

Politechnika Rzeszowska  
im. Ignacego Łukasiewicza



Instrukcja do laboratorium

*POMIAR CHARAKTERYSTYK STATYCZNYCH TRANZYSTORA BIPOLARNEGO*

## ZAWARTOŚĆ

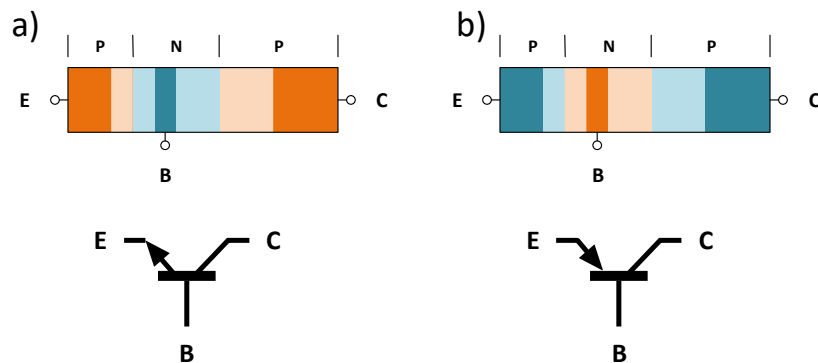
---

---

Wprowadzenie .....	3
Elementy składowe modułu TB-SC.....	6
Zadanie 1 .....	7
Zadanie 2 .....	8
Zadanie 3 .....	9
Opracowanie wyników pomiarowych.....	10

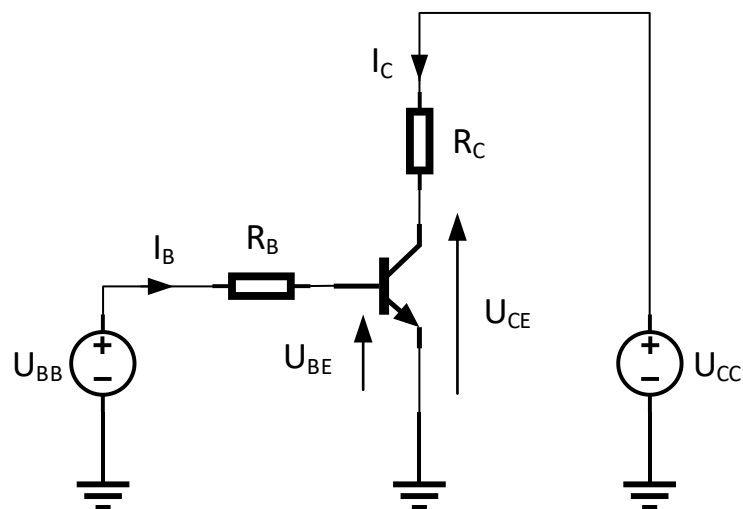
## WPROWADZENIE

Nazwa **tranzystor** wywodzi się z języka angielskiego i jest skrótem od wyrażenia TRANSfer resISTOR, co oznacza element transformujący rezystancję. Tranzystor bipolarny to trójkońcówkowy przyrząd półprzewodnikowy, zbudowany z dwóch złącz p-n znajdujących się w bardzo małej odległości od siebie ( $< 1\mu\text{m}$ ). Złącza te tworzą trzy obszary aktywne tranzystora: emiter (E), bazę (B) oraz kolektor (C). Wyróżniamy dwa typy tranzystorów: n-p-n oraz p-n-p. Ich symbole oraz schematyczna budowa są przedstawione na rysunku 1.



**RYSUNEK 1** BUDOWA ORAZ SYMBOL TRANZYSTORÓW: A) NPN, B) PNP.

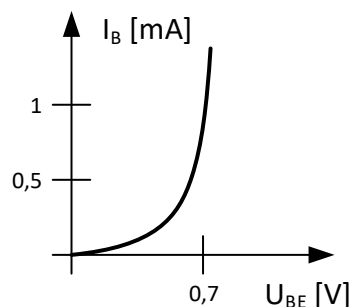
Do poprawnej pracy tranzystor wymaga odpowiedniej polaryzacji, poprzez podłączenie zewnętrznych źródeł napięcia. Złącze BE powinno być spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a złącze CB – w kierunku zaporowym. Tranzystor wówczas pracuje w stanie aktywnym. Sytuacja taka jest obrazowo zilustrowana na rysunku 2 na przykładzie tranzystora typu n-p-n.



**RYSUNEK 2** TRANZYSTOR NPN PRACUJĄCY W STANIE AKTYWNYM NORMALNYM.

W tym stanie wartość prądu kolektora  $I_C$  jest sterowana prądem bazy  $I_B$  tranzystora. Ponadto, jako że prąd  $I_C$  jest jednocześnie prądem złącza p-n spolaryzowanego zaporowo, jego wartość nie zależy od napięcia  $U_{CB}$ . Można więc założyć, że tranzystor jest źródłem prądu sterowanym prądem, gdzie prąd kolektora  $I_C$  jest prądem wyjściowym, a prąd bazy  $I_B$  – prądem sterującym.

Prąd bazy tranzystora determinowany jest przez napięcie baza-emiter tranzystora. Zależność prądu bazy  $I_B$  od napięcia  $U_{BE}$  tranzystora nazywamy charakterystyką przejściową. Jej przykład przedstawiono na rysunku 3.



**RYSUNEK 3** PRZYKŁADOWA CHARAKTERYSTYKA WEJŚCIOWA TRANZYSTORA.

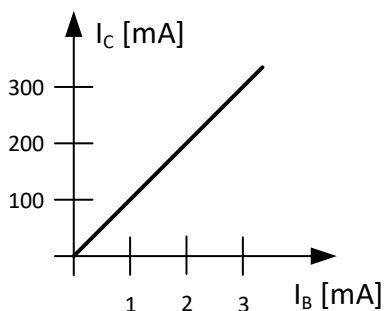
Ze względu na dużą stromość charakterystyki – nagły wzrost prądu przy napięciu  $U_{BE} = 0,7V$ , częstą praktyką jest dodawanie szeregowej rezystancji  $R_B$  pomiędzy źródłem napięcia  $U_{BB}$  a bazą tranzystora (rys. 2). Wówczas, prąd bazy można przybliżyć zależnością (2).

$$I_B = \frac{U_{BB} - 0,7}{R_B} \quad (1)$$

Zależność pomiędzy prądem bazy  $I_B$  a prądem kolektora  $I_C$  zwana jest charakterystyką przejściową tranzystora (rysunek 4). Jest ona dana wzorem:

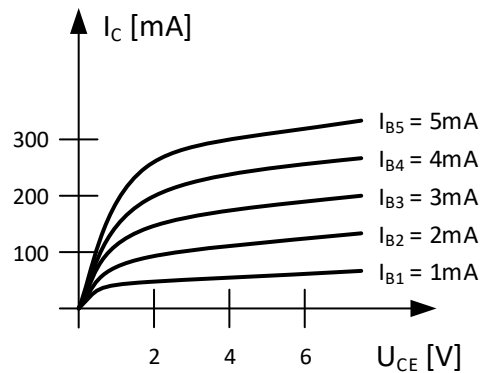
$$I_C = \beta \cdot I_B, \quad (2)$$

gdzie parametr  $\beta$  to współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora. Jego wartość jest zależna od konkretnego typu i modelu tranzystora, mieści się w zakresie od kilkudziesięciu do kilkuset.



**RYSUNEK 4** PRZYKŁADOWA CHARAKTERYSTYKA PRZEJŚCIOWA TRANZYSTORA.

Charakterystyką wyjściową tranzystora nazywamy zależność prądu  $I_C$  od napięcia kolektor-emitery  $U_{CE}$ , przy danym prądzie bazy  $I_B$ . Ze względu na zależność prądu kolektora od dwóch parametrów, charakterystykę wyjściową przedstawia się jako rodzinę charakterystyk  $I_C = f(U_{CE})$  dla różnych prądów bazy  $I_B$ . Przykładowa rodzina charakterystyk jest przedstawiona na rysunku 5.



**RYСУNEK 5** PRZYKŁADOWA RODZINA CHARAKTERYSTYK WYJŚCIOWYCH TRANZYSTORA BIPOLARNEGO.

Tranzystor bipolarny to podstawowy element elektroniki, który może pełnić rolę wzmacniacza, przełącznika, generatora lub elementu regulacyjnego. Choć dziś często zastępowany jest tranzystorami MOSFET w układach mocy i cyfrowych, to wciąż znajduje szerokie zastosowanie w analogowych układach precyzyjnych, małosygnałowych i pomiarowych.

### Zastosowania tranzystora bipolarnego

#### 1. Wzmacniacze sygnałów

- w układach audio (wzmacniacze niskiej częstotliwości),
- w radiu i telekomunikacji (wzmacniacze wysokiej częstotliwości),
- w przedwzmacniaczach do mikrofonów i czujników.

#### 2. Układy przełączające (kluczowe)

- sterowanie diodami LED, silnikami, przekaźnikami,
- tranzystor jako element wykonawczy w prostych układach logicznych,
- zastosowanie w starszych układach cyfrowych TTL.

#### 3. Generatory i oscylatory

- budowa generatorów RC, LC, kwarcowych,
- multibratory (astabilne, monostabilne, bistabilne).

#### 4. Regulacja i stabilizacja

- stabilizatory napięcia (jako element regulacyjny),
- źródła prądowe,
- układy polaryzacji i biasowania w elektronice analogowej.

#### 5. Układy specjalne

- fototranzystory (czujniki światła),
- tranzystory dużej mocy do wzmacniaczy końcowych i nadajników,
- czujniki temperatury (spadek napięcia baza-emiter zależy od temperatury).

## ELEMENTY SKŁADOWE MODUŁU TB-SC

W skład modułu do pomiarów charakterystyk statycznych tranzystora bipolarnego TB-SC (rys. 6) wchodzi:

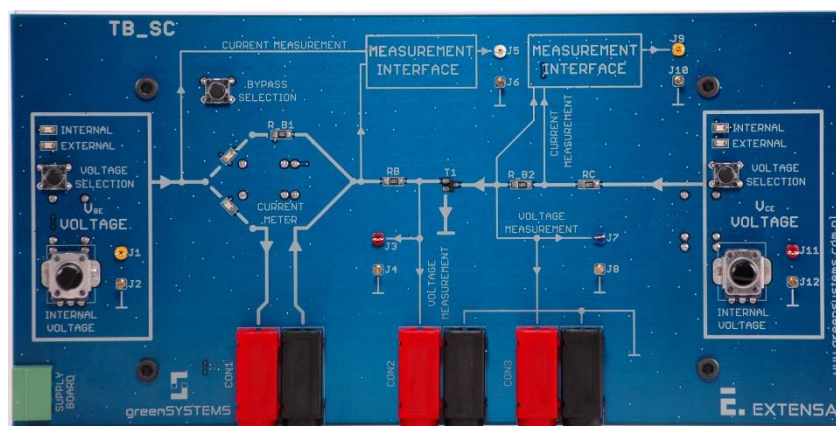
**Dwa regulowane zasilacze stabilizowane** napięcia wyjściowe zasilaczy można regulować w zakresie od około 300mV do 8V. Regulacji napięcie dokonujemy za pomocą liniowego potencjometru obrotowego lub za pomocą zewnętrznego sygnału napięciowego 0-5V DC. Wybór sposobu regulacji realizowany jest za pomocą przełącznika *Voltage Selection*.

**Dwa boczniaki** o rezystancji  $10\text{k}\Omega$  ( $R_{B1}$ ) i  $10\Omega$  ( $R_{B2}$ ) pozwalające na pomiar natężenia prądu w obwodzie bazy i obwodzie kolektora badanego tranzystora. Dodatkowo prąd w obwodzie bazy można mierzyć z wykorzystaniem zewnętrznego amperomierza podłączonego do zacisków CON1. W przypadku pomiaru z wykorzystaniem bocznika  $R_{B1}$  należy wypiąć amperomierz ze złącza CON1. Wybór trybu pomiaru prądu w obwodzie bazy następuje przy użyciu przełącznika *Bypass Selection*.

**Dwa rezystory** o rezystancji  $150\Omega$  (RC) i  $100\text{k}\Omega$  (RB).

**Tranzystor bipolarny** BC847B (T1)

**Dwa wzmacniacze pomiarowe** o wzmocnieniu 4,7 V/V (wzmacniacz z wyjściem na zaciskach J5 i J6), oraz 47 V/V (wzmacniacz z wyjściem na zaciskach J9 i J10). Zakres napięć wyjściowych dla obu wzmacniaczy zawiera się w przedziale od -5V do 10V.

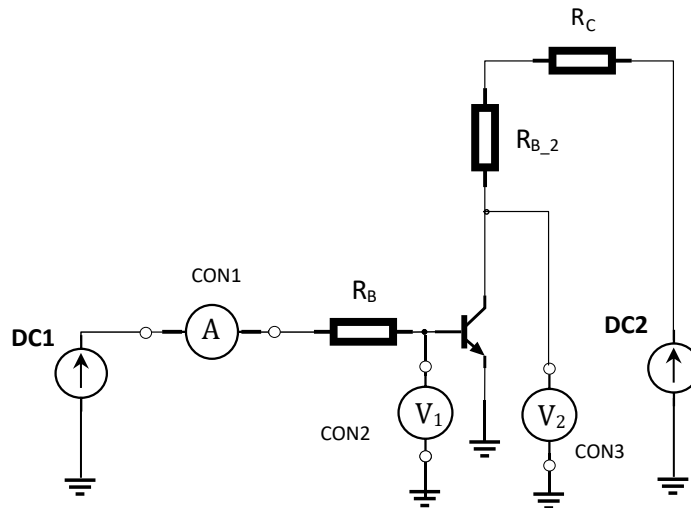


RYSUNEK 6 MODUŁ TB-SC

## ZADANIE 1

**Pomiar rodziny charakterystyk wejściowych tranzystora bipolarnego  $I_B = f(I_{BE})$ .**

1. Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 7.
2. Zmieniając napięcie źródła DC1 w pełnym zakresie regulacji wykonać 10 pomiarów prądu  $I_B$  oraz napięć  $U_{BE}$  i  $U_{CE}$ . Pomiar powtórzyć dla trzech wybranych wartości napięcia DC2. Zbadać wpływ napięcia źródła DC2 na charakterystyki  $I_B = f(I_{BE})$ .
3. Uzyskane pomiary zanotować w tabeli.



RYSUNEK 7 SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

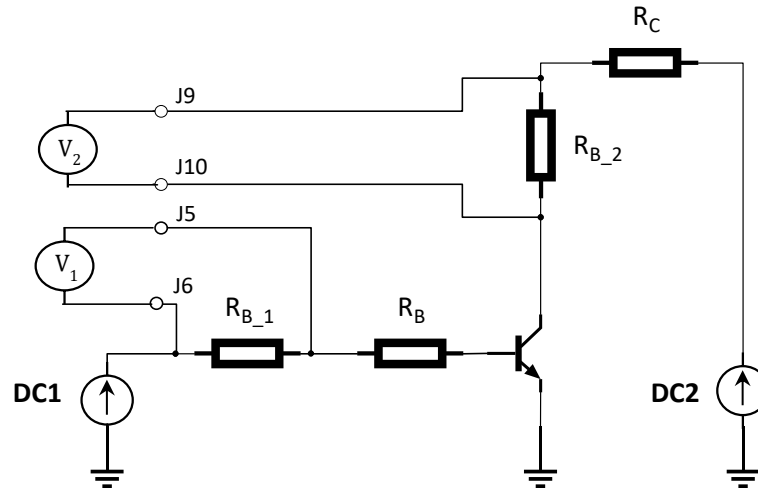
**Tabela 1** Pomiar charakterystyki wejściowej tranzystora

$U_{DC2}$	$I_B$	$\Delta_G A$	$U_{BE}$	$\Delta_G V_1$	$U_{CE}$	$\Delta_G V_2$	$u(I_B)$	$u(U_{BE})$	$u(U_{CE})$
	[mA]	[mA]	[V]	[mV]	[V]	[mV]	[mA]	[mV]	[mV]
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

## ZADANIE 2

Pomiar rodziny charakterystyk przejściowych tranzystora bipolarnego  $I_C = f(I_B)$ .

- Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 8.



RYSUNEK 8 SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

- Zmieniając napięcie źródła DC1 w pełnym zakresie regulacji wykonać 10 pomiarów prądów  $I_B$ ,  $I_C$  oraz napięcia  $U_{CE}$  w celu wyznaczenia charakterystyki  $I_C = f(I_B)$ . Pomiar powtórzyć dla trzech wybranych wartości napięcia DC2. W przypadku korzystania z pośredniej metody pomiaru prądu należy pamiętać o uwzględnieniu parametrów toru pomiarowego. W torze pomiaru prądu  $I_B$ :  $R_{B_1} = 10\text{k}\Omega$ , wzmacnienie interfejsu pomiarowego  $A = 4.7\text{V/V}$ . Prąd obliczamy za wzoru  $I_B = U_{V1} / (A \cdot R_{B_1})$ . W torze pomiaru prądu  $I_C$ :  $R_{B_2} = 10\Omega$ , wzmacnienie interfejsu pomiarowego  $B = 47\text{V/V}$ . Prąd obliczamy za wzoru  $I_C = U_{V2} / (B \cdot R_{B_2})$ .
- Uzyskane pomiary zanotować w tabeli. Do obliczeń niepewności pomiaru prądów  $I_B$ ,  $I_C$  przyjąć 5% tolerancję wykonania rezystorów obciążenia  $R_{B_1}$  i  $R_{B_2}$ . Wylczyć współczynnik wzmacnienia prądowego  $\beta$ .

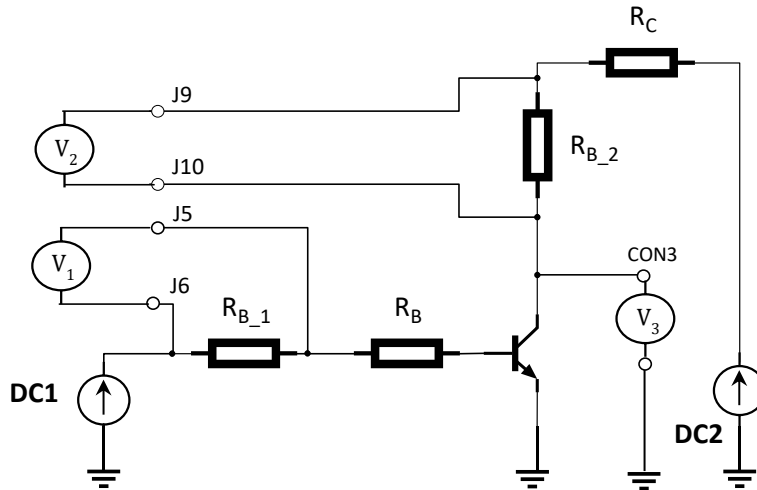
Tabela 2 Pomiar charakterystyki przejściowej tranzystora

$U_{DC2}$	$U_{V1}$	$\Delta_G V_1$	$U_{V2}$	$\Delta_G V_2$	$I_B$	$I_C$	$u(I_B)$	$u(I_C)$	$\beta$	$u(\beta)$
	[V]	[mV]	[V]	[mV]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	-	-
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

## ZADANIE 3

**Pomiar rodziny charakterystyk wyjściowych tranzystora bipolarnego  $I_C = f(U_{CE})$ .**

1. Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 9.



RYSUNEK 9 SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

2. Zmieniając napięcie źródła DC2 w pełnym zakresie regulacji wykonać 10 pomiarów prądów  $I_C$  oraz napięcia  $U_{CE}$  w celu wyznaczenia charakterystyki  $I_C = f(U_{CE})$ . Pomiar powtórzyć dla pięciu wybranych wartości prądu  $I_B$  zadanego źródłem napięcia DC1. W przypadku korzystania z pośredniej metody pomiaru prądu należy pamiętać o uwzględnieniu parametrów toru pomiarowego. W torze pomiaru prądu  $I_B$ :  $R_{B_1}=10\text{k}\Omega$ , wzmocnienie interfejsu pomiarowego  $A=4.7\text{V/V}$ . Prąd obliczamy za wzoru  $I_B=U_{V1}/(A \cdot R_{B_1})$ . W torze pomiaru prądu  $I_C$ :  $R_{B_2}=10\Omega$ , wzmocnienie interfejsu pomiarowego  $B=47\text{V/V}$ . Prąd obliczamy za wzoru  $I_C=U_{V2}/(B \cdot R_{B_2})$ .
3. Uzyskane pomiary zanotować w tabeli. Do obliczeń niepewności pomiaru prądów  $I_B$ ,  $I_C$  przyjąć 5% tolerancję wykonania rezystorów obciążenia  $R_{B_1}$  i  $R_{B_2}$ .

**Tabela 3** Pomiar charakterystyki wyjściowej tranzystora

$U_{DC1}$	$U_{V1}$	$\Delta_G V_1$	$U_{V2}$	$\Delta_G V_2$	$U_{CE}$	$\Delta_G V_3$	$I_B$	$I_C$	$u(I_B)$	$u(I_C)$	$u(U_{BE})$
	[V]	[mV]	[V]	[mV]	[V]	[mV]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mV]
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

## OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIAROWYCH

---

**Każda osoba z zespołu przygotowuje własne sprawozdanie zawierające:**

- stronę tytułową (według wzoru z zajęć wprowadzających),
- wstęp teoretyczny zawierający najważniejsze według osoby przygotowującej sprawozdanie informacje i wzory wykorzystywane w obliczeniach,
- tabele pomiarowo/obliczeniowe,
- pod tabelami obowiązkowo przykładowe obliczenia wyznaczanych parametrów i ich niepewności,
- wnioski i uwagi.

Do teczki zespołu laboratoryjnego należy dołączyć 1 egz. podpisanych przez prowadzącego tabel pomiarowych.

**Szczegółowy zakres czynności:**

1. Na podstawie wyników uzyskanych w zadaniu pierwszym sporządzić rodzinę charakterystyk  $I_B = f(U_{BE})$ . Obliczyć niepewności pomiarowe i zaznaczyć je na charakterystykach. Przeanalizować i skomentować wpływ napięcia  $U_{CE}$  na charakterystyki.
2. Na podstawie wyników uzyskanych w zadaniu drugim sporządzić rodzinę charakterystyk  $I_C = f(I_B)$ . Obliczyć niepewności pomiarowe i zaznaczyć je na charakterystykach. Wyznaczyć współczynnik wzmocnienia prądowego  $\beta$  badanego tranzystora.
3. Na podstawie wyników uzyskanych w zadaniu trzecim sporządzić rodzinę charakterystyk  $I_C = f(U_{CE})$ . Obliczyć niepewności pomiarowe i zaznaczyć je na charakterystykach.

## 9. POMIAR CHARAKTERYSTYK STATYCZNYCH TRANZYSTORA BIPOLARNEGO

**Zadanie pomiarowe** – zaprojektuj i przeprowadź badania charakterystyk statycznych tranzystora bipolarnego.

Przeprowadź pomiary charakterystyk wejściowych, przejściowych i wyjściowych tranzystora bipolarnego. Określ współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora. Sporządź wykresy zmierzonych charakterystyk z uwzględnieniem wyliczonych niepewności pomiarowych.

### LAB 9. POMIAR CHARAKTERYSTYK STATYCZNYCH TRANZYSTORA BIPOLARNEGO

1. Półprzewodniki samoistne i domieszkowane - omówić
2. Zasada działania tranzystora bipolarnego npn.
3. Charakterystyka wejściowa tranzystora – narysować i omówić.
4. Charakterystyka przejściowa tranzystora – narysować i omówić.
5. Charakterystyka wyjściowa tranzystora – narysować i omówić.