**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](#_Toc516939750)

[Założenia projektowe 2](#_Toc516939751)

[Koncepcja 2](#_Toc516939752)

[Projekt 3](#_Toc516939753)

[Filtr pasmowo przepustowy 3](#_Toc516939754)

[Wtórnik napięcia 4](#_Toc516939755)

[Końcówka mocy 5](#_Toc516939756)

[Schemat ideowy wzmacniacza 6](#_Toc516939757)

[Realizacja sprzętowa wzmacniacza 6](#_Toc516939758)

[Testy wzmacniacza audio 7](#_Toc516939759)

[Pasmo przenoszenia wzmacniacza 7](#_Toc516939760)

[Współczynnik zawartości harmonicznych THD 8](#_Toc516939761)

[Zakres dynamiki wzmacniacza 9](#_Toc516939762)

[Podsumowanie 11](#_Toc516939763)

# 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

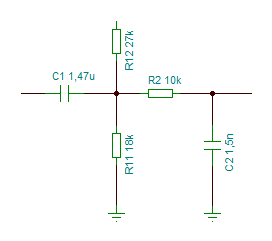
# Koncepcja

* Sygnał wejściowy o amplitudzie maksymalnej 1Vpp 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
    - Pasmo 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

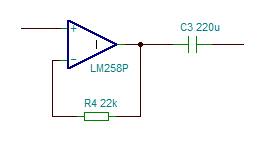
* Zbudowany w oparciu o dwa szeregowo połączone filtry RC: górno i dolnoprzepustowy

  
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

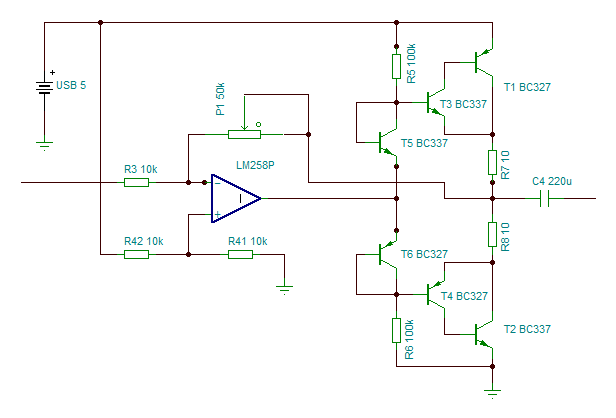
* Prosta konfiguracja wzmacniacza operacyjnego z rezystorem w pętli sprzężenia o wartości równej rezystancji widzianej przez składową stałą na wejściu nieodwracającym wzmacniacza operacyjnego.  
  Jest to suma R2 z równoległym połączeniem R11 i R12.
* Na wyjściu zastosowałem kondensator elektrolityczny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

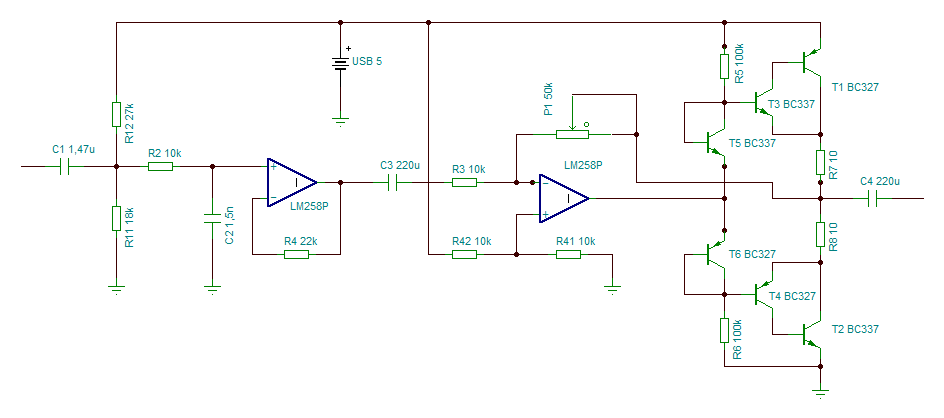
## Końcówka mocy

* 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

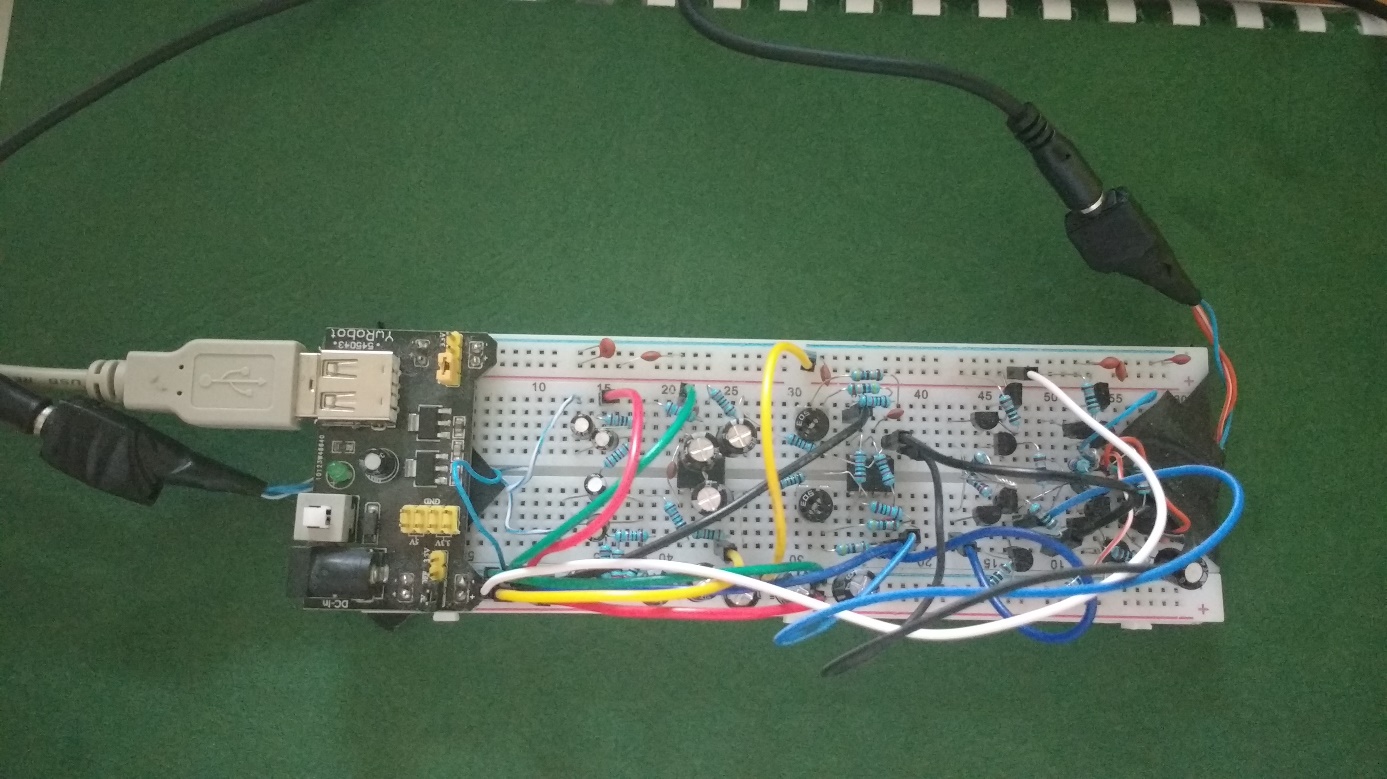
* Wzmocnienie końcówki regulowane za pomocą potencjometru montażowego P1 znajdującego się w pętli sprzężenia zwrotnego  
  Założone sporadyczne nastawianie potencjometru, więc zamontowanie go w pętli nie będzie sprawiać problemu wraz ze starzeniem bądź zużyciem się elementów.
* Składowa stała ustalona 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 Ucc-0.7[V]

## Schemat ideowy wzmacniacza

  
Rys. 4 – Schemat ideowy wzmacniacza

## Realizacja sprzętowa wzmacniacza

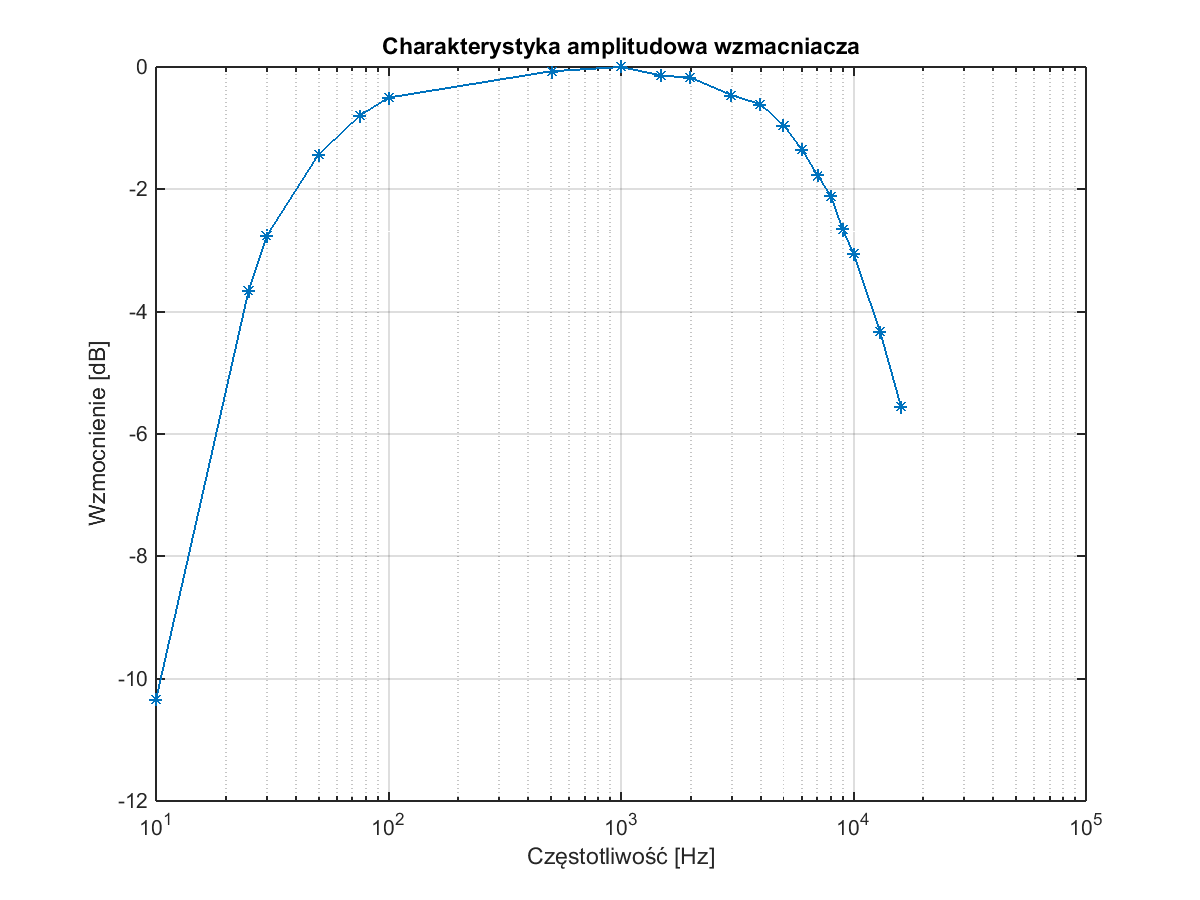
* Układ zrealizowałem na płytce stykowej, ponieważ taka forma realizacji pozwala na szybkie dokonywanie poprawek w układzie, oraz pozwalało mi na to moje wyposażenie
* Na planie dalszym znajduje się idea zaprojektowania i wykonania płytki drukowanej dedykowanej temu wzmacniaczowi.

  
Rys. 6 – Fizyczna realizacja dwukanałowego wzmacniacza audio

# Testy wzmacniacza audio

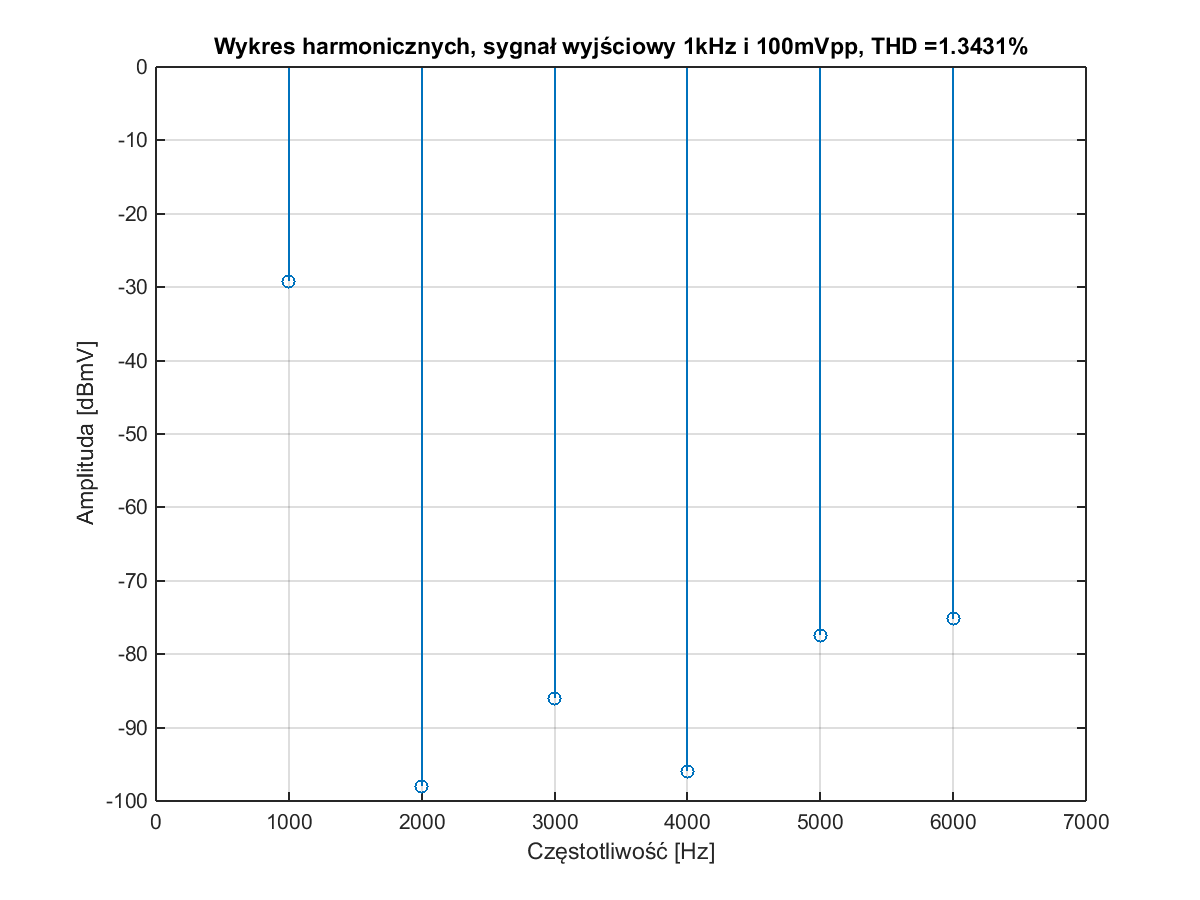
## Pasmo przenoszenia wzmacniacza

* 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

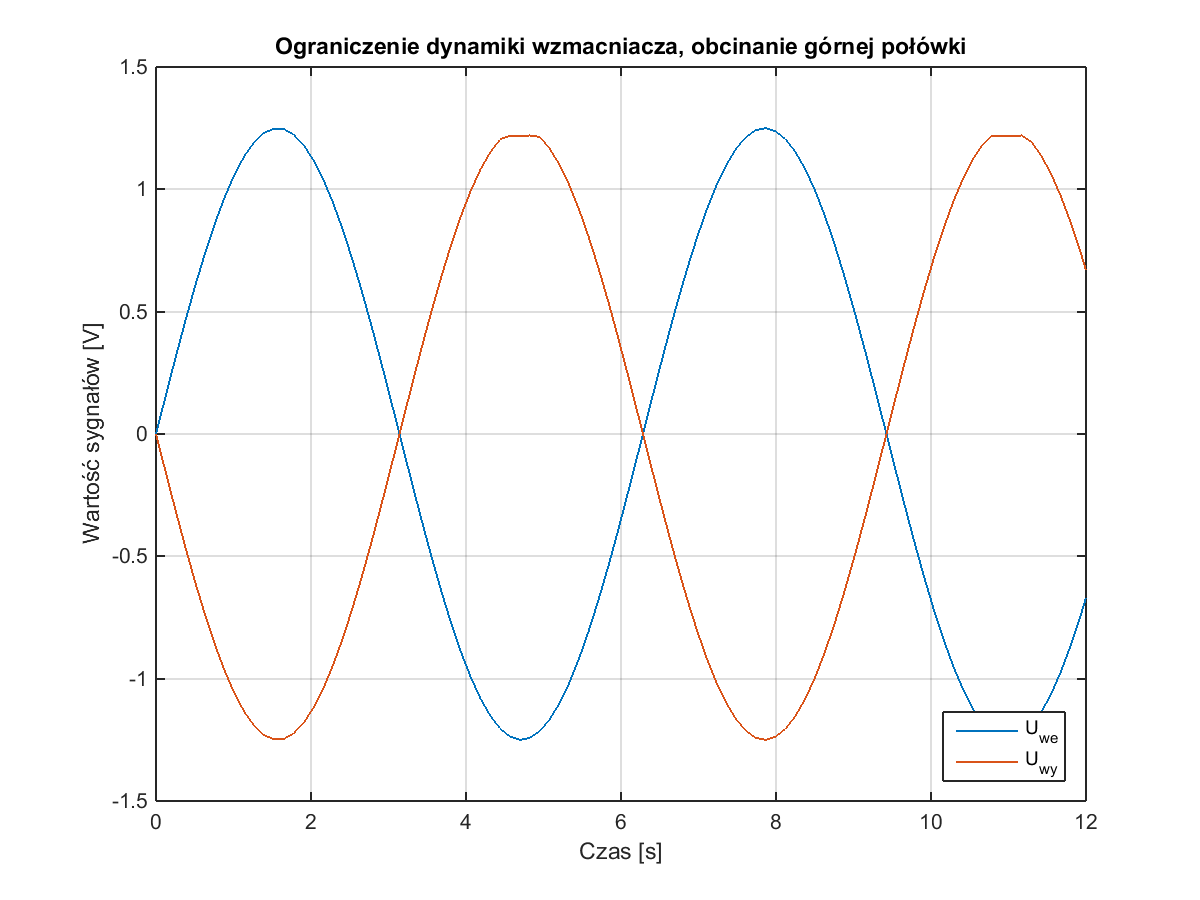
## Współczynnik zawartości harmonicznych THD

* 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%

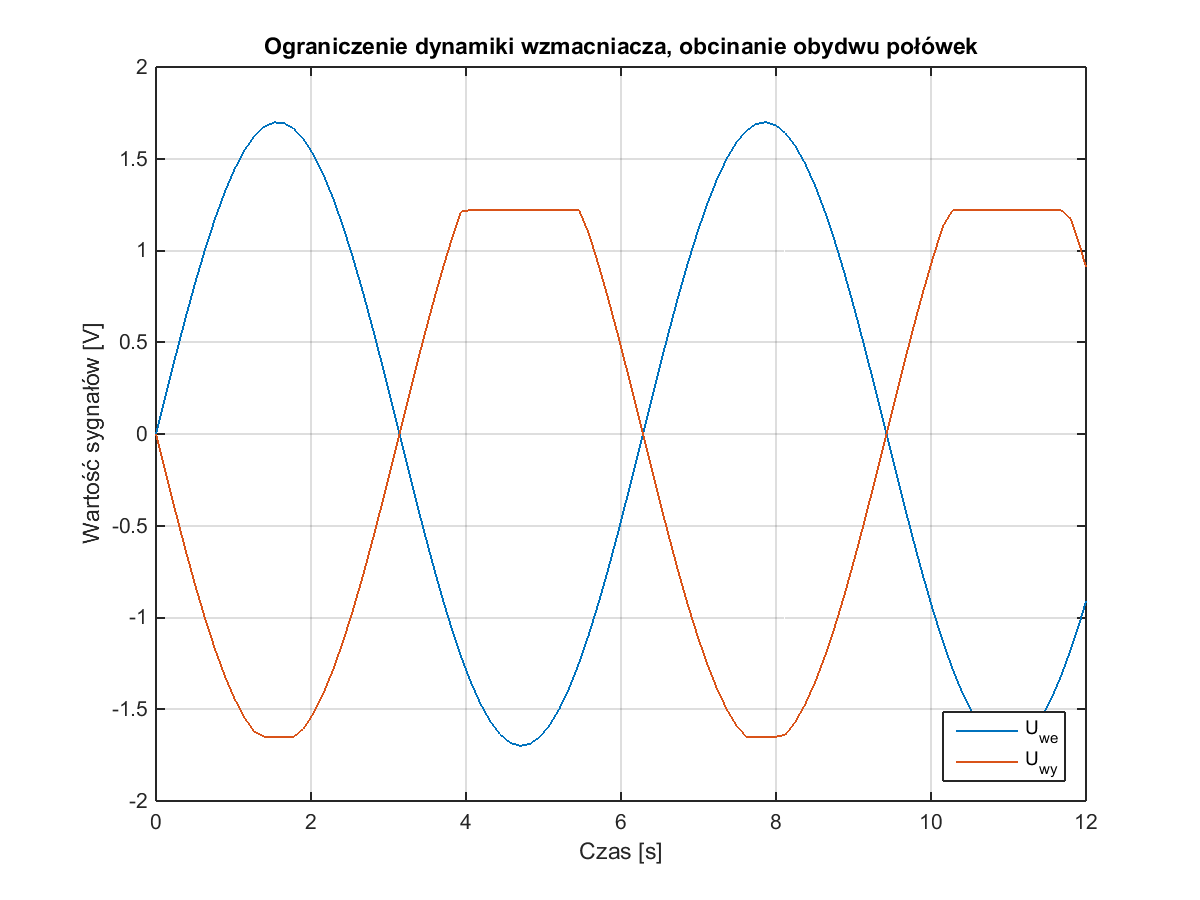
  
Rys. 8 – Zawartość harmonicznych

## 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.