

Wykład VIII
TRANZYSTOR
BIPOLARNY
i
FOTOTRANZYSTOR

Tranzystor

Trójkońcówkowy półprzewodnikowy element elektroniczny, posiadający zdolność wzmacniania sygnału elektrycznego.

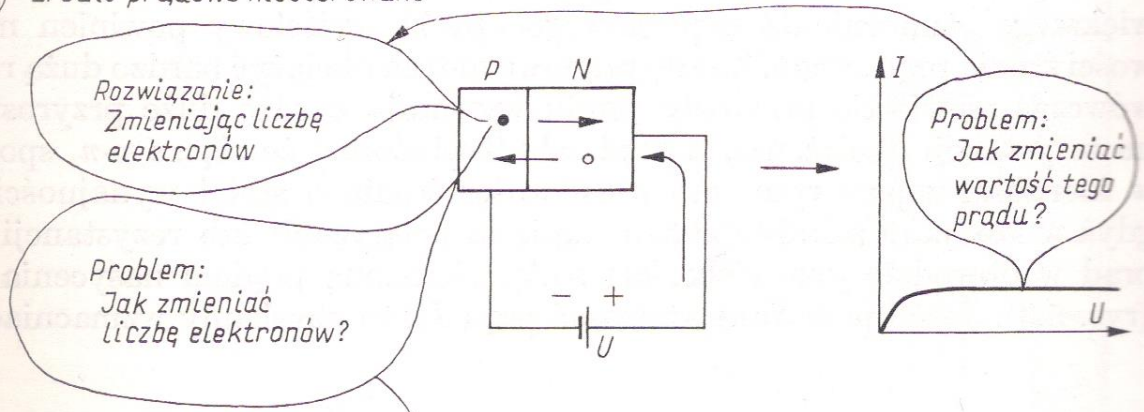
Nazwa tranzystor pochodzi z angielskiego zwrotu "transfer resistor", który oznacza element transformujący rezystancję.

Wyróżnia się dwie główne grupy tranzystorów, które różnią się zasadniczo zasadą działania:

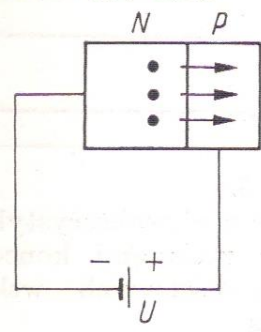
- 1. Tranzystory bipolarne, w których prąd wyjściowy jest funkcją prądu wejściowego (sterowanie prądowe).**
- 2. Tranzystory unipolarne (tranzystory polowe), w których prąd wyjściowy jest funkcją napięcia (sterowanie napięciowe).**

Idea tranzystora bipolarnego

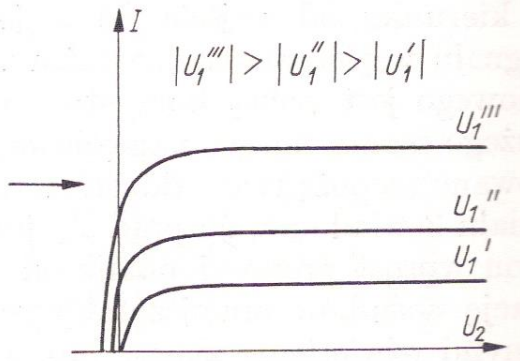
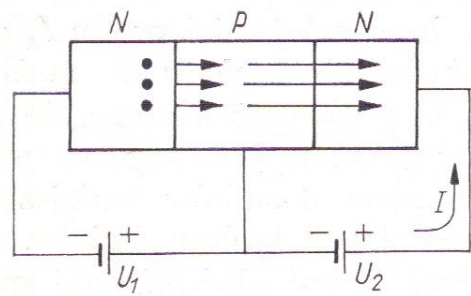
a) Źródło prądowe niesterowane



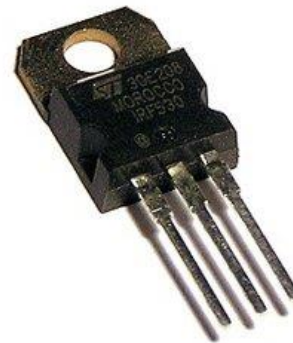
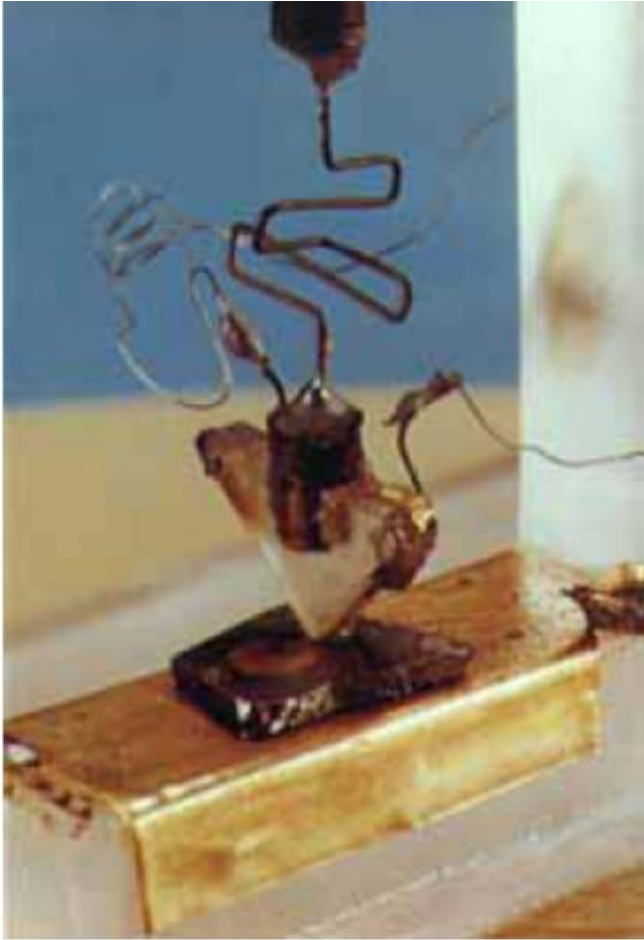
b) Sposób sterowania



c) Sterowane źródło prądowe - tranzystor

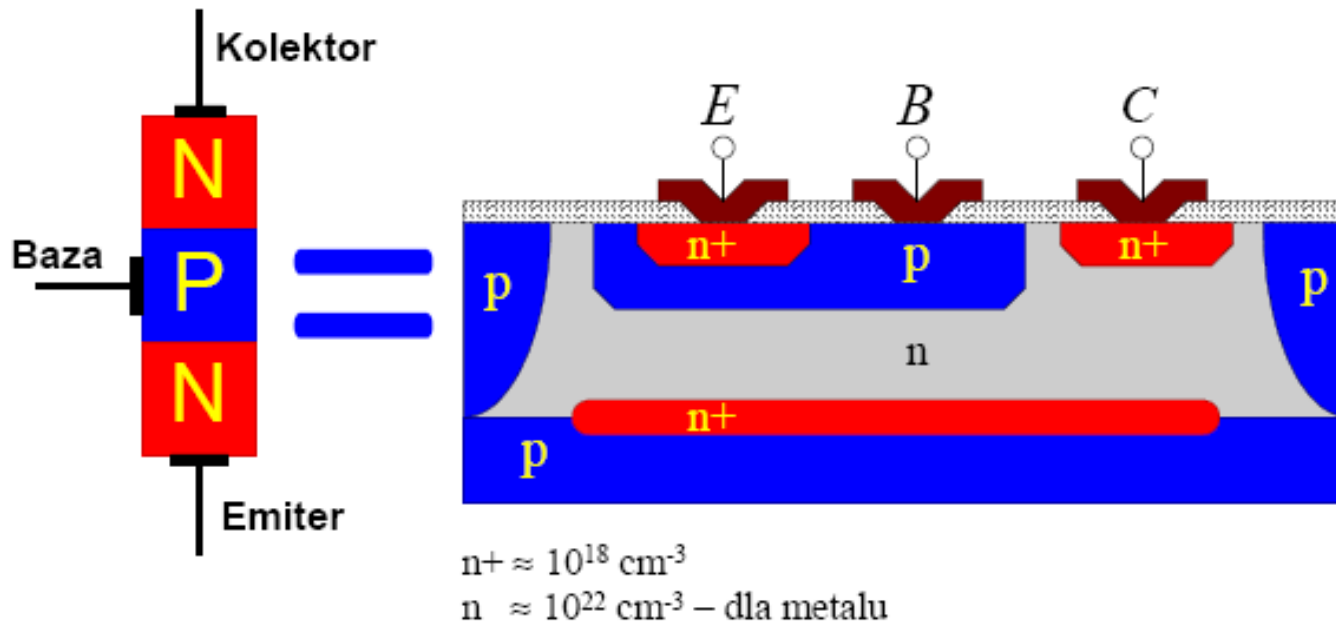


Tranzystory (jako elementy dyskretne)

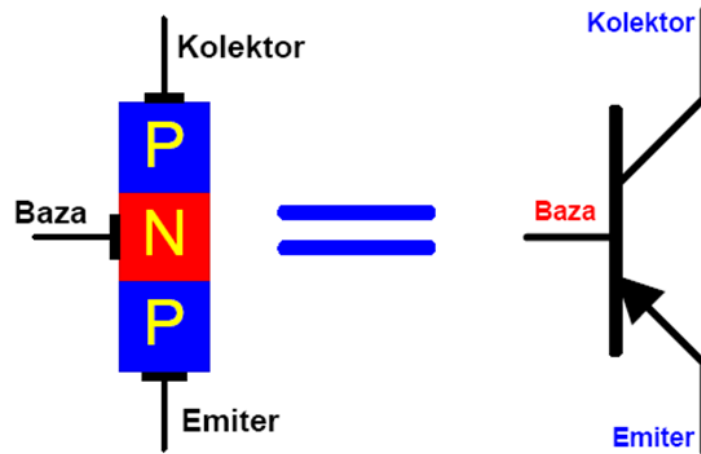


Budowa tranzystora bipolarnego npn

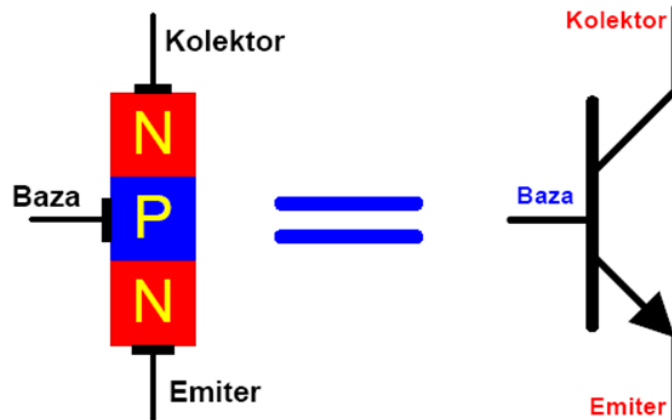
BJT – Bipolar Junction Transistor



Symbol graficzny tranzystora bipolarnego pnp

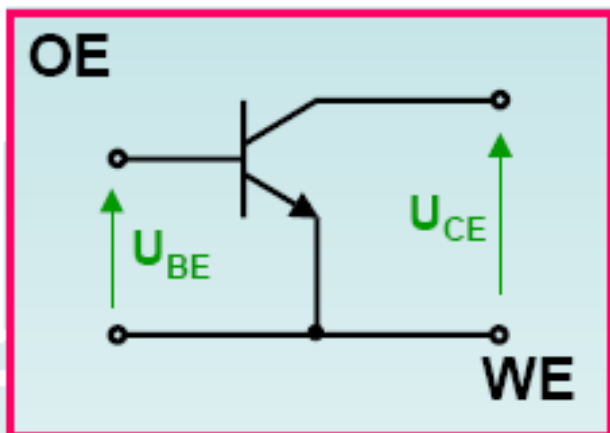


Symbol graficzny tranzystora bipolarnego npn

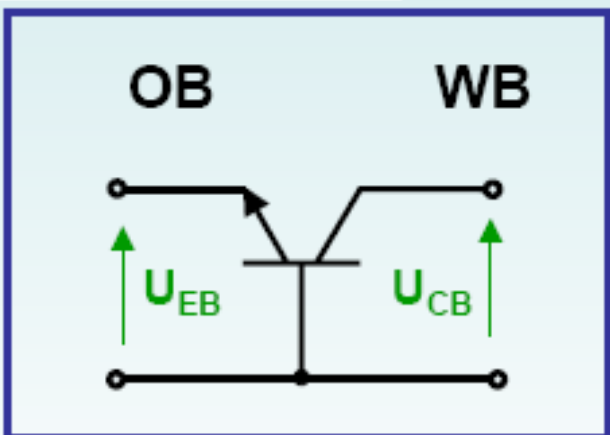


Tranzystor bipolarny (BJT) npn – układy połączeń

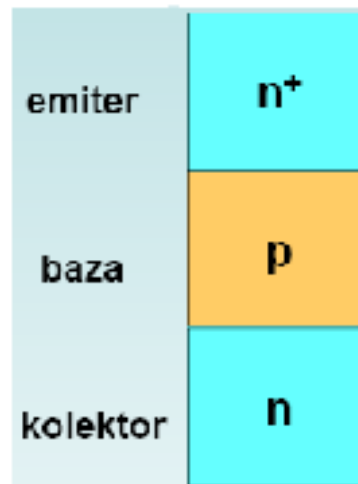
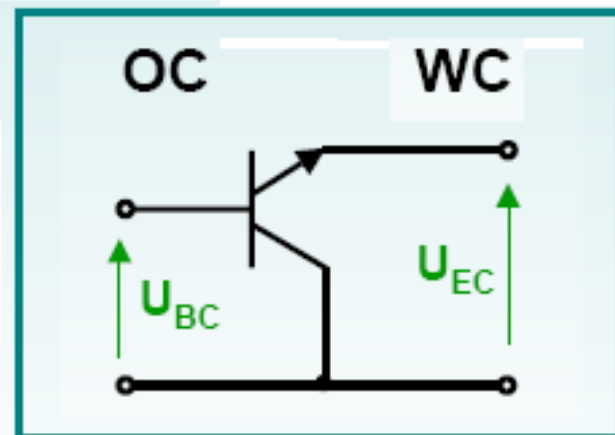
wspólny emiter



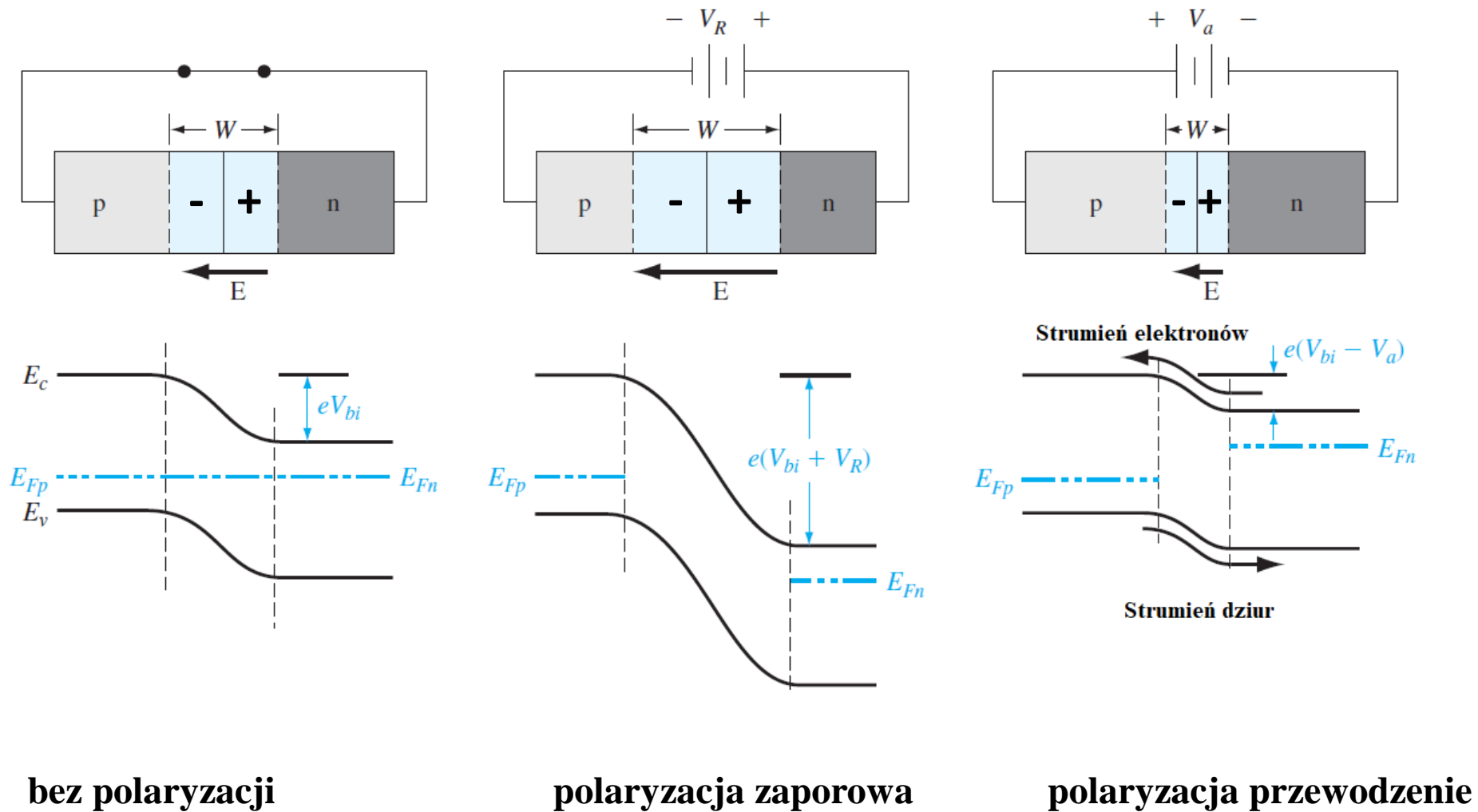
wspólna baza



wspólny kolektor



Polaryzacja złącza p-n

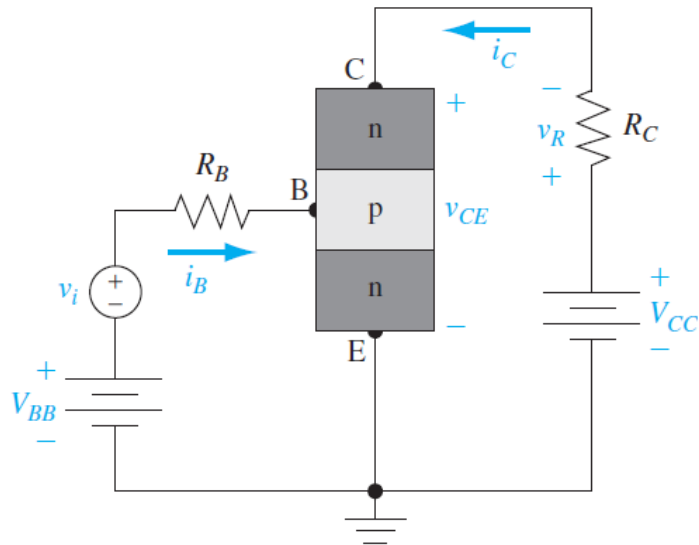


bez polaryzacji

polaryzacja zaporowa

polaryzacja przewodzenie

Tranzystor



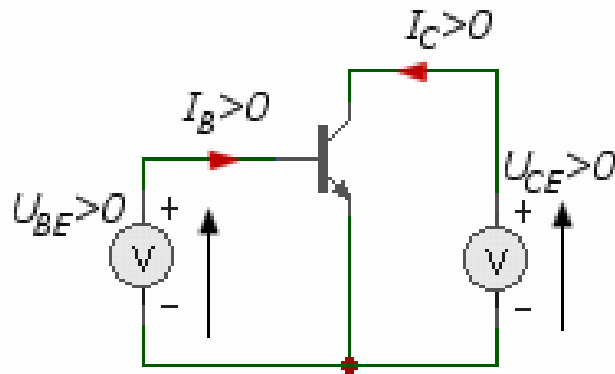
Urządzenie to najczęściej pracuje w układzie wspólnego emitera. Tranzystor n-p-n w układzie o wspólnym emiterze, pracuje w ten sposób, że złącze emiter-baza jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia a emiter-kolektor w kierunku zaporowym. Przez złącze p-n spolaryzowane w kierunku przewodzenia (baza-emiter) płynie duży prąd nośników większościowych, elektronów z n do p i dziur z p do n. Prąd elektronowy w obszarze bazy (p) jest prądem nośników mniejszościowych, który z kolei jest dominującym prądem gdy złącze jest spolaryzowane w kierunku zaporowym. Pole elektryczne wzmacnia ten prąd. W ten sposób w tranzystorze uzyskuje się duże wzmocnienie prądowe: prąd kolektora jest zwykle dwa rzędy większy od prądu bazy.

Tranzystor w stanie normalnym

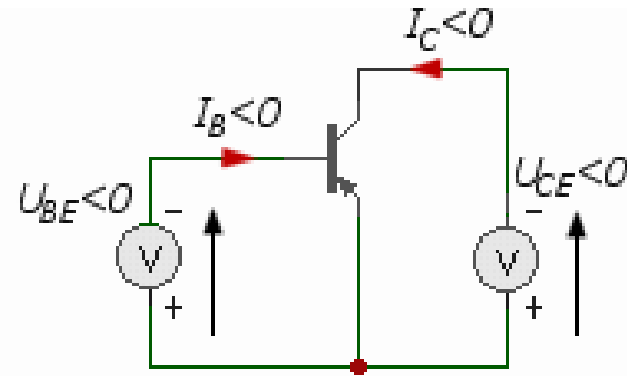
Aby tranzystor znajdował się w stanie normalnej pracy to muszą być spełnione następujące warunki:

- dla tranzystora npn potencjał kolektora musi być wyższy od potencjału emitera,
- dla tranzystora pnp potencjał kolektora musi być niższy od potencjału emitera,
- „dioda” baza-emiter musi być spolaryzowana w kierunku przewodzenia, a „dioda” kolektor-baza/emiter w kierunku zaporowym,
- nie mogą zostać przekroczone maksymalne wartości I_C , I_B , U_{CE} , moc wydzielana na kolektorze $I_C \cdot U_{CE}$, temperatura pracy czy też napięcie U_{BE} .

npn



pnp

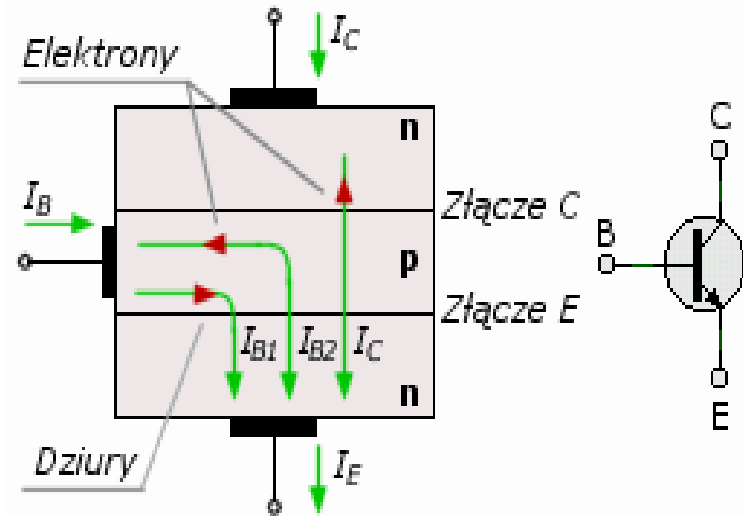
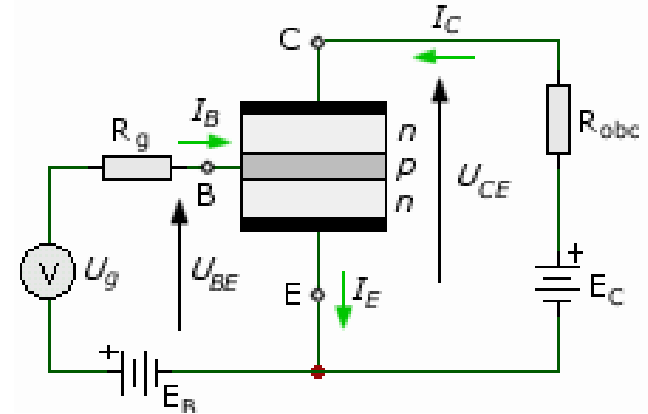


Tranzystor pracujący w układzie wzmacniacza

Złącze kolektor-emiter jest spolaryzowane zaporowo (bateria E_C), natomiast złącze baza-emiter w kierunku przewodzenia (bateria E_B)

Rozpływ prądu w tranzystorze npn. Ponieważ złącze baza-emiter jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia to istnieje przepływ dziur z obszaru p do obszaru n I_{B1} oraz przepływ elektronów z obszaru n do obszaru p I_{B2} .

Elektrony wprowadzane z emitera do bazy stają się tam nośnikami **mniejszościowymi** i drogą dyfuzji oddalają się od złącza emiterowego (**złącze E**). Część tych elektronów łączy się z dziurami, których w bazie jest bardzo dużo (obszar p). Wszystkie elektrony, które dotrą w pobliże złącza kolektor-baza (**złącze C**) są unoszone do obszaru kolektora. Dla niedużej szerokości obszaru p (bazy) praktycznie wszystkie elektrony wstrzykiwane przez emiter do bazy dotrą do kolektora. Bardzo ważne jest aby strata elektronów w bazie była jak najmniejsza.



Wzmocnienie prądowe

Jeżeli tranzystor jest w stanie normalnej pracy:

$$\alpha = \frac{I_C - I_{C_0}}{I_E}$$

I_{C_0} jest prądem złącza kolektorowego spolaryzowanego zaporowo przy $I_B = 0$

$$I_C + I_B = I_E \qquad I_C = \frac{I_{C_0}}{1-\alpha} + \frac{\alpha I_B}{1-\alpha}$$

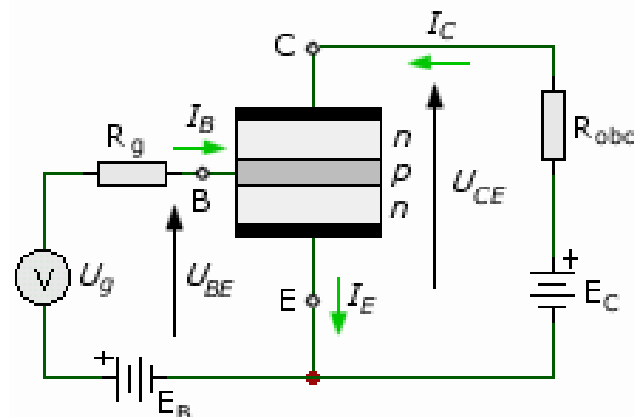
$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \qquad I_C = (1 + \beta)I_{C_0} + \beta I_B$$

$$I_C = \beta I_B$$

Współczynnik β może przyjmować wartości od 50 do 300A/A dla tego samego typu tranzystora, a więc nie jest dobrym parametrem na którym można opierać parametry projektowanego układu.

Charakterystyki statyczne

W zależności od sposobu włączenia tranzystora (wspólny emiter, wspólna baza, wspólny kolektor) otrzymujemy różne rodziny charakterystyk statycznych. Przykładowo, dla tranzystora bipolarnego npn w układzie wspólnego emitera:



charakterystyki wejściowe:

$$I_B = f(U_{BE}) \Big|_{U_{CE} = \text{const}}$$

charakterystyki wyjściowe:

$$I_C = f(U_{CE}) \Big|_{I_B = \text{const}}$$

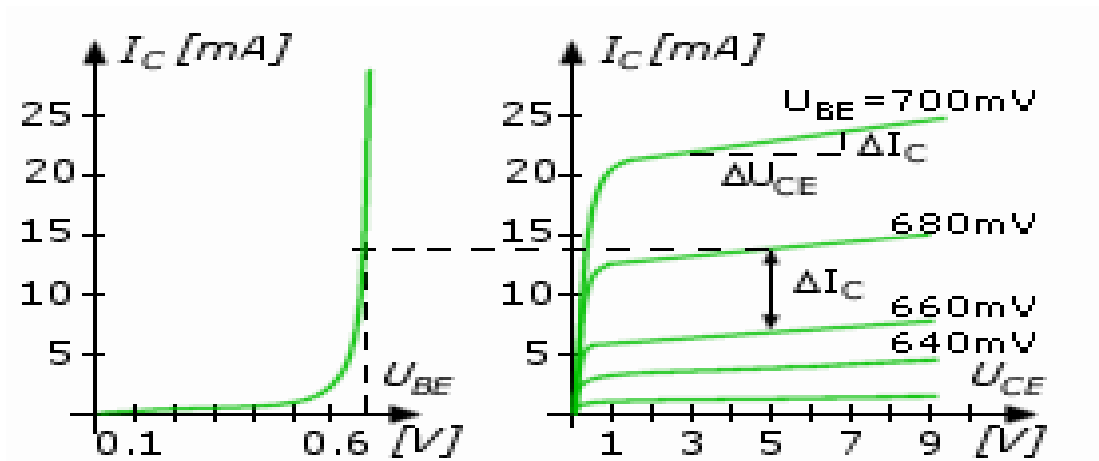
charakterystyki przejściowe:

$$I_C = f(I_B) \Big|_{U_{CE} = \text{const}}$$

charakterystyki zwrotne:

$$U_{BE} = f(U_{CE}) \Big|_{I_B = \text{const}}$$

Charakterystyki statyczne OE



Charakterystyka przejściowa

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_C = I_{C_0}(T, U_{CE}) \exp\left(\frac{qU_{BE}}{kT}\right)$$

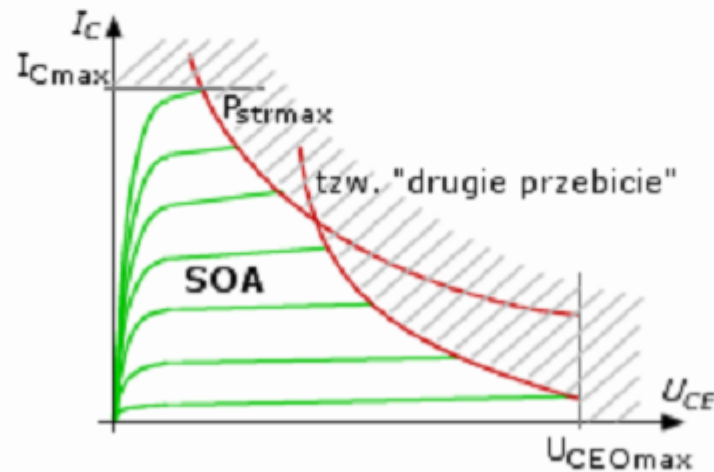
Charakterystyka wyjściowa

- powyżej pewnego napięcia prąd kolektora prawie nie zależy od napięcia U_{CE}
- do wywołania dużej zmiany prądu kolektora I_C wystarczy mała zmiana napięcia baza-emiter U_{BE}

Paramtry graniczne tranzystora

Tranzystory, tak zresztą jak inne elementy elektroniczne, mają charakterystyczne dla siebie parametry graniczne, tzn. takie których przekroczenie grozi uszkodzeniem tranzystora. Do takich parametrów należą:

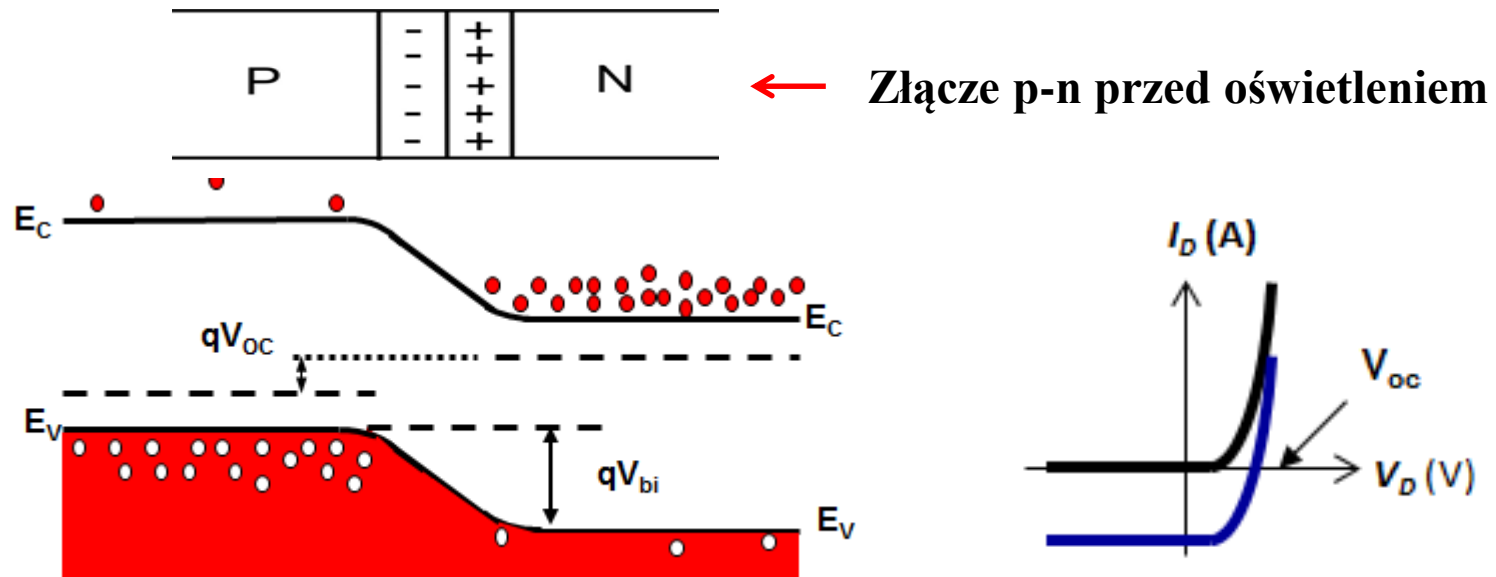
- U_{EB0max} - dopuszczalne napięcie wsteczne baza-emiter
- U_{CB0max} - dopuszczalne napięcie wsteczne kolektor-baza
- U_{CE0max} - maksymalne dopuszczalne napięcie kolektor-emiter
- I_{Cmax} - maksymalny prąd kolektora
- I_{Bmax} - maksymalny prąd bazy
- P_{strmax} - maksymalna dopuszczalna moc strat



Charakterystyka wyjściowa tranzystora

Efekt fotowoltaiczny

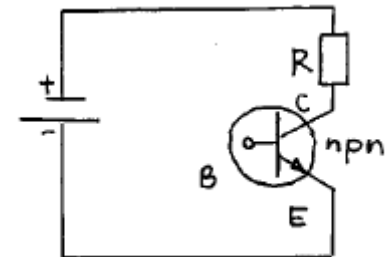
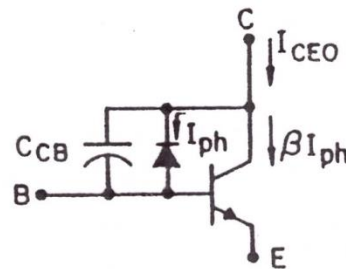
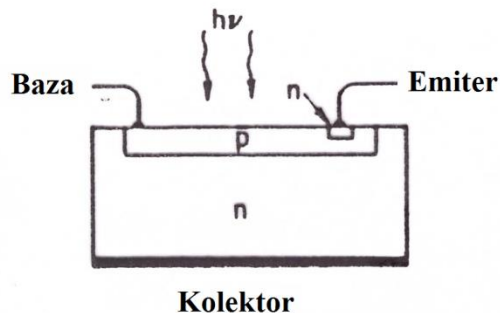
- Złącze jest rozwarte



- Wygenerowane światłem elektrony płyną do obszaru n a dziury do obszaru p. W wyniku tego obszar typu n ładuje się ujemnie a typu p – dodatnio. Taka polaryzacja obszarów złącza jest równoważna polaryzacji w kierunku przewodzenia. Wartość tego napięcia polaryzacji nazywa się fotonapięciem rozwarcia V_{oc} .

Fototranzystor

W fototranzystorze baza nie jest nigdzie połączona elektrycznie, czyli złącze baza-emiter jest rozwarte. Fotony generują w tej sytuacji fotonapięcie, które jest równoważne spolaryzowaniu złącza emiter-baza w kierunku przewodzenia. Dalej fototranzystor działa jak zwykły tranzystor. Dodatkowo dziury generowane w obszarze p (bazy) i te wciągane z obszaru kolektora zmniejszają napięcie na złączu baza-emiter, zwiększając prąd nośników większościowych. Zmiany w obszarze bazy spowodowane oświetleniem obserwuje się w obwodzie kolektora, zwykle mierząc spadek napięcia na oporniku połączonym z kolektorem. Na rys. poniżej przedstawiono schemat układu do wyznaczania charakterystyk prądowo-napięciowych i oświetleniowych fototranzystora. Dla fototranzystora n-p-n kolektor podłącza się do wyjścia „+” zasilacza a emiter do wyjścia „-”.



Czułość napięciowa i charakterystyka widmowa detektorów

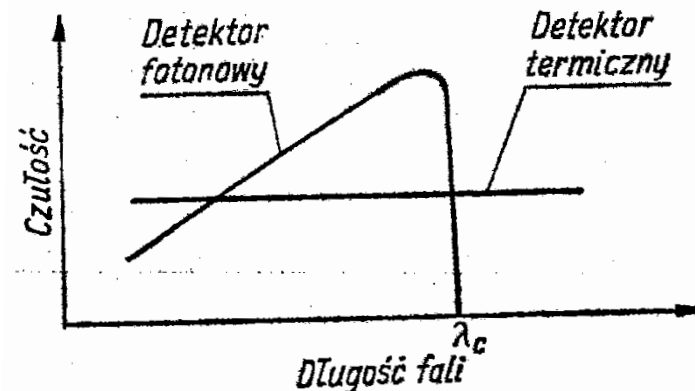
- Czułość napięciowa (prądowa) (ang. responsivity) - stosunek wartości skutecznej napięcia (prądu) sygnału wyjściowego o częstotliwości podstawowej do wartości skutecznej mocy promieniowania padającego o częstotliwości podstawowej:

$$R_V(b, f, \lambda) = \frac{V_s(b, f)}{P_\lambda \Delta \lambda} \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{W}} \right]$$

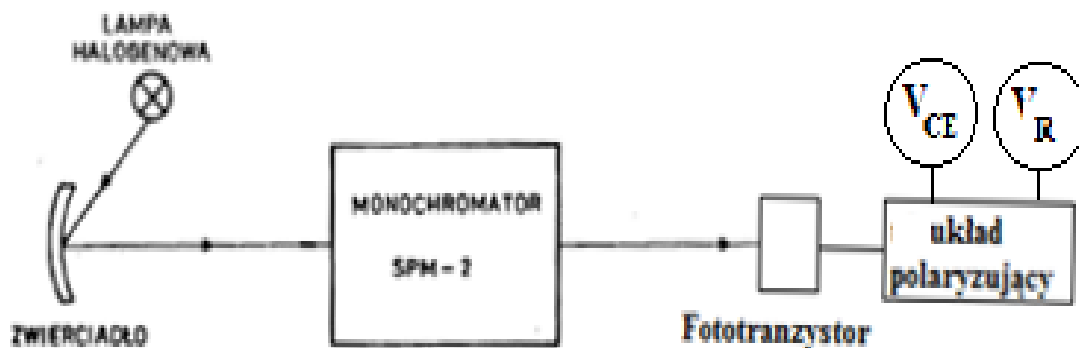
$$R_i(b, f, \lambda) = \frac{I_s(b, f)}{P_\lambda \Delta \lambda} \quad \left[\frac{\text{A}}{\text{W}} \right]$$

gdzie $P_\lambda \Delta \lambda$ jest quasi monochromatyczną mocą promieniowania o długości fali λ , padającego na detektor.

Charakterystyka widmowa czułości (ang. spectral responsivity)



1. Pomiar charakterystyki widmowej



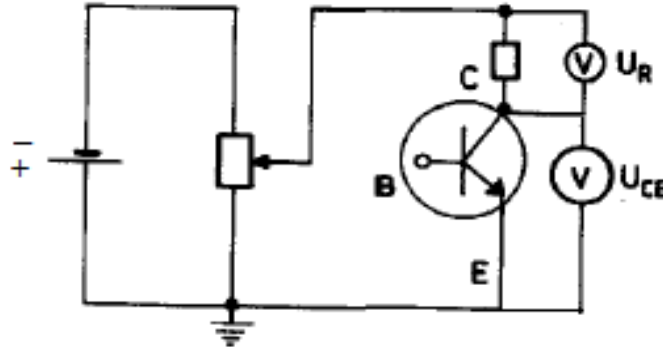
Schemat układu do pomiaru charakterystyki spektralnej fototranzystora

Wyznaczenie charakterystyki widmowej czułości fototranzystora $R_v(\lambda)$ polega na :

- pomiarze napięcia na rezystorze w obwodzie kolektora fototranzystora $U_T(\lambda)$ (przy stałym napięciu U_{CE}) w zależności od długości fali. To napięcie jest proporcjonalne do prądu kolektora: $U_R(\lambda) = I_c(\lambda) \cdot 1000\Omega$
- porównaniu tej zależności z zależnością napięcia na wyjściu detektora termicznego $U_T(\lambda)$ zmierzonego w takich samych warunkach oświetlenia i przy takiej samej szczeliny wyjściowej monochromatora dla tych samych długości fali.
- czułość względną detektora wyznacza się ze wzoru: $R_v(\lambda) \cong \frac{U_R(\lambda)}{U_T(\lambda)} \cdot R_{vT}$

$R_{vT} = const$ – czułość detektora termicznego, niezależna od długości fali.

2. Pomiar charakterystyk statycznych



Układ polaryzujący fototranzystor n-p-n.

- Dla długości fali odpowiadającej maksimum czułości fototranzystora zmierzyć zależność fotosygnalu z fototranzystora, tj, napięcia $U_R = I_C R$ w funkcji napięcia kolektor – emiter.
- Powtórzyć te pomiary dla długości fali mniejszej i większej od długości fali odpowiadającej maksimum czułości fototranzystora.
- Powtórzyć te pomiary dla długości fali odpowiadającej maksimum czułości fototranzystora dla dwóch innych wartości napięcia zasilającego halogen.