

## Laboratorium Elektroniki

Badanie wzmacniaczy tranzystorowych i operacyjnych

### 1. Wstęp teoretyczny

Wzmacniacze są bardzo często i szeroko stosowanym układem elektronicznym. Głównym zadaniem wzmacniacza jest przekształcanie sygnału wejściowego o małej mocy na sygnał wyjściowy o większej mocy. Ze względu na różnorodność wzmacniaczy istnieje wiele rodzajów ich klasyfikacji np: podział pod względem zakresu przenoszonych częstotliwości, konstrukcję, wykorzystane elementy, przeznaczenie, moc, realizowaną funkcję, itp.

#### 1.1. Wzmacniacze tranzystorowe

Tranzystor bipolarny we wzmacniaczu może pracować w trzech różnych konfiguracjach:

- o wspólnej bazie (OB),
- o wspólnym kolektorze (OC), tak zwany wtórnik emiterowy,
- o wspólnym emiterze (OE).

##### 1.1.1. Tranzystor w układzie OB

Wzmacniacz z tranzystorem bipolarnym pracującym w układzie wspólnej bazy (OB) jest spotykany dość rzadko ze względu na dużo mniejszą impedancję wejściową w porównaniu do innych układów pracy wzmacniaczy. Utrudnia to konstruowanie układów kaskadowych oraz, w niektórych przypadkach, wymusza stosowanie transformatorów dopasowujących. Tego typu konstrukcje stosuje się głównie we wzmacniaczach wysokiej częstotliwości (tzw. w.cz.).

##### 1.1.2. Tranzystor w układzie OC

Kolejnym układem jest wzmacniacz z tranzystorem pracującym w układzie wspólnego kolektora (OC), tak zwany wtórnik emiterowy przedstawiony na rysunku 1. Układ taki charakteryzuje:

- wzmocnienie napięciowe

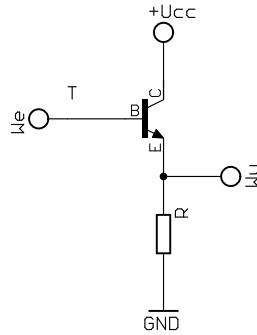
$$k_U = 1$$

- wzmocnienie prądowe

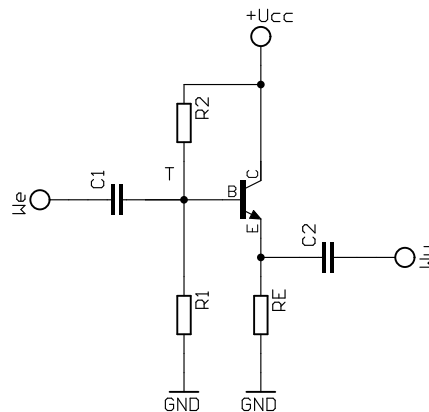
$$k_I = h_{fe} + 1$$

- spadek napięcia na złączu baza-emiter około 0,6 V

$$U_E = U_B - 0,6 \text{ V}$$



Rysunek 1. Wzmacniacz OC prądu stałego



Rysunek 2. Wzmacniacz sygnałowy OC

W takim układzie (rys. 1) napięcie na rezystorze  $R$  jest o  $0,6\text{ V}$  mniejsze od napięcia na bazie. Wzmacniacz taki nie nadaje się do sygnałów z wartościami poniżej zera.

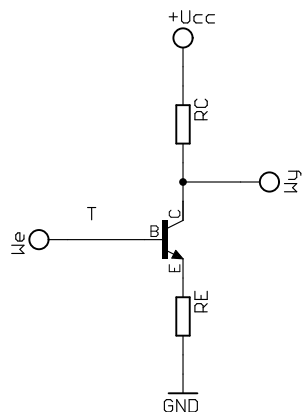
Do wzmacniania sygnałów przemiennych (z wartościami mniejszymi od zera) służy wzmacniacz sygnałowy przedstawiony na rysunku 2. Kondensator  $C_1$  służy do wycięcia składowej stałej, której wartości nie znamy (aby nie przesuwała punktu pracy tranzystora). Następnie znajdują się dwa rezystory  $R_1$  i  $R_2$ , które z kolei dodają do sygnału składową stałą po to, aby sygnał zmieniał amplitudę wyłącznie w obrębie wartości dodatnich (ta operacja nazywa się ustaleniem punktu pracy tranzystora). Na bazę tranzystora trafia już odpowiednio spolaryzowany sygnał. Na emiterze pojawia się napięcie mniejsze o  $0,6\text{ V}$  od napięcia bazy. Sygnał wyjściowy wzmacniacza wyprowadzony jest poprzez włączony szeregowo kondensator  $C_2$ , który również służy wycięciu składowej stałej.

Wzmacniacze takie stosuje się głównie jako wzmacniacze dopasowujące dużą impedancję wejściową do małej impedancji odbiornika.

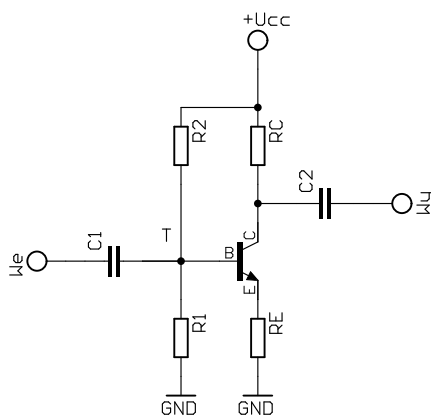
### 1.1.3. Tranzystor w układzie OE

Wzmacniacz z tranzystorem pracującym w układzie wspólnego emitera (rys. 3) jest wzmacniaczem odwracającym, którego wzmocnienie napięciowe wynosi:

$$k_U \approx -R_C/R_E$$



Rysunek 3. Wzmacniacz napięciowy OE prądu stałego



Rysunek 4. Wzmacniacz sygnałowy OE

Jest to najprostszy wzmacniacz napięciowy prądu stałego.

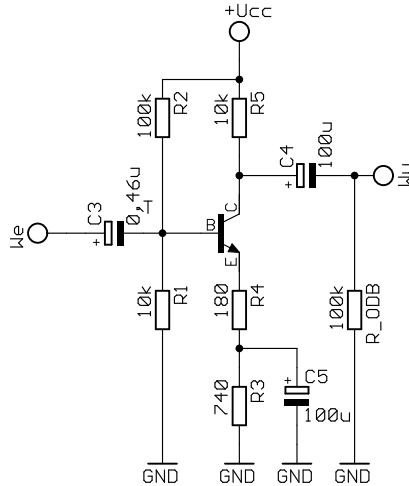
Dla sygnałów przemiennych stosuje się podobnie jak we wzmacniaczu OC dzielnik napięcia polaryzujący bazę oraz kondensatory wycinające składową stałą z sygnału. Przykład wzmacniacza sygnałowego OE znajduje się na rysunku 4.

#### 1.1.4. Stanowisko do badania wzmacniaczy tranzystorowych

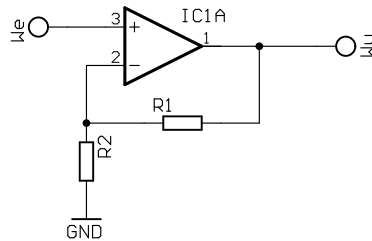
W ćwiczeniu badany będzie wzmacniacz sygnałowy z tranzystorem pracującym w układzie wspólnego emitera przedstawiony na rysunku 5. Wzmacniacz ten jest rozbudowany w stosunku do wzmacniacza z rysunku 4, o kondensator  $C_2$ , który z części rezystora emiterowego zwiera sygnał zmienny do masy, aby punkt pracy nie zmieniał się wraz ze zmianami napięcia na bazie.

## 1.2. Wzmacniacze operacyjne

Wzmacniacze operacyjne są bardzo często wykorzystywane w elektronice. Posiadają one dwa wejścia: nieodwracające oznaczone znakiem „+” i odwracające oznaczone znakiem „-” oraz jedno wyjście. Wzmacniacze takie charakteryzują się dużym wzmocnieniem rzędu  $10^6$  V/V.



Rysunek 5. Schemat stanowiska do badania wzmacniacza sygnałowego OE



Rysunek 6. Wzmacniacz napięciowy prądu stałego oparty na wzmacniaczu operacyjnym

### 1.2.1. Przykłady układów opartych na wzmacniaczach operacyjnych

Najprostszym układem wzmacniacza jest układ przedstawiony na rysunku 6, jest to nieodwracający wzmacniacz napięciowy prądu stałego, jego wzmocnienie można ustalić dobierając dwa rezystory  $R_1$  i  $R_2$ . Wzmocnienie napięciowe takiego wzmacniacza będzie równe

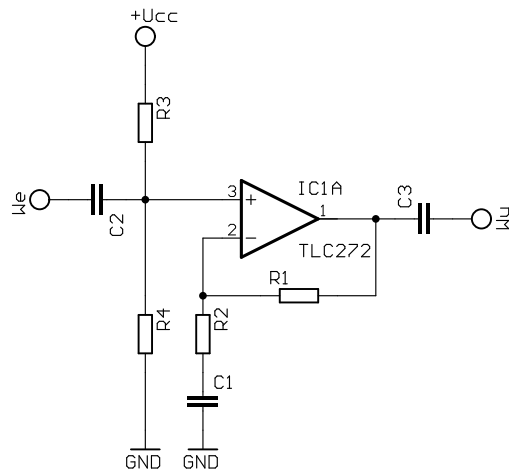
$$k_U = 1 + R_1/R_2$$

Podobnie jak we wzmacniaczach tranzystorowych aby wzmacniać sygnały z wartościami poniżej zera, konieczne jest wprowadzenie składowej stałej do sygnału wejściowego (rys. 7). Służy temu dzielnik napięcia utworzony z rezystorów  $R_3$  i  $R_4$ . Dodatkowo kondensator  $C_1$  powoduje że wzmocnienie dla składowej stałej wynosi 1. Wartość rezystancji w gałęzi z rezystorem  $R_2$  dla sygnałów wolno zmiennych jest bliska nieskończoności więc:

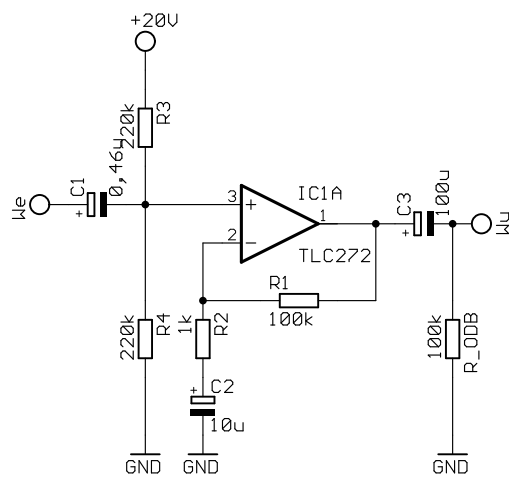
$$k_u = 1 + R_2/R_2 = 1 + R_2/\infty = 1$$

### 1.2.2. Stanowisko do pomiarów wzmacniaczy opartych na wzmacniaczach operacyjnych

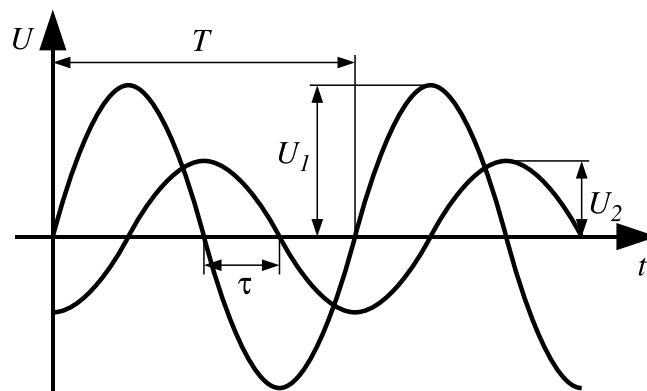
Wzmacniacz z rysunku 8 posiada tak dobrane parametry aby przynosił częstotliwości z pasma akustycznego. Posiada on parametry zbliżone do wzmacniacza tranzystorowego z rysunku 5.



Rysunek 7. Wzmacniacz sygnałowy oparty na wzmacniaczu operacyjnym



Rysunek 8. Schemat stanowiska ze wzmacniaczem operacyjnym



Rysunek 9. Przebiegi sygnałów na wejściu i wyjściu wzmacniacza

### 1.3. Charakterystyki częstotliwościowe

Najistotniejszą charakterystyką wzmacniacza jest logarytmiczna charakterystyka częstotliwościowa. Na osi poziomej znajduje się częstotliwość sygnałów sinusoidalnych, natomiast na osi pionowej ich wzmocnienie. Częstotliwość nanoszona jest na podziałce logarytmicznej, zaś wzmocnienie naniesione jest w decybelach (db). Wartość wzmocnienia można wyznaczyć ze wzoru:

$$L(f) = 20 \log(U_{WY}/U_{WE})$$

gdzie:

$U_{WE}$  — Amplituda sygnału wejściowego

$U_{WY}$  — Amplituda sygnału wyjściowego

$L(f)$  — Wzmocnienie w „db”

Dzięki takiej charakterystyce możliwe jest wyznaczenie:

- wzmocnienia poszczególnych harmonicznych sygnału (składowych sinusoidalnych),
- pasmo częstotliwości przenoszonych,
- wzmocnienie wzmacniacza,
- stromość zbocza charakterystyki częstotliwościowej.

Ponadto często wyznacza się również tak zwaną charakterystykę fazowo-częstotliwościową  $\varphi(f)$ , gdzie:  $\varphi(f)$  — przesunięcie fazowe (dla danej częstotliwości  $f$ ,  $\varphi = 2\pi\tau/T$ ).

## 2. Zadania do wykonania

Wykonać poniższe punkty zarówno dla wzmacniacza tranzystorowego i operacyjnego:

1. Wyznaczyć logarytmiczną charakterystykę częstotliwościową.
2. Wyznaczyć pasmo przenoszenia.
3. Wyznaczyć moc wzmacniacza dla danego obciążenia i częstotliwości znajdującej się w paśmie przenoszenia wzmacniacza.

4. Wyznaczyć wzmocnienie wzmacniacza.  
Porównać ze sobą oba wzmacniacze.

### **3. Pytania kontrolne**

1. Co to jest logarytmiczna charakterystyka częstotliwościowa?
2. Wymienić konfiguracje w jakich może pracować tranzystor we wzmacniaczu.
3. Czym różnią się wzmacniacze napięcia stałego od wzmacniaczy sygnałowych?
4. Jak ze wzmacniacza operacyjnego zrobić wtórnik emiterowy (napięciowy)?
5. Narysować schemat wzmacniacza OE.
6. Narysować schemat wtórника emiterowego.
7. Co to jest punkt pracy wzmacniacza i jak go ustalić?

### **Literatura**

- [1] Wykład z Elektroniki dla Wydziału Mechaniczno-Energetycznego.  
[2] P. Horowitz, W. Hill. Sztuka Elektroniki, Wydanie siódme, WKŁ, 2003, Warszawa.

mgr inż. Jacek Kosek