

Ćw. 2 Tranzystory bipolarne

1. Cel ćwiczenia

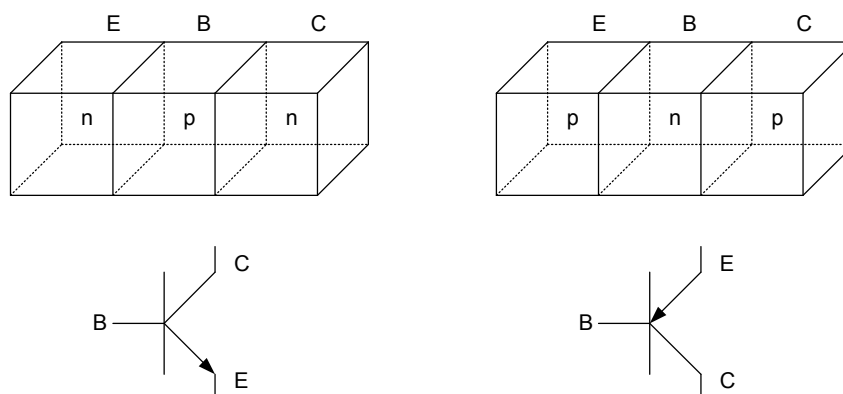
Celem ćwiczenia jest ugruntowanie wiadomości dotyczących zasad działania i właściwości tranzystorów bipolarnych. Podstawowa część ćwiczenia poświęcona jest zdejmowaniu charakterystyk statycznych tranzystora bipolarnego pracującego w zadanej konfiguracji. Równocześnie ćwiczący mogą zapoznać się z metodyką badania elementów półprzewodnikowych i podstawowymi technikami pomiarowymi (dokładny pomiar prądu/dokładny pomiar napięcia). Wyniki pomiarów są podstawą do wykreślenia wspomnianych charakterystyk oraz wyznaczenia w zadanym punkcie pracy tranzystora wartości parametrów małosygnałowego modelu zastępczego.

2. Wymagane informacje

Obsługa urządzeń pomiarowych, podstawowe informacje o materiałach półprzewodnikowych (rodzaje, nośniki prądu, właściwości), budowa i model zastępczy tranzystora bipolarnego.

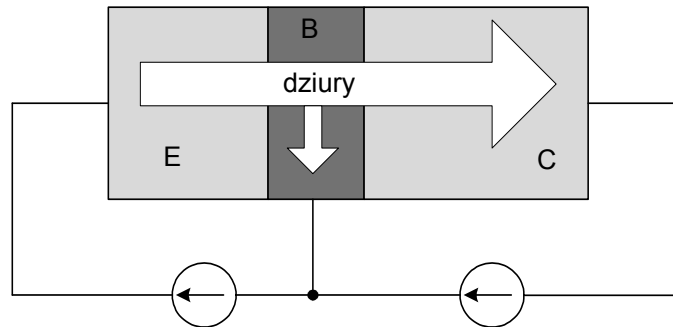
3. Wprowadzenie teoretyczne

Tranzystor bipolarny jest to elektroniczny element półprzewodnikowy zawierający dwa złącza p-n. Ze względu na wewnętrzną budowę możliwe jest rozróżnienie tranzystorów n-p-n oraz p-n-p (Rys.1). Poszczególne wyprowadzenia tranzystora noszą nazwy emitera (E), bazy (B) i kolektora (C).



Rys.1. Budowa i symbole tranzystorów bipolarnych: npn (lewy) i pnp (prawy).

Zasadę działania tego elementu, na przykładzie tranzystora pnp, przedstawia Rys.2.



Rys.2. Rozpływ prądów w tranzystorze pnp.

Tranzystor można traktować jak szeregowe połączenie dwóch diod. Złącze E-B tranzystora spolaryzowane jest w kierunku przewodzenia, natomiast złącze B-C w kierunku zaporowym. Przyłożenie pewnego napięcia do bazy powoduje przepływ nośników (tutaj dziur) z emitera do bazy tranzystora. Ponieważ jednak potencjał na kolektorze jest jeszcze niższy niż na bazie duża część nośników zostanie „zassana” do obszaru kolektora. W ten sposób napięciem na bazie można sterować przepływem prądu z emitera do kolektora.

4. Obsługa urządzeń pomiarowych

4.1. Multimetr

Multimetr, inaczej miernik, stanowi urządzenie pozwalające na pomiar różnych wielkości elektrycznych. Wybór mierzonej wielkości następuje poprzez odpowiednie ustawienie pozycji pokrętła. Wynik pomiaru jest pokazywany na wyświetlaczu.

Pokrętło ustawione w pozycji OFF powoduje wyłączenie miernika. Ustawienie pokrętła w pozycji V pozwala na pomiar napięć (zarówno stałych jak i zmiennych). W tym przypadku sondy (kable) pomiarowe powinny być podpięte do gniazd V/ Ω i COM miernika. Możliwy jest również pomiar rezystancji elementu. W tym celu należy pokrętło ustawić w pozycji Ω natomiast sondy podpiąć do gniazd V/ Ω i COM. Aby dokonać pomiaru prądu (stałego lub zmiennego) należy ustawić pokrętło w jednej z pozycji: μA , mA lub A – w zależności od zakresu mierzonych prądów. Do pomiaru prądu sondy miernika należy podpiąć do gniazd COM i mA (jeśli mierzony prąd wynosi mniej niż 400 mA) lub COM i 20A (w przypadku większych prądów).

Multimetr umożliwia pomiar jeszcze innych wielkości natomiast nie będą one wykorzystywane podczas zajęć laboratoryjnych.

4.2. Zasilacz laboratoryjny

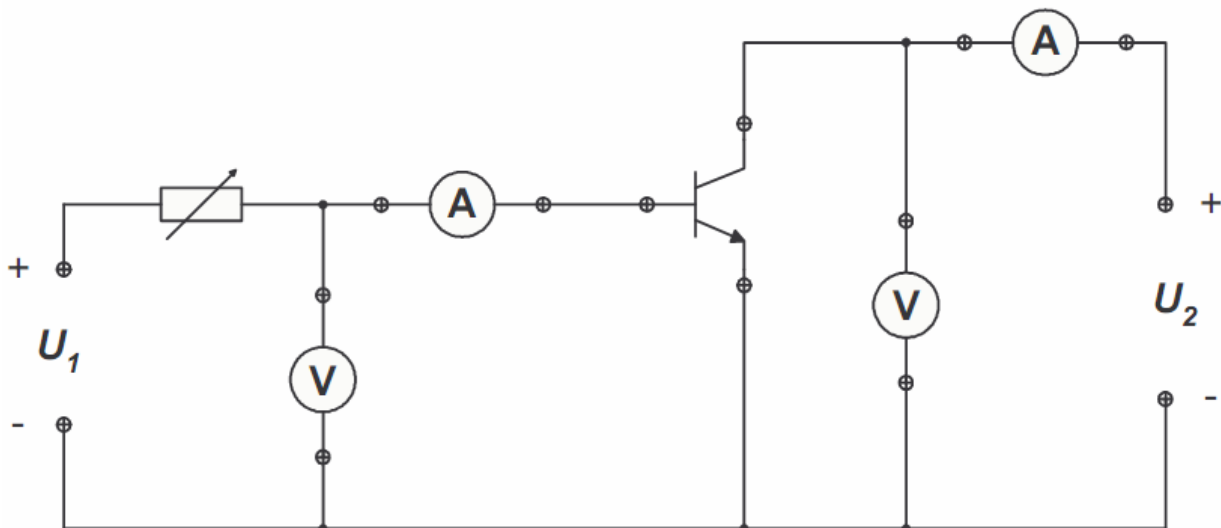
Zasilacz jest urządzeniem mającym za zadanie dostarczenie stałego napięcia zasilającego układ. Łączy się go z badanymi układami za pomocą kabli „bananowych”. Odpowiednie wyjściowe gniazda zasilacza oznaczone są jako „+” i „-” (gniazdo **GDN** należy pozostawić niepodłączone, jest to **zacisk uziemienia**, a nie masy).

Przed podłączeniem przewodów do układu pomiarowego należy przygotować multimetr w odpowiedniej konfiguracji. Podłączyć przewodami (z wtyczkami typu „banan”) gniazdo wspólne COM miernika do zacisku „-”

w zasilaczu, gniazdo V/Ω miernika do gniazda „+” zasilacza i włączyć zasilacz. Ustawić na zasilaczu żądane napięcie. Napięcie należy sprawdzić podłączonym miernikiem. Jeżeli jest to możliwe w zasilaczu ustawić ograniczenie prądowe na 100 mA – może to zapobiec uszkodzeniu badanego układu na wypadek nieprawidłowych połączeń.

5. Budowa układu pomiarowego

Układ pomiarowy stanowi panel (Rys. 1), którego centralnym elementem jest złącze służące do podpięcia badanego tranzystora. W miejsce symboli Ⓐ oraz Ⓥ należy podpiąć odpowiednio amperomierze i woltomierze. Dane zebrane z tych przyrządów pomiarowych pozwalają na wykreślenie charakterystyk tranzystora. Schemat płytki pozwala na zbadanie tranzystora pracującego w dowolnej konfiguracji (dla konfiguracji wspólnego emitera U_1 jest napięciem wejściowym, U_2 wyjściowym). Zastosowany potencjometr pozwala na regulację napięcia podawanego na bazę tranzystora.



Rys.3. Schemat układu służącego do badania tranzystora bipolarnego.

6. Wykonanie ćwiczenia

6.1. Pomiar charakterystyk statycznych tranzystora bipolarnego

Należy w układzie pomiarowym umieścić zadany tranzystor i połączyć układ w konfiguracji wspólnego emitera oraz podłączyć przyrządy pomiarowe.

Następnie po dokładnym sprawdzeniu połączeń należy zebrać odpowiednie wartości prądów i napięć w celu pomiaru charakterystyk:

- wejściowych $U_1 = f(I_1)$ dla 2 różnych wartości $U_2 = const$,
- oddziaływania wstecznego $U_1 = f(U_2)$ dla 2 różnych wartości $I_1 = const$,
- przejściowych $I_2 = f(I_1)$ dla 2 różnych wartości $U_2 = const$,
- wyjściowych $I_2 = f(U_2)$ dla 2 różnych wartości $I_1 = const$.

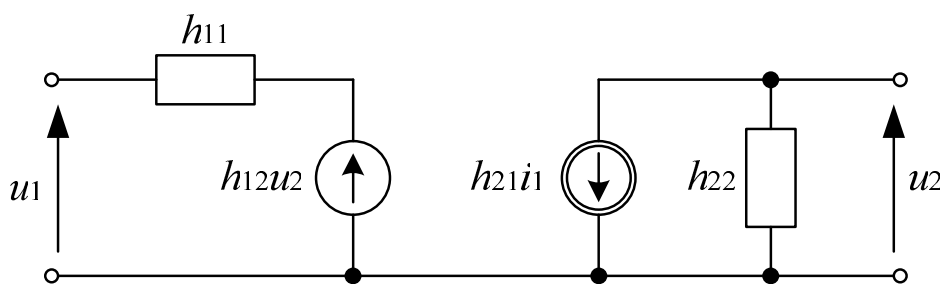
Zakres badanych prądów i napięć dla danej charakterystyki oraz krok pomiarowy zostaną podane przez prowadzącego. Podczas pomiarów należy zwrócić uwagę na

wielkość mocy wydzielającej się na kolektorze tranzystora aby nie przekroczyć dopuszczalnej wartości maksymalnej.

Na podstawie wyników pomiarów należy wykreślić na oddzielnym wykresie każdą z rodzin charakterystyk. W trakcie wykreślania należy ocenić wagę poszczególnych punktów i odrzucić te, które nie przystają do charakteru zależności (tzw. błędy grube).

6.2. Wyznaczanie wartości parametrów małosygnalowego, małowzrostliwego modelu tranzystora

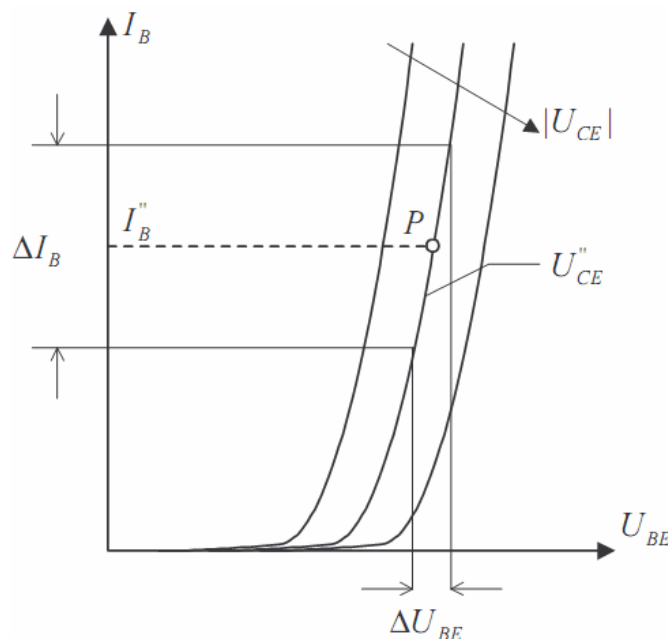
Korzystając z wykreślonych w poprzednim punkcie charakterystyk tranzystora w wybranym punkcie pracy należy wyznaczyć wartości parametrów małosygnalowego, małowzrostliwego modelu tranzystora o strukturze mieszanej h_{ij} (Rys.4).



Rys.4. Schemat modelu mieszaneho h_{ij} .

Poniżej przedstawiono metodę wyznaczania tych parametrów dla tranzystora w konfiguracji wspólnego emitera.

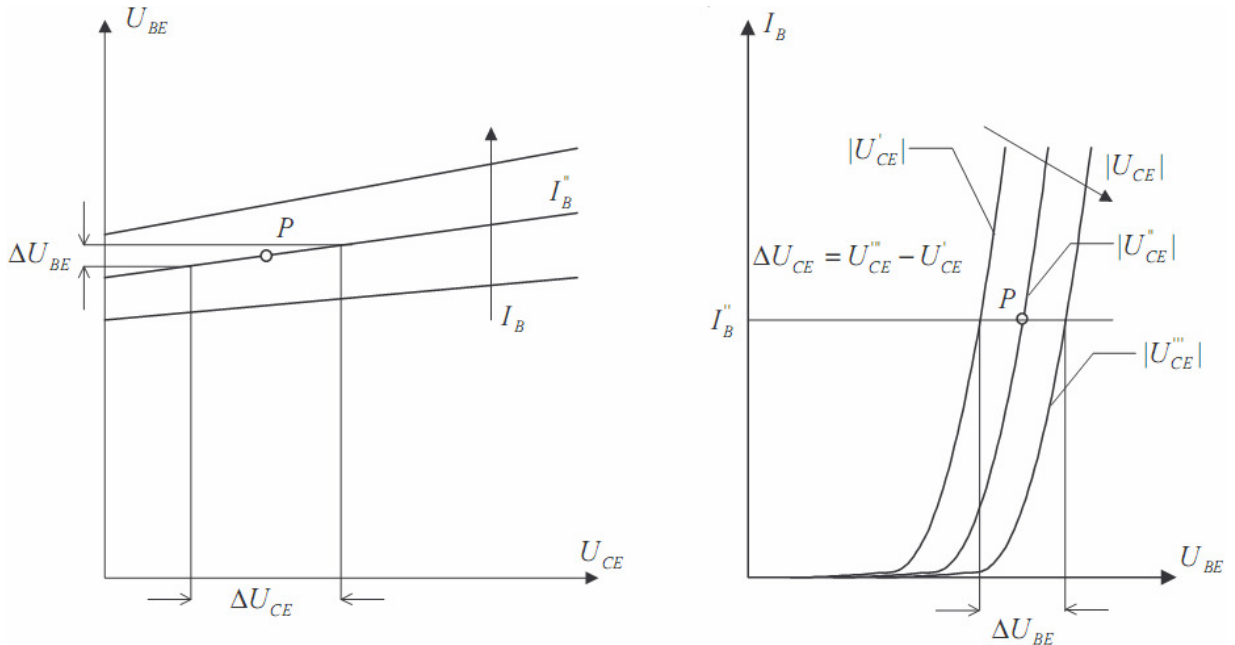
$$h_{11} = \left. \frac{\partial U_1}{\partial I_1} \right|_{U_2=const} \qquad h_{11e} = \left. \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_B} \right|_{U_{CE}=const} \equiv \left. \frac{u_{be}}{i_b} \right|_{u_{ce}=0} \equiv \left. \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \right|_{U_{CE}=const}$$



Rys.5. Sposób wyznaczania parametru h_{11e} z charakterystyk tranzystora.

$$h_{12} = \left. \frac{\partial U_1}{\partial U_2} \right|_{I_1 = \text{const}}$$

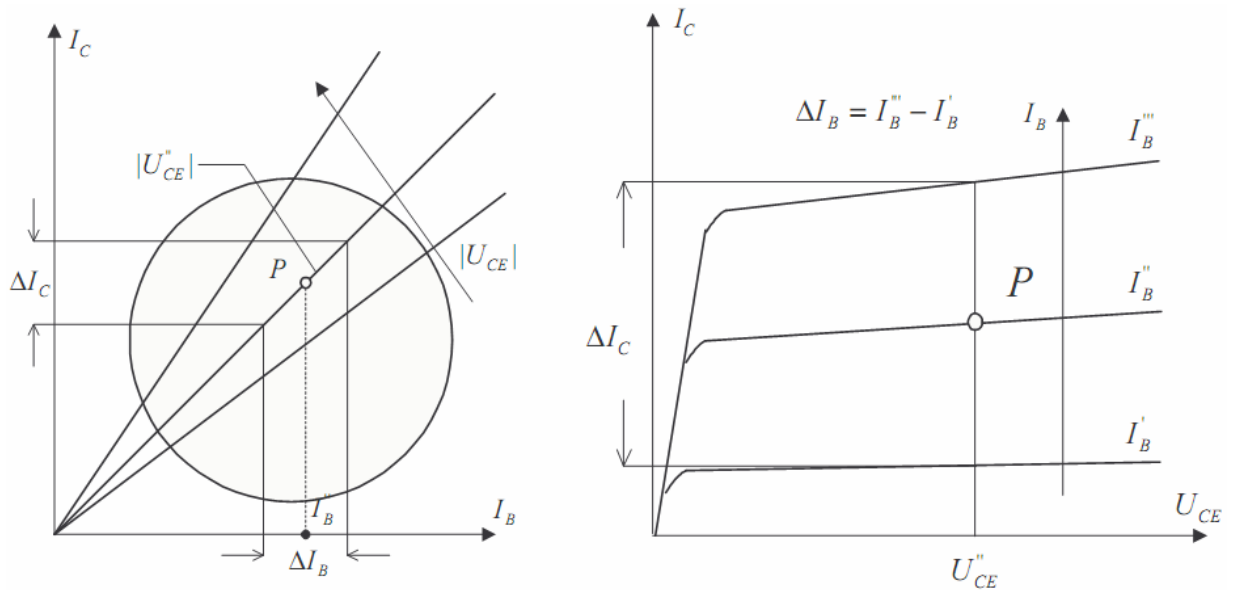
$$h_{12e} = \left. \frac{\partial U_{BE}}{\partial U_{CE}} \right|_{I_B = \text{const}} \equiv \left. \frac{u_{be}}{u_{ce}} \right|_{i_b = \text{const}} \equiv \left. \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \right|_{I_B = \text{const}}$$



Rys.6. Sposób wyznaczenia parametru h_{12e} z charakterystyk tranzystora.

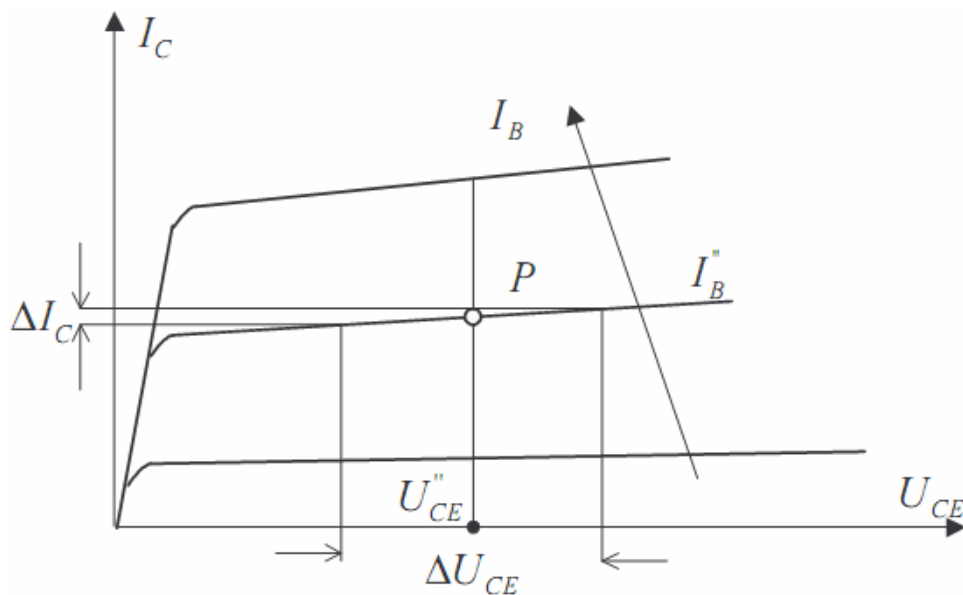
$$h_{21} = \left. \frac{\partial I_2}{\partial I_1} \right|_{U_2 = \text{const}}$$

$$h_{21e} = \left. \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right|_{U_{CE} = \text{const}} \equiv \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{u_{ce} = 0} \equiv \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{U_{CE} = \text{const}}$$



Rys.7. Sposób wyznaczenia parametru h_{21e} z charakterystyk tranzystora.

$$h_{22} = \left. \frac{\partial I_2}{\partial U_2} \right|_{I_1=const} \qquad h_{22e} = \left. \frac{\partial I_C}{\partial U_{CE}} \right|_{I_B=const} \equiv \left. \frac{i_c}{u_{ce}} \right|_{i_b=0} \equiv \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} \right|_{I_B=const}$$



Rys.8. Sposób wyznaczania parametru h_{22e} z charakterystyk tranzystora.

7. Opracowanie wyników

W sprawozdaniu z ćwiczenia należy:

- narysować schematy badanych układów,
- wykreślić zebrane charakterystyki tranzystora,
- na podstawie charakterystyk obliczyć parametry modelu małosygnałowego zgodnie z punktem 6.2,
- wyciągnąć wnioski.

8. Literatura

- [1] U. Tietze, Ch. Schenk „Układy półprzewodnikowe”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996, Rozdział 4 „Tranzystory bipolarne” (s. 46-100)
- [2] P. Horowitz, W. Hill „Sztuka elektroniki. Część 1.”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1995, Rozdział 2 „Tranzystory” (s. 72-123)