

E6. BADANIE ELEMENTÓW PÓŁPRZEWODNIKOWYCH

tekst opracowała: Bożena Janowska-Dmoch

Diody i tranzystory półprzewodnikowe są podstawowymi aktywnymi elementami we współczesnej elektronice. Znalazły wiele zastosowań i trudno dziś znaleźć urządzenie, w którym nie wykorzystywano by ich własności. Zalety elementów półprzewodnikowych pozwalają spodziewać się jeszcze powszechniejszego ich stosowania.

Cel

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie charakterystyk prądowo-napięciowych diod i tranzystorów.

Wymagania

Prąd elektryczny: siła elektromotoryczna, potencjał, napięcie, natężenie, opór elektryczny. Prawo Ohma i prawa Kirchhoffa. Przewodnictwo. Pasmowa teoria ciał stałych: pasmo walencyjne, wzbronione i pasmo przewodnictwa. Poziom Fermiego. Półprzewodniki samoistne i domieszkowane. Bariera potencjału na złączu diodowym pn. Złącza tranzystorowe pnp i npn. Zasada działania diody i tranzystora.

Literatura

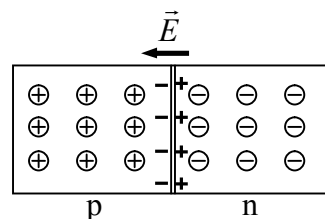
M.N. Ruden, J. Wilson, Elementy fizyki ciała stałego, PWN.
K. Braclawski, A. Siennicki, Elementy półprzewodnikowe, WSiP.
J. Dereń, J. Haber, R. Pampuch, Chemia ciała stałego, PWN.
K. Zboiński, Laboratorium z fizyki, Liber.
J. Orear, Fizyka, tom II, WNT.

Opis układu

Charakterystyka prądowo-napięciowa diody półprzewodnikowej.

Na złączu dwóch półprzewodników domieszkowanych – typu p i typu n – w stanie równowagi termodynamicznej istnieje pole elektryczne skierowane od obszaru n do obszaru p. Obecność tego pola zapobiega swobodnej dyfuzji elektronów i dziur przez złącze i dlatego różnica potencjałów na warstwie złącza jest nazywana barierą potencjału.

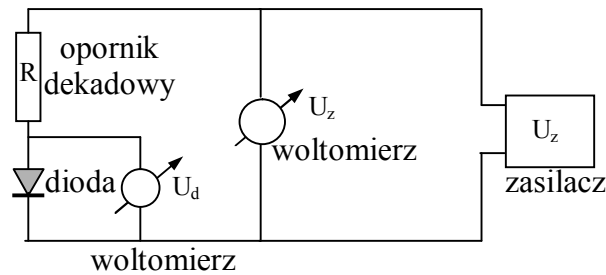
Własności złącza pn wykorzystuje się w diodach półprzewodnikowych. Gdy do obszaru typu p przyłożymy zewnętrzne napięcie tak, że obszar p znajdzie się na wyższym potencjale niż obszar n, to bariera potencjału się obniża, a elektrony i dziury przyspieszane przez zewnętrzne pole uzyskują dodatkową energię konieczną do pokonania bariery na złączu. Przy takiej polaryzacji złącza elektrony z obszaru n przepływają przez złącze do obszaru p, a dziury z obszaru p przepływają do obszaru n. Przez złącze i w obwodzie zewnętrznym płynie wówczas prąd elektryczny. Gdy do obszaru typu n przyłożymy wyższy potencjał, a do obszaru typu p niższy, to przy takiej polaryzacji elektrony i dziury będą odciągane od złącza, co spowoduje wzrost bariery potencjału i tylko nieznaczna liczba nośników prądu będzie



mogła taką barierę pokonać. Prąd przepływający przez złącze i w obwodzie zewnętrznym będzie miał znikomo małe natężenie. Taki kierunek polaryzacji złącza nazywamy kierunkiem zaporowym.

Charakterystyką prądowo-napięciową nazywamy wykres zależności natężenia prądu płynącego przez diodę od napięcia na jej elektrodach (U_d).

Układ elektryczny do badania charakterystyk prądowo-napięciowych diod składa się z następujących przyrządów: zasilacza niskiego napięcia, opornika dekadowego i dwóch woltomierzy.



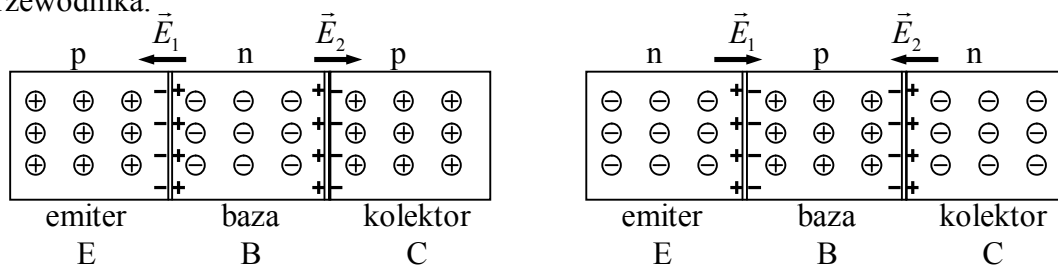
Na powyższym rysunku przedstawiono schemat układu pomiarowego. Oznaczenia na schemacie: R – opornik dekadowy, U_z – napięcie zasilania, U_d – napięcie na diodzie.

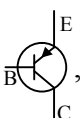
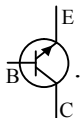
Jeśli zaniedbamy natężenia prądów płynących przez woltomierze, to natężenie prądu płynącego przez diodę jest takie samo jak natężenie prądu płynącego przez opornik R. Wartość natężenia wyznaczymy korzystając ze wzoru:

$$I = \frac{U_z - U_d}{R}.$$

Charakterystyka prądowo-napięciowa tranzystora

Tranzystorem nazywamy układ składający się z trzech obszarów o różnych typach przewodnictwa (n-p-n albo p-n-p), nazywanych emiterem (E) – bazą (B)- kolektorem (C). Tranzystory posiadają dwa złącza diodowe typu pn i np, wytworzone w jednej płytce półprzewodnika.



Tranzystory pnp oznaczamy symbolem graficznym , a tranzystory npn symbolem .

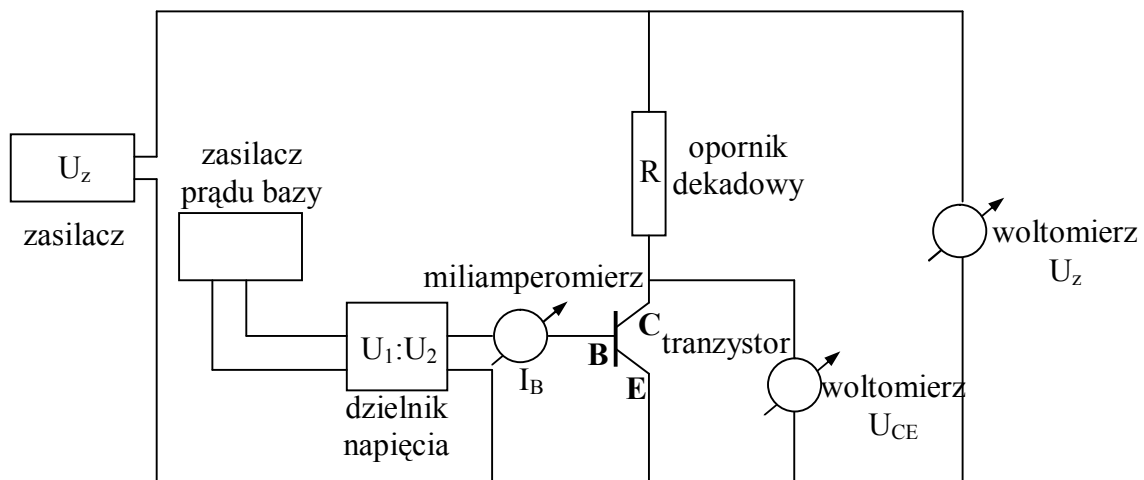
Jeśli do bazy i kolektora tranzystora npn zostanie przyłożone napięcie w kierunku zaporowym, to przez złącze kolektorowe płynie prąd o bardzo małym natężeniu. Jednak jeśli jednocześnie do złącza emitera i bazy zostanie przyłożone napięcie w kierunku przewodzenia, to elektrony jako nośniki większościowe przepływają z emitera do bazy, gdzie stają się nośnikami mniejszościowymi. Część z nich rekombinuje z dziurami wprowadzanymi przez kontakt bazy, ale zdecydowana większość elektronów dociera do obszaru kolektora. Natężenie prądu kolektora zależy od liczby elektronów, które zdołają przejść do kolektora.

Działanie tranzystora pnp można opisać w ten sam sposób, zastępując elektrony - dziurami.

Jedną z zasadniczych cech tranzystorów jest proporcjonalność prądu bazy i prądu kolektora. Mała zmiana prądu bazy wywołuje w prądzie kolektora znaczne wzmocnienie tej zmiany. Stosunek natężenia prądu kolektora I_C do natężenia prądu bazy I_B jest nazywany statycznym współczynnikiem wzmocnienia β

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}.$$

Charakterystyką prądowo-napięciową tranzystora nazywamy wykres zależności natężenia prądu kolektora od napięcia między kolektorem a emiterem (U_{CE}) przy stałym prądzie bazy. Układ elektryczny do badania charakterystyk prądowo-napięciowych tranzystorów, w układzie ze wspólnym emiterem OE, składa się z następujących przyrządów: zasilacza niskiego napięcia, dzielnika napięcia, opornika dekadowego, dwóch woltomierzy i miliamperomierza.



Na powyższym rysunku przedstawiono schemat układu pomiarowego. Oznaczenia na schemacie: B – baza, E – emiter, C – kolektor, R – opornik dekadowy, U_z – napięcie zasilania, U_{CE} – napięcie między kolektorem i emiterem, I_B – natężenie prądu bazy. Dzielnik napięcia $U_1:U_2$ w obwodzie bazy umożliwia regulację prądu bazy.

Jeśli zaniedbamy natężenia prądów płynących przez woltomierze, to natężenie prądu płynącego przez kolektor jest takie samo jak natężenie prądu płynącego przez opornik R. Wartość natężenia prądu kolektora wyznaczymy korzystając ze wzoru:

$$I_C = \frac{U_z - U_{CE}}{R}.$$

Wykonanie ćwiczenia

Wyniki wszystkich pomiarów muszą być zapisane w sprawozdaniu, opatrzone odpowiednimi jednostkami i podpisane przez asystenta.

Charakterystyki prądowo-napięciowe diod półprzewodnikowych

Uwaga: napięcie zasilania włącza asystent.

- Korzystając z płytki montażowej za pomocą kabli łączymy obwód według schematu do badania diody półprzewodnikowej.
- Na oporniku dekadowym ustawiamy opór $R = 1000 \Omega$.
- Po sprawdzeniu obwodu przez asystenta i włączeniu zasilania mierzymy w kierunku przewodzenia napięcie na diodzie U_d , zmieniając napięcie zasilania od zera do 1V co 0,1V, następnie od 1V do 2V co 0,2V, a od 2V do 10V co 0,5V.
- Skręcamy napięcie zasilania do zera. Zmieniamy zasilanie na kierunek zaporowy i mierzymy napięcie na diodzie U_d , zmieniając napięcie zasilania od zera do 0,5V co 0,1V.
- Pomiary powtarzamy dla drugiej diody.

Propozycja zapisu wyników:

Typ diody

$\Delta R = \dots\dots\dots$

Napięcie zasilania U_z [jednostka] $\Delta U_z = \dots\dots$	Napięcie na diodzie U_d [jednostka] $\Delta U_d = \dots\dots$

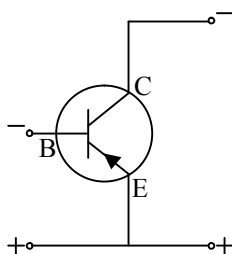
gdzie ΔR , ΔU_z i ΔU_d są błędami systematycznymi wynikającym z dokładności (klasy) przyrządów.

Charakterystyki prądowo-napięciowe tranzystorów

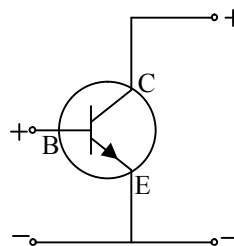
Uwaga: napięcie zasilania włącza asystent.

- Korzystając z płytki montażowej za pomocą kabli łączymy obwód według schematu. Napięcie zasilania **podajemy odpowiednio do typu** badanego tranzystora.

Polaryzacja tranzystora pnp



Polaryzacja tranzystora npn



- Na oporniku dekadowym ustawiamy opór $R = 300 \Omega$.
- Po sprawdzeniu obwodu przez asystenta i włączeniu zasilania ustawiamy natężenie prądu bazy na 0,1 mA i mierzymy napięcie U_{CE} , zmieniając napięcie zasilania od zera do 15V co 1V. Analogiczne pomiary wykonujemy zmieniając prąd bazy co 0,1mA w zakresie 0,1÷0,6mA.

Propozycja zapisu wyników:

Typ tranzystora:.....

$\Delta R = \dots\dots\dots$

Prąd bazy I_B [jednostka] $\Delta I_B = \dots\dots$	Napięcie U_z [jednostka] $\Delta U_z = \dots\dots$	Napięcie U_{CE} [jednostka] $\Delta U_{CE} = \dots\dots$

gdzie ΔR , ΔI_B , ΔU_z i ΔU_{CE} są błędami systematycznymi wynikającymi z dokładności (klasy) przyrządów.

d) Analogiczne pomiary wykonujemy dla tranzystora innego typu.

Opracowanie wyników

Charakterystyki prądowo-napięciowe diod półprzewodnikowych

- Dla każdego napięcia U_z obliczamy natężenie prądu I_d płynącego przez diodę.
- Błąd ΔI_d wyznaczamy metodą propagacji niepewności pomiarowych.
- Na jednym papierze milimetrowym sporządzamy wykresy natężeń prądu płynącego przez każdą z diod od przyłożonego do nich napięcia U_d , czyli wykresy $I_d(U_d)$. W kilku punktach każdego z wykresów zaznaczamy błędy ΔI_d i ΔU_d . Wykresy można wykonać stosując programy komputerowe.

Charakterystyki prądowo-napięciowe tranzystorów

Dla każdego tranzystora:

- Dla wszystkich prądów bazy obliczamy natężenia prądów I_C płynących przez kolektor przy różnych napięciach zasilania U_z .
- Błąd ΔI_C wyznaczamy metodą propagacji niepewności pomiarowych.
- Na papierze milimetrowym sporządzamy rodziny zależności natężeń prądu płynącego przez kolektor I_C od napięcia U_{CE} przy ustalonych natężeniach prądu bazy. W kilku punktach każdego z wykresów zaznaczamy błędy ΔI_C i ΔU_{CE} . Wykresy można wykonać stosując programy komputerowe.
- Wybieramy wartość napięcia U_{CE} , leżącą za zagięciem charakterystyk zwanym kolanem. Na wykresie rysujemy pionową linię, która przechodzi przez wybraną wartość napięcia U_{CE} i przecina wszystkie charakterystyki. Przy tym napięciu między kolektorem a emiterem odczytujemy z wykresu wartości natężeń prądów kolektora dla różnych natężeń prądów bazy.

Dla obu tranzystorów:

- Na papierze milimetrowym, na jednym wspólnym wykresie, zaznaczamy odczytane dla każdego z tranzystorów wartości I_C w funkcji prądów bazy I_B . Wykres można wykonać stosując programy komputerowe.

- b) Metodą najmniejszych kwadratów (regresji liniowej) dla każdego z tranzystorów wyznaczamy współczynniki A i B prostych najlepiej dopasowanych do punktów pomiarowych. Nanosimy te proste na wykres $I_C(I_B)$. Wyznaczamy również błędy ΔA i ΔB . Wartości współczynników kierunkowych A określają nam statyczne współczynniki wzmocnienia prądowego tranzystorów w układzie ze wspólnym emiterem ($\beta = A$).

We wnioskach spróbujmy ocenić:

- jakie różnice zauważamy w przebiegu charakterystyk badanych diod i o czym one świadczą.
- jakie znaczenie mają te różnice dla zastosowań praktycznych.
- jakie różnice zauważamy w przebiegu charakterystyk badanych tranzystorów.
- co wynika z wyznaczonych współczynników wzmocnienia prądowego.