

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	Pasma przenoszenia	4
2.5	Oporność wejściowa i wyjściowa	5
2.5.1	Oporność wejściowa	6
2.5.2	Oporność wyjściowa	7

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.

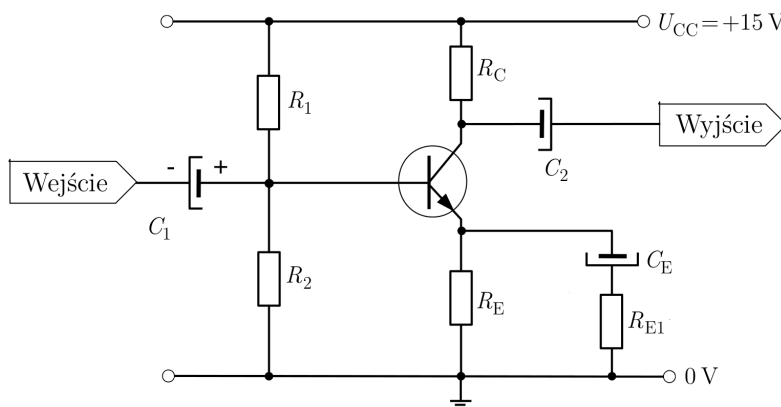


Figure 1: Wzmacniacz tranzystorowy. Źródło: instrukcja laboratoryjna.

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.

Sygnal wyjściowy to k -krotnie wzmacniony sygnal wejściowy, gdzie k to współczynnik wzmacnienia 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.

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.

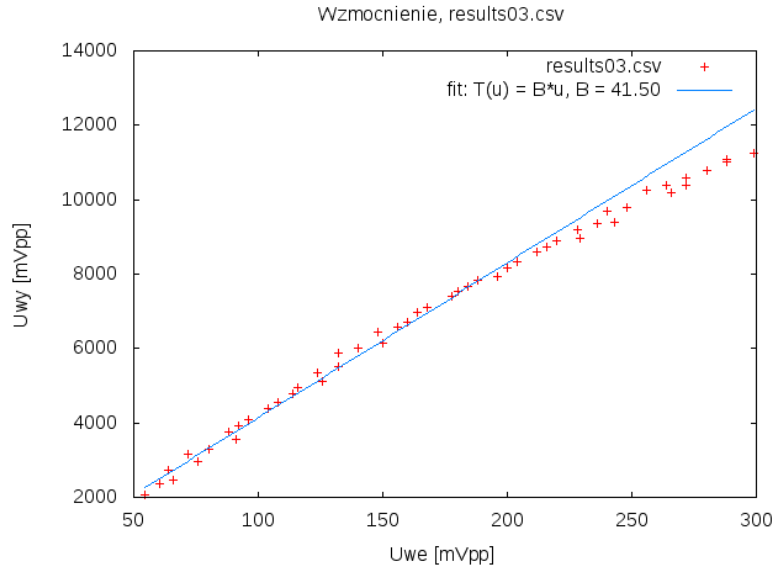


Figure 2: Pomiar wzmocnienia napięciowego.

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.

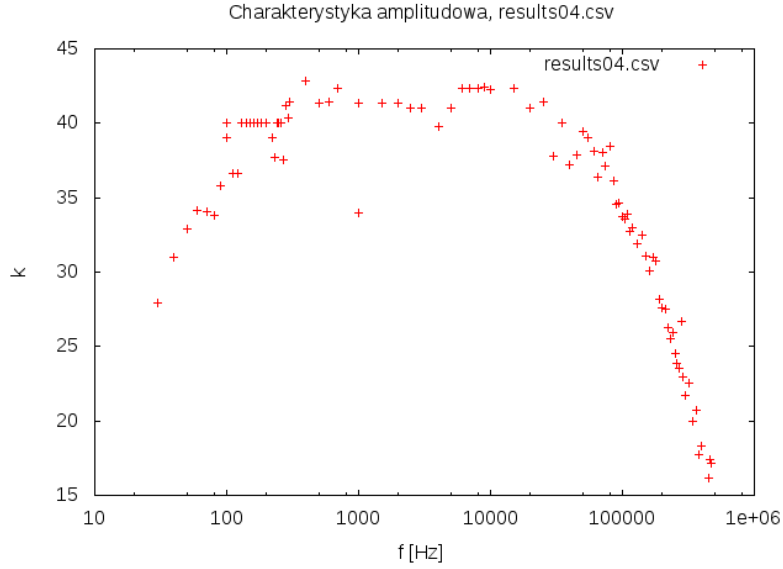


Figure 3: Pomiar wzmocnienia w funkcji częstotliwości.

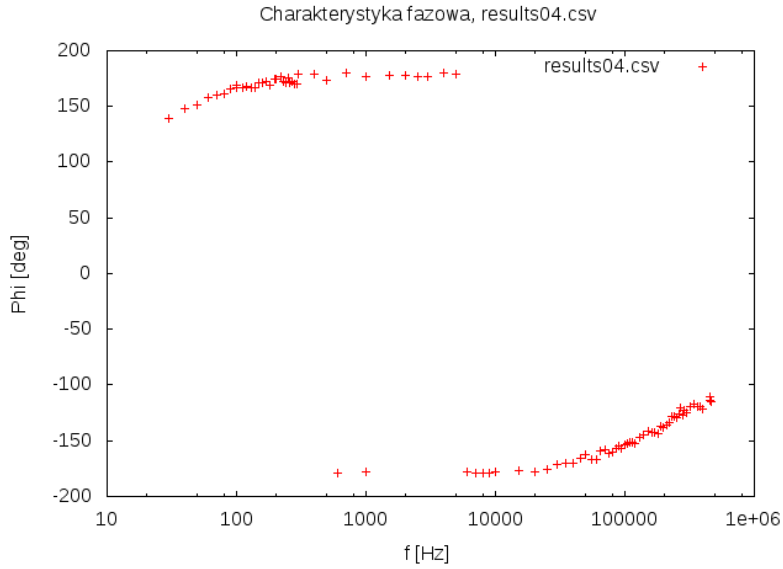


Figure 4: Pomiar przesunięcia fazowego w funkcji częstotliwości.

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.

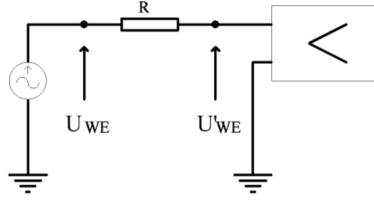


Figure 5: Pomiar oporu wejściowego. Źródło: instrukcja laboratoryjna.

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.

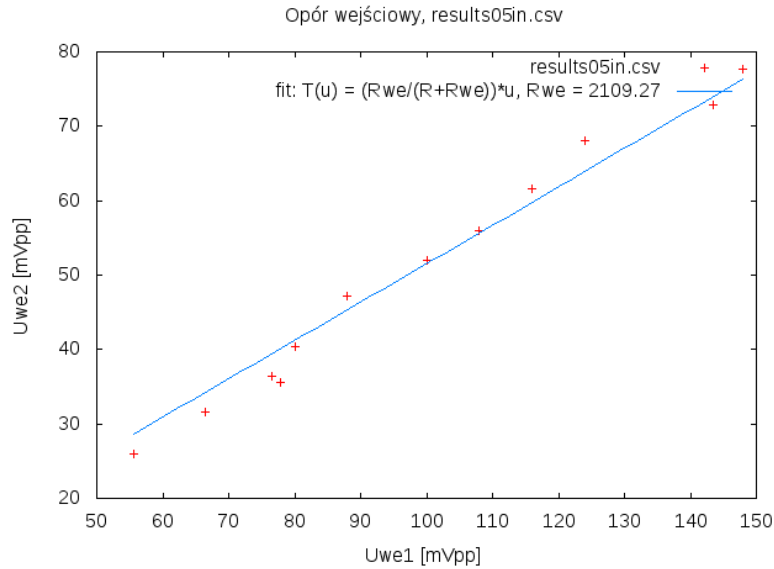


Figure 6: Pomiar rezystancji wejściowej.

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.

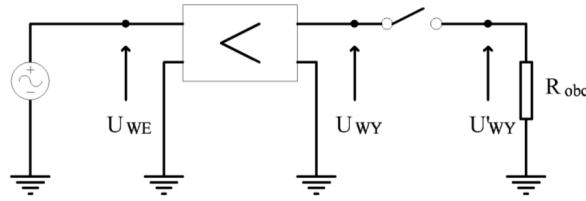


Figure 7: Pomiar oporu wyjściowego. Źródło: instrukcja laboratoryjna.

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.

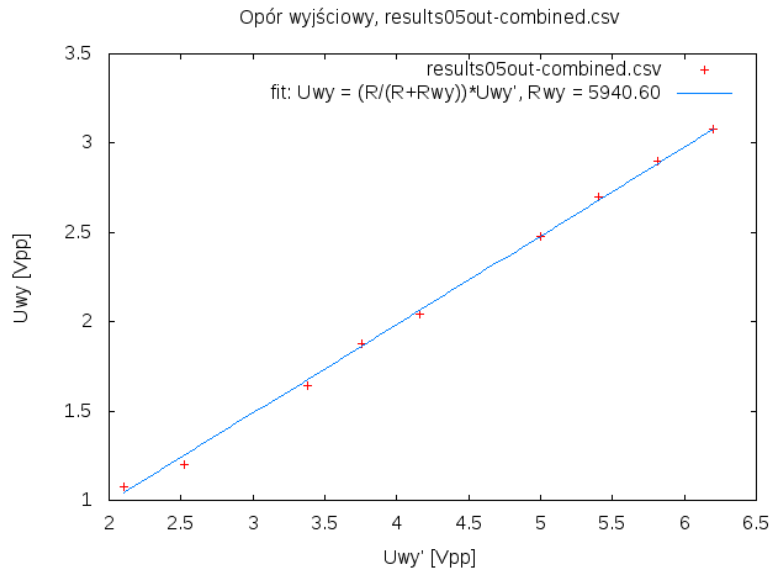


Figure 8: Pomiar rezystancji wyjściowej.