

Zdejmowanie charakterystyk tranzystora

Zagadnienia do samodzielnego opracowania

1. Rodzaje półprzewodników i ich własności.
2. Model pasmowy półprzewodników.
3. Zasada działania złącza p-n.
4. Zasada działania tranzystora bipolarnego.

Literatura

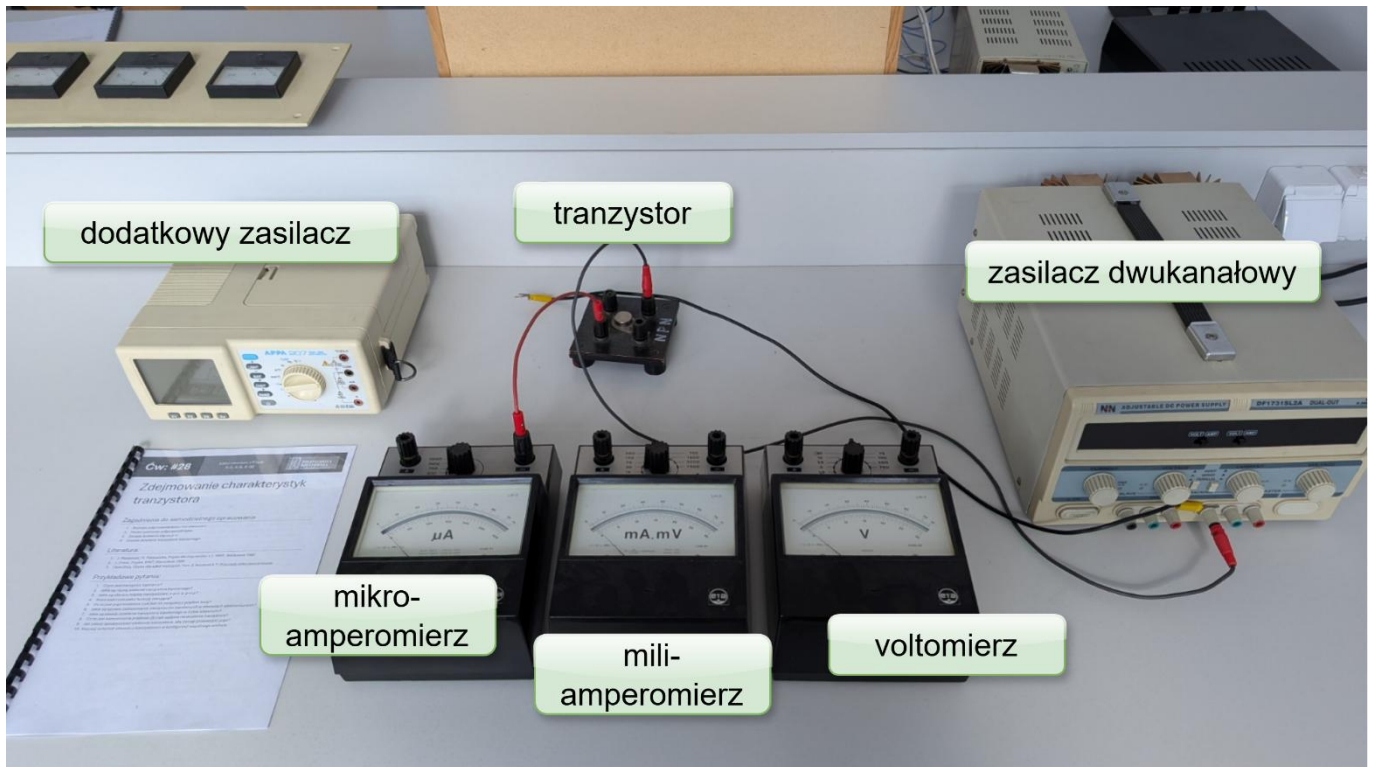
1. J. Massalski, M. Massalska, Fizyka dla inżynierów, t.1, WNT, Warszawa 1980
2. J. Orear, Fizyka, WNT, Warszawa 1990
3. OpenStax, Fizyka dla szkół wyższych. Tom 3, Rozdział 9.7: [Przyrządy półprzewodnikowe](#).

Przykładowe pytania

1. Czym jest tranzystor bipolarny?
2. Jakie są nazwy elektrod tranzystora bipolarnego?
3. Jakie są różnice między tranzystorem $n - p - n$ a $p - n - p$?
4. Omów czym jest złącze $n - p$, jakie są sposoby polaryzacji takiego złącza?
5. Czym jest kontaktowa różnica potencjałów? Jaki jest mechanizm powstawania kontaktowej różnicy potencjału?
6. Która elektroda tranzystora pełni funkcję sterującą?
7. Co to jest prąd kolektora i jak jest on związany z prądem bazy?
8. Jakie są typowe zastosowania tranzystorów bipolarnych w obwodach elektronicznych?
9. Jakie są zasady działania tranzystora bipolarnego w trybie aktywnym?
10. Co to jest wzmocnienie prądowe (β) i jak wpływa na działanie tranzystora?
11. Jak należy spolaryzować elektrody tranzystora, aby zaczął przewodzić prąd?
12. Narysuj schemat obwodu z tranzystorem w konfiguracji wspólnego emitera.

Przyrządy pomiarowe / Stanowisko pomiarowe

Woltomierz, miliamperomierz, mikroamperomierz.



WPROWADZENIE DO TEMATYKI ĆWICZENIA



Działanie tranzystora warstwowego

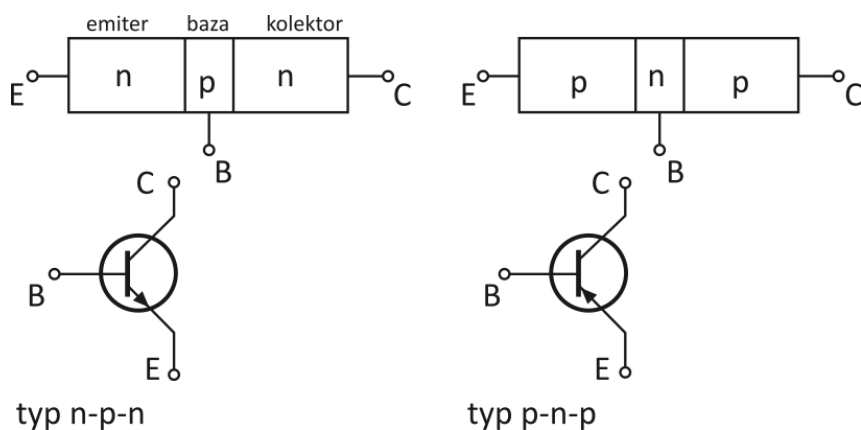
Własności złącza $p - n$ będącego podstawą budowy diody półprzewodnikowej wykorzystano również w konstrukcji triody półprzewodnikowej zwanej tranzystorem. Obecnie stosuje się wiele odmian tranzystorów. Ze względu na sposób sterowania prądem płynącym przez tranzystor, dzieli się je na unipolarne (sterowanie polem elektrycznym) i bipolarne (sterowanie za pomocą prądu płynącego przez jedno ze złącz $p - n$). Poniżej zostanie szczegółowo omówiona zasada działania tranzystorów bipolarnych.



Rys. 1. Przykładowy wygląd tranzystora bipolarnego

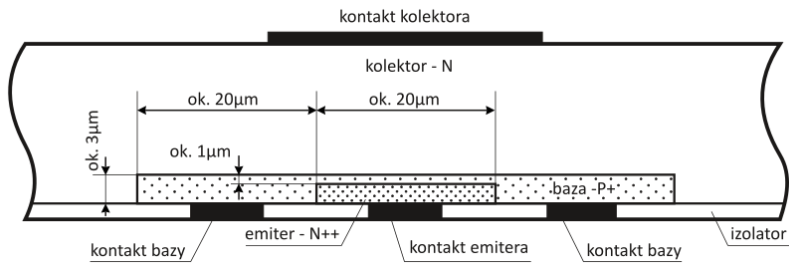
Tranzystor bipolarny posiada dwa złącza $p - n$, utworzone w monokryształe w niewielkiej odległości od siebie. W zależności od rozmieszczenia poszczególnych rodzajów półprzewodnika wyróżniamy tranzystory typu $n - p - n$ i $p - n - p$. Modelowe rozmieszczenie warstw oraz nazwy przedstawiono na

Rys. 2



Rys. 2. Budowa tranzystorów $n-p-n$ i $p-n-p$.

W rzeczywistym tranzystorze układ poszczególnych warstw jest nieco inny i z zachowaniem proporcji został on pokazany na Rys. 3.

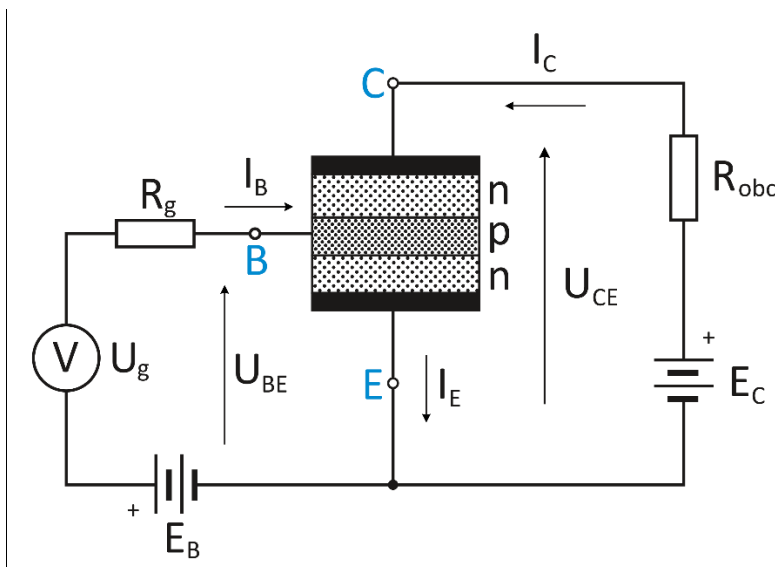


Rys. 3. Przekrój tranzystora z uwzględnieniem proporcji.

Analizując rysunek należy zwrócić uwagę na dwie istotne cechy:

1. Trzy warstwy tranzystora są różnie domieszkowane. Najstąbiej domieszkowany jest kolektor. Wyraźnie silniej domieszkowana jest baza (co zaznaczono plusem przy literze P). Z kolei emiter domieszkowany jest jeszcze dużo silniej niż baza (N z dwoma plusami).
2. Baza – środkowy, najważniejszy obszar tranzystora – jest niezwykle cienka. Podkreślmy, że chodzi tu o obszar "aktywnej bazy" – leżący bezpośrednio między emiternem a kolektorem.

Na Rys. 4 uwidoczniło jeden ze sposobów podłączenia tranzystora do obwodu, który zwiemy układem ze wspólnym emiternem. W takim obwodzie tranzystor pracuje jako wzmacniacz prądowy.

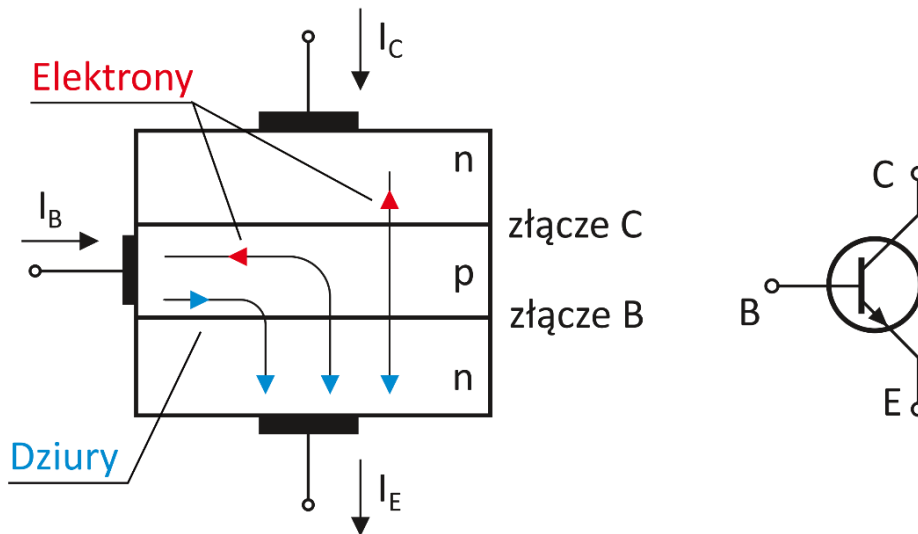


Rys. 4. Schemat podłączenia tranzystora do obwodu ze wspólnym emiternem.

Złącze kolektor-baza jest spolaryzowane zaporowo – (bateria E_C), natomiast złącze baza-emiter – w kierunku przewodzenia (bateria E_B). Na Rys. 5 pokazany jest rozptył prądów w tranzystorze $n - p - n$. W półprzewodnikach możliwy jest przepływ prądu związany z ruchem dwu rodzajów nośników: elektronów i dziur.

Ponieważ złącze baza-emiter (Złącze B) jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia to istnieje przepływ dziur z obszaru p do obszaru n oraz przepływ elektronów z obszaru n do obszaru p . Elektrony

wprowadzane z emitera do bazy stają się tam nośnikami mniejszościowymi i drogą dyfuzji oddalają się od złącza emiterowego, część tych elektronów łączy się z dziurami których w bazie jest stosunkowo dużo (obszar p).



Rys. 5. Rozpływ prądów w tranzystorze $n-p-n$;

Wszystkie elektrony, które dotrą w pobliże złącza kolektor-baza (złącze C) są unoszone do obszaru kolektora. Jeśli szerokość obszaru bazy jest bardzo mała (jest to podstawowy wymóg wyprodukowania dobrego tranzystora) praktycznie wszystkie elektrony wstrzykiwane przez emiter do bazy dotrą do kolektora.

Jak pokazano na Rys. 5 prąd bazy I_B składa się z prądu dziurowego płynącego od bazy do emitera i z prądu wynikającego z rekombinacji dziur w obszarze bazy. Tranzystory wykonywane są tak aby oba te prądy były jak najmniejsze. Osiągane jest to w ten sposób, że obszar emitera jest bardzo silnie domieszkowany i prąd elektronowy złącza baza-emiter jest zdecydowanie większy od prądu dziurowego. W celu zmniejszenia drugiego składnika prądu bazy czyli prądu wywołanego rekombinacją, zmniejsza się obszar bazy. Dodatkowo dla uzyskania jak najmniejszych strat elektronów w bazie w praktyce stosuje się odpowiednie, nierównomierne domieszkowanie tej warstwy – więcej domieszek akceptorowych (jony ujemne) przy emiterze, a mniej przy kolektorze co powoduje pojawienie się dodatkowego pola elektrycznego, które kieruje elektrony w stronę kolektora.

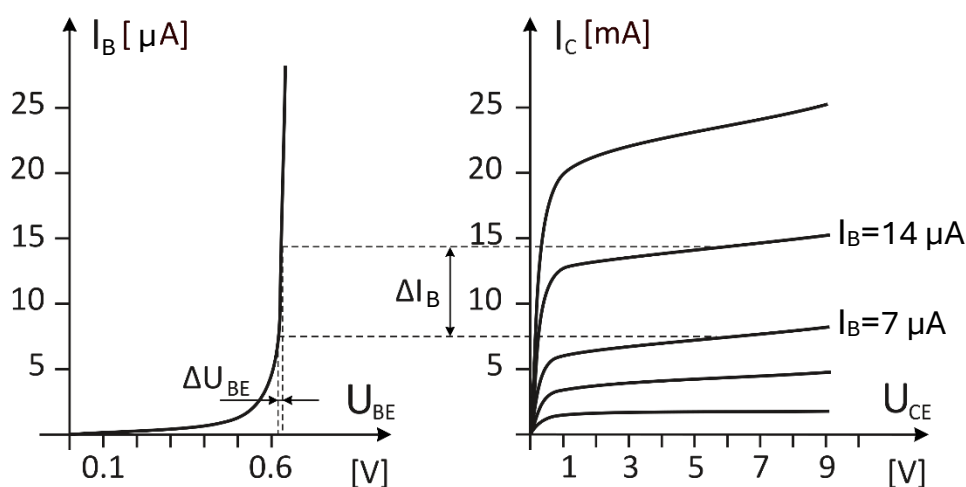
W efekcie prąd bazy I_B ma wartość bardzo małą w porównaniu z prądem kolektora I_C . Można zatem powiedzieć, że mały prąd wejściowy bazy I_B steruje znacznie większym prądem wyjściowym kolektora I_C , a więc następuje efekt wzmocnienia. Możemy zatem zdefiniować współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora jako:

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



Charakterystyki tranzystora bipolarnego

Na Rys. 5 pokazana jest charakterystyka wejściowa $I_B(U_{BE})$ i wyjściowa $I_C(U_{CE})$ tranzystora. Przedstawiają one zależność prądu bazy I_B od napięcia baza-emiter U_{BE} i zależność prądu kolektora I_C od napięcia kolektor-emiter U_{CE} . Napięcie baza-emiter U_{BE} jest parametrem wejściowym. Charakterystyka wyjściowa obejmuje zależność $I_C(U_{CE})$ dla różnych wartości prądów bazy I_B .



Rys. 6. Charakterystyka wejściowa i wyjściowa tranzystora

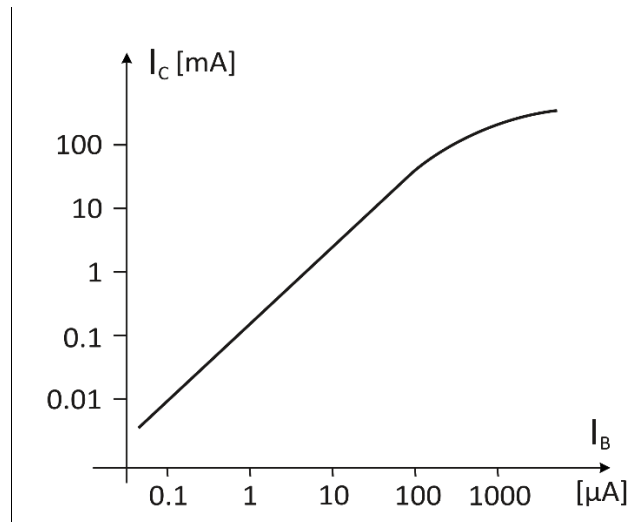
Z charakterystyk tych można wnioskować, że:

- powyżej pewnej wartości napięcia U_{BE} (ok. 0.6 V dla tranzystorów krzemowych) prąd bazy I_B rośnie bardzo szybko.
- powyżej pewnego napięcia prąd kolektora I_C prawie nie zależy od napięcia U_{CE} ,
- do wywołania dużej zmiany prądu kolektora ΔI_C wystarczy mała zmiana napięcia baza-emiter ΔU_{BE}

Punkt, w którym następuje zagięcie charakterystyki wejściowej nazywany jest napięciem nasycenia kolektor-emiter.

Na Rys. 7 przedstawiona jest zależność prądu kolektora I_C od prądu bazy I_B . Wynika z niego, że prąd kolektora jest proporcjonalny do prądu bazy, co zgodne jest z podaną już wcześniej zależnością na współczynnik

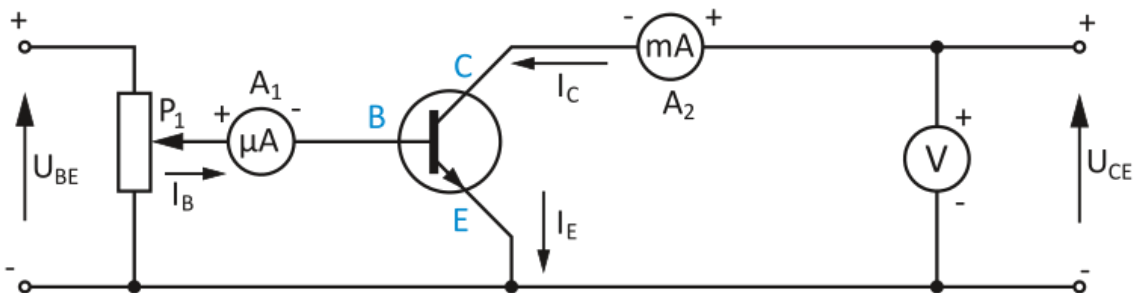
$$\text{wzmocnienia prądowego tranzystora } \beta = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_C = \beta I_B.$$

Rys. 7. Zależności $I_C = f(I_B)$ 

Metodologia wykonanie ćwiczenia / Obliczenia.

Celem ćwiczenia jest otrzymanie charakterystyk statycznych tranzystora bipolarnego w układzie ze wspólnym emiterem.

1. Zmontować układ wg schematu (rysunek). Baza B tranzystora zasilana jest napięciem pobieranym z zasilacza przez dzielnik napięcia P_1 (obecnie układ jest zasilany bezpośrednio ze stabilizowanego zasilacza dwukanatowego i w obwodzie nie ma dzielnika napięcia przedstawionego na rysunku). Mikroamperomierz A_1 mierzy prąd bazy I_b począwszy od kilkudziesięciu mikroamperów do 1 mA. Prąd kolektora I_c płynący przez miliamperomierz A_2 ma wartość kilkunastu miliamperów. Do zasilania kolektora służy zasilacz stabilizowany z możliwością ograniczenia prądu.



Schemat obwodu do zdejmowania charakterystyk tranzystora

2. Zdjąć charakterystykę wzmacnienia $I_c = f(I_b)$ przy $U_{ce} = const$. W tym celu pokrętkiem regulacji napięcia w zasilaczu ustalić odpowiednie napięcie kolektora U_{ce} . Pokrętkiem zasilacza zmieniać prąd bazy I_b i odczytywać odpowiadające mu wartości prądu kolektora I_c . Pomiary powtórzyć dla trzech różnych napięć U_{ce} wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia. (Typowe wartości $U_{ce} = 10 \dots 30 V$)

3. Zdjąć charakterystykę wyjściową $I_c = f(U_{ce})$ przy $I_b = \text{const}$. W tym celu za pomocą pokrętki zasilacza dobrać prąd bazy I_b , dla którego mierzona będzie zależność prądu kolektora od napięcia kolektor-emiter, $I_c = f(U_{ce})$. Napięcie kolektora U_{ce} zmienia się pokrętkiem regulacji napięcia w zasilaczu. Przy odczytywaniu wskazań amperomierza A_2 i woltomierza należy sprawdzić na amperomierzu A_1 , czy nie ulega zmianie prąd bazy i ewentualnie skorygować go odpowiednim pokrętkiem. Pomiary należy przeprowadzić dla trzech wartości prądu bazy I_b wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia. (Typowe wartości $I_b = 50 \dots 300 \mu\text{A}$)



Tabela pomiarowa dla stałej wartości napięcia U_{ce} :

$U_{ce} = \dots\dots\dots [\text{V}]$		$U_{ce} = \dots\dots\dots [\text{V}]$		$U_{ce} = \dots\dots\dots [\text{V}]$	
I_b [μA]	I_c [mA]	I_b [μA]	I_c [mA]	I_b [μA]	I_c [mA]



Tabela pomiarowa dla stałej wartości prądu I_b :

$I_b = \dots\dots\dots[\mu\text{A}]$		$I_b = \dots\dots\dots[\mu\text{A}]$		$I_b = \dots\dots\dots[\mu\text{A}]$	
U_{ce}	I_c	U_{ce}	I_c	U_{ce}	I_c
[V]	[mA]	[V]	[mA]	[V]	[mA]

4. Sporządzić wykres zależności $I_c = f(I_b)$ dla trzech napięć U_{ce} i wykres $I_c = f(U_{ce})$ dla trzech prądów I_b . Na wykresach zaznaczyć niepewności pomiarowe obliczone metodą typu B.
5. Wyznaczyć współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora β . W tym celu do punktów pomiarowych $I_c(I_b)$ dopasować linię prostą metodą najmniejszych kwadratów. Niepewność $u(\beta)$ wyznaczyć z metody najmniejszych kwadratów.
6. We wnioskach zapisać poprawnie zaokrąglone wzmocnienie z jego niepewnością.