

Pracownia elektroniczna

ćw. 4: Wzmacniacz tranzystorowy w układzie o wspólnym emiterze.
prowadzący: dr hab. Janusz Brzychczyk

Michał Liszcz

22.04.2016

Contents

1	Wstęp	2
2	Wykonane zadania	2
2.1	Zmontowanie układu	2
2.2	Wyznaczanie napięć stałych	3
2.3	Wzmocnienie i zakres liniowości wzmacniacza	3
2.4	Pasmo przenoszenia	4
2.5	Oporność wejściowa i wyjściowa	5
2.5.1	Oporność wejściowa	6
2.5.2	Oporność wyjściowa	7
2.6	Odlączenie C_E i R_{E1}	8

1 Wstęp

Ćwiczenie polegało na zbadaniu własności układu wzmacniacza tranzystorowego, opartego o tranzystor bipolarny w układzie o wspólnym emiterze. Badany układ przedstawiony jest na rys. 1.

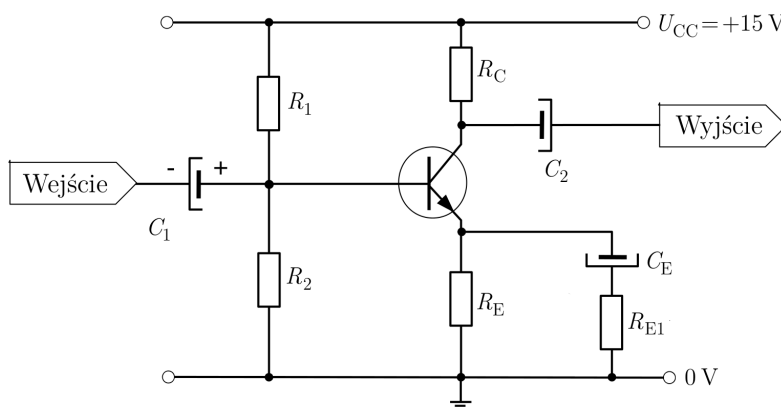


Figure 1: Wzmacniacz tranzystorowy. Źródło: instrukcja laboratoryjna.

We wzmacniaczu w układzie wspólnego emitera, emiter przyłączony jest do masy, napięcie wejściowe podawane jest na obwód baza-emiter, natomiast wyjściowe otrzymywane jest w obwodzie kolektor-emiter.

Sygnał wyjściowy to k -krotnie wzmocniony sygnał wejściowy, gdzie k to współczynnik wzmocnienia napięciowego (dla składowych zmiennych):

$$U_{wy} = k \cdot U_{we} \quad (1)$$

Powyższa zależność jest prawdziwa w ograniczonym zakresie napięć wejściowych - jest to tak zwany zakres liniowości, wyznaczony w dalszej części ćwiczenia.

Sygnał wyjściowy jest przesunięty w fazie o 180° - stąd $k < 0$.

Układ ma charakterystykę filtra środkowoprzepustowego, częstotliwości graniczne wyznaczone są w dalszej części.

2 Wykonane zadania

W ramach laboratorium wykonałem 5 ćwiczeń opisanych w instrukcji.

2.1 Zmontowanie układu

Zbudowałem układ opisany w poprzednim rozdziale.

Do budowy układu wykorzystałem następujące elementy:

- $R_1 = 9.99 \text{ k}\Omega$,
- $R_2 = 2.994 \text{ k}\Omega$,
- $R_E = 2.985 \text{ k}\Omega$,
- $R_{E1} = 102.2 \Omega$,
- $R_C = 5.590 \text{ k}\Omega$,
- $C_1 = C_2 = C_E = 47 \mu\text{F}$.

Układ był zasilany napięciem $U_{CC} = 15 \text{ V}$.

2.2 Wyznaczanie napięć stałych

Przy użyciu multimetra mierzyłem napięcia stałe. Otrzymałem następujące wartości (mierząc względem masy):

- $U_B = 3.473 \text{ V}$,
- $U_E = 2.884 \text{ V}$,
- $U_C = 9.69 \text{ V}$.

Dodatkowo zmierzyłem:

- $U_{BE} = 0.628 \text{ V}$,
- $U_{CE} = 6.86 \text{ V}$.

Zgodnie z teorią napięcie U_B będzie zadane przez dzielnik napięcia R_1 , R_2 oraz napięcie U_{CC} :

$$U_B \approx \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{CC} \approx 3.459 \text{ V} \quad (2)$$

Otrzymana wartość teoretyczna jest zgodna z wartością zmierzoną. Ponieważ tranzystor zbudowany jest ze złącz krzemowych, U_{BE} powinno wynosić około 0.65 V . Pomiar potwierdza tę wartość. Napięcie U_E powinno być:

$$U_E \approx U_B - U_{BE} = 2.809 \text{ V} \quad (3)$$

Wynik znów jest bardzo zbliżony do zmierzonej wartości. W celu obliczenia napięcia kolektora należy założyć że prąd kolektora jest w przybliżeniu równy prądowi emitera (prąd bazy pomijalnie mały). Napięcie na kolektorze to napięcie zasilające pomniejszone o spadek napięcia na oporniku R_C :

$$\begin{aligned} I_C \approx I_E &= \frac{U_E}{R_E} \approx 0.941 \text{ mA} \\ U_C &= U_{CC} - R_C I_C \approx 9.740 \text{ V} \end{aligned} \quad (4)$$

Wynik znów jest zgodny ze zmierzoną wartością.

2.3 Wzmocnienie i zakres liniowości wzmacniacza

Dla częstotliwości $f = 1 \text{ kHz}$ należało zmierzyć wzmocnienie oraz wyznaczyć zakres liniowości wzmacniacza.

Teoretyczne wzmocnienie napięciowe powinno wynosić:

$$k = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \approx -\frac{R_C}{r_e + R_{E1}} \quad (5)$$

Oznaczenia jak na rysunku układu. r_e to rezystancja dynamiczna złącza emiterowego i należy tutaj przyjąć $r_e \approx 26 \text{ mV}/I_E$:

$$k \approx -\frac{R_C}{26 \text{ mV} \cdot R_E / U_E + R_{E1}} \approx -43.296 \quad (6)$$

Wzmocnienie jest ujemne, ponieważ sygnał wyjściowy jest przesunięty w fazie o 180° .

W celu eksperymentalnego pomiaru wzmocnienia, dla napięć wejściowych z zakresu $50 - 300 \text{ mVpp}$ mierzyłem napięcie wyjściowe. Do danych pomiarowych dopasowałem funkcję (z pominięciem znaku -):

$$U_{wy}(U_{we}) = k U_{we} \quad (7)$$

Dopasowywałem kolejne punkty powyżej $U_{we} = 200 \text{ mVpp}$ dopóki błąd dopasowania nie osiągnął globalnego minimum. Otrzymałem wartość współczynnika k :

$$k = 41.50(19) \quad (8)$$

Otrzymany wynik jest zgodny z wartością wyliczoną teoretycznie. W ten sposób ustaliłem też zakres liniowości wzmacniacza - ostatnia akceptowalna wartość U_{wy} była dla:

$$U_{we}^{\max} = 220.0 \text{ mVpp} \quad (9)$$

Dopasowana prosta przedstawiona jest na rys. 2.

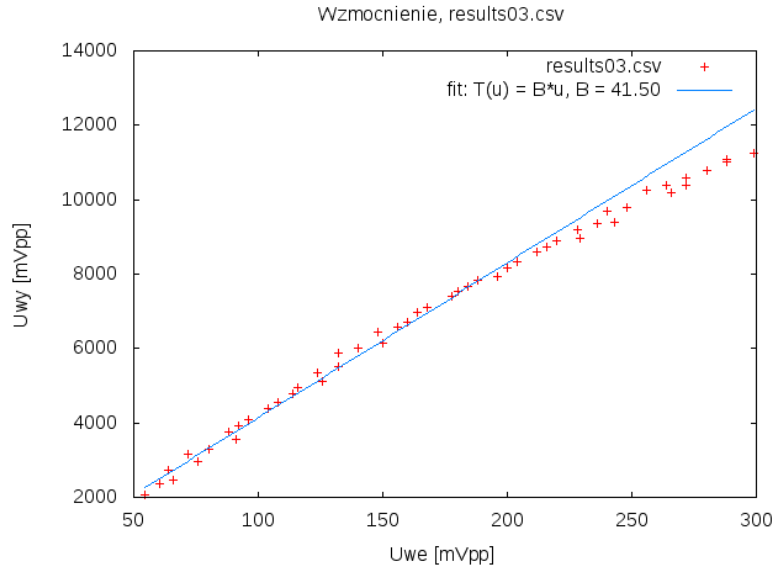


Figure 2: Pomiar wzmocnienia napięciowego.

2.4 Pasmo przenoszenia

Należało zbadać pasmo przenoszenia wzmacniacza. W tym celu wyznaczyłem charakterystyki amplitudową i fazową, przy napięciu wejściowym wynoszącym $U_{we} = 80.0 \text{ mVpp}$.

Częstotliwość graniczna to częstotliwość, gdzie wzmocnienie układu spada o -3 dB w stosunku do wartości maksymalnej (równoważne spadkowi o połowę). Wiąże się to ze spadkiem amplitudy do 0.707 wartości maksymalnej ($-3 \text{ [dB]} \approx 20 \log(0.707)$).

Wyniki pomiarów przedstawiłem na rys. 3 oraz 4. Przyjmując że średnie maksymalne wzmocnienie wynosi około 41.50 , wzmocnienie graniczne to około 29.00 . Odczytałem następujące wartości częstotliwości graniczne:

- $f_d \approx 30 \text{ Hz}$,
- $f_g \approx 185000 \text{ Hz}$.

Teoretyczna zależność dolnej częstotliwości granicznej od parametrów układu to:

$$\begin{aligned} f_d &= 1/(2\pi R_t C_E) \\ R_t &= r_e + R_{E1} \end{aligned} \quad (10)$$

Podstawiając, otrzymałem wartość zgodną z wartością wyznaczoną pomiarami:

$$f_d \approx 26.23 \text{ Hz} \quad (11)$$

Otrzymana wartość jest zgodna z wartością odczytaną z wykresu. Górnej częstotliwości granicznej nie można w prosty sposób wyliczyć teoretycznie.

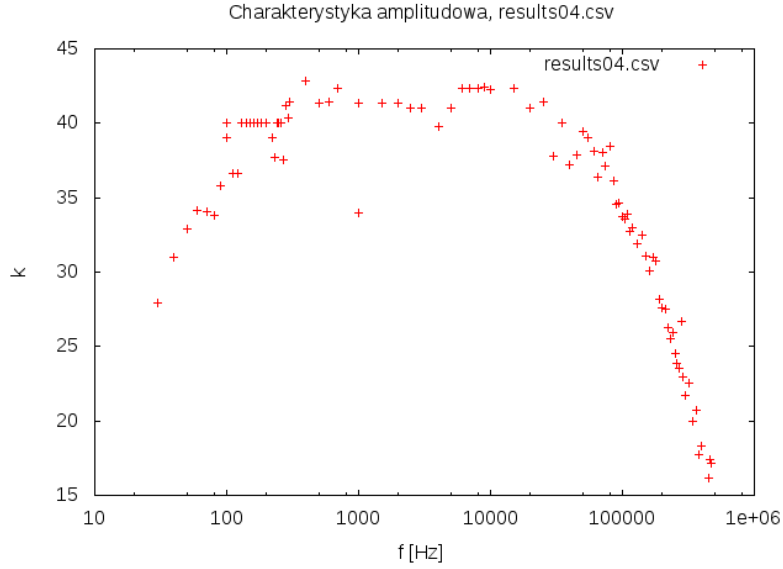


Figure 3: Pomiar wzmocnienia w funkcji częstotliwości.

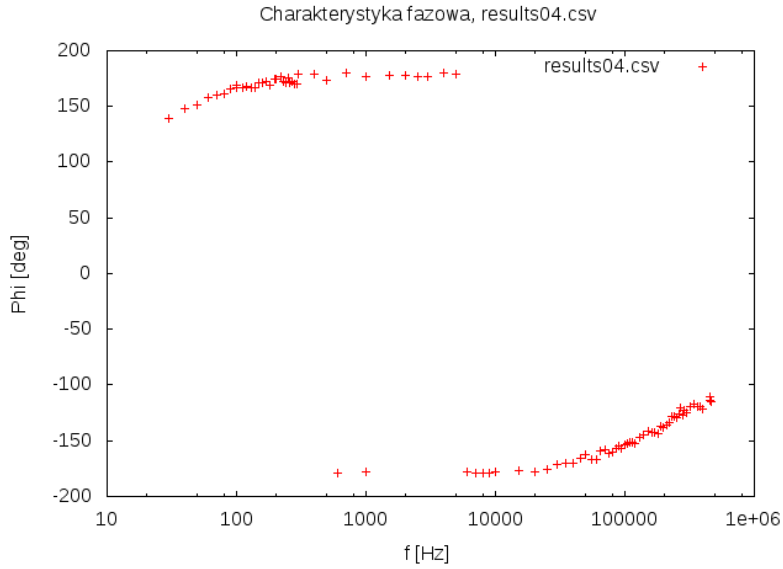


Figure 4: Pomiar przesunięcia fazowego w funkcji częstotliwości.

2.5 Oporność wejściowa i wyjściowa

Zadanie polegało na pomiarze oporności wejściowej i wyjściowej.

2.5.1 Oporność wejściowa

Oporność wejściową należy mierzyć dołączając na wejście znany opór R , tak jak to przedstawia rys. 5.

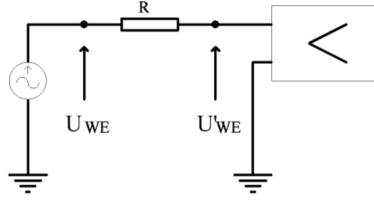


Figure 5: Pomiar oporu wejściowego. Źródło: instrukcja laboratoryjna.

Opór R wraz z oporem wejściowym R_{we} utworzy dzielnik napięcia:

$$U'_{we} = \frac{R_{we}}{R + R_{we}} U_{we} \quad (12)$$

Dokonałem kilkukrotnego pomiaru napięć i do zmierzonych wartości dopasowałem funkcję przedstawioną powyżej. Otrzymałem opór wejściowy:

$$R_{we} = 2109(60) \, \Omega \quad (13)$$

Dopasowaną prostą przedstawia rys. 6.

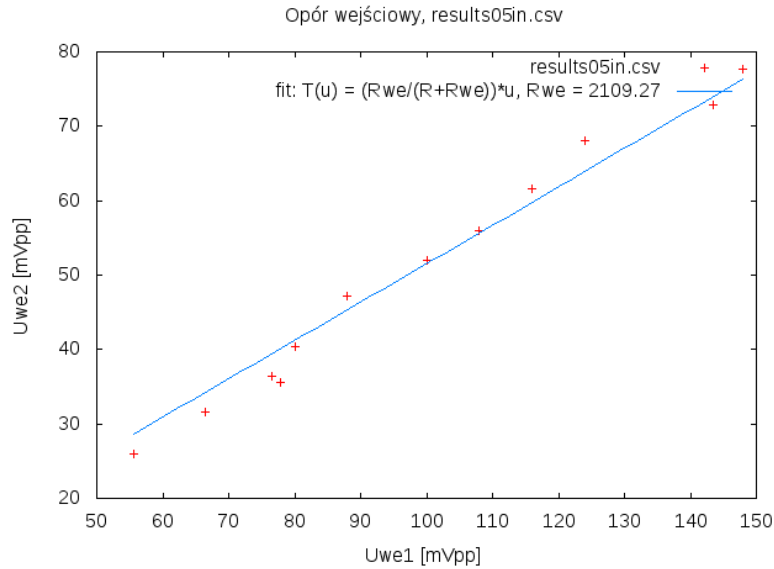


Figure 6: Pomiar rezystancji wejściowej.

Rezystancję wejściową można obliczyć korzystając z teoretycznych zależności:

$$R_{we} = \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{\beta(r_e + R_{E1})} \right)^{-1} \quad (14)$$

$$R_B = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1}$$

Przyjąłem $\beta = 160$, otrzymując teoretyczny opór wejściowy:

$$R_{we} \approx 2019 \Omega \quad (15)$$

Po uwzględnieniu niepewności pomiarowych wynik ten jest bardzo zbliżony do wartości wyznaczonej doświadczalnie.

2.5.2 Oporność wyjściowa

Analogicznie obliczyłem oporność wyjściową. Układ pomiarowy przedstawia rys. 7.

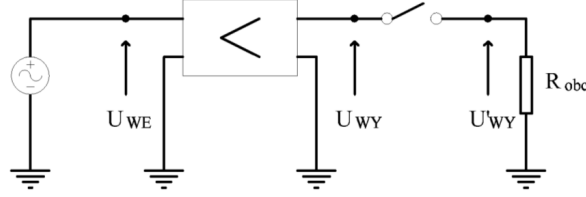


Figure 7: Pomiar oporu wyjściowego. Źródło: instrukcja laboratoryjna.

Podając na wejście U_{we} mierzyłem U_{wy} nieobciążonego wzmacniacza. $U_{wy} = kU_{we}$. Następnie dołączałem obciążenie o znanym oporze R_{obc} i mierzyłem spadek napięcia na tym oporze:

$$U'_{wy} = \frac{R_{obc}}{R_{obc} + R_{wy}} kU_{we} = \frac{R_{obc}}{R_{obc} + R_{wy}} U_{wy} \quad (16)$$

Do wyników pomiarów dopasowałem prostą przedstawioną zależnością powyżej. Otrzymałem parametr:

$$R_{wy} \approx 5941(50) \Omega \quad (17)$$

Oczekiwana oporność wyjściowa powinna być zbliżona do $R_C = 5590 \Omega$. Udało mi się potwierdzić ten wynik. Dopasowana prosta przedstawiona jest na rys. 8.

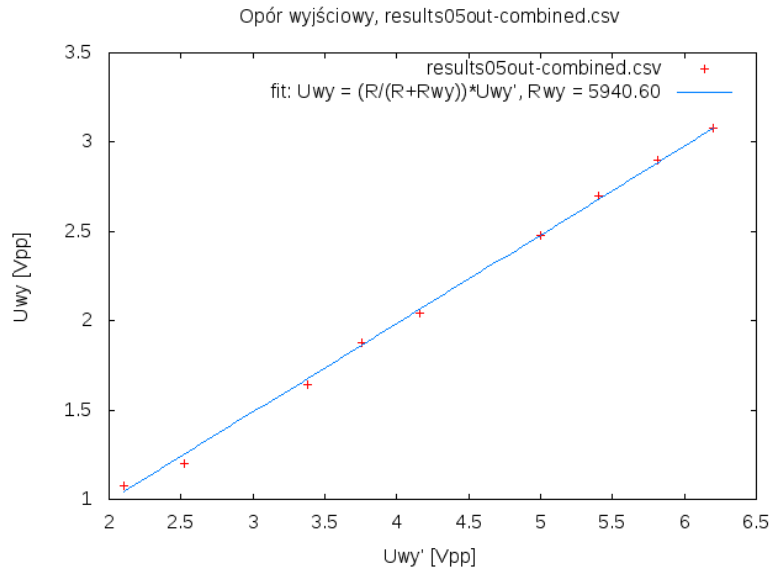


Figure 8: Pomiar rezystancji wyjściowej.

2.6 Odłączenie C_E i R_{E1}

Rolą pojemności C_E i małego oporu R_{E1} było zamknięcie obwodu tak, by składowa zmienna nie była przesyłana przez znacznie większy opór R_E . Po usunięciu tych elementów teoretyczne wzmocnienie to:

$$k = -\frac{R_C}{r_e + R_E} \approx -\frac{R_C}{R_E} \approx 1.873 \quad (18)$$

Ustawiłem częstotliwość na $f = 1$ kHz. Mierzyłem stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do wejściowego. Następnie mierzyłem stosunek sygnału na rezystorze emitera do sygnału wejściowego.

Stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do wejściowego przedstawia rys. 9. Do danych pomiarowych dopasowałem prostą. Otrzymałem współczynnik wzmocnienia:

$$k = 1.8178(72) \quad (19)$$

Wynik jest zgodny z wartością teoretyczną.

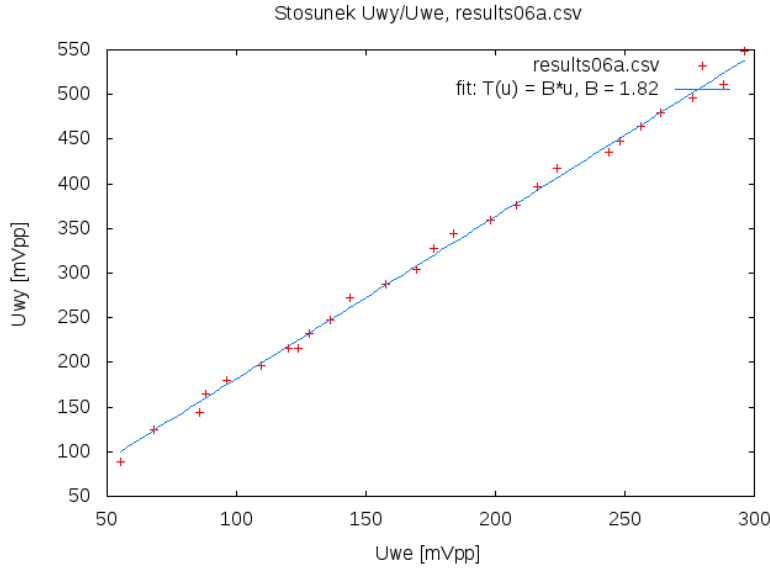


Figure 9: Stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do wejściowego.

Zmierzyłem też stosunek sygnału na rezystorze emiterowym. W takiej konfiguracji jest bardzo zbliżony do sygnału wejściowego, a przesunięcie fazowe nie występuje. Pomiar przedstawia rys. 10.

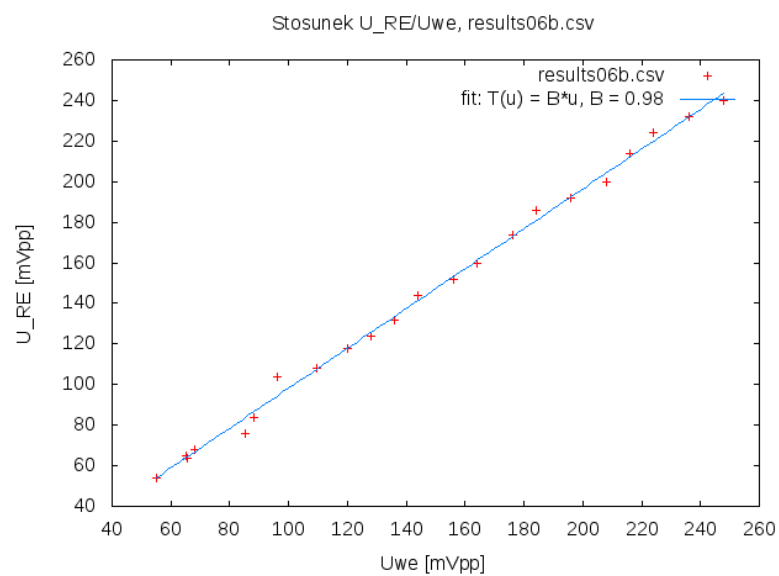


Figure 10: Stosunek spadku napięcia na rezystorze emiterowym do sygnału wejściowego.