

Wzmacniacz tranzystorowy

Bartosz Kundera

5.06.2025

1 część pomiarów ćwiczenia była wykonana w dodatkowym terminie tj. 21. 05.2025

Streszczenie

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z zasadą działania tranzystora bipolarnego oraz zbadanie wzmacniacza o wspólnym emiterze. Przeprowadzono pomiary prądów bazy i kolektora, na podstawie których wyznaczono wzmocnienie prądowe tranzystora, uzyskując wartość $\beta = 153,81 \pm 0,51$. Dodatkowo określono optymalny punkt pracy tranzystora. Wyznaczoną teoretycznie wartość rezystancji w obwodzie polaryzacji bazy. W dalszej części wykonano pomiary charakterystyki amplitudowej oraz częstotliwościowej wzmacniacza. Z pomiarów wyznaczono wzmocnienie napięciowe wzmacniacza, które wyniosło $k = 56.63 \pm 0.86$. Z charakterystyki częstotliwościowej wyznaczono częstotliwości graniczne, które wynoszą odpowiednio: $\omega_{g_1} = 15547 \pm 178,65 \text{ rad/s}$, $\omega_{g_2} = 5677733 \pm 28125,71 \text{ rad/s}$.

1 WSTĘP TEORETYCZNY

Tranzystor bipolarny to trójelektrodowy element elektroniczny mający zdolność wzmacniania sygnału prądowego. Zbudowany jest z trzech warstw półprzewodnikowych: emitera(E) dostarczającego nośniki prądu (dziury i elektrony) do bazy, bazy(B) sterującej przepływem nośników między emiterem, a kolektorem, kolektora(C) zbierającego nośniki i odprowadzającego prąd.

Dla tranzystora, możliwe jest wyznaczenie wzmocnienia prądowego tranzystora, określającego stopień wzmocnienia prądu wejściowego podanego na bazę. Można je wyrazić następującym wzorem (1):

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (1)$$

Gdzie I_C jest prądem kolektora, a I_B wyraża prąd bazy.

Stosunek pomiędzy natężeniem prądu kolektora, a natężeniem prądu baz nazywamy efektem tranzystorowym i wychodzi on z przekształcenia wzoru (1). Zachodzi on, gdy spełnionych jest kilka warunków, a w szczególności gdy prąd płynący od strony emitera jest większy od trzech do pięciu rzędów wielkości od pozostałych.

Wzmacniacz tranzystorowy o wspólnym emiterze cechuje się tym, że prąd wejściowy równa

się prądowi bazy, a prąd wyjściowy równa się prądowi kolektora. Przy danym, dużym wzmocnieniu prądowym, napięcie wyjściowe można opisać następującym równaniem (2):

$$U_{WY} = E - I_{WY}R_L \quad (2)$$

Gdzie, E jest stałym napięciem na zasilaczu, I_{WY} jest natężeniem na kolektorze, R_L jest oporem obciążenia. Dla takiego układu tj. wzmacniacza tranzystorowego ze wspólnym emiterem, możliwe jest wyznaczenie wzmocnienia wzmacniacza. Można je wyrazić następującym wzorem (3):

$$k = \frac{U_{WY}}{U_{WE}} \quad (3)$$

Okazuje się, że dla niskich częstotliwości taki układ działa jak filtr górnoprzepustowy, który można wyrazić poniższym wzorem (4):

$$k = \left| \frac{U_{WY}}{U_{WE}} \right| = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = \frac{\frac{\omega}{\omega_{g1}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_{g1}} \right)^2}} \quad (4)$$

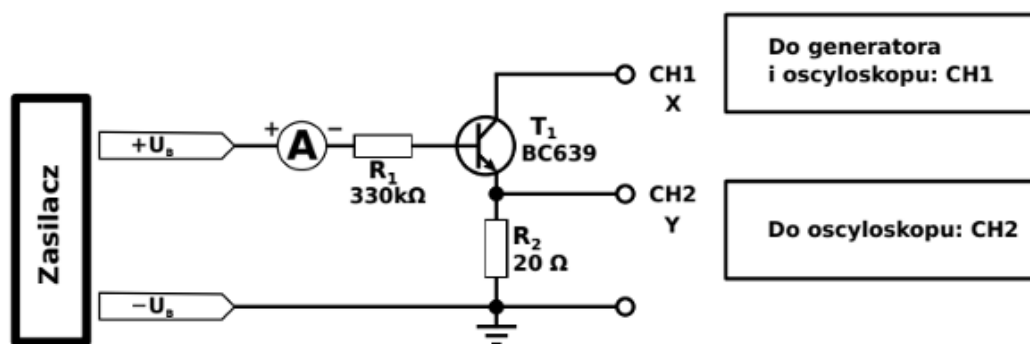
Natomiast, dla wysokich częstotliwości zachowują się jak filtr dolnoprzepustowy, który można wyrazić następującym wzorem (5)

$$k = \left| \frac{U_{WY}}{U_{WE}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_{g2}} \right)^2}} \quad (5)$$

2. UKŁAD DOŚWIADCZALNY I POMIARY

Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano następujące elementy: generator funkcyjny RIGOL DG1022, oscyloskop 4-kanalowy RIGOL MSO1000Z, miernik uniwersalny BRYMEN BM800, lutownica elektroniczna, kable łączeniowe, chwytaki pomiarowe, trójnik rozgałęziający, oporniki, opornik regulowany, tranzystor, kondensatory, zasilacz laboratoryjny RIGOL DP800. Pierwsza część doświadczenia polegała na zbudowaniu układu elektrycznego, w celu zbadania tranzystora bipolarnego oraz wyznaczenie wzmocnienia tranzystora β i wyznaczenie jego punktu pracy. Aby przeprowadzić doświadczenie należało zbudować układ

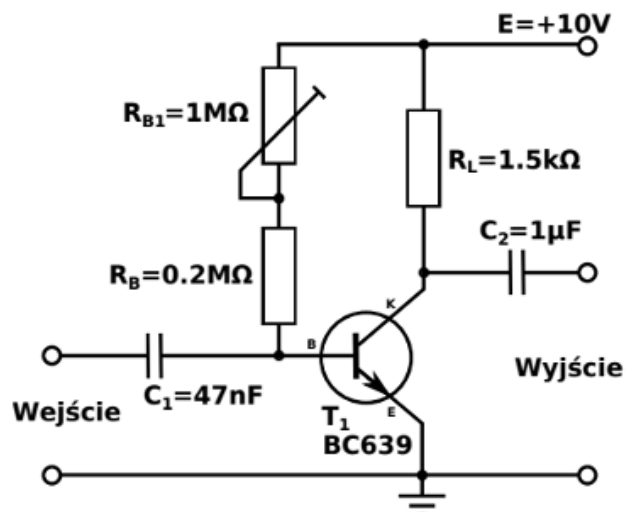
bazując na poniższym schemacie (Rysunek 1):



Rysunek 1. Schemat układu służącego do badania charakterystyki tranzystora bipolarnego

Zbudowano układ i podłączono do odpowiednich urządzeń. Generator ustawiono na przebieg trójkątny oraz zadano częstotliwość 100 Hz i amplitudzie od 0 do 10 V. Pomiarów wykonywano, zmieniając napięcie zasilacza, a na ekranie obserwowano charakterystyki tranzystora (zależność prądu kolektor – emiter od napięcia kolektor-emiter) dla różnych wartości prądu bazy. Odczytywano również wartość prądu bazy z mikroamperomierza I_B .

Następna część doświadczenia polegała na zbadaniu właściwości wzmacniacza tranzystorowego. Następnie zbudowano układ na podstawie schematu z poniższego rysunku (Rysunek 2):



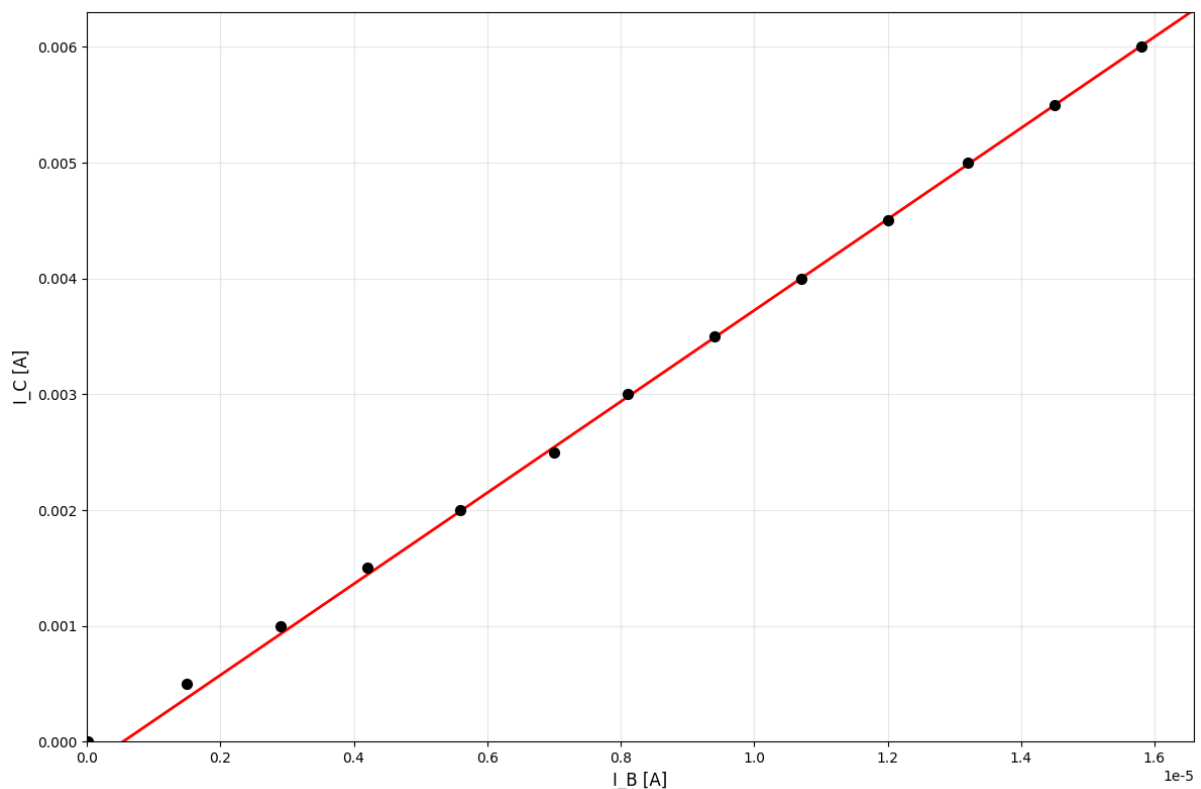
Rysunek 2. Schemat wzmacniacza tranzystorowego o wspólnym emiterze

Po odpowiednim podłączeniu układu i zadania stałego napięcia $E = 10\text{ V}$, ale przed podaniem sygnału wejściowego, wyznaczono optymalny punkt pracy wzmacniacza. Zmierzono wartość oporu w układzie polaryzacji bazy, czyli sumaryczną wartością (Patrz raport). Następnie na wejście układu podano sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1kHz i $V_{pp} = 50\text{ mV}$. Następnie, za pomocą oscylatora, porównywano sygnał wejściowy z wyjściowym oraz obserwowano wpływ zmian punktu pracy tranzystora na kształt przebiegu wyjściowego. Następnie wrócono do

optymalnego punktu pracy i przeprowadzono pomiary charakterystyki amplitudowej, zmieniając amplitudę sygnału przy stałej, zadanej częstotliwości. Następnie przeprowadzono pomiary charakterystyki częstotliwościowej w zakresie od 10 Hz do 1 MHz przy napięciu wejścia $V_{WE} \approx 40$ mV.

3. ANALIZA DANYCH

Na samym początku doświadczenia przeprowadzono charakterystykę tranzystora bipolarnego. Aby wyznaczyć wzmocnienie prądowe (beta) należy skorzystać z równania (1). Na poniższym wykresie (Wykres 1) przedstawiono zależność natężenia na kolektorze od natężenia na bazie tranzystora i dopasowano do niej funkcję liniową.



Wykres 1. Wykres natężenia na kolektorze od natężenia na bazie z dopasowaną funkcją

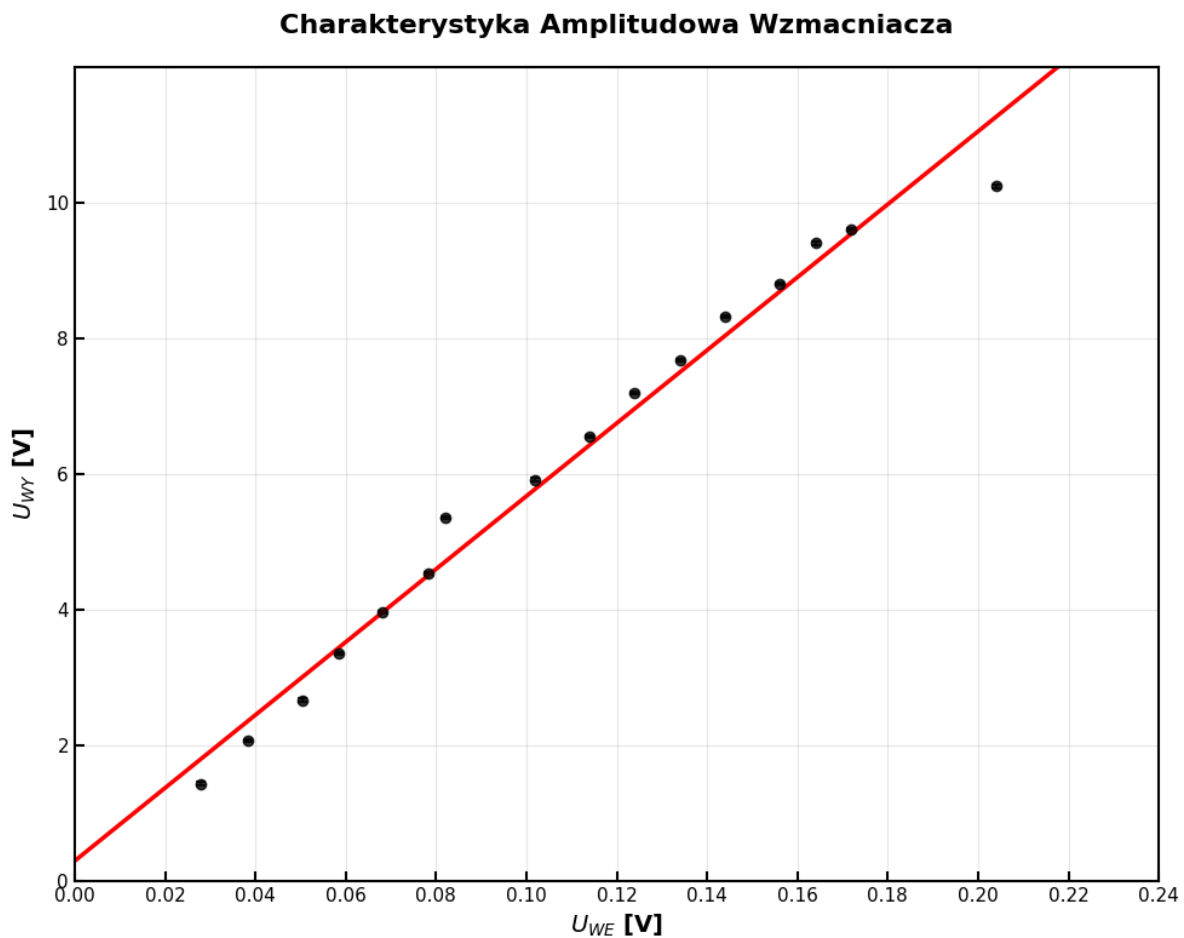
W celu zweryfikowania, czy dopasowany model został prawidłowo dobrany, przeprowadzono test χ^2 . Zredukowane $\chi^2 \approx 0.23$, zatem można stwierdzić, że model został prawidłowo dopasowany. Następnie obliczono wartość wzmocnienia wzmacniacza tranzystorowego, która wynosi $\beta = 153,81 \pm 0,51$

Następnie, aby znaleźć optymalny punkt pracy tranzystora w obwodzie wzmacniacza o wspólnym emiterze, którego napięcie zasilania $E = 10$ V, wartość oporu obciążenia $R = 1,5k$, a napięcie kolektora jest równe $U_{CE} = 5V$., należy wyznaczyć ze wzoru (2) natężenie kolektora I_C . Potem po wyznaczeniu natężenia na bazie I_B należy skorzystać z poniższego wzoru (6):

$$I_B = \frac{E - 0,65 V}{(R_B + R_{B1})} \quad (6)$$

Gdzie 0.65 V jest spadkiem napięcia na złączu baza – emiter. Wyznaczone wartości wynoszą odpowiednio: $I_C = 0,0041$, $I_B = 21,012 \pm 0,046$, $(R_B + R_{B1}) = 0,4235 \pm 0,0017 \text{ M}\Omega$.

Następnie przeprowadzono analizę drugiej części ćwiczenia polegającą na zbadaniu własności wzmacniacza tranzystorowego. Pierwszą przeprowadzoną analizą było wykonanie charakterystyki amplitudowej, oraz na podstawie wyników wyznaczenie wzmocnienia wzmacniacza bazując na (3) wzorze. Najlepiej dopasowaną funkcję do zebranych pomiarów przedstawiono na poniższym wykresie (Wykres 2):

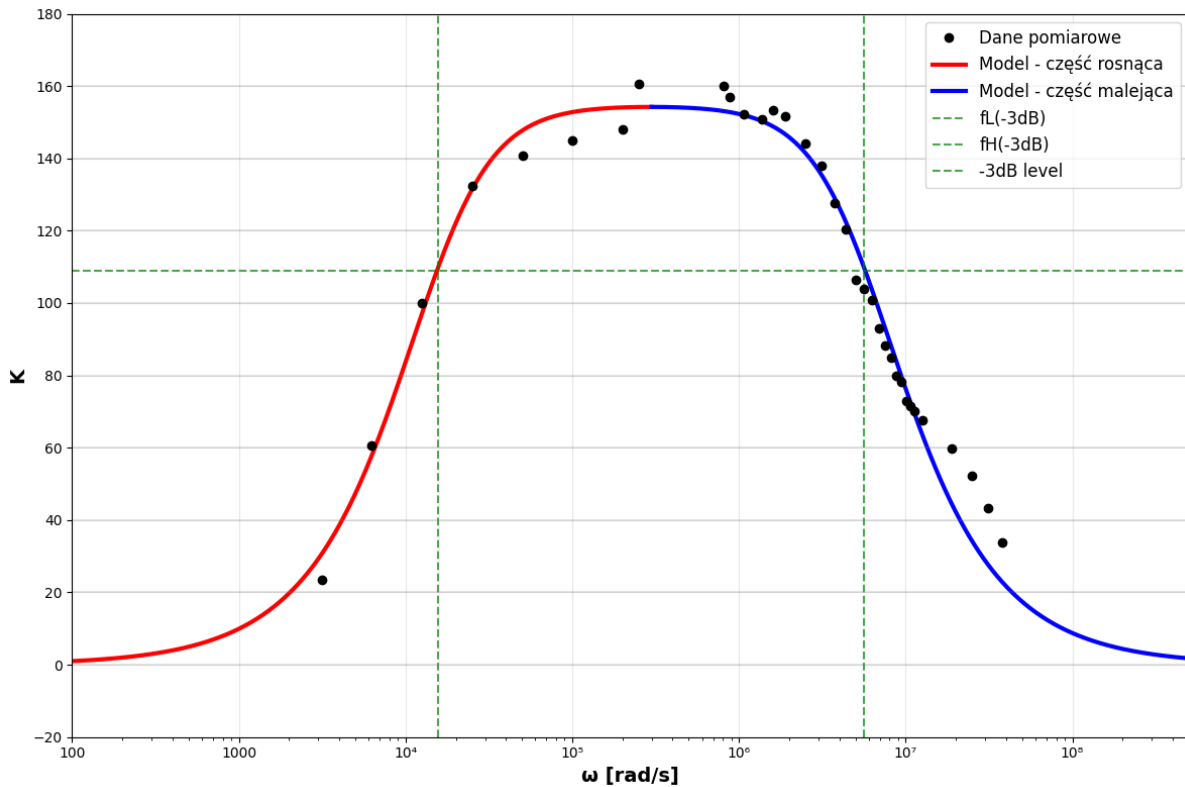


Wykres 2: Wykres przedstawiający charakterystykę amplitudową wzmacniacza tranzystorowego

W celu zweryfikowania, czy dopasowany model został prawidłowo dobrany, przeprowadzono test χ^2 . Zredukowane $\chi^2 \approx 0.15$, zatem można stwierdzić, że model został prawidłowo dopasowany. Następnie obliczono wartość wzmocnienia wzmacniacza tranzystorowego, która wynosi $k = 56.63 \pm 0.86$.

Następnie przeprowadzono charakterystykę częstotliwościową w celu wyznaczenia częstotliwości granicznych. Aby odpowiednio przeprowadzić tą część analizy, wykorzystano wzór (4) dla niskich częstotliwości oraz wzór (5) dla wysokich częstotliwości, a następnie przeprowadzono analizę. Najlepiej dopasowana funkcja dla zebranych pomiarów została przedstawiona poniżej (Wykres 3):

W celu zweryfikowania, czy dopasowany model został prawidłowo dobrany, przeprowadzono test χ^2 . Zredukowane $\chi^2 \approx 0.51$, zatem można stwierdzić, że model został prawidłowo dopasowany. Następnie obliczono wartości częstotliwości granicznych, które wynoszą odpowiednio: $\omega_{g_1} = 15547 \pm 178,65 \text{ rad/s}$, $\omega_{g_2} = 5677733 \pm 28125,71 \text{ rad/s}$, a pasmo przenoszenia takiego wzmacniacza wynosi $\Delta\omega = 5662186 \pm 27825,51 \text{ rad/s}$.



Wykres 3: Wykres przedstawiający charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza tranzystorowego

4. PODSUMOWANIE

W pierwszej części analizy danych wyznaczono wzmocnienie prądowe tranzystora, uzyskując wartość $\beta = 153,81 \pm 0,51$, a także określono optymalny punkt pracy. Wartość oporu w układzie polaryzacji bazy wyniosła $(R_B + R_{B1}) = 0,4235 \pm 0,0017 \text{ M}\Omega$. Na podstawie dopasowania funkcji liniowej do wykresu zależności napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego, wyznaczono wzmocnienie napięciowe wzmacniacza: $k = 56.63 \pm 0.86$. W dalszej części analizy, na podstawie charakterystyki częstotliwościowej, dopasowano dwie funkcje opisujące zachowanie filtrów: górnoprzepustowego i dolnoprzepustowego. Wyznaczone wartości częstotliwości granicznych wyniosły: $\omega_{g_1} = 15547 \pm 178,65 \text{ rad/s}$, $\omega_{g_2} = 5677733 \pm 28125,71 \text{ rad/s}$, a pasmo przenoszenia takiego wzmacniacza wynosi $\Delta\omega = 5662186 \pm 27825,51 \text{ rad/s}$.