

## Ćwiczenie - 4

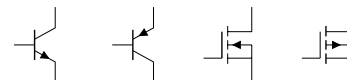
# Podstawowe układy pracy tranzystorów

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Cel ćwiczenia</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Podstawy teoretyczne</b>	<b>2</b>
2.1	Podstawowe układy pracy tranzystora . . . . .	2
2.2	Wzmacniacz w układzie wspólnego kolektora . . . . .	2
2.2.1	Ustalanie punktu pracy wzmacniacza w układzie WK . . . . .	3
2.3	Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera . . . . .	4
2.3.1	Ustalanie punktu pracy tranzystora w układzie WE . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Przebieg ćwiczenia</b>	<b>6</b>
3.1	Badanie tranzystora bipolarnego w układzie WE . . . . .	6
3.1.1	Wyznaczenie charakterystyki $U_{wy} = f(U_{we})$ wzmacniacza w układzie WE	6
3.1.2	Ustalenie punktu pracy tranzystora w układzie WE . . . . .	6
3.1.3	Wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych wzmacniacza WE . . . .	7
3.2	Badanie tranzystora bipolarnego w układzie WK . . . . .	8
3.2.1	Wyznaczenie charakterystyki $U_{wy} = f(U_{we})$ wzmacniacza w układzie WK	8
3.2.2	Ustalenie punktu pracy tranzystora w układzie WK . . . . .	8
3.2.3	Wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych wzmacniacza WK . . . .	9
<b>4</b>	<b>Sprawozdanie</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Niezbędne wyposażenie</b>	<b>10</b>
	<b>Protokół</b>	<b>11</b>
	Wyniki pomiarów . . . . .	11
	Charakterystyki . . . . .	13

## 1 Cel ćwiczenia

- Zbudowanie i zbadanie wzmacniaczy tranzystorowych w układzie wspólny emiter, wspólny kolektor.



## 2 Podstawy teoretyczne

### 2.1 Podstawowe układy pracy tranzystora

Podstawowymi układami pracy tranzystora bipolarnego są wzmacniacze: wzmacniacz w układzie wspólnego kolektora i wzmacniacz w układzie wspólnego emitera. Przy czym wzmacniacz jest to układ, w którym energia z zasilacza jest zamieniana na energię sygnału wyjściowego, gdzie sygnał wyjściowy jest funkcją sygnału wejściowego.

### 2.2 Wzmacniacz w układzie wspólnego kolektora

Wzmacniacz z rysunku 1 w układzie wspólnego kolektora (WK) nazywany również wtórnikiem emiterowym. Wyjściem układu jest emiter tranzystora. Napięcie na wyjściu jest równe napięciu wejściowemu (na bazie) pomniejszonemu o spadek napięcia na złączu baza-emiter (spadek na przewodzącej diodzie) zatem:

$$U_{wy} = U_E = U_B - U_{BE} \approx U_{we} - 0,6[V]$$

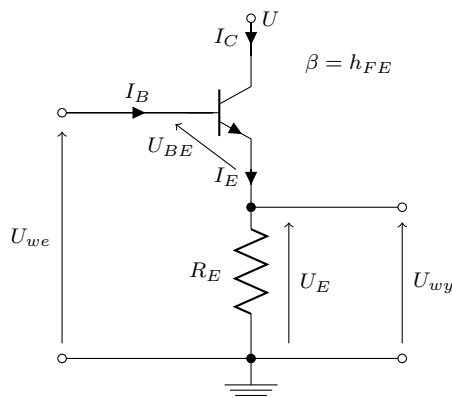
Gdy napięcie na wejściu jest mniejsze od 0,6 to na pięcie na wyjściu jest 0. Prąd emitera:

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{U_{we} - 0,6}{R_E}$$

Ponadto:

$$I_E = I_C + I_B \quad \text{i} \quad I_C = \beta I_B \quad \Rightarrow \quad I_E = \beta I_B + I_B = I_B(\beta + 1) \quad \Rightarrow \quad I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

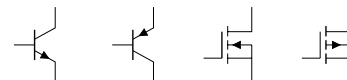
Wzmacniacz w układzie WK nie wzmacnia napięcia ale wzmacnia prąd, czyli jest wzmacniaczem mocy.



Rysunek 1: Wzmacniacz o wspólnym kolektorze

Jest to układ z emiterowym sprzężeniem zwrotnym. Po podaniu napięcia na wejście tranzystor się otwiera, zaczyna płynąć prąd kolektora i emitera. Pojawia się napięcia  $U_E$  a przez co napięcie  $U_{BE}$  maleje i ustala się na poziomie przy którym spełnione jest równanie:

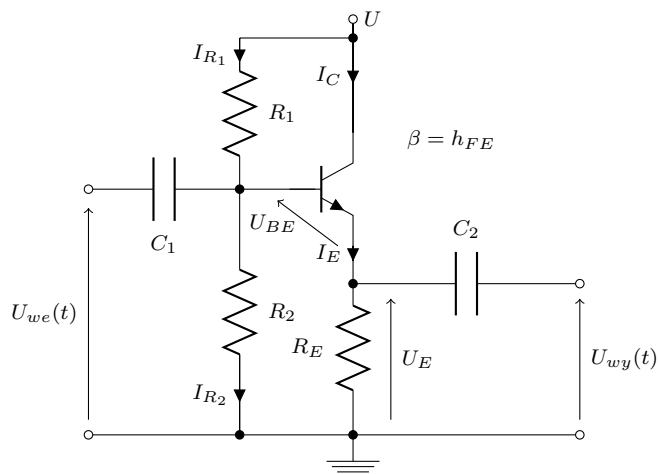
$$U_{BE} = U_{we} - I_B(\beta + 1)R_E.$$



W wzmacniaczu z rezystorem  $R_E$  w obwodzie emitera występuje prądowe ujemne sprzężenie zwrotne.

### 2.2.1 Ustalanie punktu pracy wzmacniacza w układzie WK

Należy ustalić spoczynkowy punkt pracy wtórnika tak aby prąd kolektora płynął zawsze dla założonego zakresu sygnału wejściowego oraz aby nie została przekroczona dopuszczalna moc strat na tranzystorze. Spoczynkowy punkt pracy dobiera się przy założeniu zerowego napięcia wejściowego. W celu ustalenia spoczynkowego punktu pracy najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie dzielnika rezystancyjnego - rysunek 2.



Rysunek 2: Wzmacniacz w układzie WK ze sprzężeniem pojemnościowym i dzielnikiem rezystancyjnym ustalającym punkt pracy

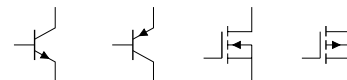
Rezystory  $R_1$  i  $R_2$  najczęściej dobiera się w taki sposób aby przy braku napięcia wejściowego, napięcie na emiterze równało się połowie napięcia zasilania czyli  $U_E = \frac{U}{2}$ . Ponadto wiadomo, że  $U_B = U_E + U_{BE} = U_E + 0,6$ , zatem  $U_{R_2} = U_B = U_E + 0,6 = \frac{U}{2} + 0,6$ .

Rezystory dobieramy w taki sposób aby prąd płynący przez dzielnik był o kilka rzędów większy od prądu bazy, wtedy prąd bazy nie będzie wpływał w znaczny sposób na rozkład napięć na dzielniku. Zatem pomijając prąd bazy otrzymujemy:

$$I_{R_1} = I_{R_2} = \frac{U}{R_1 + R_2} \quad \text{i} \quad I_{R_2} = \frac{U_{R_2}}{R_2} = \frac{\frac{U}{2} + 0,6}{R_2}$$

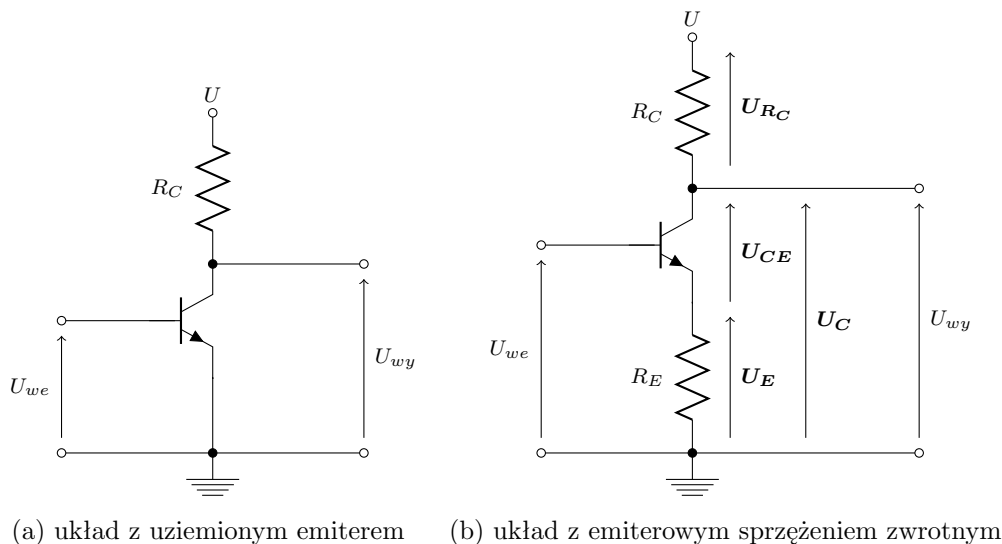
Z powyższego otrzymujemy:

$$R_1 = R_2 \frac{\frac{U}{2} - 0,6}{\frac{U}{2} + 0,6}$$



## 2.3 Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera

Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera (WE) przedstawiono na rysunku 3, jest to układ w którym wyjściem jest kolektor tranzystora.



Rysunek 3: Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera

Rozważmy układ z rysunku 3b z emiterowym sprzężeniem zwrotnym. Po podaniu napięcia na wejście  $U_{we} = U_{we1}$  otrzymujemy  $U_E = U_{we1} - U_{BE} \approx U_{we1} - 0,6$ , ponadto  $I_E = \frac{U_E}{R_E} \approx \frac{U_{we1} - 0,6}{R_E}$ . Ze względu na to, że wzmocnienie prądowe tranzystora jest stosunkowo duże można przyjąć że  $I_C \approx I_E$  i wyznaczyć  $U_{RC} = I_C R_C \approx \frac{U_{we1} - 0,6}{R_E} R_C$ . Znając napięcie na rezystorze kolektora wyznaczyć można napięcie na wyjściu  $U_{wy1} = U - U_{RC} \approx U - \frac{U_{we1} - 0,6}{R_E} R_C$ .

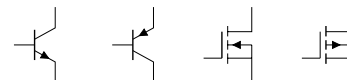
Gdy napięcie na wejściu równa się  $U_{we2} = U_{we1} + \Delta U_{we}$  na wyjściu otrzymujemy  $U_{wy2} \approx U - \frac{U_{we2} - 0,6}{R_E} R_C = U - \frac{U_{we1} + \Delta U_{we} - 0,6}{R_E} R_C$ .

Wyznaczą dalej wzmocnienie napięciowe:

$$K_u = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = \frac{U_{wy2} - U_{wy1}}{U_{we2} - U_{we1}} = \frac{U - \frac{U_{we1} + \Delta U_{we} - 0,6}{R_E} R_C - \left( U - \frac{U_{we1} - 0,6}{R_E} R_C \right)}{U_{we1} + \Delta U_{we} - U_{we1}} = -\frac{R_C}{R_E}$$

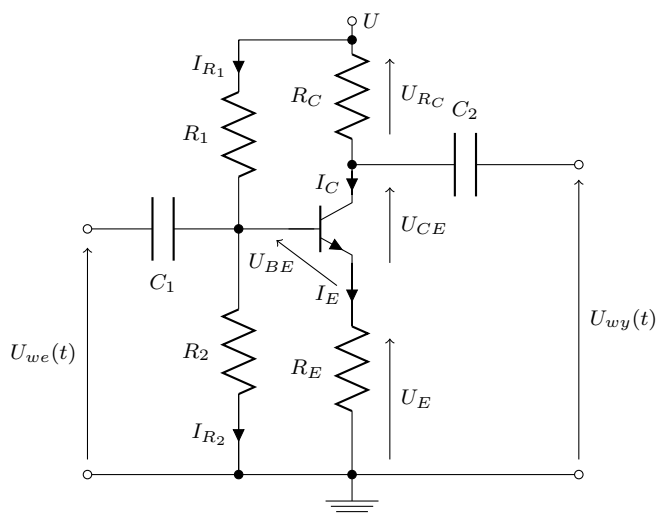
Z powyższego wynika, że układ ten jest wzmacniaczem napięcia. Znak minus oznacza, że dodatnia zmiana napięcia na wejściu powoduje ujemną  $\frac{R_C}{R_E}$ -krotną zmianę napięcia na wyjściu.

Układ z rysunku 3a otrzymujemy w przypadku gdy w układzie z rysunku 3b rezystancja emitera  $R_E$  dąży do zera. Zgodnie z powyższymi rozważaniami wzmocnienie napięciowe  $K_u = -\frac{R_C}{R_E}$ . Zatem gdy  $R_E$  dąży do zera wzmocnienie teoretycznie dąży do nieskończoności. Jednak w rzeczywistości w przypadku gdy  $R_E = 0$  wzmocnienie napięciowe wynosi  $K_u = -\frac{R_C}{r_e}$ , gdzie  $r_e$  jest nieznaną rezystancją emitera.



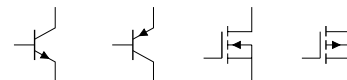
### 2.3.1 Ustalanie punktu pracy tranzystora w układzie WE

Na początku dobieramy spoczynkowy prąd kolektora, tak aby dla założonego zakresu napięć na wejściu moc strat na tranzystorze nie przekraczała mocy maksymalnej. Mając prąd spoczynkowy kolektora oraz przyjmując napięcie na wyjściu przy braku napięcia na wejściu dobieramy wartość rezystora kolektorowego  $R_C$ . Następnie z założonego wzmocnienia dobieramy rezystor emiterowy  $R_E$ .



Rysunek 4: Wzmacniacz w układzie WE ze sprzężeniem pojemnościowym i dzielnikiem rezystancyjnym ustalającym punkt pracy

Czyli rezystory  $R_C$  i  $R_E$  dobieramy w taki sposób aby uzyskać założone wzmocnienie napięciowe oraz w taki sposób aby dla założonego zakresu amplitudy napięcia wejściowego moc strat na tranzystorze nie przekraczała mocy maksymalnej. Rezystory  $R_1$  i  $R_2$  najczęściej dobiera się w taki sposób aby przy braku napięcia wejściowego, na kolektorze napięcie równało się połowie napięcia zasilania czyli  $U_C = \frac{U}{2}$ . Zatem gdy  $U_C = \frac{U}{2}$  napięcie na rezystorze kolektorowym  $U_{RC} = \frac{U}{2}$ , prąd kolektora  $I_C = \frac{U}{R_C}$ . Ze względu na duże wzmocnienie prądowe tranzystora przyjmujemy  $I_E \approx I_C$ . Napięcie na rezystorze  $R_2$  wynosi  $U_{R_2} = U_E + U_{BE} = I_E R_E + U_{BE} \approx \frac{U}{R_C} R_E + 0,6$ . Pomijając prąd bazy otrzymujemy  $\frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{U_{R_2}}{R_2}$ . Z ostatniego równania otrzymujemy stosunek rezystancji dzielnika.

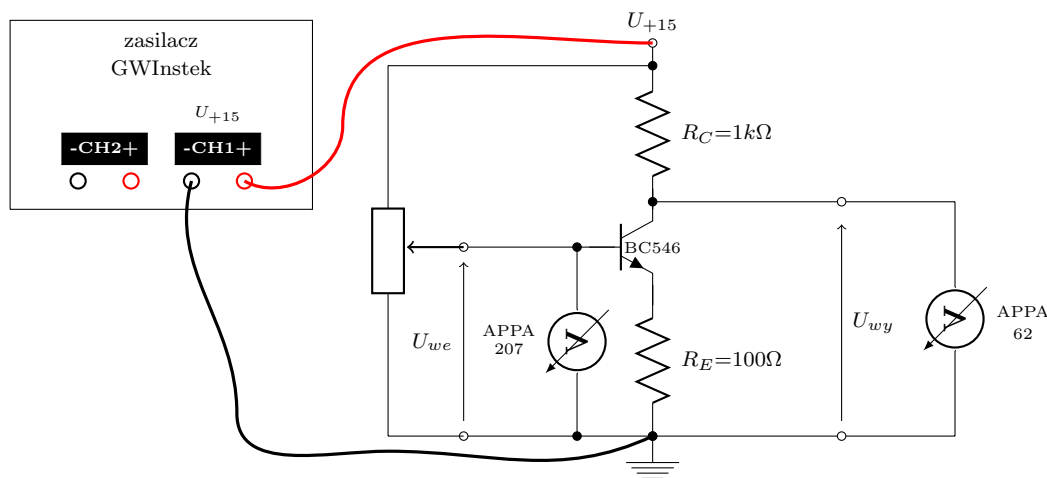


## 3 Przebieg ćwiczenia

### 3.1 Badanie tranzystora bipolarnego w układzie WE

#### 3.1.1 Wyznaczenie charakterystyki $U_{wy} = f(U_{we})$ wzmacniacza w układzie WE

Połączyć układ jak na rysunku 5. Na kanale pierwszym zasilacza (CH1) ustawić napięcie zasilania  $U_{+15} = 15V$  oraz ograniczenie prądu na  $I_{CH1max} = 100mA$ . Zmieniając napięcie wejściowe  $U_{we}$  za pomocą potencjometru w zakresie  $U_{we} \in (0V; 2,5V)$  zmierzyć napięcie na wyjściu  $U_{wy}$ . Wyniki zapisać w tabeli 1 oraz zaznaczyć na rysunku 11.



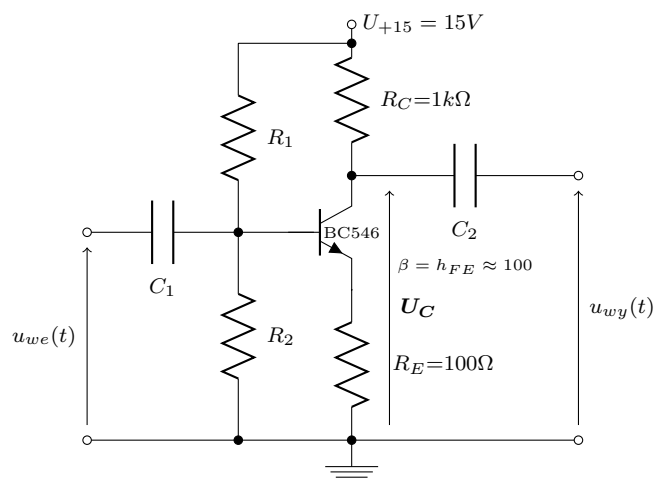
Rysunek 5

#### 3.1.2 Ustalenie punktu pracy tranzystora w układzie WE

W układzie przedstawionym na rysunku 6 ustalić trzy spoczynkowe punkty pracy i tranzystora tzn. dobrać rezystory  $R_1$  i  $R_2$  tak aby przy braku sygnału wejściowego  $u_{we}(t)$  napięcie na kolektorze wynosiło:

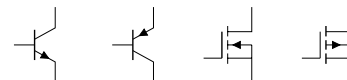
- $U_{C1} = 3V$ ,
- $U_{C2} = 7,5V$ ,
- $U_{C3} = 12V$ .

Parametry dobranych rezystorów zapisać w tabeli 2.



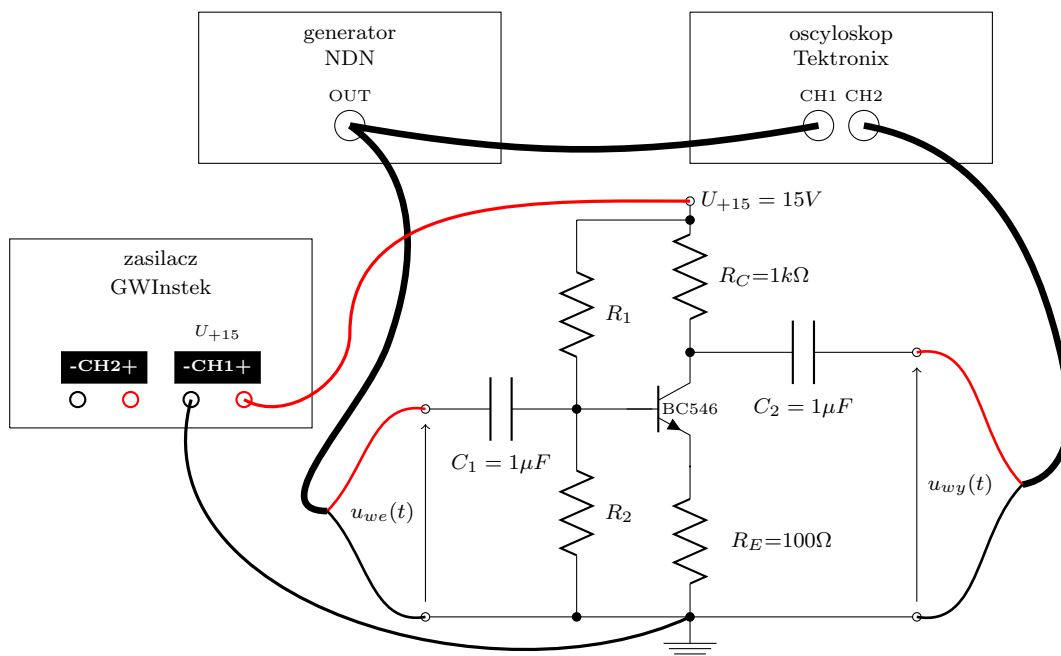
Rysunek 6

<sup>1</sup>Podczas ustalania punktu pracy skorzystać z wyników uzyskanych w punkcie 3.1.1.



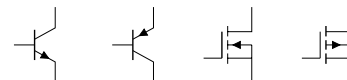
### 3.1.3 Wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych wzmacniacza WE

Połączyć układ jak na rysunku 7. Na wejście układu podać przebieg sinusoidalny o amplitudzie  $U_{we} = 0.6V$  i częstotliwości  $f = 1kHz$ . Zarejestrować przebiegi napięcia na wejściu i wyjściu dla trzech punktów spoczynkowych z punktu 3.1.2 (różne konfiguracje rezystorów  $R_1$  i  $R_2$ ). Na podstawie otrzymanych przebiegów określić optymalny spoczynkowy punkt pracy pod względem zakresu amplitudy sygnału wejściowego.



Rysunek 7

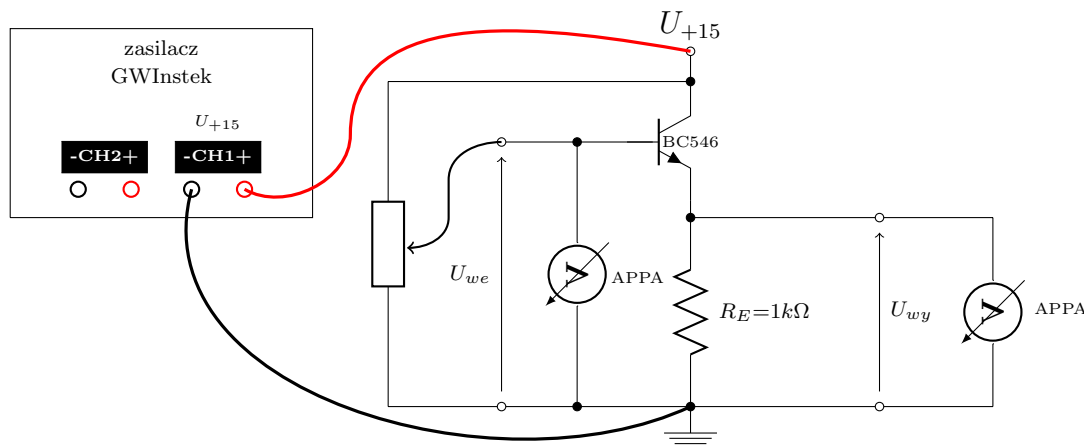
Dla optymalnego punktu spoczynkowego w układzie z rysunku 7 wyznaczyć charakterystykę amplitudową i fazową wzmacniacza WE. Na wejście układu podać przebieg sinusoidalny o amplitudzie  $U_{we} \approx 0.5V$ . Dokonać pomiaru napięcia międzyszczytowego  $2U_{we}$  na wejściu oraz  $2U_{wy}$  na wyjściu. Pomiary wykonać dla sygnałów o częstotliwości z zakresu od  $0,01kHz$  do  $1MHz$ . Obliczyć  $A = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$ ,  $A_{dB} = 20 \log \frac{U_{wy}}{U_{we}}$  oraz  $\varphi$ . Wyniki pomiarów i obliczeń zapisać w tabeli 3. Na rysunku 12 wykreślić charakterystykę amplitudową.



## 3.2 Badanie tranzystora bipolarnego w układzie WK

### 3.2.1 Wyznaczenie charakterystyki $U_{wy} = f(U_{we})$ wzmacniacza w układzie WK

Połączyć układ jak na rysunku 8. Na kanale pierwszym zasilacza (CH1) ustawić napięcie zasilania  $U_{+15} = 15V$  oraz ograniczenie prądu na  $I_{CH1max} = 100mA$ . Zmieniając napięcie wejściowe  $U_{we}$  za pomocą potencjometru w zakresie  $U_{we} \in (0V; 15V)$  zmierzyć napięcie na wyjściu  $U_{wy}$ . Wyniki zapisać w tabeli 4 oraz zaznaczyć na rysunku 13.



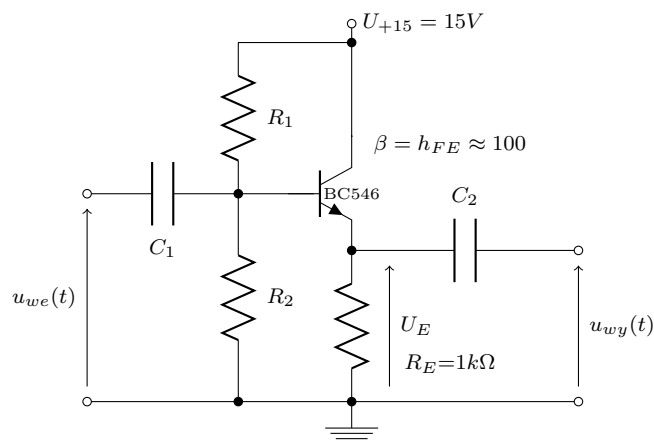
Rysunek 8

### 3.2.2 Ustalenie punktu pracy tranzystora w układzie WK

W układzie przedstawionym na rysunku 9 ustalić trzy spoczynkowe punkty pracy<sup>ii</sup> tranzystora tzn. dobrać rezystory  $R_1$  i  $R_2$  tak aby przy braku sygnału wejściowego  $u_{we}(t)$  napięcie na rezystorze emiterowym wynosiło:

- $U_{E1} = 4V$ ,
- $U_{E2} = 7.5V$ ,
- $U_{E3} = 12V$ .

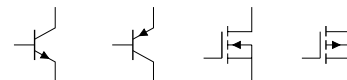
Parametry dobranych rezystorów zapisać w tabeli 5.



Rysunek 9

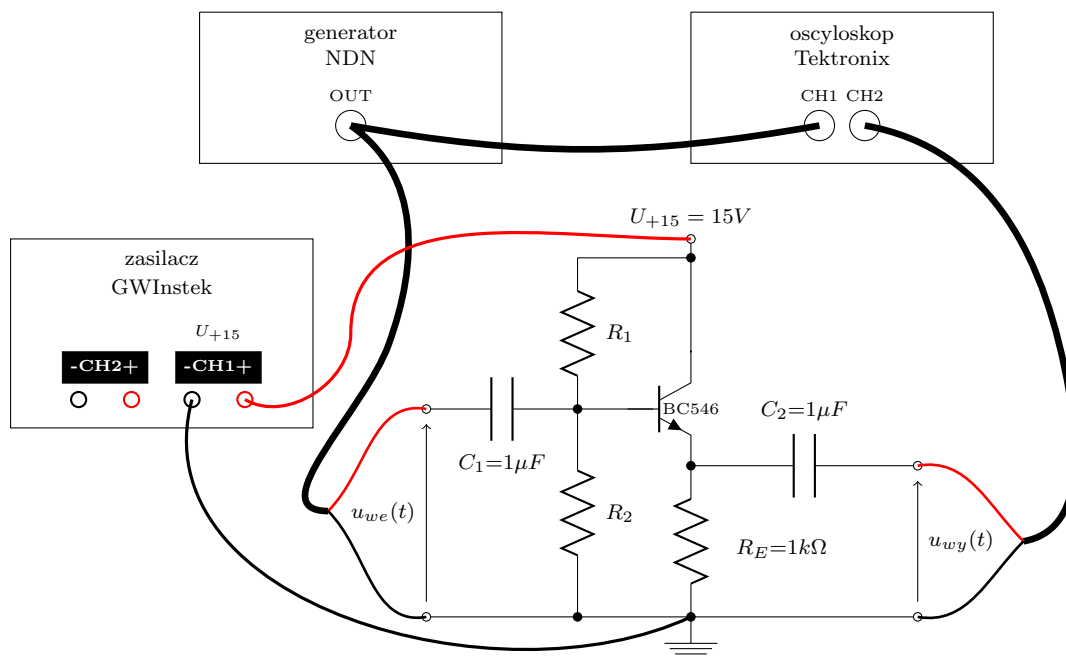
<sup>ii</sup>Podczas ustalania punktu pracy skorzystać z wyników uzyskanych w punkcie 3.2.1.





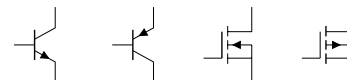
### 3.2.3 Wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych wzmacniacza WK

Połączyć układ jak na rysunku 10. Na wejście układu podać przebieg sinusoidalny o amplitudzie  $U_{we} = 7.5V$  i częstotliwości  $f = 1kHz$ . Zarejestrować przebiegi napięcia na wejściu i wyjściu dla trzech punktów spoczynkowych z punktu 3.2.2 (różne konfiguracje rezystora  $R_1$  i  $R_2$ ). Na podstawie otrzymanych przebiegów określić optymalny spoczynkowy punkt pracy pod względem zakresu amplitudy sygnału wejściowego.



Rysunek 10

Dla optymalnego punktu spoczynkowego w układzie z rysunku 10 wyznaczyć charakterystykę amplitudową i fazową wzmacniacza WK. Na wejście układu podać przebieg sinusoidalny o amplitudzie  $U_{we} \approx 5V$ . Dokonać pomiaru napięcia międzyszczytowego  $2U_{we}$  na wejściu,  $2U_{wy}$  na wyjściu oraz  $\Delta t$ . Pomiary wykonać dla sygnałów o **częstotliwości** z zakresu **od 0,01kHz do 1MHz**. Obliczyć  $A = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$ ,  $A_{dB} = 20 \log \frac{U_{wy}}{U_{we}}$  oraz  $\varphi$ . Wyniki pomiarów i obliczeń zapisać w tabeli 6. Na rysunku 14 wykreślić charakterystykę amplitudową.



## 4 Sprawozdanie

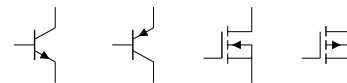
- 4.1 Wykreślić i zinterpretować charakterystyki  $U_{wy} = f(U_{we})$  oraz częstotliwościowe w układzie WE i WK.
- 4.2 Zamieścić oraz zinterpretować wybrane przebiegi uzyskane z oscyloskopu.
- 4.3 Porównać układ WE i WK.

## 5 Niezbędne wyposażenie

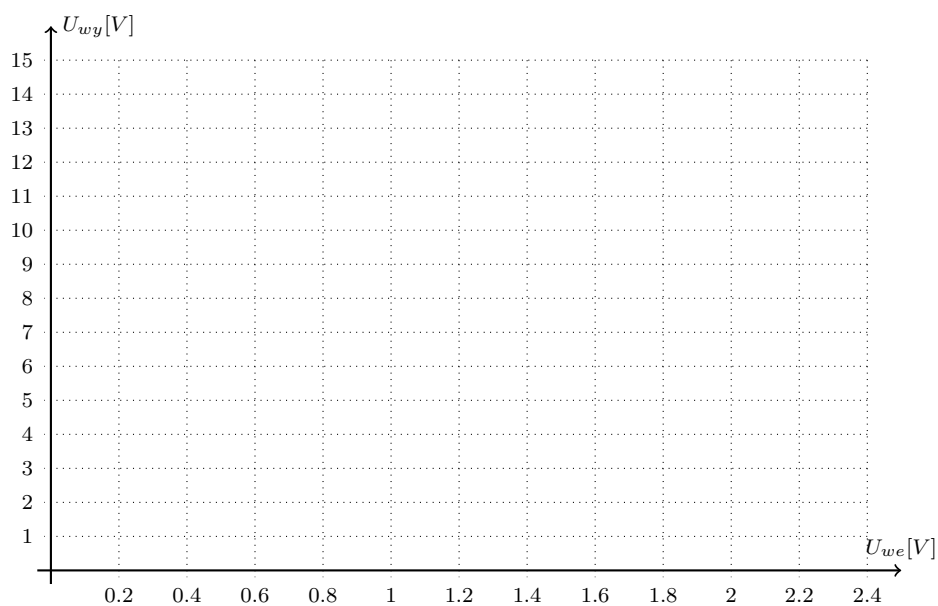
- kalkulator naukowy
- pendrive do 1GB lub aparat fotograficzny do rejestracji przebiegów z oscyloskopu
- protokół



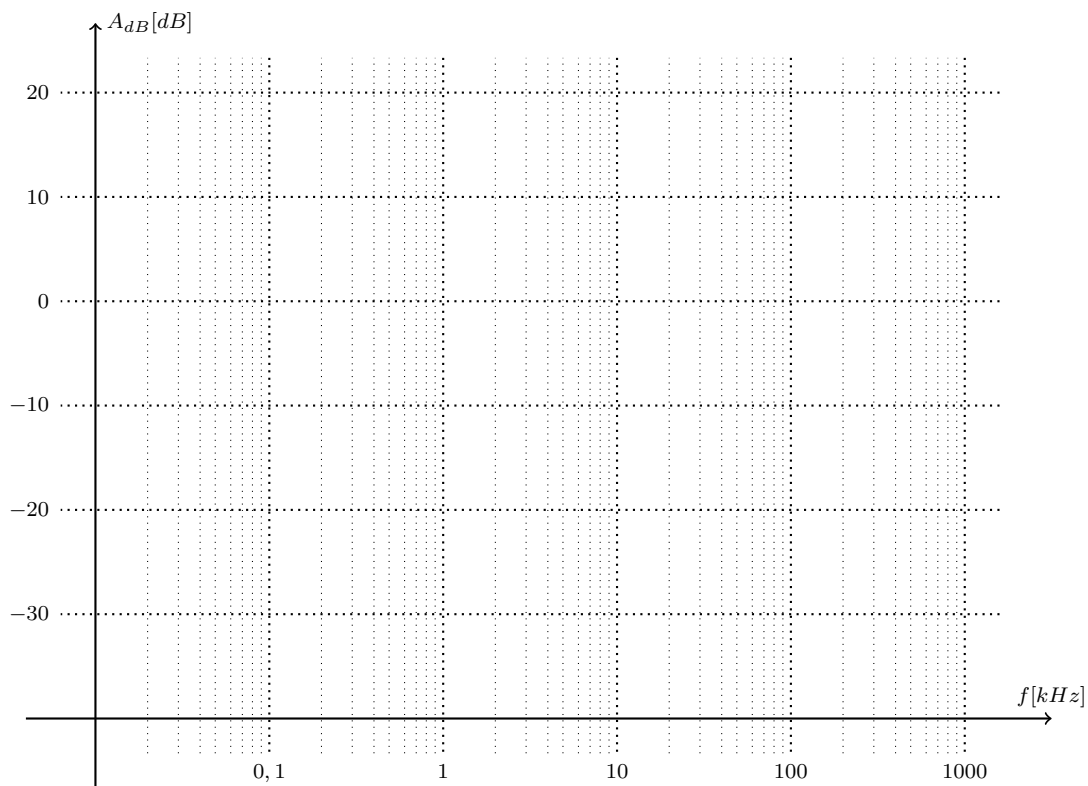




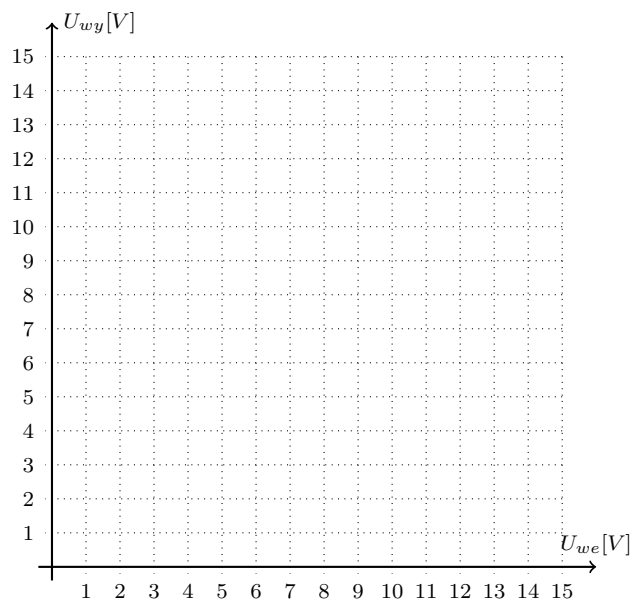
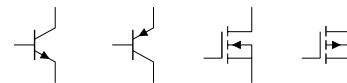
## Charakterystyki



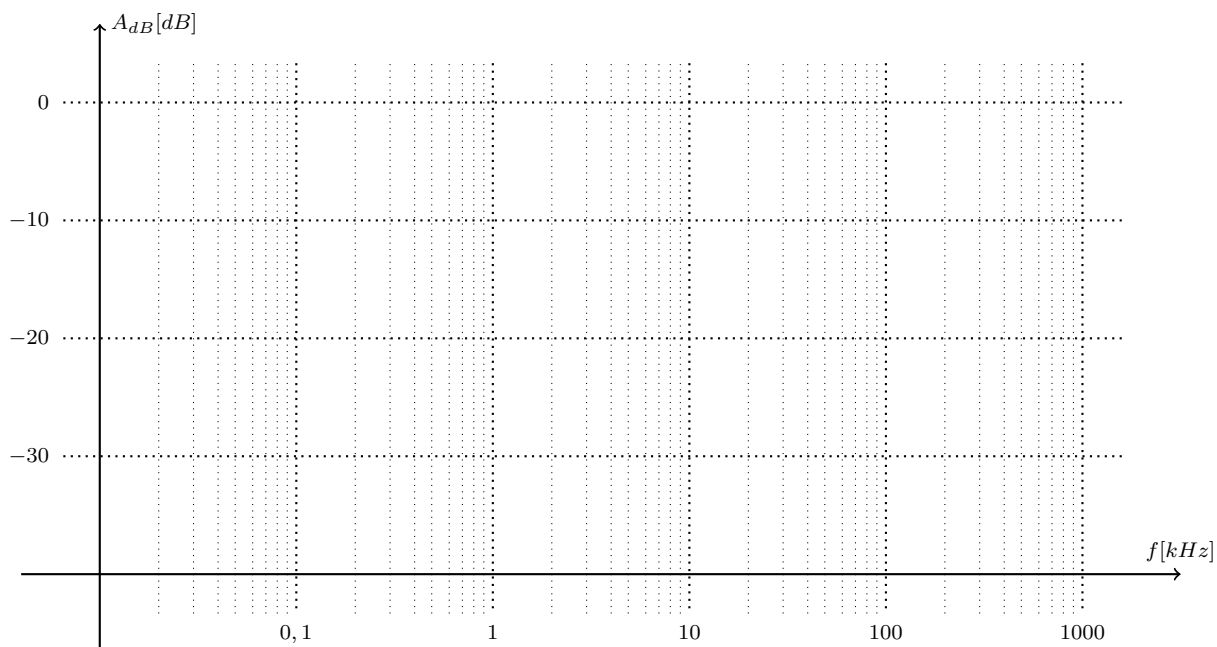
Rysunek 11: Charakterystyka  $U_{wy} = f(U_{we})$  dla układu WE



Rysunek 12: Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza WE



Rysunek 13: Charakterystyka  $U_{wy} = f(U_{we})$  dla układu WK



Rysunek 14: Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza WK