

UKŁADY ANALOGOWE
WYKŁAD 03

TRANZYSTOR BIPOLARNY

- 1904 – J.A.Fleming przedstawia projekt lampy próżniowej z dwiema elektrodami – diodę próżniową
- 1906 – Lee de Fore przedstawia projekt lampy próżniowej z trzema elektrodami – triodę. Trzecia elektroda – siatka – steruje przepływem prądu przez lampę.
- W latach 20-tych XX wieku trwa gwałtowny rozwój elektroniki opartej na tych dwóch typach lamp. W 1922 wyprodukowano na całym świecie ok. 1 mln lamp, w 1930 – 100 mln
- Początek lat 30-tych XX wieku – powstanie lampy z 4 elektrodami (tetrody) a następnie z pięcioma elektrodami (pentody) . Powoduje to dalszy rozwój elektroniki opartej na lampach próżniowych.
- 23 grudnia 1947 roku – początek nowej ery rozwoju elektroniki. Tego dnia zaprezentowano nowy element elektroniczny – tranzystor.



Pierwszy ostrzowy tranzystor
germanowy na stole
laboratoryjnym w Bell
Laboratories - rok 1947



John Bardeen
1908 - 1991



William Shockley
1910-1989

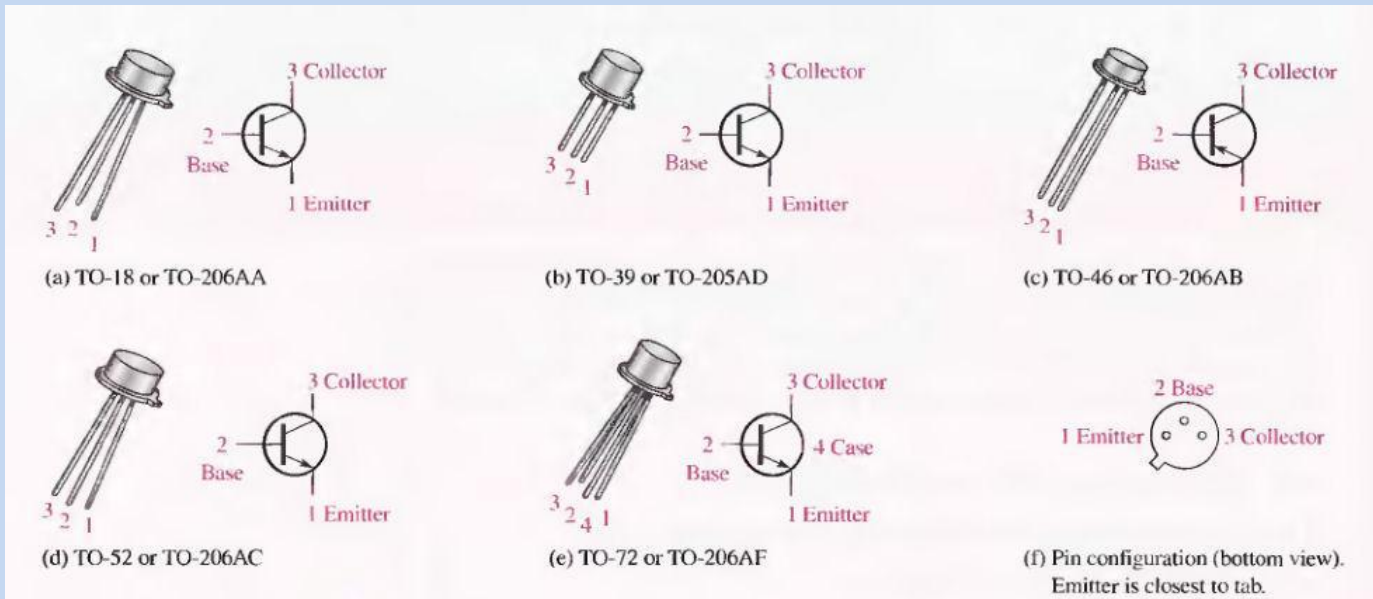


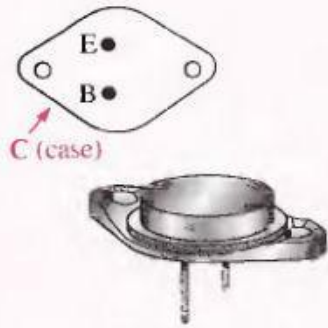
Walter H. Brattain
1902-1987

1951 – Początek komercyjnej produkcji tranzystorów

1956 – Nagroda Nobla w dziedzinie fizyki za wynalezienie tranzystora

- Obecnie produkowanych jest tysiące typów tranzystorów o różnych właściwościach

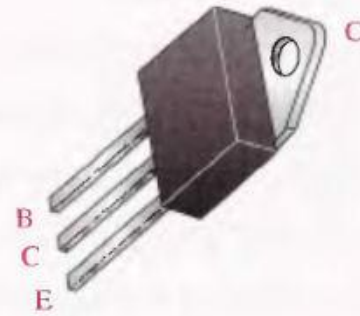




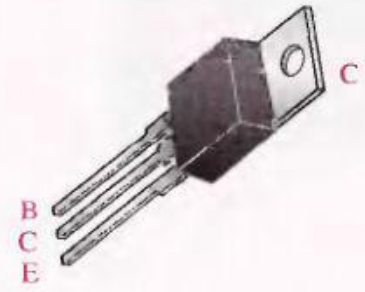
(a) TO-3 or TO-204AE



(b) TO-218



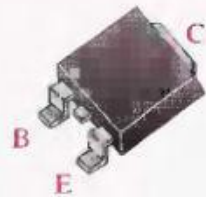
(c) TO-218AC



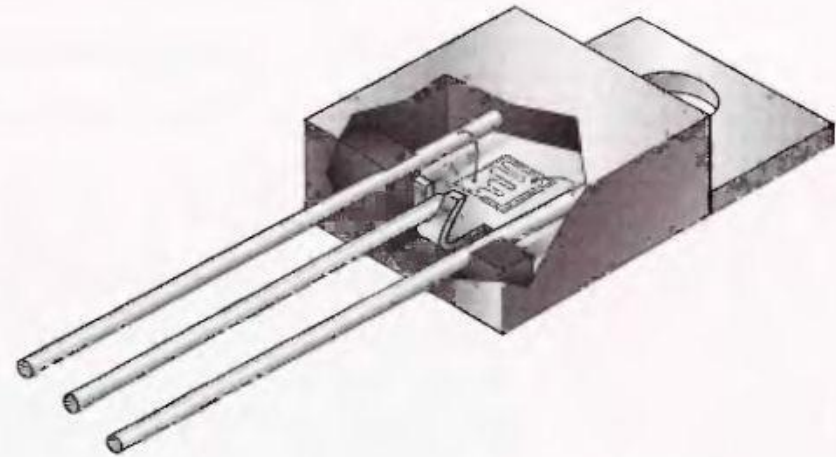
(d) TO-220AB



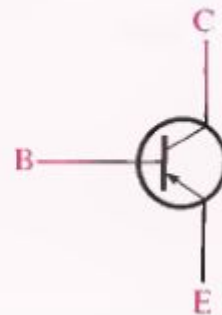
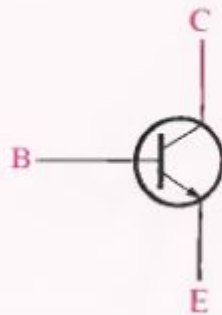
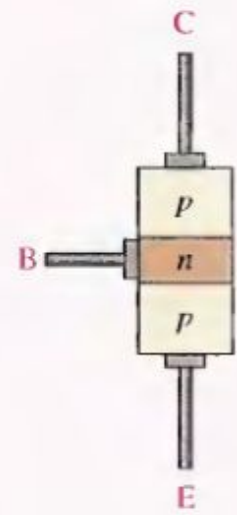
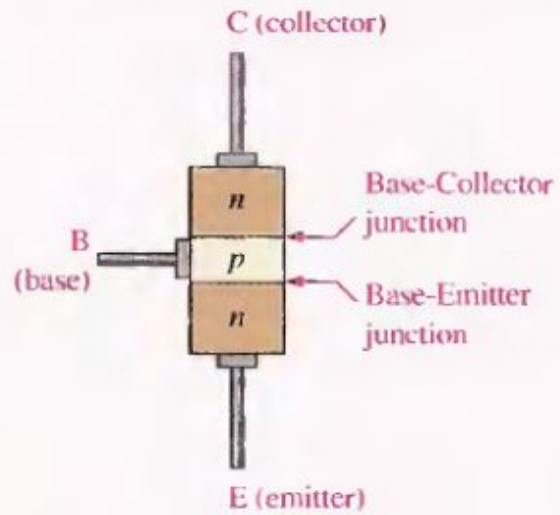
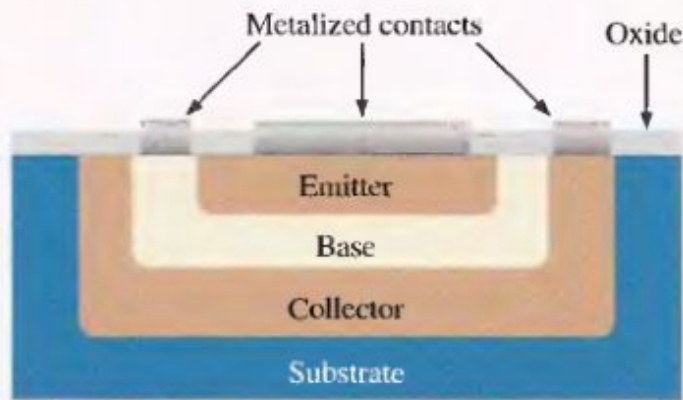
(e) TO-225AA

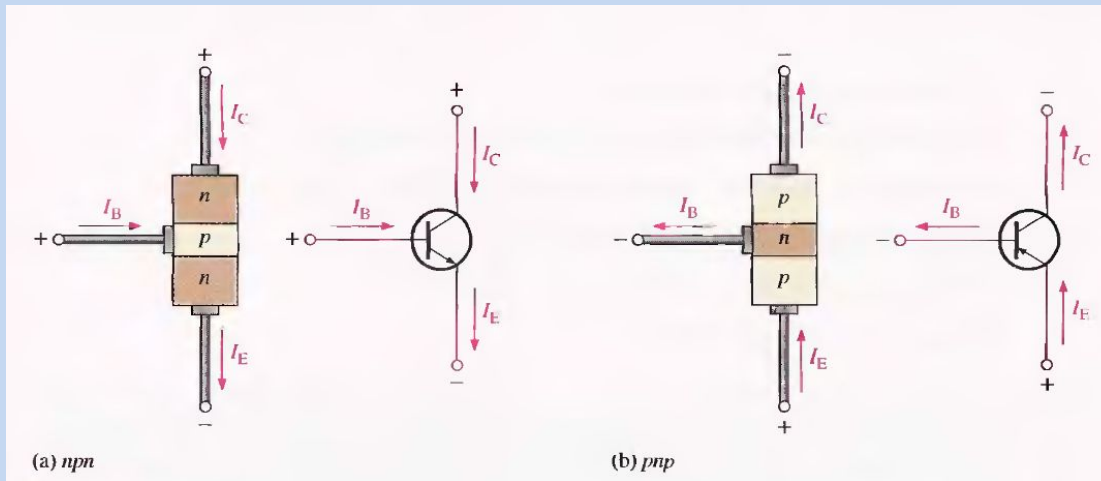
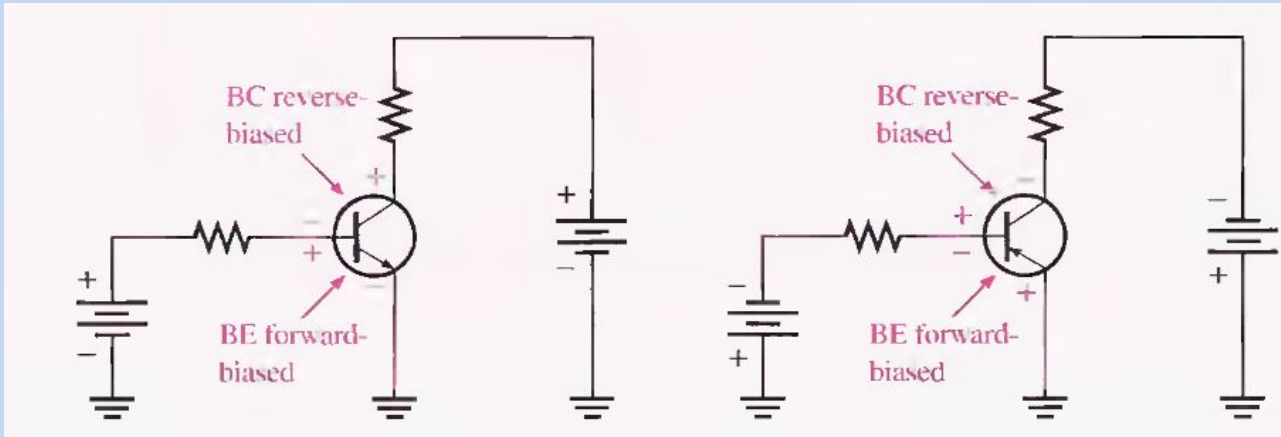


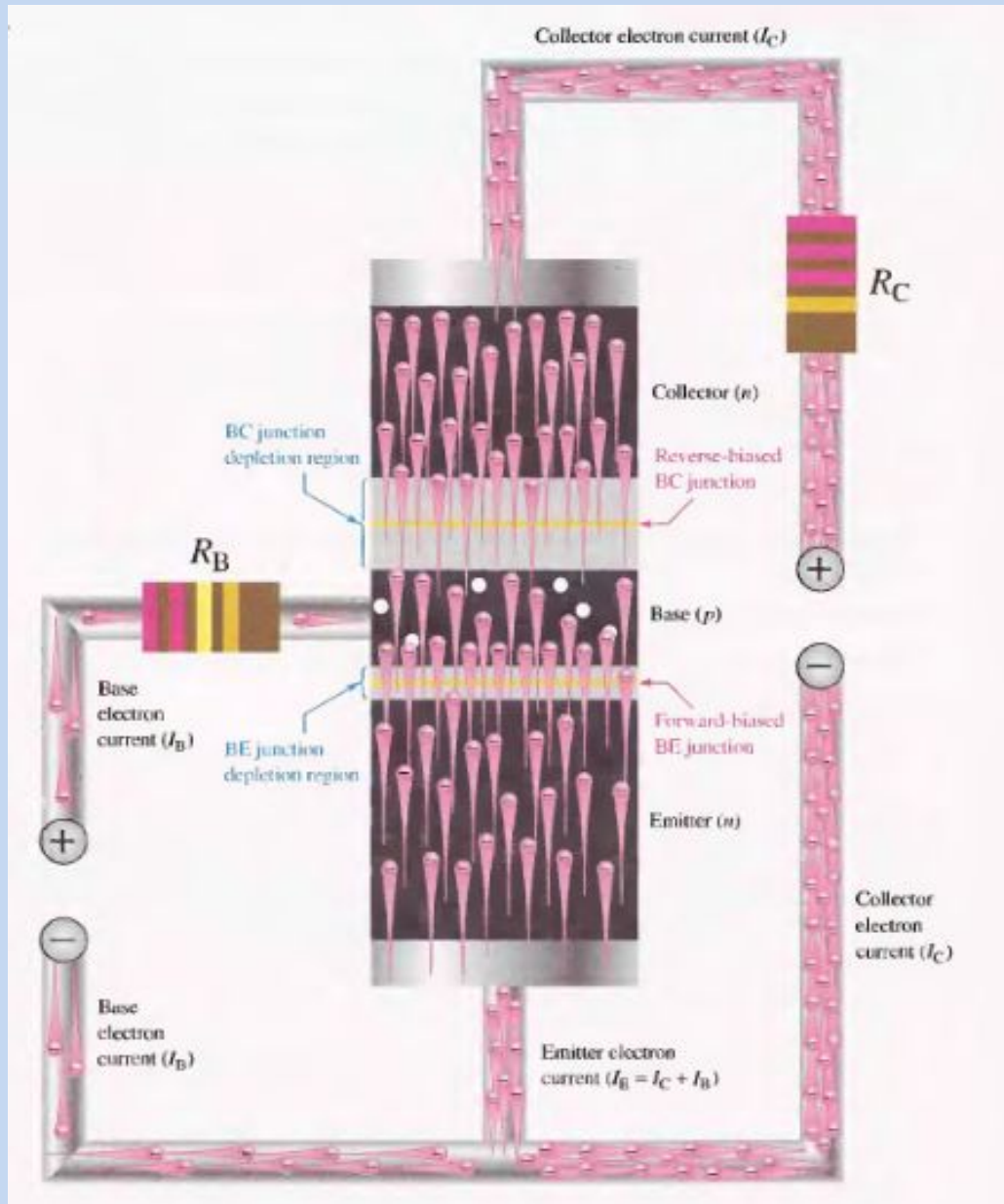
(f) Surface-mount technology



(g) Greatly enlarged cutaway view of tiny transistor chip mounted in the encapsulated package







Założenia :

1. Obszar bazy jest domieszkowany znacznie słabiej aniżeli emitera i kolektora (typowo w stosunku 100 : 1)
2. Obszar bazy jest bardzo wąski

- PODSTAWOWE RÓWNANIA DLA TRANZYSTORA

Równanie prądowe

$$I_E = I_C + I_B$$

Współczynnik transportu

Typowo $\alpha_{DC} = 0.95 \dots 0.99$

$$\alpha_{DC} = \frac{I_C}{I_E}$$

Współczynnik wzmocnienia
stałoprądowego

Typowo $\beta_{DC} = \text{kilkadziesiąt} \dots \text{kilkaset}$

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}$$

STANY PRACY TRANZYSTORA

- STAN PRACY AKTYWNEJ

Złącze emiterowe polaryzowane w kierunku przewodzenia

Złącze kolektorowe polaryzowane w kierunku zaporowym

Prawdziwy jest związek $I_C = \beta I_E$

- STAN PRACY INWERSYJNEJ

Złącze emiterowe polaryzowane w kierunku zaporowym

Złącze kolektorowe polaryzowane w kierunku przewodzenia

Ponieważ współczynnik transportu α jest mały to i wzmocnienie stałoprądowe też jest małe (kilka ... kilkanaście)

• STAN ZATKANIA

Złącze emiterowe polaryzowane w kierunku zaporowym

Złącze kolektorowe polaryzowane w kierunku zaporowym

Przez tranzystor płyną bardzo małe prądy zerowe, wynikające z termicznej generacji nośników (rzędu nA dla tranzystorów krzemowych oraz μA dla germanowych)

• STAN NASYCENIA

Złącze emiterowe polaryzowane w kierunku przewodzenia

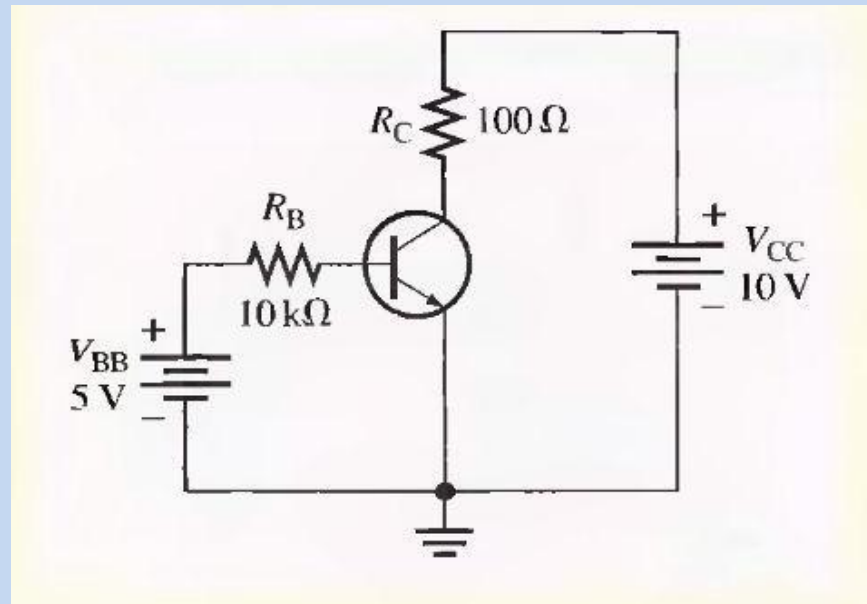
Złącze kolektorowe polaryzowane w kierunku przewodzenia

Napięcie między kolektorem a emiterem $U_{\text{CE SAT}}$ jest bardzo małe (rzędu 0.1 V i mniejsze) .

NIE jest prawdziwy związek $I_C = \beta I_E$

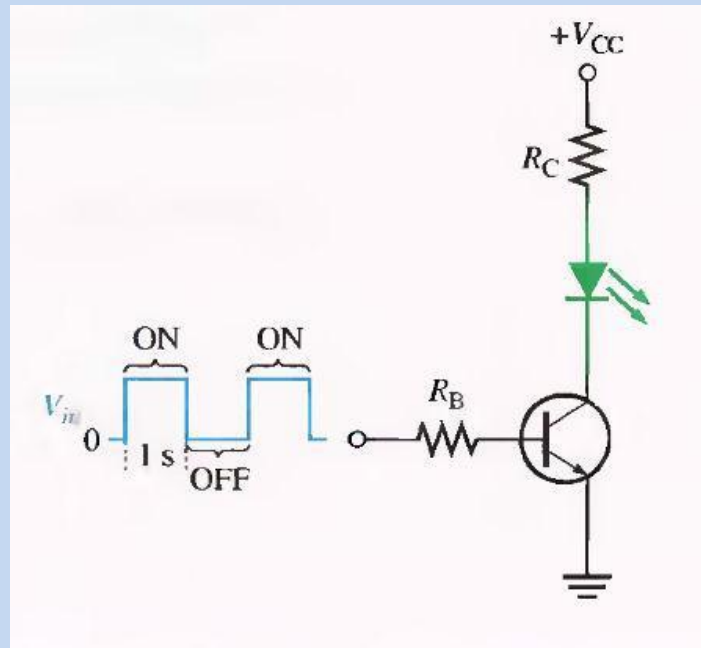
ZADANIE 1

- W układzie jak na rysunku znaleźć punkt pracy tranzystora (wartości prądów płynących przez tranzystor i napięć na jego zaciskach)



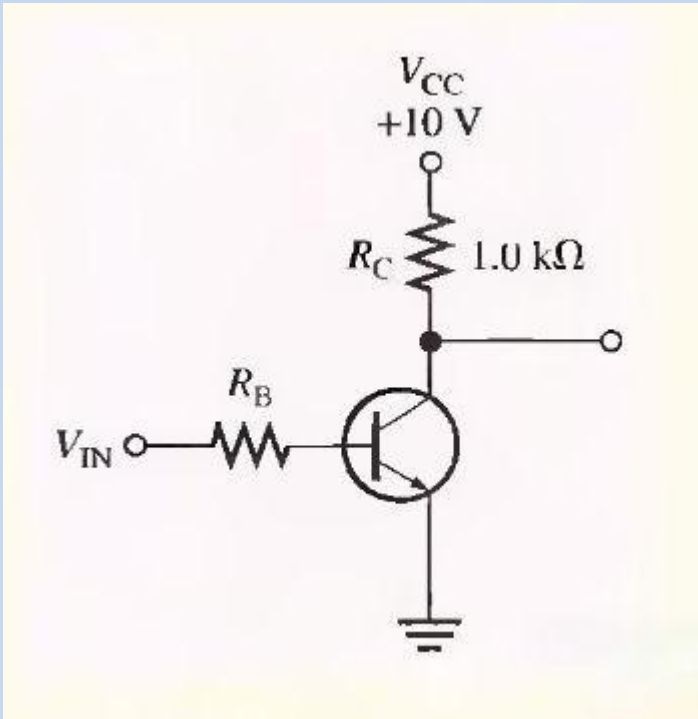
ZADANIE 2

W układzie jak na rysunku znaleźć wartość rezystancji R_C i R_B , dla których prąd diody LED ma wartość 10 mA. Przyjmij: $\beta = 100$, $U_{bep} = 0.7$ V, $U_{CESAT} = 0.1$ V, $V_{IN MAX} = 5$ V, $V_{CC} = 9$ V. Napięcie na diodzie LED dla prądu 10 mA jest równe 1.5 V.



ZADANIE 3

- W układzie jak na rysunku znaleźć przebieg prądu bazy i kolektora oraz napięcia wyjściowego przy zmianie napięcia wejściowego od -20 V do 20 V .

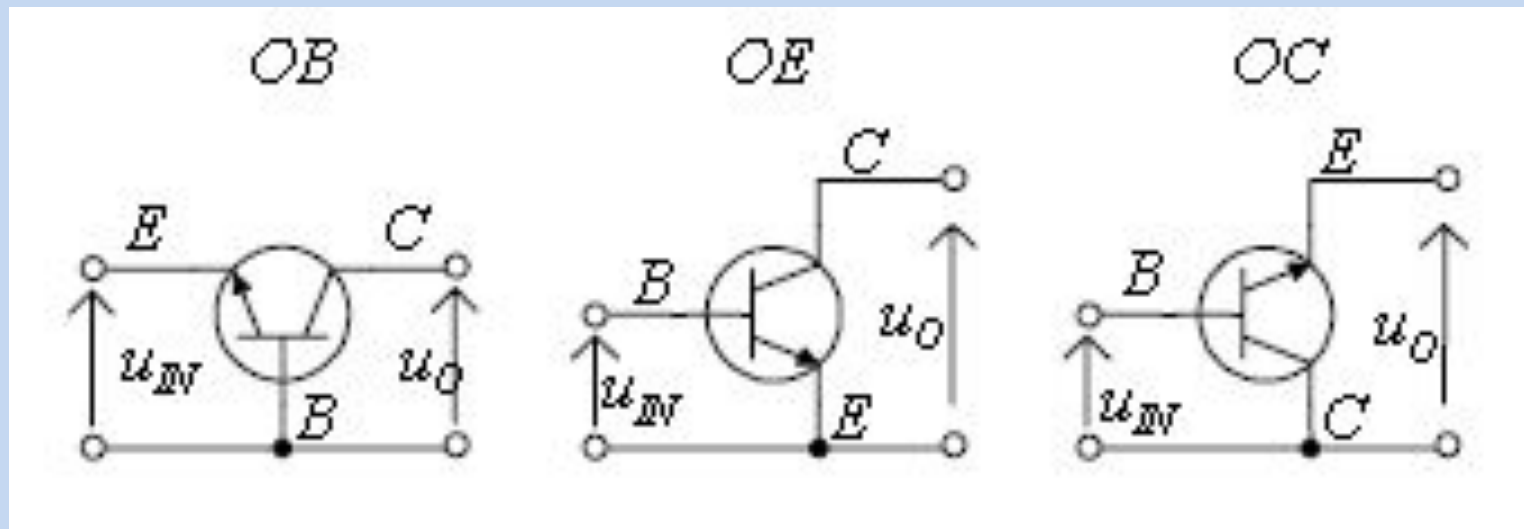


Przyjmij :

$$\beta = 100 , R_B = 100\text{ k}\Omega ,$$

$$U_{\text{bep}} = 0.7\text{ V} , U_{\text{CESAT}} = 0.1\text{ V}$$

UKŁADY PRACY TRANZYSTORA

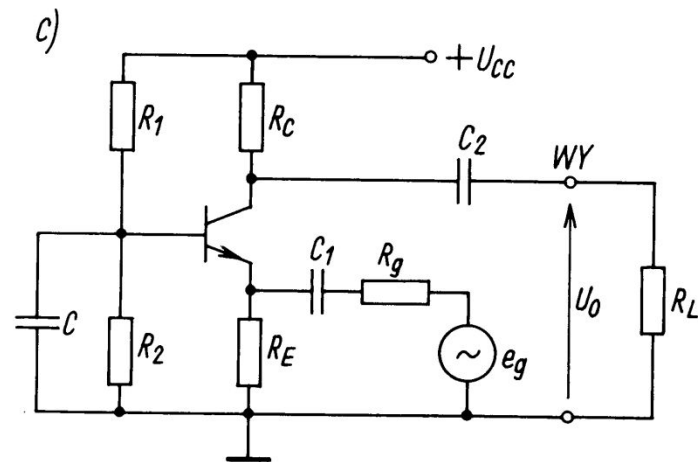
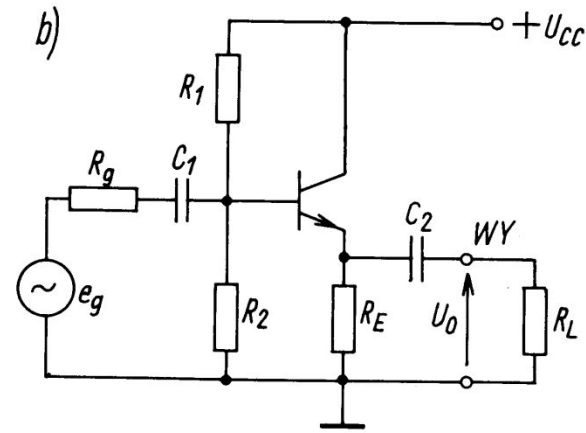
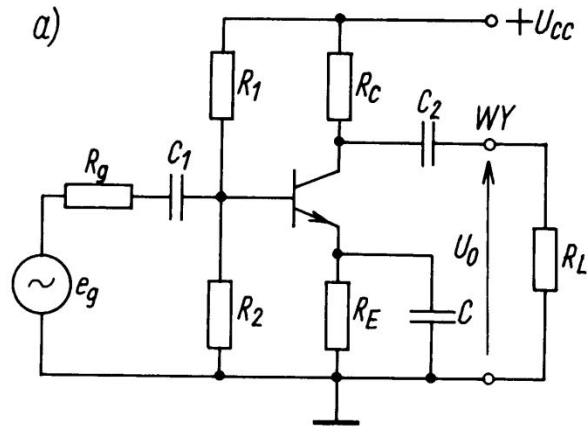


UKŁAD WSPÓLNEGO EMITERA

UKŁAD WSPÓLNEGO KOLEKTORA

UKŁAD WSPÓLNEJ BAZY

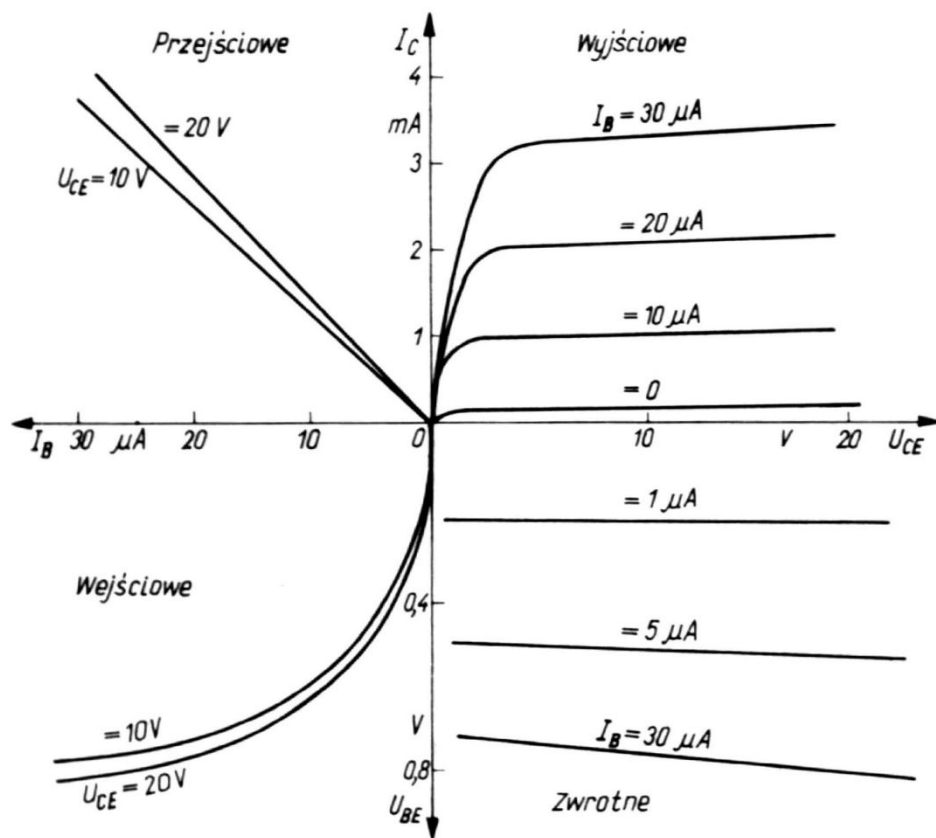
WZMACNIACZE Z RÓŻNYMI UKŁADAMI PRACY TRANZYSTORA



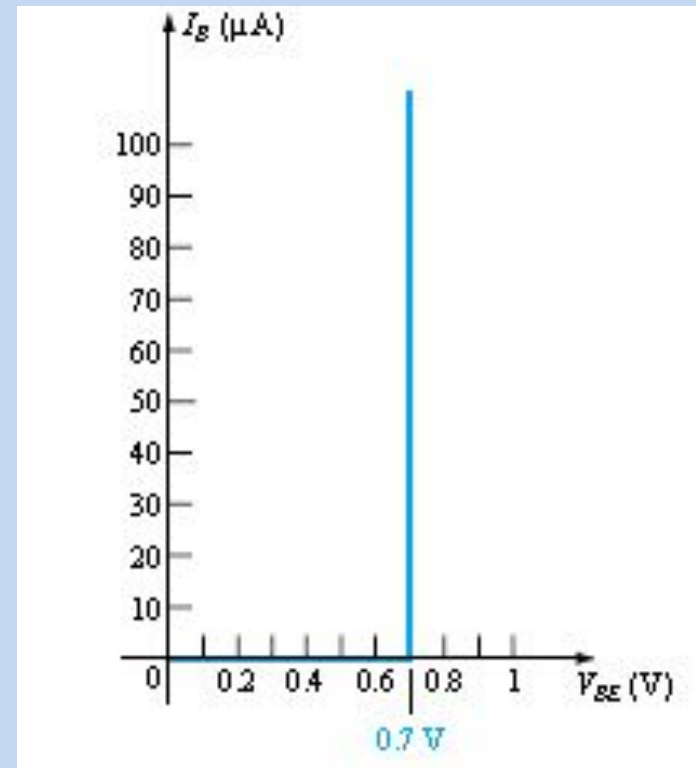
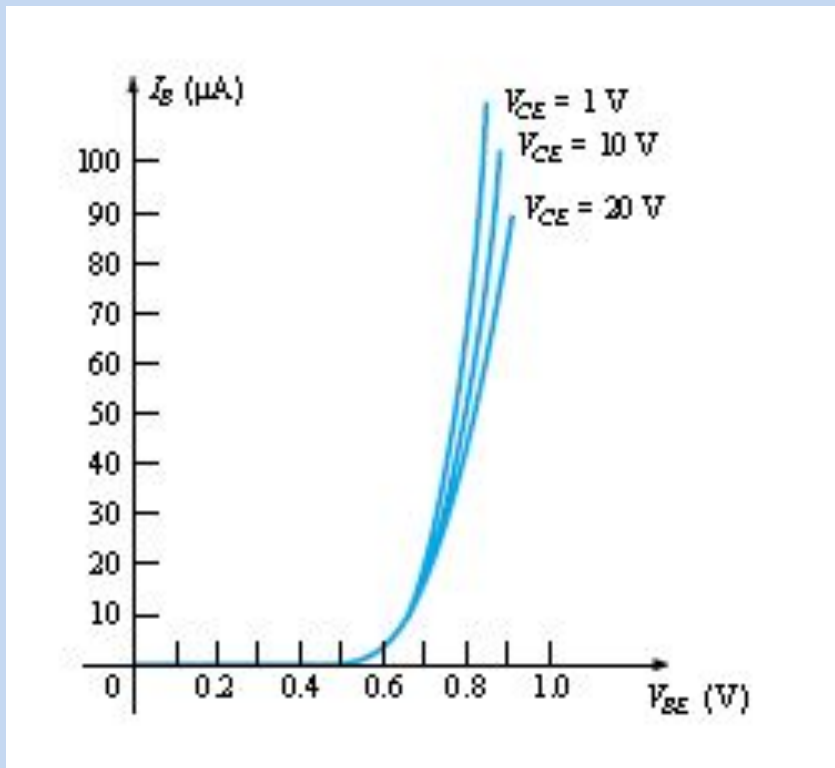
PARAMETRY WZMACNIACZY Z RÓŻNYMI UKŁADAMI PRACY TRANZYSTORA

Parametr Układ	A_u	A_i	A_p	R_i	R_o	Przesunięcie fazy
WE	Duże	Duże $-\beta$	Największe	Mała	Duża	180°
WK	Małe < 1	Największe $\beta + 1$	Małe	Największa	Najmniejsza	0°
WB	Największe	Małe $\alpha < 1$	Duże	Najmniejsza	Największa	0°

CHARAKTERYSTYKI STATYCZNE TRANZYSTORA DLA UKŁADU WSPÓLNEGO EMITERA

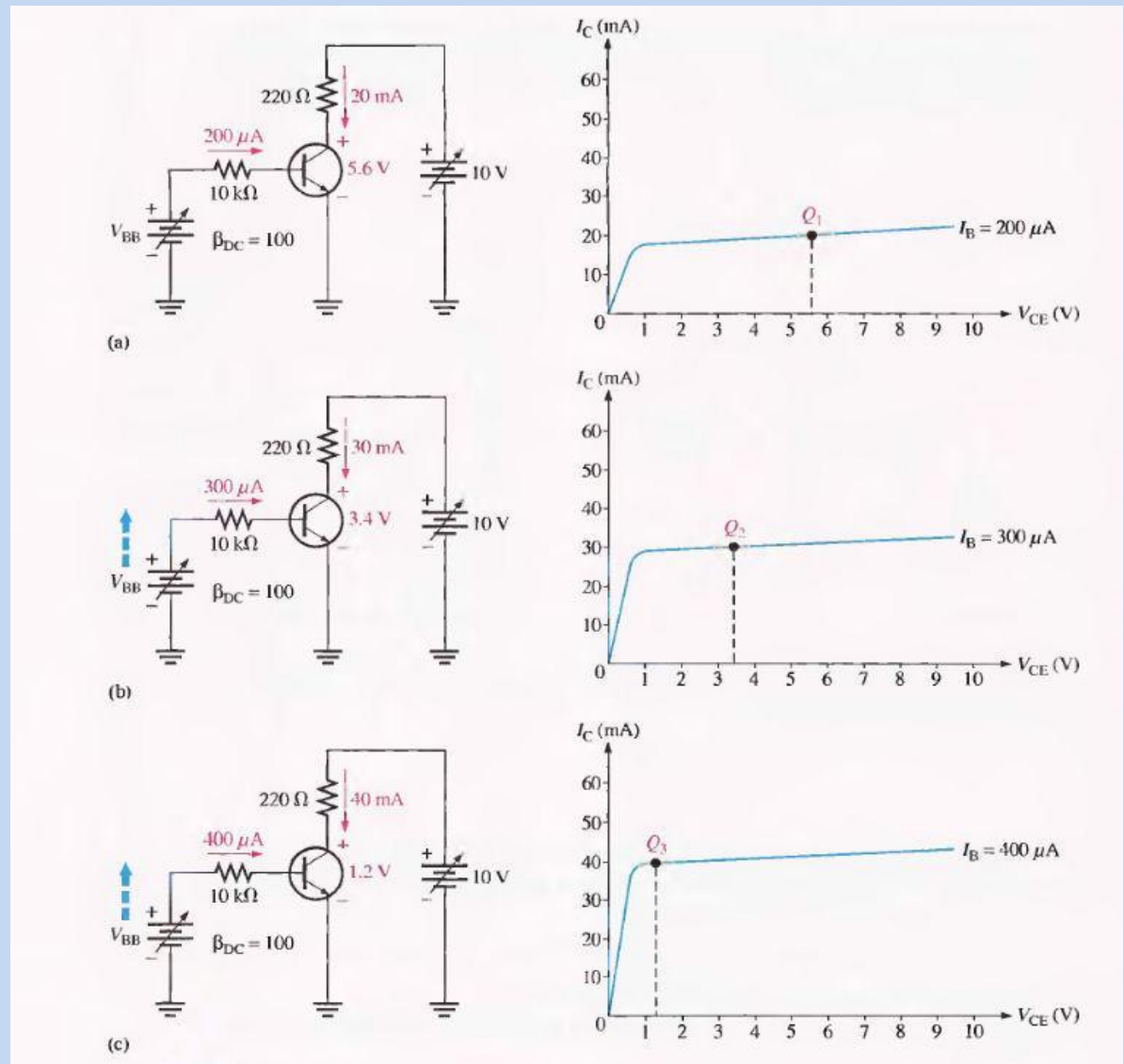


CHARAKTERYSTYKA WEJŚCIOWA

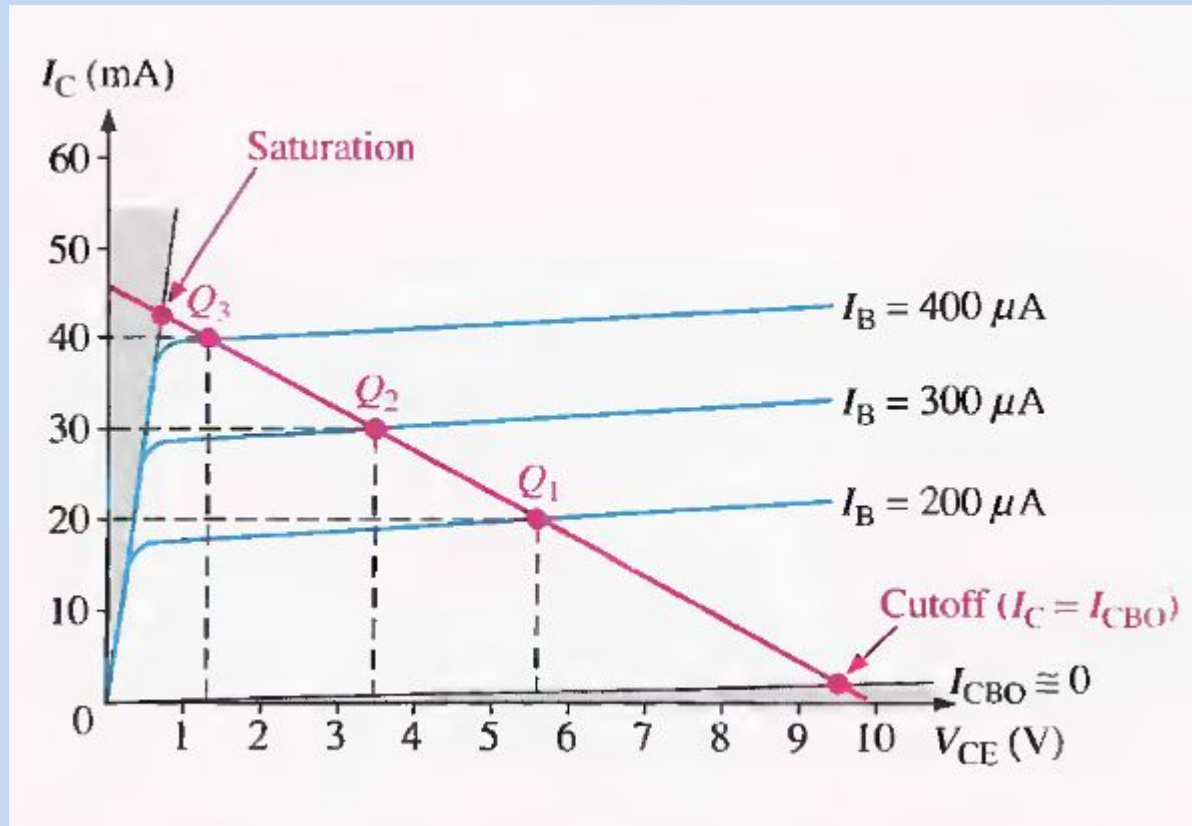


UKŁADY POLARYZACJI TRANZYSTORA

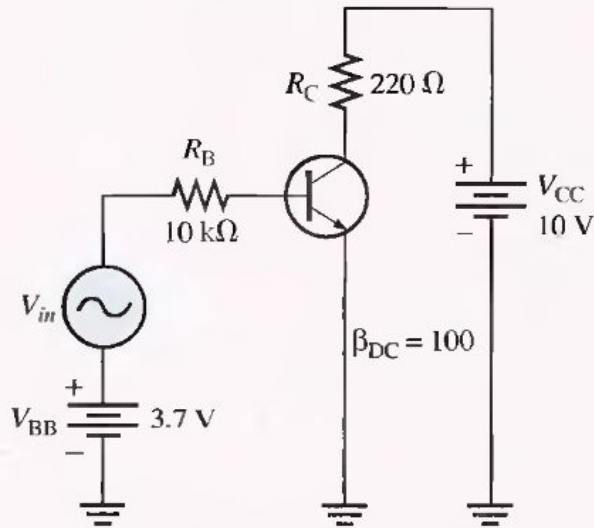
- Przy zmianie wartości rezystancji i napięć polaryzujących tranzystor zmieniamy położenie punktu pracy na charakterystyce wyjściowej tranzystora



- Może to spowodować pojawienie się niepożądanych efektów w czasie pracy układu takich jak zniekształcenia nieliniowe związane z wejściem tranzystora w stan nasycenia lub zatkania. W obu tych stanach prąd kolektora nie jest proporcjonalny do prądu bazy.



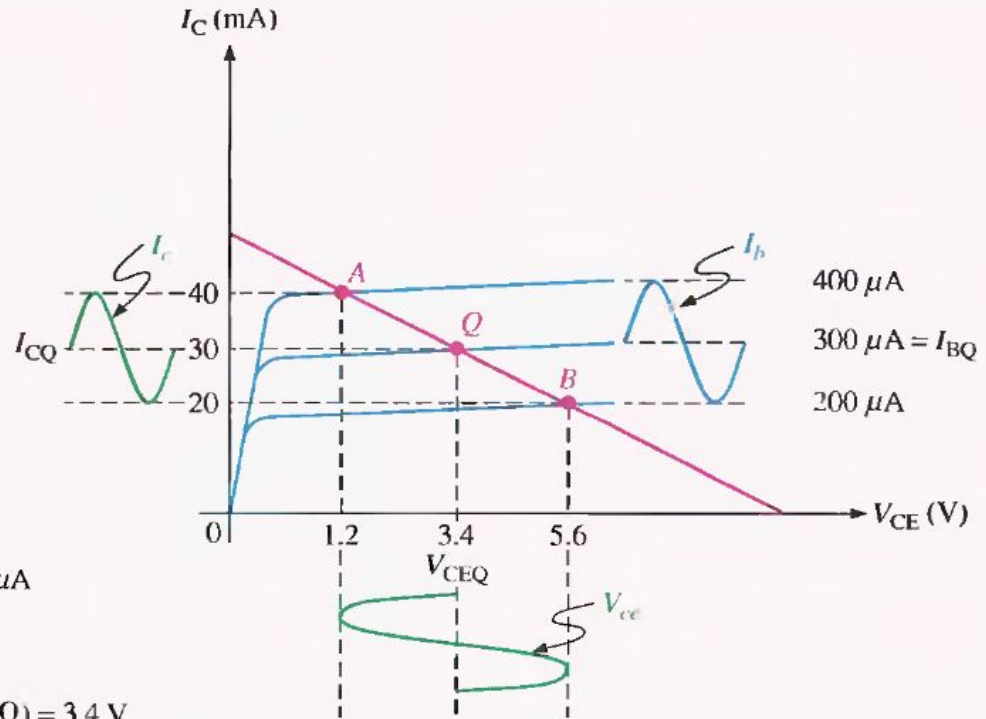
PRACA LINIOWA WZMACNIACZA



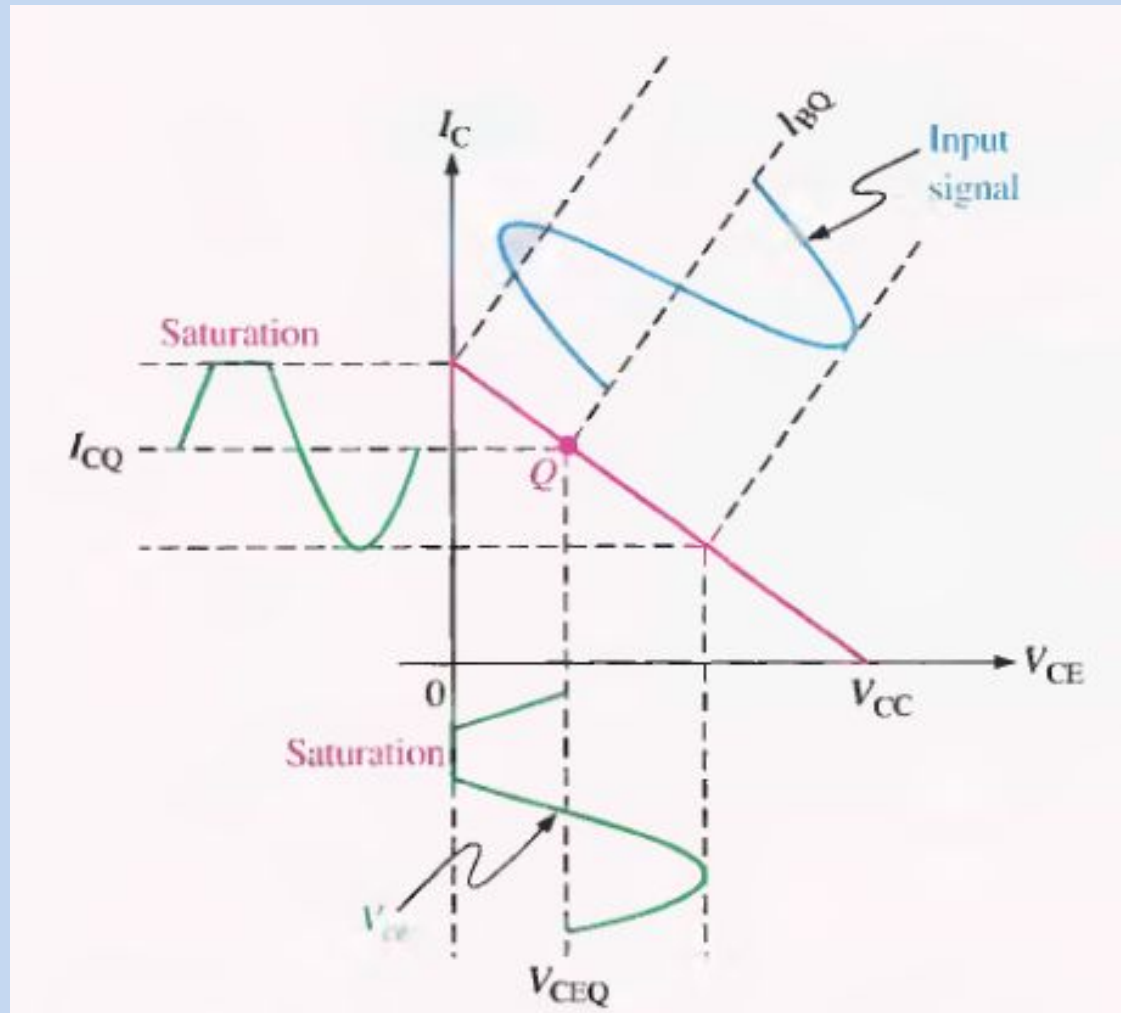
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - 0.7 \text{ V}}{R_B} = \frac{3.7 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 300 \mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta_{DC} I_{BQ} = (100)(300 \mu\text{A}) = 30 \text{ mA}$$

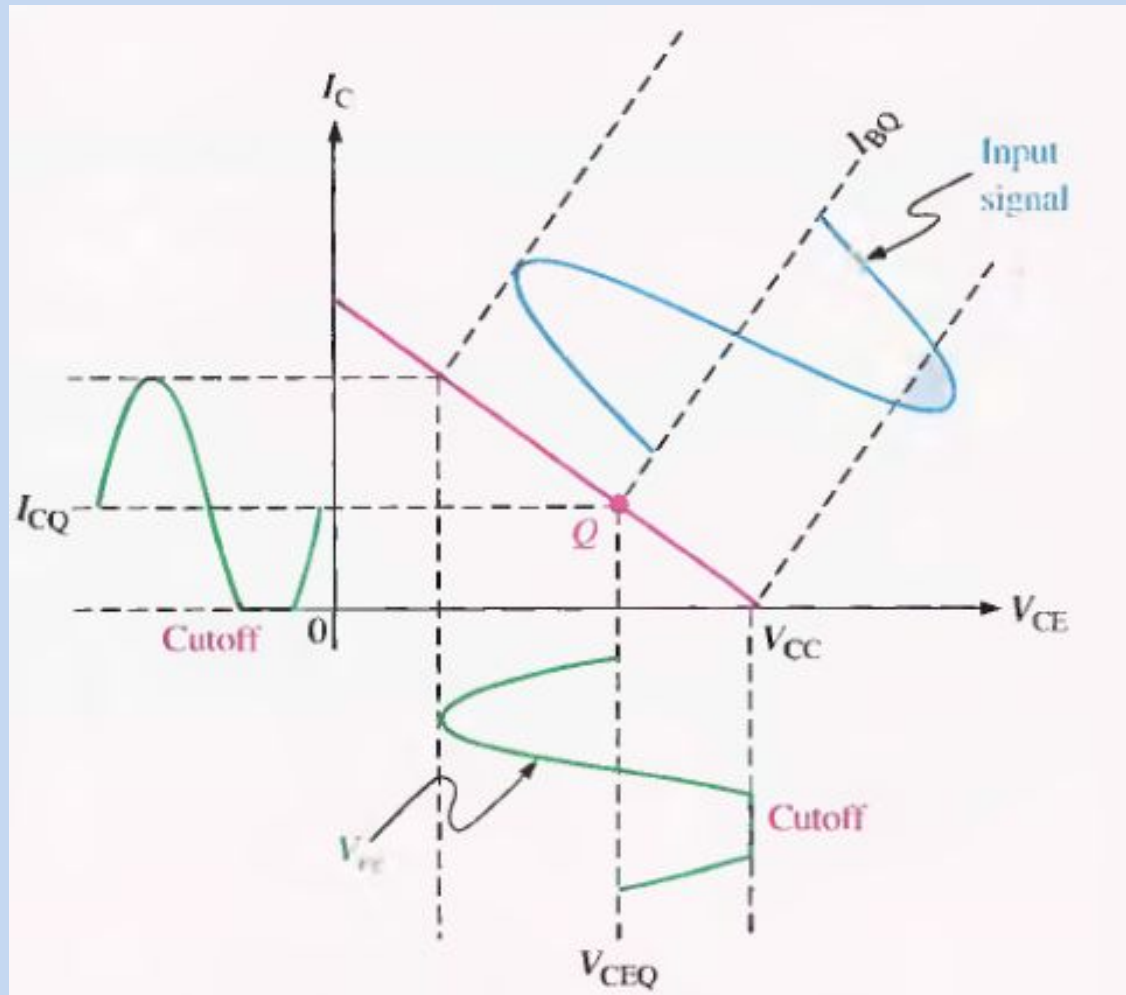
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 10 \text{ V} - (30 \text{ mA})(220 \Omega) = 3.4 \text{ V}$$



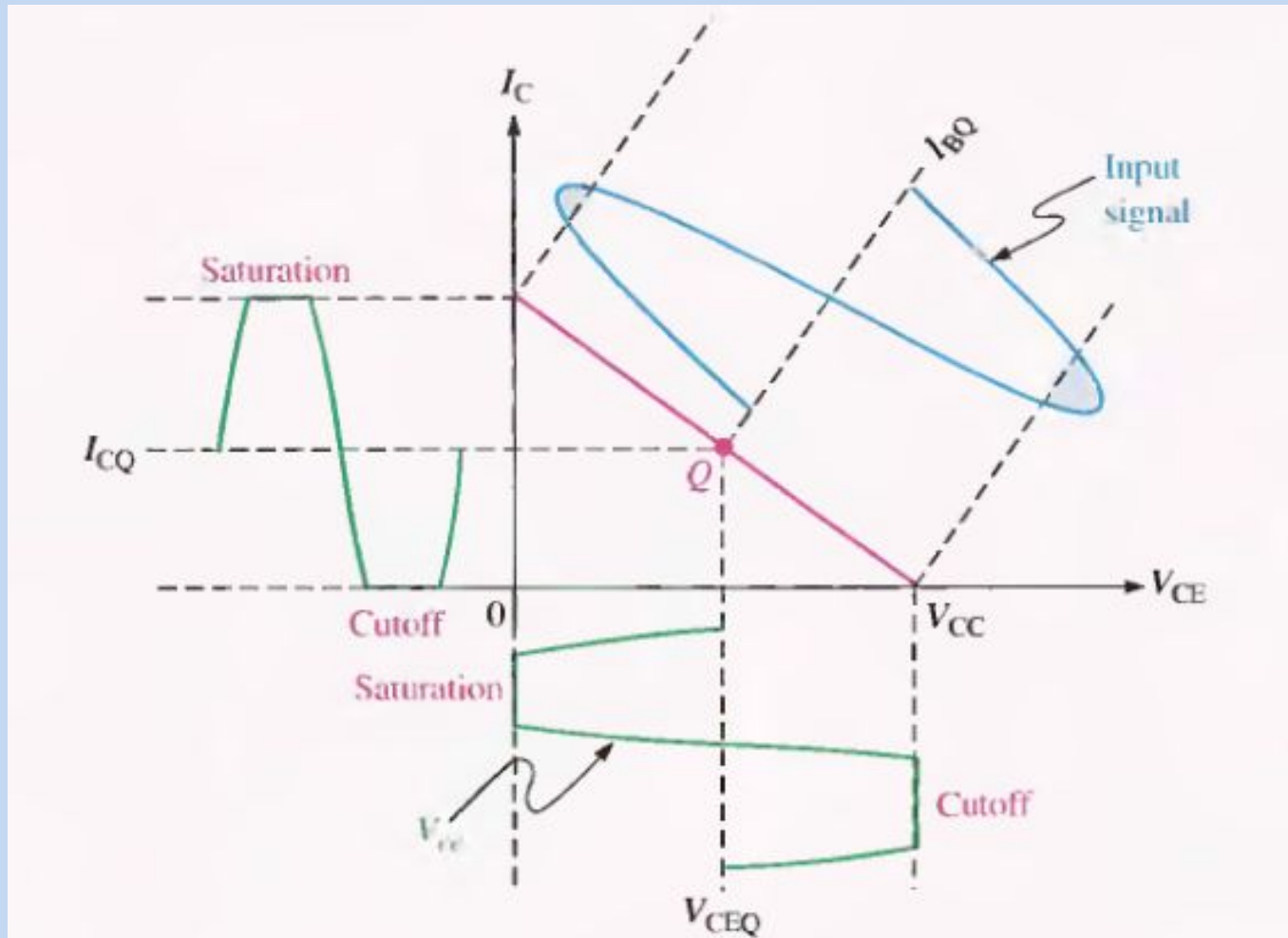
ZNIEKSZTAŁCENIA WYWOŁANE ZŁYM PUNKTEM PRACY WZMACNIACZA – WEJŚCIE W NASYCENIE



ZNIEKSZTAŁCENIA WYWOŁANE ZŁYM PUNKTEM PRACY WZMACNIACZA – WEJŚCIE W ZATKANIE



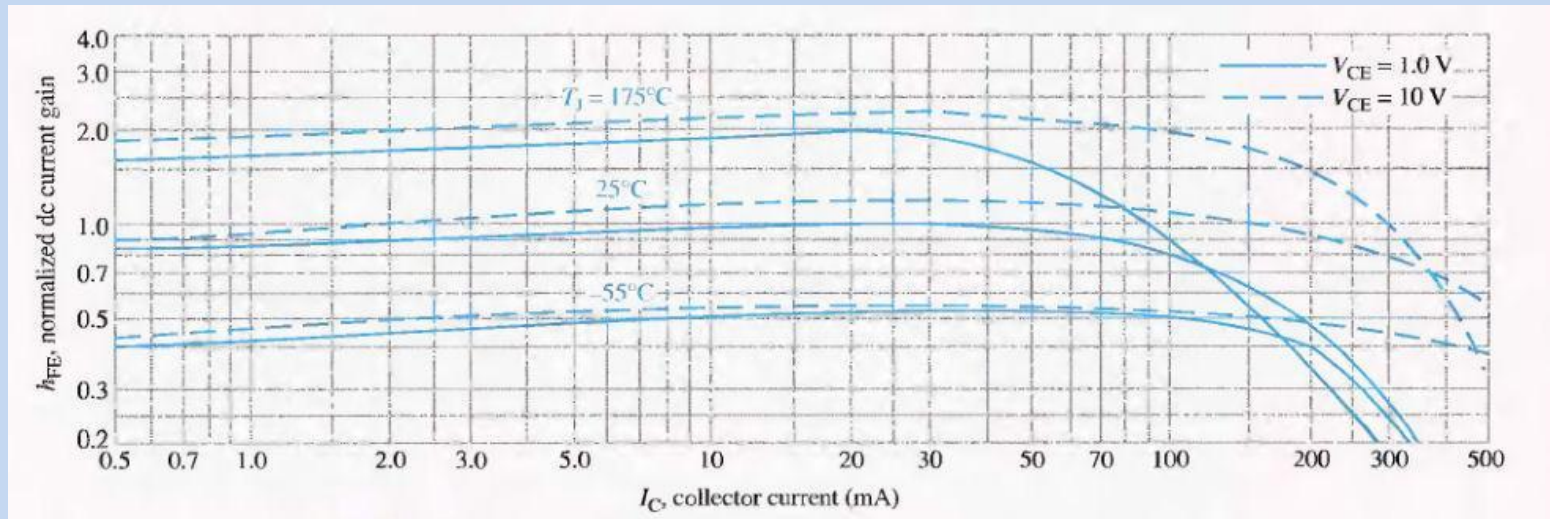
ZNIEKSZTAŁCENIA WYWOŁANE ZŁYM PUNKTEM PRACY WZMACNIACZA – WEJŚCIE W NASYCENIE I ZATKANIE



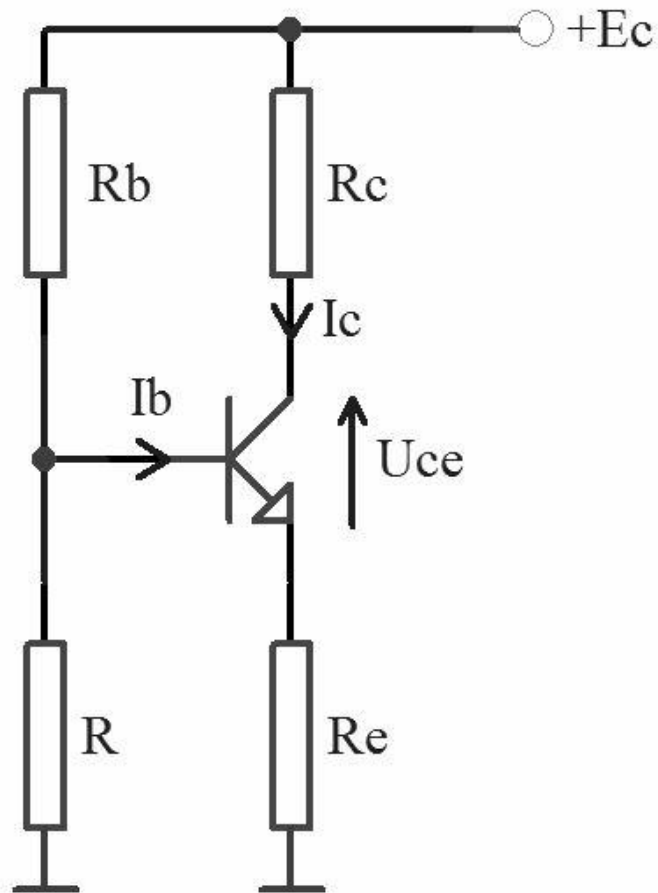
STABILIZACJA PUNKTU PRACY TRANZYSTORA

- CELE STABILIZACJI PUNKTU PRACY

- Uniezależnienie punktu pracy od zmian parametrów tranzystora pod wpływem temperatury
 - Przy zmianie temperatury U_{BEP} maleje ze współczynnikiem $2.3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
 - Przy zmianie temperatury zmienia się współczynnik wzmocnienia β tranzystora



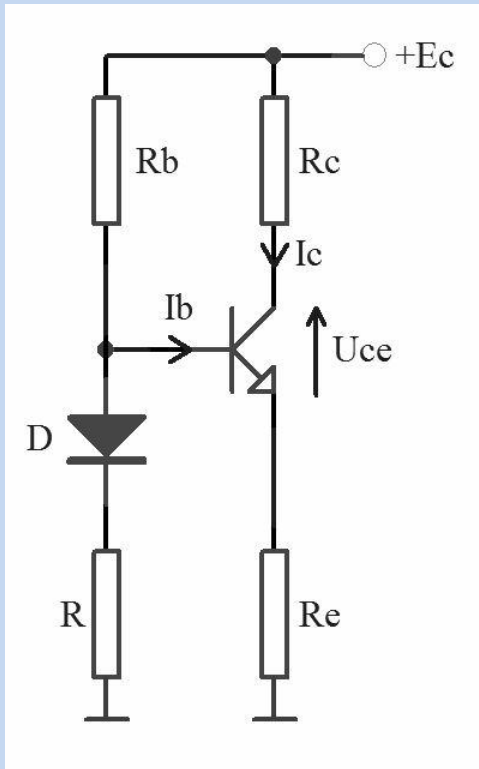
- Uniezależnienie się od zmian parametrów przy wymianie tranzystora



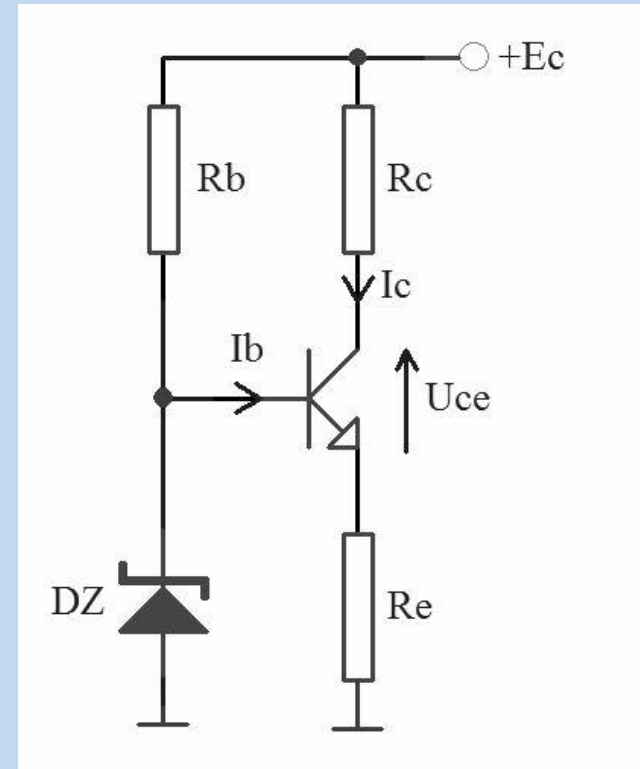
- Stabilizacja wartości prądu bazy I_B jest tym lepsza, im stosunek rezystancji R_B / R_E jest większy i im wartości rezystancji są większe
- Stabilizacja napięcia U_{CE} pogarsza się, im wartości rezystorów R_B , R_E i R_C są większe

- W prostym układzie polaryzacji tranzystora podstawowe znaczenie ma dobór rezystora R_E
 - Mała wartość rezystora R_E to zła stabilizacja prądu I_C a dobra napięcia U_{CE}
 - Duża wartość rezystora R_E to dobra stabilizacja prądu I_C a zła napięcia U_{CE}
 - Im większa wartość rezystora R_E tym napięcia zasilania muszą być większe i tym większe są straty mocy w układzie
- Dlatego w wielu przypadkach stosuje się inne metody stabilizacji punktu pracy tranzystora w tym układy z elementem nieliniowym czy układy z zasilaniem prądowym. Oferują one znaczne zredukowanie wpływu temperatury i zmian parametrów tranzystora na zmianę punktu pracy

STABILIZACJA NIELINIOWA

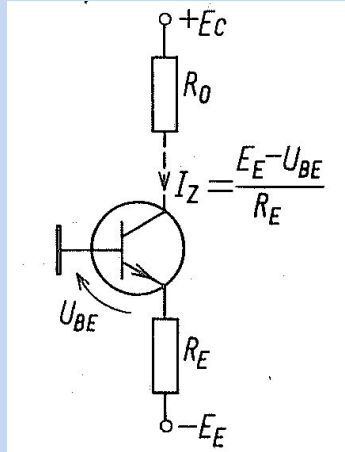


- Metoda kompensacji zmiany punktu pracy na skutek zmiany napięcia U_{BE} pod wpływem temperatury

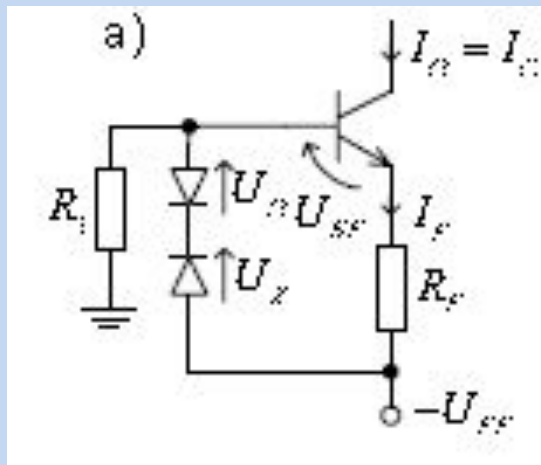


- Metoda kompensacji zmiany punktu pracy na skutek zmiany napięcia zasilającego

ZASILANIE PRĄDOWE

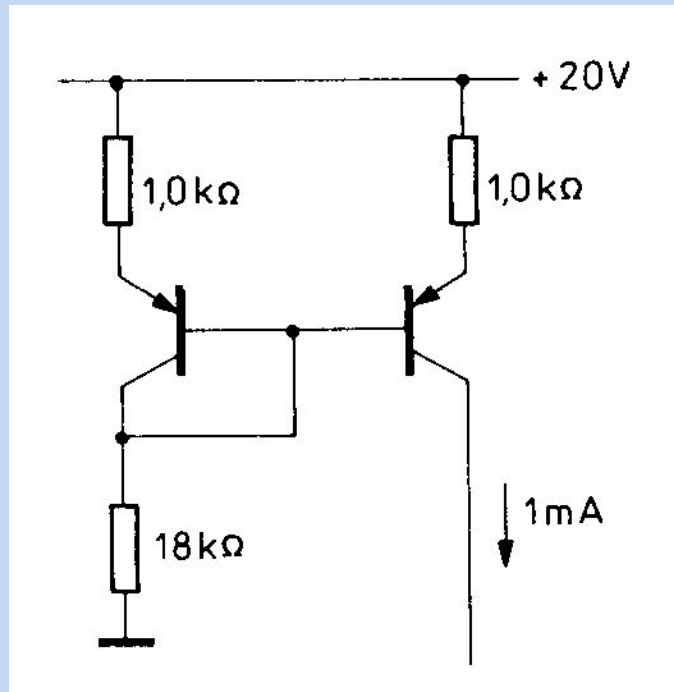


Przy zmianie napięcia ΔU_{BE} zmiany prądu kolektora są równe $\Delta U_{BE} / R_E$. Wynika stąd, że rezystancja R_E winna mieć możliwie dużą wartość. Zmiany prądu kolektora nie są funkcją współczynnika wzmocnienia β .

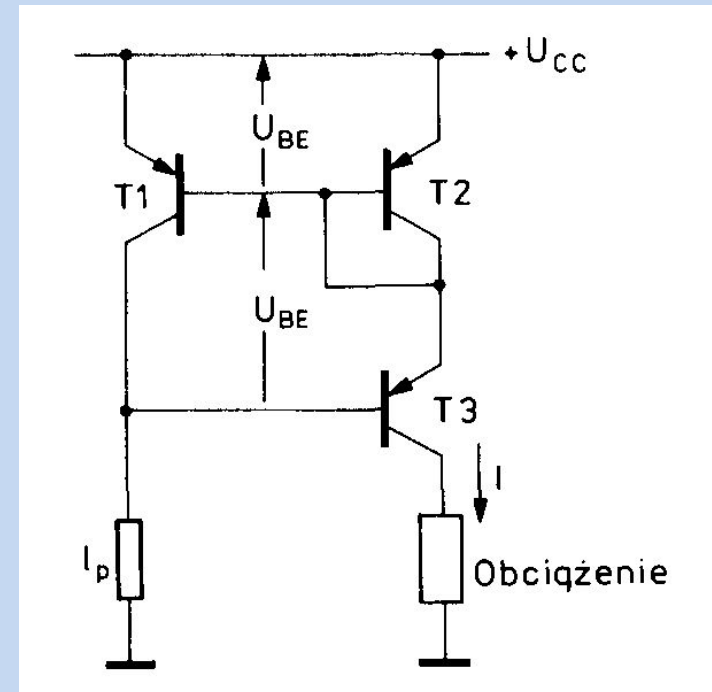


Wartość prądu zależy od napięcia diody Zenera U_Z i rezystora R_E a nie zależy od zmian parametrów tranzystora. Dioda D kompensuje cieplne zmiany napięcia U_{BE} .

- W układach scalonych stosuje się bardziej złożone układy zasilania, oparte na schemacie zasilania stałoprądowego. Wykorzystane są w nich tranzystory pracujące w roli diody kompensującej zmiany parametrów tranzystora.



Proste źródło prądowe



Źródło prądowe o bardzo dużej stabilności