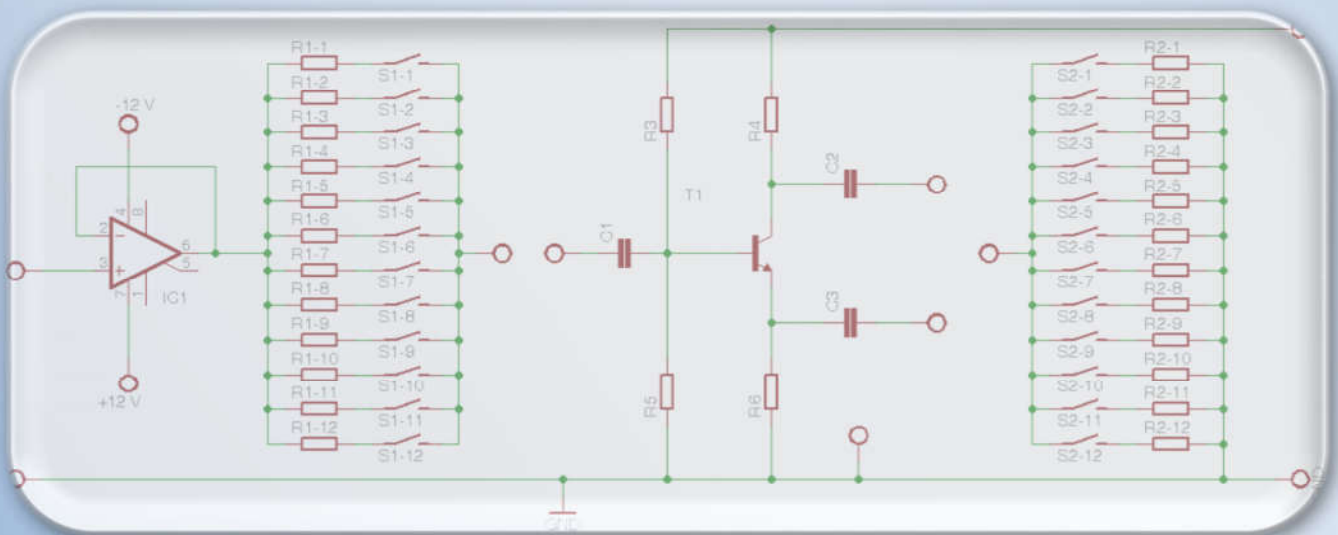


Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK

# Pracownia Elektroniczna

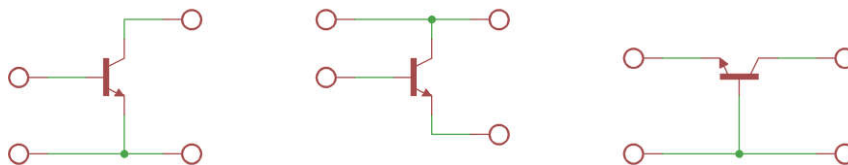
## ZESTAW 2

### TRANZYSTOR BIPOLARNY I JEGO UKŁADY PRACY



## I. WSTĘP TEORETYCZNY

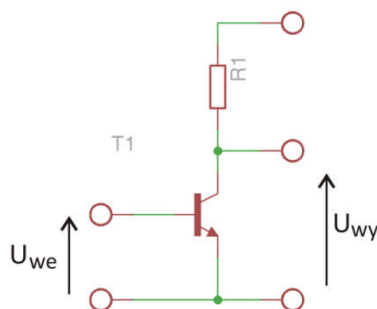
Stosowane w budowie wzmacniaczy tranzystory są elementami aktywnymi, umożliwiającymi wzrost energii sygnału wyjściowego, w stosunku do energii sygnału wejściowego, kosztem energii ze źródła zasilającego. Tranzystor posiada trzy wyprowadzenia (emiter, kolektor, baza) co umożliwia budowę wzmacniaczy tranzystorowych w trzech układach (patrz rys. 1): o wspólnym emiterze (WE), o wspólnym kolektorze (WK) i o wspólnej bazie (WB).



Rys. 1. Trzy konfiguracje układów pracy tranzystora.

### 1. WZMACNIACZ W UKŁADZIE ZE WSPÓLNYM EMITEREM (WE)

Na rysunku 2 przedstawiono najprostszy układ wzmacniacza tranzystorowego pracującego w układzie WE. Obwód wejściowy: baza-emiter, obwód wyjściowy: kolektor-emiter.



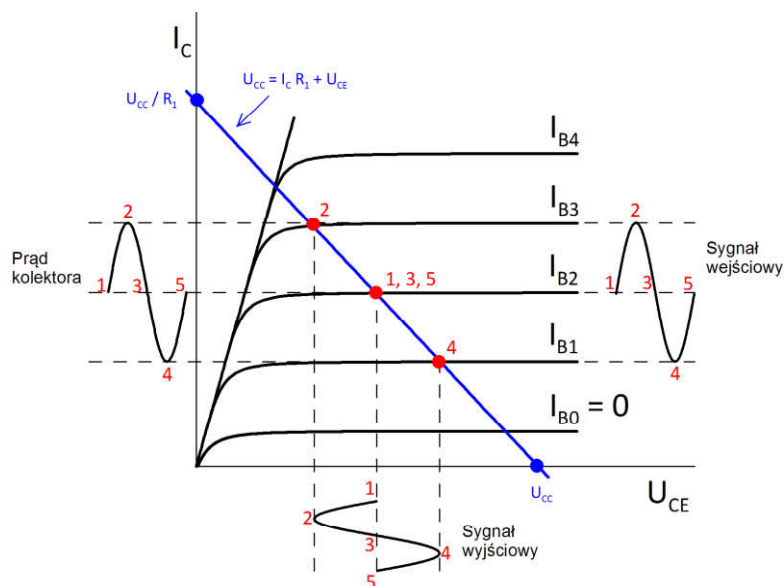
Rys. 2. Wzmacniacz w układzie WE.

Układ składa się z opornika kolektorowego  $R_1$  oraz tranzystora  $T_1$ , tworzących dzielnik napięcia. W najprostszym modelu możemy przedstawić tranzystor jako układ ustalający natężenie prądu płynącego w obwodzie jego kolektora  $I_C$ , w zależności od natężenia prądu płynącego w obwodzie jego bazy  $I_B$ . Badając pracę tranzystora wykonuje się wykresy jego charakterystyk. W tym celu dla ustalonego prądu bazy  $I_B$  mierzona jest wartość prądu kolektora  $I_C$ , w zależności od napięcia  $U_{CE}$  między kolektorem i emiterem. Przykład takich charakterystyk przedstawiony jest na rysunku 3. Jak widać z rysunku, dla ustalonego prądu bazy, ze wzrostem napięcia  $U_{CE}$  występuje początkowo wzrost wartości prądu kolektora  $I_C$ , a następnie dla większej wartości napięcia  $U_{CE}$ , wartość prądu kolektora słabo zależy od wartości tego napięcia.

Powtarzając powyższe pomiary dla większej wartości prądu bazy uzyskujemy krzywą charakterystyki przesuniętą w stronę większych wartości prądu kolektora. Dla większej wartości napięcia  $U_{CE}$  spełniona jest liniowa zależność prądu kolektora  $I_C$  od prądu bazy tranzystora  $I_B$ :

$$I_C = \beta I_B$$

gdzie  $\beta$  jest współczynnikiem wzmocnienia prądowego tranzystora.



Rys. 3. Rodzina charakterystyk i prosta pracy tranzystora.

Najniższa krzywa z rodziny charakterystyk (rysunek 3) pokazuje, że w przypadku zerowego prądu bazy ( $I_B = 0$ ), przez tranzystor płynie niewielki prąd, nazywany prądem zerowym  $I_{C0}$ . Prąd ten jest wynikiem wzmocnienia przez tranzystor prądu wstecznego, spolaryzowanego w kierunku zaporowym złącza baza-kolektor. Ze względu na jego małą wartość, w wielu zastosowaniach tranzystora prąd zerowy można pominąć.

Zasadę pracy wzmacniacza tranzystorowego można przedstawić na przykładzie najprostszego układu przedstawionego na rysunku 2. Analizując pracę układu wzmacniacza, jako dzielnika napięcia możemy napisać równanie:

$$U_{CC} = I_C R_1 + U_{CE}$$

gdzie  $U_{CC}$  jest napięciem zasilania wzmacniacza.

Jest to tak zwana prosta pracy tranzystora w danym układzie wzmacniacza, opisująca możliwe punkty pracy tranzystora na jego charakterystyce.

Punkty przecięcia prostej pracy z osiami układu współrzędnych określają wartości:

- maksymalnego napięcia między kolektorem i emiterem tranzystora  $U_{CEmax} = U_{CC}$ , występującego gdy prąd kolektora  $I_C = 0$ ,
- maksymalnego prądu jaki może popłynąć przez tranzystor:

$$I_{Cmax} = \frac{U_{CC}}{R_1}$$

gdzie  $U_{CE} = 0$ .

Na rysunku 3 przedstawiona jest przykładowa prosta pracy tranzystora, wrysowana na tle jego charakterystyk. Zakładamy, że w chwili początkowej wartość prądu bazy tranzystora wynosi  $I_{B2}$ . Odpowiada to określonej wartości prądu kolektora  $I_C$ , oraz napięcia  $U_{CE}$ . Jest to punkt oznaczony nr 1 na prostej pracy tranzystora. Tak wybrana wartość składowej stałej prądu bazy jest konieczna aby móc wzmacniać sygnały zmienne. Złącze baza-emiter tranzystora wykazuje własności prostujące i bez obecności składowej stałej prądu bazy, wzmocnieniu uległa by tylko część sygnału wejściowego o dodatniej wartości napięcia.

Rozważmy sytuację, gdy do wejścia wzmacniacza podajemy sygnał o przebiegu sinusoidalnym. Wzrost napięcia sygnału wejściowego powoduje wzrost prądu bazy tranzystora do wartości  $I_{B3}$  i przesunięcie

punktu pracy tranzystora, z punktu nr 1 do punktu nr 2. Odpowiada to wzrostowi prądu kolektora, zgodnie z relacją proporcjonalności  $I_C = \beta I_B$ .

Wzrost prądu kolektora powoduje następnie zwiększenie spadku napięcia na oporniku kolektorowym  $R_1$ . Przy stałej wartości napięcia  $U_{CC}$ , zasilającego wzmacniacz, oznacza to zmniejszenie napięcia na tranzystorze  $U_{CE}$ . Wartość napięcia wyjściowego wzmacniacza  $U_{wy} = U_{CE}$  ulega więc zmniejszeniu.

Występujący następnie spadek napięcia wejściowego, powoduje przejście do punktu nr 3 na prostej pracy i powrót do początkowych wartości prądów i napięć - jak w punkcie nr 1.

Dalszy spadek napięcia wejściowego (punkt nr 4 na prostej pracy) powoduje odpowiednio zmniejszenie prądu bazy do wartości  $I_{B1}$  oraz odpowiednie zmniejszenie wartości prądu kolektora  $I_C$ . Mniejsza wartość prądu kolektora odpowiada mniejszemu spadkowi napięcia na oporniku kolektorowym  $R_1$  i w rezultacie zwiększeniu wartości napięcia wyjściowego wzmacniacza. W punkcie nr 5 na prostej pracy występuje ponowny powrót do wartości początkowych wartości prądów i napięć. Przeprowadzona analiza pracy układu pokazuje, że w tej konfiguracji wzmacniacza tranzystorowego, zmiany prądu kolektora  $I_C$  są zgodne w fazie z przebiegiem sygnału wejściowego, natomiast zmiany napięcia wyjściowego wzmacniacza, są przeciwne w fazie do zmian napięcia wejściowego.

### Podstawowe parametry charakteryzujące pracę wzmacniacza w układzie WE

#### A. **Oporność wejściowa wzmacniacza $R_{we}$**

Pod wpływem przyłożonego do wejścia wzmacniacza napięcia wejściowego w obwodzie wejściowym wzmacniacza płynie prąd  $I_{we}$  zgodnie z zależnością:

$$R_{we} = \frac{U_{we}}{I_{we}}$$

W układzie poglądowym przedstawionym na rysunku 2 sygnał wejściowy podawany jest bezpośrednio do bazy tranzystora. W rzeczywistych układach wzmacniaczy w obwodzie wejściowym wzmacniacza znajdują się elementy ustalające punkt pracy tranzystora - na przykład dzielnik napięcia zbudowany z oporników  $R_{B1}$  i  $R_{B2}$ . (W przedstawionym na rysunku 7 układzie wzmacniacza, dzielnik ten tworzą oporniki  $R_3$  oraz  $R_5$ ). W takim przypadku na oporność wejściową wzmacniacza  $R_{we}$  składają się równolegle połączone oporności  $R_{B1}$  i  $R_{B2}$  oraz oporność wejściowa samego tranzystora  $\rho_{we}$ :

$$\frac{1}{R_{we}} = \frac{1}{R_{B1}} + \frac{1}{R_{B2}} + \frac{1}{\rho_{we}}$$

Jeżeli zastosować oporności  $R_{B1}$  oraz  $R_{B2}$  dużo większe od  $\rho_{we}$  to oporność wejściową wzmacniacza w układzie WE możemy przyjąć jako równą oporności wejściowej tranzystora:

$$R_{we} \approx \rho_{we}$$

#### B. **Oporność wyjściowa wzmacniacza $R_{wy}$**

Oporność wyjściowa wzmacniacza jest zdefiniowana jako stosunek napięcia wyjściowego  $U_{wy}$  do prądu wyjściowego  $I_{wy}$ :

$$R_{wy} = \frac{U_{wy}}{I_{wy}}$$

Patrząc od strony wyjścia wzmacniacza w układzie WE, tranzystor możemy potraktować jako generator prądowy, dostarczający prąd o natężeniu  $I_C$ , niezależnie od przyłożonego napięcia  $U_{CE}$  (patrz rys. 3). Generator prądowy posiada nieskończenie dużą oporność wewnętrzną, tak więc oporność wyjściowa wzmacniacza w układzie WE zależy tylko od oporności kolektorowej  $R_1$ , czyli:

$$R_{wy} = R_1$$

### C. Wzmocnienie napięciowe wzmacniacza $k_U$

Wzmocnienie napięciowe wzmacniacza jest zdefiniowane jako stosunek napięcia sygnału wyjściowego do napięcia sygnału wejściowego:

$$k_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$$

Dla nieobciążonego wzmacniacza w układzie WE zmiana napięcia wyjściowego, równa jest zmianie spadku napięcia na oporniku kolektorowym  $R_1$  spowodowanej zmianą prądu kolektora:

$$\Delta U_{wy} = -\Delta I_C R_1$$

Znak minus wynika z odwrócenia fazy sygnału wyjściowego w stosunku do sygnału wejściowego. Korzystając następnie z omówionych powyżej zależności, zapisanych dla odpowiednich zmian sygnałów:

$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B$$

oraz

$$\Delta I_B = \frac{\Delta U_{we}}{\rho_{we}}$$

otrzymujemy wzmocnienie napięciowe dla wzmacniacza nieobciążonego

$$k_U = -\frac{\beta}{\rho_{we}} R_1$$

### D. Wzmocnienie prądowe wzmacniacza $k_I$

Wzmocnienie prądowe wzmacniacza jest zdefiniowane jako stosunek prądu wyjściowego do prądu wejściowego:

$$k_I = \frac{I_{wy}}{I_{we}}$$

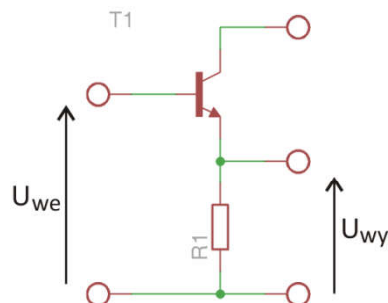
Dla wzmacniacza w układzie WE wzmocnienie prądowe równe jest wzmocnieniu prądowemu tranzystora:

$$k_I = -\beta$$

Znak minus wynika z odwrócenia fazy sygnału wyjściowego w stosunku do sygnału wejściowego.

## 2. WZMACNIACZ W UKŁADZIE ZE WSPÓLNYM KOLEKTOREM (WK).

Na rysunku 4 przedstawiono najprostszy układ wzmacniacza tranzystorowego pracującego w układzie WK. Obwód wejściowy: baza-kolektor, obwód wyjściowy: emiter-kolektor.



Rys. 4. Wzmacniacz w układzie WK.

Układ składa się z tranzystora oraz opornika emiterowego  $R_E$ , tworzących dzielnik napięcia. Wzrost sygnału podanego do wejścia wzmacniacza (rys. 4) powoduje wzrost prądu bazy  $I_B$  tranzystora. To z kolei powoduje proporcjonalny wzrost prądu kolektora

$$I_C = \beta I_B$$

Z konstrukcji tranzystora wynika zależność, łącząca prądy emitera  $I_E$ , bazy  $I_B$  oraz kolektora  $I_C$ :

$$I_E = I_B + I_C$$

Wartość prądu emitera wynosi  $I_E = (\beta + 1)I_B$ . Wzrost prądu emitera powoduje wzrost spadku napięcia na oporniku emiterowym  $R_1$  i tym samym wzrost napięcia wyjściowego wzmacniacza. Jak widać, wzmacniacz pracujący w układzie WK nie odwraca fazy sygnału wyjściowego względem sygnału wejściowego.

Jak widać z rysunku 4 napięcia wejściowe i wyjściowe wzmacniacza powiązane są zależnością:

$$U_{we} = U_{BE} + U_{wy}$$

gdzie  $U_{BE}$  jest spadkiem napięcia na złączu baza-emiter tranzystora.

Wzmocnienie napięciowe wzmacniacza w układzie WK wynosi więc:

$$k_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \leq 1$$

Jeżeli sygnał wejściowy oprócz użytecznej składowej zmiennej zawiera również składową stałą, porównywalną z napięciem przewodzenia złącza baza-emiter, to składową zmienną spadku napięcia  $U_{BE}$  można pominąć i wtedy  $k_U = 1$

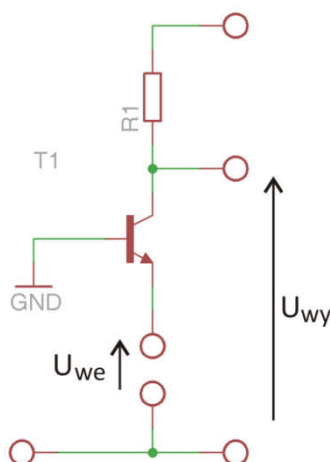
Wzmocnienie prądowe wzmacniacza  $k_I$  wynosi:

$$k_I = \frac{I_{wy}}{I_{we}} = \frac{I_E}{I_B} = \beta + 1$$

Wzmacniacz w układzie WK posiada bardzo dużą oporność wyjściową i małą oporność wejściową i jest często stosowany jako układ transformujący oporność układu.

### 3. WZMACNIACZ W UKŁADZIE ZE WSPÓLNĄ BAZĄ (WB).

Na rysunku 5 przedstawiono najprostszy układ wzmacniacza tranzystorowego pracującego w układzie WB. Obwód wejściowy: emiter-baza, obwód wyjściowy: kolektor-baza.



Rys. 5 Wzmacniacz w układzie WB

Układ składa się z opornika kolektorowego  $R_1$  oraz tranzystora, tworzących dzielnik napięcia. W przeciwieństwie do układów WE i WK gdzie sygnał wejściowy podawany jest do bazy tranzystora, w układzie WB baza tranzystora ma ustalony potencjał, natomiast sygnał wejściowy jest podawany do emitera tranzystora. Rosnące napięcie wejściowe powoduje zmniejszenie różnicy potencjałów złącza baza-emiter, co powoduje zmniejszenie prądu bazy. To z kolei powoduje zmniejszenie prądu kolektora i zmniejszenie wywołanego przez ten prąd spadku napięcia na oporniku kolektorowym. Wartość napięcia wyjściowego wzmacniacza ulega więc zwiększeniu. Wzmacniacz pracujący w układzie WB nie odwraca fazy sygnału wyjściowego względem sygnału wejściowego.

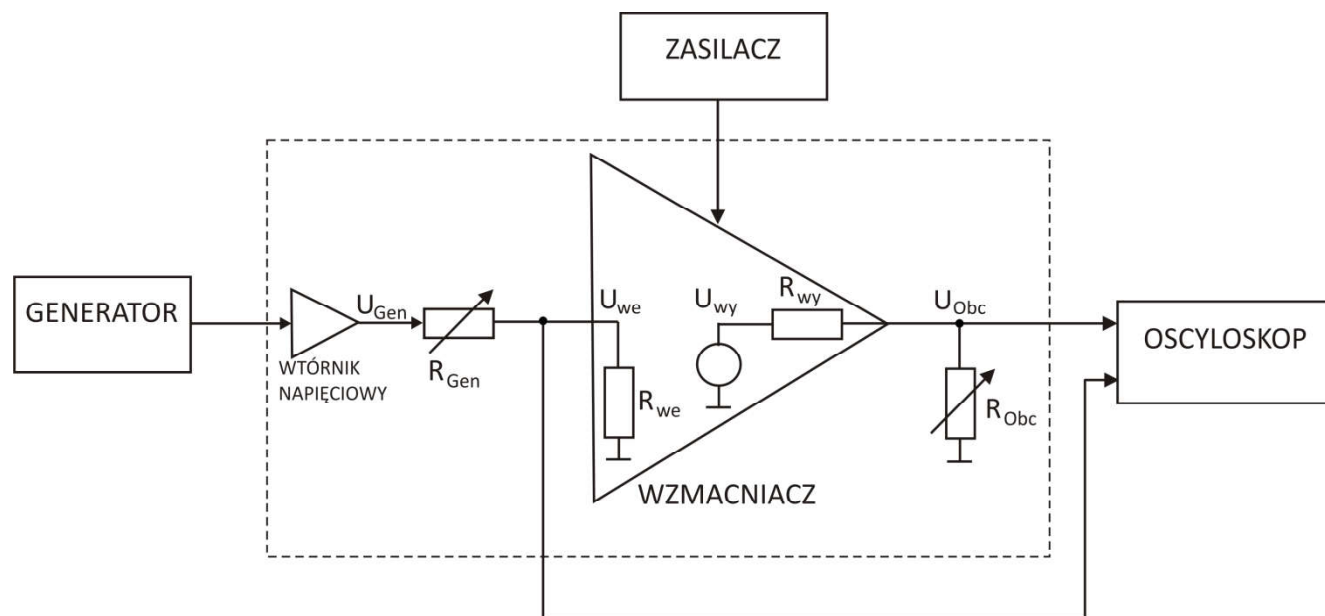
Wzmocnienie prądowe wzmacniacza  $k_I$  wynosi

$$k_I = \frac{I_{wy}}{I_{we}} = \frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{\beta + 1} \approx 1$$

Wzmacniacz pracujący w układzie WB nie wzmacnia więc prądu wyjściowego, a wzmocnienie napięciowe sygnału związane jest z dużą opornością wyjściową układu. Ze względu na sterowanie tego wzmacniacza dużym prądem wejściowym  $I_E$  jego oporność wejściowa jest mała.

### 4. METODA POMIARU PARAMETRÓW WZMACNIACZA.

Na rysunku 6 przedstawiono schemat układu pomiarowego służącego do wyznaczania parametrów badanego wzmacniacza.



Rys. 6. Układ pomiarowy do wyznaczania parametrów wzmacniacza.

Do wejścia wzmacniacza podłączony jest generator z zewnętrznym opornikiem nastawnym  $R_{Gen}$  umożliwiającą zmianę oporności wyjściowej generatora. Aby wyeliminować wpływ niezerowej oporności wyjściowej samego generatora, pomiędzy generator i zestaw oporników  $R_{Gen}$ , zamontowany jest wtórnik napięciowy, o oporności wyjściowej bliskiej zeru. Do wyjścia wzmacniacza podłączone jest regulowane obciążenie  $R_{Obc}$ .

### Wyznaczanie oporności wejściowej wzmacniacza

Napięcie z generatora (po przejściu przez wtórnik napięciowy)  $U_{Gen}$  ulega podziałowi na dzielniku napięcia utworzonym przez oporności  $R_{Gen}$  oraz  $R_{we}$ . Napięcie wejściowe wzmacniacza jest wtedy równe:

$$U_{we} = \frac{U_{Gen} R_{we}}{R_{Gen} + R_{we}}$$

Dla oporności  $R_{Gen} = 0$  napięcie wejściowe wzmacniacza  $U_{we} = U_{Gen}$ . Zwiększanie wartości  $R_{Gen}$  powoduje zmniejszanie wartości  $U_{we}$ . Dla  $R_{Gen} = R_{we}$  (warunek dopasowania oporności) otrzymujemy  $U_{we} = (1/2) U_{Gen}$ . Wyznaczanie oporności wejściowej wzmacniacza polega na zwiększaniu wartości oporności  $R_{Gen}$  do wartości, przy której napięcie wyjściowe  $U_{wy}$  wzmacniacza nieobciążonego ( $R_{Obc} = \infty$ ) zmniejszy się dwukrotnie.

Zakładając, że wzmacniacz pracuje w zakresie liniowym oznacza to, że napięcie wejściowe wzmacniacza też ulega wtedy dwukrotnemu zmniejszeniu. Bezpośredni pomiar zmian napięcia wejściowego wzmacniacza może dawać błędne wyniki, gdyż dla układów o dużych wartościach oporności wejściowej, byłaby ona bocznikowana przez równolegle podłączoną oporność urządzenia pomiarowego.

### Wyznaczanie oporności wyjściowej wzmacniacza

Po podłączeniu do wyjścia wzmacniacza obciążenia o oporności  $R_{Obc}$  napięcie wyjściowe wzmacniacza nieobciążonego  $U_{wy}$  ulega podziałowi na dzielniku napięcia utworzonym przez oporności  $R_{wy}$  oraz  $R_{Obc}$ .



Napięcie na oporności obciążenia  $U_{Obc}$  wynosi wtedy:

$$U_{Obc} = \frac{R_{Obc}}{R_{wy} + R_{Obc}} U_{wy} = \frac{1}{1 + \frac{R_{wy}}{R_{Obc}}} U_{wy}$$

Dla wzmacniacza nieobciążonego ( $R_{Obc} = \infty$ ) otrzymujemy wtedy  $U_{Obc} = U_{wy}$

Przy ustalonej wartości  $U_{wy}$ , zmniejszanie wartości oporności obciążenia  $R_{Obc}$  powoduje zmniejszanie wartości spadku napięcia na oporności obciążenia. Dla  $R_{Obc} = R_{wy}$  (warunek dopasowania oporności) otrzymujemy  $U_{Obc} = \frac{1}{2} U_{wy}$

Wyznaczanie oporności wyjściowej wzmacniacza polega na zmniejszaniu wartości oporności obciążenia  $R_{Obc}$  do wartości, przy której napięcie na oporności obciążenia  $U_{Obc}$  spada do połowy wartości napięcia wyjściowego, występującego dla wzmacniacza nieobciążonego ( $R_{Obc} = \infty$ ).

### Wyznaczanie współczynnika wzmocnienia napięciowego

Polega na bezpośrednim pomiarze napięcia wejściowego i wyjściowego wzmacniacza i obliczenia wartości

$$k_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$$

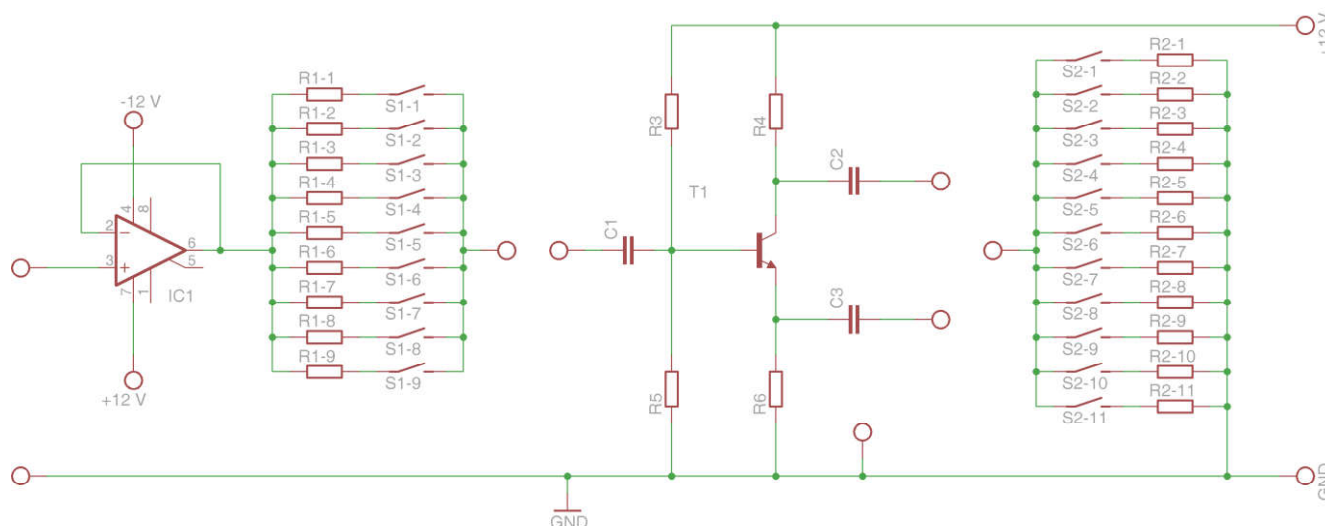
Wzmocnienie napięciowe mierzymy dla określonej wartości oporności obciążenia: wzmacniacz nieobciążony ( $R_{Obc} = \infty$ ), lub wzmacniacz obciążony opornością dopasowania ( $R_{Obc} = R_{wy}$ ).

## II. POMIARY I ICH OPRACOWANIE

Na rysunku 7 przedstawiono schemat wzmacniacza, który może pracować w układzie ze wspólnym emiterem WE, wspólnym kolektorem WK oraz wspólną bazą WB. Wybór układu pracy polega na zwarceniu do masy wspólnej dla danego układu elektrody tranzystora (emitera, kolektora lub bazy) i podłączeniu sygnałów zgodnie z Tabelą 1.

Tabela 1 Konfiguracja połączeń

|                                     | Układ pracy tranzystora |          |          |
|-------------------------------------|-------------------------|----------|----------|
|                                     | WE                      | WK       | WB       |
| Zwarcie do masy poprzez kondensator | emiter                  | kolektor | baza     |
| Wejście sygnału                     | baza                    | baza     | emiter   |
| Wyjście sygnału                     | kolektor                | emiter   | kolektor |



Rys. 7. Schemat badanego wzmacniacza.

Wykaz rezystorów  $R_{Gen}$ :

- $R_{1-1} = 0 \Omega$
- $R_{1-2} = 100 \Omega$
- $R_{1-3} = 330 \Omega$
- $R_{1-4} = 1 k\Omega$
- $R_{1-5} = 3.3 k\Omega$
- $R_{1-6} = 10 k\Omega$
- $R_{1-7} = 33 k\Omega$
- $R_{1-8} = 100 k\Omega$
- $R_{1-9} = 330 k\Omega$

Wykaz rezystorów  $R_{Obc}$ :

- $R_{2-1} = 3.3 \Omega$
- $R_{2-2} = 10 \Omega$
- $R_{2-3} = 33 \Omega$
- $R_{2-4} = 100 \Omega$
- $R_{2-5} = 330 \Omega$
- $R_{2-6} = 1 k\Omega$
- $R_{2-7} = 3.3 k\Omega$
- $R_{2-8} = 10 k\Omega$
- $R_{2-9} = 33 k\Omega$
- $R_{2-10} = 100 k\Omega$
- $R_{2-11} = \infty$

Wykaz pozostałych elementów:

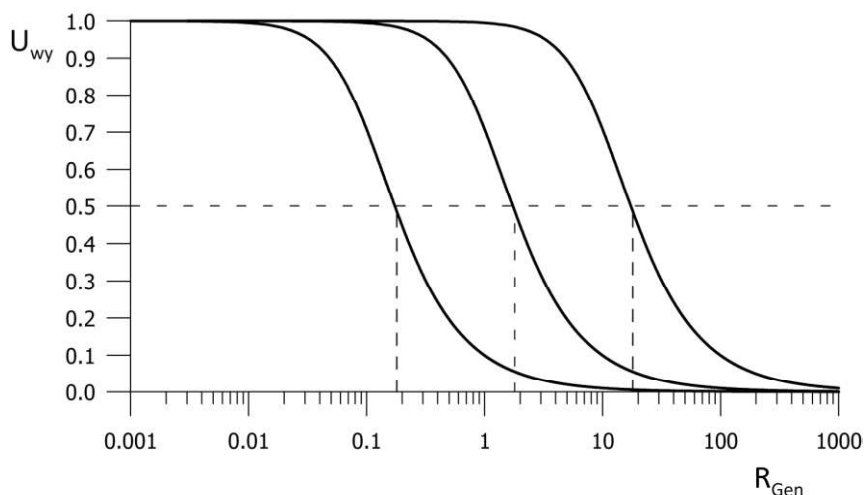
- $R_3 = 100 k\Omega$
- $R_4 = 1 k\Omega$
- $R_5 = 100 k\Omega$
- $R_6 = 1 k\Omega$
- $C_1 = 22 \mu F$
- $C_2 = 22 \mu F$
- $C_3 = 22 \mu F$
- $T_1$  – tranzystor BC547

## 1. POMIARY DLA UKŁADU ZE WSPÓLNYM EMITEREM WE.

- 1) Zgodnie z danymi z Tabeli 1 podłączyć wzmacniacz do pracy w układzie ze wspólnym emiterem.
- 2) Nastawić wartości oporności  $R_{Gen} = 0 \Omega$  oraz  $R_{Obc} = \infty$ .  
Do wejścia wzmacniacza doprowadzić sygnał sinusoidalny o częstotliwości 10 kHz i napięciu (międzyszczytowym)  $U_{we} = 40 \text{ mV}$   
Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza, zwracając uwagę na zależności fazowe między sygnałami. Zmierzyć wartość napięcia wyjściowego  $U_{wy}$  (napięcie międzyszczytowe) i wyznaczyć wartość oraz oszacować błąd, współczynnika wzmocnienia napięciowego  $k_U$  wzmacniacza nieobciążonego.  
W przypadku gdy wzmacniacz odwraca fazę sygnału wyjściowego w stosunku do fazy sygnału wejściowego, przyjmuje się ujemną wartość współczynnika wzmocnienia napięciowego ( $k_U < 0$ ).
- 3) W celu wyznaczenia oporności wejściowej  $R_{we}$  wzmacniacza nastawić wartości oporności  $R_{Gen} = 0 \Omega$  oraz  $R_{Obc} = \infty$ .  
Odłączyć oscyloskop od wejścia wzmacniacza.  
Tak dobrać wartość napięcia wejściowego, aby na wyjściu wzmacniacza otrzymać wartość napięcia (napięcie międzyszczytowe)
  - $U_{wy} = 4V$  (dla układów WE i WB),
  - $U_{wy} = 40 \text{ mV}$  (dla układu WK)
 Zmieniając wartość oporności  $R_{Gen}$  mierzyć wartość międzyszczytową napięcia na wyjściu wzmacniacza. Wyniki zebrać w tabeli (Tabela 2) oraz przedstawić na wykresie (jak na rysunku 8).  
Dla zmierzonych wartości napięcia wyjściowego oszacować ich błąd  $\Delta U_{wy}$  i zaznaczyć je na wykresie.  
Z wykresu wyznaczyć metodą graficzną oraz oszacować błąd wartości oporności wejściowej wzmacniacza.

Tabela 2. Zestawienie wyników w procedurze pomiaru oporności wejściowej dla trzech układów pracy tranzystora.

| $R_{Gen} [\Omega]$ | $U_{wy} [\text{mV}]$ |    |    |
|--------------------|----------------------|----|----|
|                    | WE                   | WB | WK |
| 0                  |                      |    |    |
| 100                |                      |    |    |
| 330                |                      |    |    |
| ...                |                      |    |    |
| 330 k              |                      |    |    |

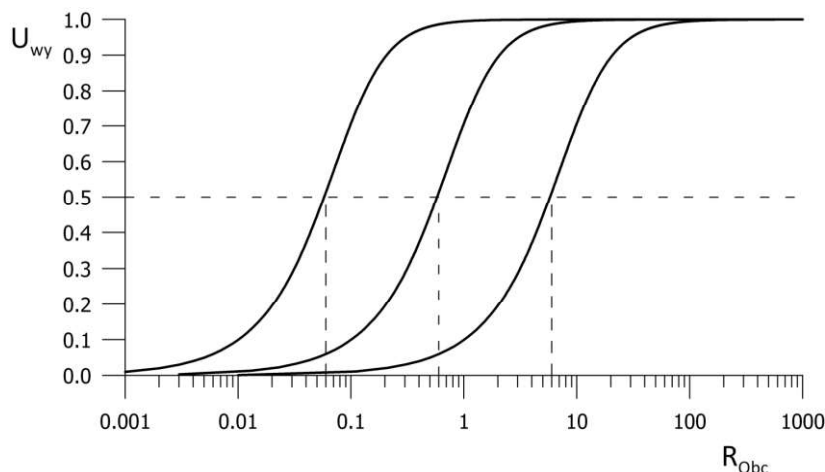


Rys. 8 Zestawienie wyników w procedurze pomiaru oporności wejściowej, dla trzech układów pracy tranzystora (Uwaga – na obu osiach jednostki względne).

- 4) W celu wyznaczenia oporności wyjściowej  $R_{wy}$  wzmacniacza nastawić wartości oporności  $R_{Gen} = 0 \Omega$  oraz  $R_{Obc} = \infty$ .  
 Odłączyć oscyloskop od wejścia wzmacniacza.  
 Tak dobrać wartość napięcia wejściowego, aby na wyjściu wzmacniacza otrzymać wartość napięcia (napięcie międzyszczytowe)
- $U_{wy} = 4V$  (dla układów WE i WB),
  - $U_{wy} = 40 mV$  (dla układu WK)
- Zmieniając wartość oporności  $R_{Obc}$  mierzyć wartość międzyszczytową napięcia na wyjściu wzmacniacza. Wyniki zebrać w tabeli (Tabela 3) oraz przedstawić na wykresie (rys. 9).  
 Dla zmierzonych wartości napięcia wyjściowego oszacować ich błąd  $\Delta U_{wy}$  i zaznaczyć je na wykresie.  
 Z wykresu wyznaczyć metodą graficzną oraz oszacować błąd wartości oporności wyjściowej wzmacniacza.

Tabela 3. Zestawienie wyników w procedurze pomiaru oporności wyjściowej dla trzech układów pracy tranzystora

| $R_{Obc} [\Omega]$ | $U_{wy} [mV]$ |    |    |
|--------------------|---------------|----|----|
|                    | WE            | WB | WK |
| $\infty$           |               |    |    |
| 330 k              |               |    |    |
| 100 k              |               |    |    |
| ...                |               |    |    |
| 3.3                |               |    |    |



Rys. 9. Zestawienie wyników w procedurze pomiaru oporności wyjściowej dla trzech układów pracy tranzystora (Uwaga – na obu osiach jednostki względne).

5) Dla układu ze wspólnym emiterem WE, korzystając z opisanych powyżej zależności

$$k_U = - (\beta / \rho_{we}) R_C$$

oraz przyjmując, że  $R_{we} \approx \rho_{we}$

można wyznaczyć wartość współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystora

$$\beta = - k_U (R_{we} / R_C).$$

Obliczyć wartość oraz oszacować błąd, współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystora przyjmując: wyznaczony współczynnik wzmocnienia napięciowego nieobciążonego wzmacniacza  $k_U$  (pamiętając, że dla układu WE, odwracającego fazę  $k_U < 0$ ), wyznaczoną wartość oporności wejściowej wzmacniacza  $R_{we}$  oraz wartość oporności kolektorowej  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$  (tolerancja elementów 10%).

Tolerancja - określa maksymalne dopuszczalne odchyłki, wyrażone w procentach wartości znamionowej.

## 2. POMIARY DLA UKŁADÓW ZE WSPÓLNYM KOLEKTOREM WK I WSPÓLNĄ BAZĄ WB.

1) Zgodnie z danymi z Tabeli 1 podłączyć wzmacniacz do pracy:

- w układzie ze wspólnym kolektorem WK,
  - wykonać pomiary opisane w punktach 2) – 4) powyższego rozdziału pomiarowego,
  - uzyskane wyniki przedstawić w postaci odpowiednich tabeli i wykresów
- w układzie ze wspólną bazą WB,
  - wykonać pomiary opisane w punktach 2) - 4) powyższego rozdziału pomiarowego,
  - uzyskane wyniki przedstawić w postaci odpowiednich tabeli i wykresów

### 3. ZESTAWIENIE WYNIKÓW.

Wyznaczone wartości oraz oszacowane błędy, parametrów trzech badanych wzmacniaczy przedstawić w zbiorczej tabeli (jak Tabela 4).

Tabela 4. Wyznaczone parametry wzmacniaczy.

|  | Układ pracy tranzystora |          |          |
|--|-------------------------|----------|----------|
|  | WE                      | WK       | WB       |
| Współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza nieobciążonego $k_U$ |                         |          |          |
| Oporność wejściowa wzmacniacza $R_{we}$                                |                         |          |          |
| Oporność wyjściowa wzmacniacza $R_{we}$                                |                         |          |          |
| Współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora $\beta$                 |                         | <b>X</b> | <b>X</b> |

#### LITERATURA

1. P. Horowitz, W. Hill "Sztuka elektroniki" Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2006
2. U. Tietze, C. Schenk " Układy półprzewodnikowe" Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2009
3. R. Śledziwski "Elektronika dla fizyków" Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1984
4. T. Stacewicz, A. Kotlicki "Elektronika w laboratorium naukowym" Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1994
5. T. Szczurek "Ćwiczenia Pracowni Elektronicznej II" Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika 1994
6. A. Bielski, R. Ciuryło "Podstawy metod opracowania pomiarów" Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika 2001