



Elektronika przyrządów półprzewodnikowych

Laboratorium nr 3

Pomiar częstotliwości granicznej tranzystora bipolarnego

Zagadnienia obowiązujące na kartkówce

- Symbol, zasada polaryzacji, układy pracy, model małosygnałowy, charakterystyki statyczne tranzystora bipolarnego.
- Definicje częstotliwości granicznych tranzystora bipolarnego (wraz z przedstawieniem na wykresie).
- Parametry ograniczające maksymalną częstotliwość pracy tranzystora bipolarnego.
- Konstrukcja tranzystora bipolarnego wielkiej częstotliwości.
- Wyjaśnienie wpływu punktu pracy na częstotliwości graniczne tranzystora bipolarnego.
- Linie stałych częstotliwości granicznych – definicja oraz wykres.
- Zadania obliczeniowe związane z programem ćwiczenia.

Literatura

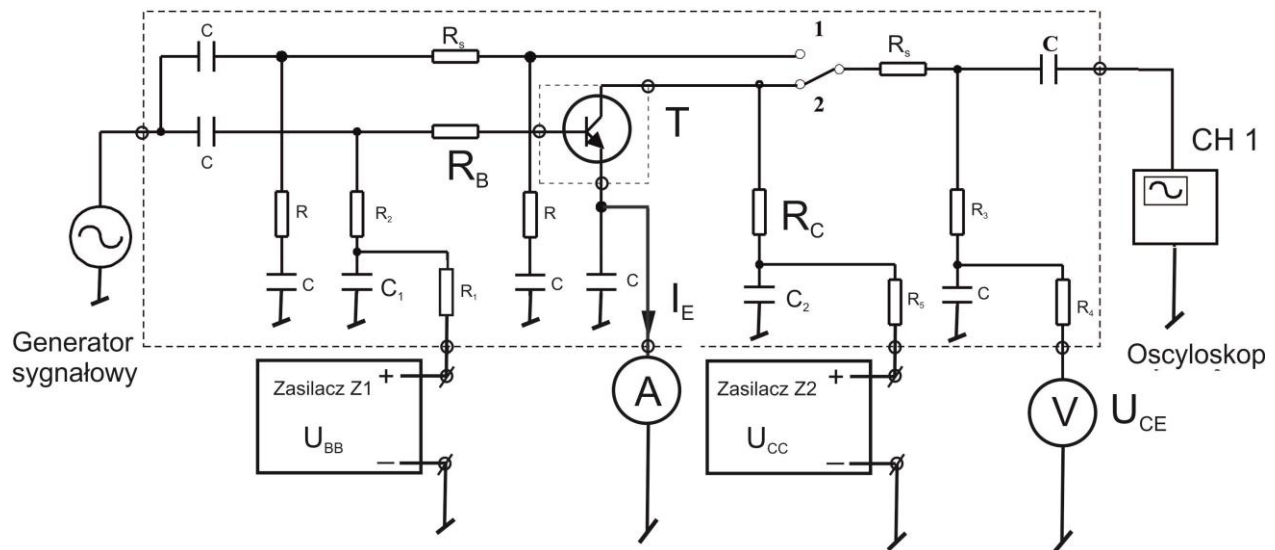
- T. Ohly, Z. Radzimski, *Elementy elektroniczne cz. II*, Wydawnictwo PWr, Wrocław 1980, podrozdział 4.4. Częstotliwości graniczne tranzystora, podrozdział 4.5. Linie stałej częstotliwości granicznej f_T , podrozdział 4.6. Pomiary częstotliwości granicznych,
- W. Marciniak, *Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone*, WNT, Warszawa 1987, podrozdział 5.10. Częstotliwości graniczne tranzystora bipolarnego,
- B. Wilamowski, *Mikroelektronika: Specjalne przyrządy półprzewodnikowe*, podrozdział 3.1. Tranzystory bipolarne, podrozdział 3.1.1. Tranzystory wielkiej częstotliwości.

1. Wstęp.

Ćwiczenie dotyczy pracy tranzystora bipolarnego w zakresie wysokich częstotliwości sygnału. Celem ćwiczenia jest wyznaczenie odpowiedzi częstotliwościowej tranzystora, w szczególności wyznaczenie częstotliwości granicznej f_T oraz zależności tego parametru od punktu pracy tranzystora pracującego w układzie wzmacniacza WE. W tym celu wykorzystany jest układ wzmacniacza („czarna skrzynka”, *ang. black box*, Rys.1), do której wpinamy badany tranzystor.

2. Układ pomiarowy

Na rys.1 pokazano ogólny schemat układu pomiarowego wykorzystanego do pomiaru parametru h_{21e} tranzystora.



Rys.1. Schemat układu do pomiaru h_{21e} w ustalonym punkcie pracy

Elementy otoczone linią przerywaną z wyjątkiem tranzystora (T) są zamknięte w obudowie („czarna skrzynka”) i tworzą układ wzmacniacza WE. Dla zrozumienia działania układu należy odróżnić drogę sygnału zmiennego dostarczanego z generatora i obserwowanego na oscyloskopie, od obwodów polaryzacji stałoprądowej (prądy i napięcia zapewniające punkt pracy tranzystora), w których znajdują się dołączane zasilacze i mierniki. Należy tu przyjąć, że rezystory oznaczone R stanowią dla sygnału zmiennego tak dużą rezystancję, iż można w pierwszym przybliżeniu założyć, że stanowią przerwę w obwodzie. Rezystory R_s , o małej wartości, można dla sygnału zmiennego uważać za zwarcie. Natomiast kondensatory C mają taką pojemność, że dla sygnału zmiennego są praktycznie zwarte.

Tranzystor dla ułatwienia regulacji punktu pracy zasilany jest z dwóch zasilaczy. Zasilacz Z1 zasilą obwód bazy i przez zmianę prądu bazy I_B wpływa na zmianę prądu kolektora I_C na wyjściu.

Kondensator C_1 stanowi układ ograniczający poziom sygnału zmiennego wychodzącego (efekt niepożądany) z wejścia do zasilacza. Zasilacz Z_2 zasila obwód kolektora, a kondensator C_2 pełni podobną rolę jak kondensator C_1 obwodu wejściowego. Rezystor R_c , uziemiony przez kondensator C_2 , jest obciążeniem dla sygnału zmiennego w obwodzie kolektora.

Punkt pracy tranzystora można zmieniać regulując napięcia zasilaczy Z_1, Z_2 . Dla określenia punktu pracy mierzy się prąd emitera I_E (który ma wartość bliską wartości I_C) oraz napięcie wyjściowe U_{CE} za pomocą dwóch multimetrów (zakres dc).

Do pomiaru składowej zmiennej (sygnał wzmacniany) zastosowano oscyloskop. Wystarczający jest pomiar za pomocą jednego kanału, który podłączamy do wejścia wzmacniacza (pozycja 1 przełącznika) lub wyjścia wzmacniacza (pozycja 2 przełącznika). Należy zauważyć, że tylko w tej pozycji możliwy jest pomiar napięcia stałego U_{CE} .

Obliczanie wartości współczynnika $|h_{21e}|$

Zwarciovyy współczynnik wzmocnienia prądowego zdefiniowany jest następująco:

$$|h_{21e}| = \frac{i_c}{i_b} \quad \text{dla } u_{ce} = 0 \quad (U_{CE} = \text{const})$$

Składowa zmienna prądu kolektora określana jest przez pomiar spadku napięcia zmiennego U_2 na rezystorze R_c (pozycja 2 przełącznika)

$$i_c = \frac{U_2}{R_c}$$

Składowa zmienna prądu bazy określana jest pośrednio przez pomiar napięcia zmiennego U_1 na wejściu układu (pozycja 1 przełącznika) Jeżeli założyć, że $R_B \gg z_{we}$, gdzie z_{we} – impedancja wejściowa badanego tranzystora, to:

$$i_b \approx \frac{U_1}{R_B}$$

tak więc

$$|h_{21e}| = \frac{i_c}{i_b} \sim \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{R_B}{R_c}$$

w tym układzie wzmacniacza:

$$\frac{R_B}{R_c} = 30, \quad \text{tak więc} \quad |h_{21e}| = \frac{U_2}{U_1} \cdot 30$$

Program ćwiczenia

1. Odczytać w katalogu dla badanego tranzystora parametry graniczne oraz parametr f_T wraz z danymi punktu pracy, w którym był wyznaczony.
2. Zmontować układ pomiarowy wg schematu na Rys.1, przy czym zasilacz Z1 powinien dysponować napięciem min. 30V, natomiast zasilacz Z2 min 20V. Podane biegunowości napięć zasilających dotyczą tranzystora n-p-n. Dla tranzystora p-n-p zmienić polaryzację napięcia zasilającego.
3. Ustawić ograniczenia prądowe: na zasilaczu Z1 - 10 mA, na zasilaczu Z2 – 20 mA. Po ustawieniu przełącznika na obudowie wzmacniacza w pozycji 2, ustalić punkt pracy tranzystora zgodnie z poleceniem Prowadzącego (np. $I_{C,} = 5 \text{ mA}$, $U_{CE} = 5 \text{ V}$). *Po przełączeniu przełącznika w pozycję 1, miernik napięcia U_{CE} nie pokazuje napięcia kolektora (dlaczego?), ale układ zachowuje ustawiony punkt pracy.*
4. Włączyć generator sygnałowy i oscyloskop. Ustawić najniższą częstotliwość pomiarową (np. 20 kHz) i tak dobrać amplitudę napięcia wejściowego aby podwójna amplituda sygnału (napięcie międzyszczytowe) na wyjściu (U_2) nie przekraczała 0,5 V. Inaczej mówiąc, wartość międzyszczytowa napięcia wejściowego U_1 nie powinna przekraczać 60 mV – jest to przyjęte ograniczenie wartości małego sygnału zmiennego (amplituda - $kT/q = 26\text{mV}$). Zmieniając częstotliwość sygnału, dla każdej nastawionej częstotliwości wykonać pomiary napięć U_1 i U_2 . Jako U_1 i U_2 wygodnie jest mierzyć podwójną amplitudę sygnału (napięcie międzyszczytowe). Wyliczyć wartość $|h_{21e}|$ i systematycznie tworzyć wykres zależności $|h_{21e}| = f(f)$.
Uwaga – wykres w układzie log-log. Nie wykonywać pomiarów zbyt „gęsto”. Proponuje się 50 kHz, 100 kHz, 200 kHz, 500 kHz, 1MHz, 2 MHz 5 MHz itd. do częstotliwości przy której odczyt sygnału na oscyloskopie jest możliwy. W miarę potrzeby, doregulować wartość napięcia na wejściu układu ok. 60mV międzyszczytowo. Nie zmieniać ustalonego punktu pracy.
Na podstawie pomiarów wykonać kompletny wykres odpowiedzi częstotliwościowej tranzystora $|h_{21e}| = f(f)$. Wyznaczyć liniowość i wartość spadku wzmocnienia na dekadę f oraz wartość parametru f_T .
5. Określić jak parametry punktu pracy wpływają na f_T tranzystora. Proponuje się następującą metodę postępowania.
 - 5.1. Wybrać częstotliwość pomiarową w zakresie spadku 6 dB/okt. (20dB/dekadę) – normy zalecają 10 MHz, w tym zestawie zaleca się 5 MHz. Dla ułatwienia pomiarów zaleca się następujące postępowanie:

ponieważ

$$f_T = f \cdot |h_{21e}|$$

dla $f = 5\text{MHz}$

$$f_T = 5\text{MHz} \cdot |h_{21e}| = 5\text{MHz} \cdot 30 \frac{U_2}{U_1} = 150 \frac{U_2}{U_1} [\text{MHz}]$$

Jeżeli wybrać $U_i = 60\text{mV}$, wtedy $f_T [\text{MHz}] = 2,5 \cdot U_2 [\text{mV}]$ dla 5MHz

- 5.2. Przygotować na arkuszu papieru milimetrowego układ współrzędnych $I_E - U_{CE}$, (zakres osi: $I_E=15\text{mA}$, $U_{CE} = 15\text{V}$) zaznaczyć wartość na osiach.
- 5.3. Ustawić podwójną amplitudę $U_i = 60\text{mV}$, $f=5\text{MHz}$.
- 5.4. Regulując napięcia zasilaczy Z_1 i Z_2 zmieniać punkt pracy (U_{CE} , I_E), odnaleźć go na przygotowanym układzie współrzędnych, zaznaczyć i wpisać przy nim zmierzoną wartość f_T . Wykonać kilkanaście lub więcej takich pomiarów i na ich podstawie wyrysować przybliżone **linie stałych wartości f_T** . Wyciągnąć z tego wnioski.

Uwaga - wykonać również pomiary dla małych U_{CE} w pobliżu zakresu nasycenia i dla małych I_C w pobliżu zakresu odcięcia. Nie przekraczać parametrów granicznych tranzystora.