

Ćw. 2 Tranzystory bipolarne

1. Cel ćwiczenia

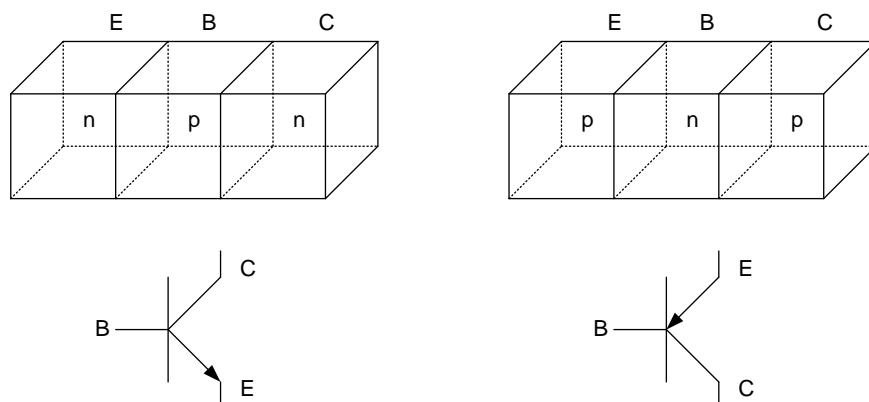
Celem ćwiczenia jest ugruntowanie wiadomości dotyczących zasad działania i właściwości tranzystorów bipolarnych. Zasadniczą część ćwiczenia poświęcona jest zdejmowaniu charakterystyk statycznych tranzystora bipolarnego pracującego w zadanej konfiguracji. Równocześnie ćwiczący mogą zapoznać się z metodyką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

2. Wymagane informacje

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

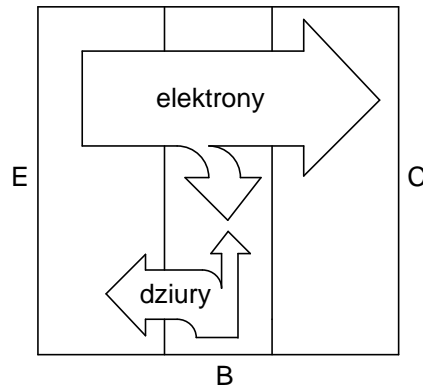
3. Wprowadzenie teoretyczne

Tranzystor bipolarny jest to elektroniczny element półprzewodnikowy zawierający dwa złącze 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 npn, przedstawia Rys.2.



Rys.2. Rozpływ prądów w tranzystorze npn.

4. Obsługa urządzeń pomiarowych

4.1. Zasilacz laboratoryjny

Przygotować multimetr w konfiguracji woltomierza w zakresie do 20V napięcia stałego (DCV). Podłączyć przewodami (z wtyczkami typu „banan”) gniazdo wspólne „com” (common) miernika do zacisku „-” w zasilaczu, gniazdo VmA miernika do gniazda „+” zasilacza. Wyjście zasilacza oznaczone GND należy pozostawić niepodłączone – jest to zacisk uziemienia a nie masy. Jako masę przyjmujemy potencjał zacisku „-” w zasilaczu. Włączyć zasilacz. Ustawić na zasilaczu żądane napięcie. Napięcie sprawdzić podłączonym miernikiem. Jeżeli miernik wskazuje „1” lub „OL” w lewej części wyświetlacza oznacza to, że napięcie mierzone jest poza ustawionym zakresem 20V – należy zmniejszyć napięcie na zasilaczu. Jeżeli jest to możliwe w zasilaczu ustawić ograniczenie prądowe na 100mA – może to zapobiec uszkodzeniu badanego układu na wypadek nieprawidłowych połączeń.

4.2. Oscyloskop

Konfigurację oscyloskopu można podzielić na trzy główne części:

a) VERTICAL

Na dole znajdują się gniazda do podłączenia badanych sygnałów. Pokrętką VOLTS/DIV zmienia się skalę wyświetlanego przebiegu, CH1 – BOTH – CH2 – wybór kanału który ma pojawić się na ekranie, POSITION – przesuwanie sygnału w pionie, AC – GND – DC – sygnał może być pokazany bez składowej stałej (AC), podłączony do masy (GND) lub ze składową stałą (DC). Poprawnie ustalony sygnał to taki który mieści się na ekranie i jest przy tym jak najbardziej powiększony.

b) HORIZONTAL

POSITION – zgrubne i dokładne przesunięcie sygnału w poziomie, MODE – sposób rysowania przebiegu: jednocześnie, na przemian, ze wzmocnieniem (wzmocnienie w skali czasu umożliwi obserwację bardzo szybkich przebiegów), SEC/DIV – pokrętko ustawiające podstawę czasu na działkę (kwadracik). W położeniu XY plamka oscyloskopu jest sterowana z wejścia CH1- w poziomie i CH2 – w pionie. Proszę nie kręcić górną częścią dużych

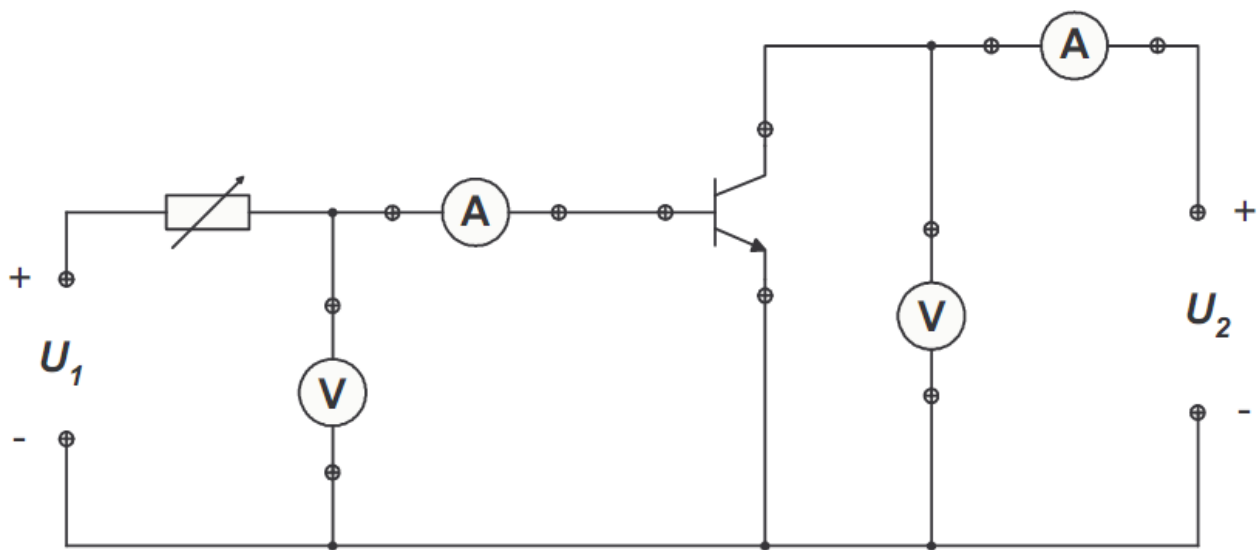
pokręteł – oscyloskopy są skalibrowane. X5 – X10 – X50 – aktywne gdy włączone wzmocnienie w skali czasu (MAG) w części MODE.

c) TRIGGER

W tej części ustawia się sposób wyzwalania oscyloskopu. Oscyloskop analogowy w jednej chwili czasowej wyświetla tylko jeden punkt. Zaczyna wyświetlać w określonym miejscu a następnie odwzorowuje przebieg napięcia w czasie. Należy skonfigurować oscyloskop tak aby wiedział kiedy ma zacząć wyświetlanie. Wykorzystuje się do tego sygnał podłączony do kanału A lub B; można również wykorzystać zewnętrzny sygnał taktujący (EXT INPUT) lub ciągłe wyświetlanie przebiegu. Przełącznikami w menu SOURCE można wybrać źródło: kanał 1 - CH1, kanał 2 - CH2, zewnętrzne EXT. W tej części istotne jest jeszcze pokrętko LEVEL – poziom wyzwalania oraz SLOPE – zbocze opadające/narastające. Gdy sygnał np. na ustawionym CH1 osiągnie wartość ustawioną pokrętkiem LEVEL i będzie to np. ustawione zbocze opadające to wówczas oscyloskop zacznie wyświetlać przebieg. Niepoprawne ustawienie wyzwalania powoduje, że obraz na ekranie bardzo szybko (lub zbyt wolno) się zmienia i niemożliwa jest dokładna obserwacja.

5. Budowa układu pomiarowego

Układ pomiarowy stanowi panel (Rys. 1), którego centralnym elementem jest złącze służące do podpięcia badanego tranzystora. W miejsce symboli \textcircled{A} oraz \textcircled{V} 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:

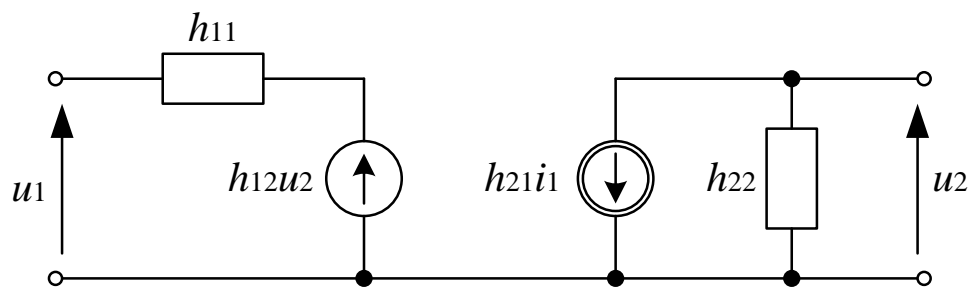
- wejściowych $U_1 = f(I_1)$ dla 2 różnych wartości $U_2 = const$,
- oddziaływania wstecznego $U_1 = f(U_2)$ dla 2 różnych wartości $I_1 = const$,
- przejściowych $I_2 = f(I_1)$ dla 2 różnych wartości $U_2 = const$,
- wyjściowych $I_2 = f(U_2)$ dla 2 różnych wartości $I_1 = const$.

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).

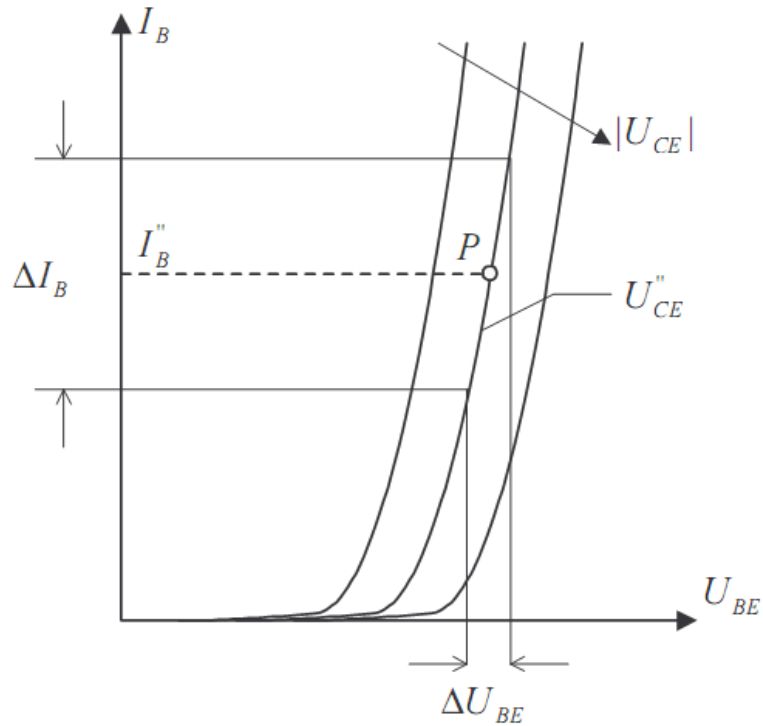
6.2. Wyznaczanie wartości parametrów małosygnałowego, małowzrostotliwościowego modelu tranzystora

Korzystając z wykreślonych w poprzednim punkcie charakterystyk tranzystora w wybranym punkcie pracy należy wyznaczyć wartości parametrów małosygnałowego, małowzrostotliwościowego modelu tranzystora o strukturze mieszanej h_{ij} (Rys.4). Poniżej przedstawiono metodę wyznaczania tych parametrów dla tranzystora w konfiguracji wspólnego emitera.



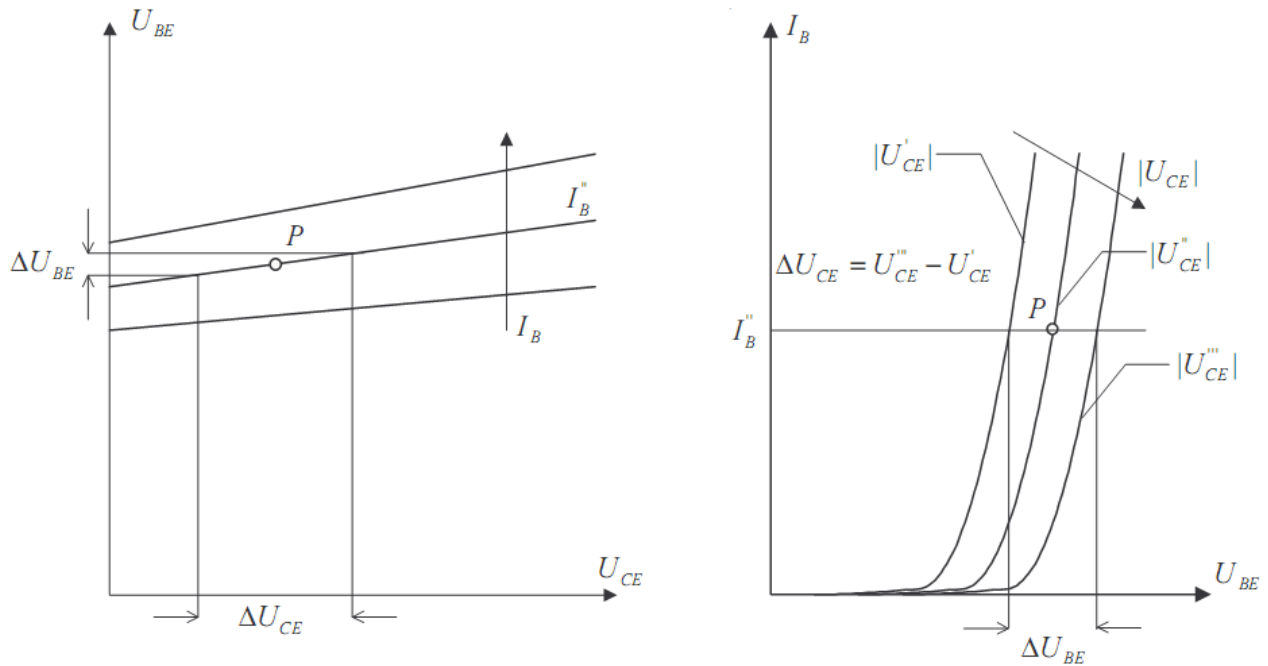
Rys.4. Schemat modelu mieszanego h_{ij} .

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



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

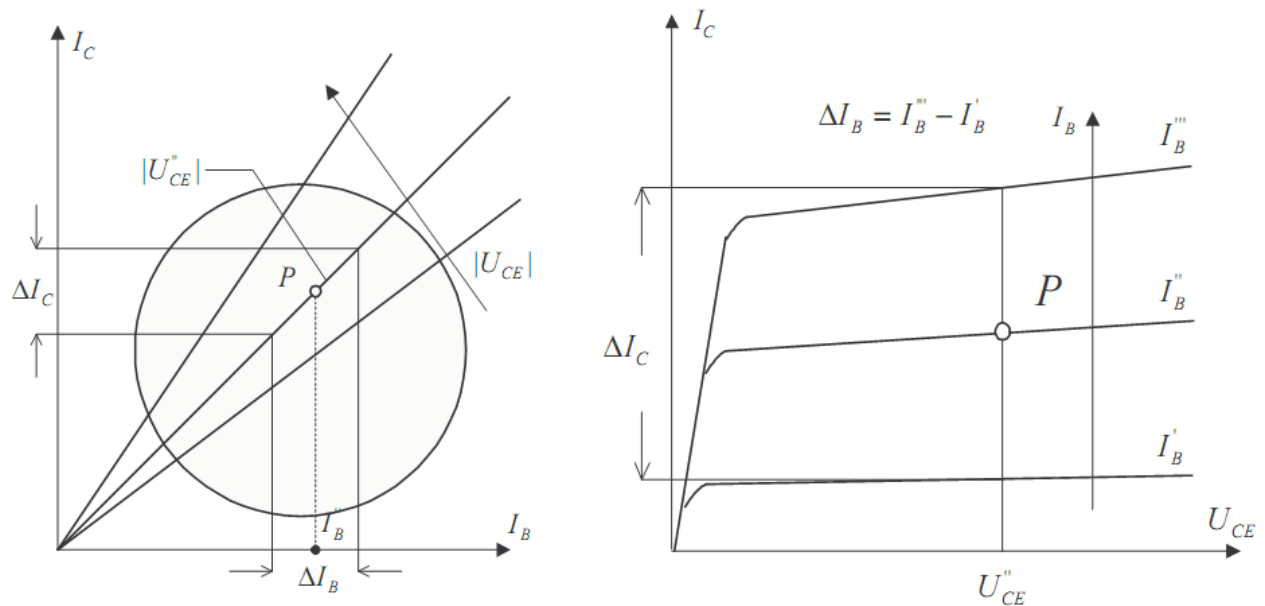
$$h_{12} = \left. \frac{\partial U_1}{\partial U_2} \right|_{I_1 = \text{const}} \quad h_{12e} = \left. \frac{\partial U_{BE}}{\partial U_{CE}} \right|_{I_B = \text{const}} \equiv \left. \frac{u_{be}}{u_{ce}} \right|_{i_b = \text{const}} \equiv \left. \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \right|_{I_B = \text{const}}$$



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

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

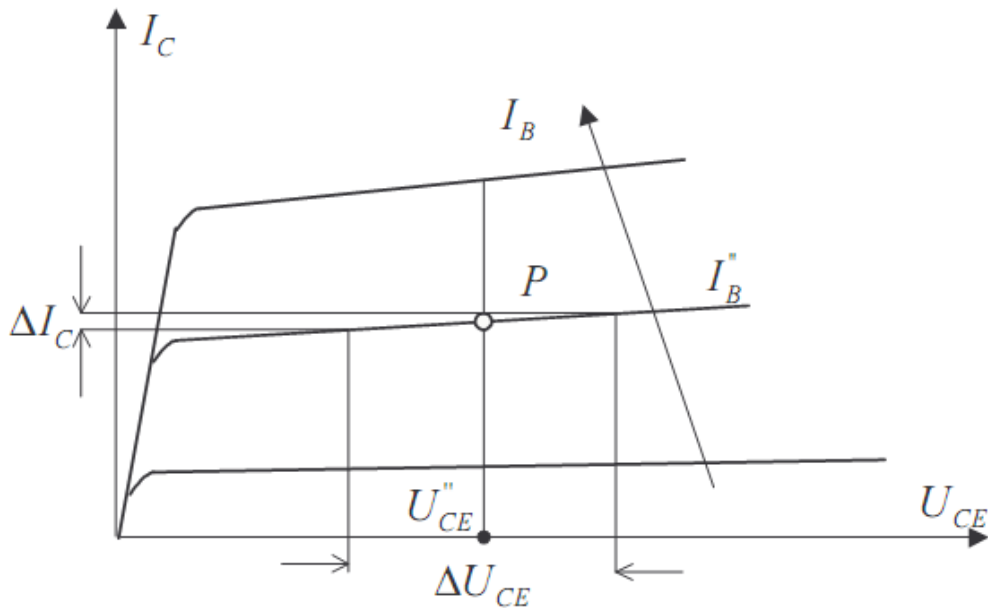
$$h_{21e} = \left. \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right|_{U_{CE} = \text{const}} \equiv \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{u_{ce} = 0} \equiv \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{U_{CE} = \text{const}}$$



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

$$h_{22} = \left. \frac{\partial I_2}{\partial U_2} \right|_{I_1 = \text{const}}$$

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



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

7. Opracowanie wyników

W sprawozdaniu z ćwiczenia powinny się znaleźć:

- schematy badanych układów,
- zebrane charakterystyki tranzystora,
- obliczone parametry modelu małosygnałowego,
- 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)