**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych**

**Politechnika Warszawska**

**Elementy i układy elektroniczne**

**Sprawozdanie z wykonania projektu sprzętowego**

**Wzmacniacz audio**

**Konrad Winnicki**

**Numer indeksu: 283423**

Warszawa, 16 czerwca 2018

Spis treści

[Cele projektu 2](#_Toc516940640)

[Założenia projektowe 2](#_Toc516940641)

[Koncepcja 2](#_Toc516940642)

[Projekt 3](#_Toc516940643)

[Filtr pasmowoprzepustowy 3](#_Toc516940644)

[Wtórnik napięcia 4](#_Toc516940645)

[Końcówka mocy 5](#_Toc516940646)

[Schemat ideowy wzmacniacza 6](#_Toc516940647)

[Realizacja sprzętowa wzmacniacza 6](#_Toc516940648)

[Testy wzmacniacza audio 7](#_Toc516940649)

[Pasmo przenoszenia wzmacniacza 7](#_Toc516940650)

[Współczynnik zawartości harmonicznych THD 8](#_Toc516940651)

[Zakres dynamiki wzmacniacza 9](#_Toc516940652)

[Podsumowanie 11](#_Toc516940653)

# 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 +5 V pochodzące z portu USB komputera, ładowarki lub powerbank,
* Sygnał wejściowy dwukanałowy pochodzący z wyjścia audio komputera lub telefonu co prowadzi do założenia wzmocnienia równego jedności,
* Wzmacniacz przeznaczony do pracy ze słuchawkami,
* Dwa identyczne kanały zapewniające audio stereo,
* Konfiguracja końcówki mocy do pracy w klasie AB.

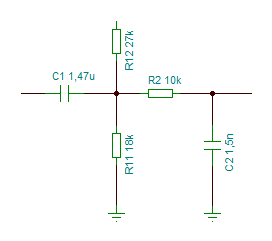
# Koncepcja

* Sygnał wejściowy o amplitudzie maksymalnej 1 Vpp pochodzący z wyjścia audio przy założonym jednostkowym wzmocnieniu wzmacniacza zachowuje duży zapas dynamiki.
* Stosunkowo niska moc wyjściowa pozwala na zastosowanie łatwo dostępnych dyskretnych tranzystorów w obudowach TO-92.
* Układ realizowany w postaci trzech kolejno połączonych bloków:
  + Filtr pasmowoprzepustowy RC:
    - Pasmo od około 10 Hz do 10 kHz,
    - Z dzielnikiem rezystorowym zapewniający żądany poziom składowej stałej sygnału podawanego 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 wynoszące typowo 3 V.
  + 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 pasmowoprzepustowy

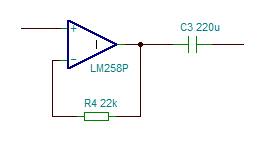
* Zbudowany w oparciu o dwa szeregowo połączone filtry RC: górno i dolnoprzepustowy.

  
Rys. 1 - Filtr pasmowoprzepustowy

* Stała czasowa filtra górnoprzepustowego jest równa pojemności C1 pomnożonej przez równoległe połączenie rezystancji R11 i R12:
  + Zapewnia odcięcie częstotliwości poniżej około 10 Hz,
  + Zastosowany dzielnik rezystorowy zapewnia składową stałą na poziomie około 2.25 V przy zasilaniu 5 V,
  + Rezystor R12 podłączony do napięcia zasilania.
* Stała czasowa filtra dolnoprzepustowego jest równa pojemności C2 pomnożonej przez rezystancję R2:
  + Zapewnia odcięcie częstotliwości powyżej 10 kHz.
* Połączone szeregowo filtry zapewniają pasmo przenoszenia od 10 Hz do 10 kHz.

## Wtórnik napięcia

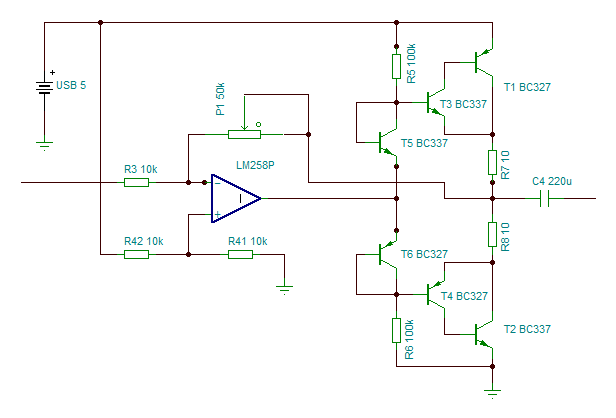
* Prosta konfiguracja wzmacniacza operacyjnego z rezystorem w pętli sprzężenia o wartości równej rezystancji widzianej przez składową stałą na wejściu nieodwracającym wzmacniacza operacyjnego.  
  Jest to suma R2 z równoległym połączeniem R11 i R12.
* Na wyjściu zastosowano kondensator elektrolityczny 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 V.  
  Kolejną przesłanką był fakt iż zastosowany model wzmacniacza nie jest zdolny osiągnąć na swym wyjściu napięcia górnej szyny zasilania, natomiast może osiągnąć napięcie bliskie dolnej szyny zasilania.

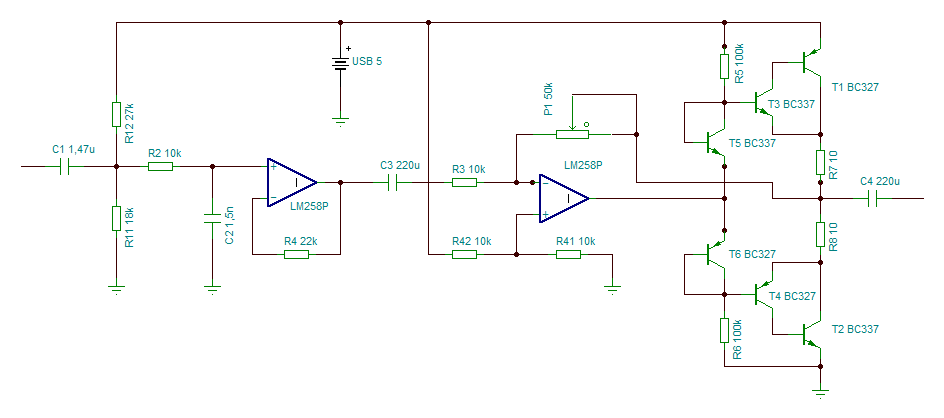
## Końcówka mocy

* Zbudowana jest 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

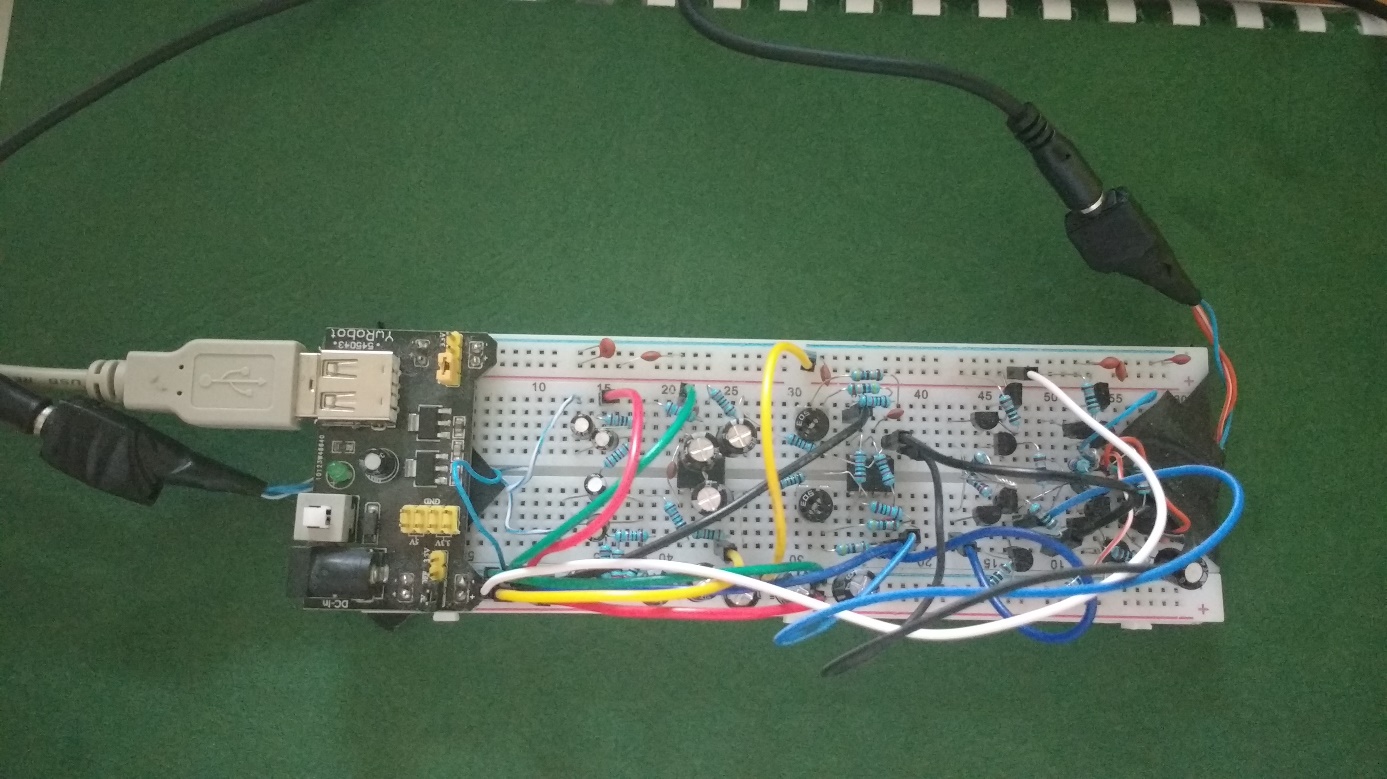
* Wzmocnienie końcówki regulowane za pomocą potencjometru montażowego P1 znajdującego się w pętli sprzężenia zwrotnego.  
  Założono sporadyczne nastawianie potencjometru, więc zamontowanie go w pętli nie będzie sprawiać problemu wraz ze starzeniem bądź zużyciem się elementów.
* Składowa stała ustalona poprzez dzielnik R41 i R42 na poziomie około połowy napięcia zasilania.
* Układ polaryzacji zbudowany z oporników R5, R6 oraz pary 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 napięć wyjściowych - teoretycznie od 0.7 V do 4.3 V.

## Schemat ideowy wzmacniacza

  
Rys. 4 – Schemat ideowy wzmacniacza

## Realizacja sprzętowa wzmacniacza

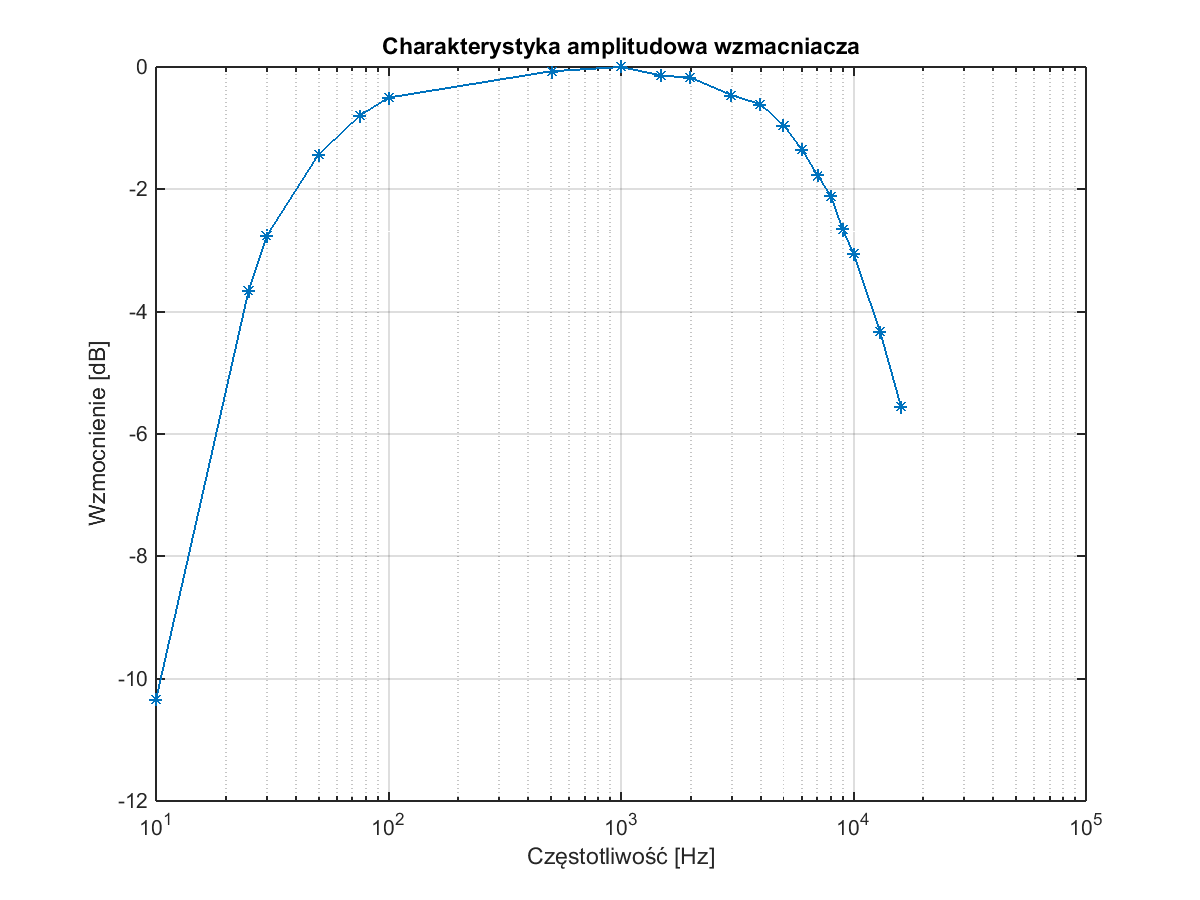
* Układ zrealizowano na płytce stykowej, ponieważ taka forma realizacji pozwala na szybkie dokonywanie poprawek w układzie.
* Na planie dalszym znajduje się idea zaprojektowania i wykonania płytki drukowanej.

  
Rys. 6 – Realizacja dwukanałowego wzmacniacza audio

# Testy wzmacniacza audio

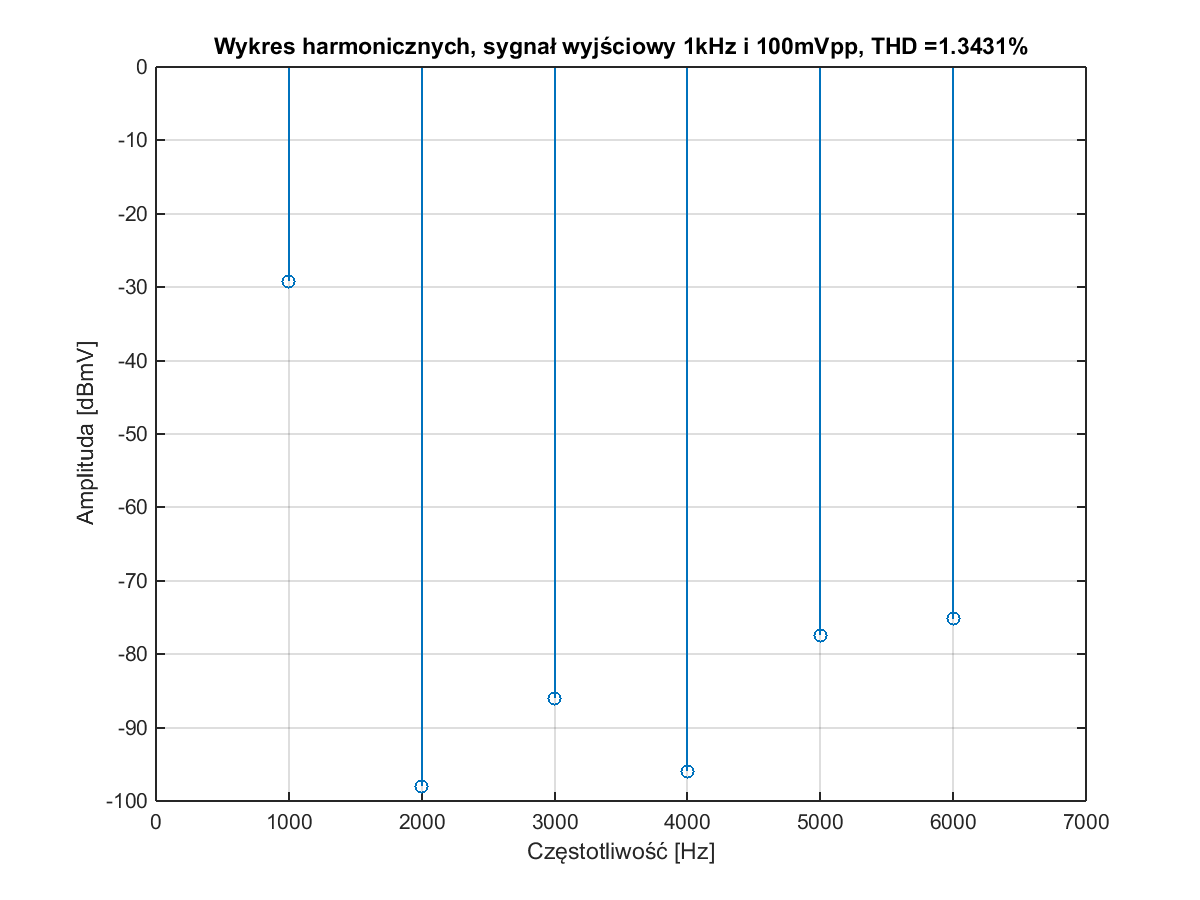
## Pasmo przenoszenia wzmacniacza

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

  
Rys. 7 – Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza

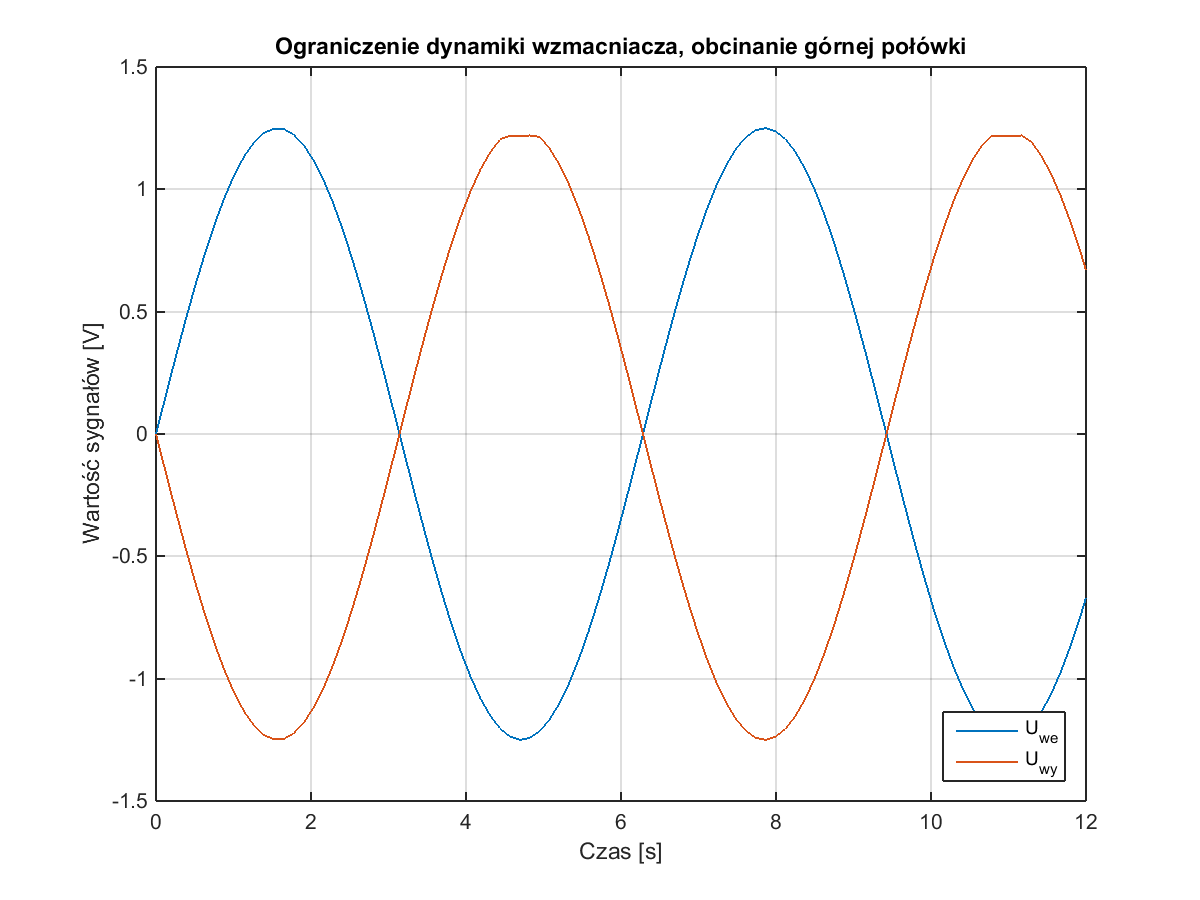
## Współczynnik zawartości harmonicznych THD

* Generator ustawiony na sinusoidę 1 kHz, 100 mVpp.
* Sygnał wyjściowy obserwowany na oscyloskopie to odwzorowana sinusoida o amplitudzie 100 mVpp(wzmocnienie równe jeden).
* Funkcja FFT w oscyloskopie pozwala na łatwy i szybki pomiar amplitudy kolejnych harmonicznych obecnych w sygnale.
* Wyznaczona procentowa wartość współczynnika THD wynosi około 1.34 %.

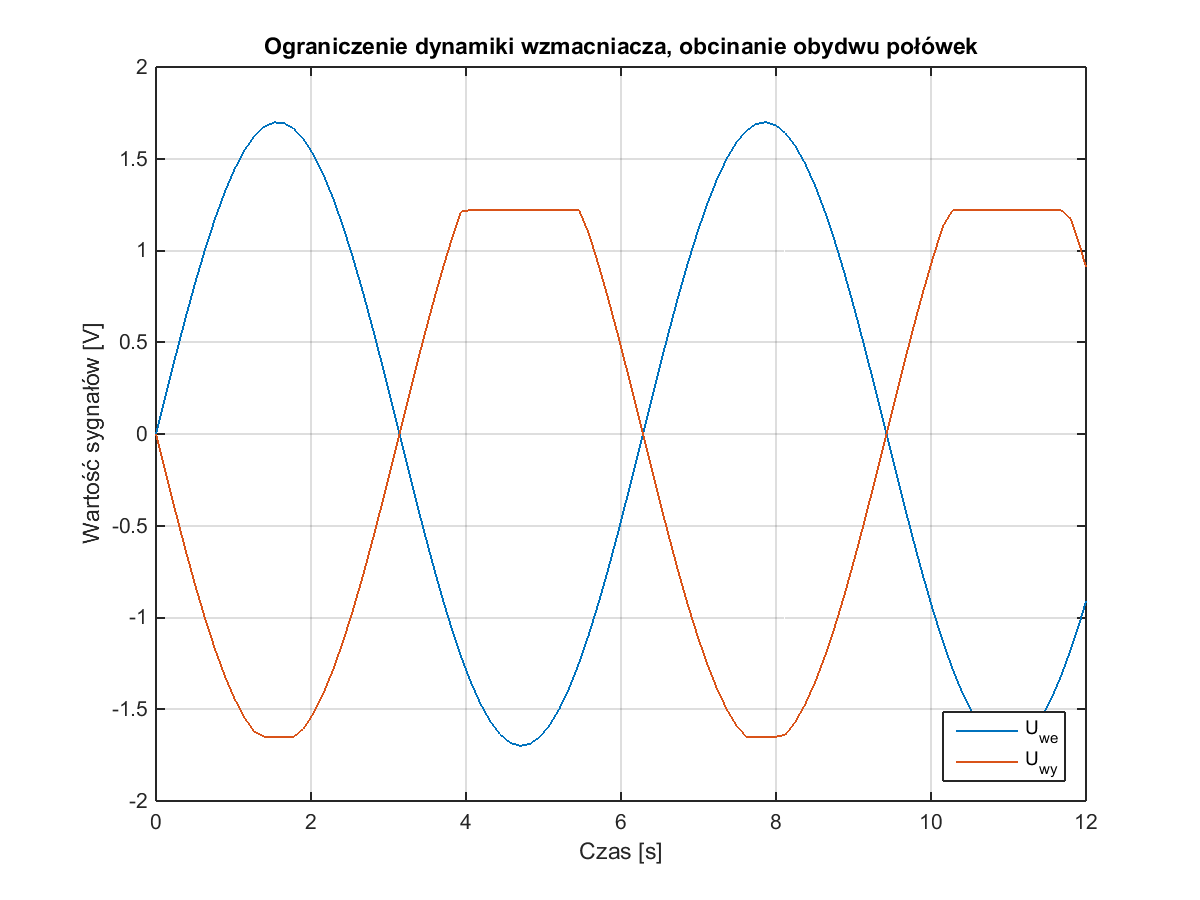
  
Rys. 8 – Zawartość harmonicznych

## 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

* 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 projektowanych układów, eliminację błędów i niedociągnięć jeszcze na etapie projektowania.