

**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
Założenia projektowe.....	2
Koncepcja	2
Projekt.....	3
Filtr pasmowoprzepustowy	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 +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.

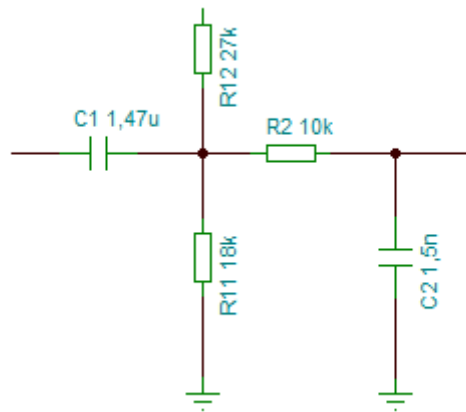
Koncepcja

- Sygnał wejściowy o amplitudzie maksymalnej $1 V_{pp}$ 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:
 - Pasma 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.

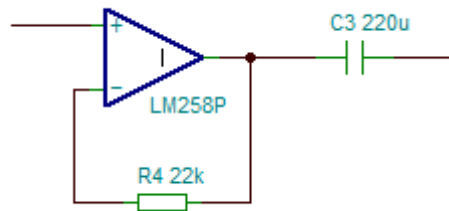


Rys. 1 - Filtr pasmowoprzepustowy

- 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 R_2 z równoległym połączeniem R_{11} i R_{12} .
- Na wyjściu zastosowano kondensator elektrolityczny mający za zadanie odciąć składową stałą tego bloku.

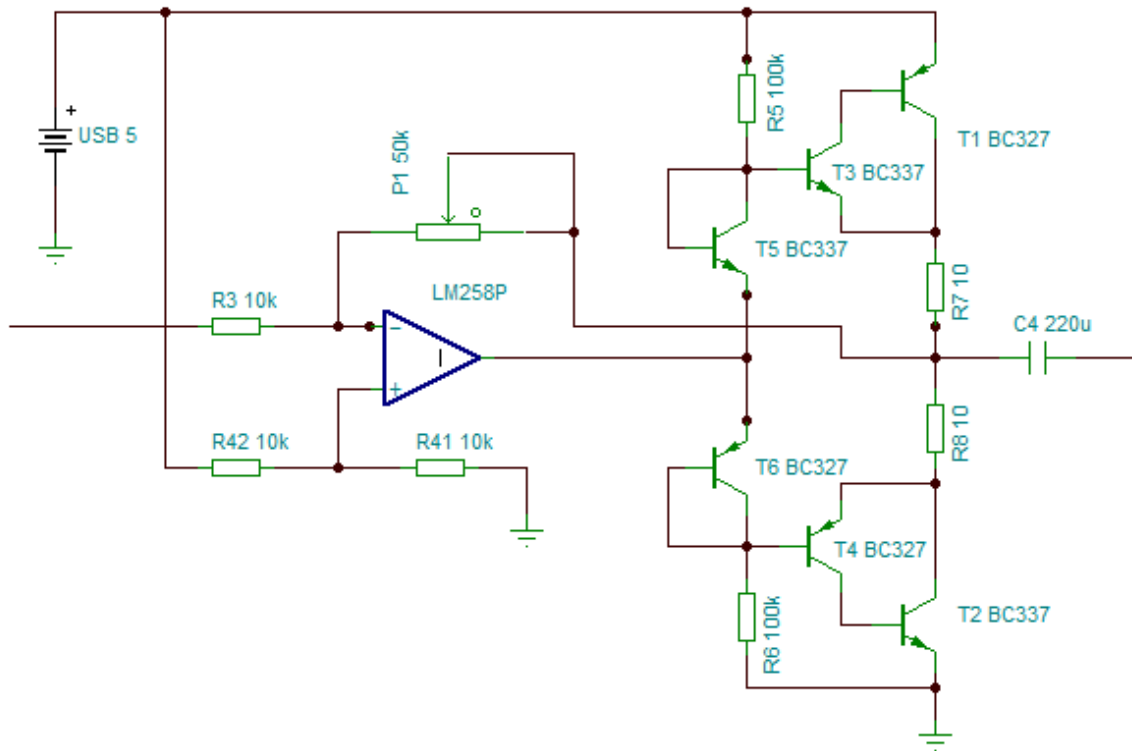


Rys. 2 - Wtórnik napięcia

- 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

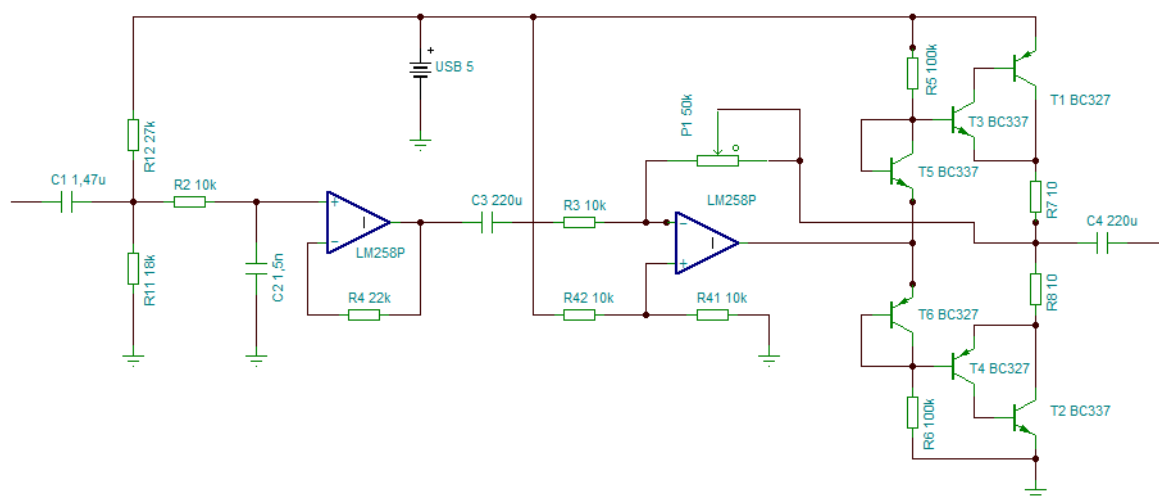
- Zbudowana jest z dwóch segmentów:
 - Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji odwracającej ze sprzężeniem od wyjścia tranzystorowej końcówki mocy,
 - Tranzystorowa końcówka mocy sterowana z wyjścia wzmacniacza operacyjnego.



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.

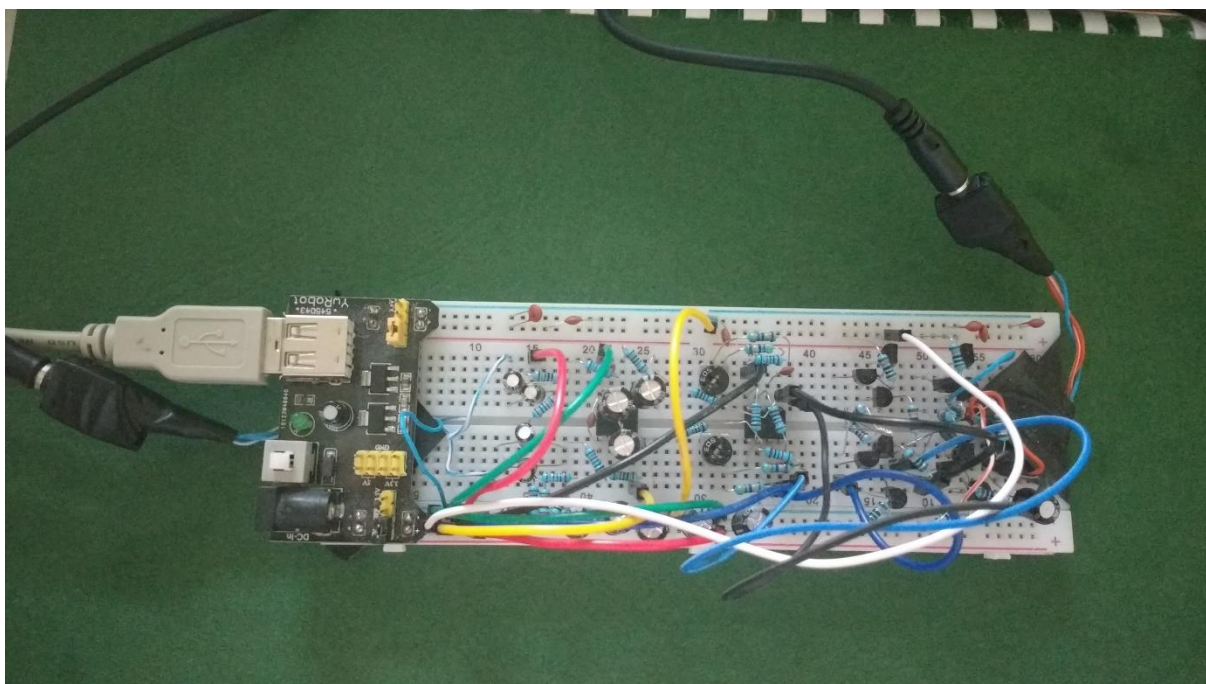
Schemat ideowy wzmacniacza



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.

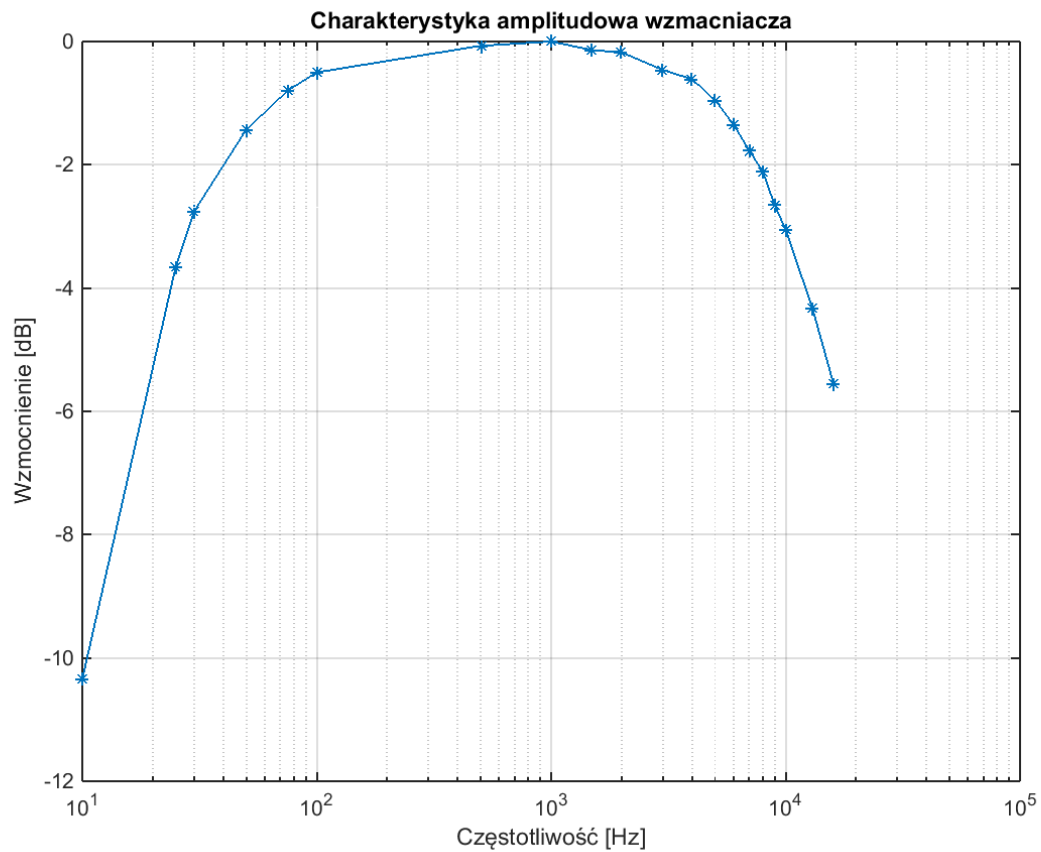


Rys. 6 – Realizacja dwukanałowego wzmacniacza audio

Testy wzmacniacza audio

Pasmo przenoszenia wzmacniacza

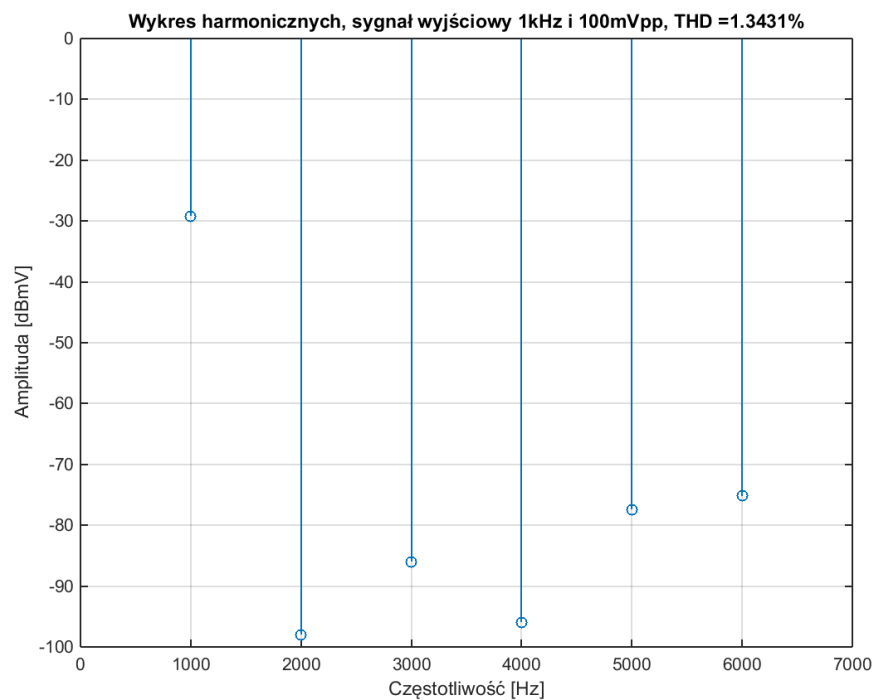
- Przy pomocy generatora i oscyloskopu wyznaczono metodą punkt po punkcie charakterystykę amplitudową wzmacniacza.
- Wyznaczone trzy decybelowe pasmo przenoszenia zawiera się od około 27 Hz do 10 kHz.



Rys. 7 – Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza

Współczynnik zawartości harmonicznych THD

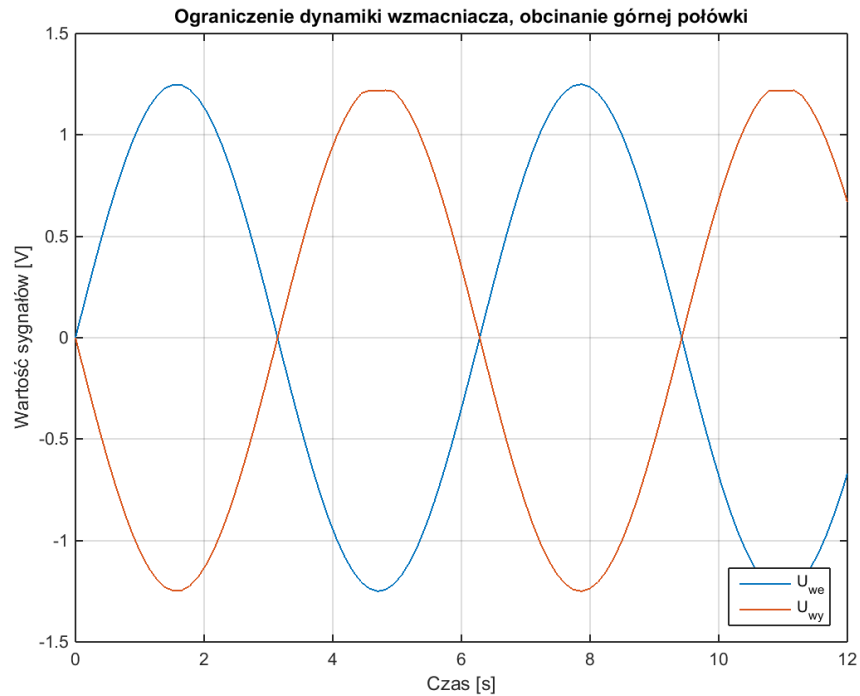
- Generator ustawiony na sinusoidę 1 kHz, 100 mVpp.
- Sygnał wyjściowy obserwowany na oscyloskopie to odwzorowana sinusoida o amplitudzie 100 mVpp (wzmocnienie równe jeden).
- Funkcja FFT w oscyloskopie pozwala na łatwy i szybki pomiar amplitudy kolejnych harmonicznych obecnych w sygnale.
- Wyznaczona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



Rys. 8 – Zawartość harmonicznych

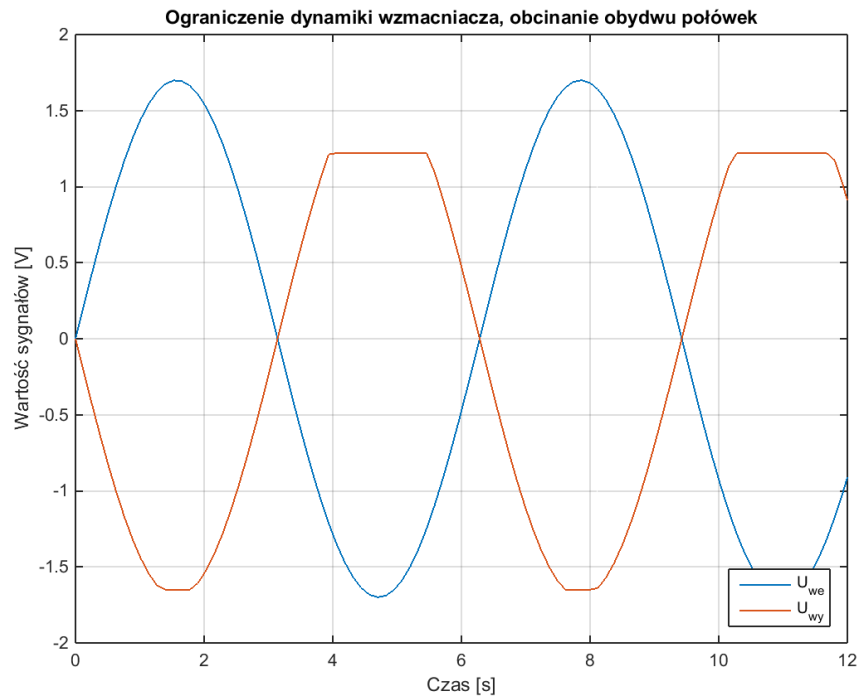
Zakres dynamiki wzmacniacza

- 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.