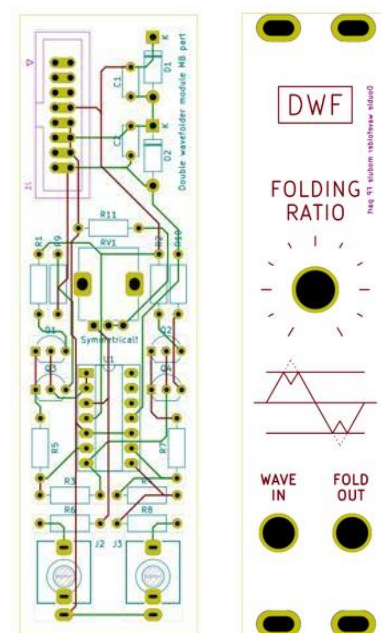
Tab. č. 1 Tabulka velikostí modulu v jednotkách HP

Při navrhování bylo potřeba také dodržet rozmezí mezi součástkami. Malá mezera mezi součástkami by totiž způsobila, že by se součástky vedle sebe nedaly umístit. O potřebné místo pro uložení součástky se stará KiCAD, který vyhodí výjimku pokaždé, když nějaká součástka překrývala s jinou. Stopy všech součástek byly vytvořeny podle velikostí každé součástky a následovně přiřazeny schématickým značkám každé součástky.

Přední panely každého modulu jsou taktéž vytvořeny z materiálu FR4. Je to využívaná metoda při vytváření prvních prototypů jakýchkoliv obvodů, které vyžadují přední panel. Na praktické využití se ale tato metoda nedoporučuje, protože se rychle opotřebuje a je poměrně křehká.

Navržené DPS lze v KiCADu taktéž zobrazit ve 3D. Díky tomu je možné si při návrhu zobrazit dimenzování součástek, díky kterému je možné hlídat si velikosti součástek. Je ale vyžadováno, aby byly všechny 3D modely součástek k dispozici, jinak bude místo nich umístěna pouze stopa.

2.4 Realizace modulů



Obr. č. 119 Ukázka DPS vytvořeného v KiCAD

Desky, které byly navrženy v KiCADu, je nutné pro realizaci vyrobit. Pro takovéto účely jsou zde výrobní společnosti, které se zabývají zakázkovou výrobou desek tištěných spojů.



Nejznámějším výrobcem pro výrobu DPS je Obr. č. 120 Logo JLCPCB

JLCPCB a PCBWay. Pro výrobu desek k realizaci

modulů bylo v této práci využito služeb společnosti JLCPCB, která měla pro tuto výrobu výhodnější služby a výbornou zákaznickou podporu.

Vyrobené desky osazujeme elektronickými součástkami. Součástky se na desce osazují od těch nejmenších až po ty největší velikosti. Každá součástka je při osazení na desce ihned připájena, aby při manipulaci nedošlo k vypadávání součástek. Otištěná deska je poté očištěna od nečistot při pájení, tj. od kalafuny a cínových třísek. Velké součástky připájené na DPS jsou zkoušeny proti odchlípení pomocí jemného zahýbání s každou součástkou. Je nutné podotknout, aby byly napájecí konektory všech modulů orientovány z druhé strany desky. Později by totiž nebylo možné se ke konektoru napájení dostat.

Po úspěšném připájení všech součástek se na DPS přikládá přední panel. Jakmile přední panel zapadne na desku a ovládací součástky byly úspěšně prostrčeny skrze přední panel, je přední panel následně přimontován k osazenému DPS. Všechny potenciometry i konektory mají matičkové kroužky, kterými se uchycují k přednímu panelu. Přepínače se k panelu neuchycují, proto se musí vzít v potaz, aby byly dostatečně dlouhé na to, aby se daly přepínat.

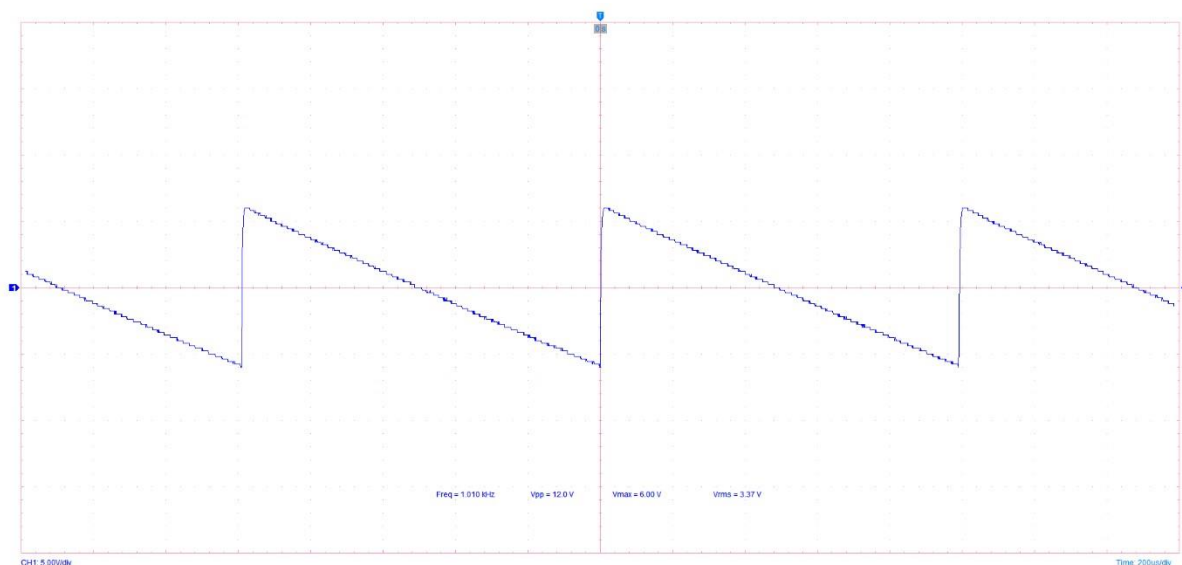
Realizované moduly se poté uchycují do skříně euroracku, kde jsou připojeny ke společnému napájecímu zdroji. Zdroj skříně může být ve dvou provedeních, a to buď jako interní zdroj zabudovaný ve skříně nebo jako modul napájecího zdroje.

2.5 Analýza chování modulů

Kapitola popisuje analýzu všech deseti modulů. U každého modulu je popis chování a graficky znázorněné výstupní signály. U některých je pak výstup porovnáván se vstupy.

2.5.1 Analýza napěťově řízeného oscilátoru

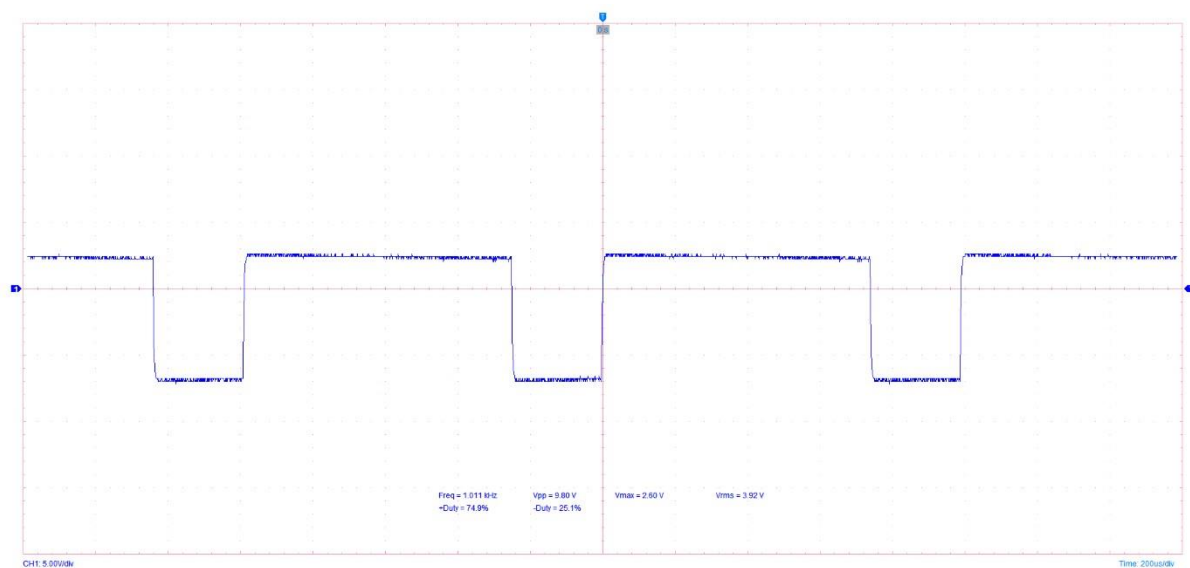
Modul vytváří periodický průběh elektrického signálu o určitém tvaru. Výstupem modulu je pilovitý průběh, obdélníkový průběh s nastavitelným pracovním cyklem, trojúhelníkový průběh, sinusový průběh a mixovaný průběh s nastavitelným poměrem. Výstupy byly testovány při technické frekvenci 1 kHz a mezních frekvencích 20 Hz až 20 kHz.



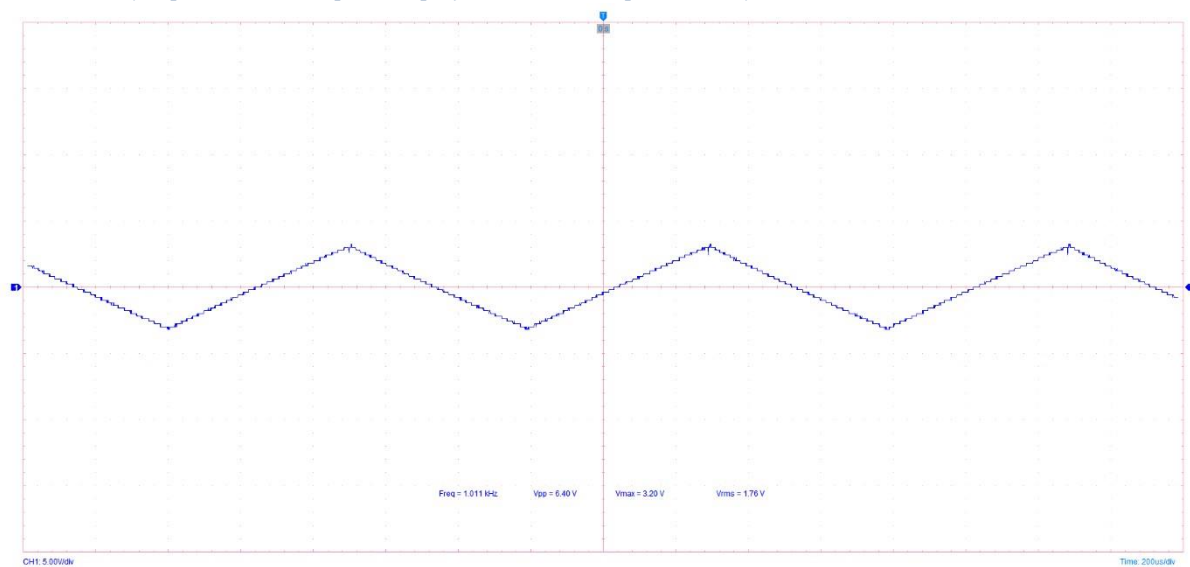
Obr. č. 122 Výstup pilovitého průběhu při frekvenci 1 kHz



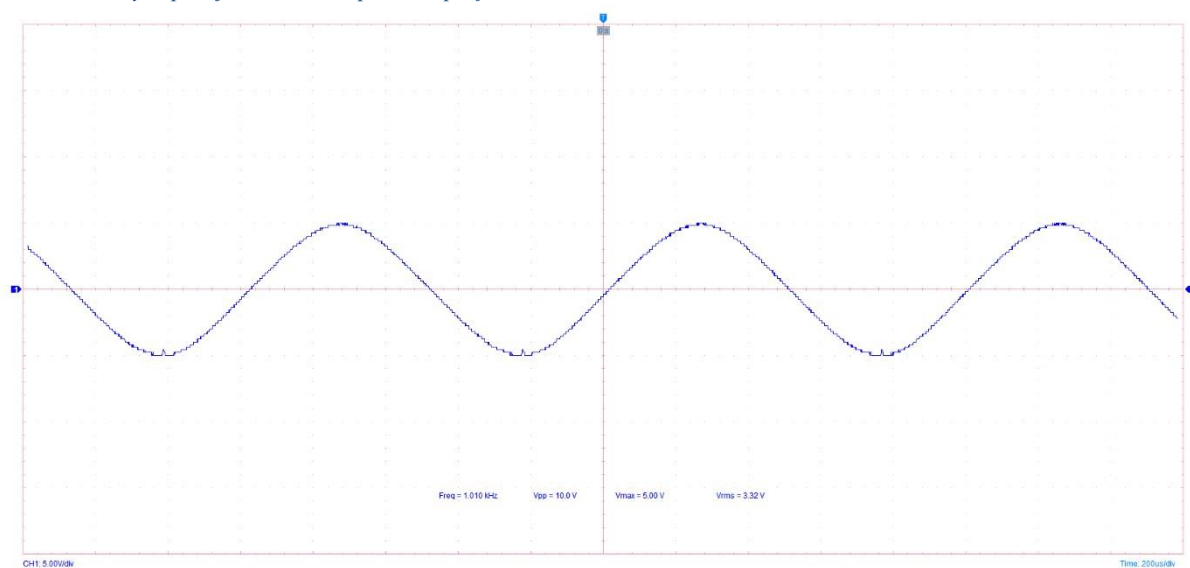
Obr. č. 121 Výstup obdélníkového průběhu při frekvenci 1 kHz s pracovním cyklem 50 %



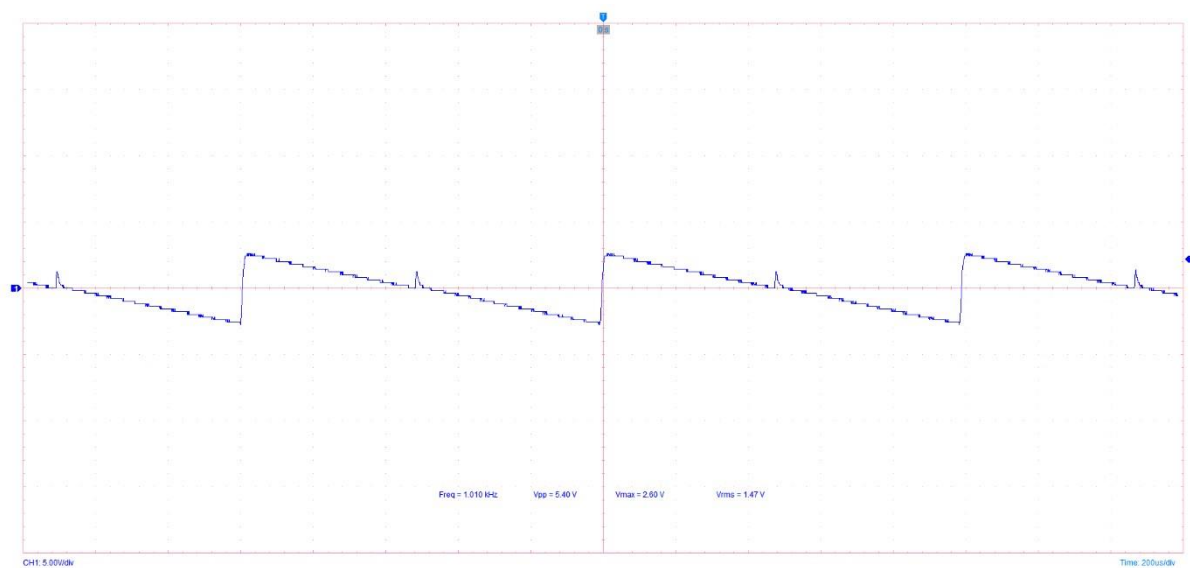
Obr. č. 125 Výstup obdélníkového průběhu při frekvenci 1 kHz s pracovním cyklem 75 %



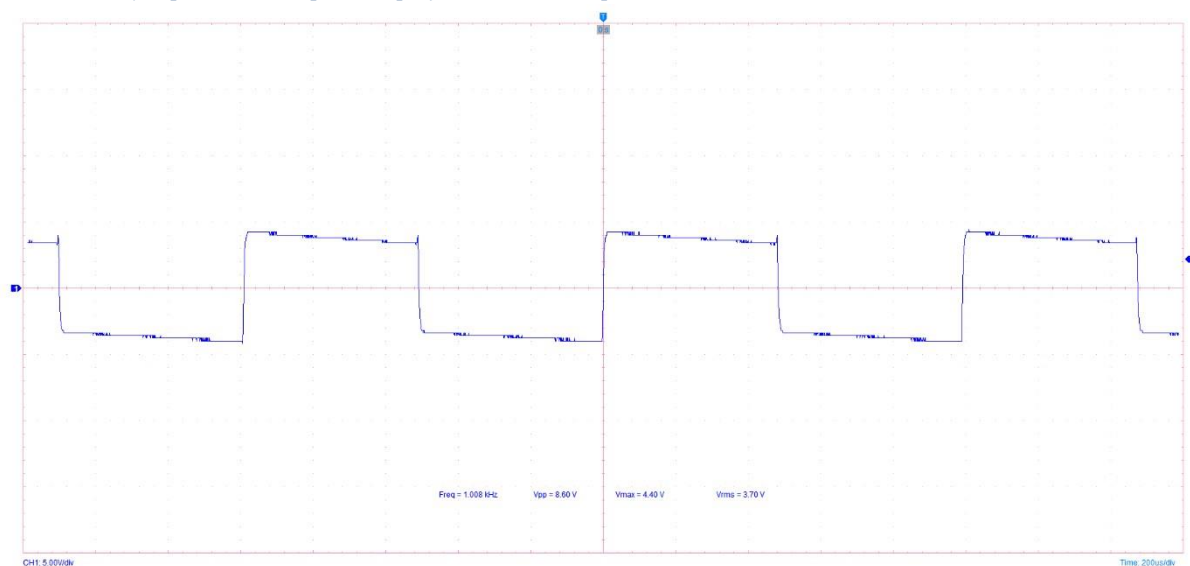
Obr. č. 124 Výstup trojúhelníkového průběhu při frekvenci 1 kHz



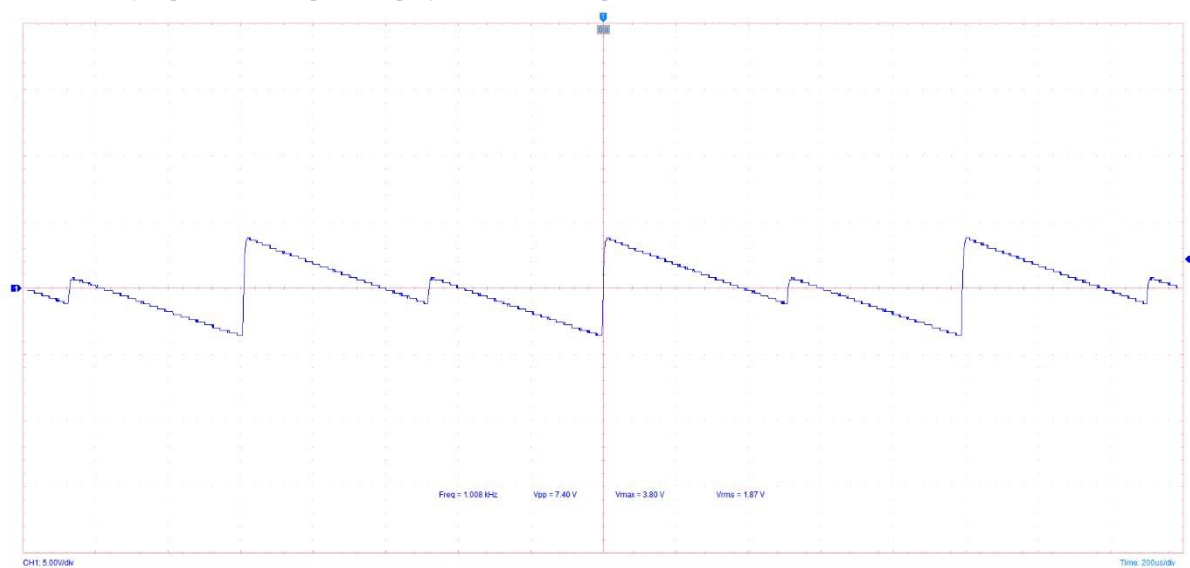
Obr. č. 123 Výstup sinusového průběhu při frekvenci 1 kHz



Obr. č. 128 Výstup mixovaného průběhu při frekvenci 1 kHz s poměrem 1:1



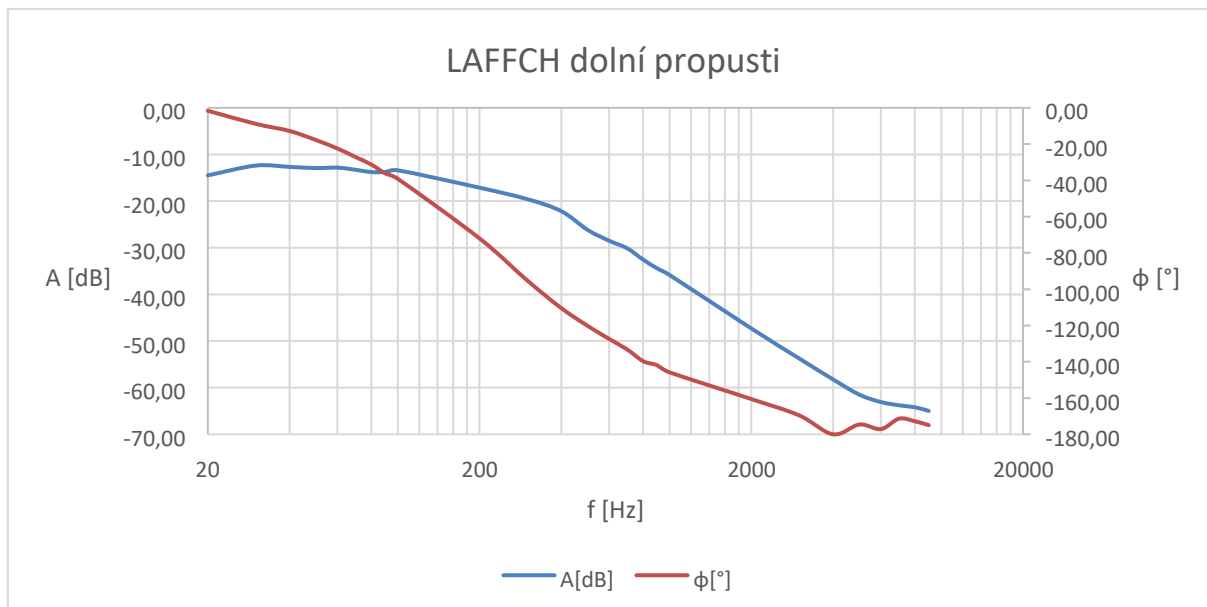
Obr. č. 127 Výstup mixovaného průběhu při frekvenci 1 kHz s poměrem 1:2



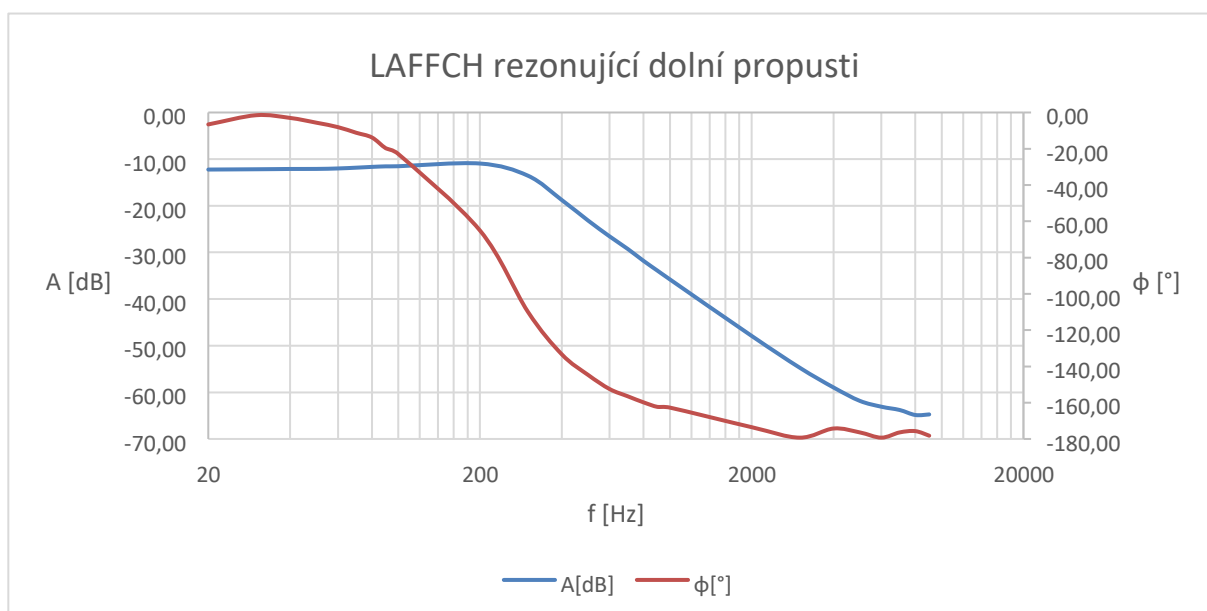
Obr. č. 126 Výstup mixovaného průběhu při frekvenci 1 kHz s poměrem 2:1

2.5.2 Analýza napětově řízeného filtru

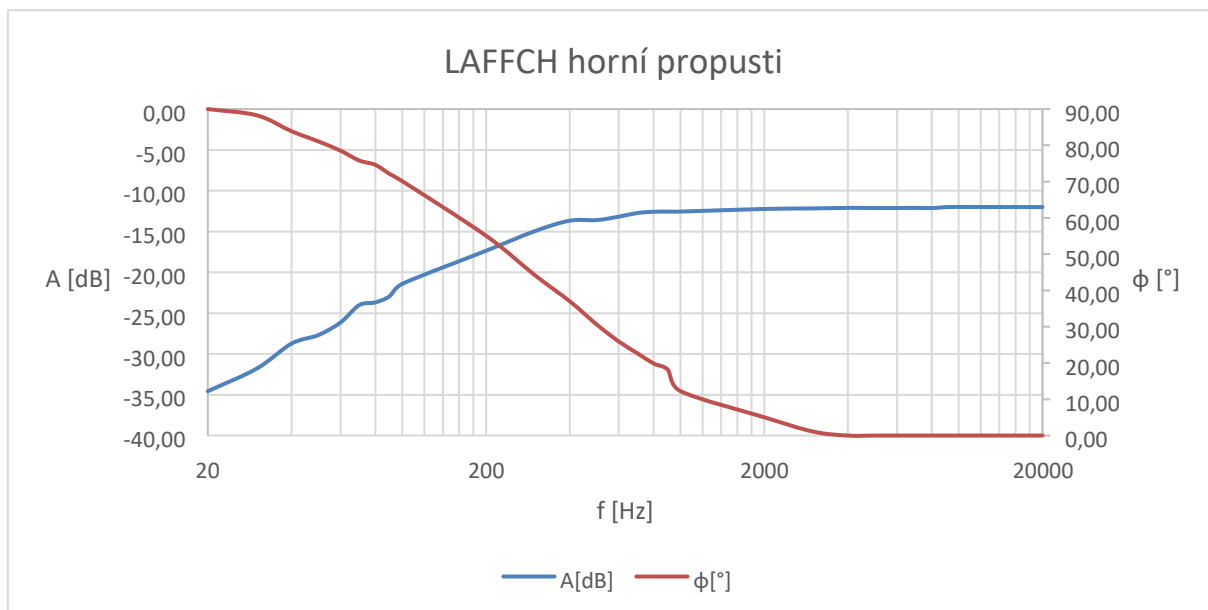
Modul slouží pro filtraci horního a dolního frekvenčního pásma. Jelikož má rezonanční funkci, je signál na mezní frekvenci zesílen nad hladinu napětí vstupu. Filtrační pásma byla testována sinusovým průběhem s frekvencí od 20 Hz do 20 kHz. Zkratka LAFFCH znamená logaritmická amplitudová a fázová frekvenční charakteristika.



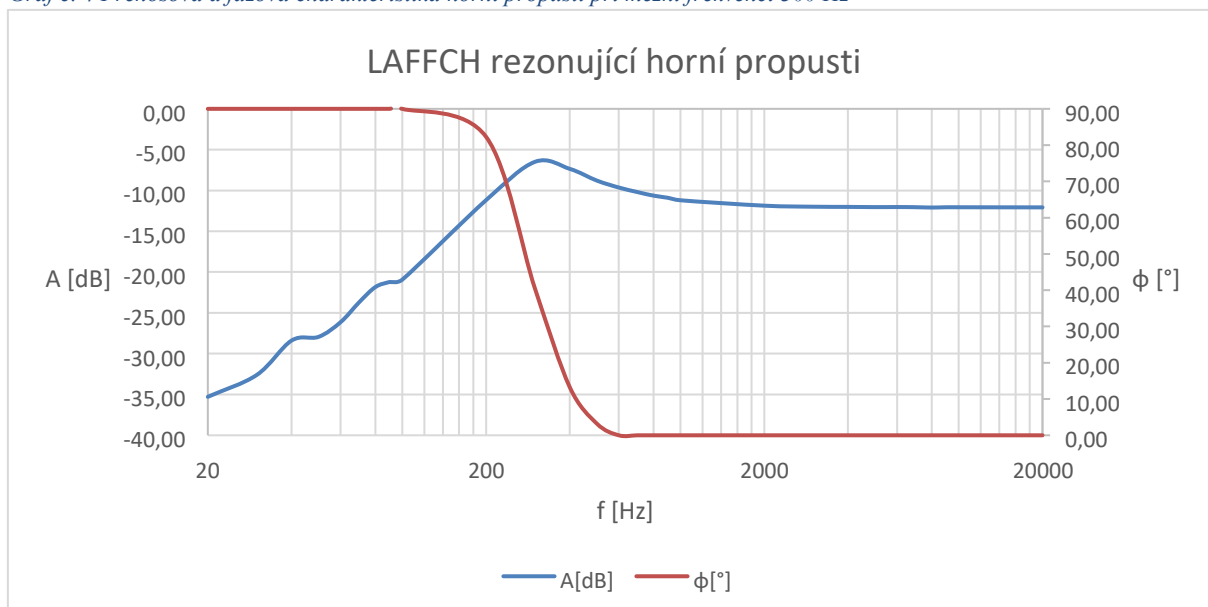
Graf č. 2 Přenosová a fázová charakteristika dolní propusti při mezní frekvenci 300 Hz



Graf č. 1 Přenosová a fázová charakteristika rezonující dolní propusti při mezní frekvenci 300 Hz



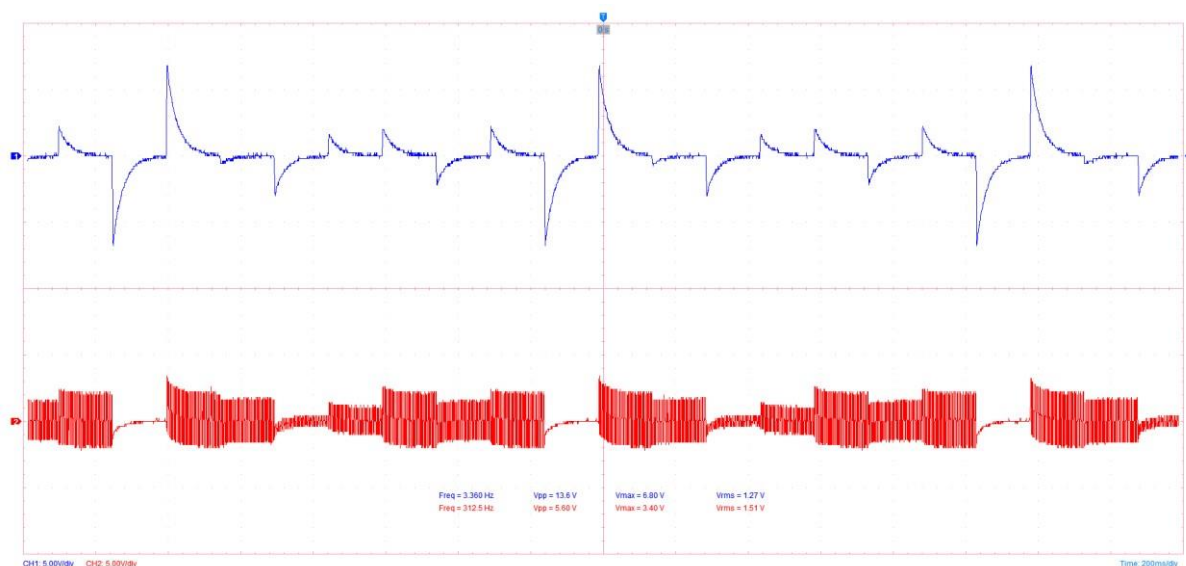
Graf č. 4 Přenosová a fázová charakteristika horní propusti při mezní frekvenci 300 Hz



Graf č. 3 Přenosová a fázová charakteristika rezonující horní propusti při mezní frekvenci 300 Hz

2.5.3 Analýza napětově řízeného zesilovače

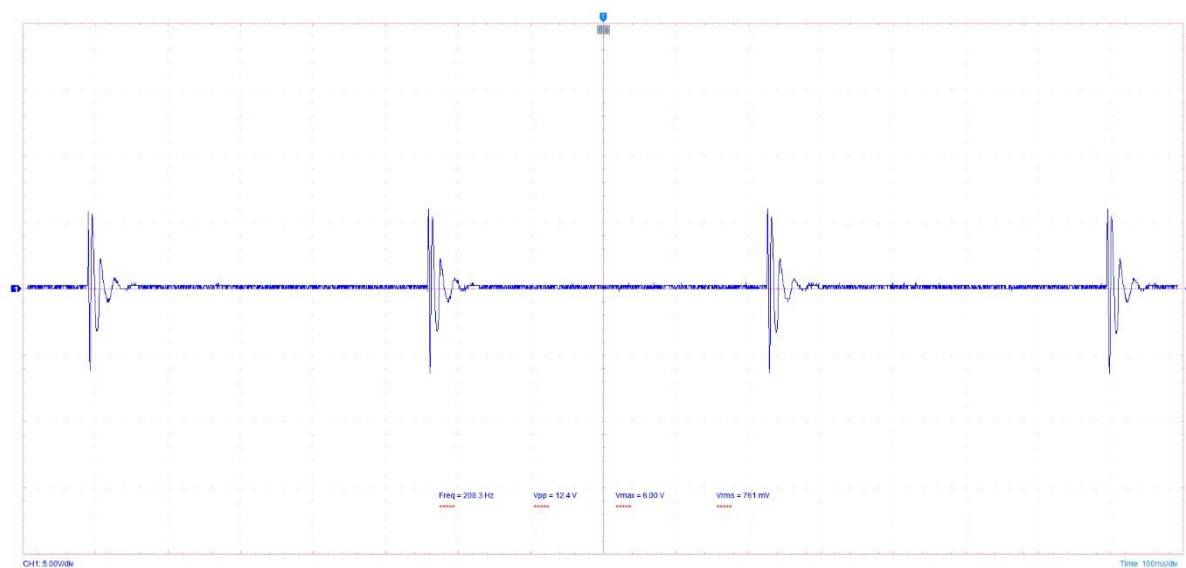
Modul upravující hlasitost procházejícího signálu na základě ovládacího signálu. Ovládacím signálem je stejnosměrný signál s regulací napětí nebo signál modulu ADSR. Velikost ovládacího signálu určuje velikost otevření zesilovače pro vstupní signál.



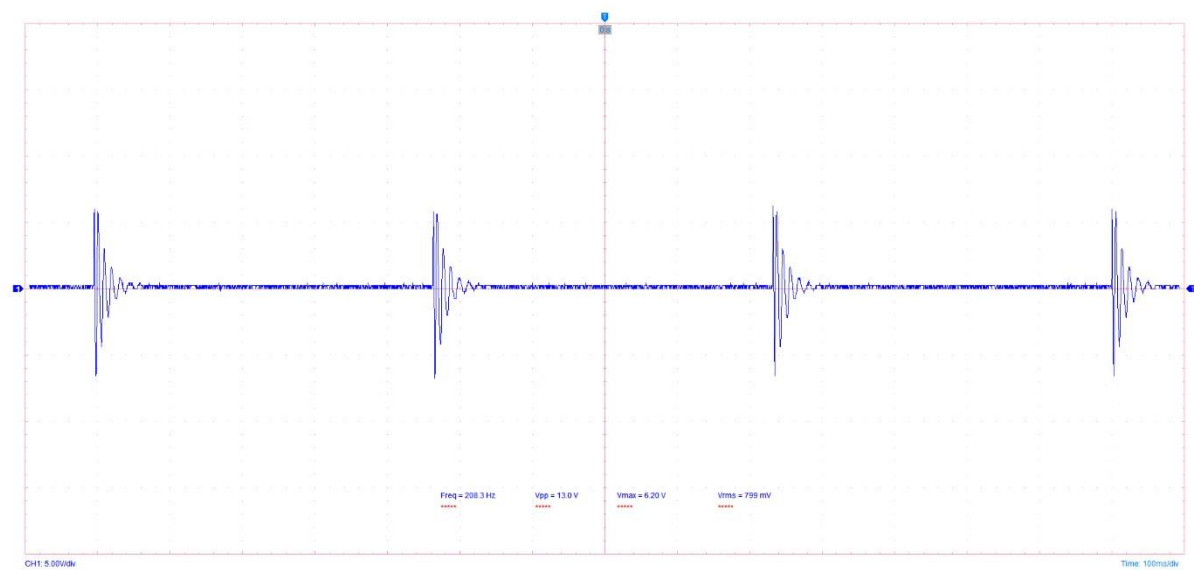
Obr. č. 129 Modrá – ovládací signál, červená – výstupní signál ovládaný ovládacím signálem, vstupním signálem je pila

2.5.4 Analýza analogového kopače

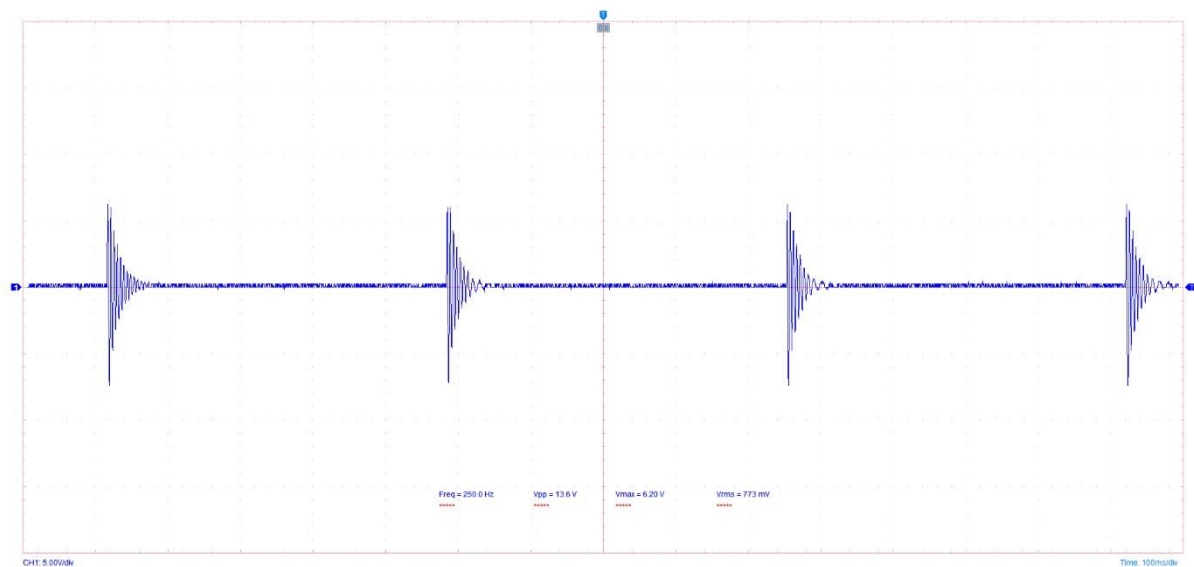
Modul pro imitaci zvuku kopače bicí soustavy. Vystup je výsledkem parametrů frekvence, stoupání, doby pádu, tónu, zkreslení a síly úderu. Jednotlivé obrázky ukazují rozdíly těchto parametrů mezi sebou.



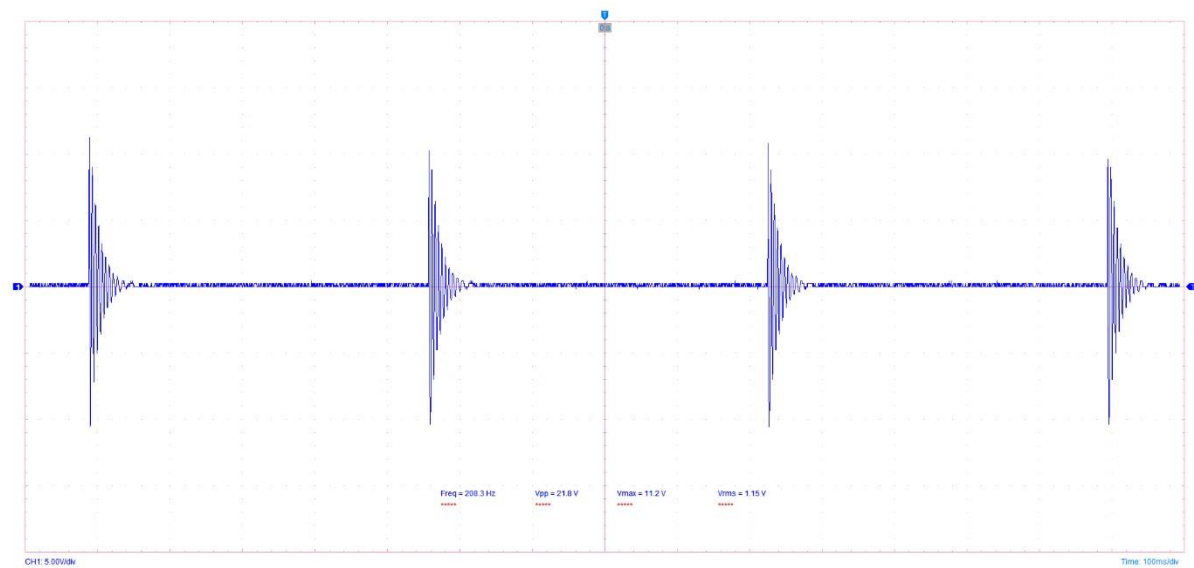
Obr. č. 130 Výstup analogového kopače bez parametrické úpravy



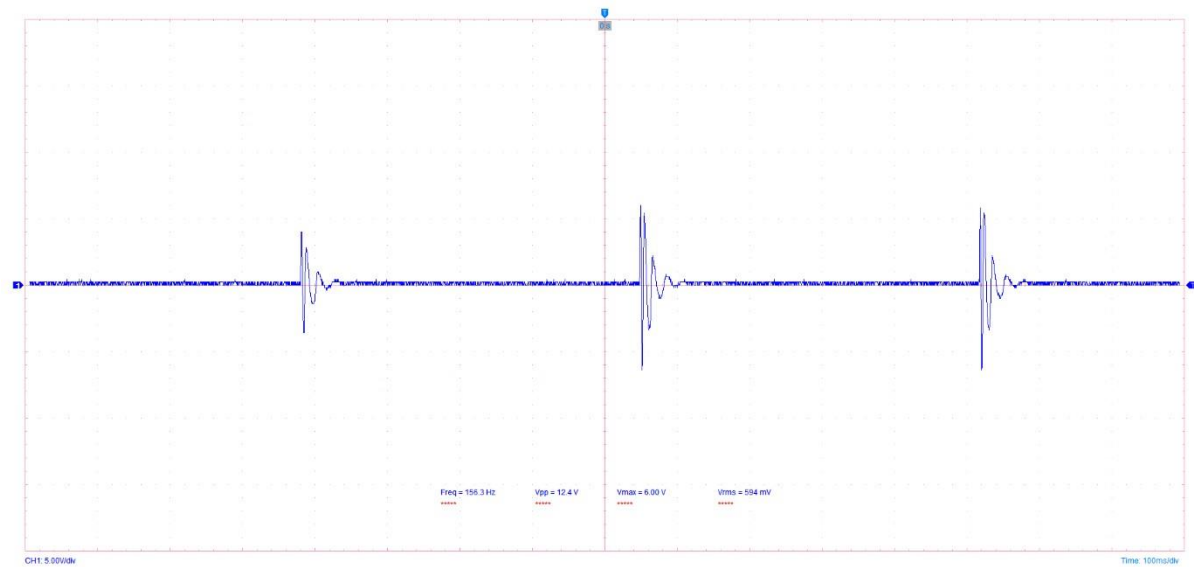
Obr. č. 133 Výstup analogového kopače s úpravou frekvence



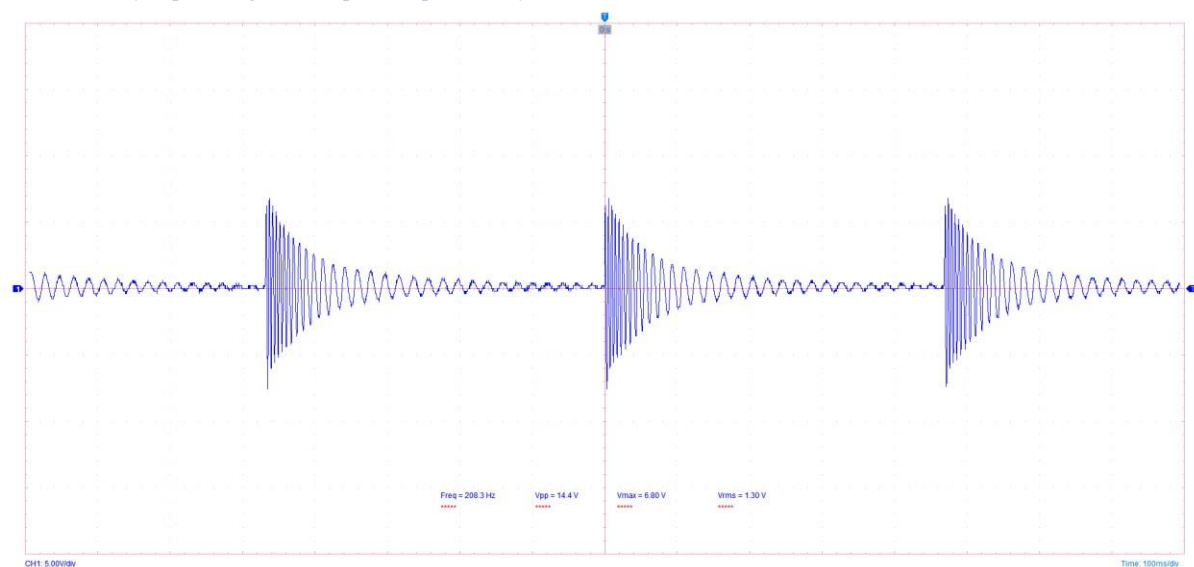
Obr. č. 132 Výstup analogového kopače s úpravou stoupání



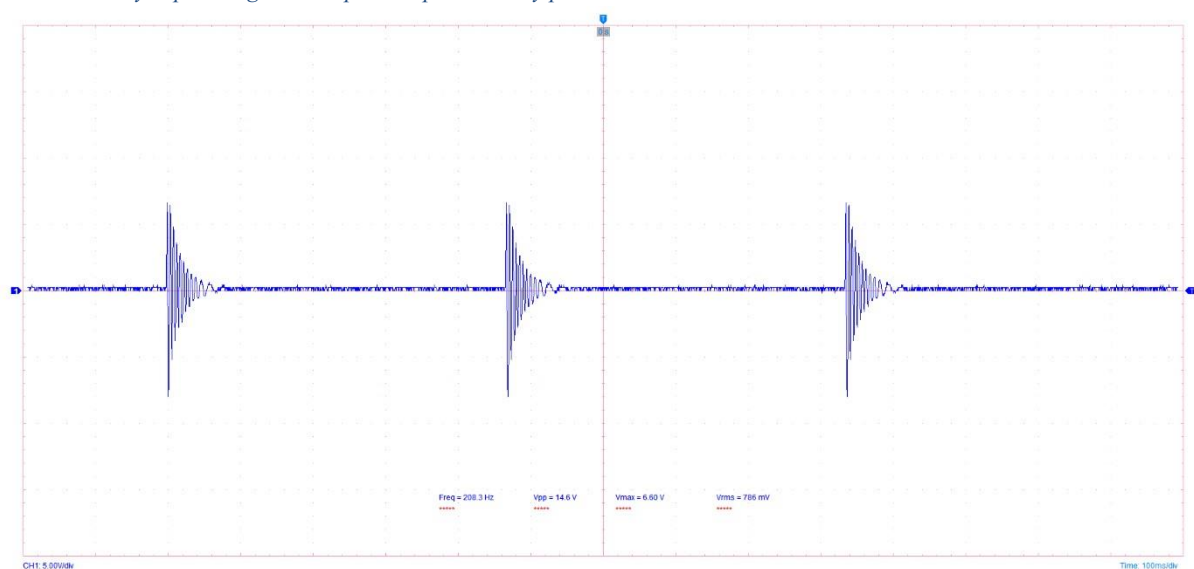
Obr. č. 131 Výstup analogového kopače s úpravou tónu



Obr. č. 136 Výstup analogového kopače s úpravou síly úderu



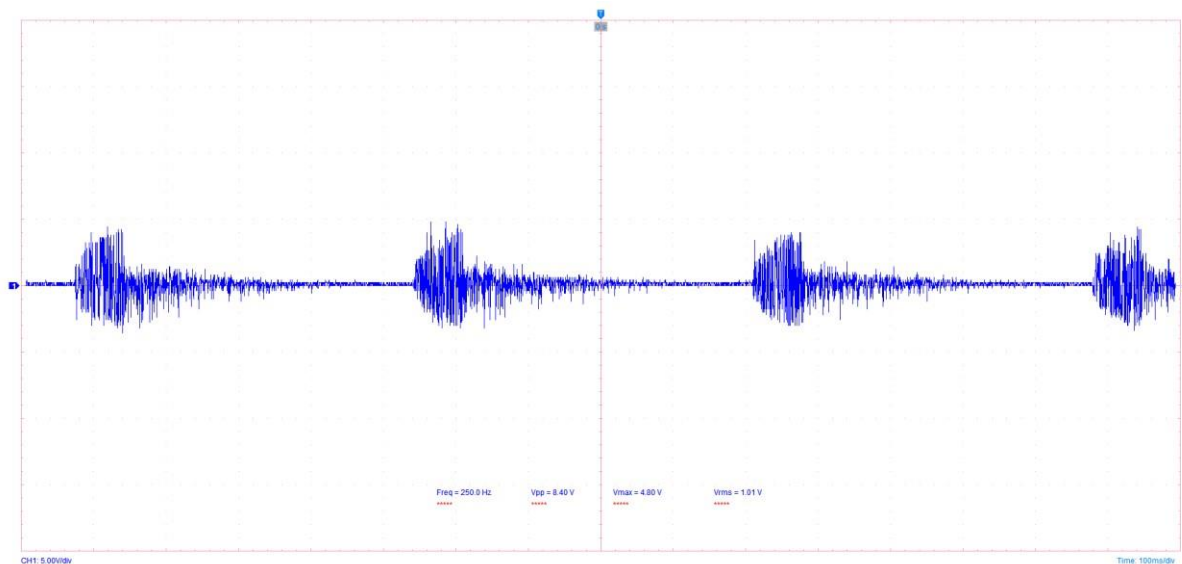
Obr. č. 135 Výstup analogového kopače s úpravou doby pádu



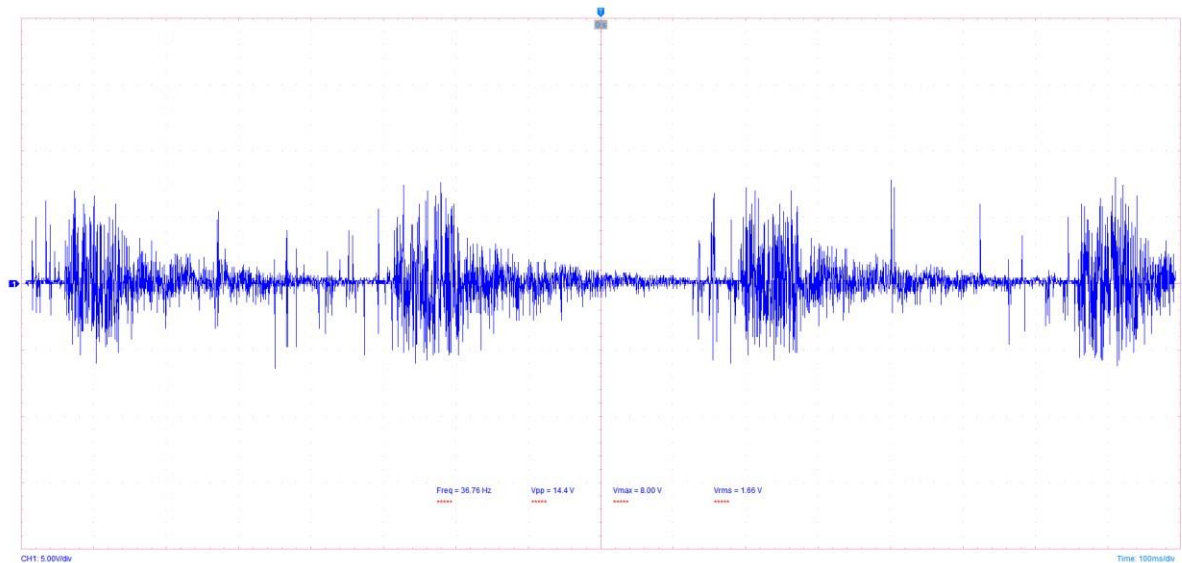
Obr. č. 134 Výstup analogového kopače s úpravou zkraslení

2.5.5 Analýza hajtek ve stylu TR-606

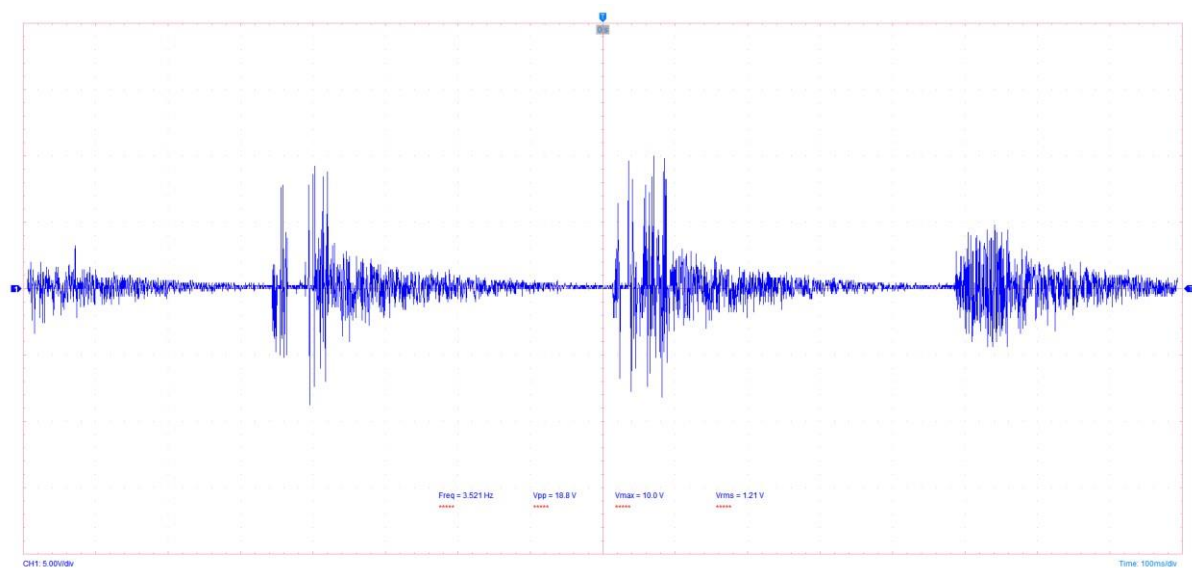
Modul pro imitaci zvuku činelů bicí soustavy. Výstup je výsledkem parametrů frekvence, doby pádu, tónu a síly úderu. Jednotlivé obrázky ukazují rozdíly těchto parametrů mezi sebou.



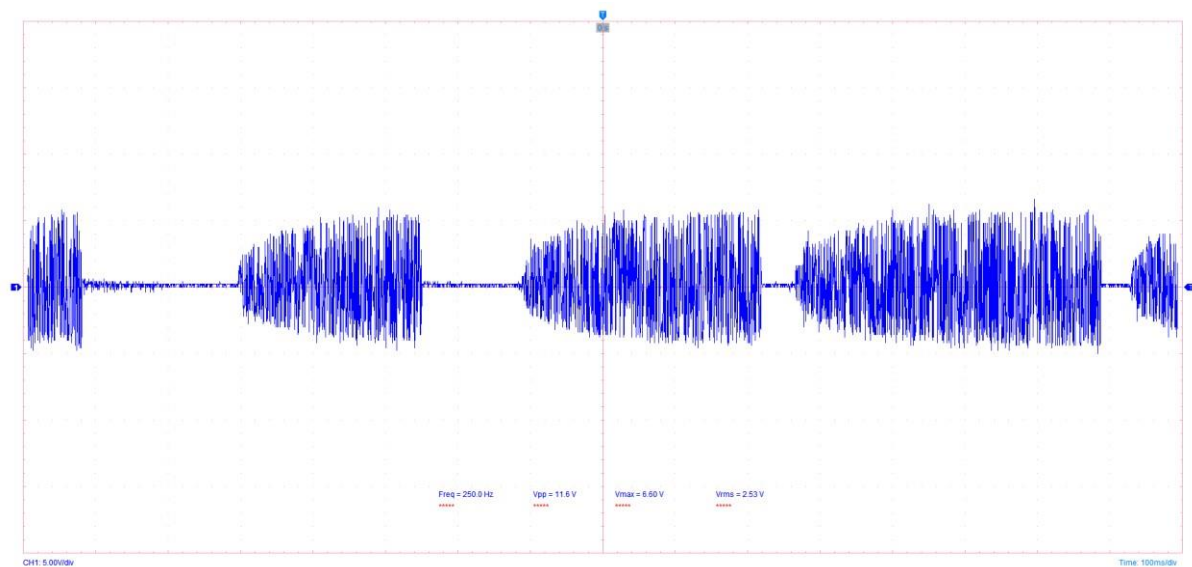
Obr. č. 138 Výstup hajtek ve stylu TR-606 bez parametrické úpravy



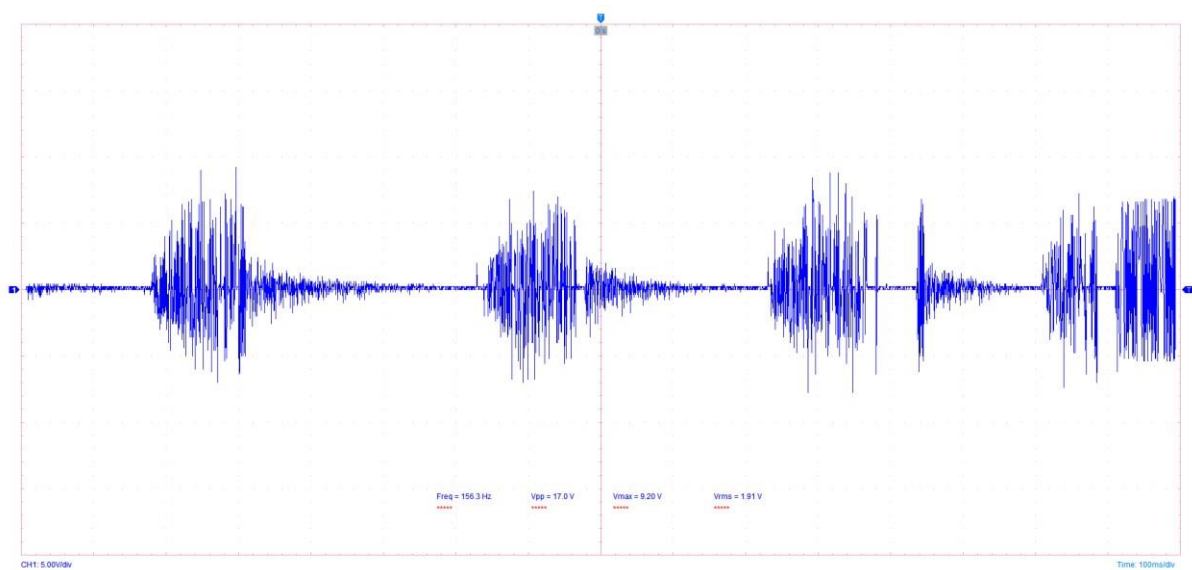
Obr. č. 137 Výstup hajtek ve stylu TR-606 s úpravou frekvence



Obr. č. 141 Výstup hajtek ve stylu TR-606 s úpravou tónu



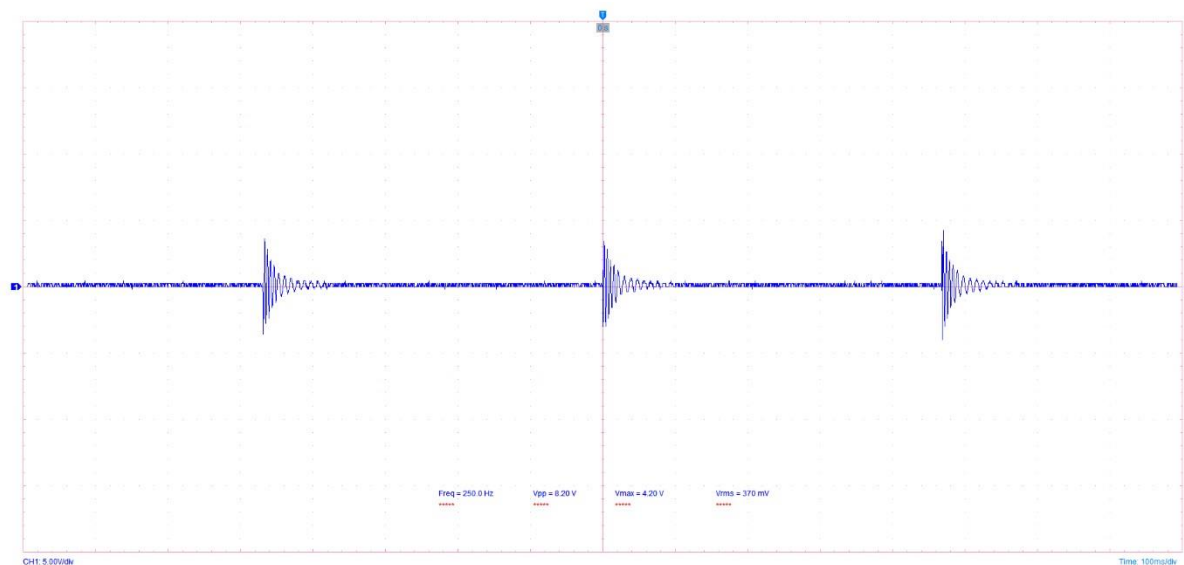
Obr. č. 139 Výstup hajtek ve stylu TR-606 s úpravou síly úderu



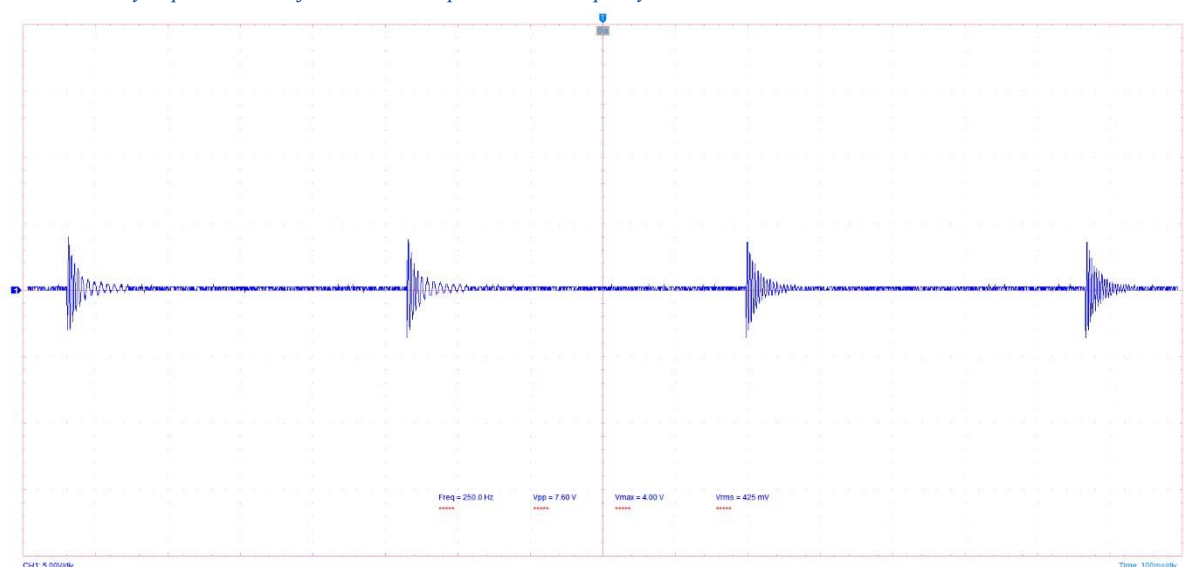
Obr. č. 140 Výstup hajtek ve stylu TR-606 s úpravou doby pádu

2.5.6 Analýza virblu ve stylu TR-808

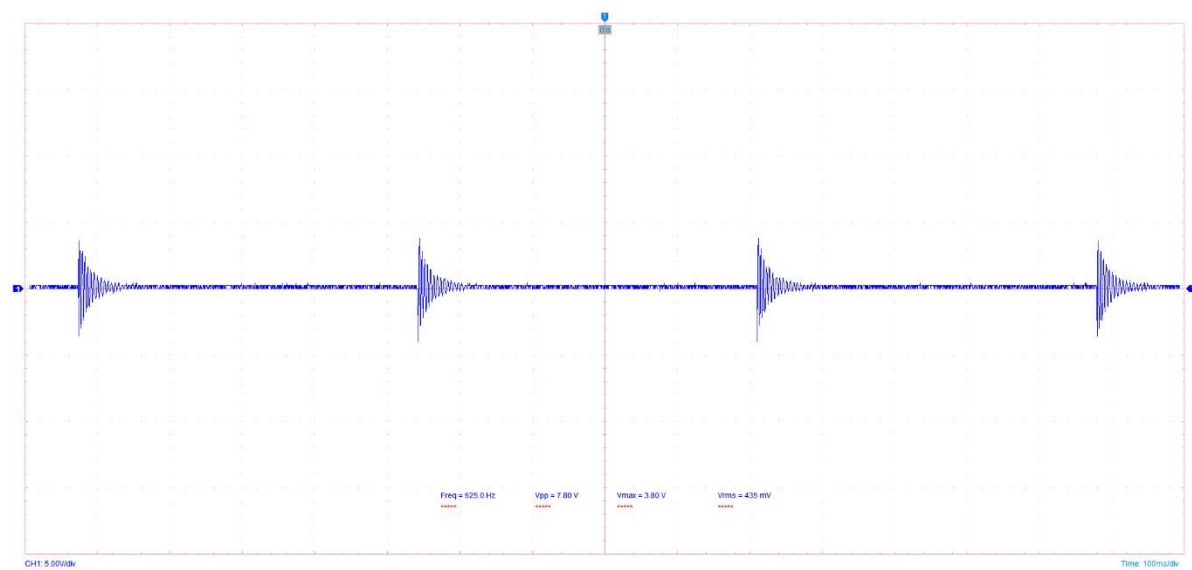
Modul pro imitaci zvuku malého bubnu bicí soustavy. Výstup je výsledkem parametrů stoupání, doby pádu, počáteční síly rozkmitu, tónu, síly úderu a velikosti třesu. Jednotlivé obrázky ukazují rozdíly těchto parametrů mezi sebou.



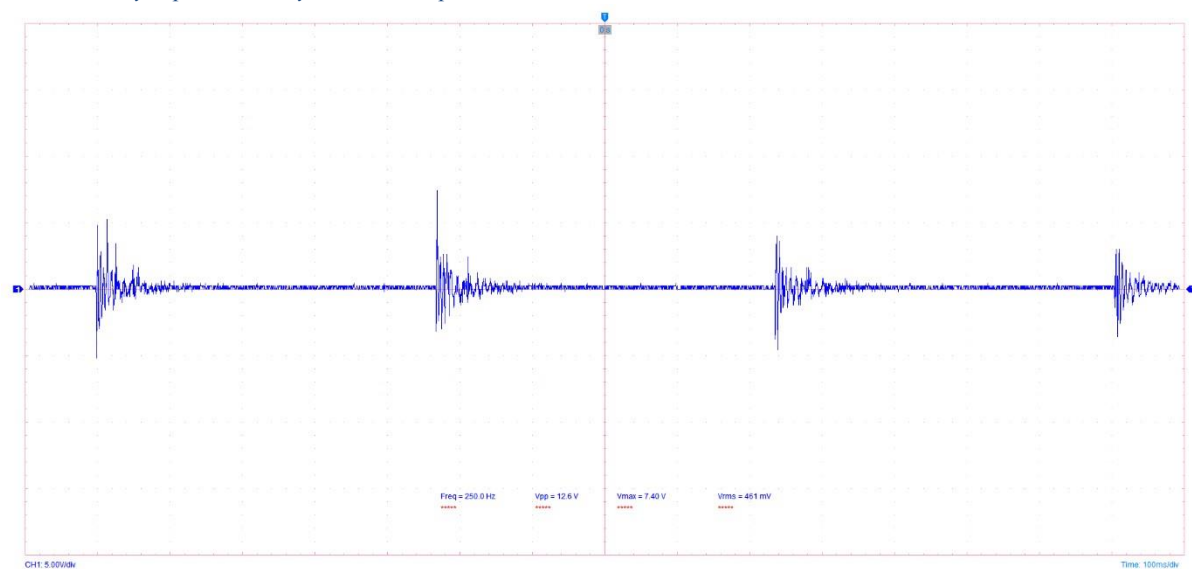
Obr. č. 143 Výstup virblu ve stylu TR-808 bez parametrické úpravy



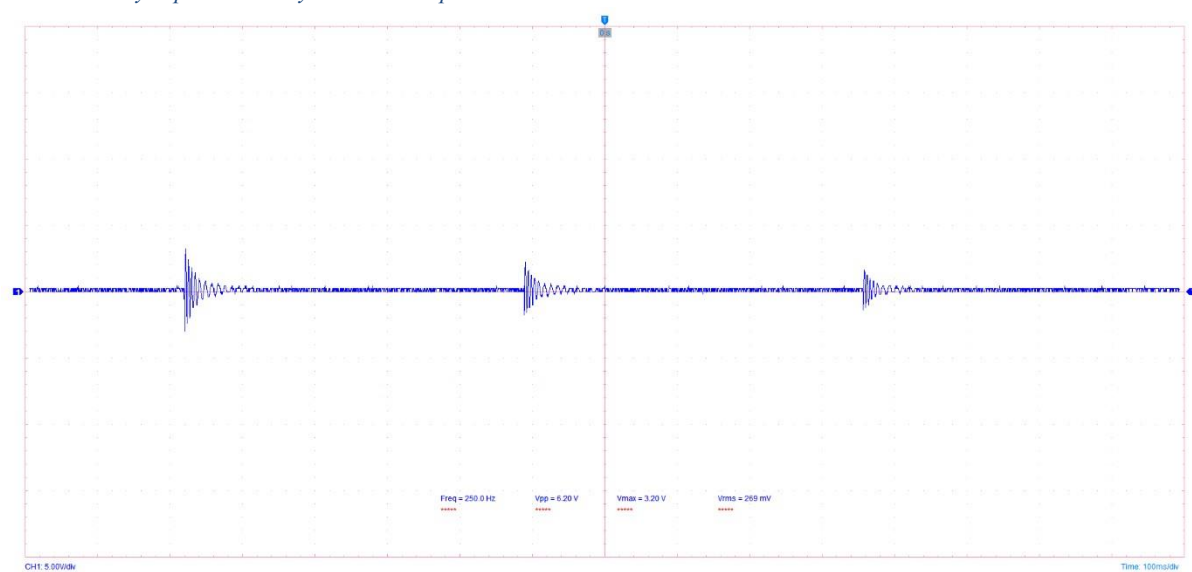
Obr. č. 142 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou stoupání



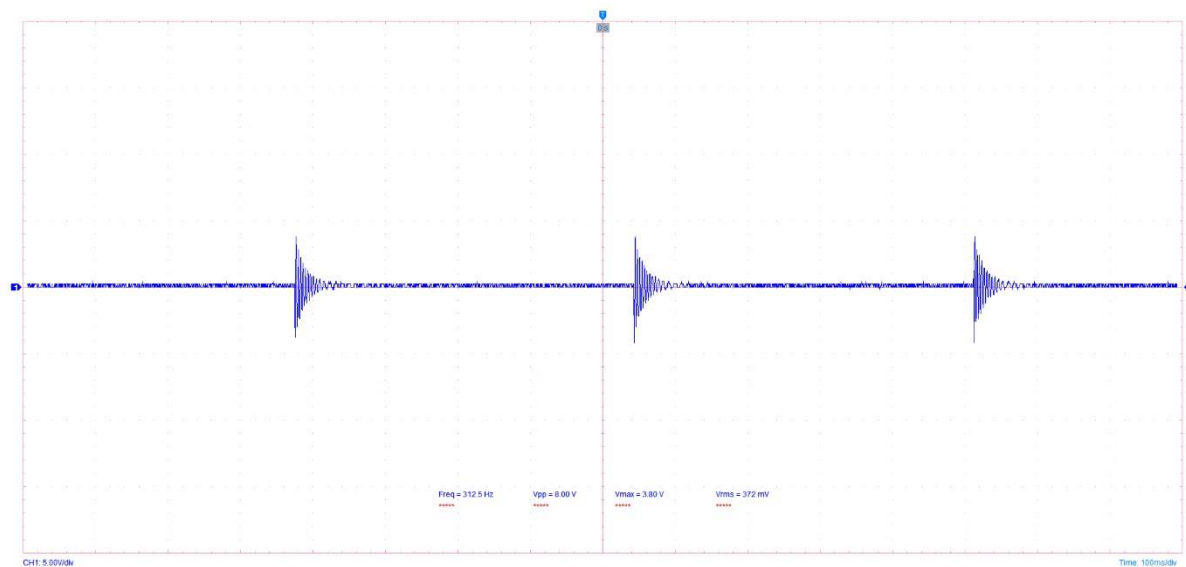
Obr. č. 146 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou tónu



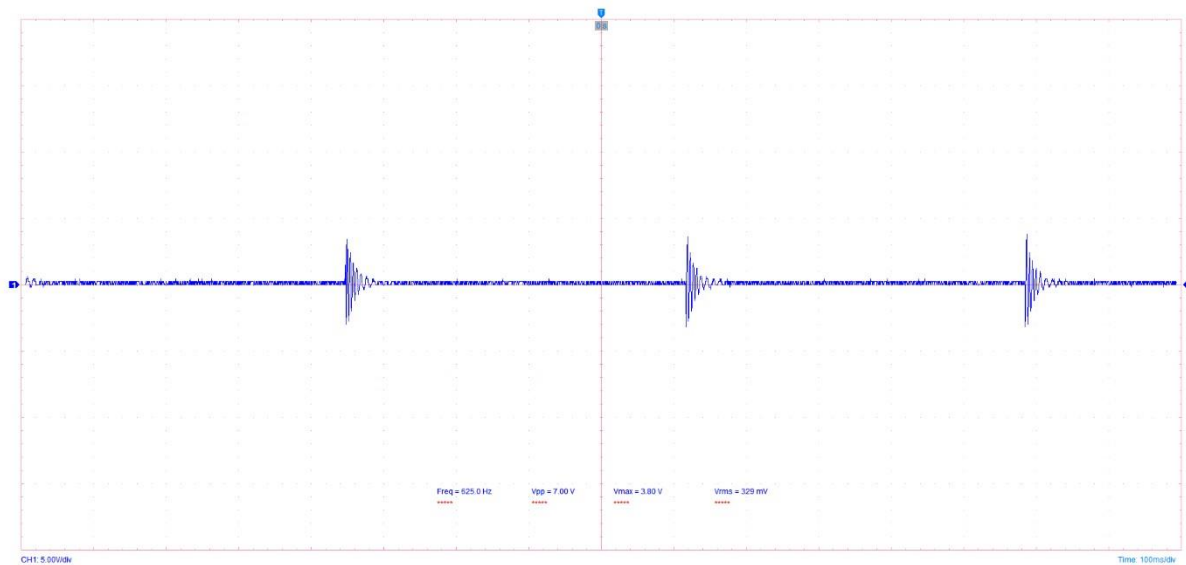
Obr. č. 145 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou otřesu



Obr. č. 144 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou síly úderu



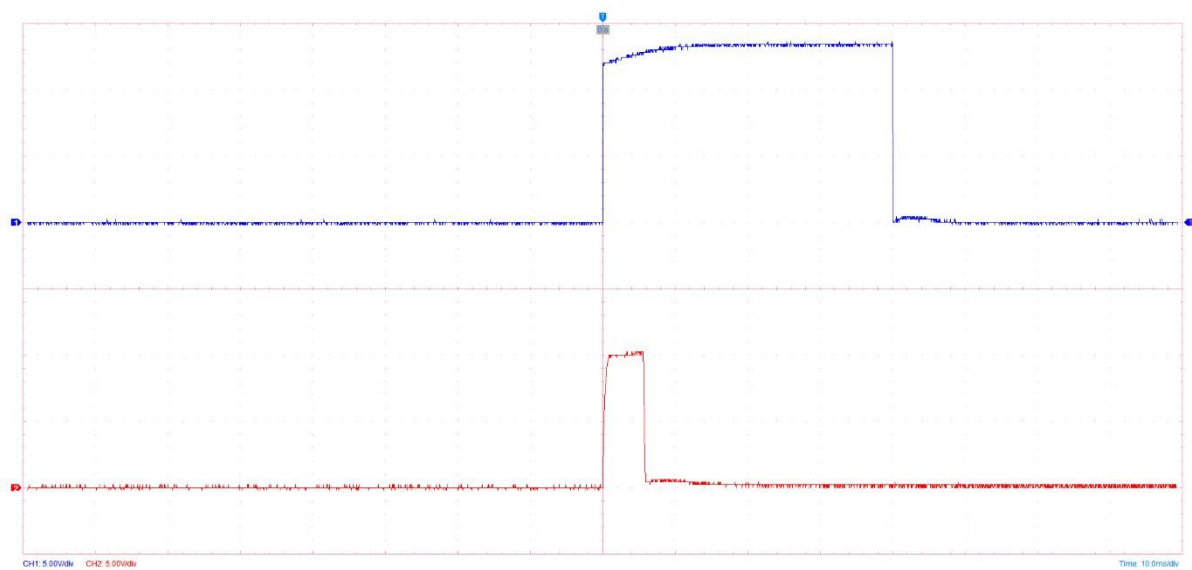
Obr. č. 148 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou velikosti počátečního rozkmitu



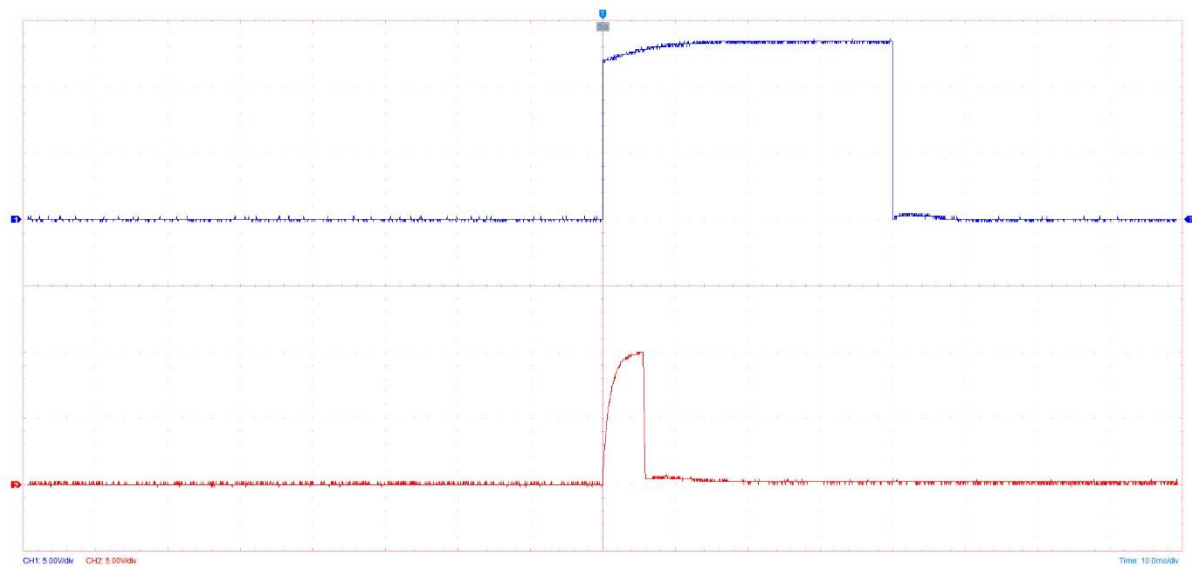
Obr. č. 147 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou doby pádu

2.5.7 Analýza ADSR modulu

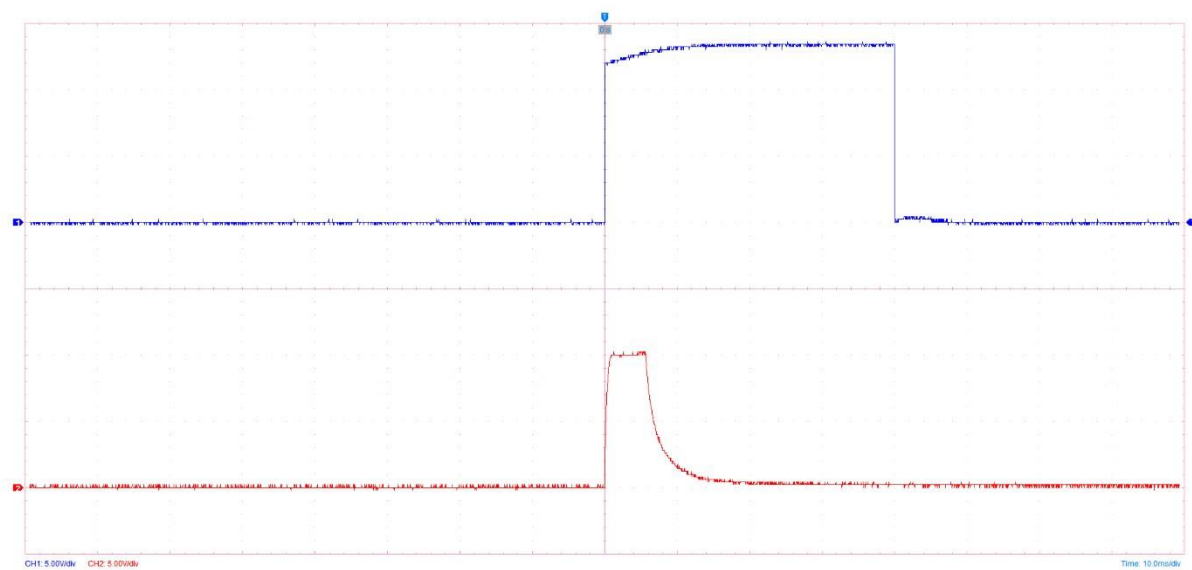
Modul pro úpravu vstupního signálu pro moduly, jako jsou napěťově řízený oscilátor. Mění vlastnosti signálu, jako jsou doba náběhu, doba úpadku, doba podržení a doba uvolnění.



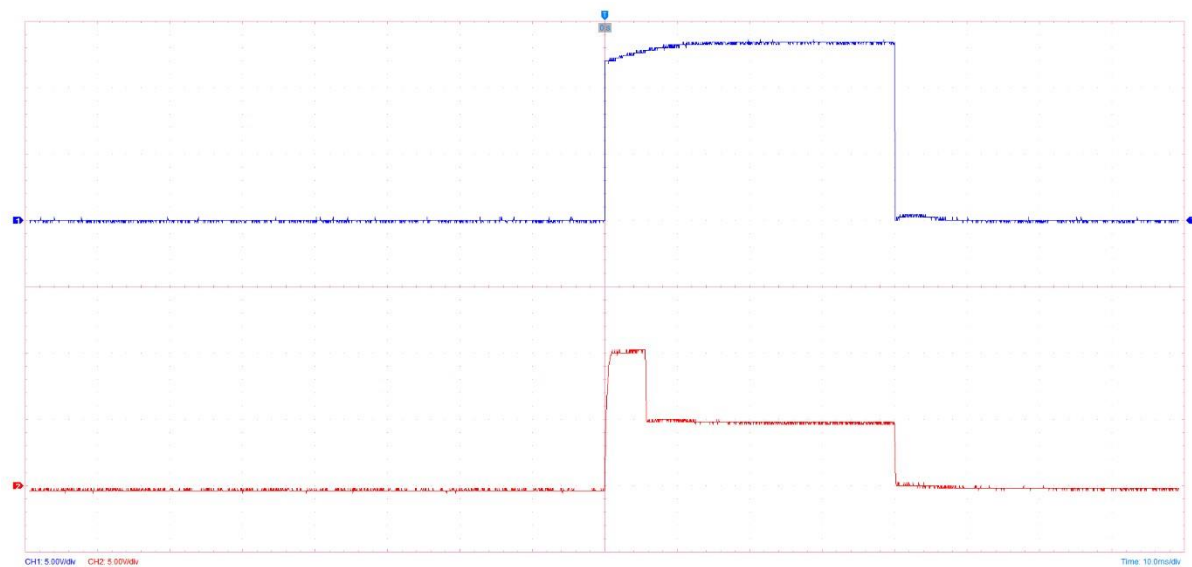
Obr. č. 150 Výstup bez úpravy parametrů, modrá je vstup, červená je výstup



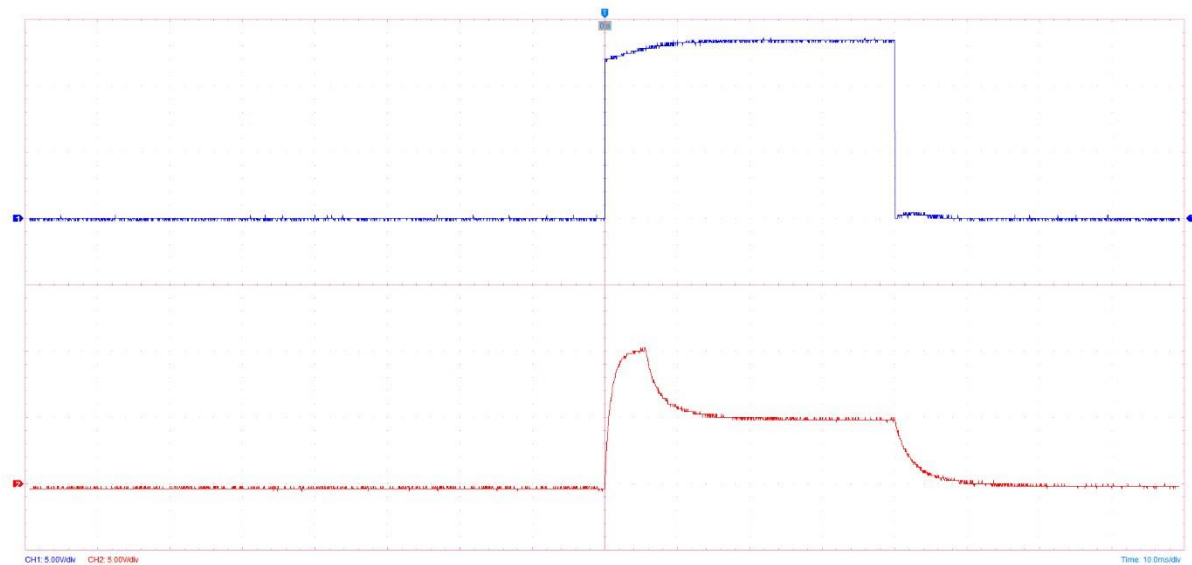
Obr. č. 149 Výstup s upraveným parametrem A, modrá je vstup, červená je výstup



Obr. č. 153 Výstup s upraveným parametrem $R(D)$, modrá je vstup, červená je výstup



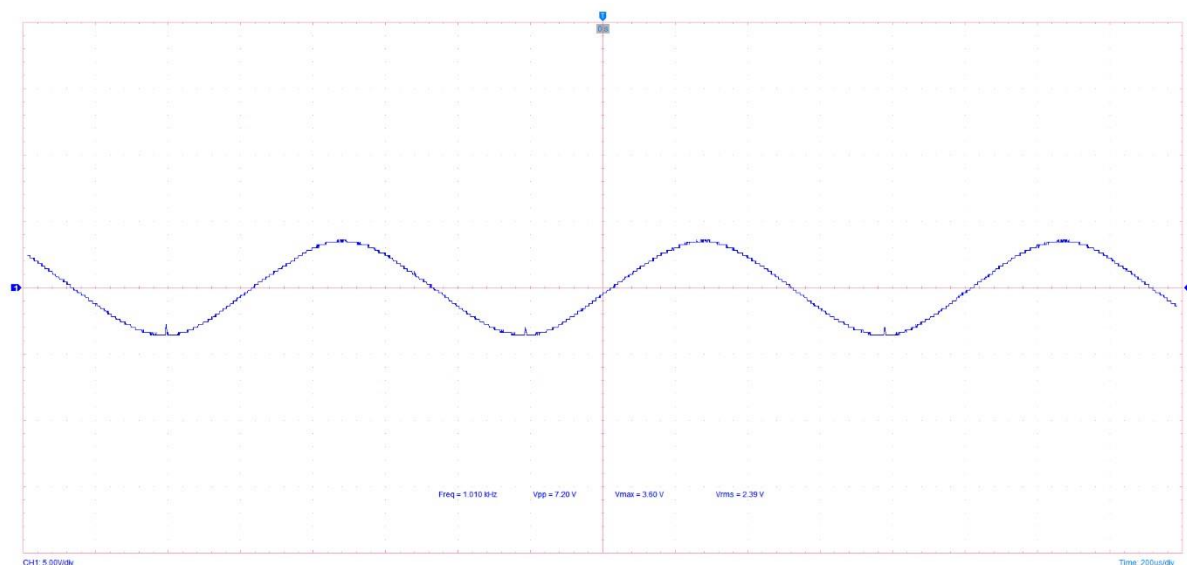
Obr. č. 152 Výstup s upraveným parametrem S , modrá je vstup, červená je výstup



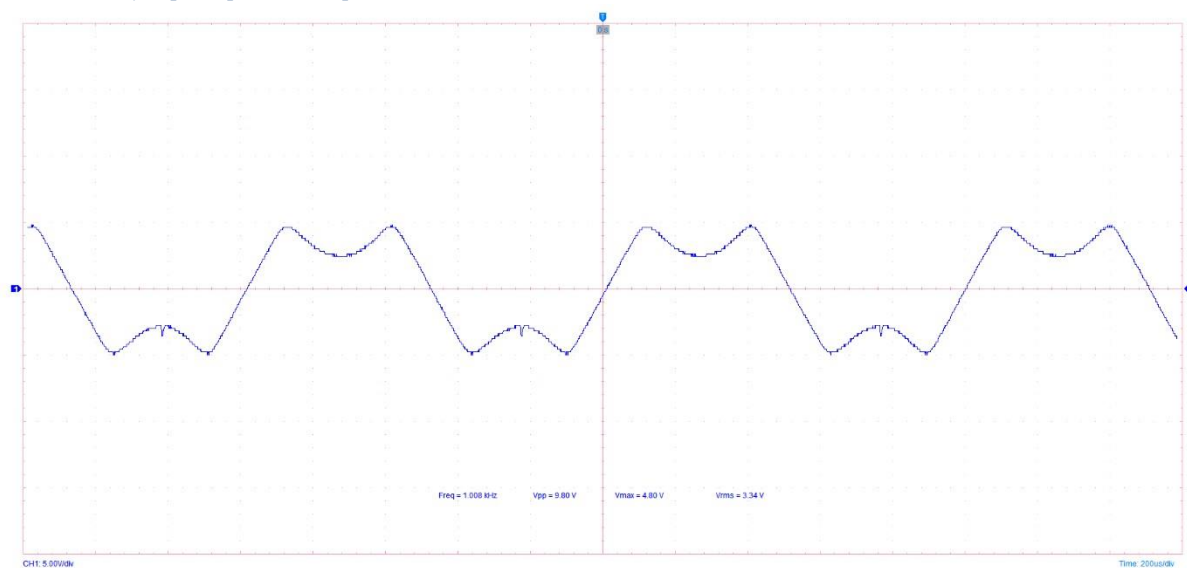
Obr. č. 151 Výstup se všemi parametry, modrá je vstup, červená je výstup

2.5.8 Analýza dvojitého sklápěče signálu

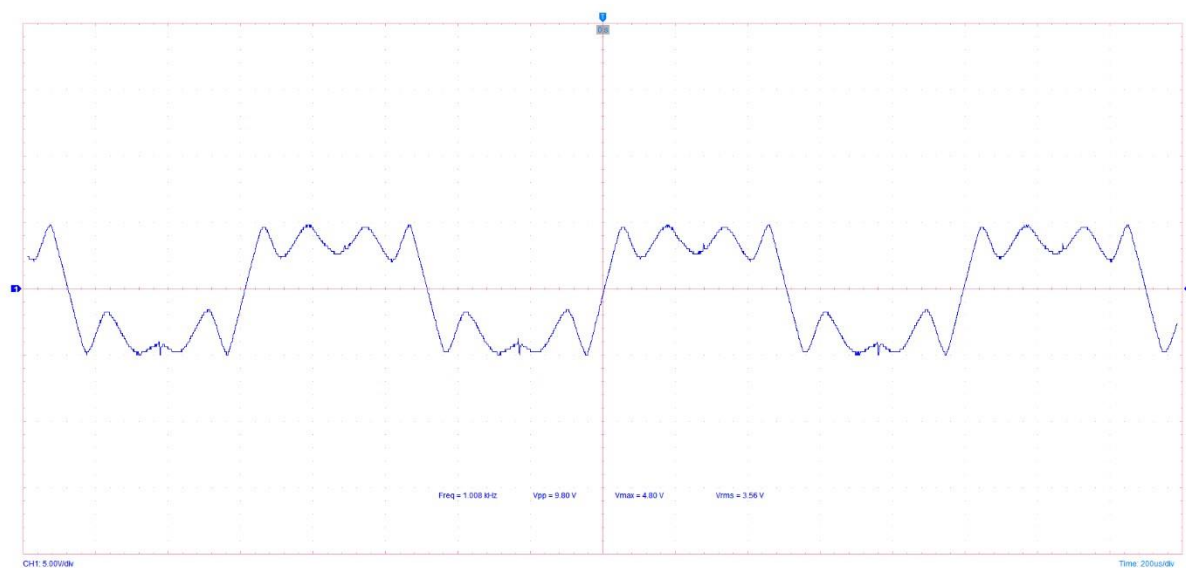
Modul pro tvarování výstupních signálů. Pokud signál vstupující do modulu překročí hranici určenou modulem, překlápí se o 180° . Velikost překlápění lze nastavovat manuálně. Sklápění bylo testováno při frekvenci 1 kHz a tvaru sinusového průběhu.



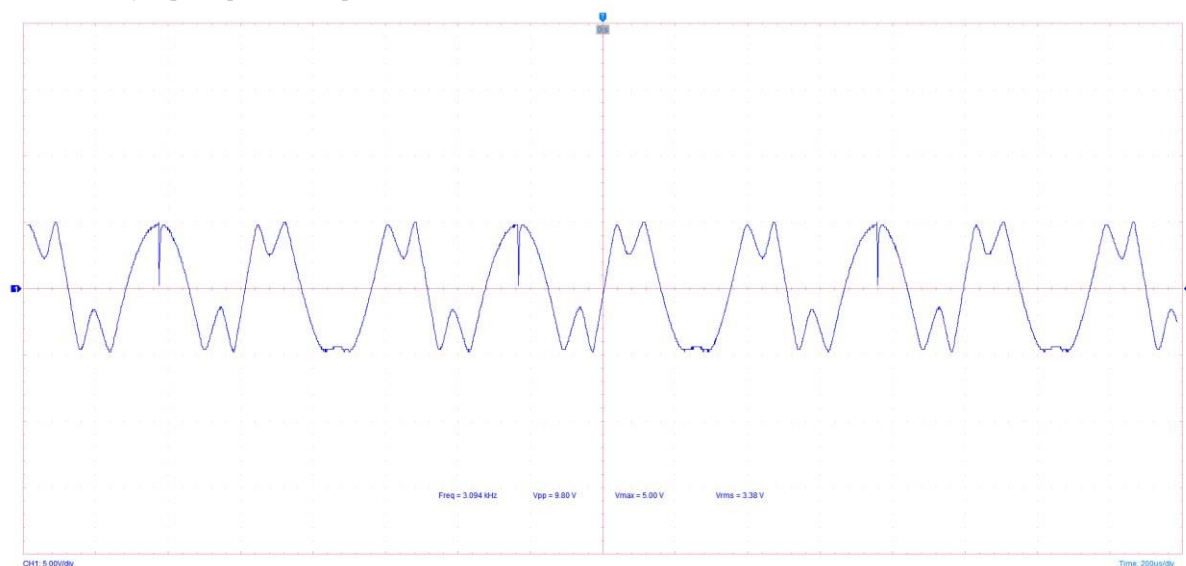
Obr. č. 155 Výstup sklápěče se sklopením 0 %



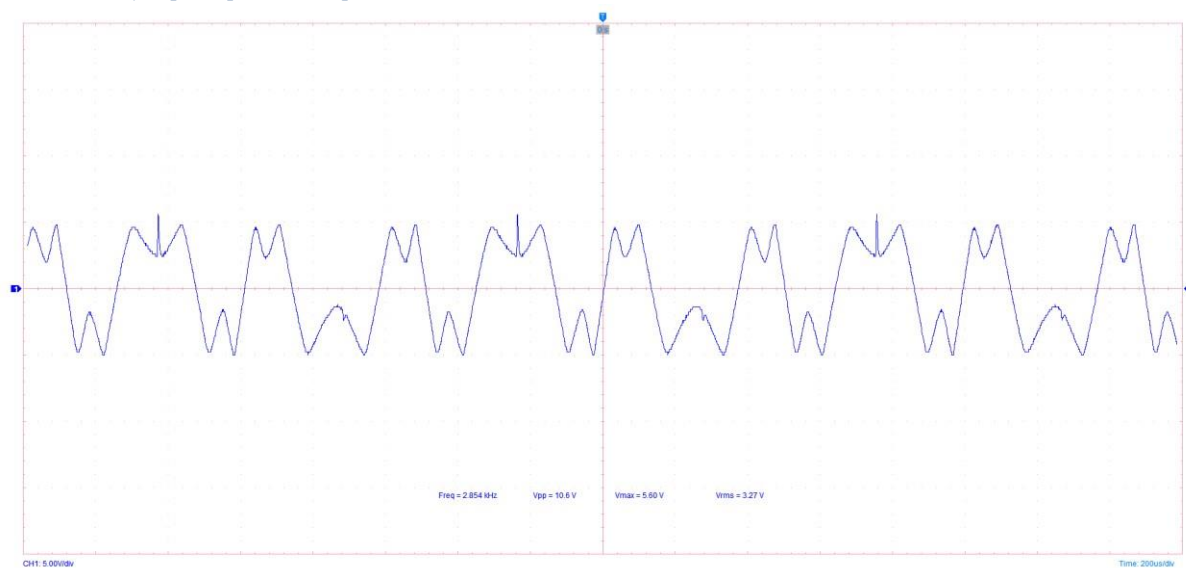
Obr. č. 154 Výstup sklápěče se sklopením 25 %



Obr. č. 158 Výstup sklápěče se sklopením 50 %



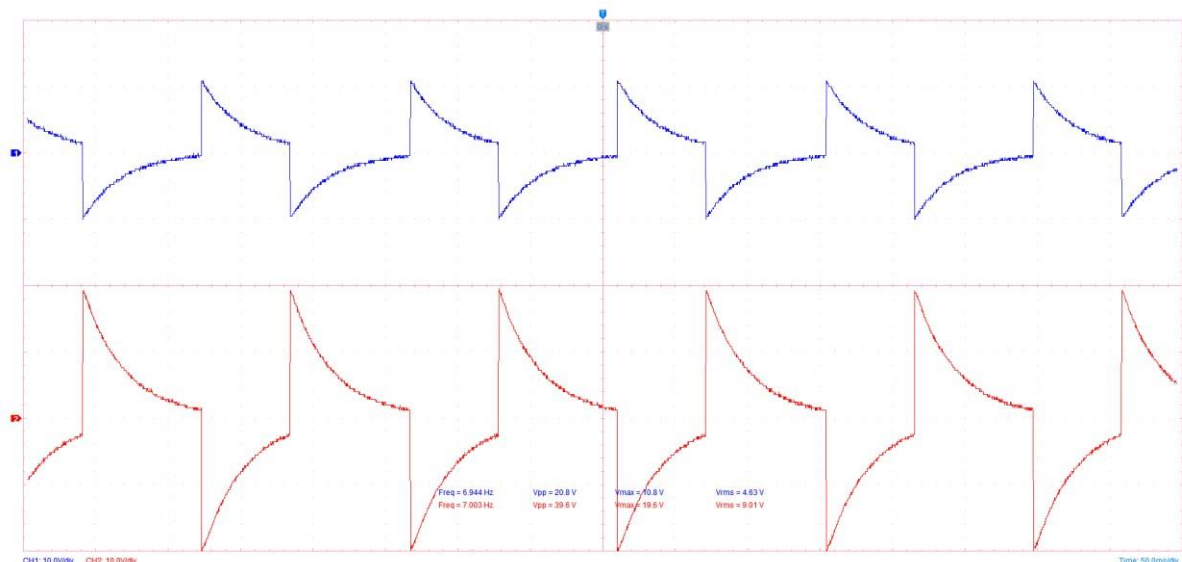
Obr. č. 157 Výstup sklápěče se sklopením 75 %



Obr. č. 156 Výstup sklápěče se sklopením 100 %

2.5.9 Analýza opakovacího signálu

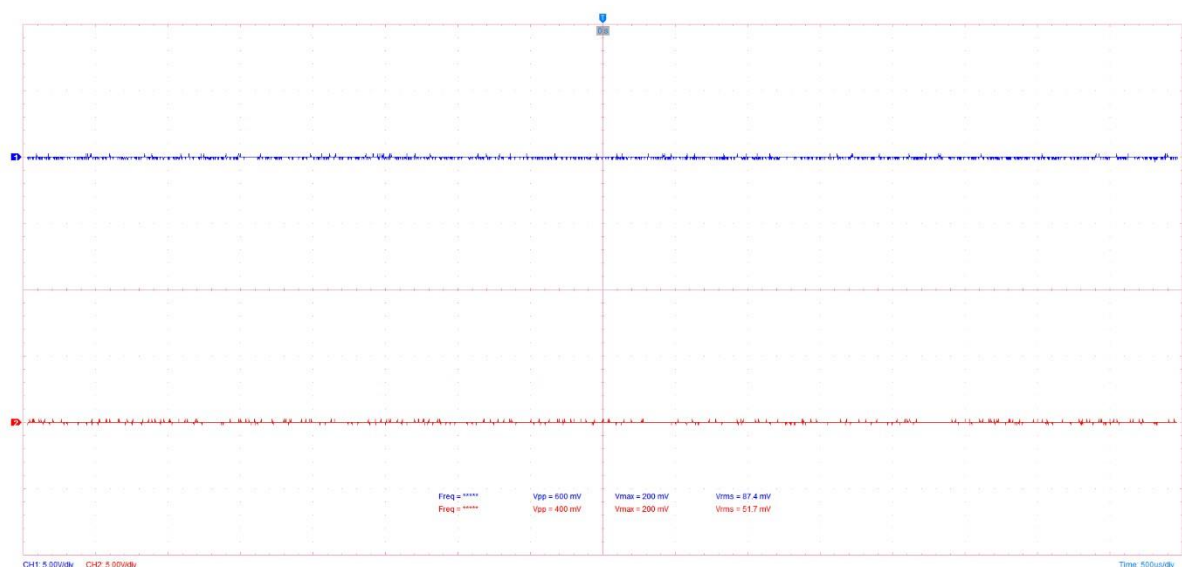
Modul pro opakování signálu, který přichází na vstup modulu. Pokaždé, co signál spadne pod hranici, je znova obnoven opakovacím signálem. Modrý graf představuje vstupní signál a zároveň kopírovaný výstup. Červený graf představuje obnovený signál při pádu signálu vstupního, je tedy invertovaný k signálu vstupnímu.



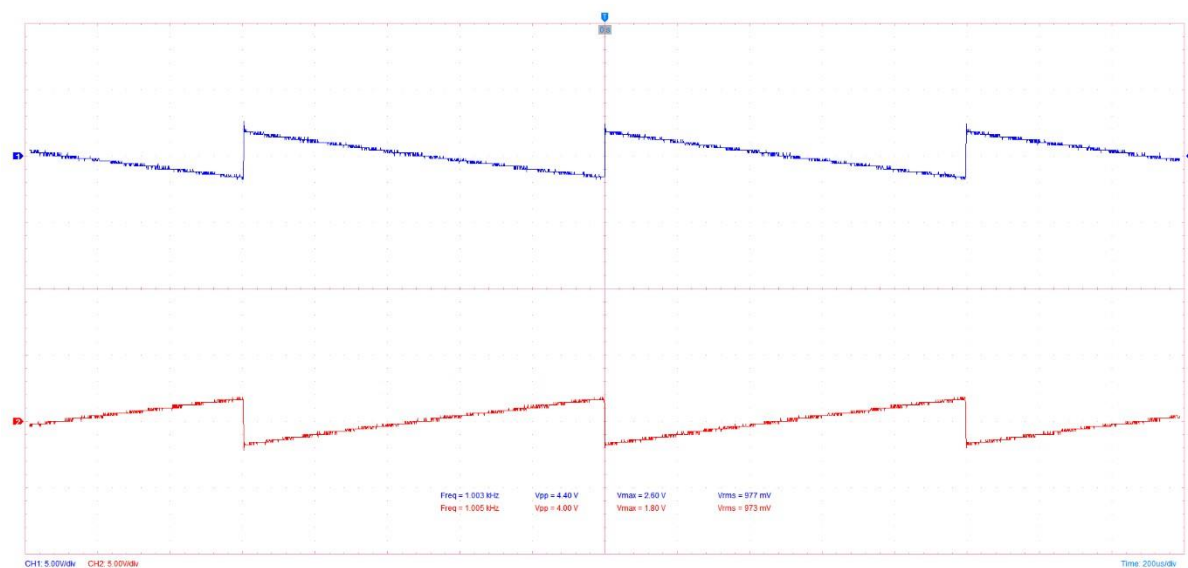
Obr. č. 159 Výstup opakovacího signálu, modrá je vstup a kopírovaný výstup, červená je výstup obnoveného signálu

2.5.10 Analýza tříkanálového mixeru s diodovým zkreslováním

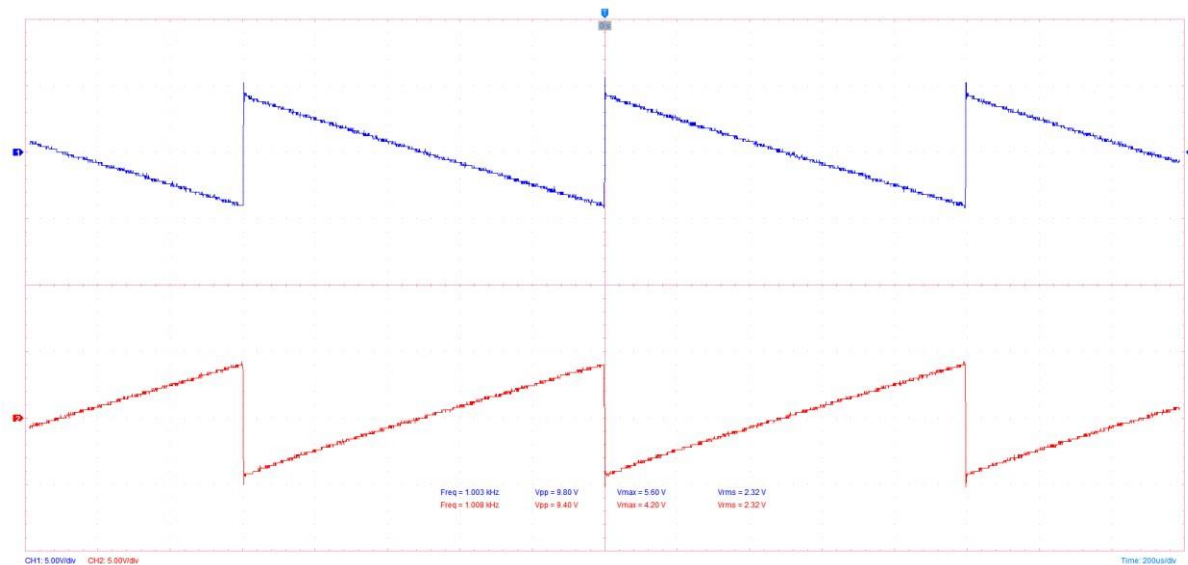
Modul slouží pro mixování individuálních signálů mezi sebou. Modul mixeru dovoluje měnit poměry mezi těmito signály. Modul mixeru má tři výstupy. Normální, invertovaný a zkreslený, který lze manuálně nastavovat. Všechny vstupy a výstupy byly otestovány při různých průbězích a frekvenci 1 kHz.



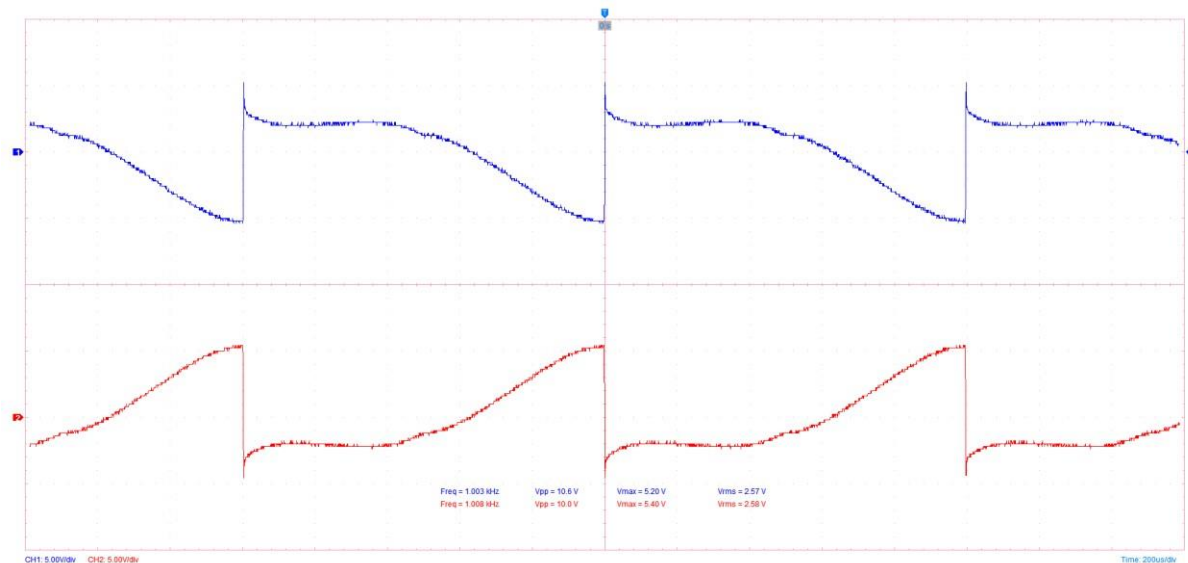
Obr. č. 160 Výstup mixeru při úplném útlumu všech tří kanálů, modrá je výstup, červená je invertovaný výstup



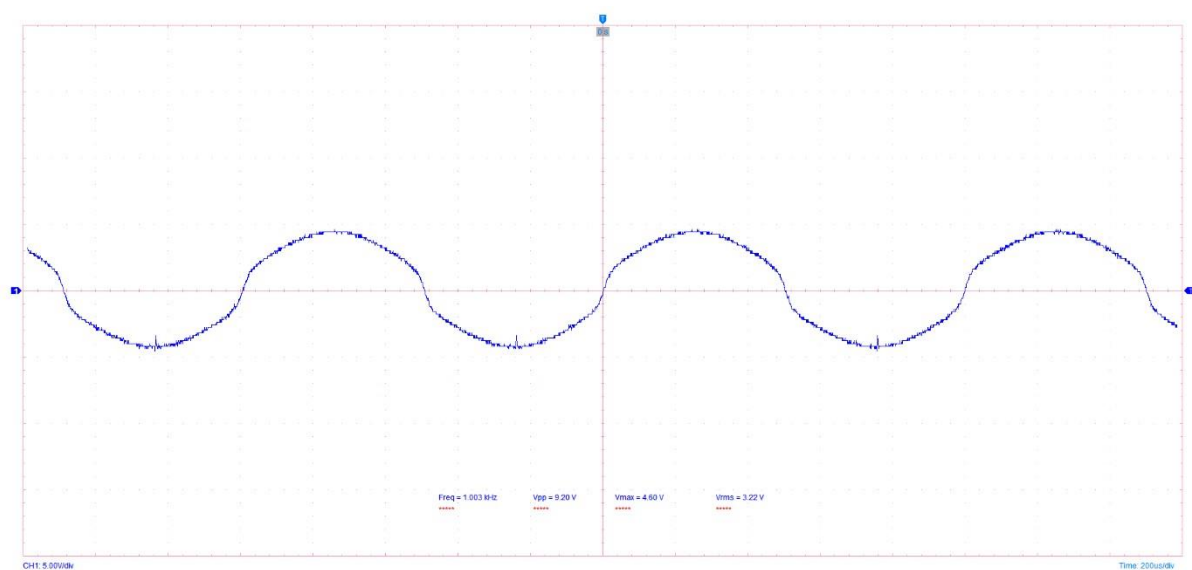
Obr. č. 163 Výstup mixéru při 1 kanálu na 50 %, 2 a 3 kanál je ztlumený, modrá je výstup, červená je invertovaný výstup



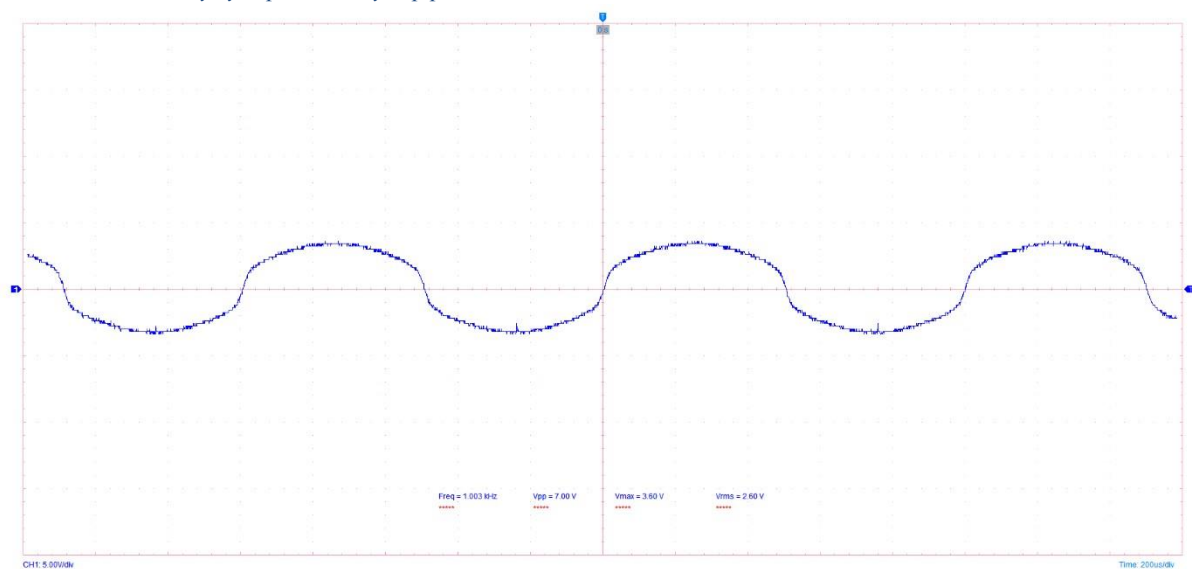
Obr. č. 162 Výstup mixéru při 1 kanálu na 100 %, 2 a 3 kanál je ztlumený, modrá je výstup, červená je invertovaný výstup



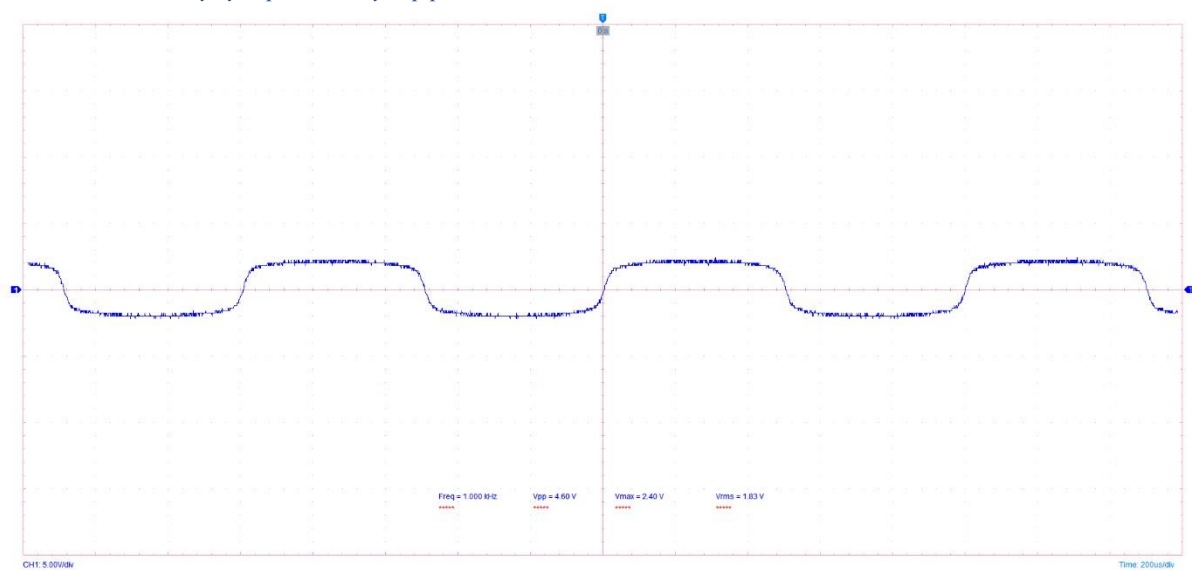
Obr. č. 161 Výstup mixéru při všech třech kanálech na 100 %, modrá je výstup, červená je invertovaný výstup



Obr. č. 166 Zkreslený výstup mixéru, výstup při 0 %



Obr. č. 165 Zkreslený výstup mixéru, výstup při 50 %



Obr. č. 164 Zkreslený výstup mixéru, výstup při 100 %

Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a realizovat modulární syntetizátory. Zařízení schopných generovat a různě tvarovat elektrické signály.

Teoretická část práce se zabývala kompletním rozбором každého modulu a jeho principu. Je v ní popsána každá elektronická součástka použitá v práci a vysvětlen jakýkoliv elektrický jev, který je součástí funkce modulárních syntetizátorů. V teoretické práci je také ukázáno pár příkladu zapojení, ve kterém lze moduly propojit od těch jednoduchých až po ty komplexní.

Praktická část se zabývá praktickým řešením, kterým byly modulární syntetizátory realizovány. Zabývá se rozkladem elektrického obvodu do části, kde každá část je individuálně popsána spolu s její funkcí v elektrickém obvodu. Další kapitoly praktické části popisují změny, které proběhly mezi prototypy a realizovanými moduly. Návrhy tištěných spojů a realizací modulů samotných. Nakonec analýzou chování modulů a sdíleného chování mezi moduly.

Cíle práce bylo dosaženo. Modulární syntetizátory byly úspěšně navrženy a realizovány. Moduly fungují a jejich charakteristické chování je totožné s tím, které bylo popsáno v teoretické části.

Modulární syntetizátory lze využít v oblasti hudebního průmyslu ke tvorbě zvukových efektů nebo imitaci hudebních nástrojů. Jeho využití najdeme také v oblasti filmové produkce pro tvorbu zvukových efektů FX a v oblasti elektrotechnických laboratoří pro generování a tvarování elektrických signálů.

Zdroje

1. WIKIPEDIE, 2003. *Hudba*. Online. 2025-02-06. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hudba>. [cit. 2025-03-02].
2. WIKIPEDIE, 2003. *Seznam hudebních stylů*. Online. 2024-10-25. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_hudebn%C3%ADch_styl%C5%AF. [cit. 2025-03-02].
3. WIKIPEDIE, 2003. *Elektrický proud*. Online. 2025-01-06. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_proud. [cit. 2025-03-02].
4. WIKIPEDIE, 2005. *Jouleovo teplo*. Online. 2024-08-22. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jouleovo_teplo. [cit. 2025-03-02].
5. WIKIPEDIE, 2003. *Elektrické napětí*. Online. 2024-09-09. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A9_nap%C4%9Bt%C3%AD. [cit. 2025-03-02].
6. WIKIPEDIE, 2003. *Elektrický odpor*. Online. 2024-11-16. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_odpor. [cit. 2025-03-02].
7. WIKIPEDIE, 2003. *Ohmův zákon*. Online. 2025-02-27. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Ohm%C5%AFv_z%C3%A1kon. [cit. 2025-03-02].
8. WIKIPEDIE, 2005. *Rezistor*. Online. 2024-11-28. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rezistor>. [cit. 2025-03-02].
9. WIKIPEDIE, 2005. *Elektrická kapacita*. Online. 2024-04-23. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_kapacita. [cit. 2025-03-02].

10. WIKIPEDIE, 2005. *Kondenzátor*. Online. 2025-02-24. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kondenz%C3%A1tor>. [cit. 2025-03-02].
11. WIKIPEDIE, 2005. *PN přechod*. Online. 2024-10-27. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/PN_p%C5%99echod. [cit. 2025-03-02].
12. WIKIPEDIE, 2005. *Dioda*. Online. 2024-11-28. z: Dostupné <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dioda>. [cit. 2025-03-02].
13. WIKIPEDIE, 2005. *LED*. Online. 2025-01-15. z: Dostupné <https://cs.wikipedia.org/wiki/LED>. [cit. 2025-03-02].
14. WIKIPEDIE, 2006. *Fotorezistor*. Online. 2024-02-04. z: Dostupné <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotorezistor>. [cit. 2025-03-02].
15. WIKIPEDIE, 2005. *Tranzistor*. Online. 2024-11-28. z: Dostupné <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tranzistor>. [cit. 2025-03-02].
16. WIKIPEDIE, 2011. *Bipolární tranzistor*. Online. 2024-03-01. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bipol%C3%A1rn%C3%AD_tranzistor. [cit. 2025-03-02].
17. WIKIPEDIE, 2006. *Termistor*. Online. 2023-03-02. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Termistor>. [cit. 2025-03-02].
18. WIKIPEDIE, 2009. *Přepínač*. Online. 2017-10-05. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99ep%C3%ADna%C4%8D>. [cit. 2025-03-02].
19. WIKIPEDIE, 2009. *Konektor*. Online. 2021-11-06. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Konektor>. [cit. 2025-03-02].
20. WIKIPEDIE, 2006. *Tavná pojistka*. Online. 2024-12-15. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tavn%C3%A1_pojistka. [cit. 2025-03-02].
21. WIKIPEDIE, 2009. *RC článek*. Online. 2024-03-07. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/RC_%C4%8Dl%C3%A1nek. [cit. 2025-03-02].
22. WIKIPEDIE, 2006. *Filtr (zpracování signálu)*. Online. 2021-06-17. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Filtr_\(zpracov%C3%A1n%C3%AD_sign%C3%A1lu\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Filtr_(zpracov%C3%A1n%C3%AD_sign%C3%A1lu)). [cit. 2025-03-02].
23. WIKIPEDIE, 2006. *Přechodový jev (elektrický obvod)*. Online. 2023-11-06. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99echodov%C3%BD_jev_\(elektrick%C3%BD_obvod\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99echodov%C3%BD_jev_(elektrick%C3%BD_obvod)). [cit. 2025-03-02].
24. WIKIPEDIE, 2005. *Dělič napětí*. Online. 2023-04-02. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C4%9Bli%C4%8D_nap%C4%9Bt%C3%AD. [cit. 2025-03-02].
25. WIKIPEDIE, 2006. *Optočlen*. Online. 2021-06-06. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Opto%C4%8Dlen>. [cit. 2025-03-02].
26. TINA, [2020]. *Diferenciální zesilovače*. Online. Dostupné z: <https://www.tina.com/cs/resources/home/practical-operationalamplifiers/differential-amplifiers/>. [cit. 2025-03-02].
27. WIKIPEDIE, 2023. *Základní zapojení tranzistoru*. Online. 2024-02-05. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kladn%C3%AD_zapojen%C3%AD_tranzistoru. [cit. 2025-03-02].

28. STANLEY, 1999. *Emitorový sledovač, zesilovač SB, fázový invertor*. Online. 1999-08-14. Dostupné z: <https://stanley.8u.cz/skola/data/ze/Emitorov%C3%BD%20sledova%C4%8D,%20zesilova%C4%8D%20SB,%20f%C3%A1zov%C3%BD%20invertor%20.pdf>. [cit. 2025-03-02].
29. RK2LOG, 2018. *Deriving the transfer function for a bridged t-network*. Online. Dostupné z: <https://rk2log.wordpress.com/2018/06/03/deriving-the-transferfunction-for-a-bridged-t-network-pt-1/>. [cit. 2025-03-02].
30. WIKIPEDIE, 2005. *Klopný obvod*. Online. 2022-05-24. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Klopn%C3%BD_obvod. [cit. 2025-03-02].
31. WIKIPEDIE, 2010. *Schmittův klopný obvod*. Online. 2023-10-12. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Schmitt%C5%AFv_klopn%C3%BD_obvod. [cit. 2025-03-02].
32. WIKIPEDIE, 2006. *Operační zesilovač*. Online. 2024-02-01. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Opera%C4%8Dn%C3%AD_zesilova%C4%8D. [cit. 2025-03-02].
33. WIKIPEDIE, 2015. *Eurorack*. Online. 2025-02-20. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Eurorack>. [cit. 2025-03-02].
34. WIKIPEDIE, 2006. *Roland TR-606*. Online. 2025-02-19. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Roland_TR-606. [cit. 2025-03-02].
35. WIKIPEDIE, 2006. *Bicí souprava*. Online. 2024-12-01. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bic%C3%AD_souprava. [cit. 2025-03-02].
36. WIKIPEDIE, 2009. *Roland TR-808*. Online. 2021-06-06. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Roland_TR-808. [cit. 2025-03-02].
37. WIKIPEDIE, 2006. *Bílý šum*. Online. 2022-12-07. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%ADl%C3%BD_%C5%A1um. [cit. 2025-03-02].
38. WIKIPEDIE, 2006. *Barvy šumu*. Online. 2024-10-01. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Barvy_%C5%A1umu. [cit. 2025-03-02].
39. WIKIPEDIE, 2004. *FR-4*. Online. 2024-04-12. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/FR-4>. [cit. 2025-03-02].

Seznam obrázků

Obr. č. 1 Rezistor	2
Obr. č. 2 Kondenzátor.....	2
Obr. č. 3 Dioda	2
Obr. č. 4 Světelná dioda.....	2
Obr. č. 5 Foto rezistor	3
Obr. č. 6 Tranzistor	3
Obr. č. 7 Termistor	3
Obr. č. 8 Přepínač	3
Obr. č. 9 Konektor	3
Obr. č. 10 Pojistka	3
Obr. č. 11 RC článek	4
Obr. č. 12 Diodový článek	4
Obr. č. 13 Dělič napětí	4
Obr. č. 14 Nalevo potenciometr, napravo trimr	4
Obr. č. 15 Odporový optický izolátor	5
Obr. č. 16 Diodový žebřík	5
Obr. č. 17 Rozdílový zesilovač	5
Obr. č. 18 Emitorový sledovač	5
Obr. č. 19 Limitační odpor	6
Obr. č. 20 T-můstek	6
Obr. č. 21 Invertovaný Schmittův klopný obvod	6
Obr. č. 22 Operační zesilovač	6
Obr. č. 23 Blok frekvence	7
Obr. č. 24 Blok stoupání	7
Obr. č. 25 Blok sčítače.....	7
Obr. č. 26 Blok zesilovače	7
Obr. č. 27 Blok limitace	7
Obr. č. 28 Blok zkreslení	8
Obr. č. 29 Blok sklápěče	8
Obr. č. 30 Blok amplitudy	8
Obr. č. 31 Blok tlumení	8
Obr. č. 32 Nalevo manuální nastavení, uprostřed ovládané nastavení, napravo druhý způsob znázornění manuálního nastavení	8
Obr. č. 33 Bloky frekvenčních pásem	9
Obr. č. 34 Bloky generátorů signálů	9
Obr. č. 35 Bloky modulátorů	9
Obr. č. 36 Bloky ADSR	9
Obr. č. 37 Blok napěťově řízeného oscilátoru	10
Obr. č. 38 Blokový diagram napěťově řízeného oscilátoru	10
Obr. č. 39 Blok napěťově řízeného filtru	12
Obr. č. 40 Blokový diagram horní propusti napěťově řízeného filtru	12
Obr. č. 41 Blokový diagram dolní propusti napěťově řízeného filtru	12

Obr. č. 42 Blokový diagram napětově řízeného zesilovače	13
Obr. č. 43 Blok napětově řízeného zesilovače	13
Obr. č. 44 Blokový diagram analogového kopače	14
Obr. č. 45 Blok analogového kopače	14
Obr. č. 46 Blok hajtek ve stylu TR-606	15
Obr. č. 47 Blokový diagram hajtek ve stylu TR-606	15
Obr. č. 48 Blok virblu ve stylu TR-808	16
Obr. č. 49 Blokový diagram virblu ve stylu TR-808	16
Obr. č. 50 Blokový diagram ADSR	17
Obr. č. 51 Blok ADSR	17
Obr. č. 52 Blokový diagram dvojitého sklápěče signálu	18
Obr. č. 53 Blok dvojitého sklápěče signálu	18
Obr. č. 54 Blok opakovače signálu	18
Obr. č. 55 Blokový diagram opakovače signálu	18
Obr. č. 56 Blok tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním	19
Obr. č. 57 Blokový diagram tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním	19
Obr. č. 58 Blokový diagram oscilátoru s dvojitým sklápěčem signálu	20
Obr. č. 59 Blokový diagram oscilátoru se zesilovačem řízeným ADSR	20
Obr. č. 60 Blokový diagram bicích nástrojů s tří kanálovým mixérem	21
Obr. č. 61 Blokový diagram virblu s řízeným filtrem	21
Obr. č. 62 Blokový diagram komplexního zapojení euroracku	22
Obr. č. 63 Nalevo normalizované napájení 16pin a 10pin, uprostřed 1 verze napájení modulů, napravo 2 verze napájení modulů	23
Obr. č. 64 Limitační obvod modulů	23
Obr. č. 65 Napájecí reference integrovaných obvodů modulů	23
Obr. č. 66 Vstup napětově řízeného oscilátoru	24
Obr. č. 67 Oscilátor napětově řízeného oscilátoru	25
Obr. č. 68 Modulátor pily napětově řízeného oscilátoru	25
Obr. č. 69 Modulátor trojúhelníku napětově řízeného oscilátoru	26
Obr. č. 70 Modulátor obdélníku napětově řízeného oscilátoru	26
Obr. č. 71 Mixovaný výstup pily a obdélníku	27
Obr. č. 72 Modulátor sinusoidy napětově řízeného oscilátoru	27
Obr. č. 73 Vstup dolní propusti napětově řízeného filtru	27
Obr. č. 74 Vstup horní propusti napětově řízeného filtru	27
Obr. č. 75 Ovládání horní propusti napětově řízeného filtru	28
Obr. č. 76 Ovládání dolní propusti napětově řízeného filtru	28
Obr. č. 77 Zpětná vazba dolní propusti napětově řízeného filtru	29
Obr. č. 78 Filtr dolní propusti napětově řízeného filtru	29
Obr. č. 79 Filtr horní propusti napětově řízeného filtru	29
Obr. č. 80 Zpětná vazba horní propusti napětově řízeného filtru	29
Obr. č. 81 Vstup a tranzistorový rozdílový zesilovač napětově řízeného zesilovače .	30
Obr. č. 82 Ovládání napětově řízeného zesilovače	30

Obr. č. 83 Operační rozdílový zesilovač a výstup napětově řízeného zesilovače	30
Obr. č. 84 Vstup analogového kopače	31
Obr. č. 85 Oscilátor analogového kopače	31
Obr. č. 86 Stoupání analogového kopače	32
Obr. č. 87 Doba pádu analogového kopače	32
Obr. č. 88 Výstup analogového kopače	33
Obr. č. 89 Vstup hajtek ve stylu TR-606	33
Obr. č. 90 Doba pádu hajtek ve stylu TR-606	34
Obr. č. 91 Nastavení frekvence hajtek ve stylu TR-606	34
Obr. č. 92 Oscilátor hajtek ve stylu TR-606	35
Obr. č. 93 Pásmová propust hajtek ve stylu TR-606	36
Obr. č. 94 Modulátor hlasitosti hajtek ve stylu TR-606	36
Obr. č. 95 Aktivní rezonující horní propust druhého řádu hajtek ve stylu TR-606	37
Obr. č. 96 Vstup virblu ve stylu TR-808	37
Obr. č. 97 Oscilátor virblu ve stylu TR-808	38
Obr. č. 98 Doba pádu virblu ve stylu TR-808	38
Obr. č. 99 Stoupání virblu ve stylu TR-808	39
Obr. č. 100 Generátor bílého šumu virblu ve stylu TR-808	39
Obr. č. 101 Modulátor hlasitosti virblu ve stylu TR-808	40
Obr. č. 102 Aktivní rezonanční horní propust druhého řádu virblu ve stylu TR-808 .	40
Obr. č. 103 Výstup virblu ve stylu TR-808	40
Obr. č. 104 Vstup a S funkce modulu ADSR	41
Obr. č. 105 A a R(D) funkce, dále výstup modulu ADSR	41
Obr. č. 106 Vstup dvojitého sklápěče signálu	42
Obr. č. 107 První stupeň dvojitého sklápěče signálu	42
Obr. č. 108 Druhý stupeň a výstup dvojitého sklápěče signálu	42
Obr. č. 109 Obvod opakovače signálu	43
Obr. č. 110 Vstupy tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním	43
Obr. č. 111 Zkreslený výstup tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním	44
Obr. č. 112 Normální a invertovaný výstup tří kanálového mixeru s diodovým zkreslováním	44
Obr. č. 113 Potenciometr RK097	45
Obr. č. 114 Audio konektory, nalevo 6,3 mm, napravo 3,5 mm	45
Obr. č. 115 Knoflíky potenciometrů, nalevo užší, napravo širší	45
Obr. č. 116 Logo KiCAD	46
Obr. č. 117 Logo Freerouting	46
Obr. č. 118 Obrázek dimenzování modulu	47
Obr. č. 119 Ukázka DPS vytvořeného v KiCAD	48
Obr. č. 120 Logo JLCPCB.....	48
Obr. č. 121 Výstup obdélníkového průběhu při frekvenci 1 kHz s pracovním cyklem 50 %	49
Obr. č. 122 Výstup pilovitého průběhu při frekvenci 1 kHz	49
Obr. č. 123 Výstup sinusového průběhu při frekvenci 1 kHz	50

Obr. č. 124 Výstup trojúhelníkového průběhu při frekvenci 1 kHz	50
Obr. č. 125 Výstup obdélníkového průběhu při frekvenci 1 kHz s pracovním cyklem 75 %	50
Obr. č. 126 Výstup mixovaného průběhu při frekvenci 1 kHz s poměrem 2:1	51
Obr. č. 127 Výstup mixovaného průběhu při frekvenci 1 kHz s poměrem 1:2	51
Obr. č. 128 Výstup mixovaného průběhu při frekvenci 1 kHz s poměrem 1:1	51
Obr. č. 129 Modrá – ovládací signál, červená – výstupní signál ovládaný ovládacím signálem, vstupním signálem je pila.....	54
Obr. č. 130 Výstup analogového kopače bez parametrické úpravy	54
Obr. č. 131 Výstup analogového kopače s úpravou tónu	55
Obr. č. 132 Výstup analogového kopače s úpravou stoupání	55
Obr. č. 133 Výstup analogového kopače s úpravou frekvence	55
Obr. č. 134 Výstup analogového kopače s úpravou zkreslení	56
Obr. č. 135 Výstup analogového kopače s úpravou doby pádu	56
Obr. č. 136 Výstup analogového kopače s úpravou síly úderu	56
Obr. č. 137 Výstup hajtek ve stylu TR-606 s úpravou frekvence	57
Obr. č. 138 Výstup hajtek ve stylu TR-606 bez parametrické úpravy	57
Obr. č. 139 Výstup hajtek ve stylu TR-606 s úpravou síly úderu	58
Obr. č. 140 Výstup hajtek ve stylu TR-606 s úpravou doby pádu	58
Obr. č. 141 Výstup hajtek ve stylu TR-606 s úpravou tónu	58
Obr. č. 142 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou stoupání	59
Obr. č. 143 Výstup virblu ve stylu TR-808 bez parametrické úpravy.....	59
Obr. č. 144 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou síly úderu	60
Obr. č. 145 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou otřesu	60
Obr. č. 146 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou tónu	60
Obr. č. 147 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou doby pádu	61
Obr. č. 148 Výstup virblu ve stylu TR-808 s úpravou velikosti počátečního rozkmitu	61
Obr. č. 149 Výstup s upraveným parametrem A, modrá je vstup, červená je výstup .	62
Obr. č. 150 Výstup bez úpravy parametrů, modrá je vstup, červená je výstup	62
Obr. č. 151 Výstup se všemi parametry, modrá je vstup, červená je výstup	63
Obr. č. 152 Výstup s upraveným parametrem S, modrá je vstup, červená je výstup ..	63
Obr. č. 153 Výstup s upraveným parametrem R(D), modrá je vstup, červená je výstup	63
Obr. č. 154 Výstup sklápěče se sklopením 25 %.....	64
Obr. č. 155 Výstup sklápěče se sklopením 0 %.....	64
Obr. č. 156 Výstup sklápěče se sklopením 100 %.....	65
Obr. č. 157 Výstup sklápěče se sklopením 75 %.....	65
Obr. č. 158 Výstup sklápěče se sklopením 50 %.....	65
Obr. č. 159 Výstup opakovače signálu, modrá je vstup a kopírovaný výstup, červená je výstup obnoveného signálu	66
Obr. č. 160 Výstup mixeru při úplném útlumu všech tří kanálů, modrá je výstup,	

červená je invertovaný výstup	66
Obr. č. 161 Výstup mixéru při všech třech kanálech na 100 %, modrá je výstup, červená je invertovaný výstup	67
Obr. č. 162 Výstup mixéru při 1 kanálu na 100 %, 2 a 3 kanál je ztlumený, modrá je výstup, červená je invertovaný výstup	67
Obr. č. 163 Výstup mixéru při 1 kanálu na 50 %, 2 a 3 kanál je ztlumený, modrá je výstup, červená je invertovaný výstup	67
Obr. č. 164 Zkreslený výstup mixéru, výstup při 100 %	68
Obr. č. 165 Zkreslený výstup mixéru, výstup při 50 %	68
Obr. č. 166 Zkreslený výstup mixéru, výstup při 0 %	68

Seznam tabulek

Tab. č. 1 Tabulka velikostí modulu v jednotkách HP	47
--	----

Seznam grafů

Graf č. 1 Přenosová a fázová charakteristika rezonující dolní propusti při mezní frekvenci 300 Hz	52
Graf č. 2 Přenosová a fázová charakteristika dolní propusti při mezní frekvenci 300 Hz	52
Graf č. 3 Přenosová a fázová charakteristika rezonující horní propusti při mezní frekvenci 300 Hz	53
Graf č. 4 Přenosová a fázová charakteristika horní propusti při mezní frekvenci 300 Hz	53