

**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska**

Elementy i układy elektroniczne

**Sprawozdanie z wykonania projektu sprzętowego
Wzmacniacz audio**

Konrad Winnicki

Numer indeksu: 283423

Warszawa, 14 czerwca 2018

Spis treści

Cele projektu	2
Założenia projektowe	2
Koncepcja	2
Projekt.....	3
Filtr pasmowo przepustowy	3
Wtórnik napięcia	4
Końcówka mocy	5
Schemat ideowy wzmacniacza	6
Realizacja sprzętowa wzmacniacza	6
Testy wzmacniacza audio	7
Pasma przenoszenia wzmacniacza	7
Współczynnik zawartości harmonicznych THD	8
Zakres dynamiki wzmacniacza	9
Podsumowanie	11

Cele projektu

- Celem projektu było zaprojektowanie, zbudowanie i przetestowanie wzmacniacza audio przy wykorzystaniu elementów elektronicznych poznanych w trakcie kursu Elementów i układów elektronicznych.
- W układzie wykorzystałem poznane elementy i układy:
 - Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji wzm. nieodwracającego
 - Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji wzm. odwracającego
 - Tranzystory bipolarne typu NPN oraz PNP

Założenia projektowe

- Głównym założeniem było zastosowanie stosunkowo niskiego pojedynczego napięcia zasilania układu – maksymalnie +5V pochodzące z portu USB komputera, ładowarki lub powerbank
- Sygnał wejściowy dwukanałowy pochodzący z wyjścia audio komputera lub telefonu co prowadzi do założenia
- Wzmacniacz przeznaczony do pracy ze słuchawkami stereo.
- Dwa identyczne kanały zapewniające audio stereo
- Konfiguracja końcówki mocy do pracy w klasie AB

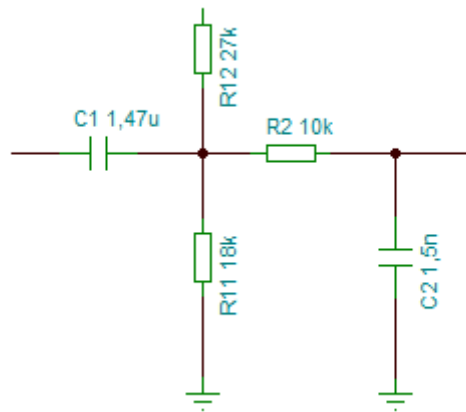
Koncepcja

- Sygnał wejściowy o amplitudzie maksymalnej $1V_{pp}$ pochodzący z wyjścia audio przy założonym jednostkowym wzmocnieniu wzmacniacza zachowuje duży zapas dynamiki układu
- Stosunkowo niska moc wyjściowa pozwala na zastosowanie łatwo dostępnych dyskretnych tranzystorów w obudowach TO-92
- Układ realizowany w postaci trzech kolejno połączonych bloków
 - Filtr pasmowo przepustowy RC
 - Pasma od około 10Hz do 10kHz
 - Z dzielnikiem rezystorowym zapewniający żądany poziom składowej stałej sygnału podawanej na wejście wtórnika
 - Wtórnik
 - Zwiększa rezystancję wejściową wzmacniacza
 - Separacja wyjścia od wejścia układu
 - Zbudowany w oparciu o wzmacniacz operacyjny LM258P w konfiguracji wtórnika
 - zaletą danego modelu jest minimalne napięcie zasilania równe 3 Volta
 - Końcówka mocy
 - Zbudowana w oparciu o wzmacniacz operacyjny LM258P w konfiguracji wzmacniacza odwracającego o zgrubnie regulowanym wzmocnieniu oraz tranzystorową część mocy.
 - Wyjście wzmacniacza jest podłączone do wejścia tranzystorowej końcówki mocy, a sprzężenie zwrotne jest podawane z wyjścia końcówki.
 - Część tranzystorowa jest oparta o odpowiednio spolaryzowaną parę komplementarnych układów Sziklaiego

Projekt

Filtr pasmowo przepustowy

- Zbudowany w oparciu o dwa szeregowo połączone filtry RC: górno i dolnoprzepustowy

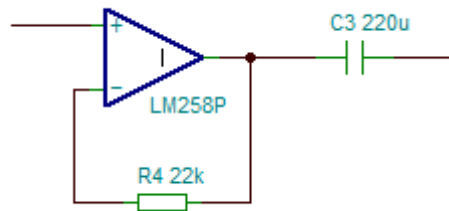


Rys. 1 - Filtr pasmowo przepustowy

- Stała czasowa filtra górnoprzepustowego jest równa pojemności C1 pomnożonej przez równoległe połączenie rezystancji R11 i R12
 - Zapewnia odcięcie częstotliwości poniżej około 10Hz
 - Zastosowany dzielnik rezystorowy zapewnia składową stałą na poziomie około 2.25 Volta przy zasilaniu 5 Volt
- Stała czasowa filtra dolnoprzepustowego jest równa pojemności C2 pomnożonej przez rezystancję R2
 - Zapewnia odcięcie częstotliwości powyżej 10kHz
- Połączone szeregowo filtry zapewniają pasmo przenoszenia od 10Hz do 10kHz

Wtórnik napięcia

- Prosta konfiguracja wzmacniacza operacyjnego z rezystorem w pętli sprzężenia o wartości równej rezystancji widzianej przez składową stałą na wejściu nieodwracającym wzmacniacza operacyjnego.
Jest to suma R2 z równoległym połączeniem R11 i R12.
- Na wyjściu zastosowałem kondensator elektrolityczny mający za zadanie odciąć składową stałą tego bloku

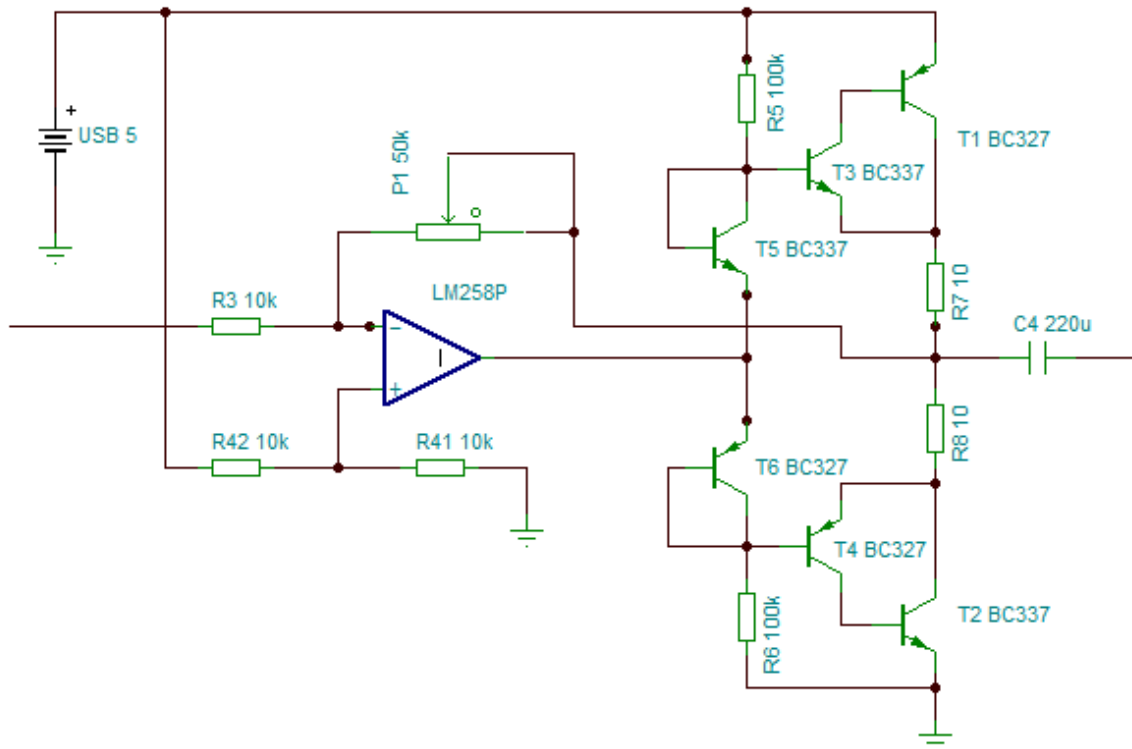


Rys. 2 - Wtórnik napięcia

- Wprowadzenie składowej stałej poniżej połowy napięcia zasilania było wymagane z powodu zastosowania pojedynczego napięcia zasilania 5 Volt oraz dodatkową motywacją był fakt iż zastosowany model wzmacniacza nie jest zdolny osiągnąć na swym wyjściu napięcia zasilania ale jest natomiast zdolny do osiągnięcia dolnej granicy zasilania

Końcówka mocy

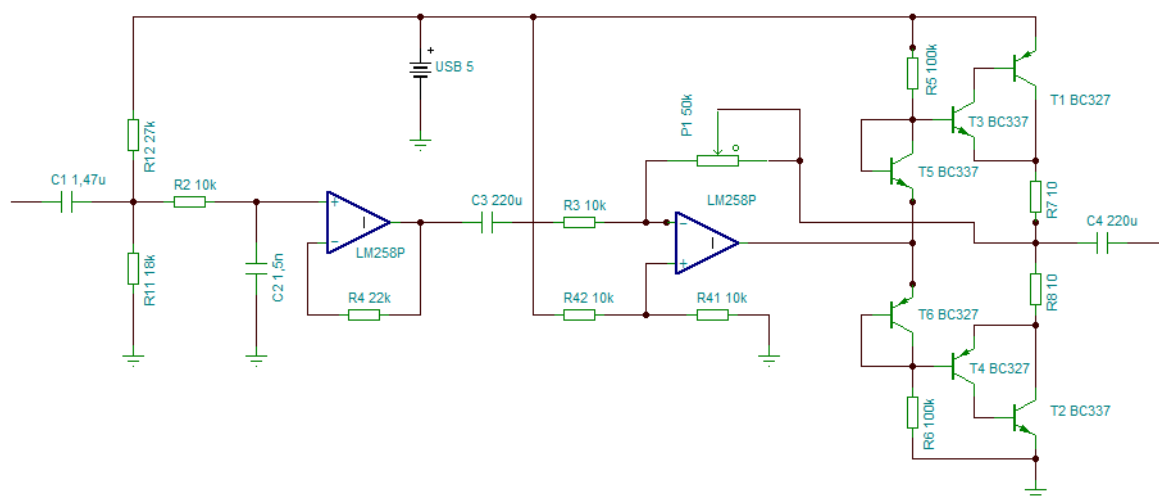
- Zbudowana z dwóch segmentów
 - Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji odwracającej ze sprzężeniem od wyjścia tranzystorowej końcówki mocy
 - Tranzystorowa końcówka mocy sterowana z wyjścia wzmacniacza operacyjnego



Rys. 3 - Końcówka mocy

- Wzmocnienie końcówki regulowane za pomocą potencjometru montażowego P1 znajdującego się w pętli sprzężenia zwrotnego
Założone sporadyczne nastawianie potencjometru, więc zamontowanie go w pętli nie będzie sprawiać problemu wraz ze starzeniem bądź zużyciem się elementów.
- Składowa stała ustalona poprzez dzielnik R41 i R42 na poziomie około połowy napięcia zasilania
- Układ polaryzacji zbudowany z rezystancji R5, R6 oraz tranzystorów pracujących jako diody (zwarty kolektor i baza)
 - Tranzystory zastosowane w układzie polaryzacji identyczne jak te zastosowane w dalszej części układu.
- Za dostarczenie mocy do odbiornika odpowiedzialne są dwa komplementarne układy Sziklaiego.
 - Układ Sziklaiego to ulepszona alternatywa dla układu Darlingtona. Układ posiada duże wzmocnienie prądowe będące również zaletą układu Darlingtona, jednakże nie posiada jednej z jego wad - napięcie polaryzacji układu jest dwukrotnie niższe (wymagane jest napięcie do polaryzacji tylko jednej bazy zamiast dwóch połączonych szeregowo).
 - Zastosowanie takiej konfiguracji końcówki mocy pozwala osiągnąć szeroki zakres dynamiki wzmacniacza, teoretyczny zakres dynamiki od 0.7[V] do $U_{cc}-0.7[V]$

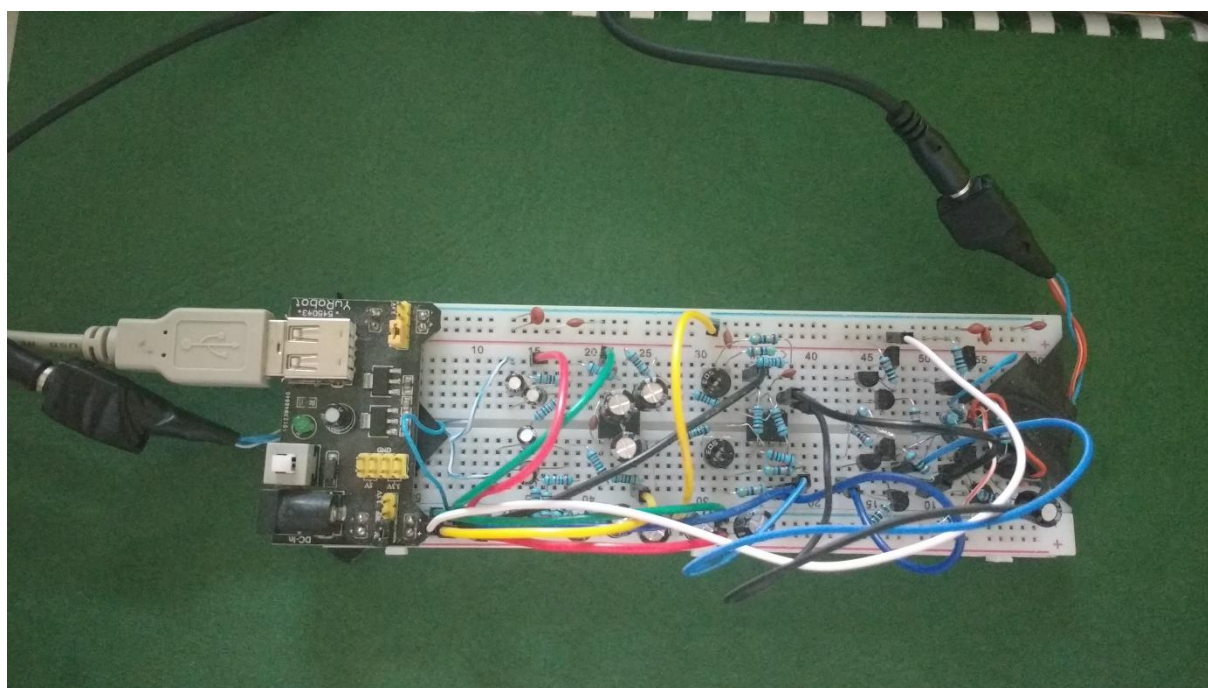
Schemat ideowy wzmacniacza



Rys. 4 – Schemat ideowy wzmacniacza

Realizacja sprzętowa wzmacniacza

- Układ zrealizowałem na płytce stykowej, ponieważ taka forma realizacji pozwala na szybkie dokonywanie poprawek w układzie, oraz pozwalało mi na to moje wyposażenie
- Na planie dalszym znajduje się idea zaprojektowania i wykonania płytki drukowanej dedykowanej temu wzmacniaczowi.

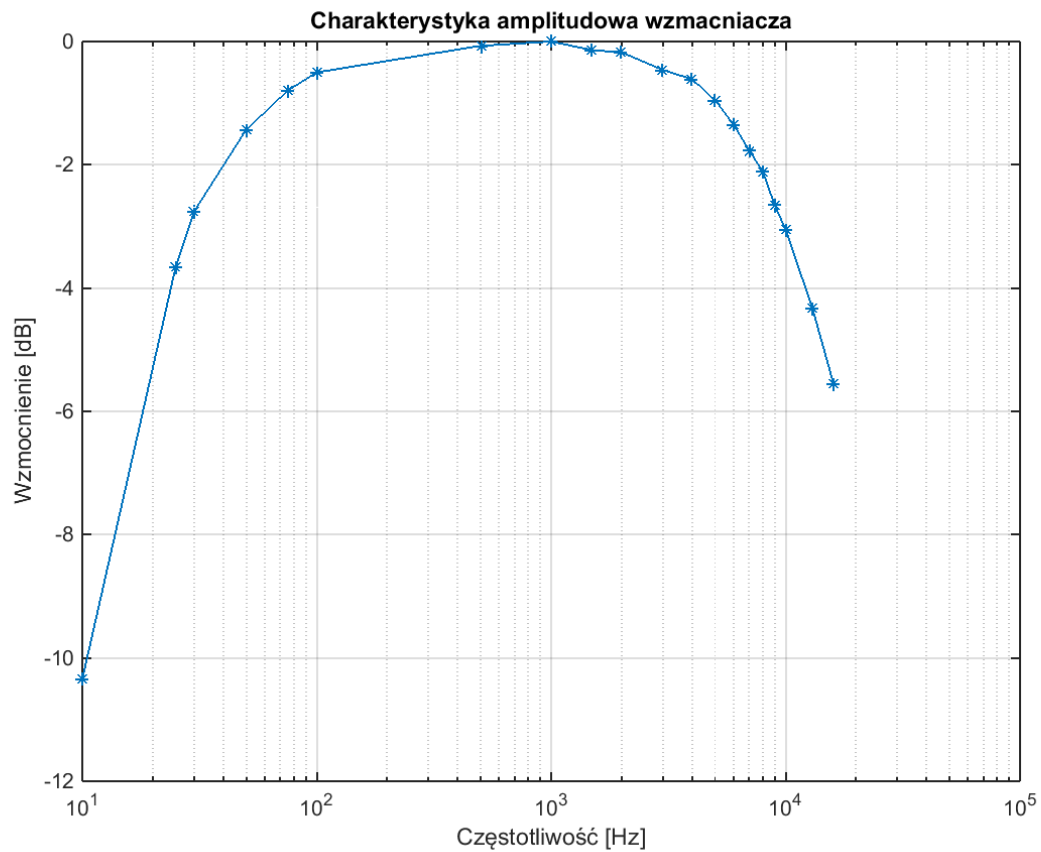


Rys. 6 – Fizyczna realizacja dwukanałowego wzmacniacza audio

Testy wzmacniacza audio

Pasmo przenoszenia wzmacniacza

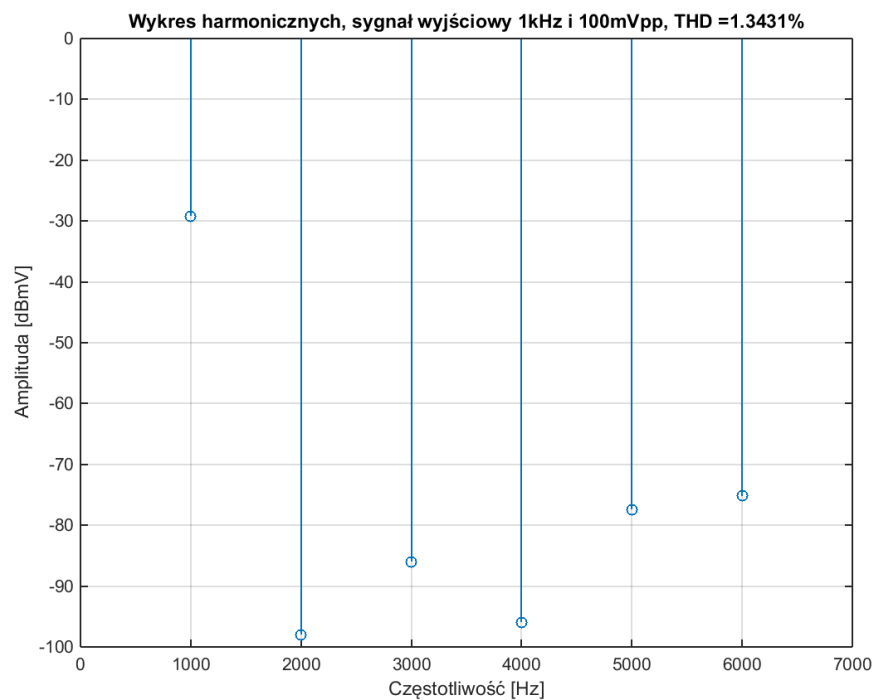
- Przy pomocy generatora i oscyloskopu wyznaczyłem metodą punkt po punkcie charakterystykę amplitudową wzmacniacza
- Wyznaczone trzy decybelowe pasmo przenoszenia zawiera się od około 27Hz do 10kHz



Rys. 7 – Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza

Współczynnik zawartości harmonicznych THD

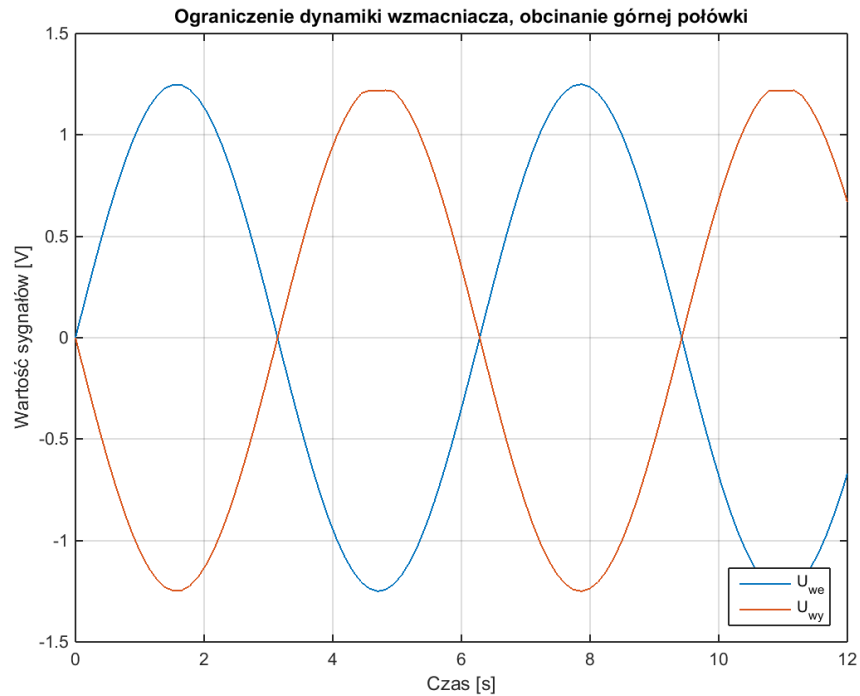
- Generator ustawiony na sinusoidę 1kHz, 100mVpp
- Sygnał wyjściowy obserwowany na oscyloskopie to odwzorowana sinusoida o amplitudzie 100mVpp
- Włączyłem w oscyloskopie funkcję FFT co pozwoliło mi na pomiar amplitudy kolejnych harmonicznych obecnych w sygnale.
- Wyznaczona procentowa wartość współczynnika THD wynosi około 1.34%



Rys. 8 – Zawartość harmonicznych

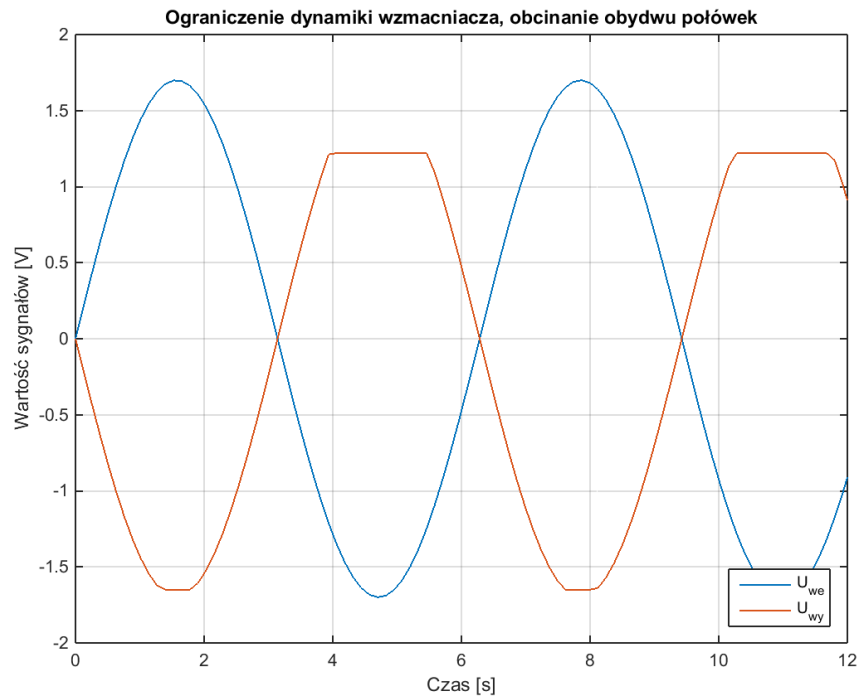
Zakres dynamiki wzmacniacza

- Wyznaczenie maksymalnej amplitudy sygnału wejściowego nie powodującej zniekształcenia sygnału wyjściowego poprzez obcinanie dodatnich i/lub ujemnych połówek sinusoidy.



Rys. 9 – Ograniczenie górne dynamiki

- Zaobserwowane obcinanie dodatniej połówki sygnału wyjściowego (ujemna połówka sygnału wejściowego) przy amplitudzie sygnału wejściowego równej 2.44[Vpp]



Rys. 10 – Ograniczenie obustronne dynamiki

- Dalsze zwiększanie amplitudy sygnału ukazuje obcinanie ujemnej połówki sygnału wyjściowego (dodatnia połówka sygnału wejściowego) przy amplitudzie sygnału wejściowego równej 3.3[Vpp]
- Wyznaczona maksymalna amplituda sygnału wejściowego nie powodująca obcinania sygnału na wyjściu wynosi około 2.4[Vpp]

Podsumowanie

- Pasmo przenoszenia od 27Hz do 10kHz
- Współczynnik THD równy 1.34%
- Dynamika wzmacniacza 2.4[Vpp]
- Parametry wzmacniacza nie wskazują aby był on przeznaczony audiofilom, jednakże moja subiektywna opinia jest pozytywna. Słuchałem brzmienia wzmacniacza porównując je z brzemieniem bez wzmacniacza i oceniam, że zdecydowanie lepsze brzmienie osiągam gdy układ jest podpięty.
- Udało mi się zaprojektować i zbudować całkiem udaną konstrukcję, która jak jestem pewien po przeniesieniu jej na płytkę drukowaną będzie służyć mi długo.
- W trakcie realizacji projektu poznałem zagadnienia projektowania układów elektronicznych, zdobyłem cenne doświadczenie pozwalające przewidywać zachowanie układu i eliminację błędów i niedociągnięć jeszcze na etapie projektowania.