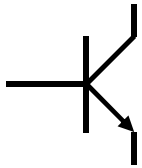
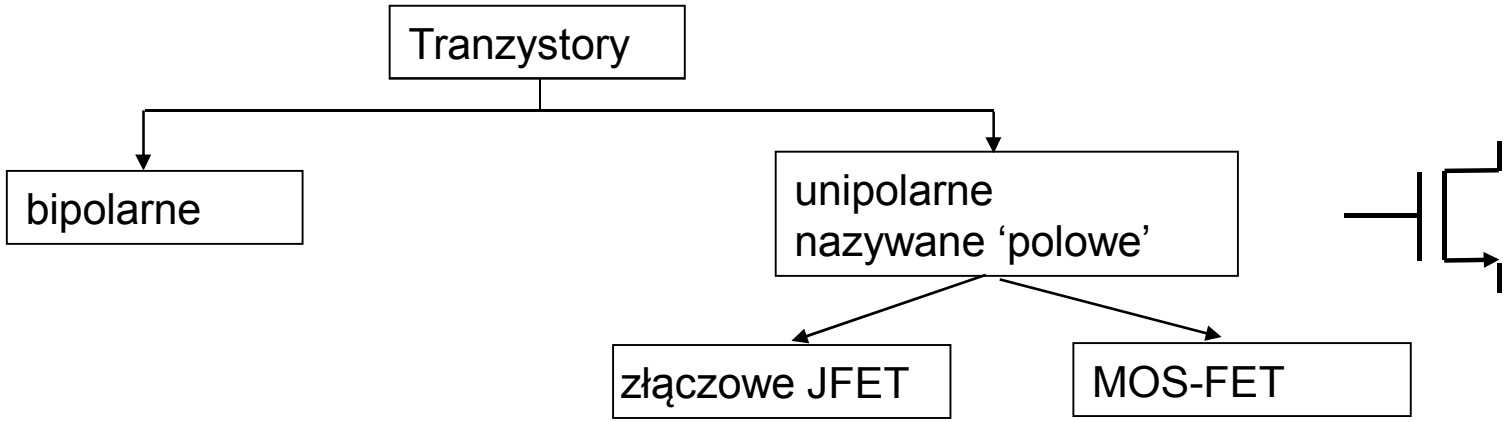
Tranzystory

bipolarne (NPN i PNP),
polowe (MOSFET),
fototranzystory

Tranzystory - rodzaje

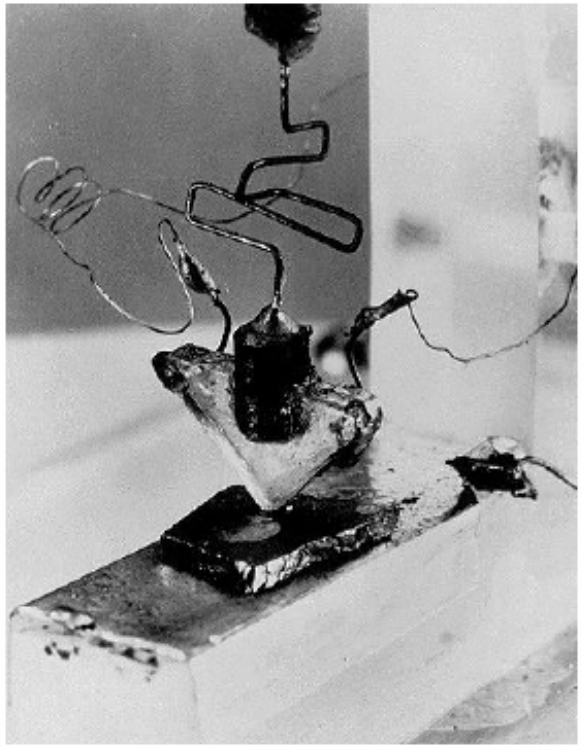
Tranzystor – to element, który posiada zdolność wzmacniania mocy sygnału elektrycznego. Z uwagi na tą właściwość, tranzystor zalicza się do grupy elementów aktywnych.





Tranzystor **MOS-FET** (ang. *metal-oxide-semiconductor field-effect-transistor*). W skrócie nazywany jako **MOS**. Obecnie ponad 90% produkowanych na świecie układów wykonywanych jest w technologii **CMOS** (ang. *Complementary MOS*).

Pierwszy tranzystor bipolarny, Bell Lab 1947



John Bardeen i Walter Brattain pokazują przyrząd germanowy. Naukowcy zauważają, że kiedy sygnał przechodzi przez złącze germanowe, wtedy moc wyjściowa jest większa od wejściowej. Wyniki badań opublikowano w 1948 r.

William Shockley odkrył zasadę działania tranzystora bipolarnego i opublikował to w 1949 r.

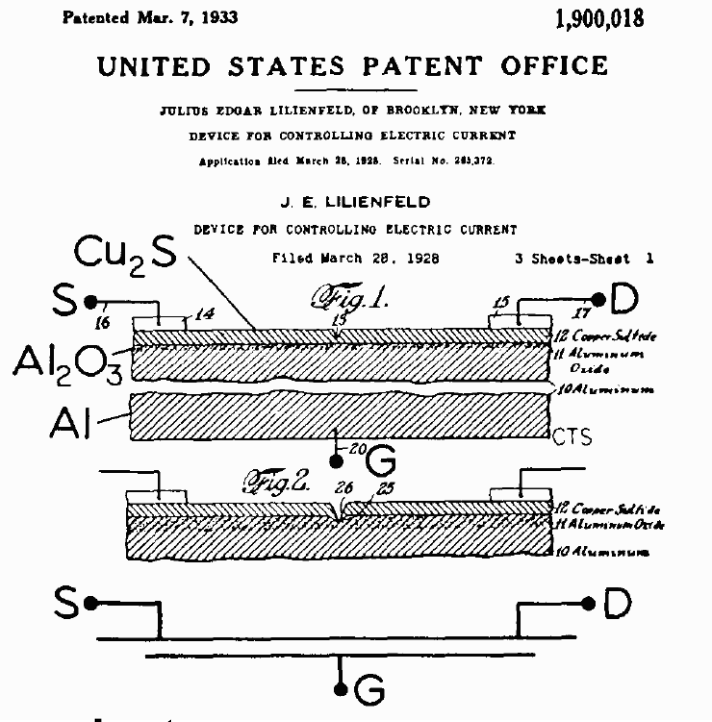
Trzej naukowcy otrzymali wspólnie Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w 1956 r.

William Shockley opuścił laboratorium Bella w 1956 i założył własne w San Francisco Bay w Kaliforni. Obecnie znane jako Dolina Krzemowa.

Wynalazek tranzystora MOS, J.E. Lilienfeld, 1933

J. E. Lilienfeld uzyskał w 1933 r. patent na wynalazek - przyrząd do regulacji prądu elektrycznego wykorzystujący znany efekt polowy.

Julius Edgar Lilienfeld (1882-1963), urodzony we Lwowie.

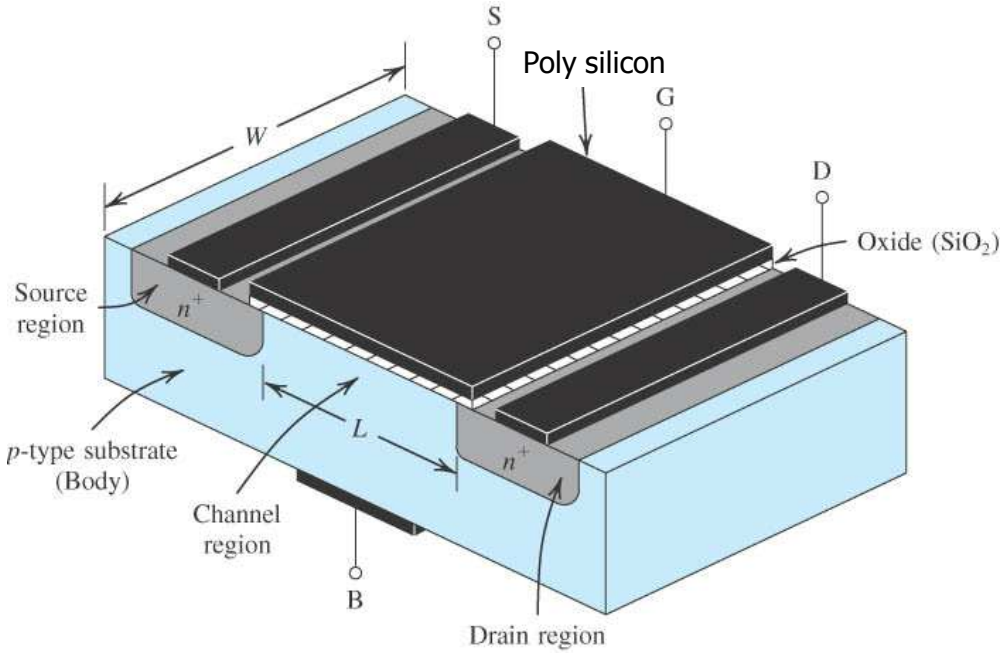


Nazwa MOS – skrót od ang. Metal Oxide Semiconductor.
Pełna nazwa MOS FET, od ang. Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor.

Współczesny tranzystor MOSFET

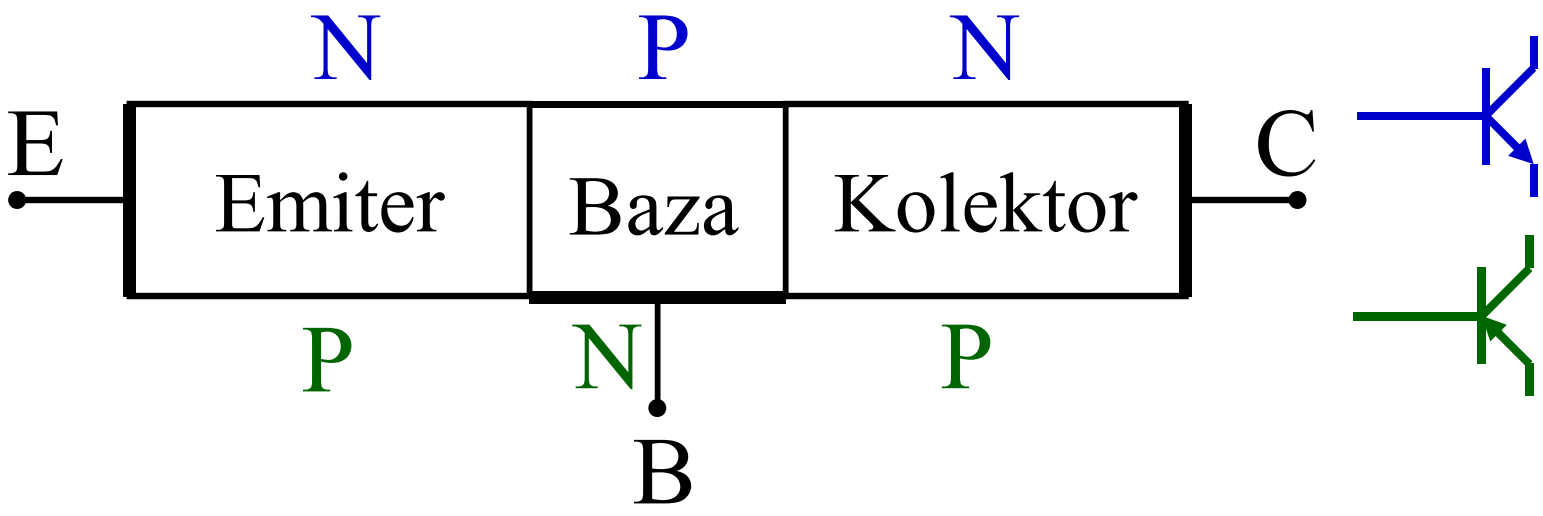
Intel wprowadza w 1971 r. na rynek układ scalony 4 bitowy CPU o nazwie 4004, w którym bramki tranzystorów MOS wykonano z krzemu.

Obecnie bramki tranzystorów MOS nie wytwarza się z metalu a z polikrystalicznego krzemu *poly-silicon.*
Nazwę MOS stosuję się nadal.



Podstawowa struktura tranzystora bipolarnego

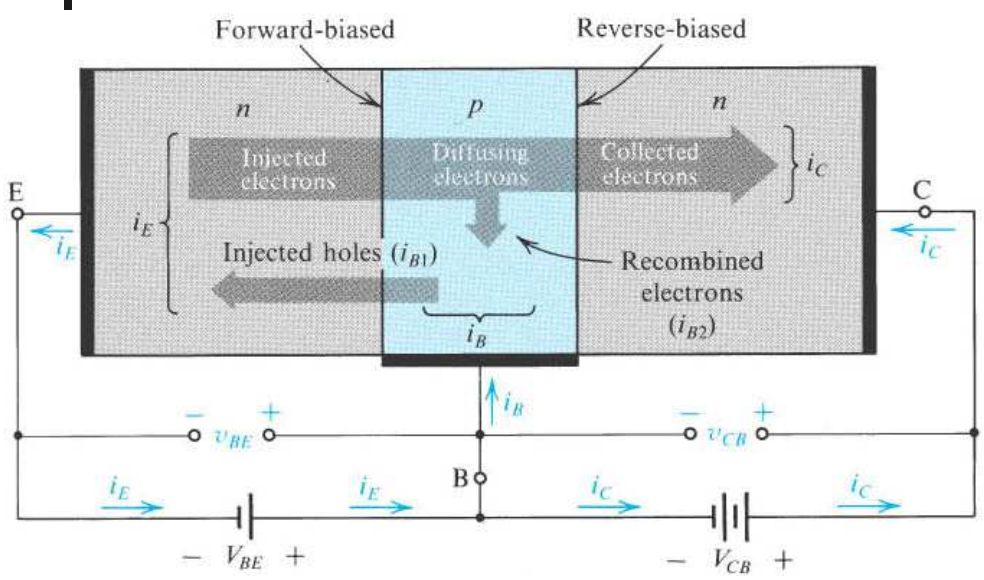
Tranzystor bipolarny jest trójkońcówkowym elementem elektronicznym o prądowych charakterze sterowania.

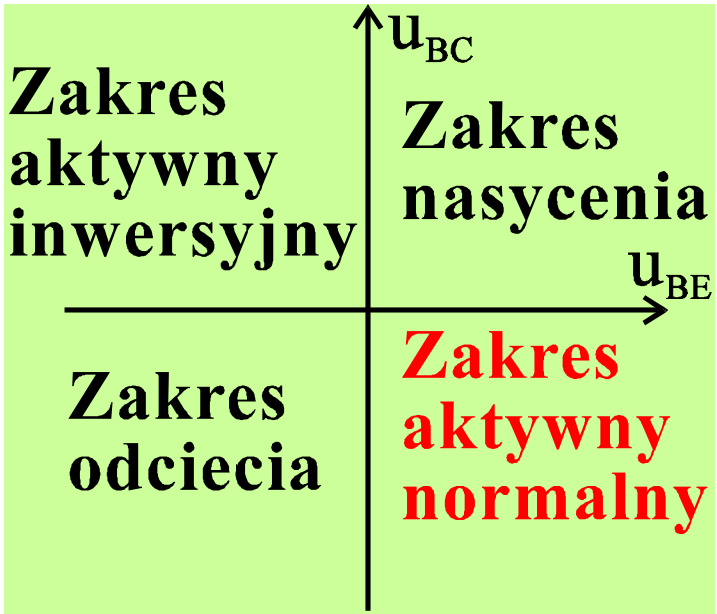


<u>Wymagania</u>: 1. $N_E >> N_B$

2. $w_B << L_B$

Zakresy paracy tranzystora bipolarnego

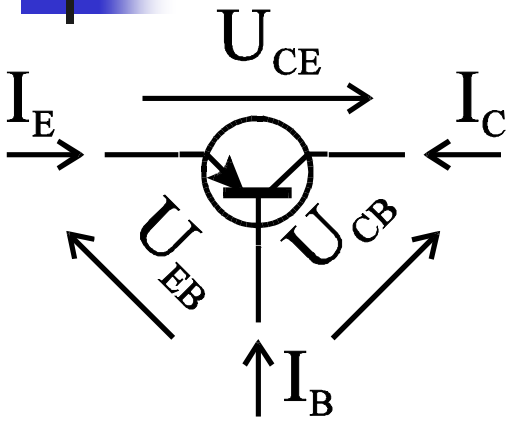




Polaryzacja złącz w tranzystorze

zakres aktywny normalny:	BE przewodząco, BC zaporowo
zakres nasycenia:	BE przewodząco, BC przewodząco
zakres aktywny inwersyjny:	BE zaporowo, BC przewodząco
zakres odcięcia:	BE zaporowo, BC zaporowo

Charakterystyki statyczne TB



$$U_{CE} + U_{EB} - U_{CB} = 0$$

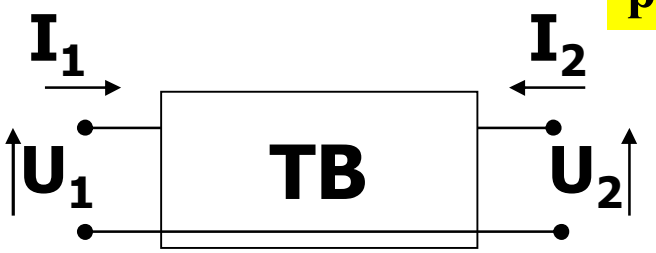
$$I_E + I_C + I_B = 0$$

Charakterystyka wejściowa $I_1(U_1)_{|U_2=const}$

Charakterystyka przejściowa prądowo-prądowa $I_2(I_1)_{|U_2=const}$

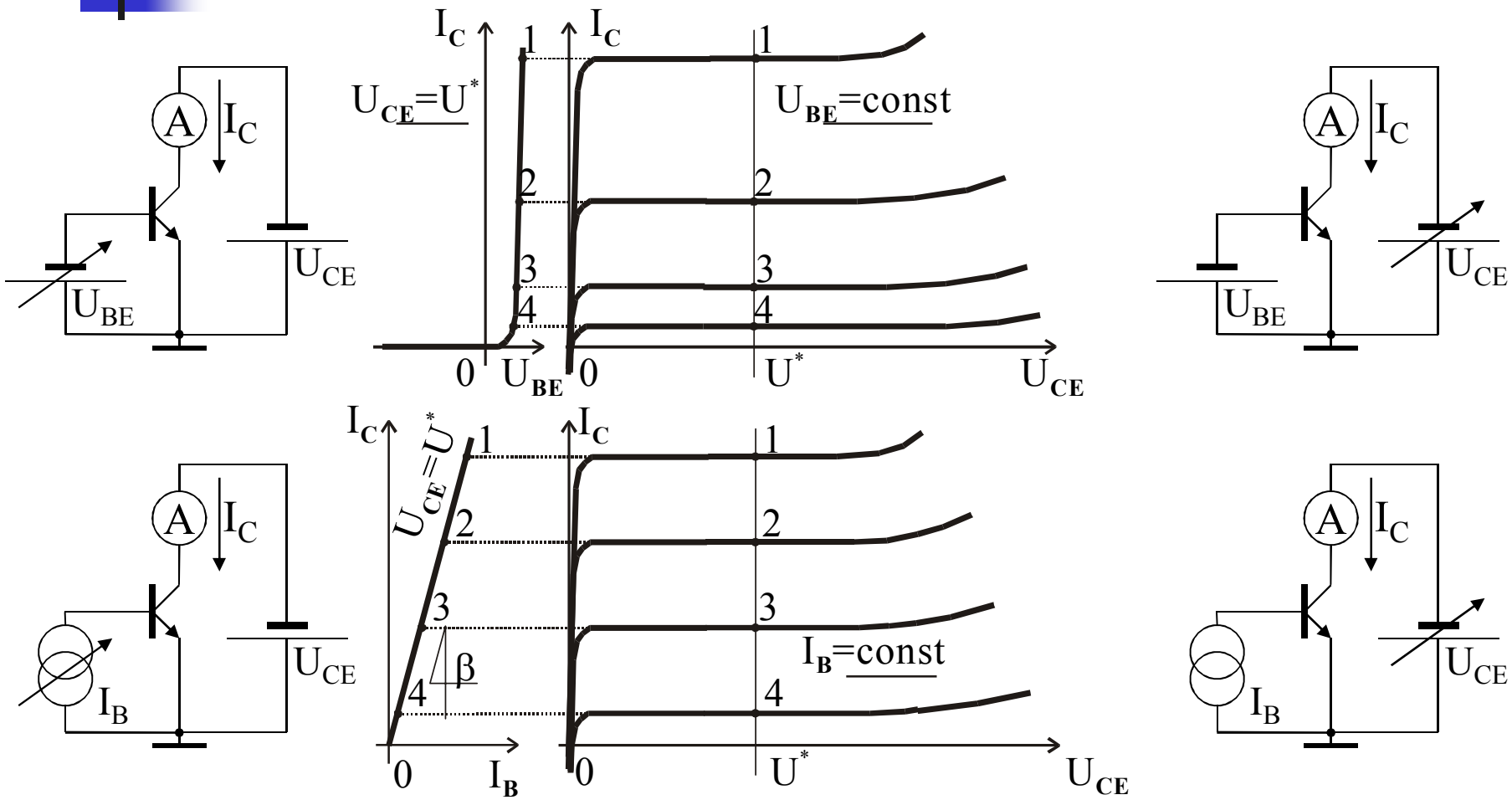
Charakterystyka przejściowa prądowo-napięciowa $I_2(U_1)_{|U_2=const}$

Charakterystyka wyjściowa parametryzowana napięciowo $I_2(U_2)_{|U_1=const}$

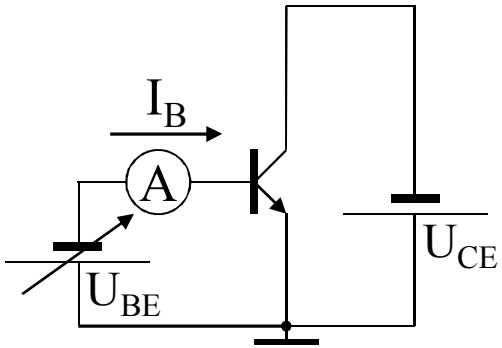


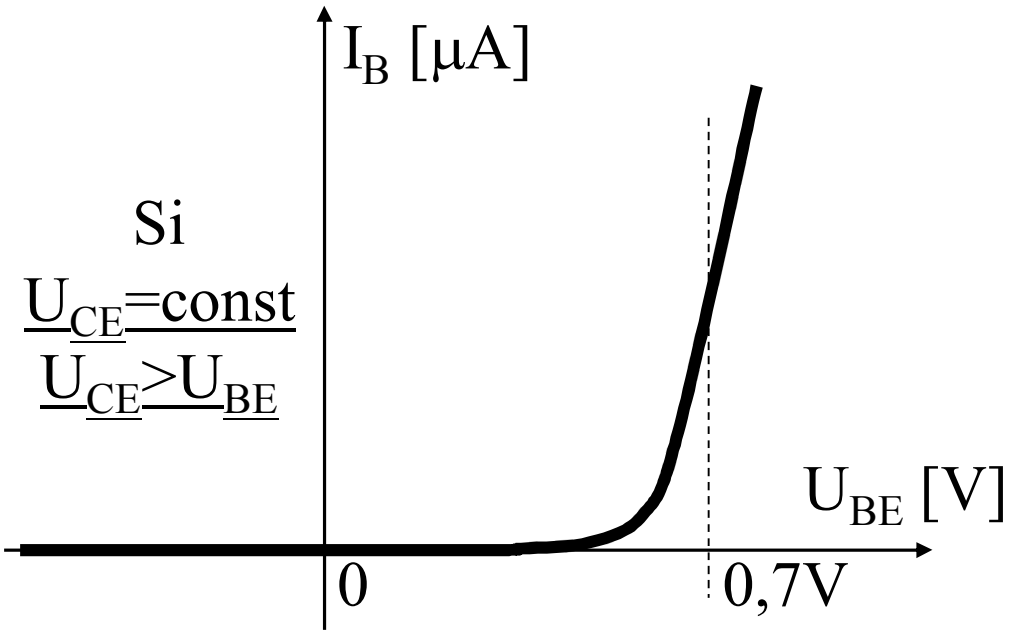
Charakterystyka wyjściowa parametryzowana prądowo $I_2(U_2)_{|I_1=const}$

Charakterystyki I-U tranzystora NPN



Charakterystyka wejściowa tranzystora NPN





$$\boxed{i_C = I_{CB0} + \alpha \cdot i_E}$$

$$i_E(u_{BE}) \approx I_{ES} e^{\frac{u_{BE}}{V_T}}$$

$$\alpha = 0{,}95 \div 0{,}99889 \approx 1$$

$$i_E = i_C + i_B$$

$$i_C = I_{CB0} + \alpha \cdot (i_C + i_B)$$

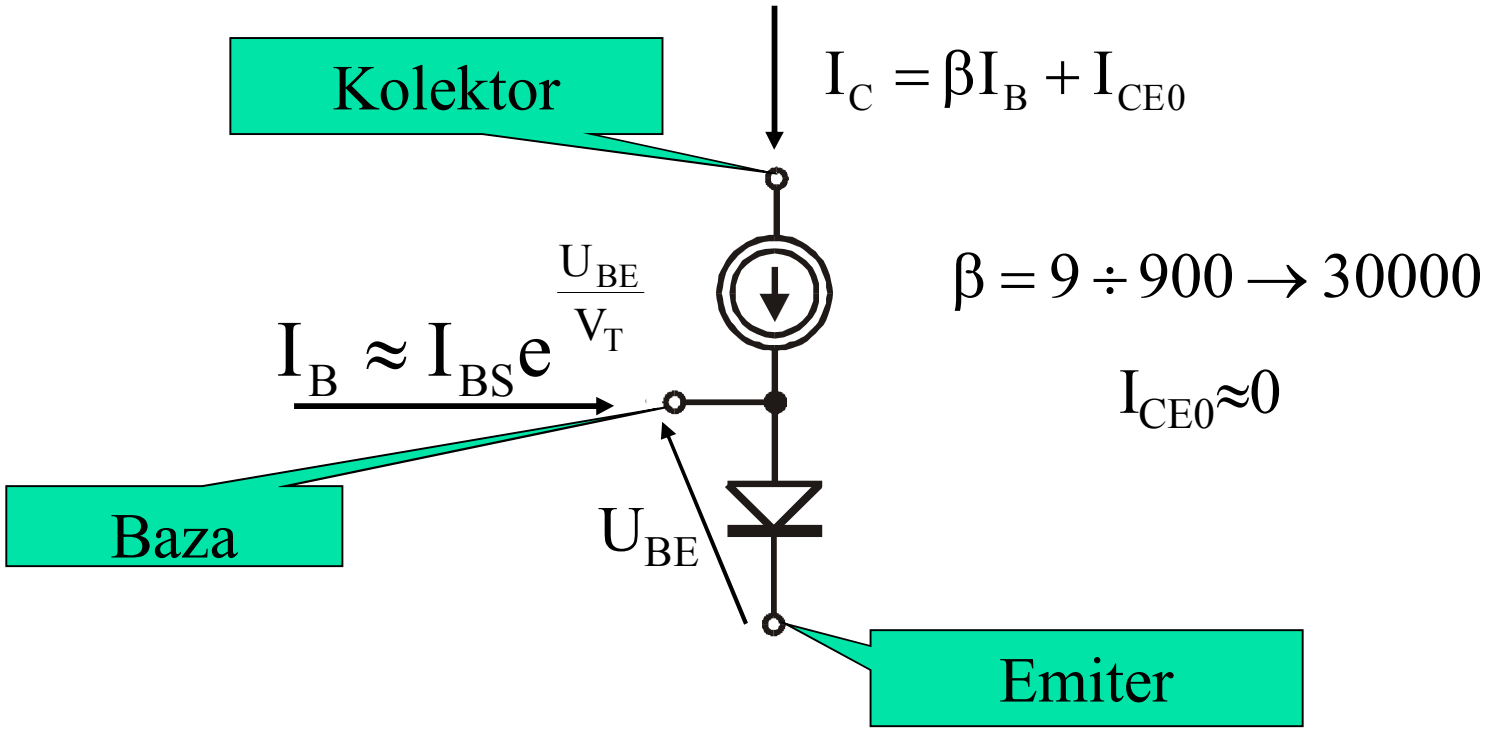
$$\rightarrow \boxed{i_C = I_{CE0} + \beta \cdot i_B}$$

$$I_{CE0} = \frac{I_{CB0}}{1-\alpha} \approx \beta \cdot I_{CB0}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

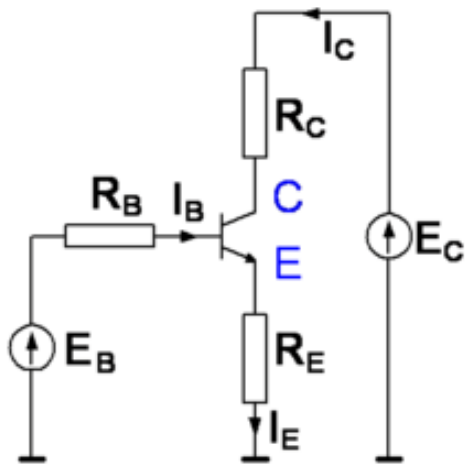
$$\beta = 9 \div 900 \rightarrow 30000$$

Schemat zastępczy tranzystora NPN w zakresie aktywnym

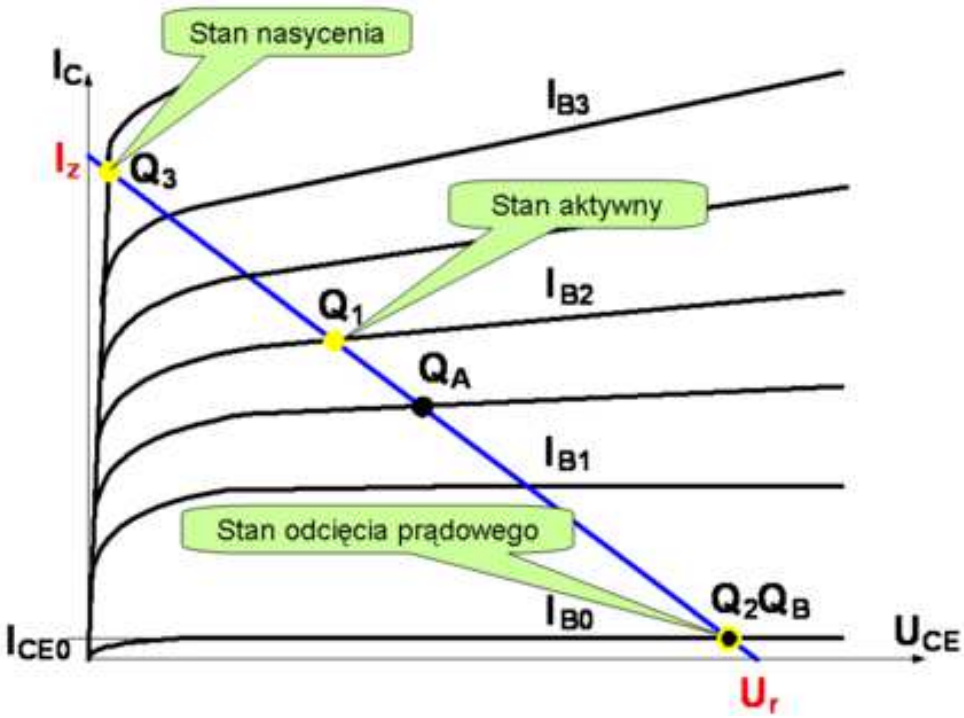


Punkt pracy tranzystora bipolarnego

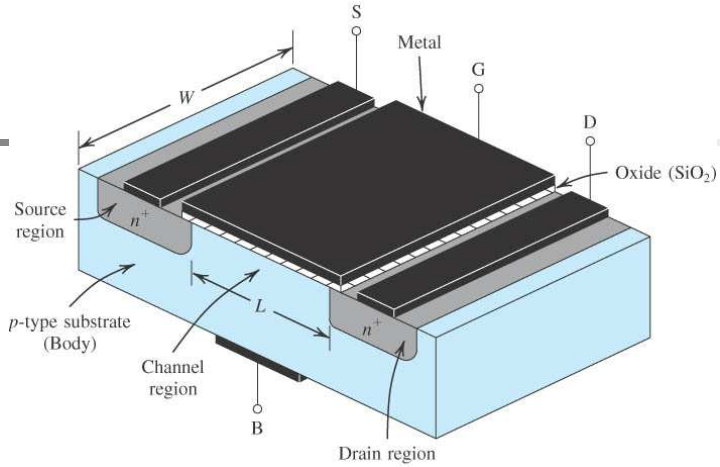
Punkt pracy tranzystora można jednoznacznie określić w polu charakterystyk wyjściowych, jeżeli znane są I_{BQ}, I_{CQ},U_{CEQ} oraz rezystancje R_B, R_E, R_C i napięcia źródeł zasilania E_B i E_C .

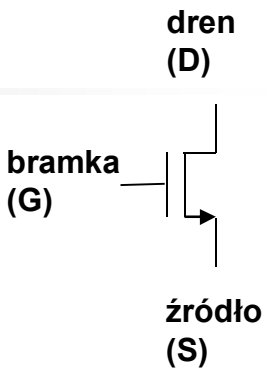


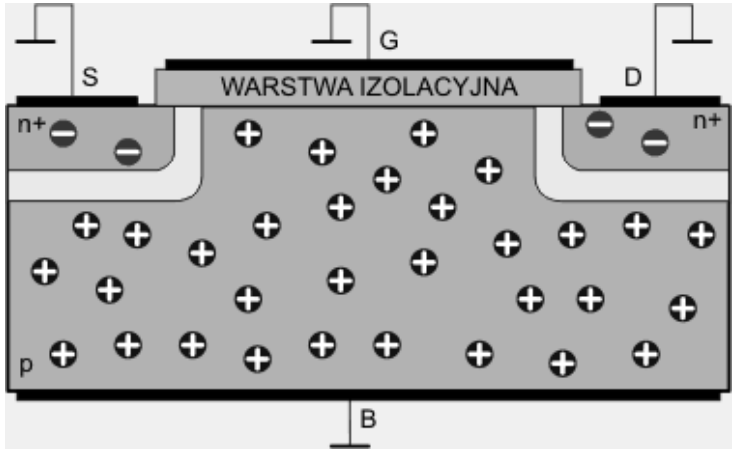
Punkt pracy tranzystora bipolarnego

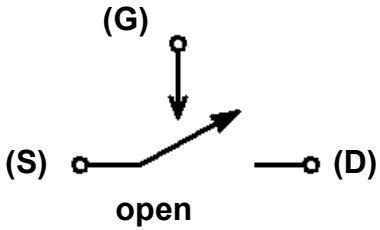


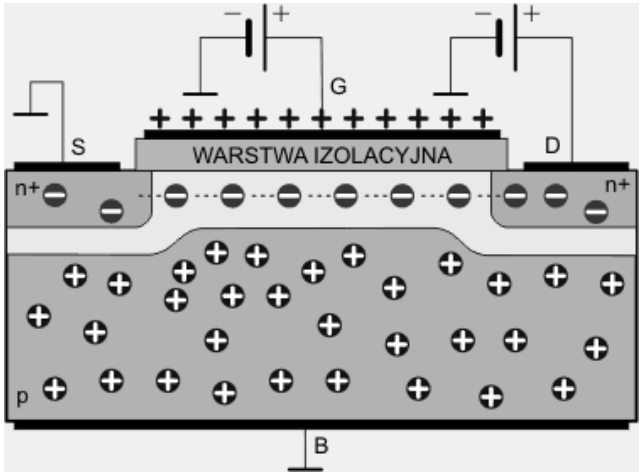
MOSFET z kanałem indukowanym typu n

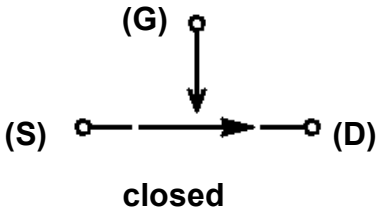




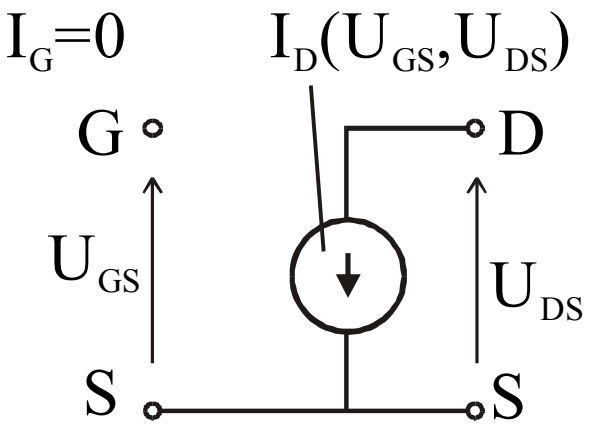








Elektryczny stałoprądowy schemat zastępczy tranzystora polowego



zakres odcięcia $U_{GS}<U_T$

$$I_D = 0$$

zakres nienasycenia $U_{GS}>U_T$; $U_{DS}<U_{GS}-U_T$

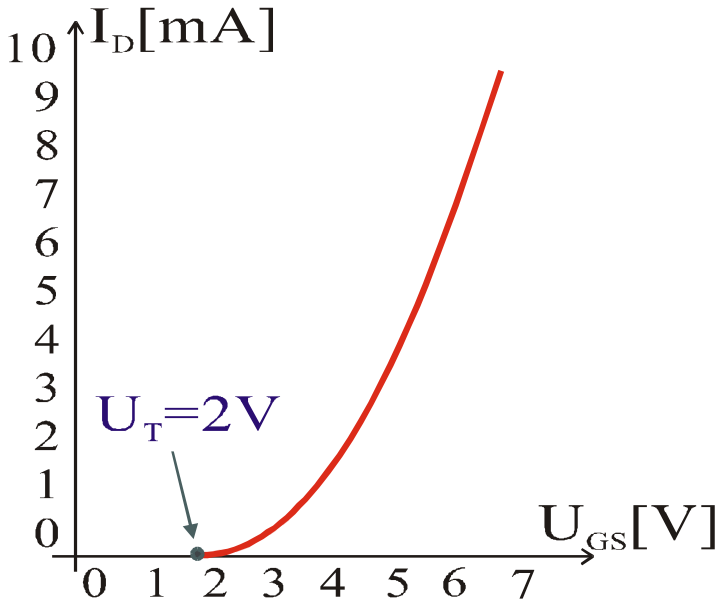
$$I_{D|U_{DS}<U_{GS}-U_T} = B\left(U_{GS} - U_T - \frac{U_{DS}}{2}\right)U_{DS};$$

zakres nasycenia $U_{GS}>U_T$; $U_{DS}\geq U_{GS}-U_T$

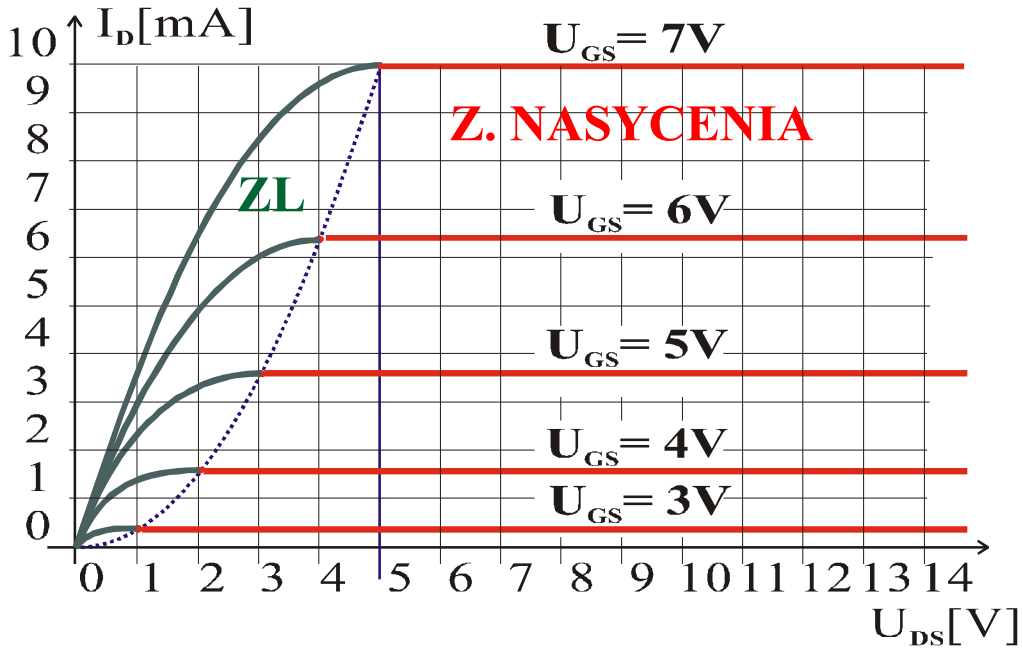
$$I_{D|U_{DS}\geq(U_{GS}-U_T)} = \frac{B}{2}(U_{GS} - U_T)^2$$

$$B = C_{GK}\frac{\mu_n W}{L}$$

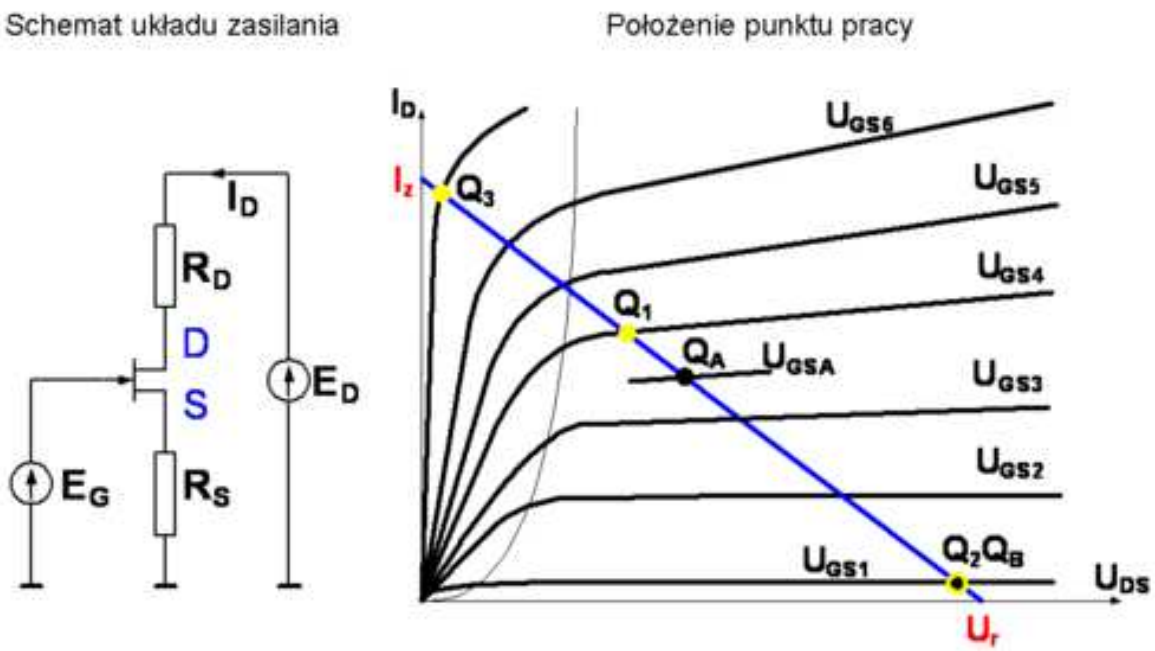
Charakterystyki MOSFET-a z kanałem indukowanym typu N (przykład)

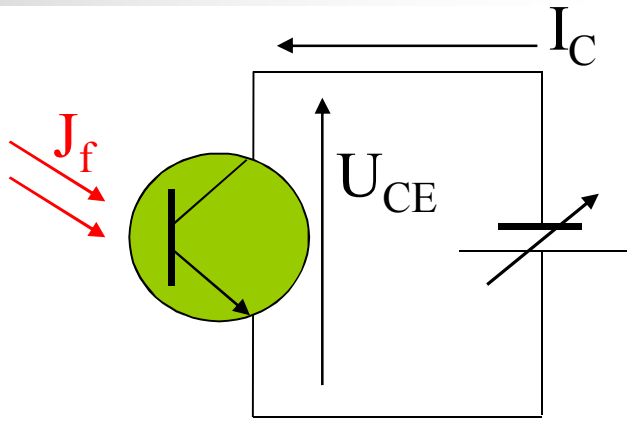
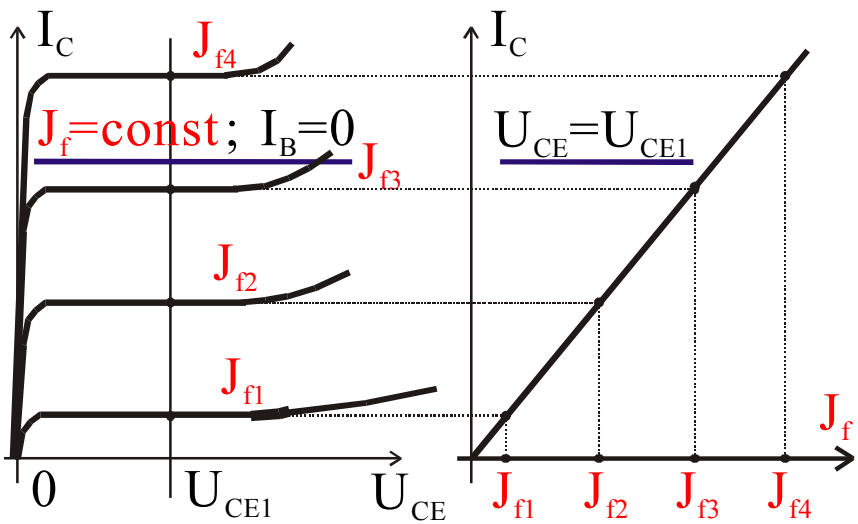


$U_{DS} = U_{GS} - U_T$



Punkt pracy tranzystora MOSFET



Fototranzystor

$$I_C=(1+\beta)(I_{CB0}+I_f)+\beta I_B \qquad I_f = S_f \cdot J_f$$