Ćw. 3. Badanie tranzystora bipolarnego

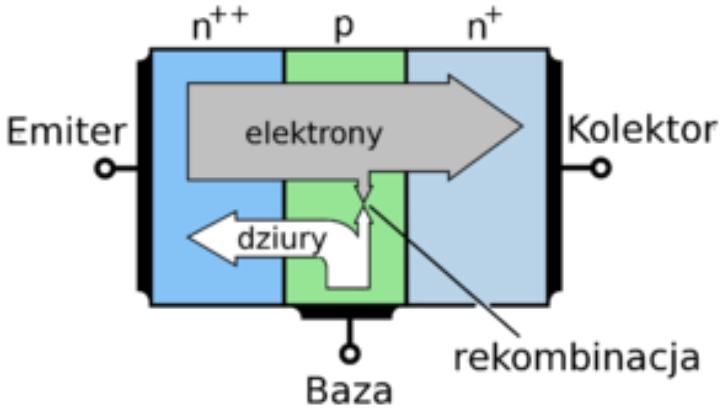
Wprowadzenie

Tranzystor jest czynnym elementem elektronicznym, mającym zdolność wzmacniania lub przełączania sygnałów elektrycznych. Zbudowany jest z trzech warstw półprzewodnika o różnym typie przewodnictwa (p lub n). Charakteryzuje się tym, że niewielki prąd płynący pomiędzy dwiema jego elektrodami (nazywanymi bazą i emiterem) steruje większym prądem płynącym między emiterem a trzecią elektrodą (nazywaną kolektorem).

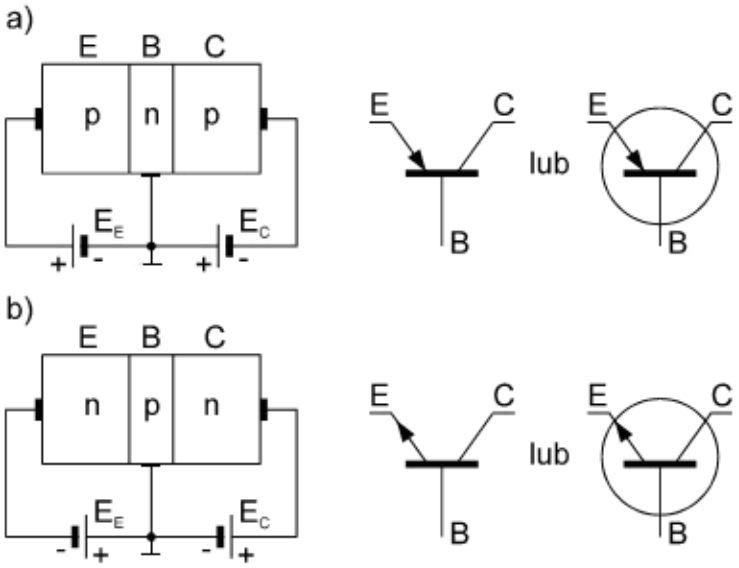
Tranzystor bipolarny składa się z trzech warstw półprzewodnika o różnym typie przewodnictwa: p-n-p lub n-p-n, W ten sposób tworzą się dwa złącza p-n: baza-emiter (nazywane krótko złączem emitera) oraz baza-kolektor (nazywane złączem kolektora). Poszczególne warstwy noszą nazwy:

- emiter (oznaczony przez E) warstwa silnie domieszkowana,
- baza (oznaczona przez B) warstwa cienka i słabo domieszkowana,
- kolektor (oznaczony przez C) dwie warstwy – jedna słabo druga silnie domieszkowana.

Ze względu na kolejność warstw półprzewodnika rozróżniamy dwa typy tranzystorów bipolarnych: pnp i npn. Ze względu na rodzaj materiału półprzewodnikowego użytego do wytwarzania tranzystory bipolarne dzielimy na krzemowe (obecnie częściej stosowane) i germanowe. Na rys. 1 przedstawiono budowę oraz przepływ nośników prądu w tranzystorze npn tranzystora, a na rys. 2 polaryzację oraz symbole graficzne tranzystorów npn i pnp.



Rys. 1. Budowa oraz przepływ nośników prądu w tranzystorze bipolarnym npn.



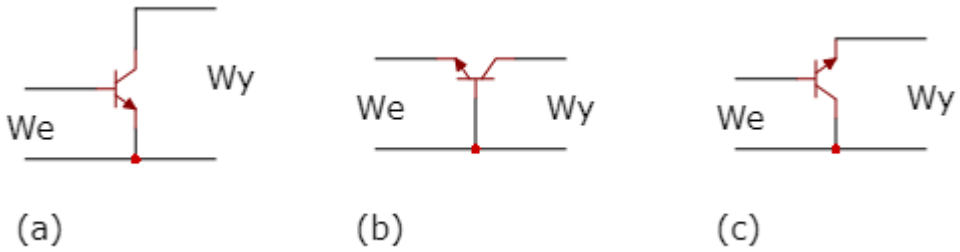
Rys. 2. Uproszczona struktura, polaryzacja i symbole tranzystora bipolarnego p-n-p (a) i n-p-n (b).

W stanie aktywnym (patrz rys. 1) złącze emiter-baza jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a złącze baza-kolektor – w kierunku zaporowym. Napięcie baza-emiter powoduje przepływ (wstrzykiwanie) nośników większościowych emitera przez to złącze do bazy – (elektrony w tranzystorach npn lub dziury w tranzystorach pnp). Nośników przechodzących w przeciwną stronę, od bazy do emitera jest niewiele, ze względu na słabe domieszkowanie bazy. Nośniki wstrzyknięte z emitera do obszaru bazy dyfundują do obszarów o mniejszej ich koncentracji w kierunku kolektora, trafiają do obszaru złącza baza-kolektor, a tu na skutek pola elektrycznego w obszarze zubożonym są przyciągane do kolektora. W rezultacie, po przyłożeniu do złącza baza – emiter napięcia w kierunku przewodzenia, popłynie niewielki prąd między bazą a emiterem, umożliwiający przepływ dużego prądu między kolektorem a emiterem. Za sygnał sterujący prądem kolektora można uważać zarówno prąd bazy, jak i napięcie baza-emiter. Zależność między tymi dwiema wielkościami opisuje charakterystyka wejściowa tranzystora, będąca w zasadzie ekspotencjalną charakterystyką złącza p-n spolaryzowanego w kierunku przewodzenia.

Prąd bazy składa się z dwóch głównych składników: prądu rekombinacji i prądu wstrzykiwania. Prąd rekombinacji to prąd powstały z rekombinacji w bazie nośników wstrzykniętych z emitera do bazy z nośnikami komplementarnymi. Jest tym mniejszy im cieńsza i słabiej domieszkowana jest baza. Prąd wstrzykiwania jest to prąd złożony z nośników wstrzykniętych z bazy do emitera, jego wartość zależy od stosunku koncentracji domieszek w obszarze bazy i emitera.

Napięcia panujące pomiędzy poszczególnymi elektrodami tranzystora oznacza się U_{CE}, U_{BE} oraz U_{CB}. Gdzie na przykład U_{CE} oznacza napięcie pomiędzy kolektorem i emiterem. Prądy płynące przez emiter, bazę i kolektor tranzystora oznacza się odpowiednio jako I_E, I_B ,oraz I_C.

Ze względu na sposób zasilania tranzystora rozróżniamy trzy układy pracy: ze wspólnym kolektorem (WC), wspólnym emiterem (WE) i wspólną bazą (WB).



Rys. 3. Układy pracy tranzystora: (a) ze wspólnym emiterem (WE), (b) ze wspólną bazą (WB), (c) ze wspólnym kolektorem (WC).

W układzie WE możliwe jest wykonanie rozmaitych charakterystyk statycznych. Zadawanie różnych wartości napięcia U_{CE} przy ustalonych wartościach stałego prądu bazy I_B i pomiar natężenia prądu I_C oraz napięcia U_{BE}, umożliwia wyznaczenie:

- rodziny charakterystyk wyjściowych tranzystora: $I_C = f(U_{CE}, I_B)$, gdzie $I_B = \text{const.}$,
- rodziny charakterystyk zwrotnych tranzystora: $U_{BE} = f(U_{CE}, I_B)$, gdzie $I_B = \text{const.}$

Z kolei zadawanie różnych wartości prądu bazy I_B przy ustalonych wartościach napięcia U_{CE} umożliwia wyznaczenie:

- rodziny charakterystyk wejściowych tranzystora: $U_{BE} = f(U_{CE}, I_B)$, gdzie $U_{CE} = \text{const.}$,
- rodziny charakterystyk przejściowych tranzystora: $IC = f(U_{CE}, I_B)$, gdzie $U_{CE} = \text{const.}$

Podstawowe parametry tranzystora bipolarnego

- *Wielkosygnałowy współczynnik wzmocnienia prądowego β* - stosunek prądu kolektora I_C do prądu bazy I_B

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \tag{1}$$

- *Małosygnałowy współczynnik wzmocnienia prądowego*

$$\beta_0 = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \tag{2}$$

określany jako stosunek przyrostu prądu kolektora do przyrostu prądu bazy. Dla prądów sinusoidalnie zmiennych będzie to stosunek amplitud tych prądów.

- *Statyczna rezystancja wyjściowa*

$$R_{CE} = \frac{U_{CE}}{I_C}$$

- *Dynamiczna rezystancja wyjściowa*

$$r_{CE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C}$$

- *Statyczna rezystancja wejściowa*

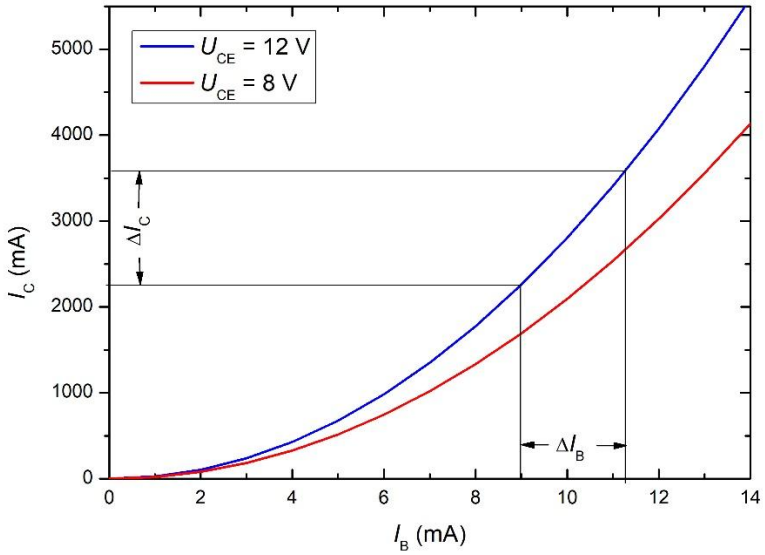
$$R_{CE} = \frac{U_{BE}}{I_B}$$

- *Dynamiczna rezystancja wejściowa*

$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$$

Metoda pomiaru

Do wyznaczania współczynników β oraz β_0 można wykorzystać charakterystyki prądowe tranzystora. Przykład takiej charakterystyki oraz sposób wyznaczania małosygnałowego spółczynnika wzmocnienia prądowego przedstawiono na rys. 3.



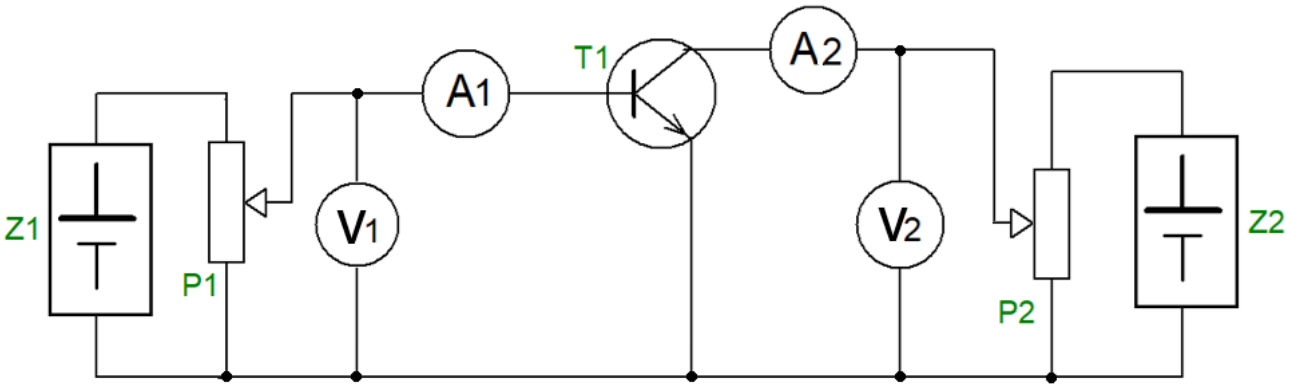
Rys. 3. Charakterystyki I_C = f(I_B) dla dwóch wartości napięcia U_{CE}.

Celem ćwiczenia jest wykonanie charakterystyki prądowej I_C = f(I_B) przy ustalonej wartości napięcia U_{CE} tranzystora bipolarnego pracującego w układzie ze wspólnym emiterem oraz wyznaczenie małosygnałowego współczynnika wzmocnienia prądowego określonego wzorem (2).

Wykonanie zadania

Wyznaczanie charakterystyka I_C = f(I_B)

1. Przyrządy połączyć wg. schematu przedstawionego na rysunku 4.
2. Potencjometrem P2 ustawiamy wartość napięcia U_{CE} (wartość podaje prowadzący), który mierzymy woltomierzem V2.
3. Potencjometrem P1 regulujemy wartość prądu I_B, który mierzymy amperomierzem A1. Wykonać minimum 10 pomiarów zmieniając wartość prądu I_B, jednocześnie odczytując wartości prądu kolektora I_C, który mierzymy amperomierzem A2. (Wartości minimalne i maksymalne prądów i napięć podaje prowadzący).
4. Sporządzić charakterystykę zewnętrzną transformatora I_C = f(I_B) przy U_{CE} = const. i na jej podstawie obliczyć małosygnałowy współczynnik wzmocnienia β_0 z prostoliniowej części charakterystyki (patrz rys 3.).
5. Określić niepewność pomiaru współczynnika.



Rys. 4. Schemat układu do pomiaru charakterystyk statycznych tranzystora.

Zagadnienia do kolokwium:

1. Budowa i działanie złącza npn i pnp.
2. Podstawowe układy pracy tranzystorów.
3. Podstawowe parametry tranzystorów.

Literatura:

W. Pietrzyk (red), *Laboratorium z elektrotechniki*, Wydawnictwa Uczelniane PL, 2003

Opiekun ćwiczenia: Jarosław Borc