

Projektowanie elektronicznych układów sterowania

Projektowanie analogowych efektów gitarowych

Maciej Markowski 239409

Prowadzący: Dr Inż. Rafał Nowak

AISR WEEIA zimowy 2021/22

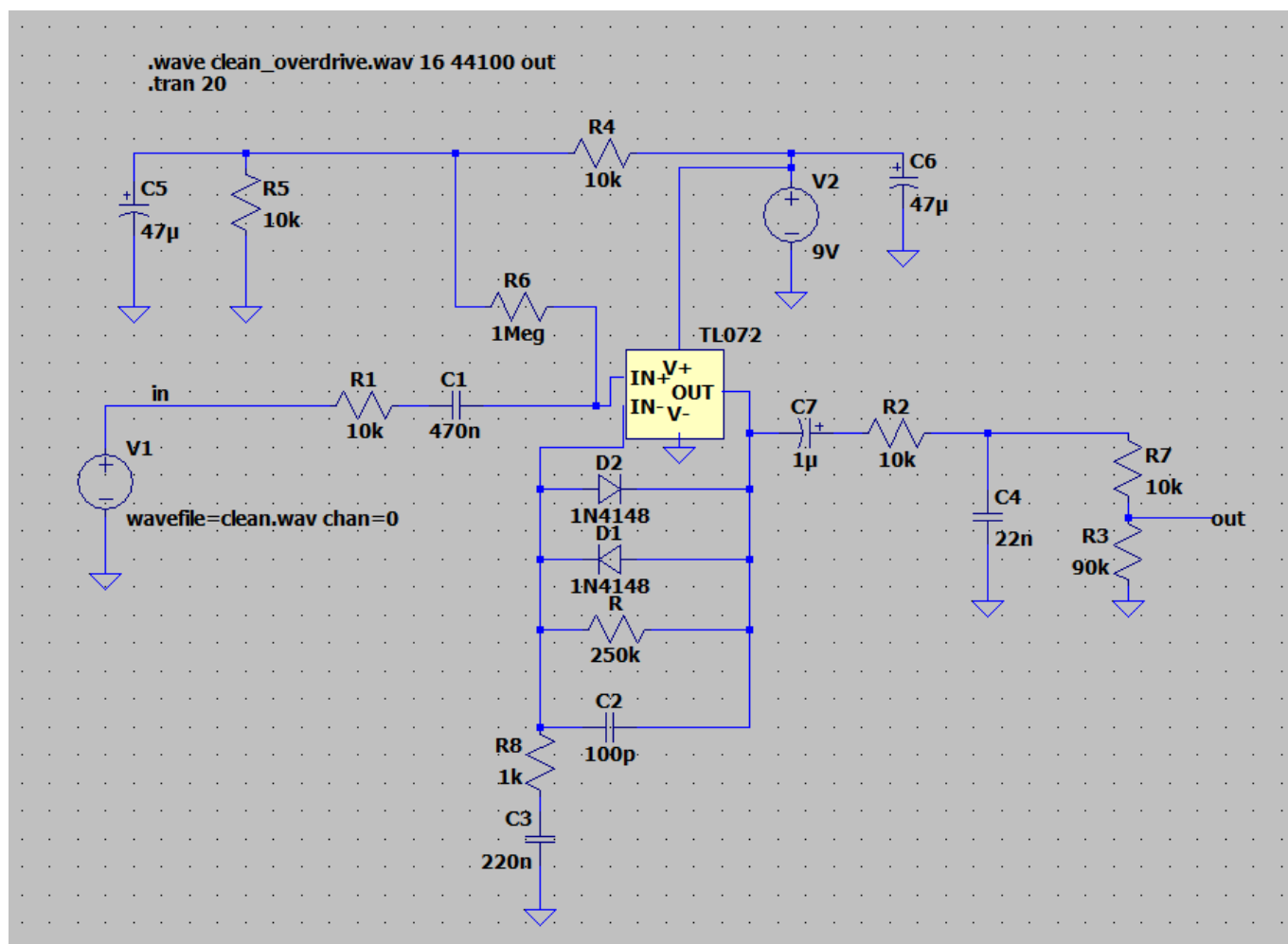
Spis treści

1. Rekreacja i analiza dostępnych na rynku efektów i stosowanych w nich rozwiązań
 - I. Prosty efekt typu overdrive/przester
 - a. Schemat układu i opis działania
 - b. Analiza wpływu na sygnał sinusoidalny oraz rzeczywisty audio
 - c. Wpływ modyfikacji parametrów
 - II. Efekt typu octave up Greenringer
 - a. Schemat układu
 - b. Analiza wpływu na sygnał sinusoidalny oraz rzeczywisty audio
 - III. Bardziej złożone przykłady układów typu overdrive
 - a. Schemat układu i opis działania
 - b. Analiza wpływu na sygnał sinusoidalny oraz rzeczywisty audio
 - IV. Alternatywny sposób osiągania przesteru dźwięku
 - a. Schemat układu i opis działania
 - b. Analiza wpływu na sygnał sinusoidalny oraz rzeczywisty audio
2. Tworzenie własnego efektu gitarowego na podstawie przeprowadzonych analiz oraz propozycje modyfikacji
 - I. Połączenie układów typu hard i soft clipping
 - a. Schemat układu i opis działania
 - b. Analiza wpływu na sygnał sinusoidalny oraz rzeczywisty audio
 - II. Dołączenie etapu EQ do efektu
 - III. Dołączenie bufora wyjściowego
 - IV. Linia feedforward części oryginalnego sygnału
 - V. Badanie wpływu parametrów
 - VI. Ostateczny schemat efektu oraz konstrukcja fizycznego odpowiednika

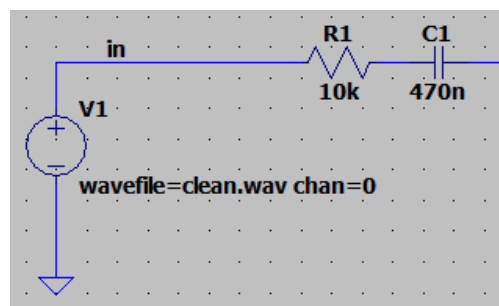
1. Rekreacja i analiza dostępnych na rynku efektów

I. Prosty efekt typu overdrive/przester

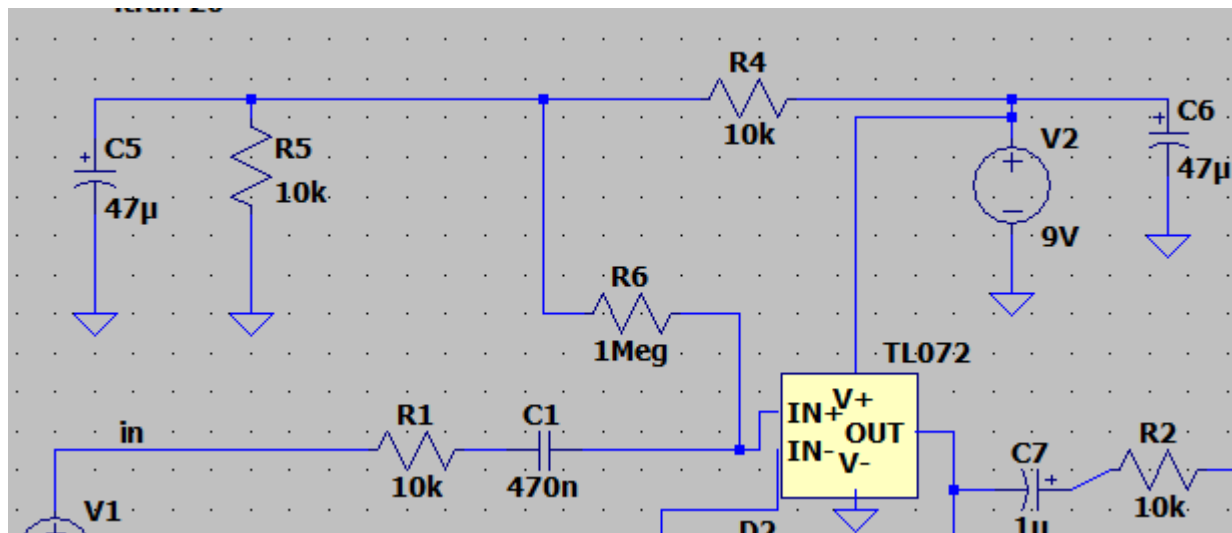
a. Schemat układu i opis działania



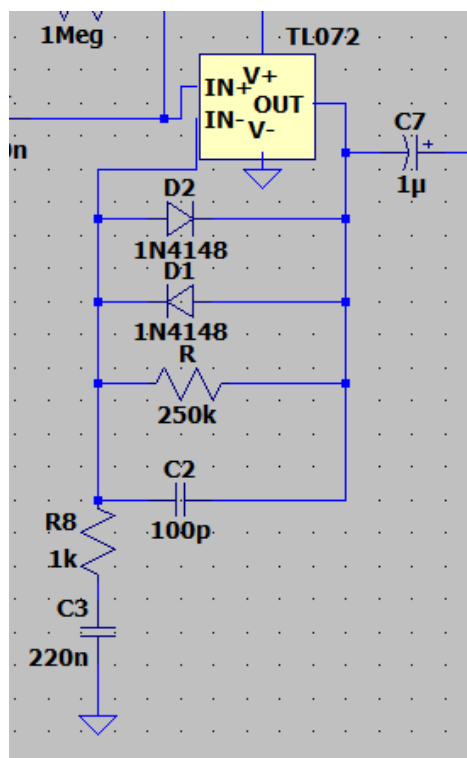
Schemat można podzielić na kilka często spotykanych w efektach gitarowych części, z czego tylko jedna jest charakterystyczna dla efektów typu overdrive.



Część wejściowa sygnału z szeregowo włączonym kondensatorem blokującym sygnał o stałej wartości, które mogłyby dostać się do układu poprzez wtyczkę rzeczywistego układu oraz rezystorem ograniczającym prądy w układzie, chroniąc przed wyładowaniami. Wejściem układu w przypadku symulacji może być generator fali lub plik audio typu .wav.



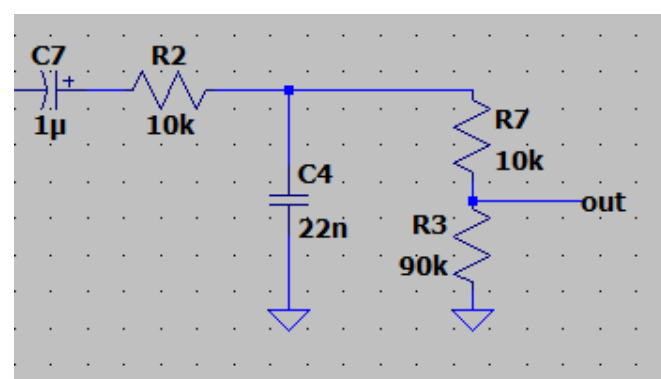
Część zasilająca, w rzeczywistym układzie źródłem 9V jest gniazdo DC i/lub bateria, wspierane równoległymi kondensatorami podtrzymującą napięcie w razie nieidealnej pracy źródła. Poza zasilaniem wzmacniacza, podnosi poprzez rezystor 1M napięcie na jego wejściu nieodwracające o 4.5V, tak, by wchodzący sygnał audio, oscylujący wokół 0V, nie był ucinany przez zasilanie wzmacniacza operacyjnego zasilanego w zakresie od 0 do 9V.



Głównymi elementami decydującymi o wpływie działania wzmacniacza na sygnał są równolegle przeciwsobnie ułożone ucinające diody prostownicze. Kiedy różnica między wyjściem wzmacniacza a sygnałem wyniesie więcej niż napięcie przewodzenia diod, ucinają one sygnał wzmacniany przez wzmacniacz operacyjny (o wzmocnieniu ok. 1+250K/1K) do swoich napięć przewodzenia (dla diod 1N4148 jest to np. ok. 1V), co zmienia charakter sygnału, tzn. dodając harmoniczne tworzy typowe brzmienie efektów typu overdrive.

W obwodzie sprzężenia zwrotnego występują również filtry, także mające wpływ na sygnał dźwiękowy. Rezystor R8 oraz kondensator C3 tworzą filtr górnoprzepustowy (wraz ze wzrostem częstotliwości impedancja C3 maleje) o częstotliwości odcięcia ok. 723 Hz natomiast kondensator C2 z rezystorem R tworzą filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia ok. 6,3 kHz, co łącznie tworzy filtr bandpass. Wartości częstotliwości odcięcia w tym przykładzie mogą wydawać się bardzo ograniczające, w ten sposób tworzą jednak unikalne brzmienie efektu. Wartości kondensatorów oraz dobór diod i wzmacniacza jest tym co najczęściej różni efekty typu overdrive. Wartym wspomnienia może

być również popularność stosowania filtrów w układzie aktywnym, tzn. w sprzężeniu zwrotnym wzmacniacza, co zapewnia im izolację od obciążenia reszty układu po nim.

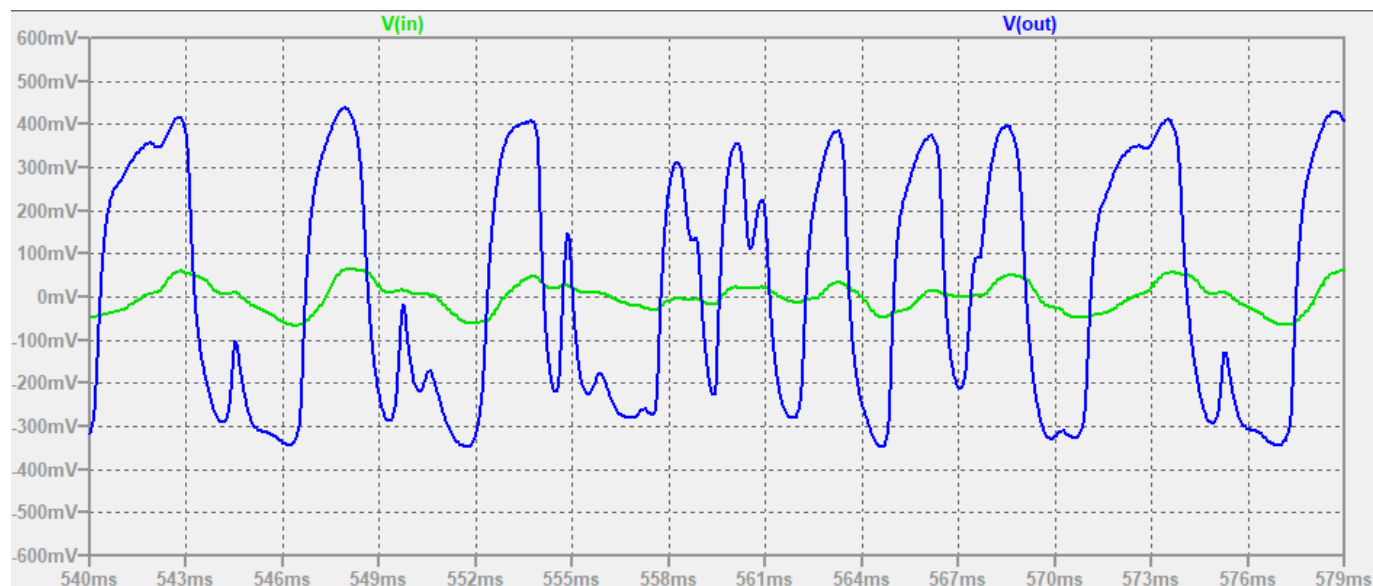


Ostatnim elementem jest typowe dla efektów gitarowych wyjście składające się z filtra dolnoprzepustowego złożonego z rezystora R2 i kondensatora C4 (o w tym wypadku częstotliwości odcięcia ok. 723 Hz), rezystorów R3 i R7 decydujących o wyjściowym poziomie sygnału i podobnego do wejściowego kondensatora C7 zabezpieczającego rzeczywisty układ.

Przy stworzonej konfiguracji wyjściowy filtr przepuszcza dźwięki o dość niskiej częstotliwości, jest to jednak jedynie dobór na potrzeby symulacji. W rzeczywistym układzie w miejscu rezystora R2, pary R3 i R7 oraz rezystora R umieszczone zostałyby potencjometry by umożliwić użytkownikowi kontrolę brzmienia, jednakże w środowisku LTSpice potencjometry ani innej formy rezystory o zmiennej rezystancji nie istnieją.

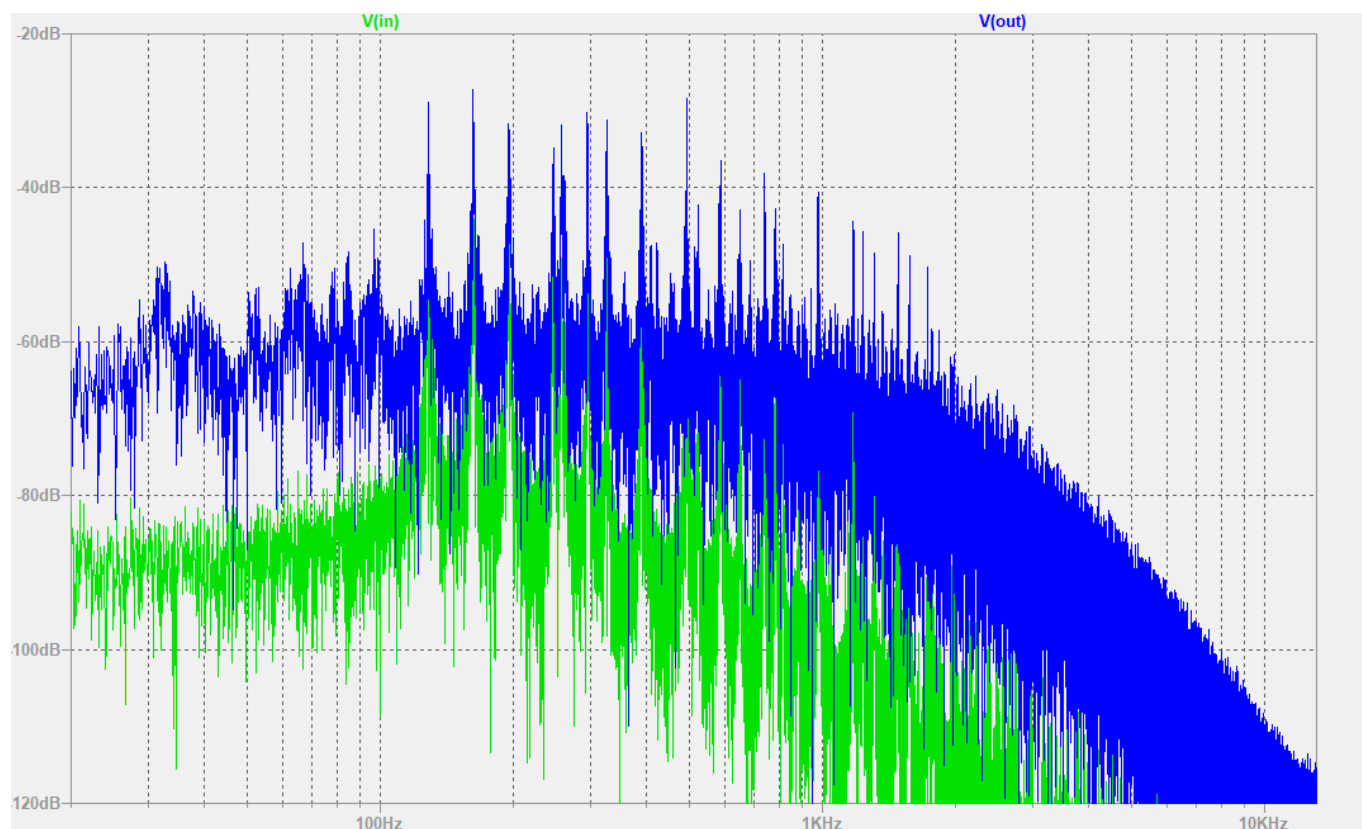
b. Analiza wpływu na sygnał sinusoidalny oraz rzeczywisty audio

Porównanie wyjścia układu oraz wejścia dla rzeczywistego sygnału audio



Poza oczywistym ogólnym wzmacnieniem sygnału, warto zwrócić uwagę na występujące wyraźne ucinanie go, nie będące jednak ucięciem płaskim zarówno ze względu jak na charakter sygnału oryginalnego jak i wpływ kondensatorów występujących w sprzężeniu zwrotnym oraz filtru poza nim. Wpływ na to może również mieć nieidealna (nie prostoliniowa) charakterystyka stosowanych diod. Częstym obszarem modyfikacji efektów jest dobór różnych diod w celu uzyskania brzmienia przesteru wynikającego zarówno z charakterystyki diody jak i wysokości jej napięcia przewodzenia – im mniejsze jest, tym bardziej sygnał zostaje skompresowany, ściśnięty a przester będzie brzmiał „ostrzej”, efekt będzie bardziej zauważalny.

Analiza FFT wejściowego i wyjściowego sygnału:



W przypadku symulacji uzyskanych w LTSpice dla sygnałów audio nie należy zwracać uwagi na fakt, że wszystkie wartości na osi Y są ujemne, wynika to głównie z faktu, iż aby móc przyjmować sygnały audio, muszą być one w formacie .wav, który z kolei operuje jedynie na sygnałach z zakresu $\pm 1V$. Oś X prezentuje skalę logarytmiczną od 20Hz do 20kHz a oś Y została ucięta do wartości -120dB gdyż tak słaby sygnał nie będzie słyszalny.

Widoczny jest wpływ wyjściowego filtra dolnoprzepustowego oraz wyraźne wzmocnienie harmonicznym poniżej jego częstotliwości odcięcia, w szczególności w zakresie częstotliwości od ok. 70Hz, co jest zbliżone do częstotliwości najniższej możliwej do zagrania na gitarze nuty E o częstotliwości 82.4Hz w standardowym nastrojeniu. Mniej wyraźniej odstępujące są również harmoniczne dominujące, co ponownie pokazuje zwiększenie ich ilości poprzez diody ucinające.

Analiza została również wykonana w zewnętrznym programie do analizy częstotliwościowej SPAN:

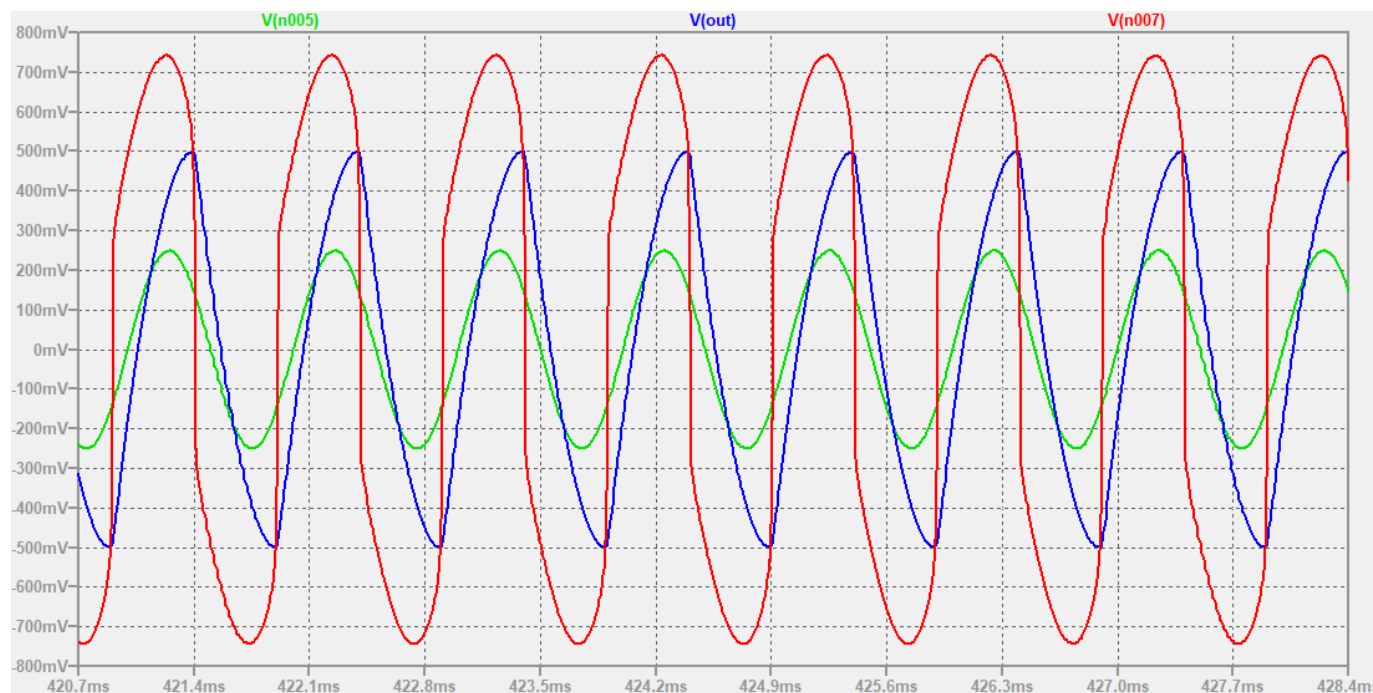
Sygnał oryginalny (wejściowy) rzeczywisty



Sygnał wyjściowy:



Analiza wpływu na sygnał wejściowy będący sinusoidą o częstotliwości 1kHz i amplitudzie 0.25V



Na obrazku poza sygnałami wyjściowymi i wejściowymi załączony został również sygnał czerwony V(n006) tuż po etapie ucinania przez diody. Odształcenie sygnału jest widoczne, przy czym ucinanie ponownie nie jest płaskie ze względu na strukturę układu. Zauważalne jest również przesunięcie fazowe sygnału wynikające z występujących w układzie elementów o charakterze pojemnościowym oraz wpływ wyjściowego filtra osłabiającego sygnał o zadanej częstotliwości powyżej f odcięcia.

Analiza częstotliwościowa wykonana została w zakresie od 20 do 20kHz, co w przybliżeniu odpowiada zakresowi słyszalnemu przez człowieka.

Analiza harmoniczna sygnału wejściowego i wyjściowego:



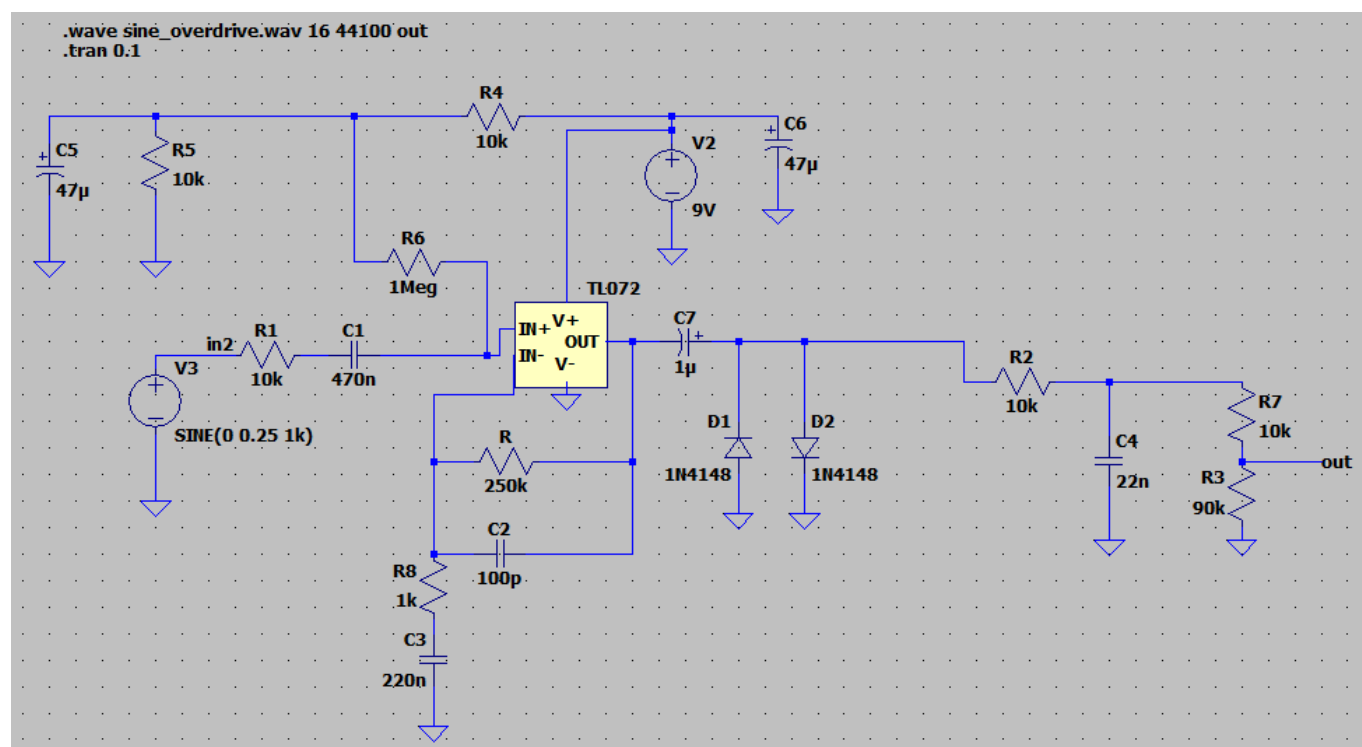
W sygnale wejściowym występuje oczywiście tylko jedna harmoniczna dominująca 1kHz oraz szum pochodzący od LTSpice, w którym zachodzi kompresja danych.

W sygnale wyjściowym poza główną harmoniczną 1kHz pojawiły się liczne wyższe, co ma wyraźny wpływ na sygnał i jego brzmienie. Ponownie widać osłabienie sygnału wynikające z wyjściowego filtra.

c. Wpływ modyfikacji parametrów

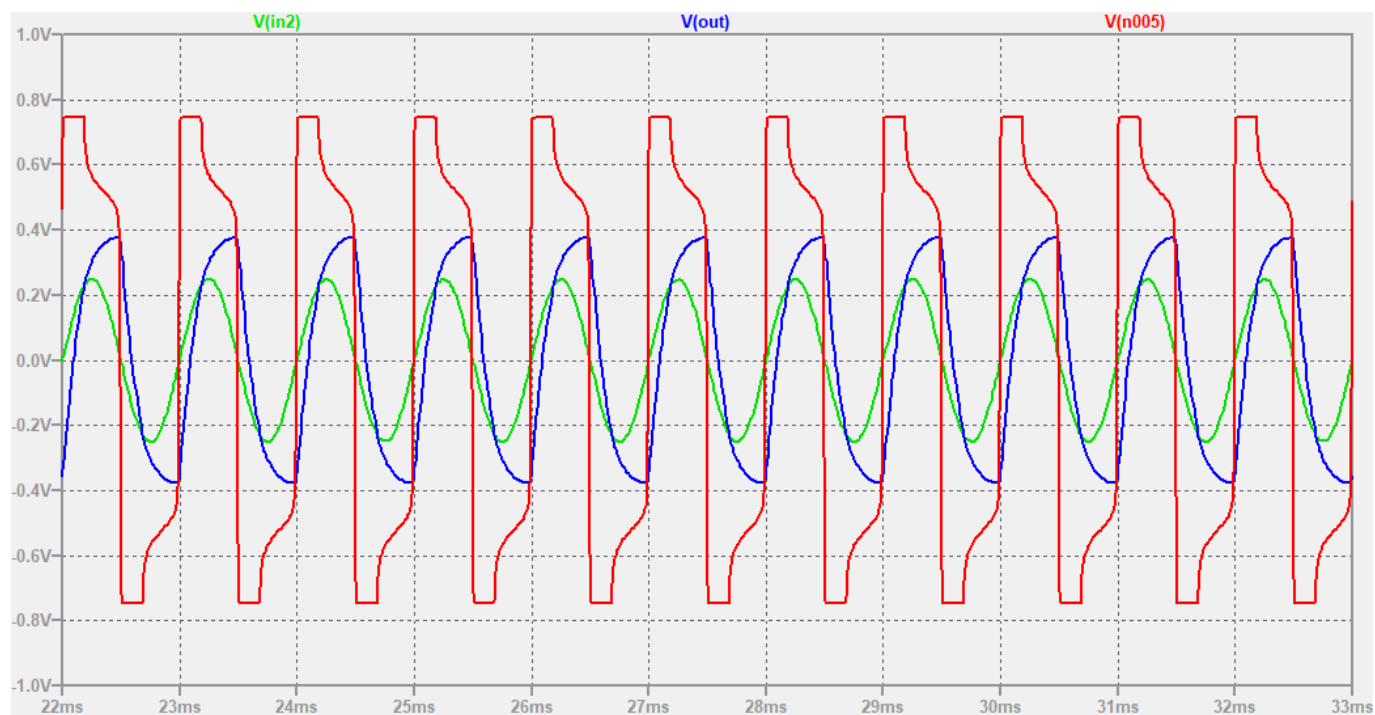
Warte wspomnienia przy układach typu overdrive / przesterowych jest najczęściej spotykane rozgraniczenie na układy tzw. soft clipping, których przykład stanowił przedstawiony powyżej, gdzie diody ucinające umieszczone zostały w sprzężeniu zwrotnym wzmacniacza oraz układy hard clipping, w których diody znajdują się poza nimi.

Aby pokazać różnicę we wpływie na sygnał, powyższy układ został odpowiednio zmodyfikowany:



Sygnałem jest ponownie sinusoida o częstotliwości 1kHz

Wynik symulacji:

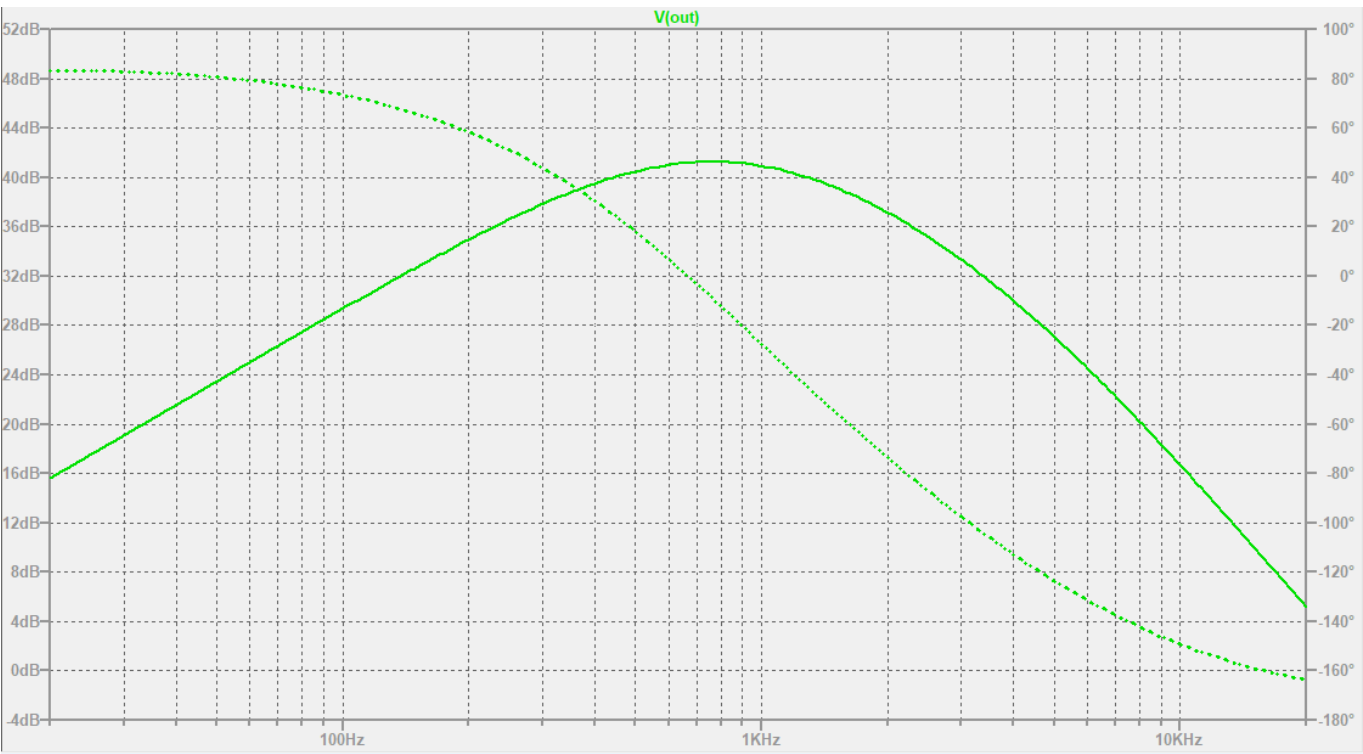


Jak widać ucinanie jest tym razem dużo ostrzejsze, a nie zaokrąglane jak poprzednio.

Oraz analiza harmoniczna sygnału wyjściowego



Charakterystyki częstotliwościowe amplitudy (linia ciągła) i fazy (linia przerywana):



Charakterystyki stworzone zostały wykorzystując analizę AC Sweep od 20 do 20kHz. Niestety LTSpice nie umożliwia rozdzielenia charakterystyk na dwa wykresy. Widoczny jest wpływ zastosowanych filtrów górno i dolnoprzepustowych nakładających się na siebie.

Przykładowy Bill of Materials dla przedstawionego układu o prostej strukturze, wygenerowany przez LTSpice:

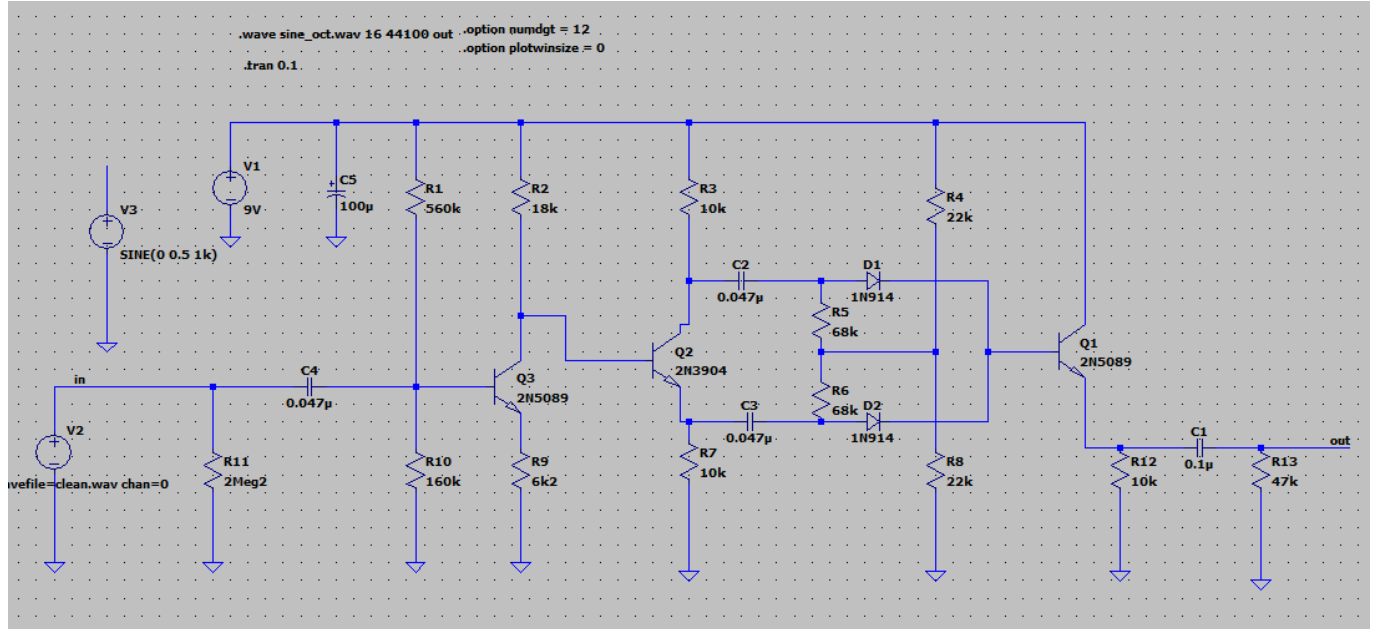
--- Bill of Materials ---

Ref.	Mfg.	Part No.	Description	R	--	--	resistor, 250K
C1	--	--	capacitor, 470nF	R1	--	--	resistor, 10K
C2	--	--	capacitor, 100pF	R2	--	--	resistor, 10K
C3	--	--	capacitor, 220nF	R3	--	--	resistor, 100K
C4	--	--	capacitor, 22nF	R4	--	--	resistor, 10K
C5	--	--	capacitor, 47µF	R5	--	--	resistor, 10K
C6	--	--	capacitor, 47µF	R6	--	--	resistor, 1M
C7	--	--	capacitor, 1µF	R8	--	--	resistor, 1K
D1	OnSemi	1N4148	diode	U1	(unknown)	TL072	(unknown 3rd party model)
D2	OnSemi	1N4148	diode				

II. Efekt typu octave up Greenringer

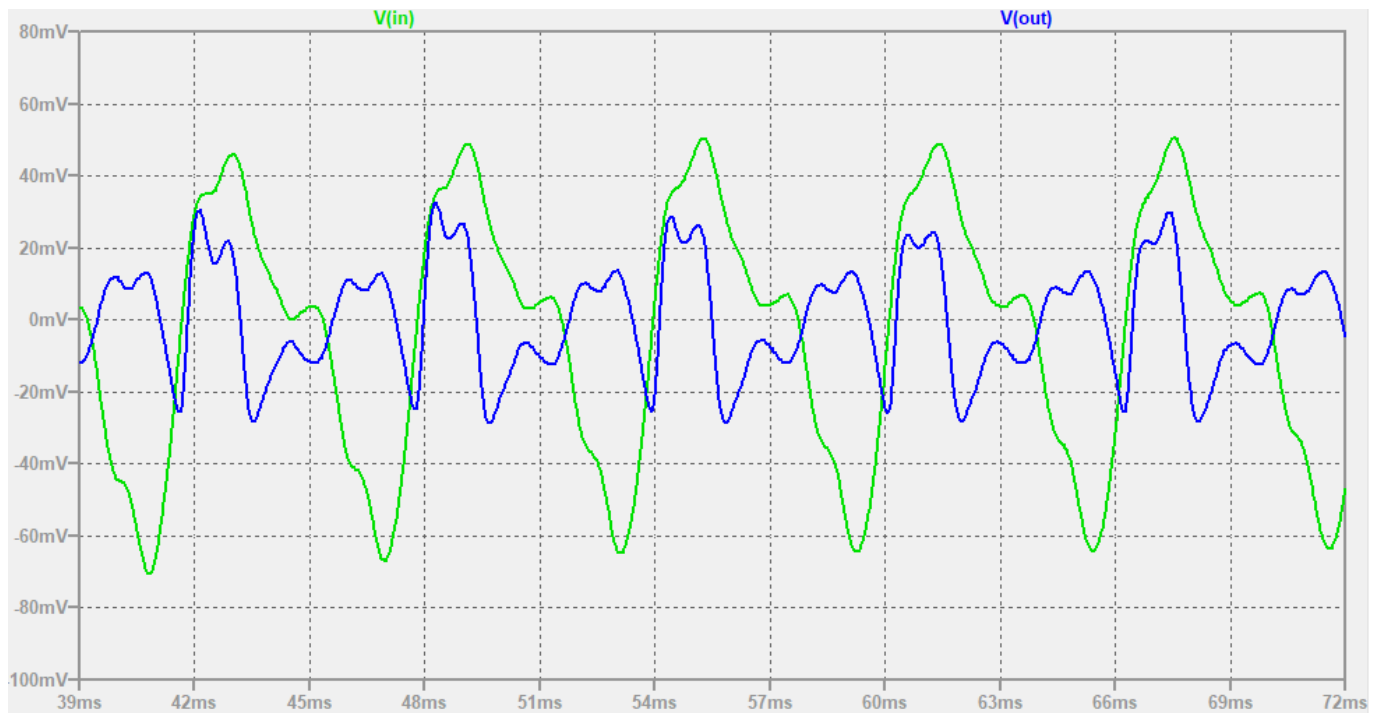
a. Schemat układu

W celu przedstawienia znacznie innego typu efektu, bez wgłębiania się w jego budowę zasymulowany został również efekt typu octave up, mający na celu podniesienie dźwięku o oktawę, czyli podwojenie jego częstotliwości, o nazwie **Greenringer**.



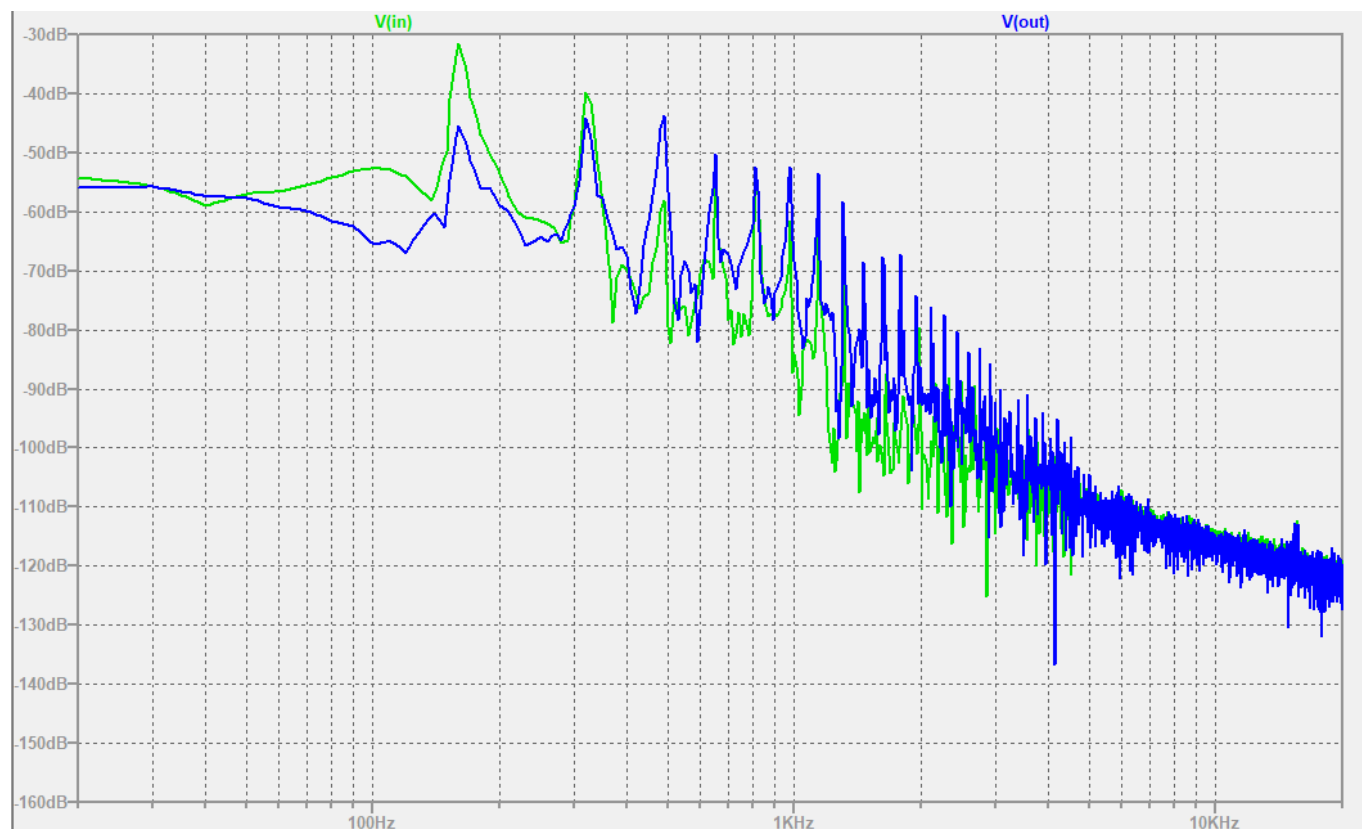
b. Analiza wpływu na sygnał sinusoidalny oraz rzeczywisty audio

Badanie wpływu na sygnał rzeczywisty:



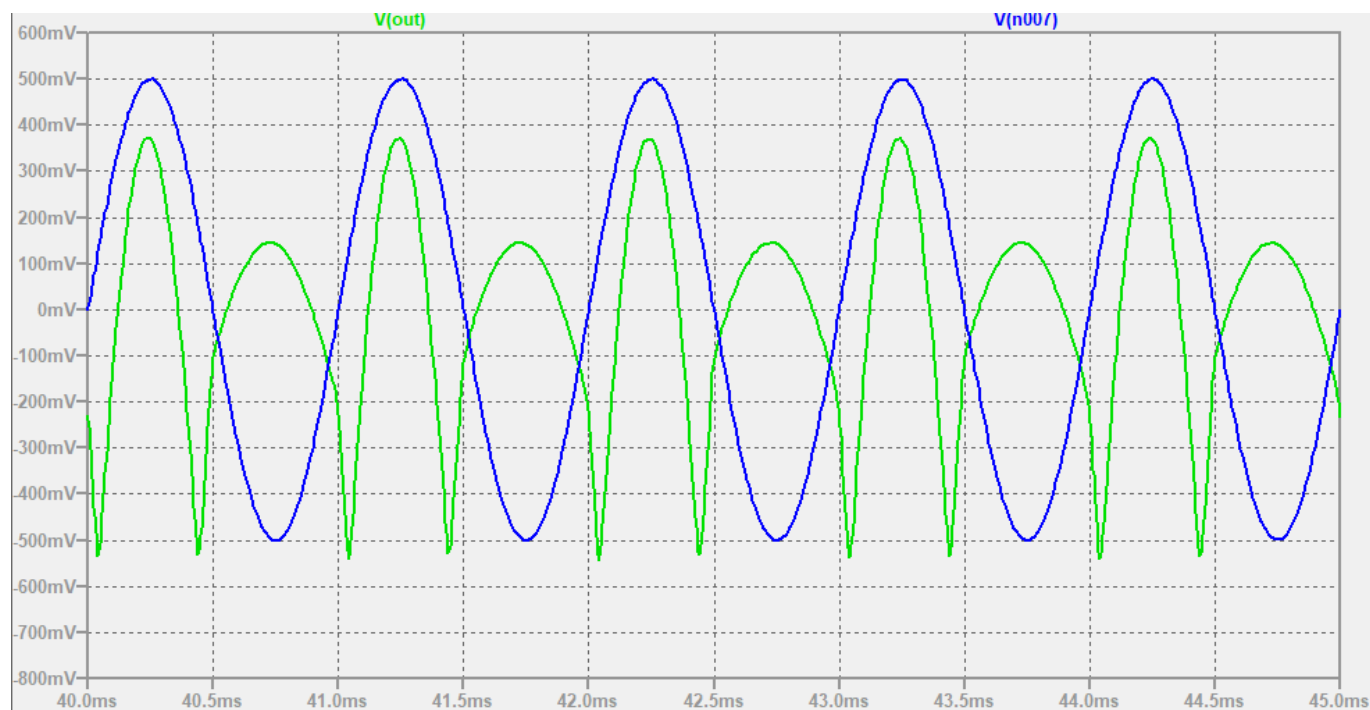
Mimo złożenia oryginalnego sygnału, widoczne jest podwojenie jego częstotliwości, ale również inne zmiany jego wyglądu.

Analiza FFT:

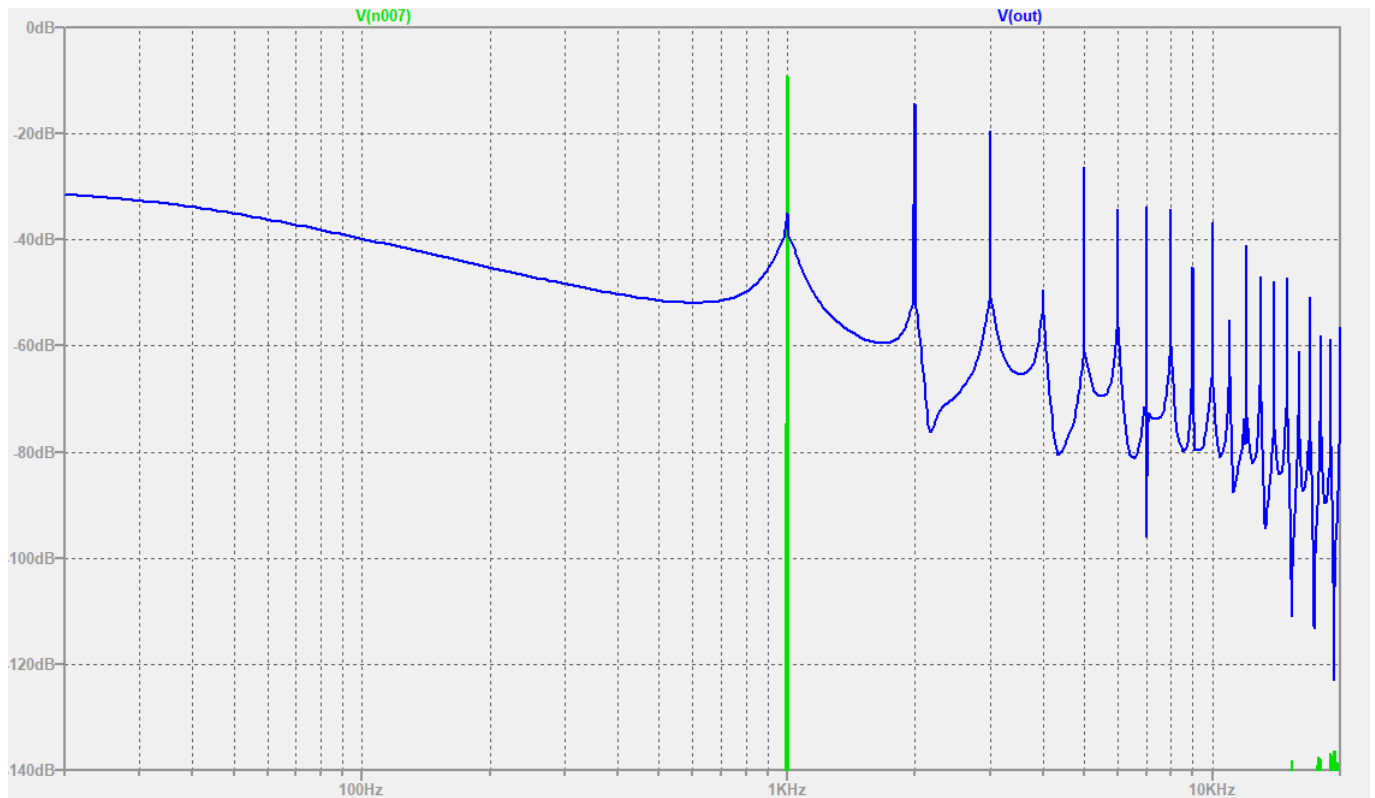


Widoczny jest wyraźny udział wyższych częstotliwości sygnału.

Badanie wpływu na sinusoidę o częstotliwości 1kHz:



Wpływ na sinusoidę dużo dokładniej pokazuje co układ rzeczywiście robi z sygnałem.



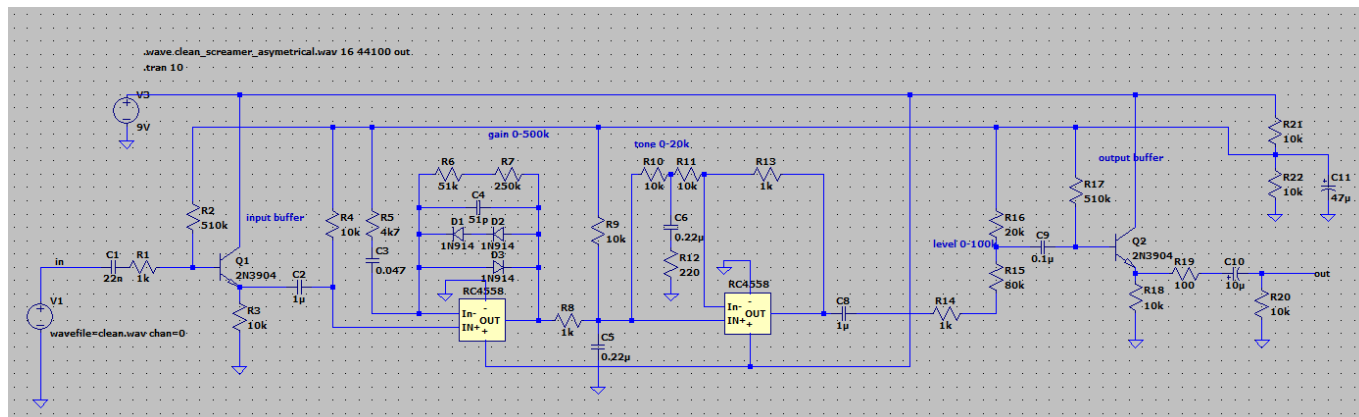
Układ ze względu na swoją prostotę budowy jak na postawione mu zadanie, niestety bardzo „zabrudza”, wygina sygnał, przez co widać że składa się nie tylko z podwójonej głównej harmonicznej sygnału oryginalnego, jednakże spełnia on swoje zadanie podniesienia częstotliwości dźwięku.

Widać jednak że nie tylko dodało harmoniczne tylko raczej przesunęło częstotliwości wyżej, co widać w osłabionym peaku 1kHz i prawie równie silnym jak oryginalny peak w 2kHz.

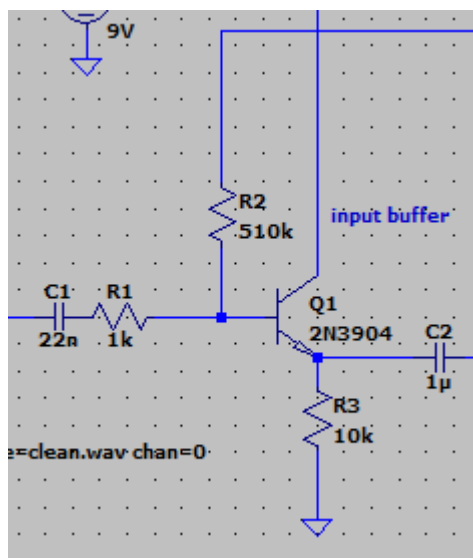
III. Bardziej złożone przykłady układów typu overdrive

a. Schemat układu i opis działania

Jako kolejny układ zrealizowany został efekt tego samego typu co pierwszy, tzn. overdrive, dający jednak inne brzmieniowo efekty **Tube screamer**.

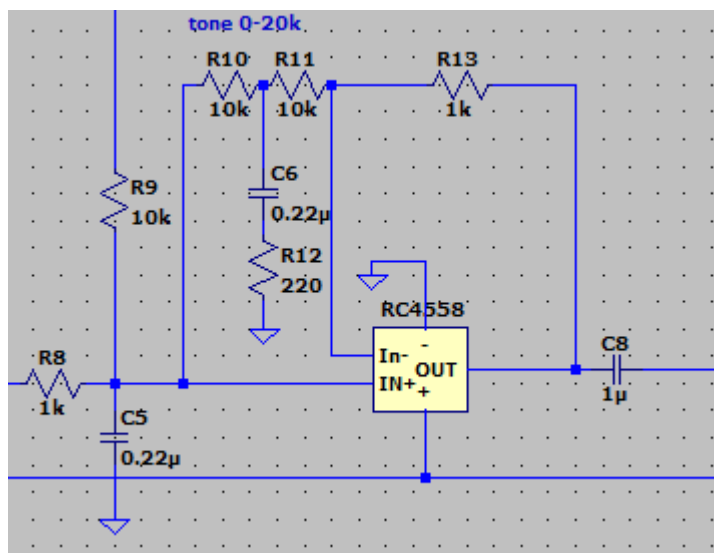


posiada dodatkowo:



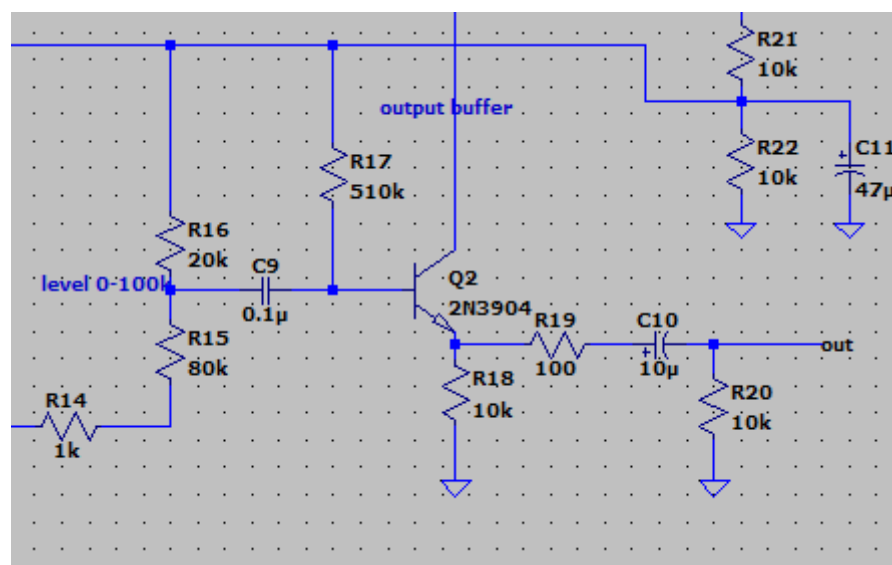
Input buffer – tworzy wysoką wejściową impedancję (ok. 500k), czyli stanu jakiego oczekuje układ elektryczny gitary, który na wyjściu ma dość małą impedancję, co przez brak dopasowania zmniejsza przepływ mocy, ale napięcie odkładające się jest większe. Gdyby impedancja na wyjściu gitary była większa niż na wejściu efektu, sygnał byłby osłabiany. W poprzednim efekcie typu overdrive rola ta została przełożona jednocześnie na wzmacniacz odpowiadający za ucinanie sygnału. Ważne by dobrać rezystor R3 tak, by tranzystor nie wzmacniał ponadto sygnału poza okolice wzmocnienia równego 1.

Etap ucinania jest praktycznie identyczny do występującego w prostszej wersji efektu overdrive, główną różnicą jest często stosowana niesymetryczność ucinania w dodatnich i ujemnych cyklach, wpływająca na charakter sygnału. Różnicę stanowi również inny użyty wzmacniacz operacyjny.



Etap zmiany tonu/brzmienia sygnału również został rozbudowany. Ponownie zaczyna się od pasywnego filtra dolnoprzepustowego (R8 i C5) o częstotliwości odcięcia ok. 723Hz, następnie jednak na dodatkowym wzmacniaczu występuje układ, w zależności od pozycji potencjometru (tutaj reprezentowanego przez rezystory R10 i R11) łączącego wejście odwracające z nieodwracającym, będzie pełnił rolę aktywnego filtra górnoprzepustowego, lub pasywnego dolnoprzepustowego. Gdy rezystor R10 przejmie większość rezystancji potencjometru, filtr złożony z elementów C6 i R12 razem z filtrem złożonym z C5 i

R8 stworzy filtr dolnoprzepustowy drugiego rzędu. W sytuacji odwrotnej będzie to filtr górnoprzepustowy podłączony do wejścia odwracającego.



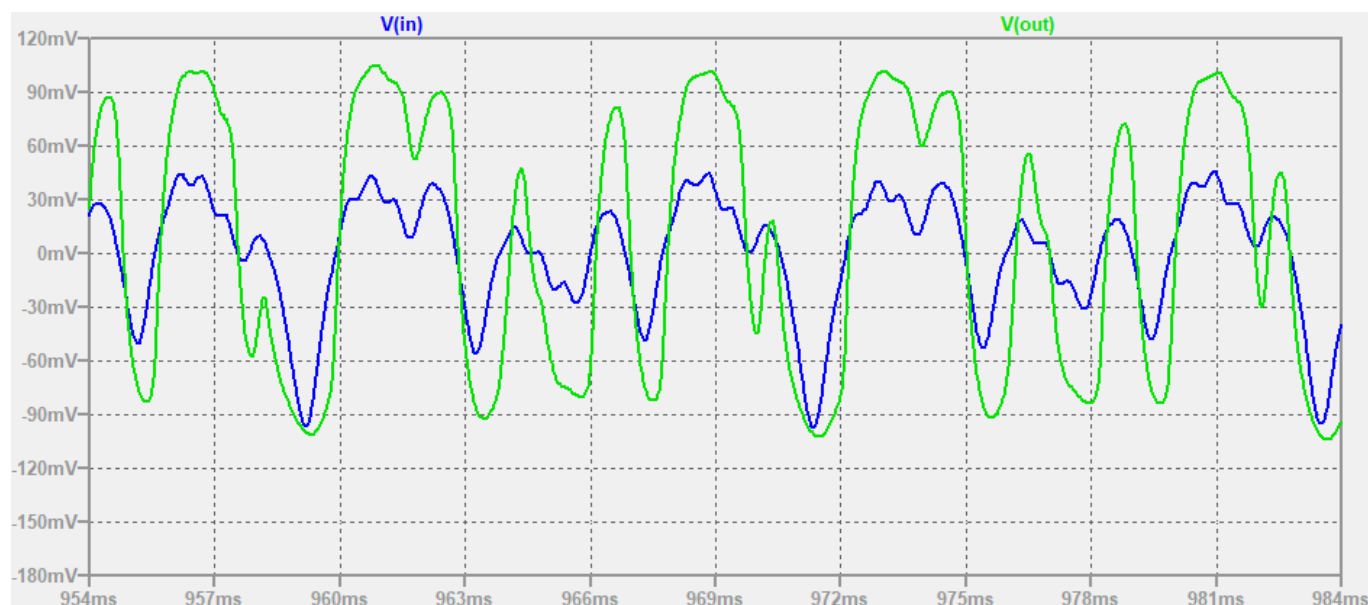
Poziom głośności w taki sam sposób ustawiony jest poprzez dzielnik stworzony na potencjometrze.

Na wyjściu został umieszczony dodatkowo układ buforujący sygnał oraz zapewniający niską impedancję wyjściową, co odpowiada impedancji gitary, by móc podłączyć sygnał do następnego efektu z pewnością, że nie zajdzie osłabienie sygnału.

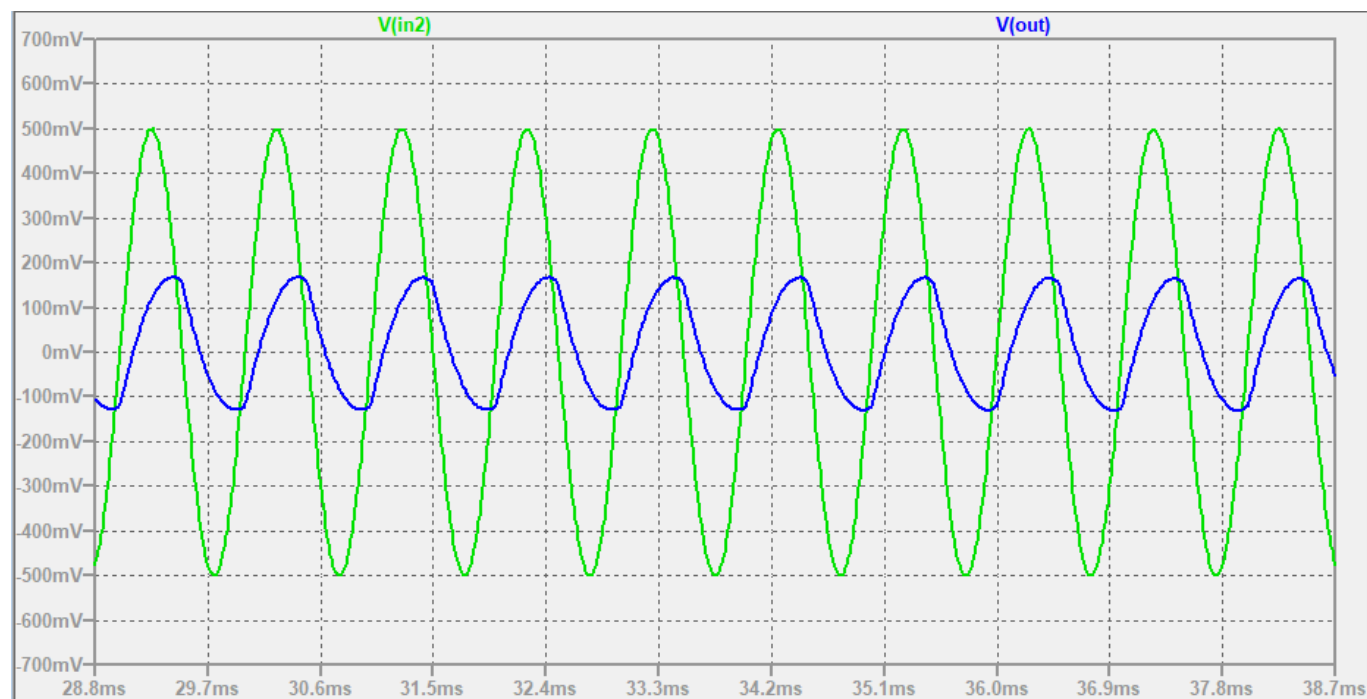
Różnicę stanowią oczywiście również inne użyte modele diod ucinających oraz wzmacniaczy operacyjnych, obok diod będących kolejnym obiektem modyfikacji efektów. W przypadku poprzedniego efektu, wzmacniacz TL072 używał tranzystorów typu FET, które pobierają mniej prądu, wydłużając czas życia baterii. Natomiast RC4558 używa tranzystorów bipolarnych, choć to oczywiście nie ich jedyna różnica.

b. Analiza wpływu na sygnał sinusoidalny oraz rzeczywisty audio

Wpływ na rzeczywisty sygnał

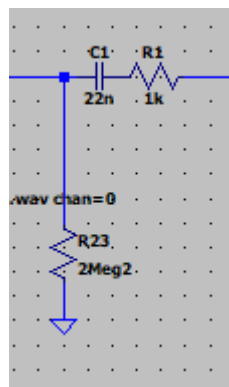


Wpływ na sinusoidę



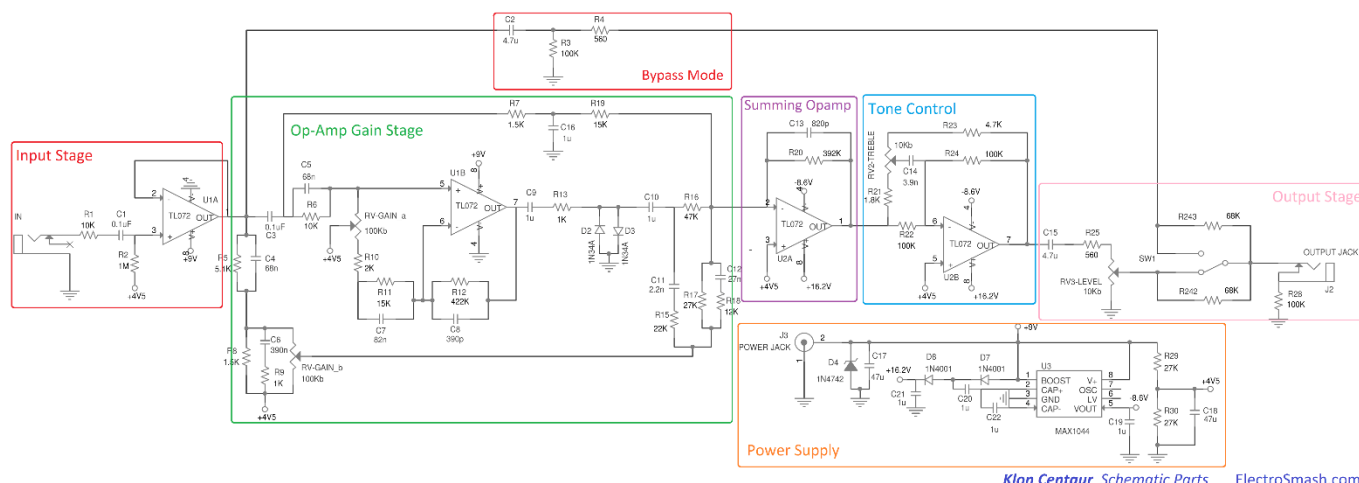
Popularna modyfikacja układu:

dodatkowy rezystor na wejściu



Modyfikacja ta ma na celu zabezpieczenie układu w przypadku nagłego wyjęcia kabla z sygnałem z wejścia. W takiej sytuacji pozostałe sygnały zamiast przejść przez układ mają gdzie uciec do ziemi. W przeciwnym wypadku możliwe jest spotkanie się z charakterystycznym dźwiękiem „pyknięcia”.

Wartym wspomnienia ze względu na zainspirowanie się jednym zastosowanych rozwiązań jest również efekt Klon Centaur, również z kategorii efektów typu overdrive. Ponieważ nie został zasymulowany, poniższy schemat pochodzi ze strony ElectroSmash.com



Klon Centaur Schematic Parts ElectroSmash.com

Samo ucinanie odbywa się poprzez układ typu hard clipping z dodatkowym filtrowaniem a bufor wejściowy oraz etap aktywnego filtrowania podążają za typowymi rozwiązaniami.

Do wyróżniających cech należy zastosowanie konwertera napięcia MAX1044 do uzyskania z zasilającego napięcia 9V źródeł +16.2V i -8.6V, którym i zasilana jest część wzmacniaczy operacyjnych. Takie zasilanie zapewnia im dużo większy tzw. headspace, czyli przestrzeń wzmacnień w której mogą operować bez wchodzenia sygnałów w saturację.

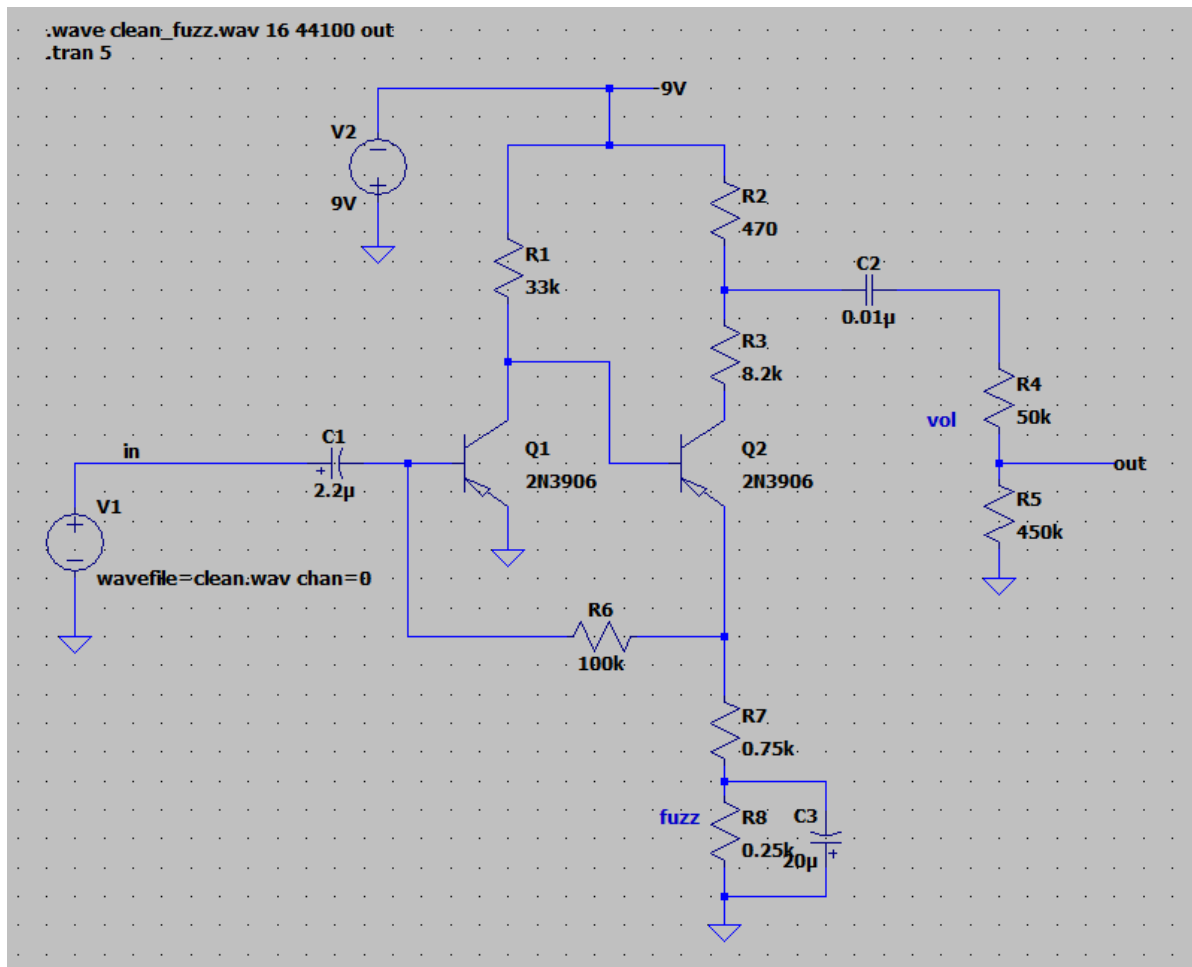
Drugą z nich jest wykorzystanie dwóch linii feedforward w celu ominięcia przez część sygnału etapu ucinania, co daje unikalne efekty dźwiękowe na wyjściu układu – jednej jedynie filtrowanej przez filtr dolnoprzepustowy aby dodać z powrotem do sygnału trochę niskich częstotliwości po filtrowaniu w sprzężeniu zwrotnym wzmacniacza ucinającego oraz drugiej filtrowanej oraz o udziale w wyjściowym sygnale dyktowanym ustawieniem podwójnego potencjometru sterującego jednocześnie wzmacnieniem w części ucinającej (RV-GAIN_a oraz RV-GAIN_b).

W jednej z modyfikacji ostatecznie znajdujących się w efekcie będącym rezultatem projektu znajduje się linia feedforward podobna do tej pierwszej, górnej.

IV. Alternatywny sposób osiągnięcia przesteru dźwięku

a. Schemat układu i opis działania

Alternatywny sposób osiągnięcia dźwięku typu przester (ucinanego sygnału), nazywanego jednak fuzz ze względu na wyraźny inny charakter osiąganego brzmienia, zbudowany na tranzystorach zamiast wzmacniaczy operacyjnych z diodami, bazujący na układzie **Fuzz Face**:



b. Analiza wpływu na sygnał sinusoidalny oraz rzeczywisty audio

Wpływ na sygnał rzeczywisty:

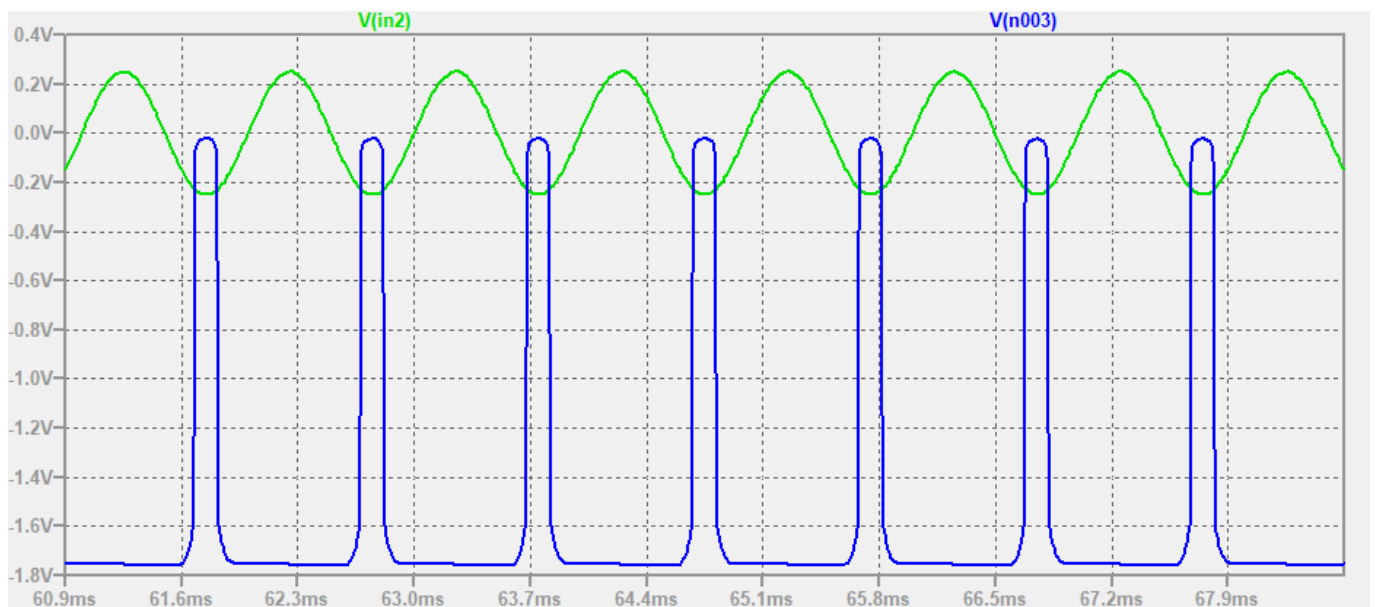


Wpływ na sinusoidę:



Wejście układu stanowi tranzystor o dużym wzmacnieniu sygnału ale małej impedancji, co zwykle jest niepożądane, dlatego zalecane jest umieszczać przedstawiony wyżej układ przed innymi efektami.

Sinusiuda, wzmacnienie pierwszego tranzystora:

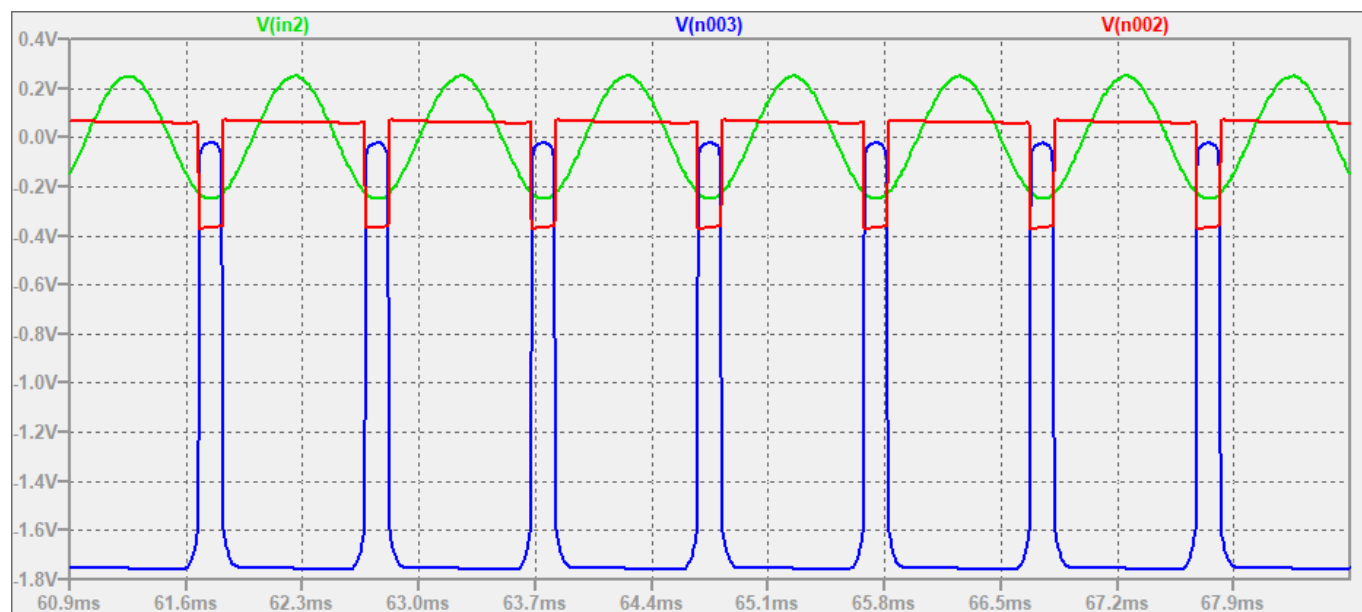


Jest ono asymetryczne, ponieważ napięcie biasujące na bazie jest zmieniane przez feedback sygnału przez rezystor R6, stopień asymetryczności zależy również od wartości wejściowego sygnału.

Potencjometr na dole wpływa na wzmacnienie drugiego tranzystora, a konkretniej część rezystancji nie ściągnięta przez kondensator do uziemienia. Część prowadząca przez kondensator ma impedancję zmienną w zależności od częstotliwości (wchodzącego) sygnału, im większa częstotliwość tym mniejsza impedancja, czyli mniejsza część rezystora ściągana jest od ziemi, czyli wzmacnienie Q2 jest większe. Ponadto im większe wzmacnienie Q1 tym mniejsze Q2 i ostatecznie efekt lekko osłabia sygnał.

Feedback przez tranzystor R6 zależący od prądu Q2 zmniejsza wzmacnienie całego układu (closed loop), ale poprawia odporność na zmiany parametrów tranzystorów zależące od temperatury itd. co miało znaczenie w oryginalnym układzie używającym tranzystorów germanowych.

Sinusoida, wzmocnienia obu tranzystorów

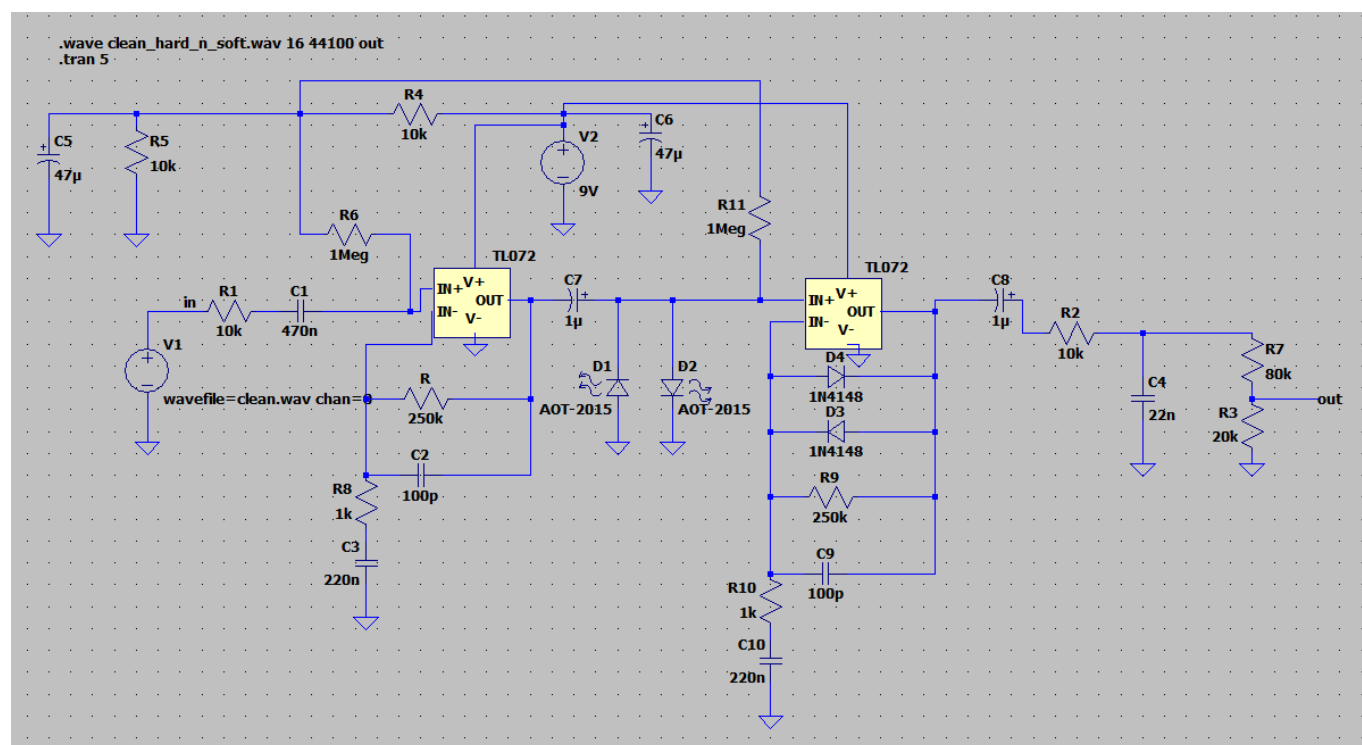


Sygnały są bardzo ucięte, co oznacza dużą zawartość harmonicznych wysokich częstotliwości w sygnale i przekłada się na „ostro” brzmiący efekt.

2. Tworzenie własnego efektu gitarowego na podstawie przeprowadzonych analiz oraz propozycje modyfikacji

I. Połączenie układów typu hard i soft clipping

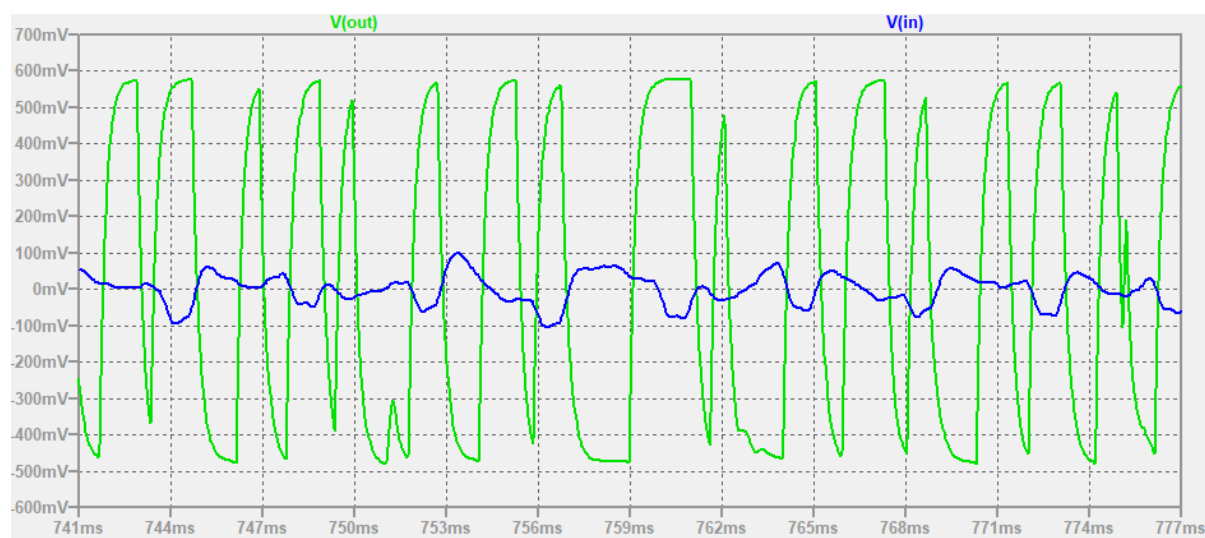
a. schemat układu i opis działania



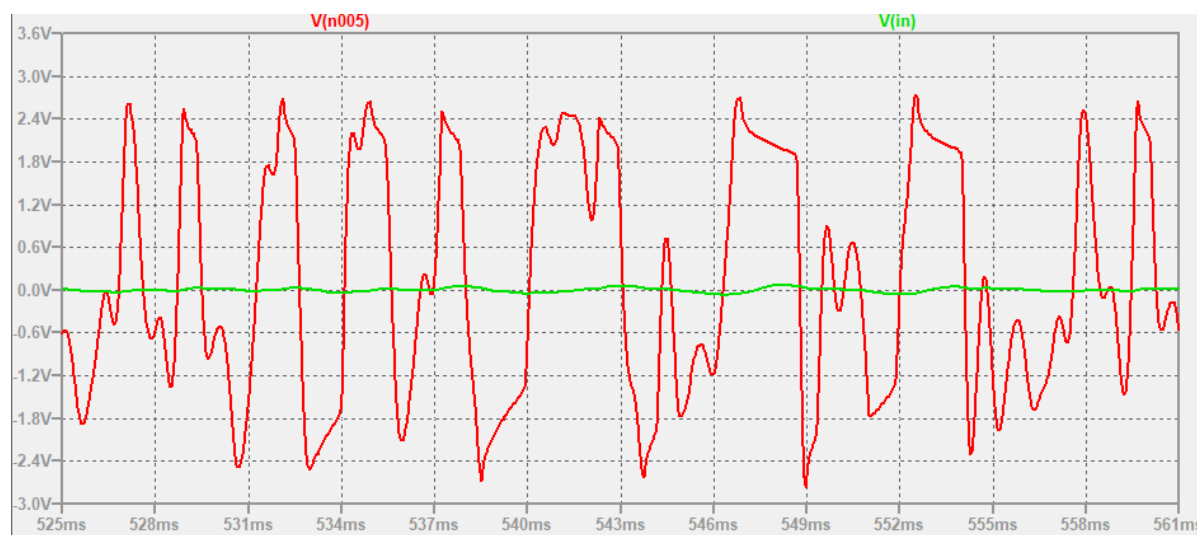
W układzie zaimplementowane zostały dwa etapy ucinania sygnału – hard clipping na diodach LED ($V_f = 2.9V$) i soft na diodach silikonowych ($V_f = 0.7V$). Diody prostownicze w pierwszym etapie ucinania zostały zastąpione typu LED, ze względu na ich wyższe napięcie przewodzenia, pozostawiające drugiemu etapowi ucinania większy poziom sygnału, tzw. headspace.

b. Analiza wpływu na sygnał sinusoidalny oraz rzeczywisty audio

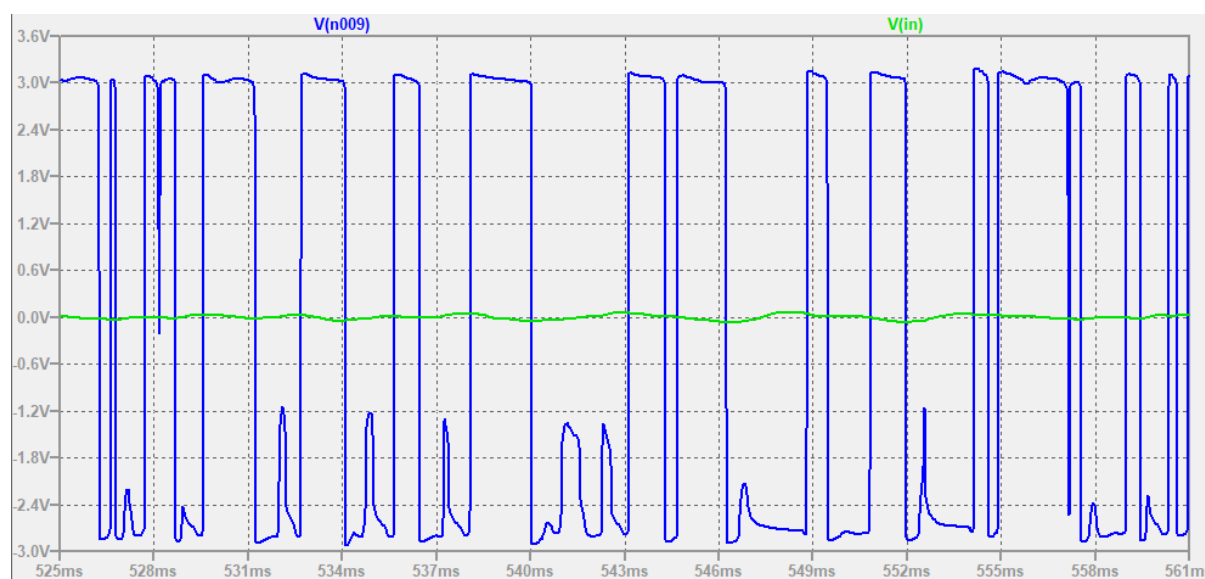
Wpływ na rzeczywisty sygnał:



Sygnał po pierwszym etapie ucinania na diodach LED:



Po drugim etapie na diodach prostowniczych:

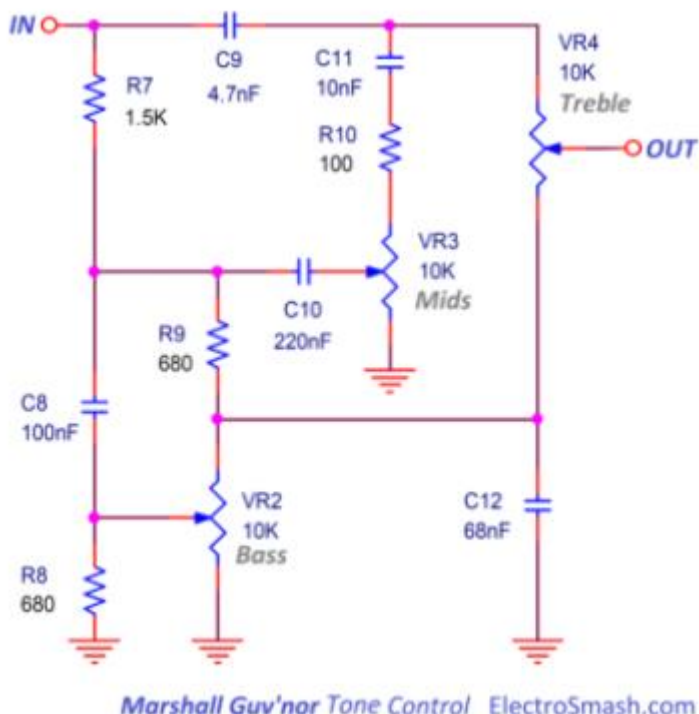


Porównując z sygnałem wyjściowym widać wpływ filtra końcowego na wygładzanie sygnału.

II. Dołączenie etapu EQ do efektu

Rozwinięciem skrótu EQ jest oczywiście equalization, czyli „wyrównanie” dźwięku, potocznie rozumiana jako kontrola nad wzmocnieniem zakresów częstotliwości sygnałów.

a. schemat układu i opis działania

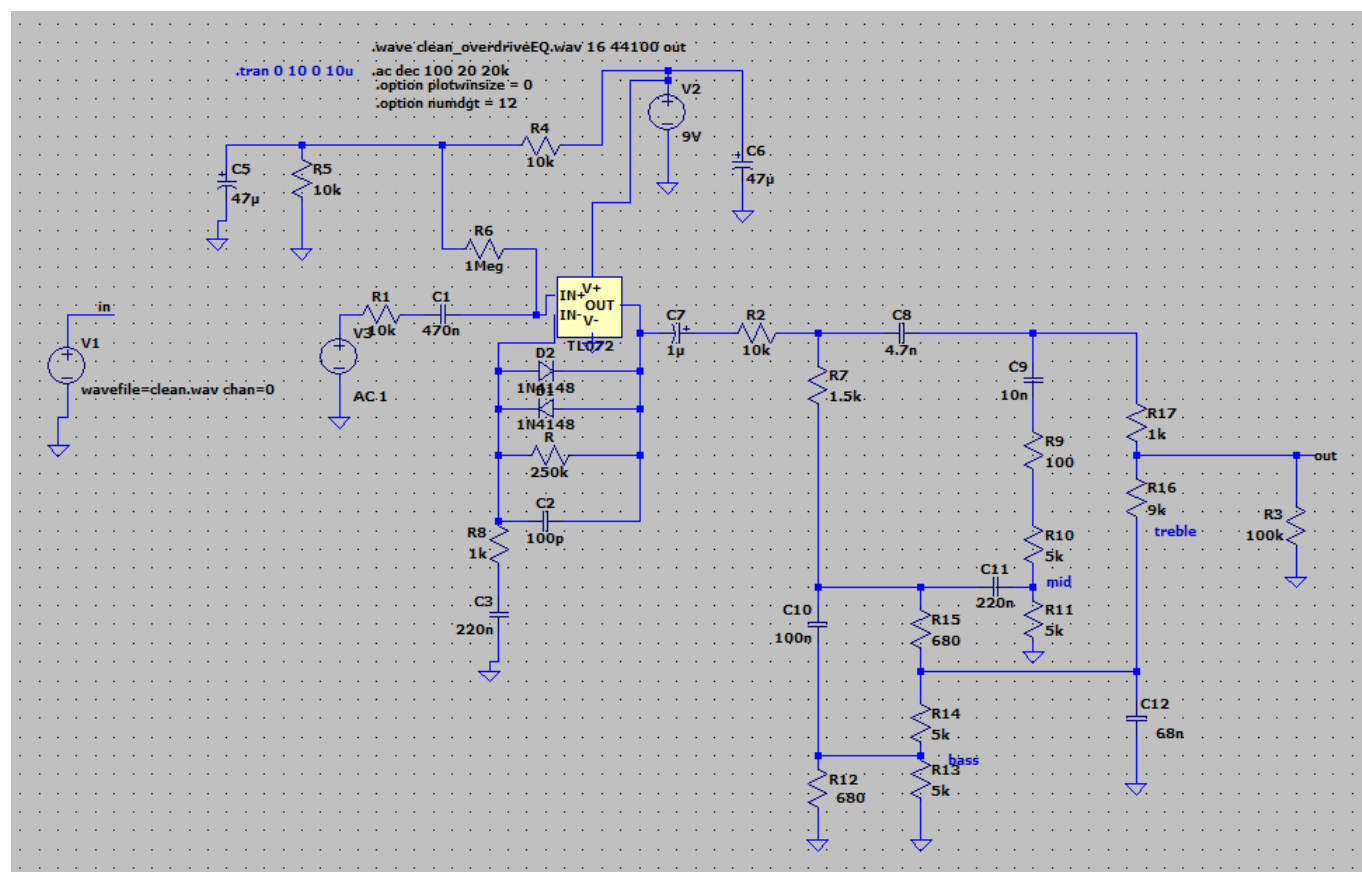


Wybrany do tego układem jest tzw. FMV Tonestack często stosowany w gitarowych wzmacniaczach Fendera, Marshalla i Vox, dający kontrolę osobno nad wysokimi, średnimi i niskimi częstotliwościami sygnału, z interakcją, co jest zjawiskiem teoretycznie negatywnym, ale ciekawym brzmieniowo. Zbudowany jest z kilku filtrów wpływających na siebie, sterowanych potencjometrami.

Pierwszym z nich jest filtr kontrolujący częstotliwości wysokie, co zależnie od parametrów układu i osoby może być interpretowane inaczej, przeważnie jednak są to częstotliwości powyżej 2kHz. Potencjometr decyduje jaka część sygnału o wysokich częstotliwościach nie będzie uciekała do uziemienia/pozostałych dwóch zakresów częstotliwości, na co wpływ mają jednak również pozycje pozostałych dwóch potencjometrów. Podobna sytuacja ma miejsca dla potencjometrów sterujących częstotliwościami średnimi (ok. 200-2kHz) i niskimi (do 2kHz), tzn. ustawienie potencjometrów decyduje o wpływie filtrów które tworzą, wchodząc jednocześnie w interakcję z pozostałymi filtrami.

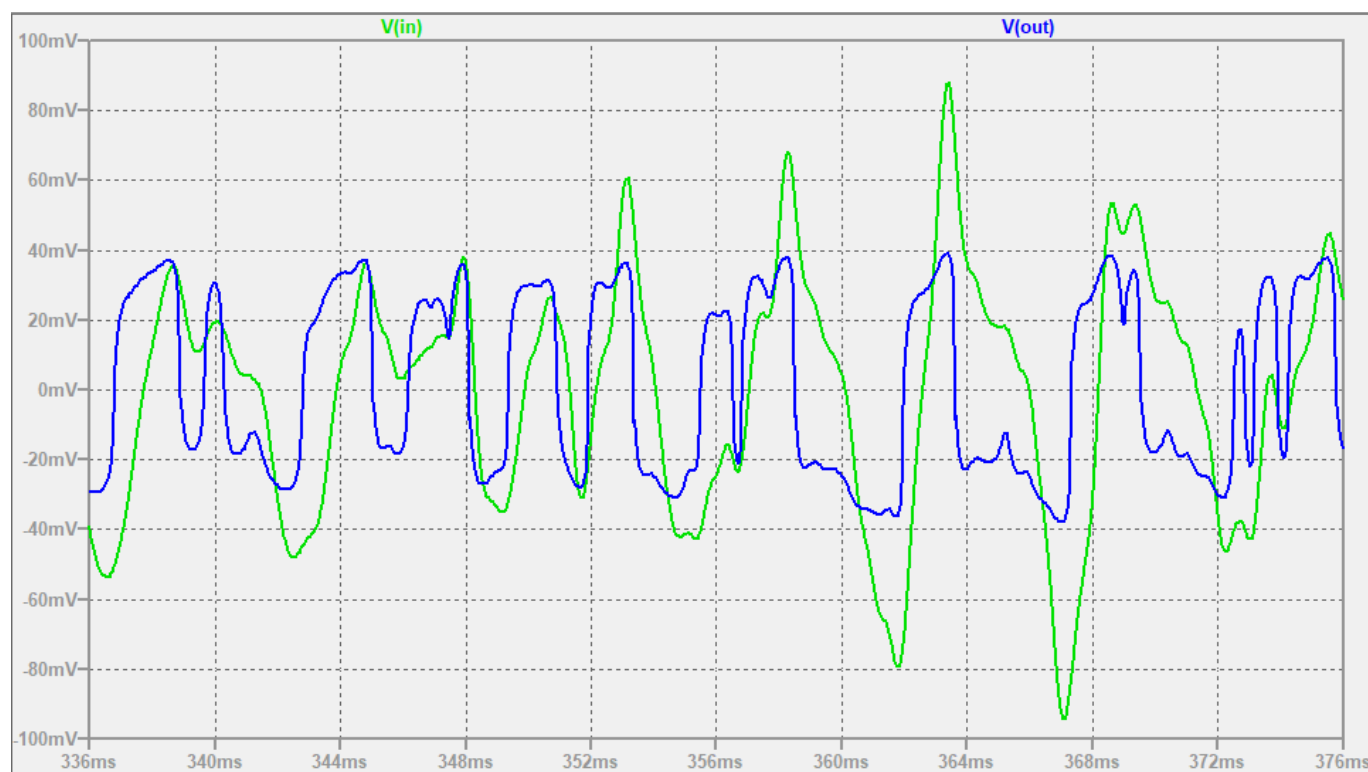
Układy z tego typu mimo występującej interakcji stały się standardem w wzmacniaczach gitarowych ze względu na użycie niewielkiej ilości prostych elementów, niewielkie osłabianie sygnału i brak konieczności zasilania. Bywają również używane w efektach, dając użytkownikowi większą kontrolę nad brzmieniem.

Realizacja w LTSpice:



b. Analiza wpływu na sygnał rzeczywisty audio oraz analiza częstotliwościowa

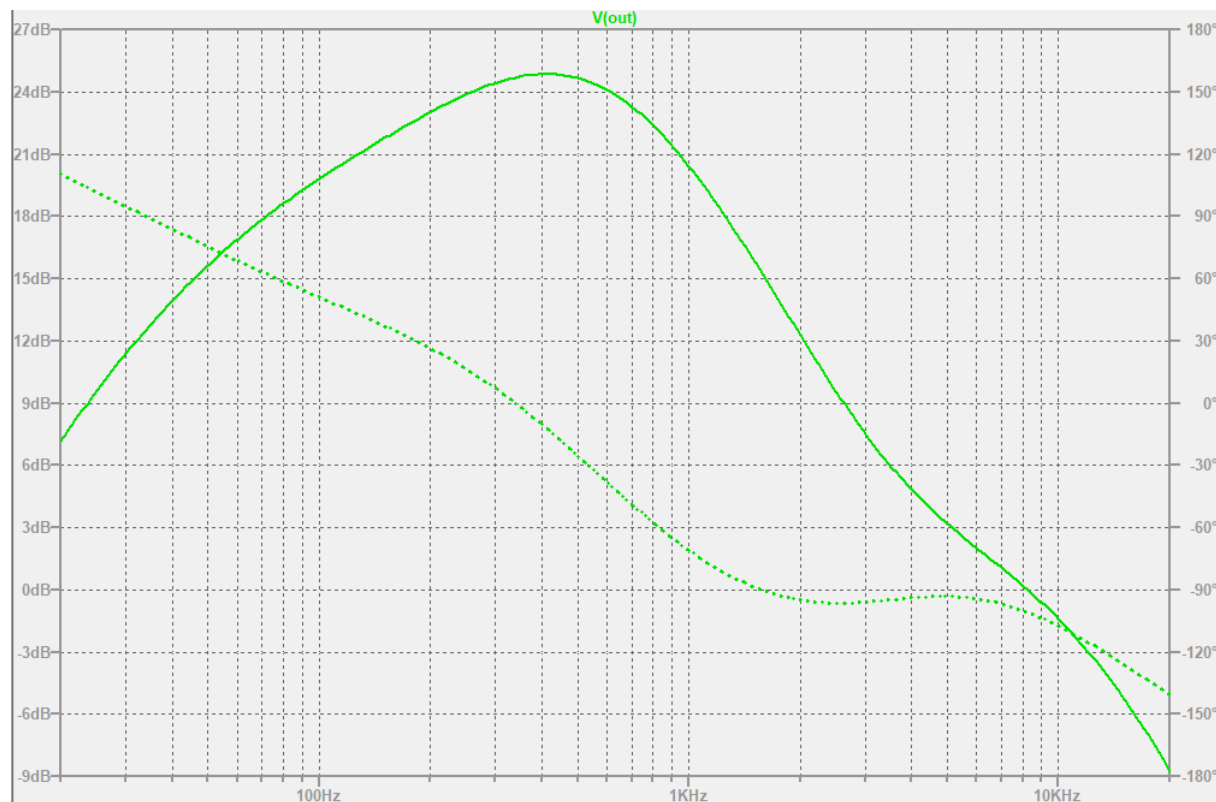
Wpływ na rzeczywisty sygnał:



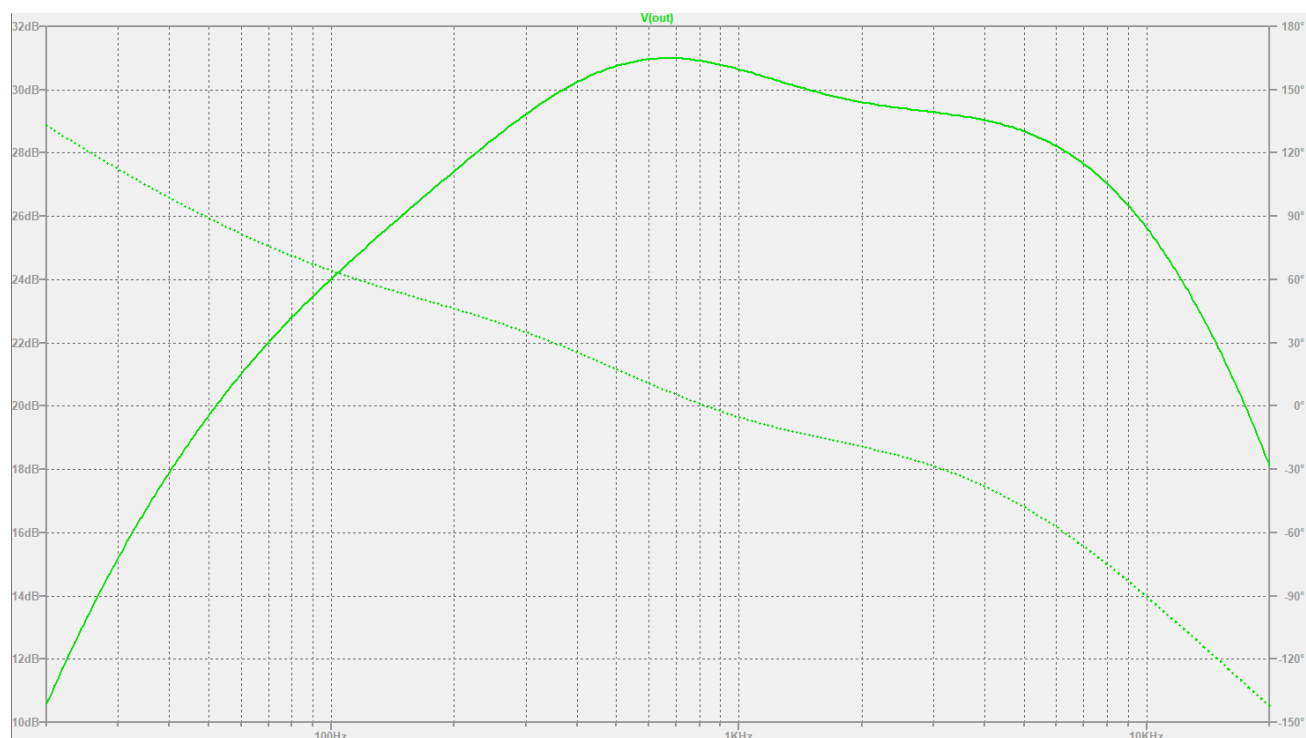
Układ z EQ zmniejsza amplitudę sygnału, widać jednak wciąż wpływ diod ucinających spłaszczających jego kształt.

Aby przetestować możliwości kontroli filtrowania sygnału, przy „neutralnym” ustawieniu dwóch z trzech potencjometrów 5k/5k, trzeci z nich zostawał ustawiany w dwóch przeciwnych pozycjach blisko krańca zakresu 1k/9k lub 9k/1k. Zakresy osi Y pomiędzy eksperymentami są zmienne ze względu na ustawienia LTSpice oraz fakt wynikania wartości z ogólnego wzmocnienia układu, większe znaczenie ma jednak kształt charakterystyk. Oś X zawsze jednak obejmują słyszalny przez człowieka zakres 20Hz – 20kHz.

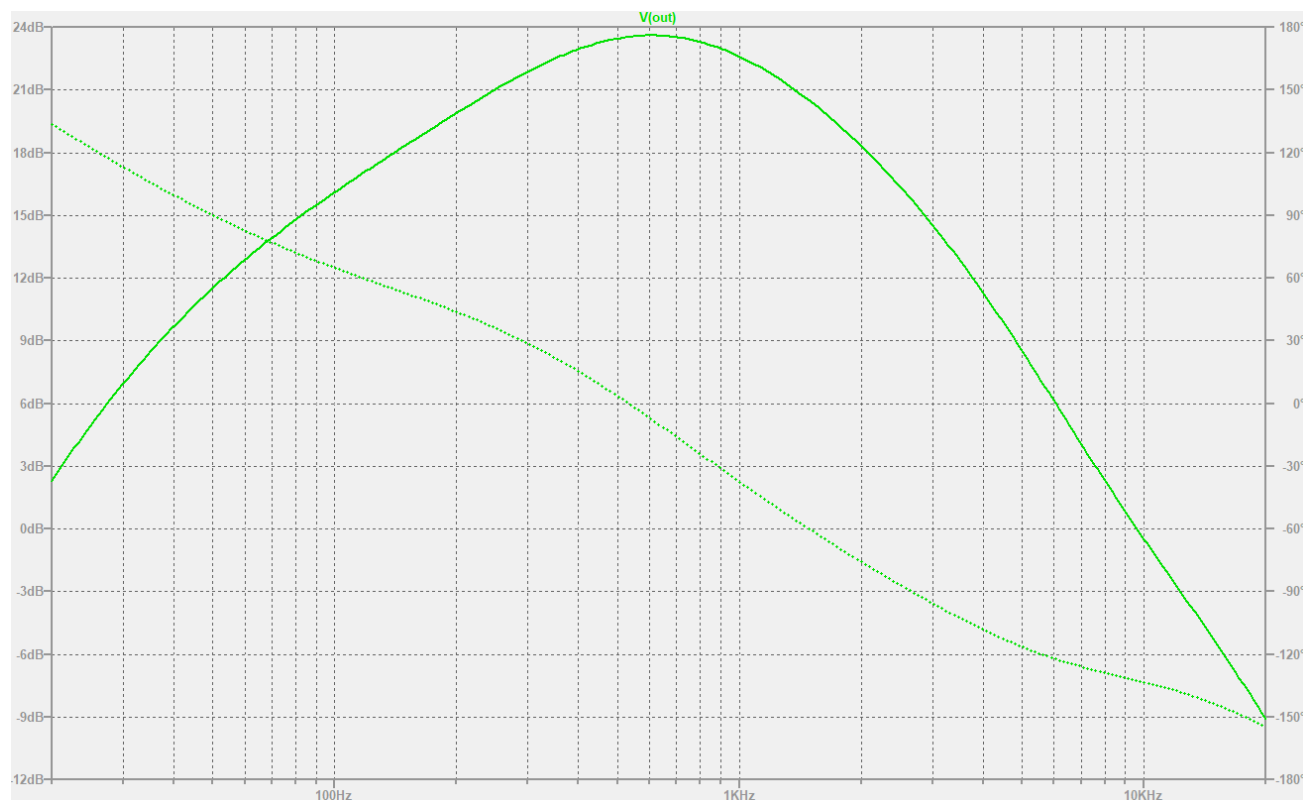
Potencjometry w pozycjach „neutralnych” 5k/5k:



Przepuszczanie wysokich częstotliwości:

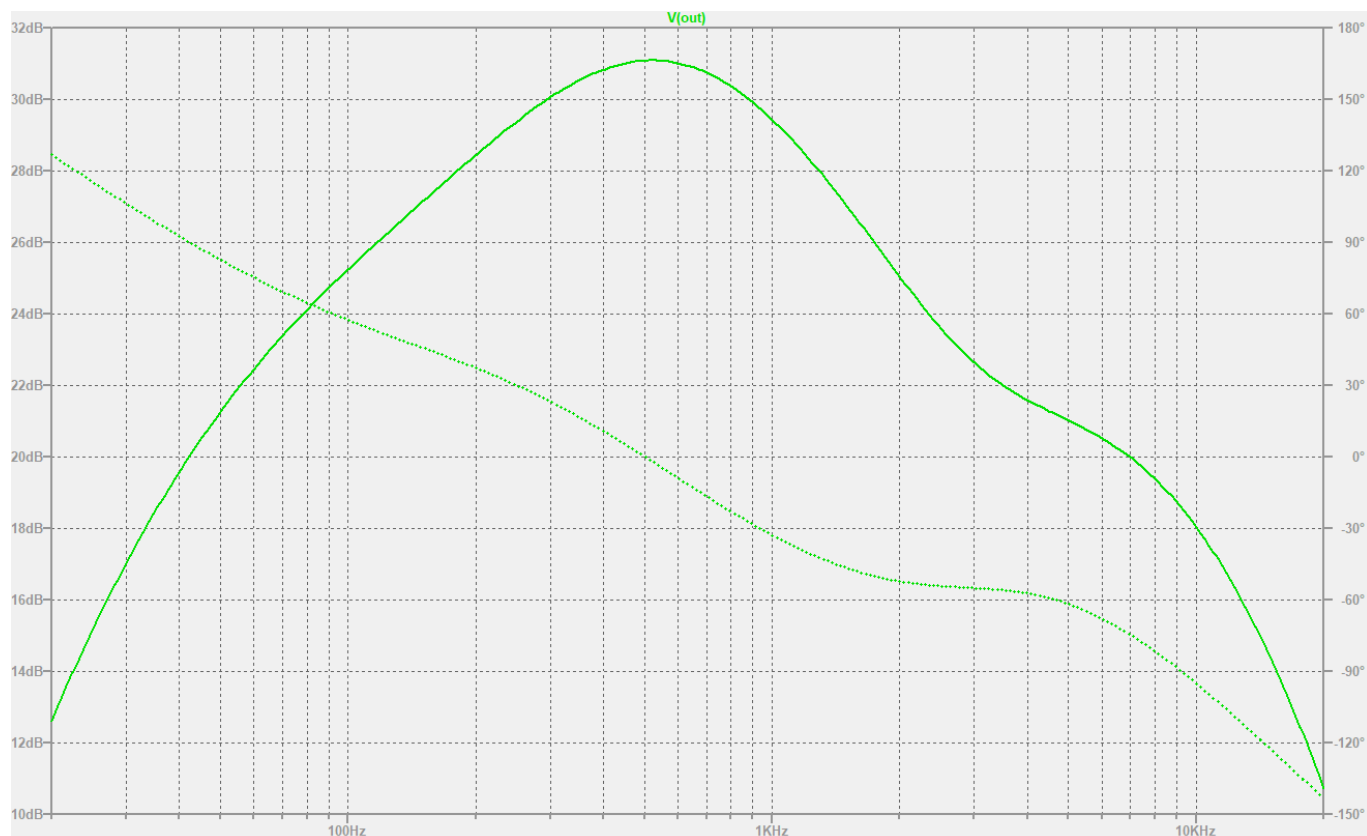


Blokowanie wysokich częstotliwości:

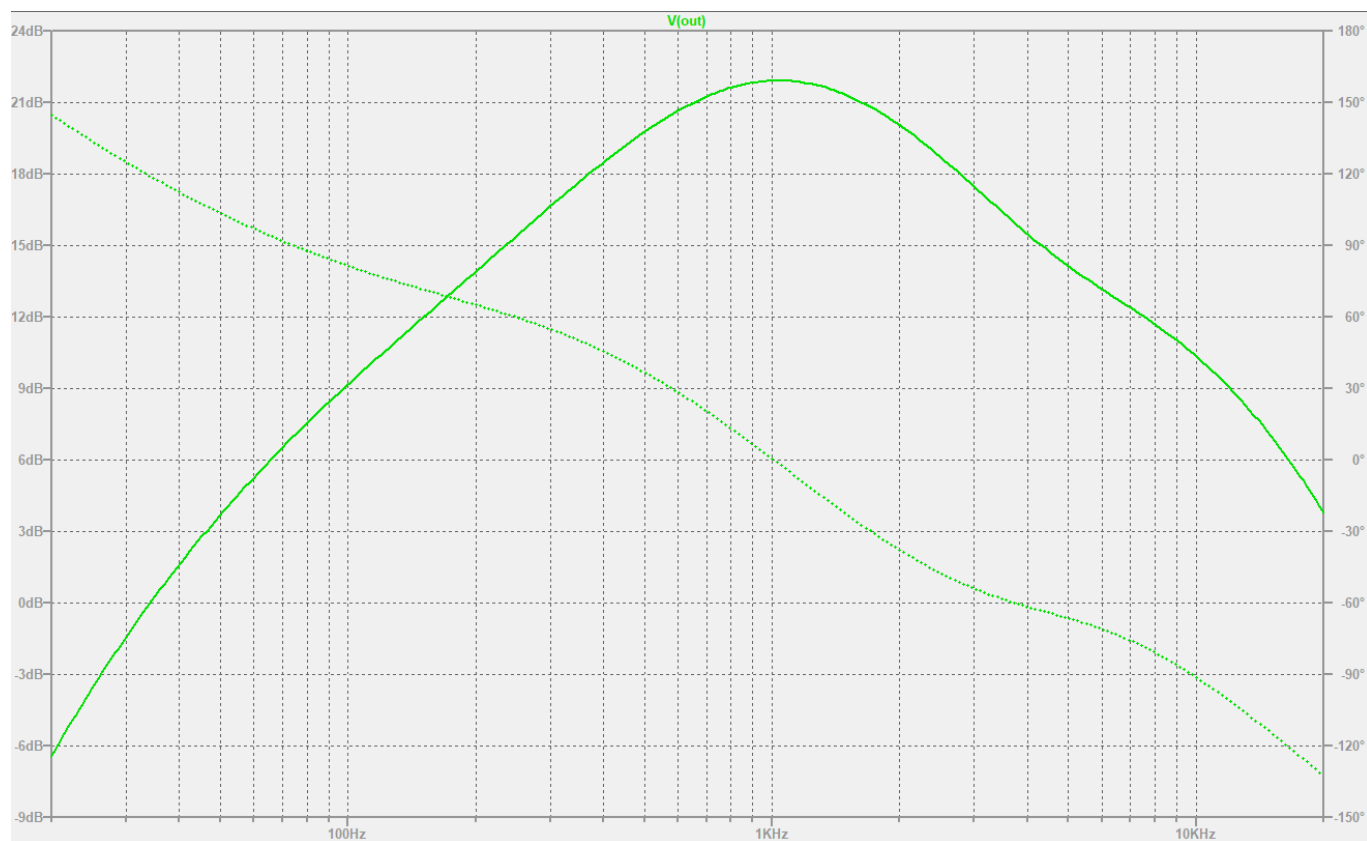


Mając na uwadze przyjęte zakresy częstotliwości, warto zauważyć, że osłabienie wysokich częstotliwości związane było z wzmocnieniem udziału niskich, osłabieniem udziału części średnich oraz ogólnym osłabieniem sygnału (na całym paśmie częstotliwości).

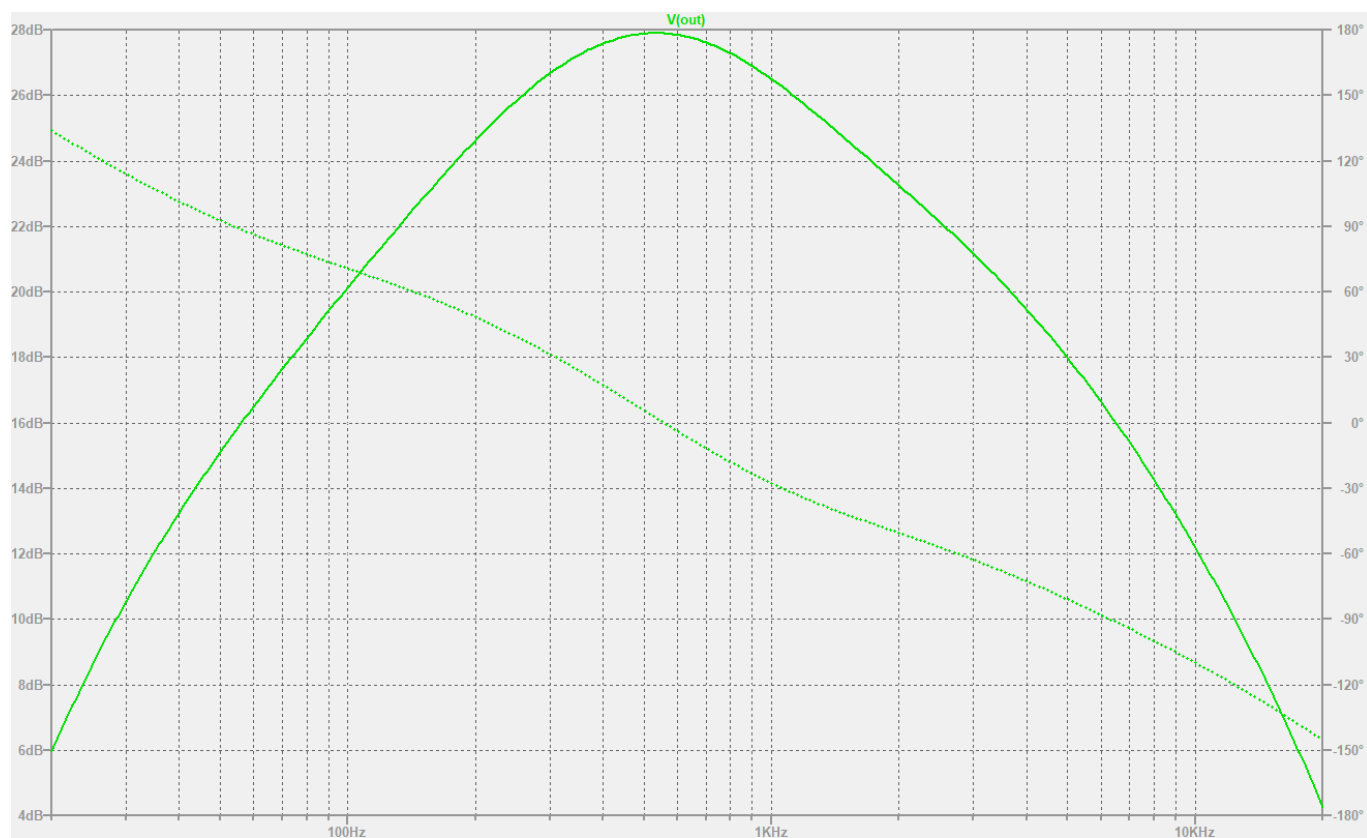
Przepuszczanie niskich częstotliwości:



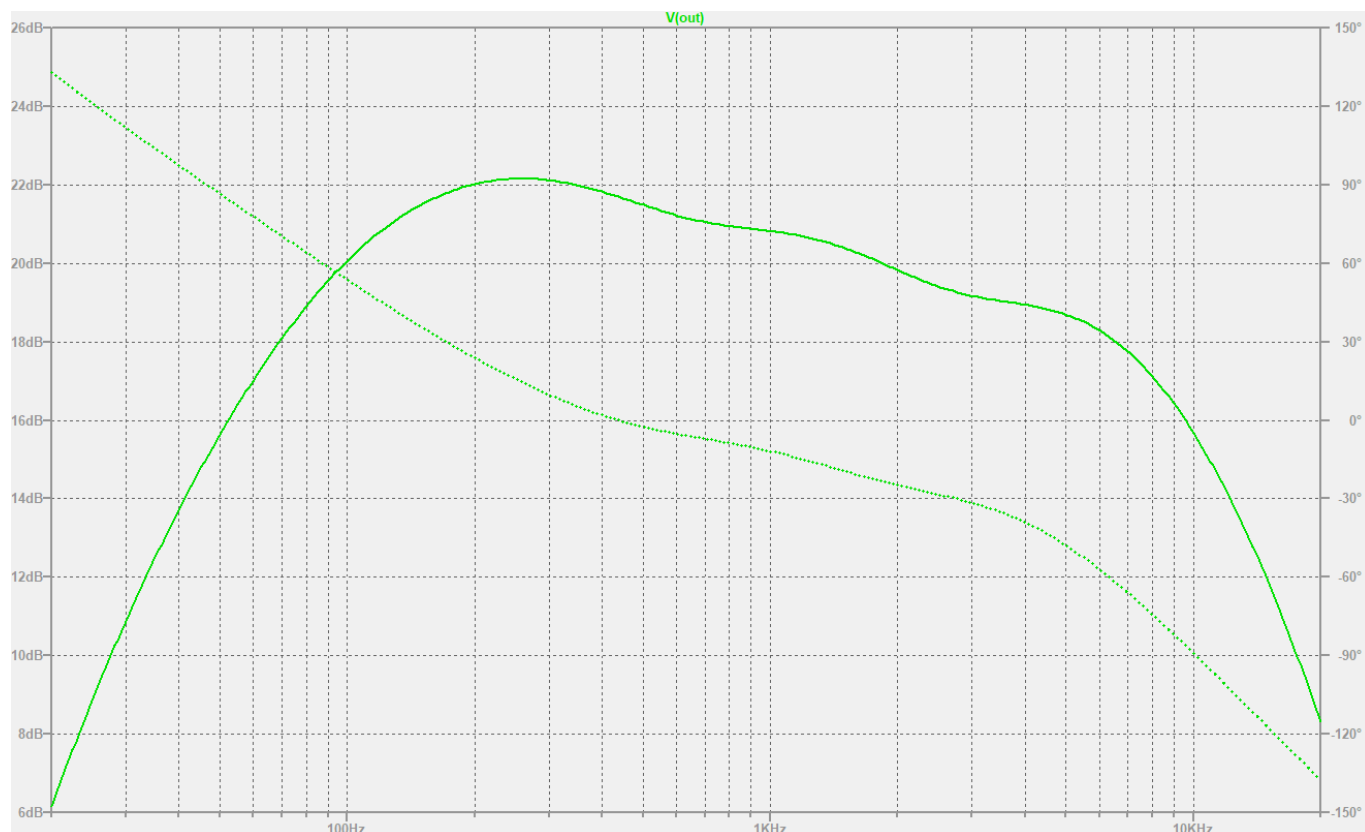
Blokowanie niskich częstotliwości:



Przepuszczanie średnich częstotliwości:



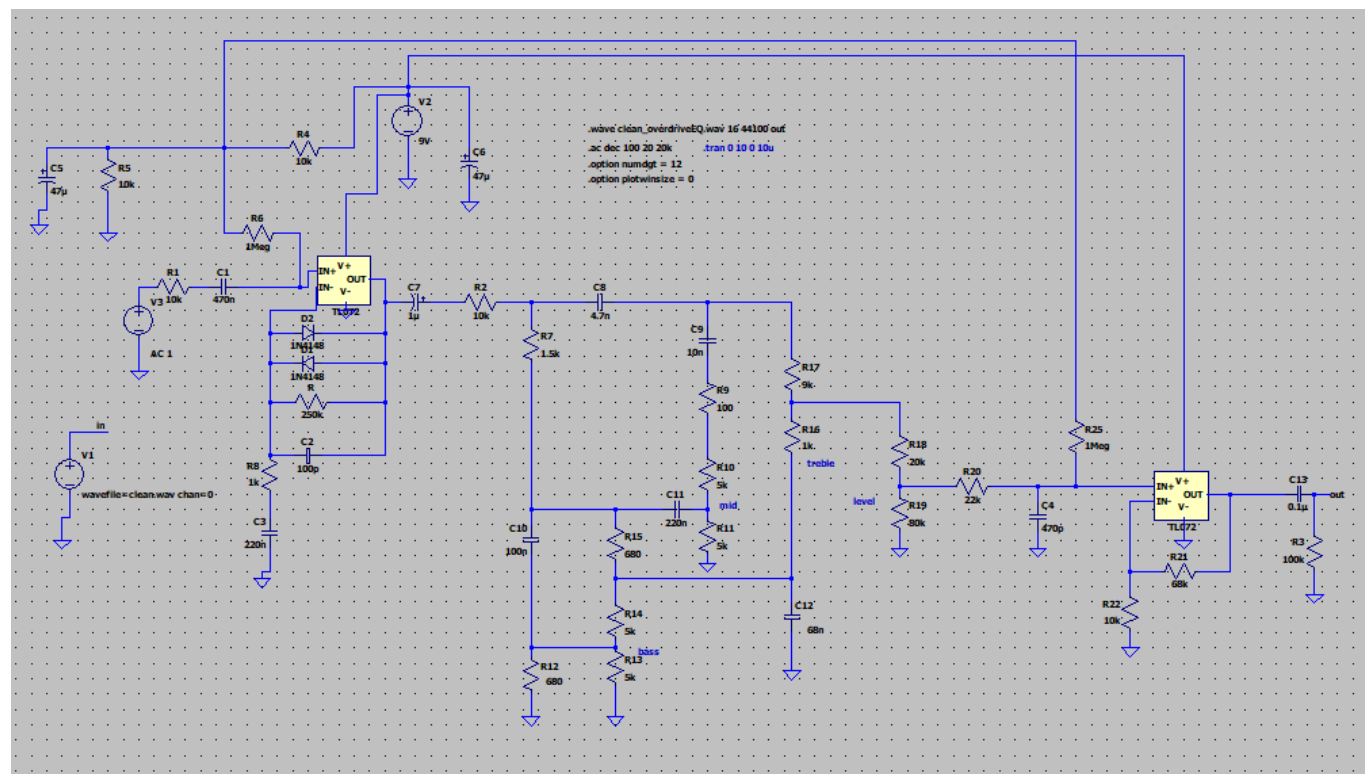
Blokowanie średnich częstotliwości:



Oslabianie średnich częstotliwości wiąże się z wzmocnieniem pozostałych zakresów. Wyraźnie zachodzi interakcja. Mimo to widoczne jest, że zakres kontroli nad dźwiękiem jest wysoki.

III. Dołączenie bufora wyjściowego

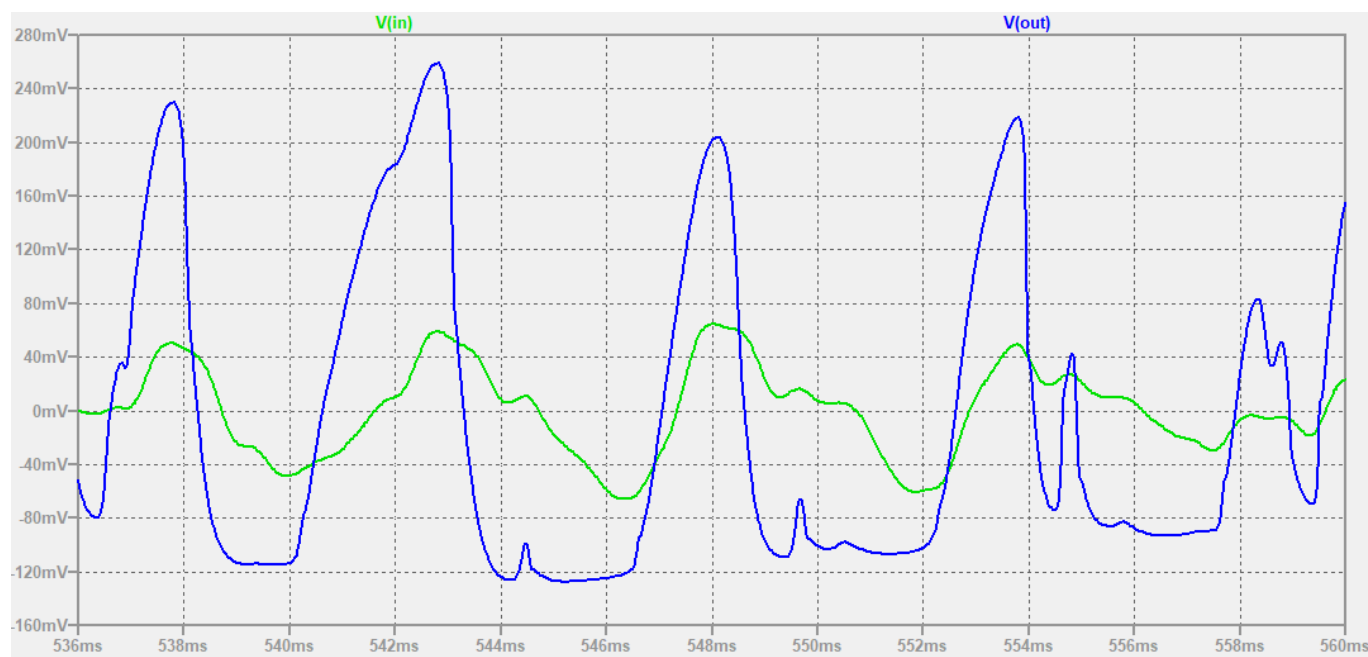
a. schemat układu i opis działania



Ponieważ układ EQ wprowadza pewne osłabienie, jako kolejna modyfikacja możliwe jest dodanie kolejnego etapu do efektu - wzmocnienia sygnału z wykorzystaniem drugiego wzmacniacza operacyjnego i przy okazji dodanych

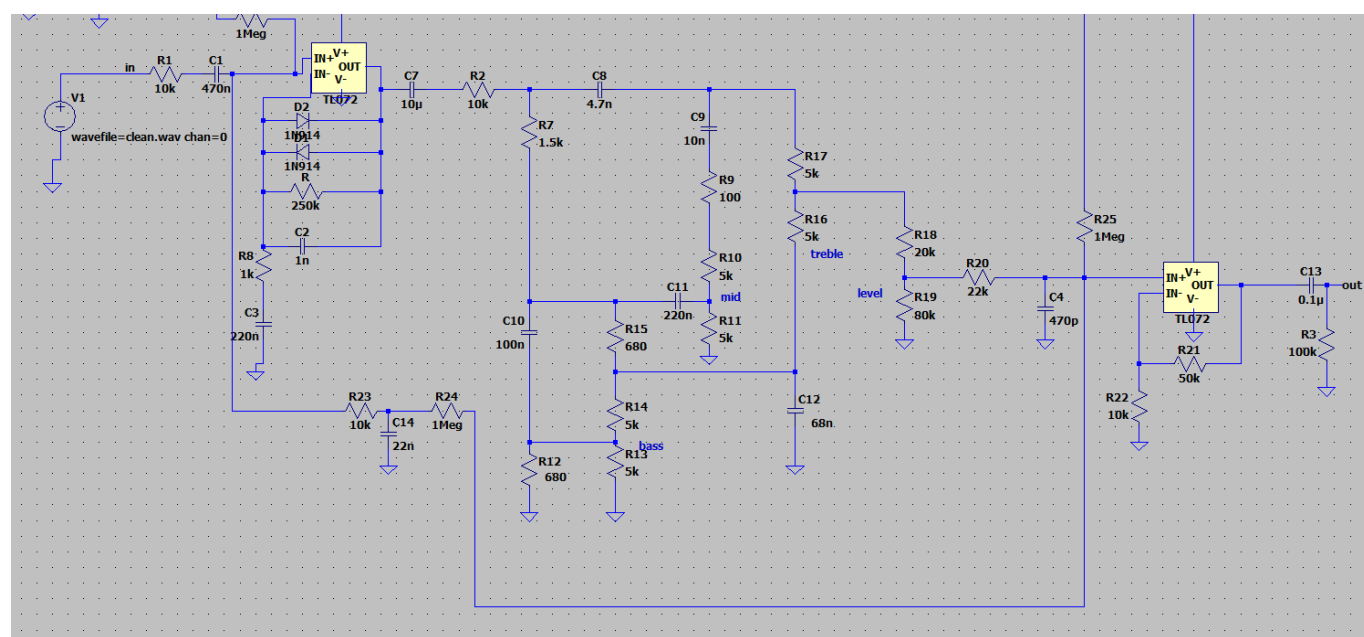
dwóch filtrach – dolnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia 15kHz, co potencjalnie wspomogłoby usunięcie szumu wysokich częstotliwości z sygnału, szczególnie przy dużych wzmocnieniach oraz górnoprzepustowy powyżej 15Hz aby usunąć potencjalne bardzo niskie częstotliwości. Ostateczne wzmocnienie zamiast osłabienia sygnału może być również pożądane w sytuacji, gdy efekt gitarowy jest jednym z wielu stosowanych – następujące po nim efekty dostaną lekko wzmocniony sygnał, co jest korzystne, umożliwia im na osłabienie lub utrzymanie poziomu bez zagrożenia zbytniego wyciszenia sygnału przez wszystkie efekty w ciągu efektów, potocznie nazywanym effect chain.

b. wpływ na rzeczywisty sygnał audio



IV. Linia feedforward części oryginalnego sygnału

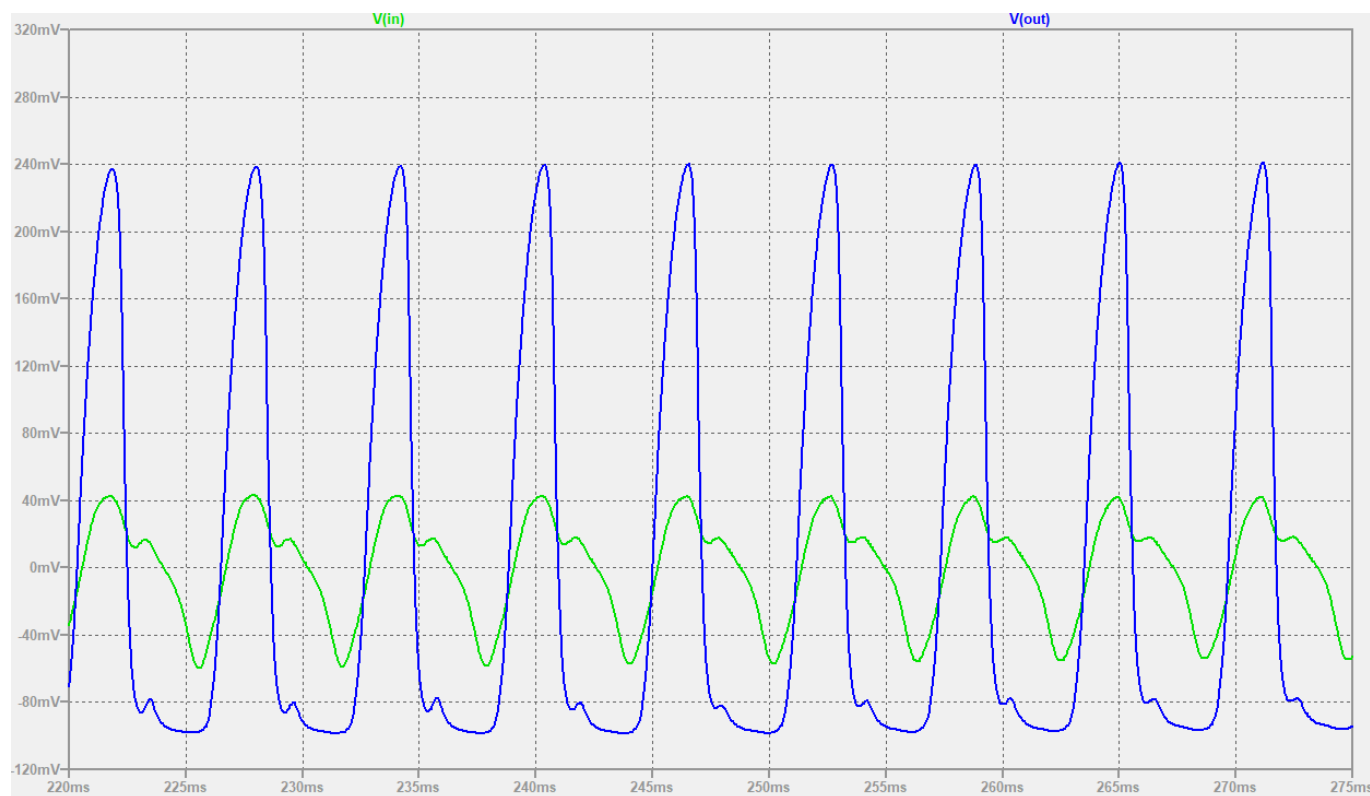
a. schemat układu i opis działania



Do układu dodana została linia feedforward przechodząca przez filtr dolnoprzepustowy złożony z elementów R23 i C14 o częstotliwości odcięcia ok. 723Hz. W ten sposób do wyjścia układu dostaje się część sygnału oryginalnego, nie uciętego przez diody. Rezystor R24 zapewnia, że z linii nie staje się tak naprawdę linia feedback. Sposób podłączenia sprawia również, że bias wyjściowego wzmacniacza jest wyżej niż bez tej linii, co czyni ostateczny

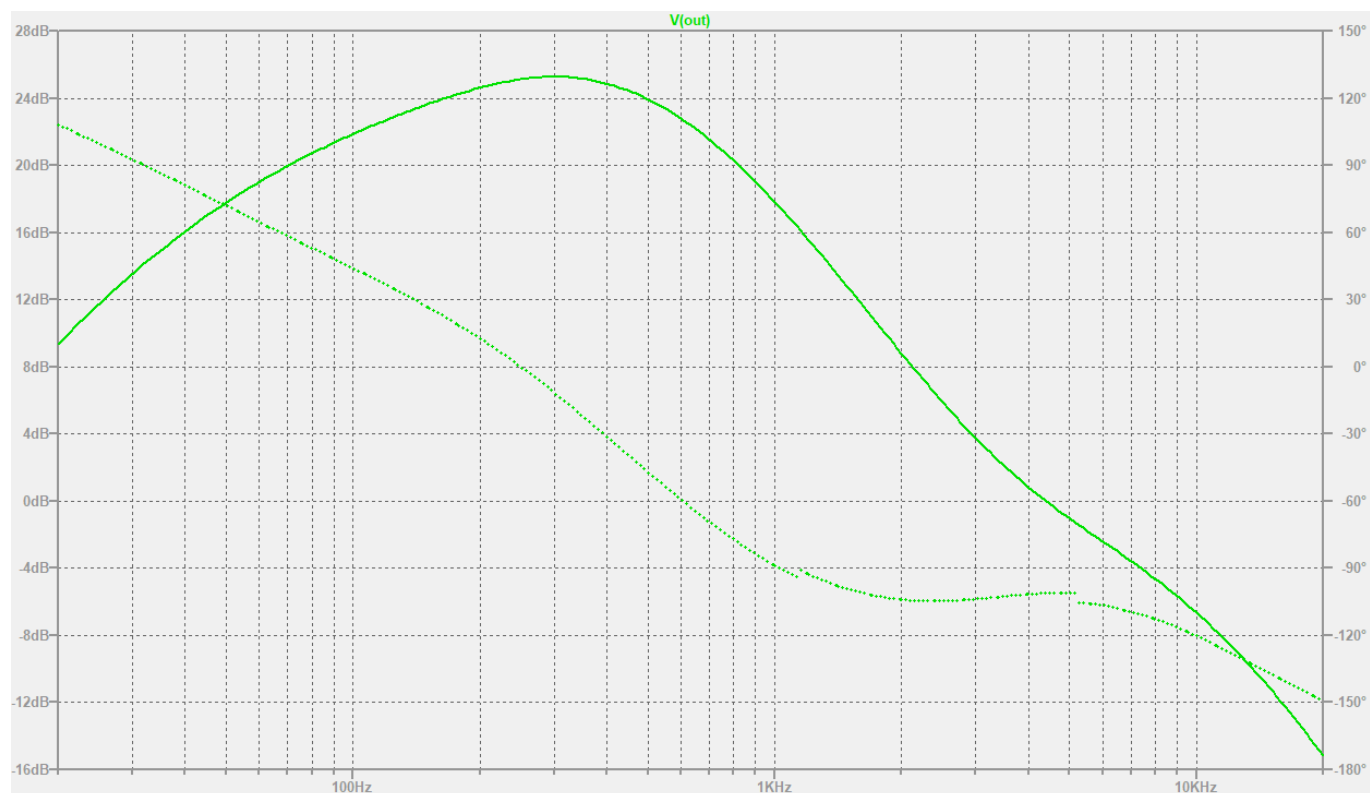
sygnał mniej symetrycznym, daje to jednak ciekawy efekt dźwiękowy. Wiązało się to również z niewielkim zmniejszeniem wartości rezystora R21 aby wyjściowe napięcie nie było za duże.

b. wpływ na rzeczywisty sygnał audio i charakterystyki częstotliwościowe



Na przebiegu prezentuje się w głównej mierze wspomniana asymetryczność

Charakterystyki częstotliwościowe:



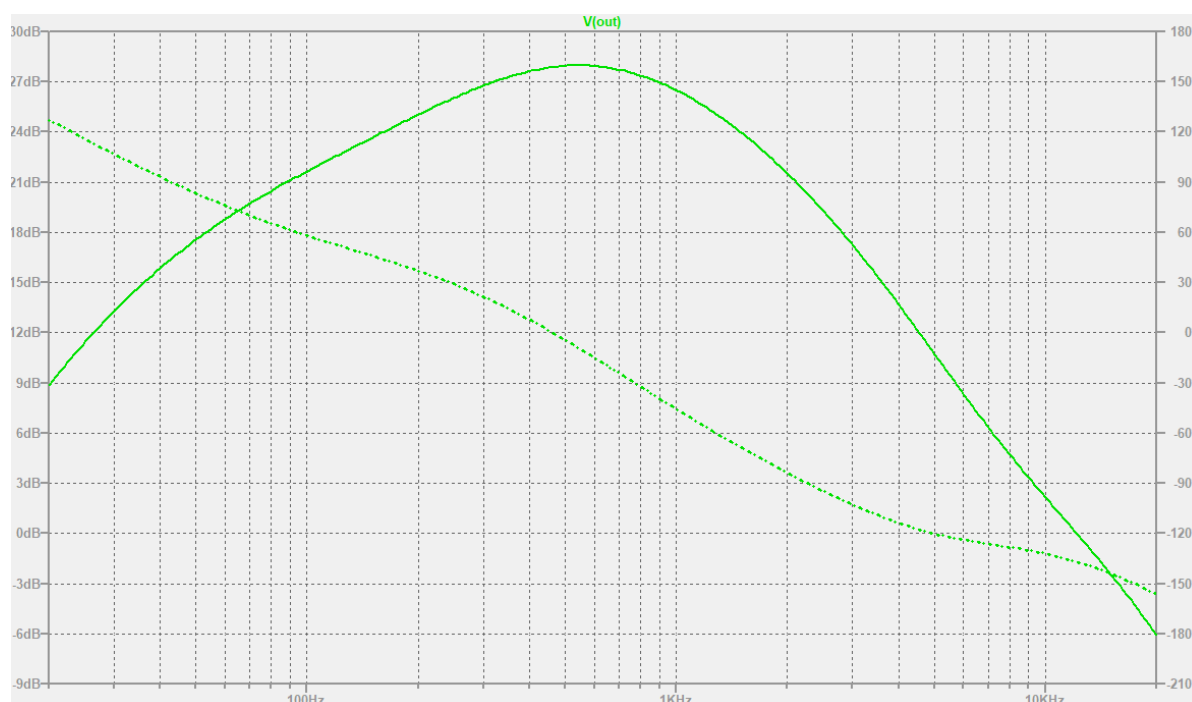
Porównując z charakterystyką dla pozycji neutralnych 5k/5k (przedstawionej na początku następnej sekcji), zauważalny jest wpływ linii na częstotliwości tzw. średnie, charakterystyka w ich okolicach została „spłaszczona”

ale nie obniżona, tzn. większy jest ich ogólny udział w sygnale, co może być pożądanym efektem, gdyż jest to zakres w którym mieści się spora część częstotliwości przychodzących od gitary. Z drugiej strony taki zabieg odbiera sygnałowi nieco tzw. dynamiki, kontrast między wyższymi a niższymi nutami jest mniejszy. W projekcie zdecydowałem się jednak na tego typu modyfikację.

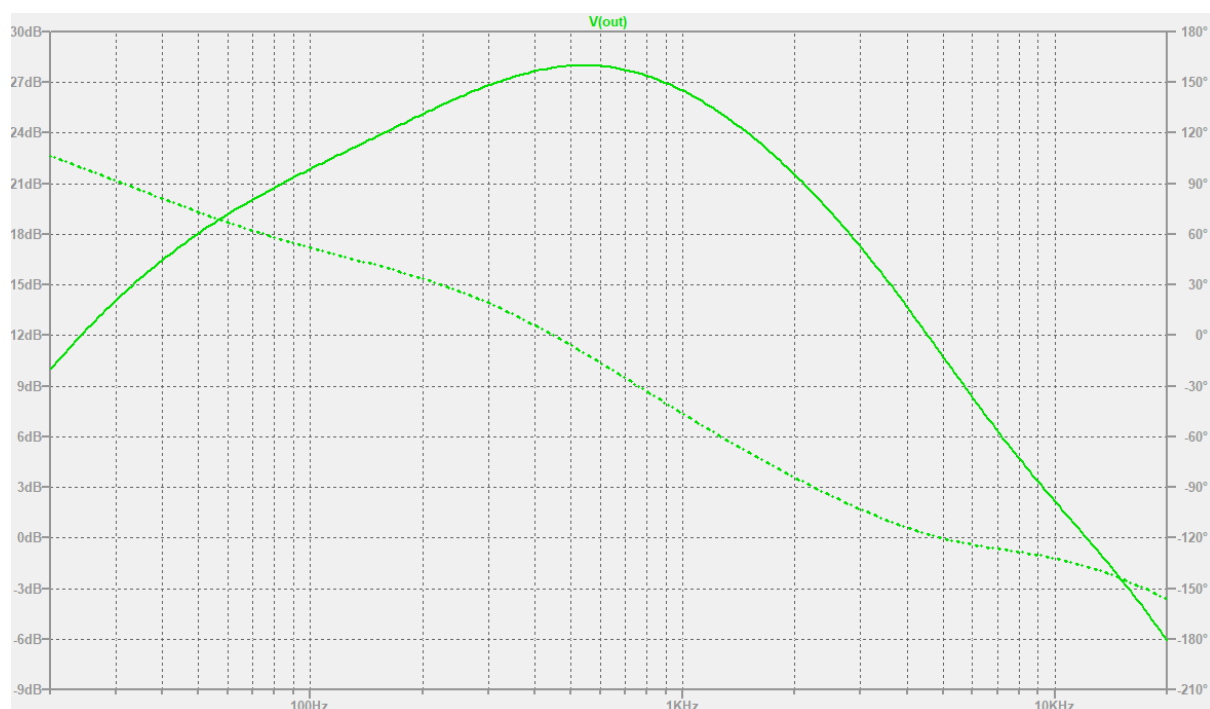
V. Badanie wpływu parametrów

1. Wpływ wartości kondensatorów usuwających część DC z sygnału (tzw. coupling capacitors). W internecie znaleźć można stwierdzenia, że im większe są ich wartości tym więcej niskich częstotliwości przepuszczają.
2. Wpływ wartości filtrów pasywnych nie kontrolowanych potencjometrami
3. Wpływ zmiany wartości szeregowych rezystorów na siłę sygnału

Kondensator usuwający część DC sygnału po części ucinającej = 1uF:



10uF:

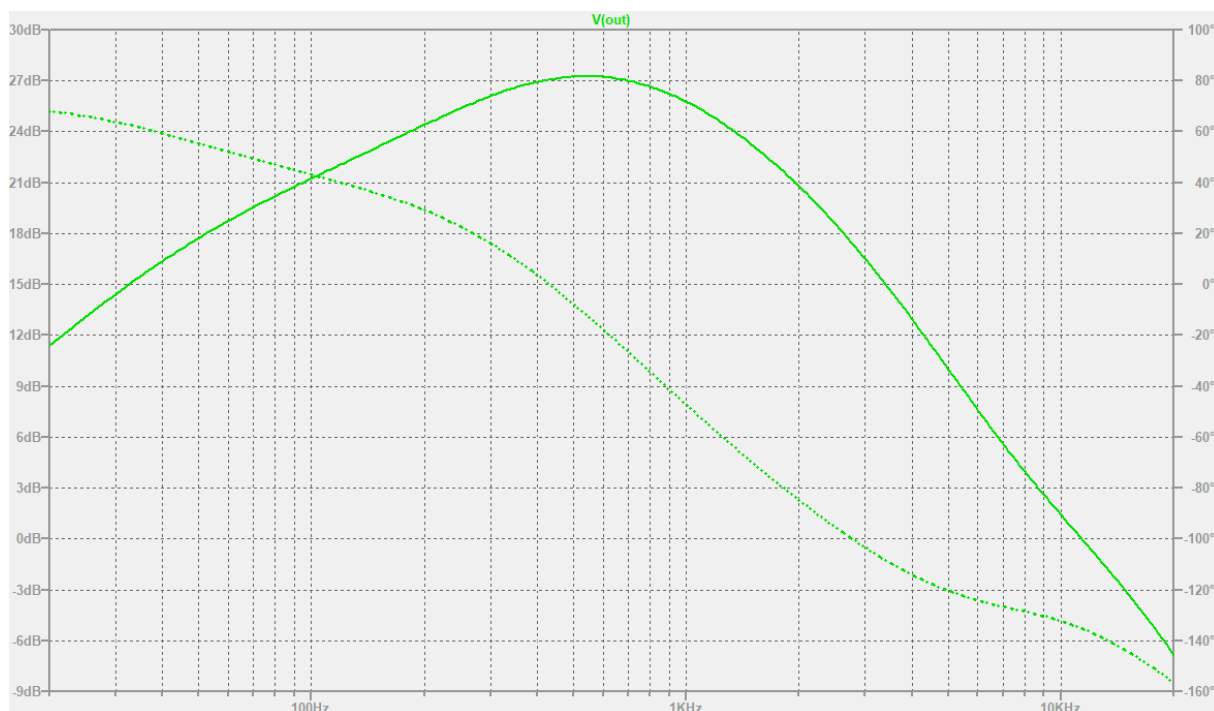


Widoczne jest, że bardzo niskie częstotliwości (okolice 20Hz) zostały podniesione o ok. 1dB.

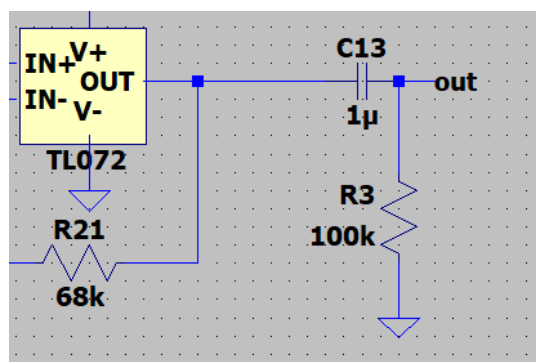
Przy wartości np. 100uF, wzmacnienie to wzrosło, jednakże zdecydowanie mniej niż przy zmianie z 1uF na 10uF, przy jednak takim doborze wzrósłby rozmiar fizycznego kondensatora, co względem rezultatów nie byłoby pożądane.

Zwiększenie wejściowego coupling kondensatora z 470n do 10u (przy pozostawionym powiększeniu wyjściowego 100uF) nie miało wpływu, gdyż podawany z LTSpice sygnał AC nie zawierał żadnej części stałej.

Największy jednak wpływ, ma kondensator dodany wraz z modyfikacją wzmacniającą sygnał po etapie EQ. Przy podniesieniu jego wartości z 0.1u do 10u (i pozostawionym 10u wcześniej na drodze sygnału):



Zmiana ta wprowadziła zauważalny wzrost udziału częstotliwości niskich, który moim zdaniem jest już słyszalny, szczególnie przy wzmacnieniu ich również w etapie EQ.



Warto zwrócić jednak uwagę, że funkcjonalne kondensator usuwający część DC oraz rezystor tzw. anti-pop opisany wcześniej, tworzą razem filtr górnoprzepustowy, który dla wartości C13 = 1uF

oraz R3 = 100k Om posiadał częstotliwości odcięcia 160Hz, co jednak w przeprowadzonych symulacjach nie wydawało się wpływać na inne częstotliwości niż inne niskie.

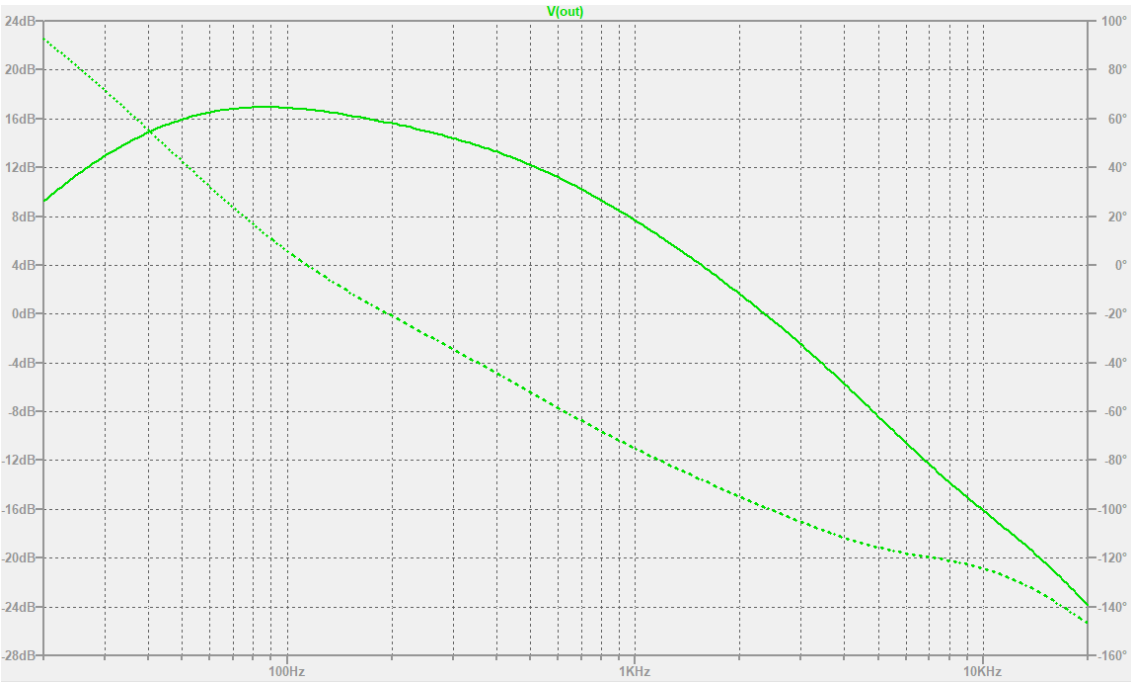
Wpływ wartości filtrów pasywnych nie kontrolowanych potencjometrami

Ogólnie filtry w układzie i ich częstotliwości odcięcia (pomijając część EQ) można przedstawić w następującej tabeli:

	R [Om]	C [F]	f [Hz]
R8,C3	1000	0.00000022	723.7984945
R,C2	250000	1E-10	6369.426752
R20,C4	22000	4.7E-10	15399.96797
R3,C13	100000	0.00000001	159.2356688

- Zmniejszenie częstotliwości odcięcia filtru górnoprzepustowego R8C3 poprzez zastosowanie rezystora 68k zamiast 1k:

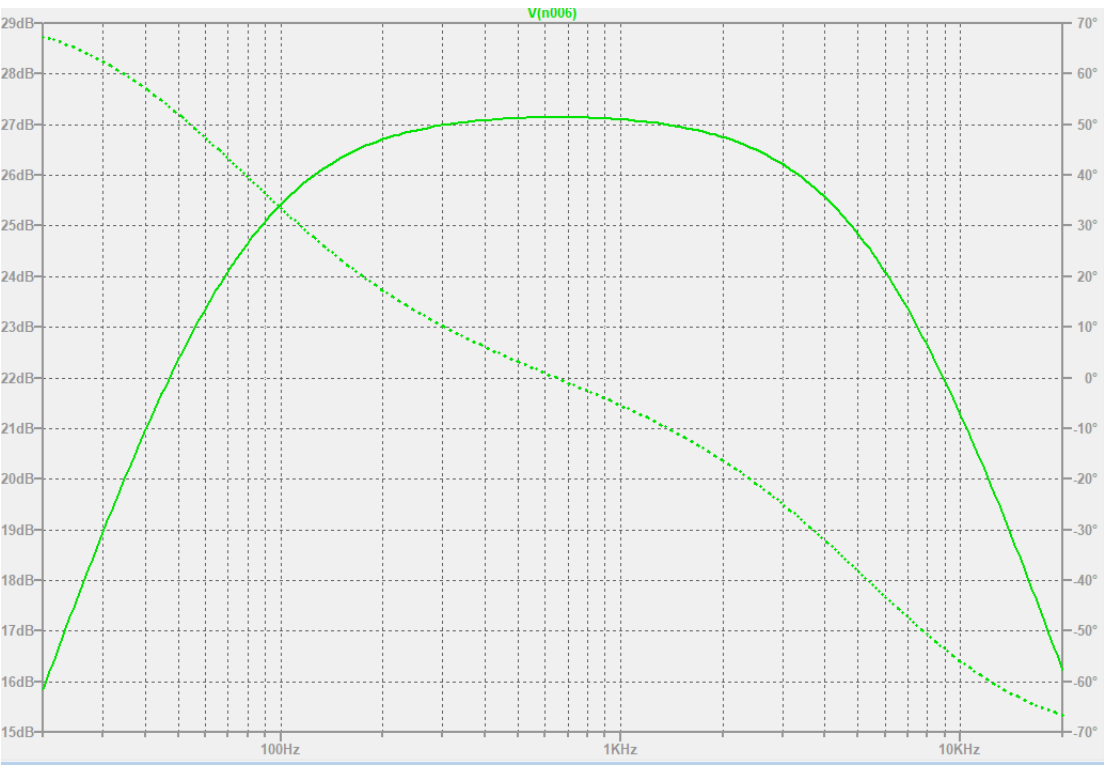
	R [Om]	C [F]	f [Hz]
R8,C3	10000	0.00000022	72.37984945



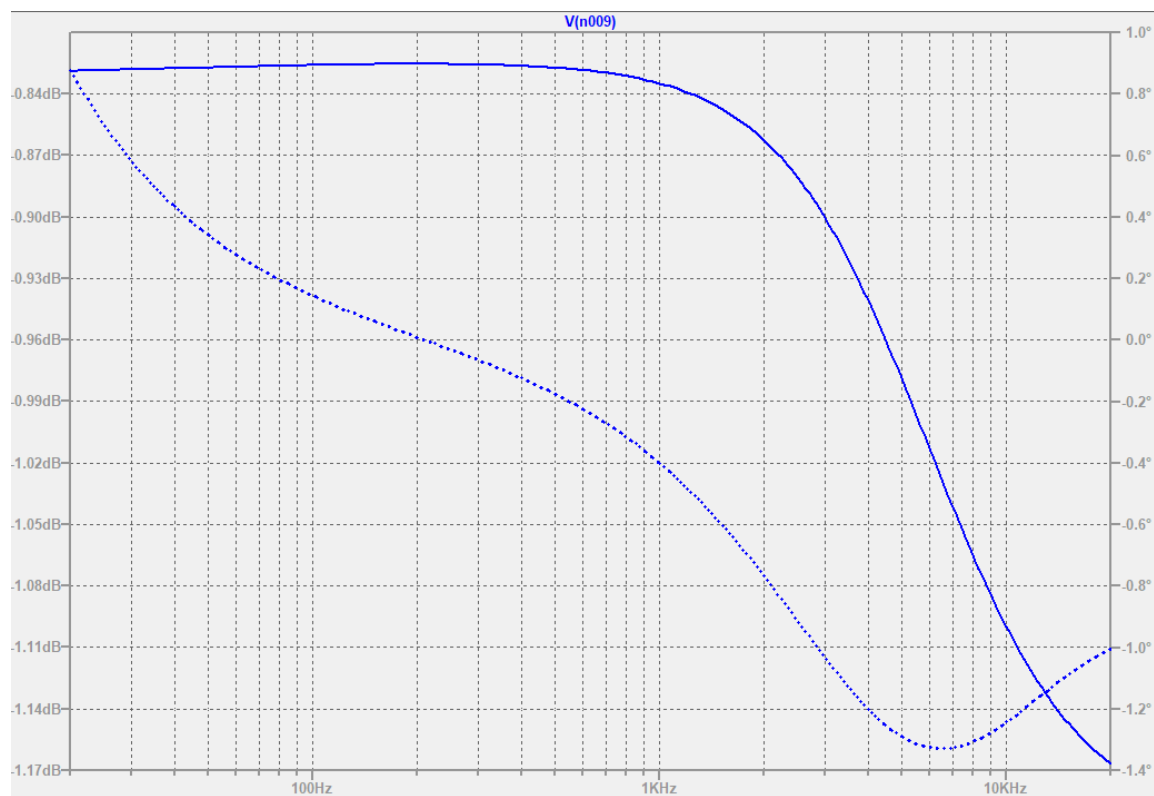
Zmiana ta miała bardzo duży wpływ na sygnał. Wynika to zapewne z faktu dodawania nowych harmoniczných przez układ ucinający na bazie tych jakie otrzyma, aby dokładnie określić wpływ zmiany na ten etap warto pokazać jaki wpływ na charakterystyki częstotliwościowe tej części miała ta modyfikacja:

Charakterystyki po modyfikacji:

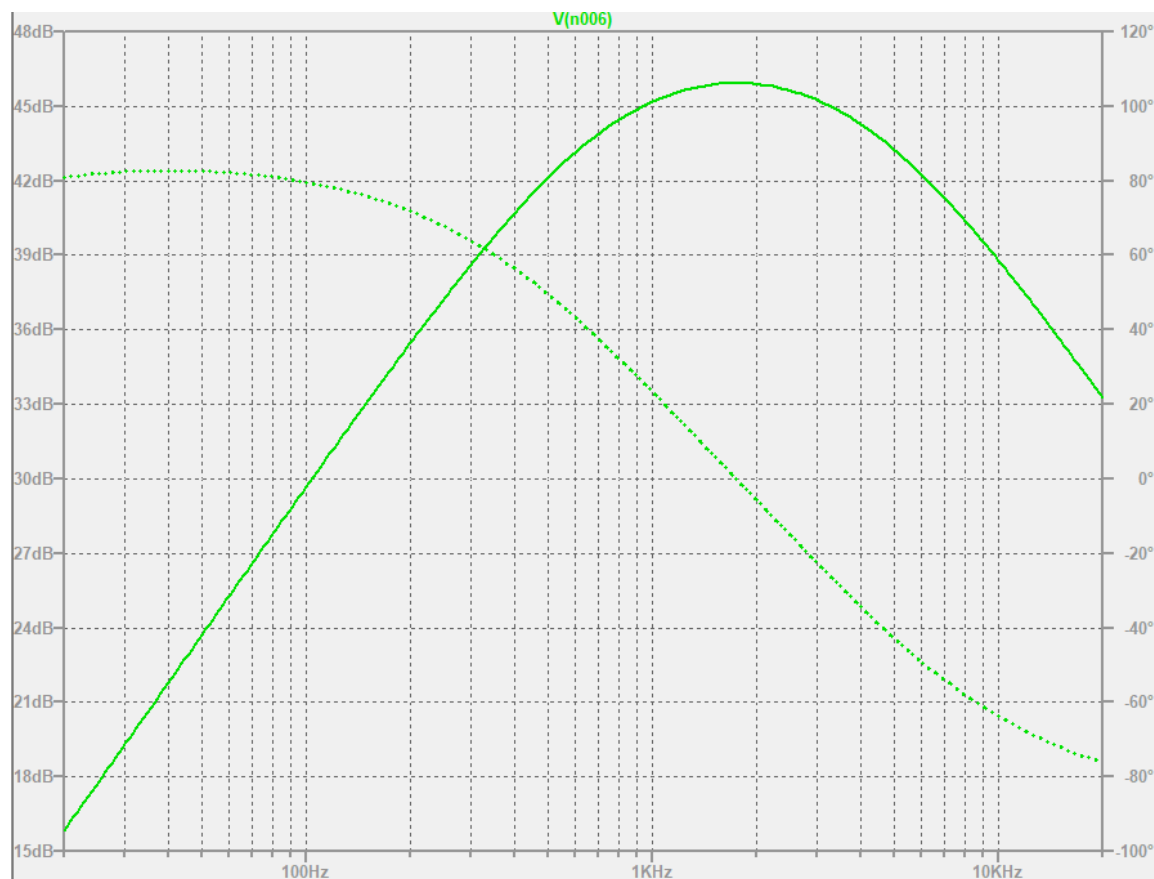
Po przejściu przez część ucinającą:



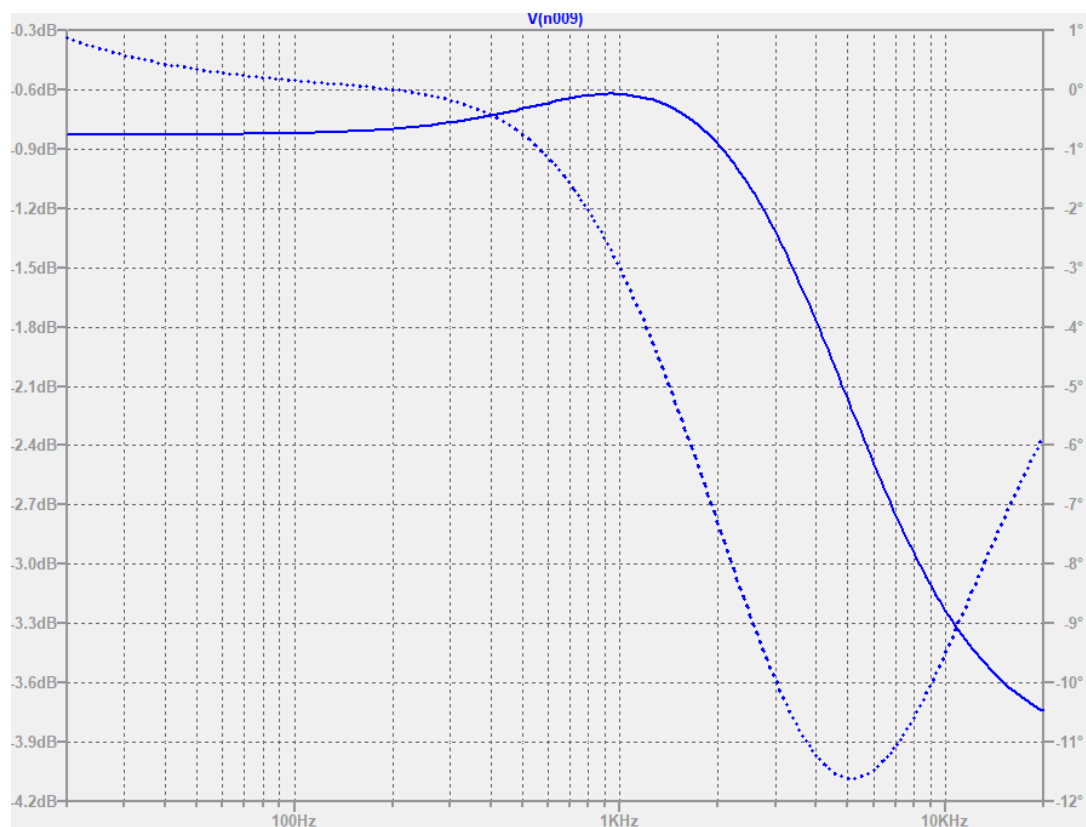
Na odwracającym wejściu wzmacniacza części ucinającej:



Przed modyfikacją ($R_8 = 1k$) po części ucinającej:



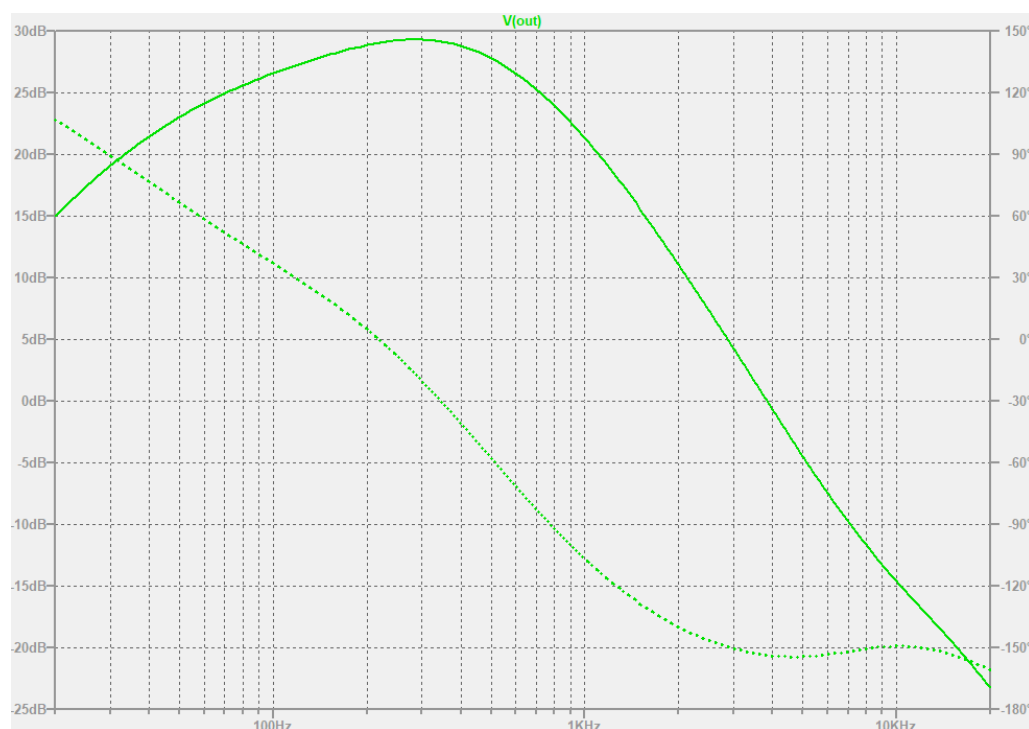
Na odwracającym wejściu wzmacniacza części ucinającej:



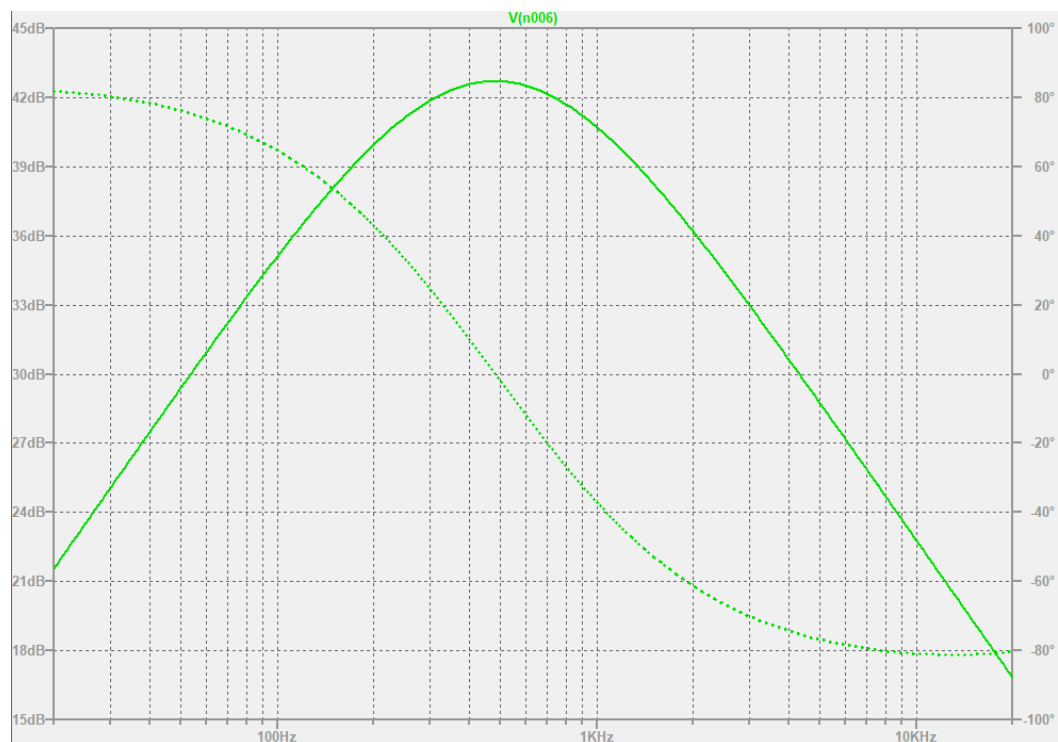
Widoczne jest, że wybór częstotliwości przepuszczanych w sprzężeniu zwrotnym ma duże znaczenie dla sygnału. Sprawdzić to można również modyfikując filtr złożony z elementów R i C2, np. zawężając pasmo, gdyż sygnały tak jak dotychczas powyżej 6370Hz rzadko będą i tak przez układ przechodzić ze względu na naturę instrumentu. Zawężanie to będzie miało miejsce np. naturalnie w przypadku ustawiania rezystora ponad przyjęte w symulacji 250k, gdyż w rzeczywistości, zostanie on zastąpiony potencjometrem 500k. Przy krańcowym ustawieniu 500k:

R,C2	500000	1E-10	3184.713376
------	--------	-------	-------------

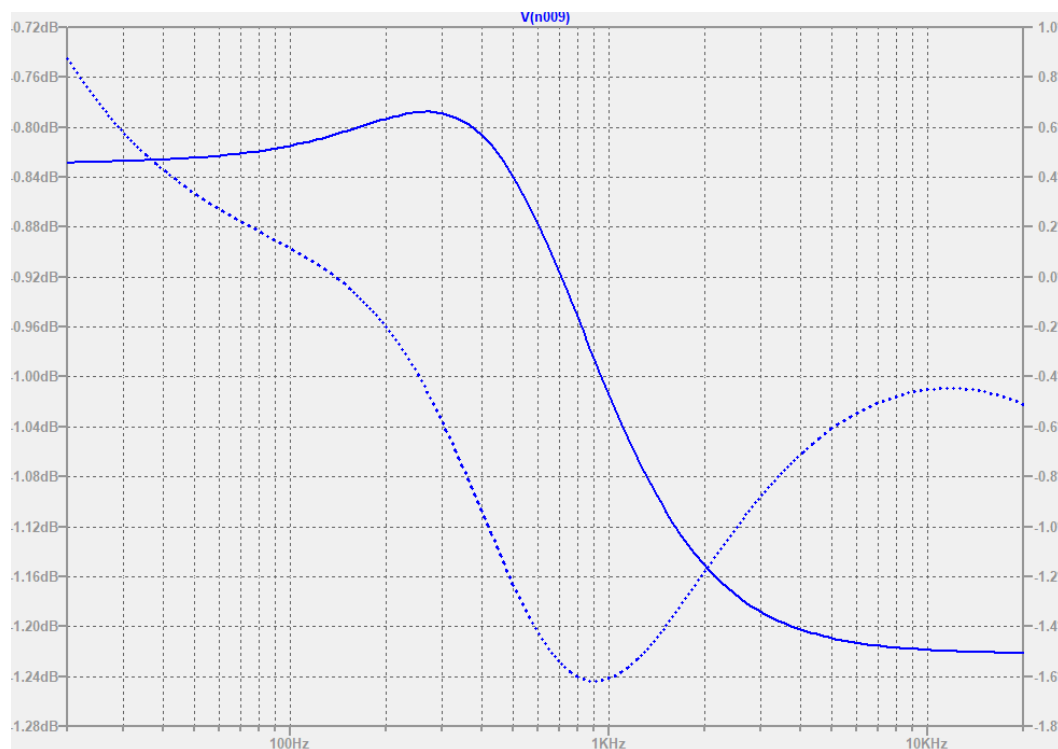
Wyjście efektu:



Wyjście części ucinającej:



Wejście odwracające:



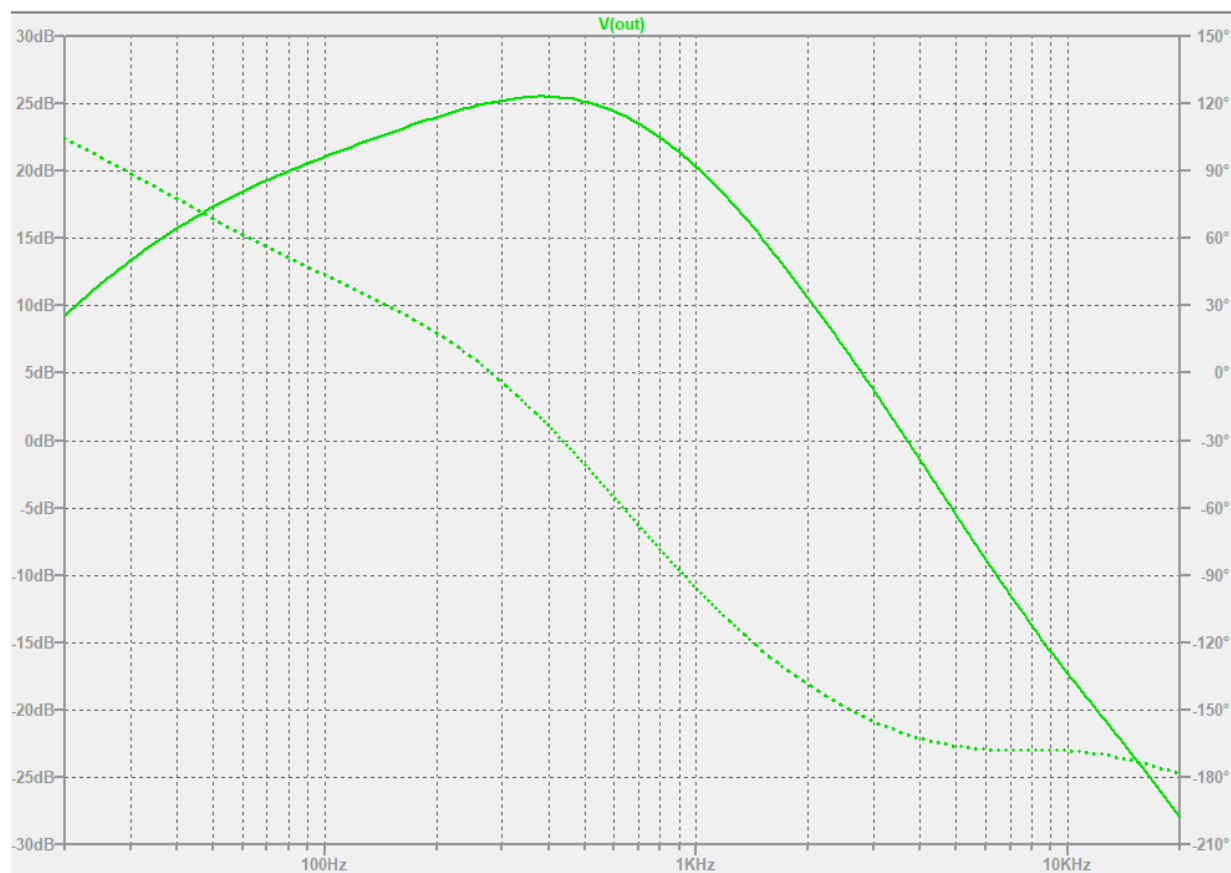
Układ zachował się zgodnie z oczekiwaniami.

Należy zauważyć, że potencjometr R odpowiada nie tylko za częstotliwość odcięcia filtra ale i wzmacnienie wzmacniacza przed ucięciem. Im większe jest to wzmacnienie, tym ostrzejsze będzie ucinanie sygnału przez diody, tym więcej wysokich harmonicznnych zostanie dodane do sygnału, które mogą wprowadzić nieprzyjemne dla ucha szumy. Zwiększając wartość rezystancji tego elementu, zmniejszamy również częstotliwość górną filtra bandpass tworzonego przez oba filtry w sprzężeniu, co tłumi to zjawisko.

Ostatnim badanym filtrem jest filtr dolnoprzepustowy utworzony przez elementy R20 i C4, po przykładowym zwiększeniu wartości C4 z 470pF do 1nF:

R20,C4	22000	0.000000001	7237.984945
--------	-------	-------------	-------------

Wyjściowy sygnał:



Charakterystyka ta nie różni się znacznie od oryginalnej, przed jakimikolwiek modyfikacjami filtrów, jedynie zwiększyła się jej stromość w okolicach wysokich częstotliwości. Filtr ten pełni bardziej rolę funkcyjną, usuwającą potencjalne bardzo wysokie częstotliwości niż służącą kreowaniu brzmienia, pozostanie zatem w ostatecznym wariantcie niezmodyfikowany.

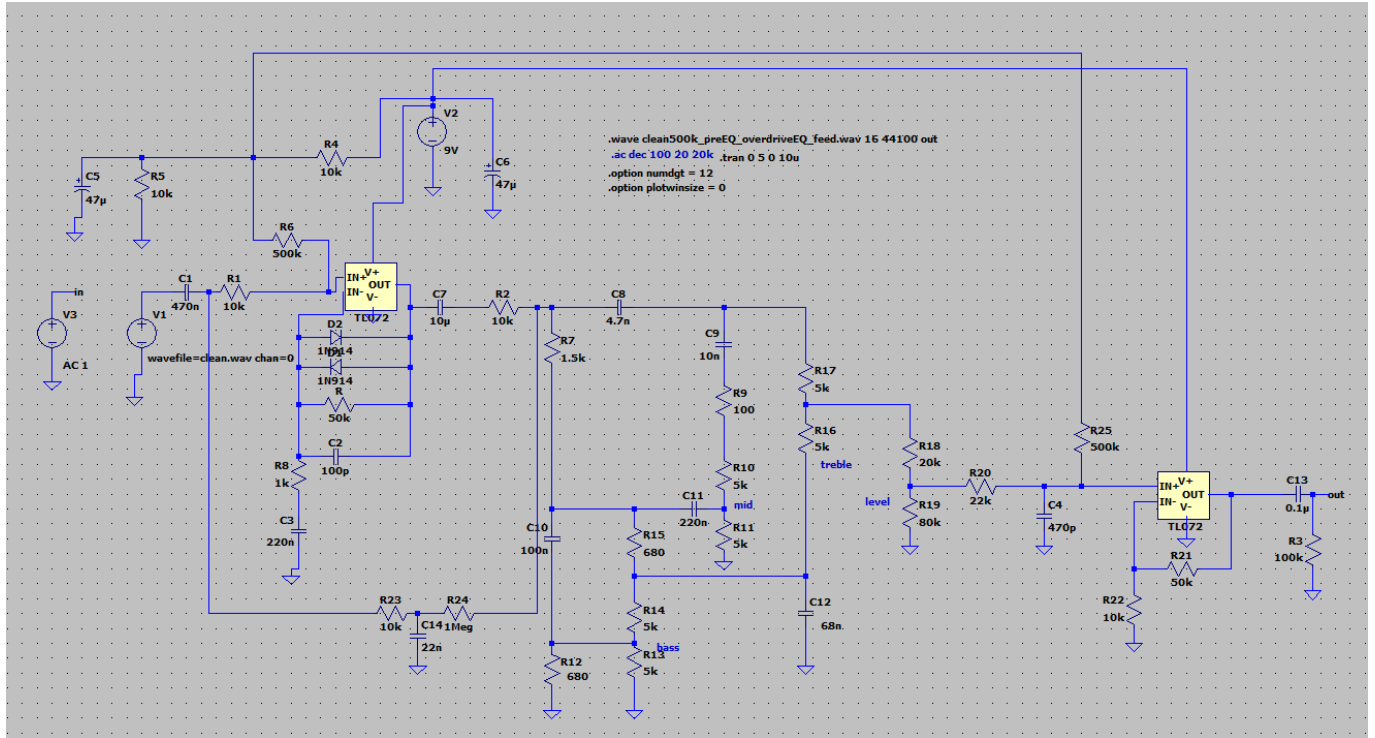
Szeregowe rezystory R1 oraz R2 (nie będące częściami filtrów) zgodnie z oczekiwaniami miał wpływ na siłę sygnału wyjściowego, przy czym rezystor R2 miał wpływ zdecydowanie większy, co również jest zgodnie z oczekiwanym zachowaniem układu.

Dobór modeli diod lub ustawienia ich w układzie ucinającym symetrycznym lub asymetrycznym zdawał się nie mieć wpływu na charakterystyki częstotliwościowe i dobór tego aspektu wydaje się mniej podatny na decyzje analityczne a bardziej na osobiste preferencje brzmieniowe.

VI. Ostateczny schemat efektu oraz konstrukcja fizycznego odpowiednika

Wracając do modyfikacji dodającej sieć feedforward, omijała ona nie tylko część ucinającą ale również filtrującą i ustawiającą głośność wyjściową sygnału, co po zastanowieniu może nie być pożądane, gdyż daje mniejszy stopień kontroli nad dźwiękiem. Układ został zatem zmieniony by uwzględnić ten fakt.

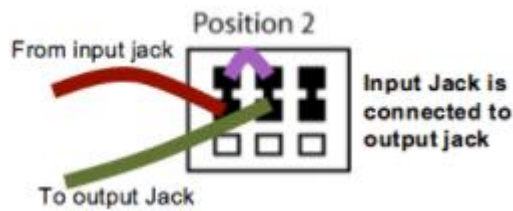
Ostatecznie układ prezentuje się następująco:



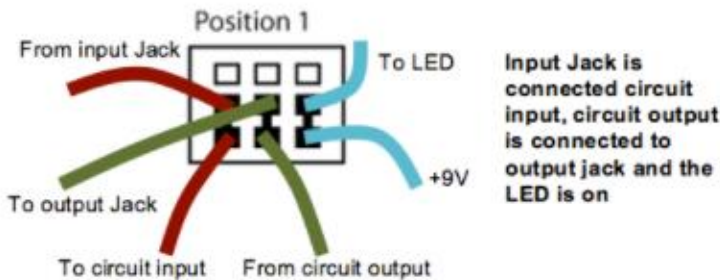
Przykładowy schemat układu na płytce typu perfboard, służący jako rozplanowanie ułożenia elementów rzeczywistych, stworzony za pomocą programu DIY Layout creator oraz lista potrzebnych elementów BOM:

Name	Value	Quantity	Notes
1N914, 1N914		2	
BASS, MID, TREBLE	10K Lin	3	
Perf Board w/ Pads		1	
C1, C2	47uF	2	
C3	10uF	1	
C4	470nF	1	
C5, C8	4.7nF	2	
C6	100pF	1	
C7, C11	220nF	2	
C9	10nF	1	
C10, C13	100nF	2	
C12	68nF	1	
C14	22nF	1	
GAIN	500K Lin	1	
IN, OUT		2	
J1		1	
LED		1	
Chassis Panel		1	
R1, R12	680Ω	2	
R2, R3, R5, R6, R7, R15	10K	6	
R4	2.2K	1	
R8, R16	500K	2	
R9	1.5K	1	
R10	1K	1	
R11	100Ω	1	
R13	22K	1	
R14	68K	1	
R17	100K	1	
R18	1M	1	
SW1	3PDT	1	
TL072, TL072 #2		2	
VOL	100K Log	1	

Układ ma dwie pozycje przełączane przyciskiem: sygnał ze złącza wejściowego jest podłączony do złącza wyjściowego, pomijając całkowicie efekt, jest to tzw. połączenie true bypass:



Sygnał ze złącza wejściowego przechodzi przez układ efektu, którego wyjście jest następnie prowadzone na złącze wyjściowe, a przez diodę LED płynie prąd:



Układ taki nazywa się zatem 3 pole double throw ze względu na jednoczesne przełączanie (przerzucanie) 3 dwupozycyjnych przełączników i jest często stosowany w konstrukcji efektów.

Dodatkowo zauważyć można, że masa układu połączona została z obudową. Jest to powszechny zabieg, gdyż w teorii, sprawia to, że cała powierzchnia obudowy powinna mieć jednakowy potencjał, co z kolei czyni ją tzw. klatką Faradaya, blokując wpływy zewnętrznych pól elektrycznych mogących wprowadzać zakłócenia do układu.

Dodatkowo, mimo poprawnego działania w ramach symulacji, w rzeczywistym układzie linią feedforward przechodził cały sygnał, czyniąc część ucinającą bezużyteczną, dlatego ostatecznie została ona odłączona od układu.

Przedstawiona reprezentacja nie zgadza się oczywiście w 100% z rzeczywistością, ze względu na popełnione podczas konstrukcji błędy, wartość rezystora C4 równa ok. 4.7nF została osiągnięta poprzez szeregowe połączenie rezystorów 470nF (błędnie wlutowany, trudny do usunięcia) i 4.7nF oraz niektóre połączenia zostały zrealizowane za pomocą nóżek elementów zamiast używania dodatkowych przewodów.

10-krotne zwiększenie wartości kondensatora C4 sprawiło oczywiście, że na tym etapie powstał filtr dolnoprzepustowy o znacznie niższej częstotliwości odcięcia, co sprawia również, że większy wpływ na tę częstotliwość ma ustawienie potencjometru level/vol. Poza tym praca układu pozostała bez zmian.

Ostatecznie, po testach efektu, kondensator ten został usunięty z układu, co zapewniło większy wpływ układu EQ na brzmienie.

Zdjęcia stworzonego układu oraz z konstrukcji:

