



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**

Wydział Telekomunikacji,
Informatyki i Elektrotechniki

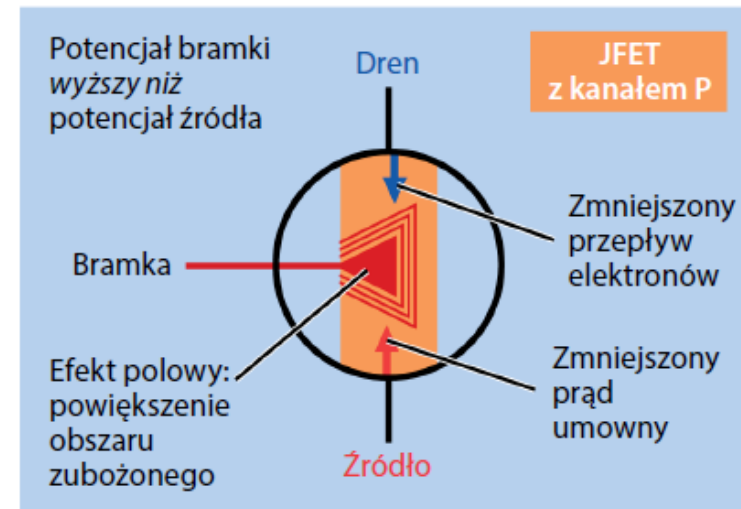
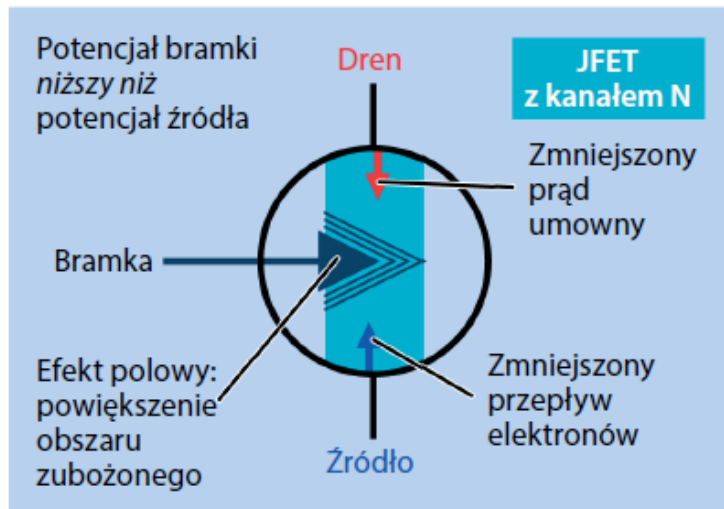
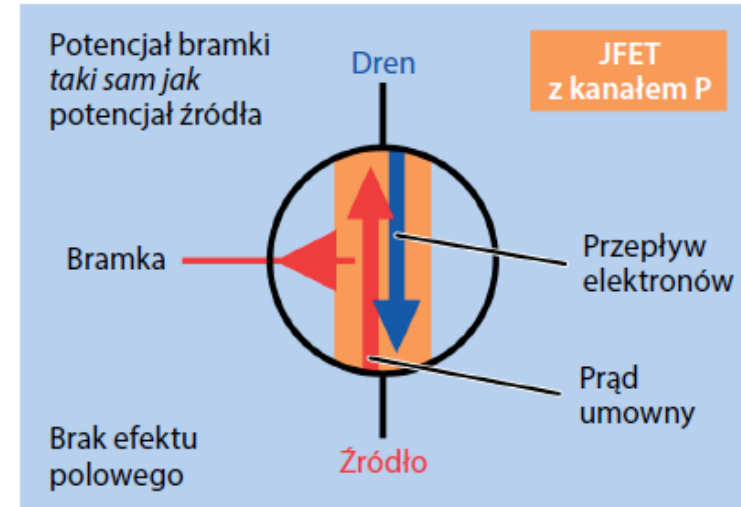
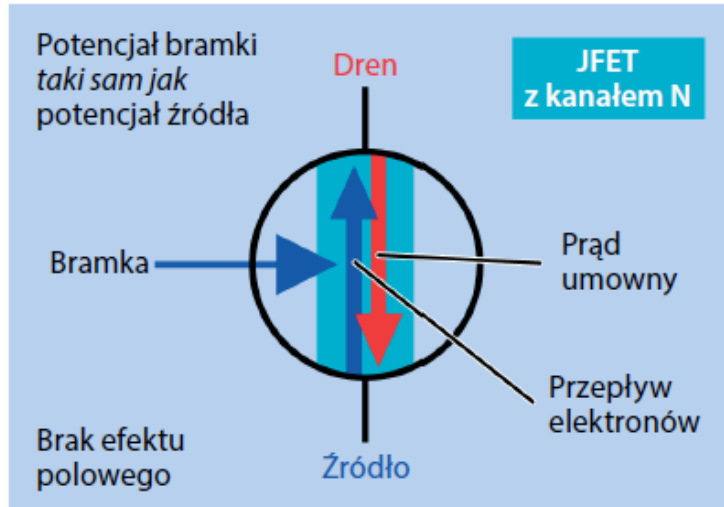
Podstawy Elektroniki

Wykład 4

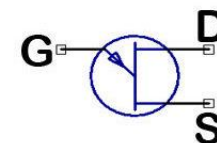
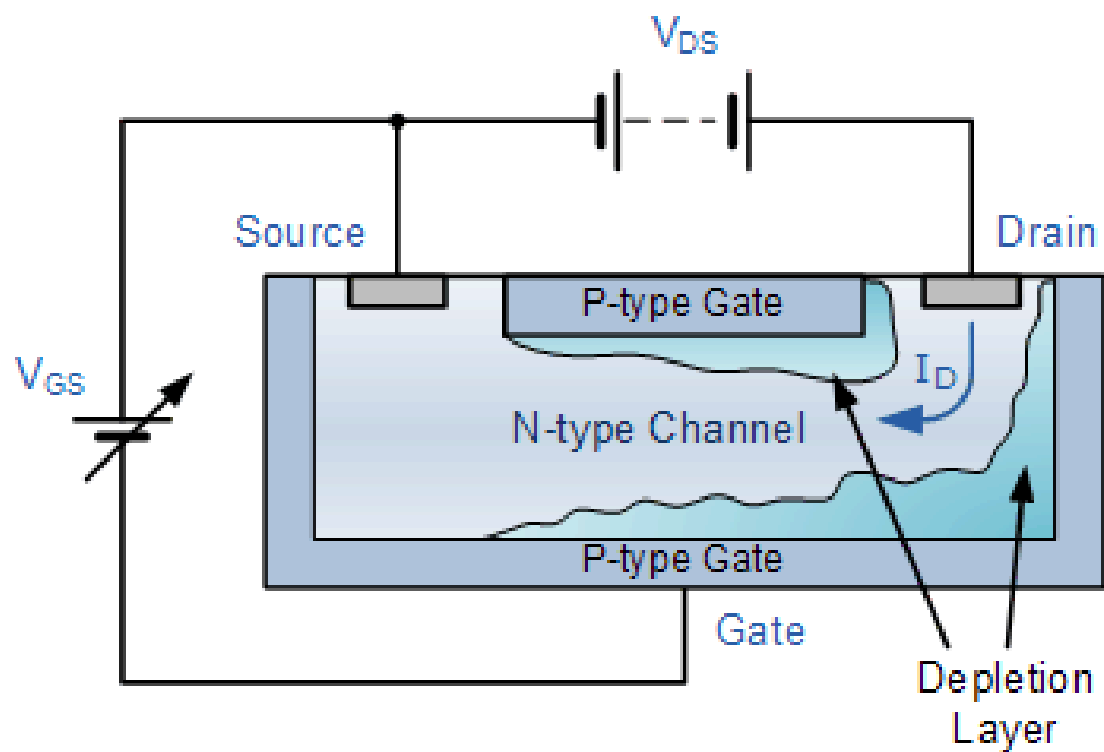
dr inż. Monika Kosowska



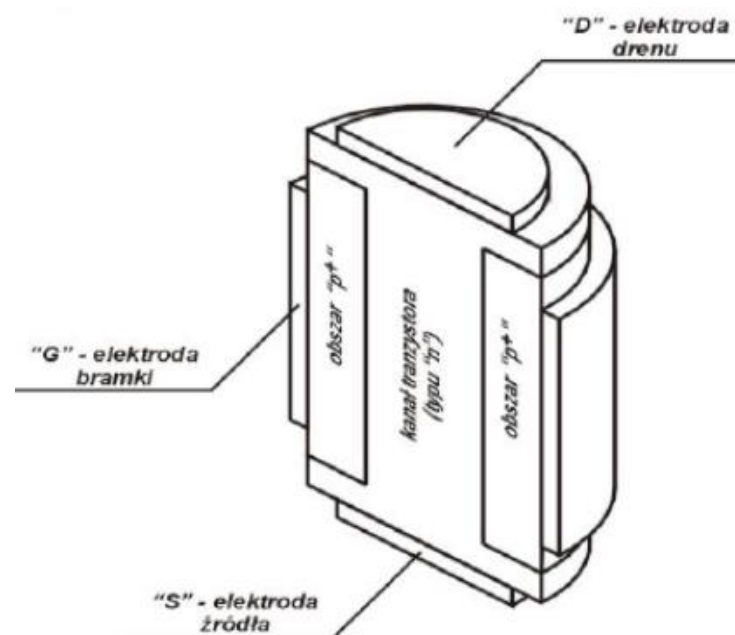
Tranzystor JFET



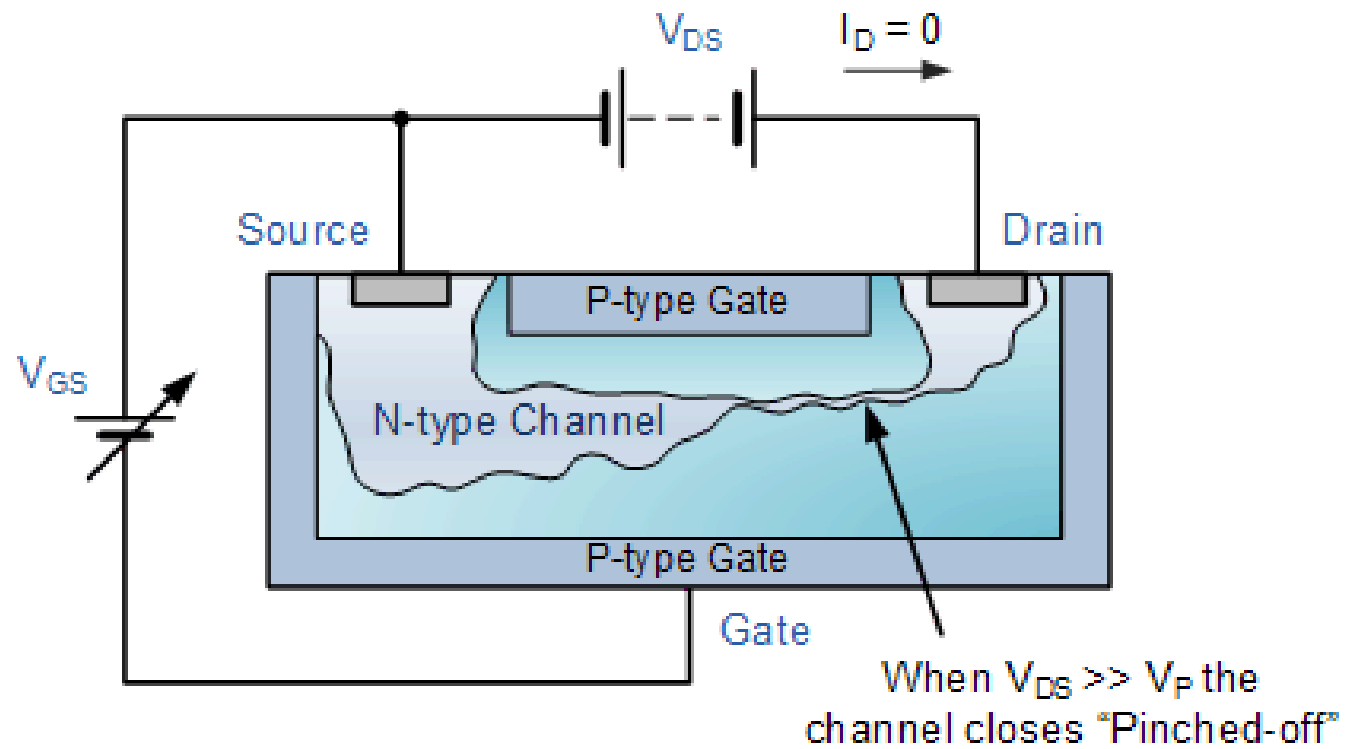
Tranzystor JFET z kanałem N



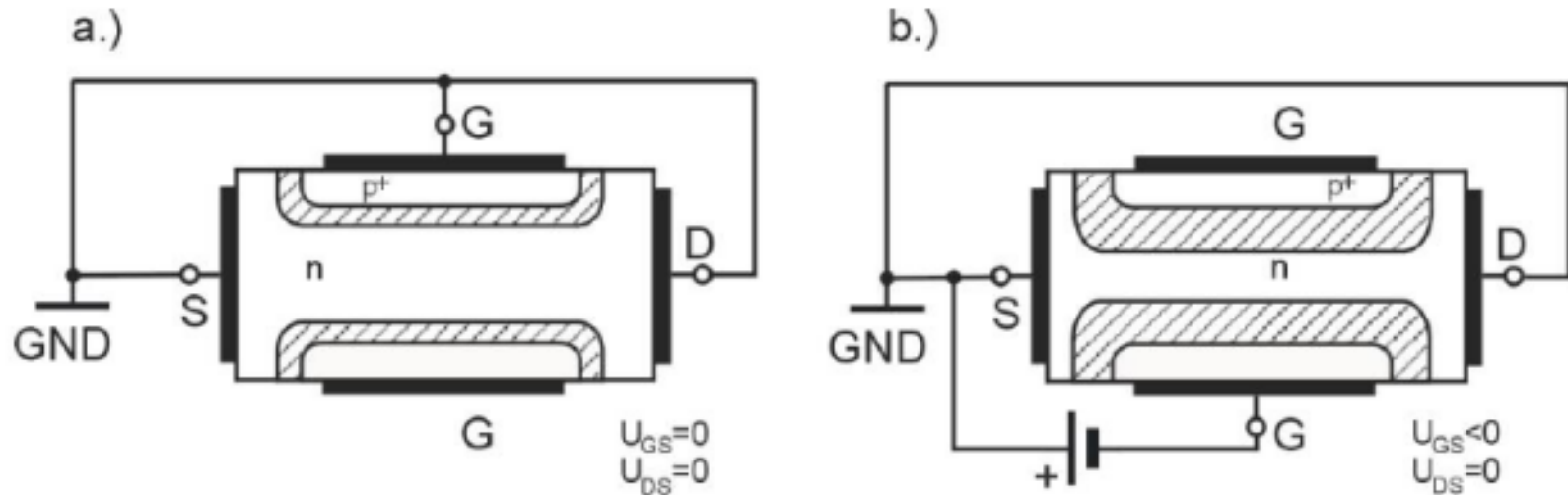
S = Source
D = Drain
G = Gate



Tranzystor JFET z kanałem N



Tranzystor JFET

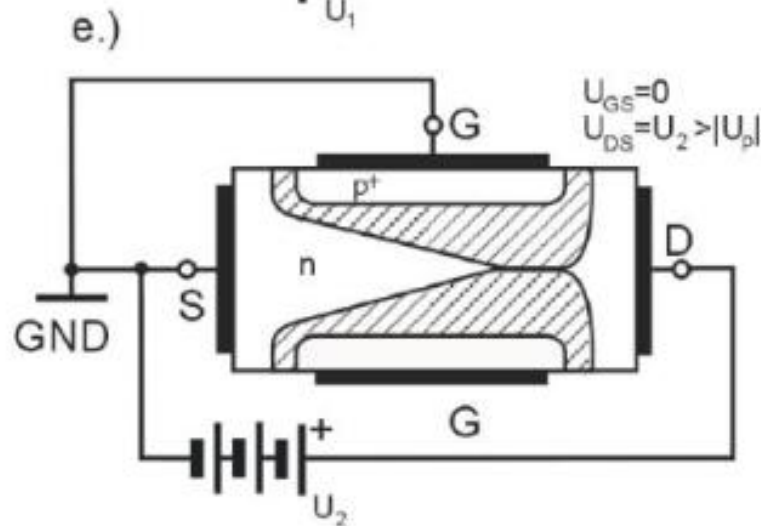
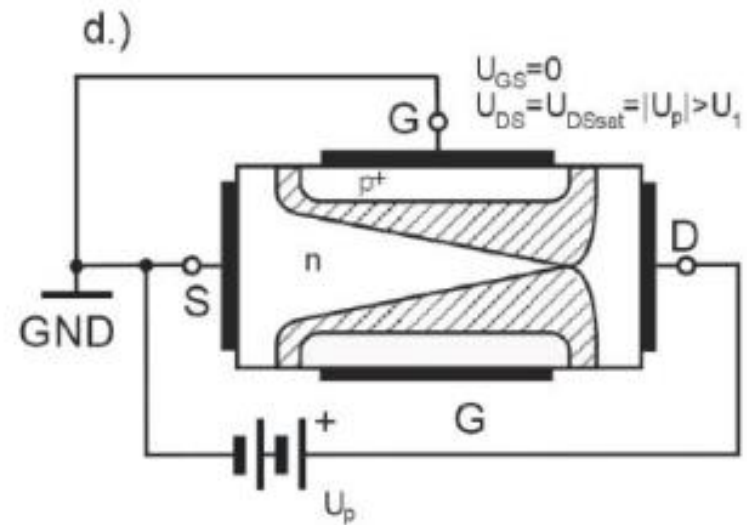
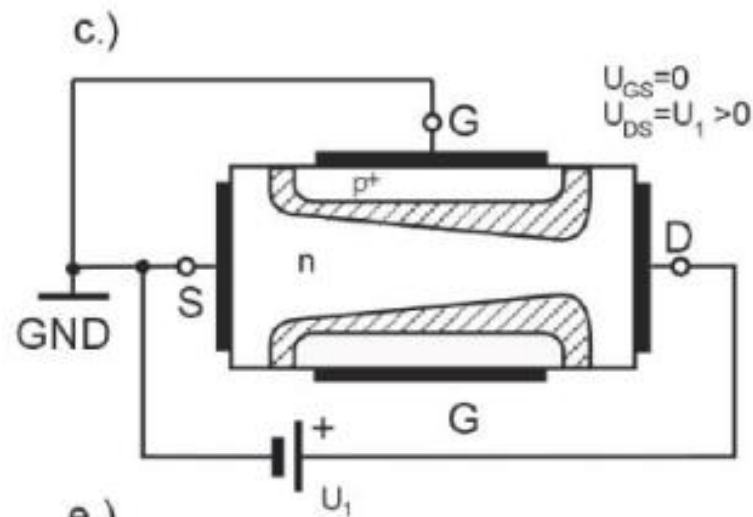



- obszar zubożony na granicy złącza
(inaczej: o. ładunku przestrzennego
lub o. bariery potencjału
lub o. zaporowy)




- **Ground** (ziemia, masa); potencjał
zerowy odniesienia, względem niego
określa się napięcia w układzie

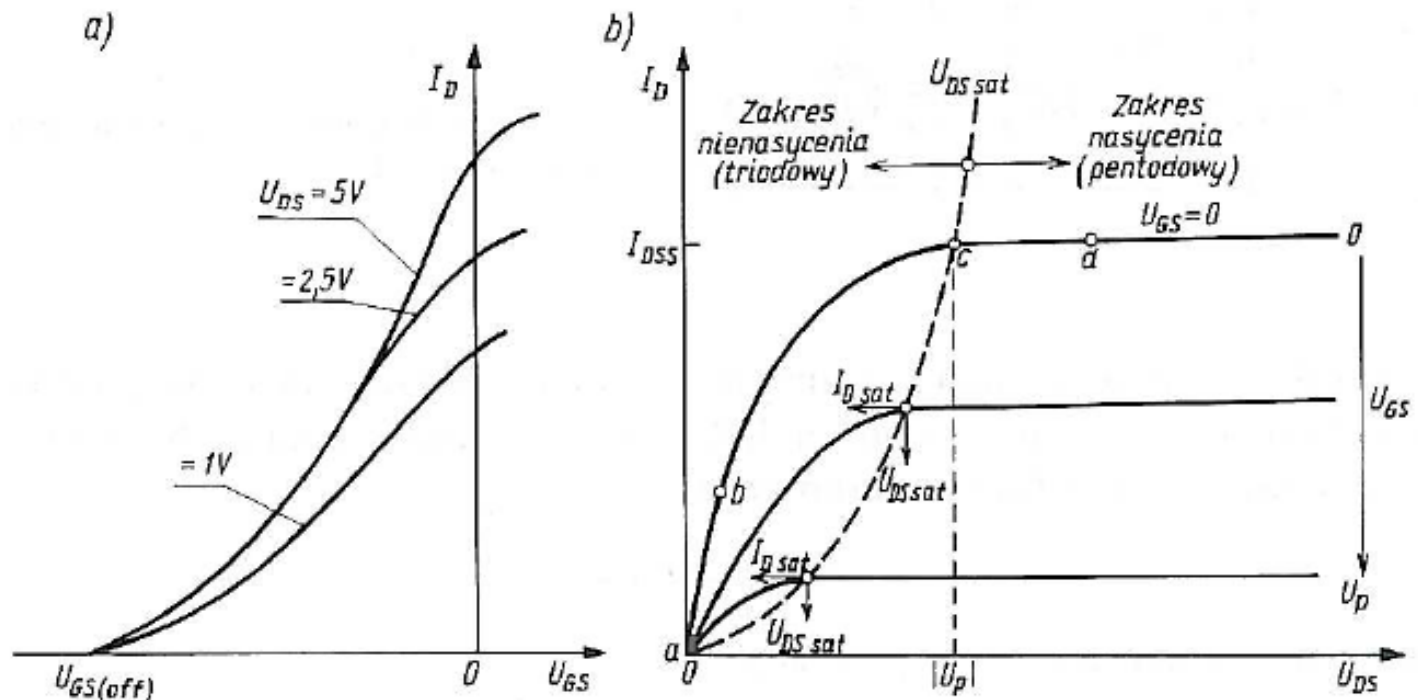
Tranzystor JFET



 - obszar zubożony na granicy złącza (inaczej: o. ładunku przestrzennego lub o. bariery potencjału lub o. zaporowy)

 - GrouND (ziemia, masa); potencjał zerowy odniesienia, względem niego określa się napięcia w układzie

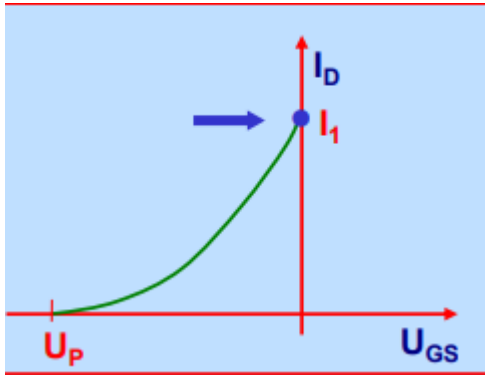
Charakterystyki tranzystora JFET – kanał typu n



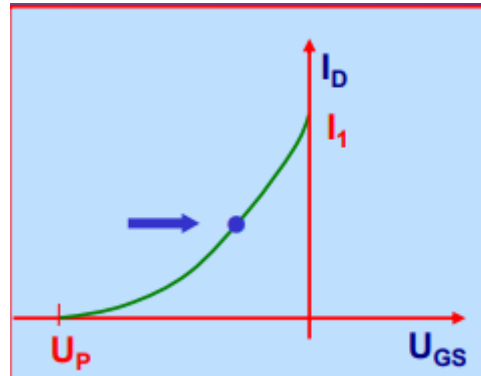
a) przejściowa, zależność prądu drenu I_D od napięcia bramka-źródło U_{GS} , przy stałym napięciu dren-źródło U_{DS}

b) wyjściowa, zależność prądu drenu I_D od napięcia dren-źródło U_{DS} , przy stałym napięciu bramka-źródło U_{GS}

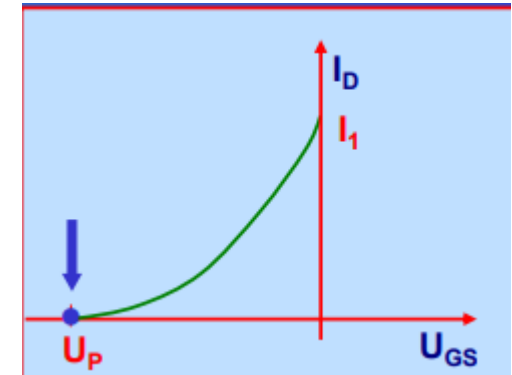
Charakterystyki przejściowe tranzystora JFET



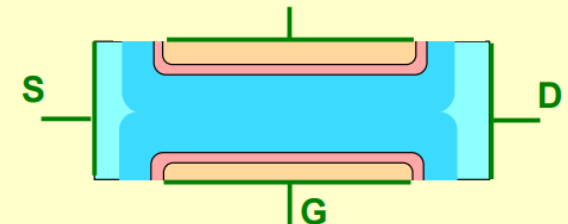
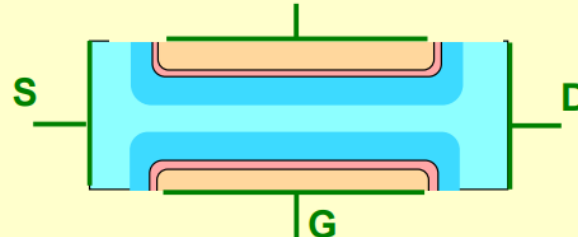
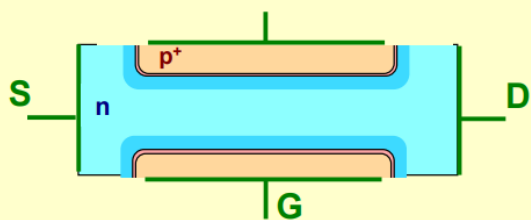
$$\begin{aligned} U_{GS} &= 0 \\ U_{DS} &\text{ - male} \\ I_D &= I_1 \end{aligned}$$



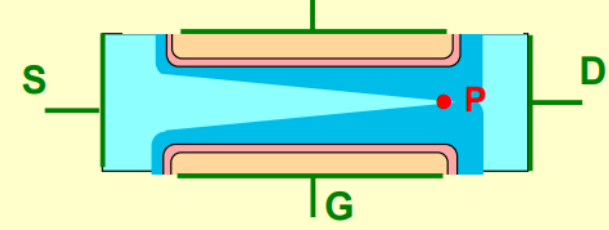
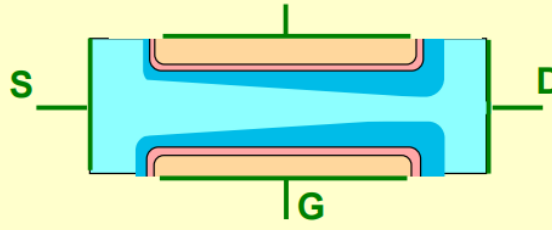
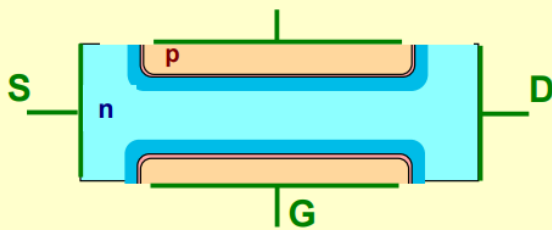
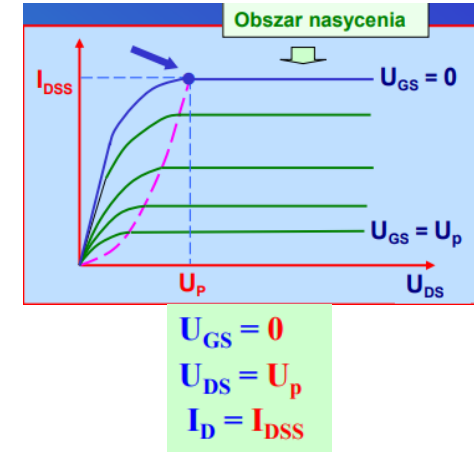
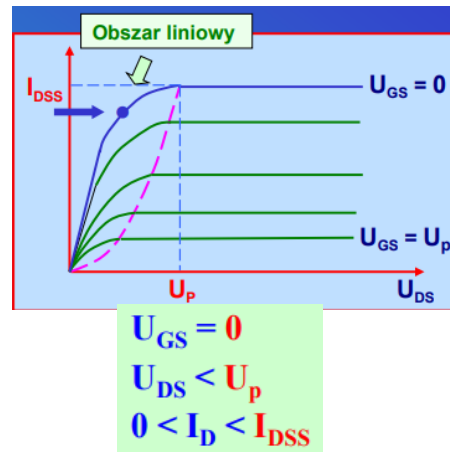
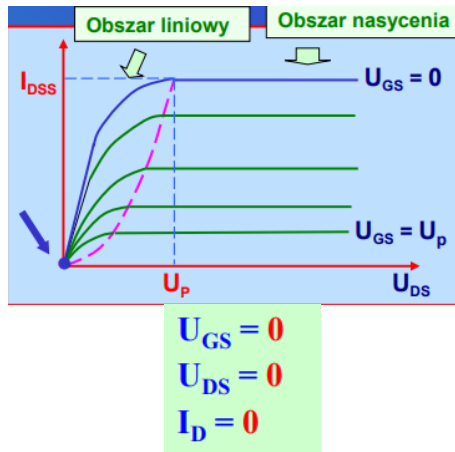
$$\begin{aligned} U_P &< U_{GS} < 0 \\ U_{DS} &\text{ - male} \\ I_D &< I_1 \end{aligned}$$



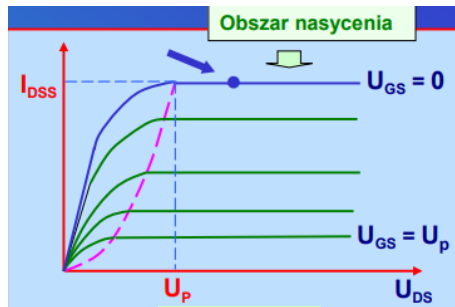
$$\begin{aligned} U_{GS} &= U_P \\ U_{DS} &\text{ - male} \\ I_D &= 0 \end{aligned}$$



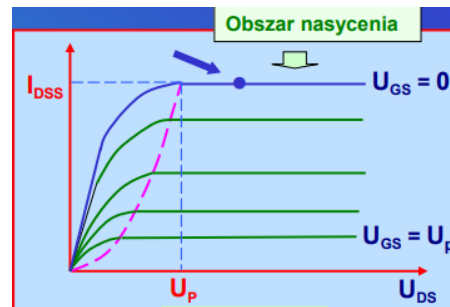
Charakterystyki wyjściowe



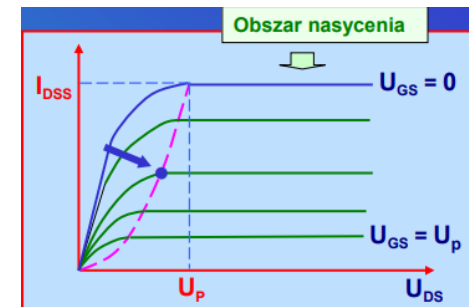
Charakterystyki wyjściowe



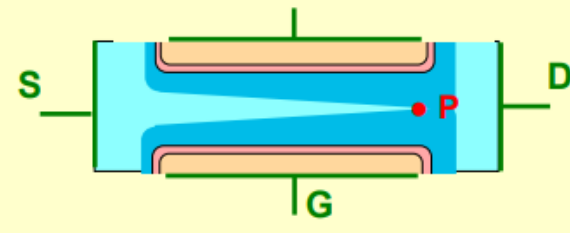
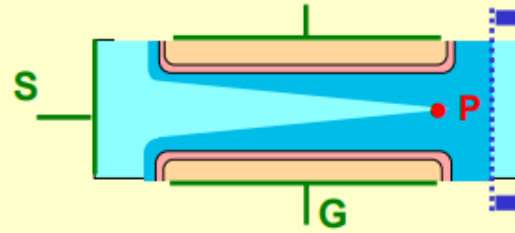
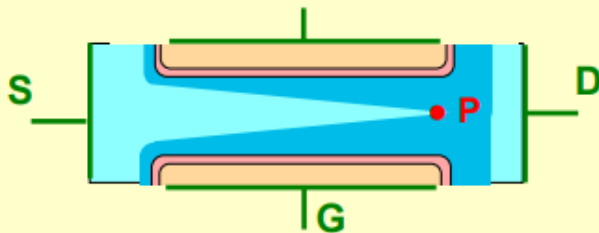
$$\begin{aligned} U_{GS} &= 0 \\ U_{DS} &= U_P \\ I_D &= I_{DSS} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} U_{GS} &= 0 \\ U_{DS} &= U_P \\ I_D &= I_{DSS} \end{aligned}$$



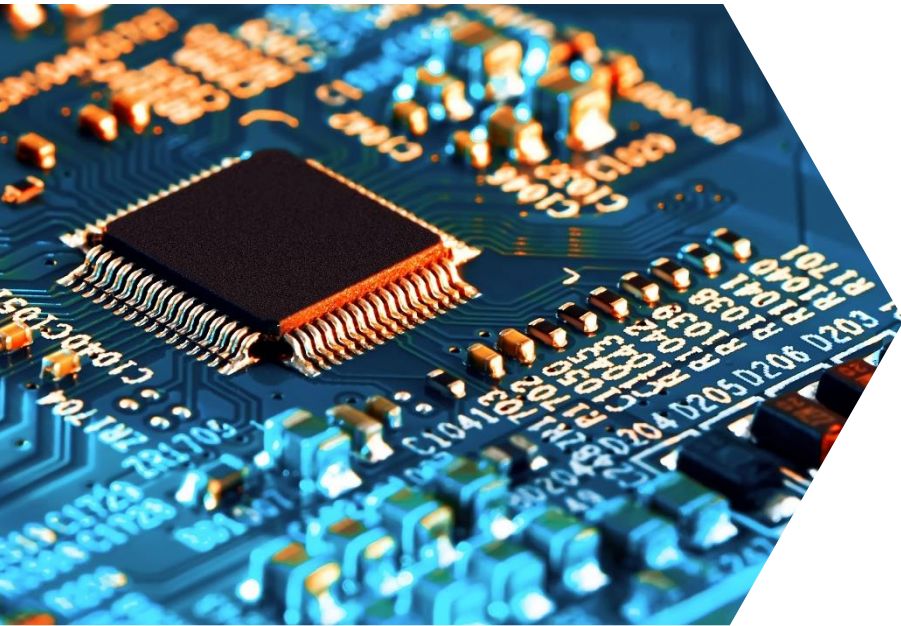
$$\begin{aligned} U_{GS} &< 0 \\ U_{DS} &= U_P \\ I_D &< I_{DSS} \end{aligned}$$



$$U_P = U_{GS} + U_{DS}$$

- tranzystory bipolarne są elementami normalnie wyłączonymi, sterowanymi prądowo – w przypadku braku prądu bazy nie płynie prąd kolektora lub emitera
- tranzystory JFET są elementami normalnie włączonymi, sterowane są napięciowo - przy braku napięcia sterującego przez kanał płynie maksymalny prąd

	Tranzystor bipolarny NPN	JFET z kanałem N
Rodzaj wzmocnienia	Prądowe	Napięciowe
Polaryzacja robocza	Dodatnia	Ujemna
Stan przy braku polaryzacji	Nieprzewodzenie	Przewodzenie
Stan przy polaryzacji roboczej	Lepsze przewodnictwo	Gorsze przewodnictwo



Tranzystor MOSFET

Tranzystor polowy z izolowaną bramką (MOSFET)

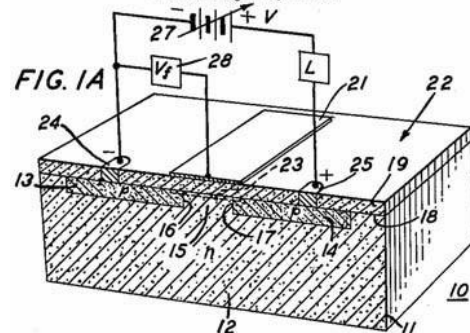
Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor



Mohamed Atalla i Dawon Kahng

Rys. 1 Fragment patentu z 1960 r.

Aug. 27, 1963 **DAWON KAHNG** 3,102,230
ELECTRIC FIELD CONTROLLED SEMICONDUCTOR DEVICE
Filed May 31, 1960



Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

Our World
in Data

Transistor count

50,000,000,000

10,000,000,000

5,000,000,000

1,000,000,000

500,000,000

100,000,000

50,000,000

10,000,000

5,000,000

1,000,000

500,000

100,000

50,000

10,000

5,000

1,000

500

100

50

10

5

1

0.5

0.25

0.125

0.0625

0.03125

0.015625

0.0078125

0.00390625

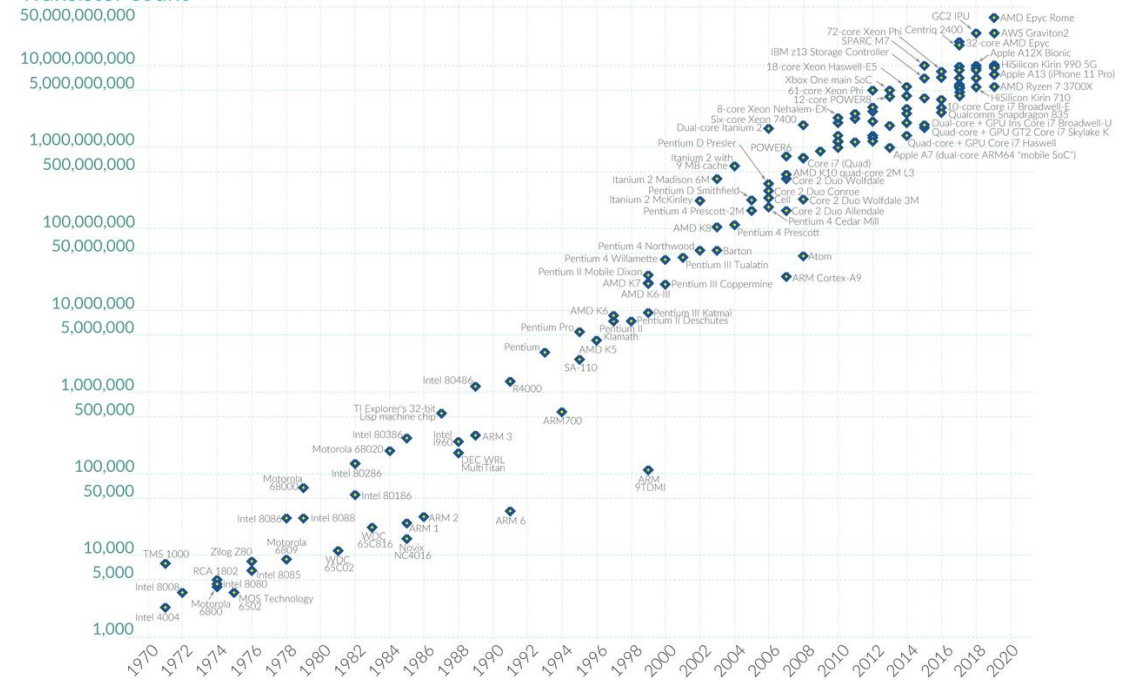
0.001953125

Data source: Wikipedia (wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

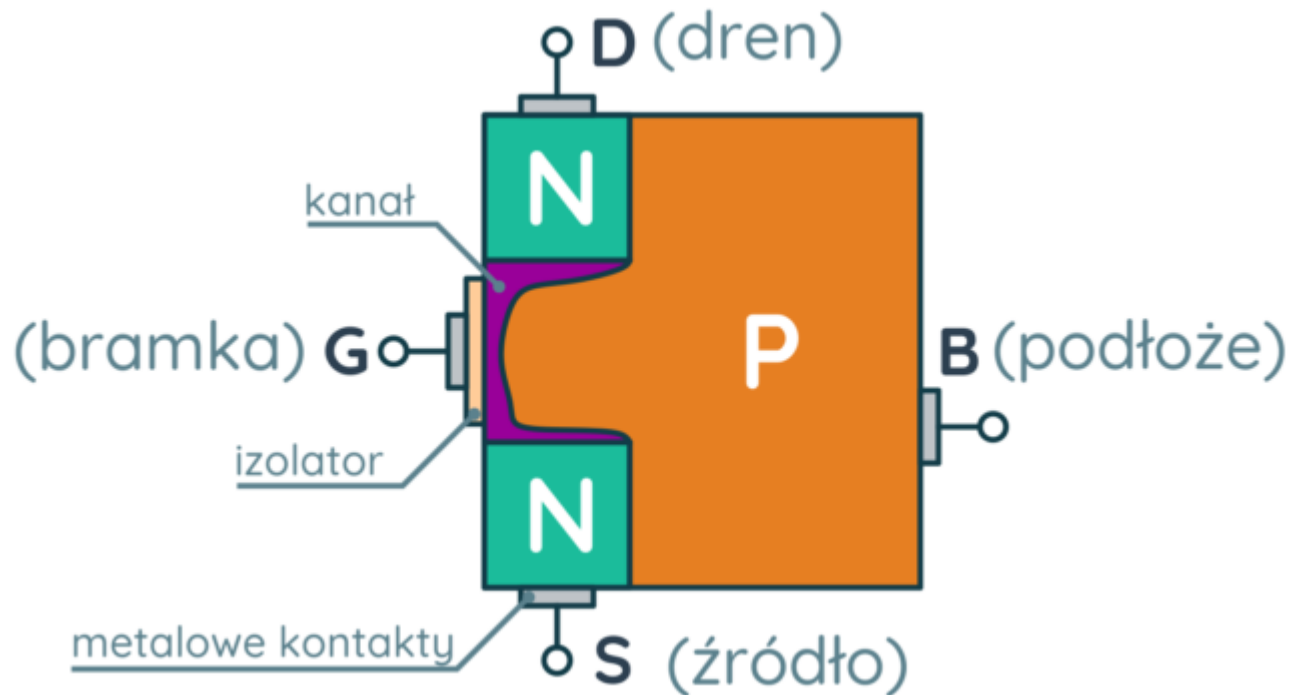
OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Year in which the microchip was first introduced

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

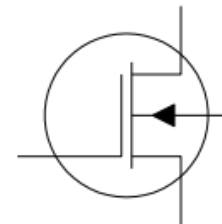
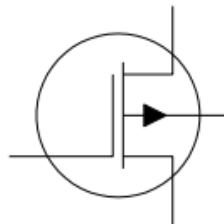
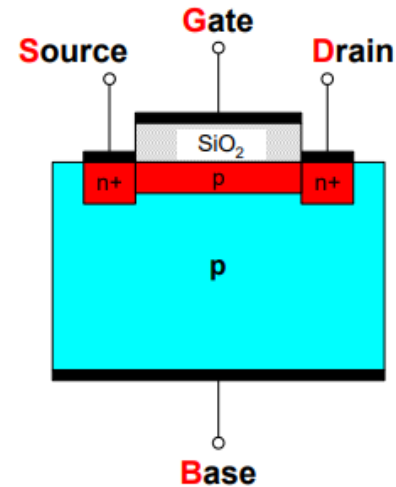
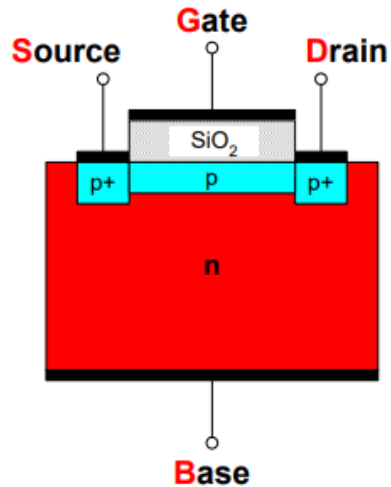


MOSFET - *Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor*



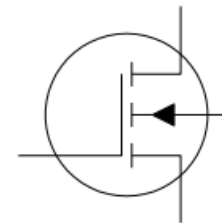
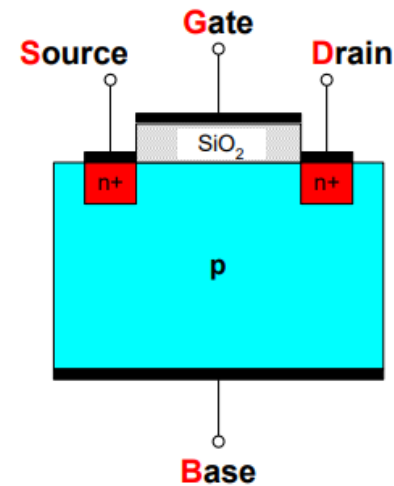
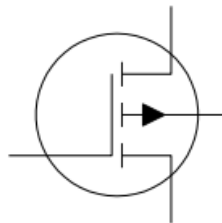
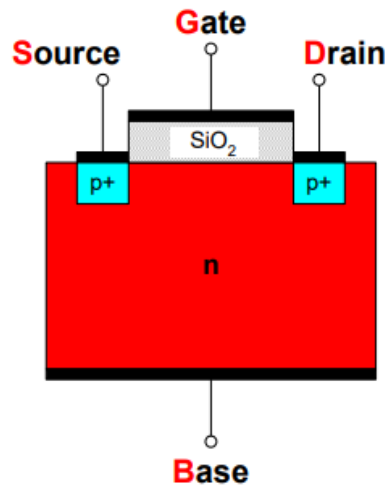
Tranzystor MOSFET

- Z kanałem zubożonym (kanał wbudowany)
- Normalnie włączone

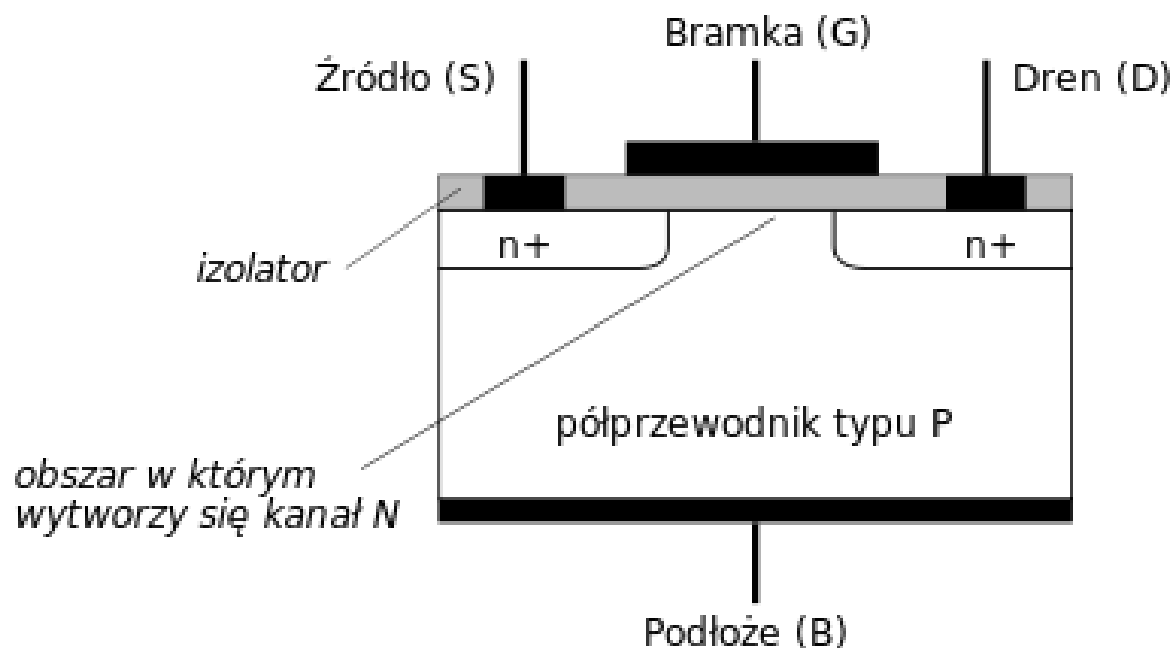


Tranzystor MOSFET

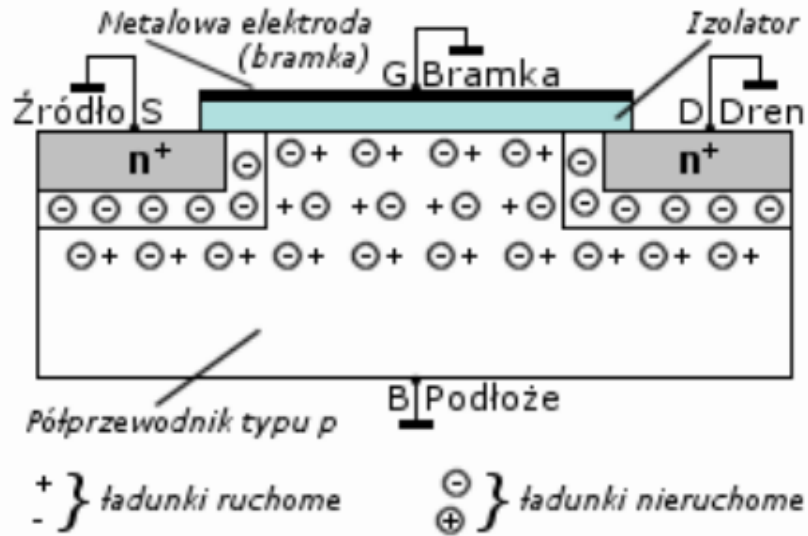
- Z kanałem wzbogaczanym (kanał indukowany)
- Normalnie wyłączone



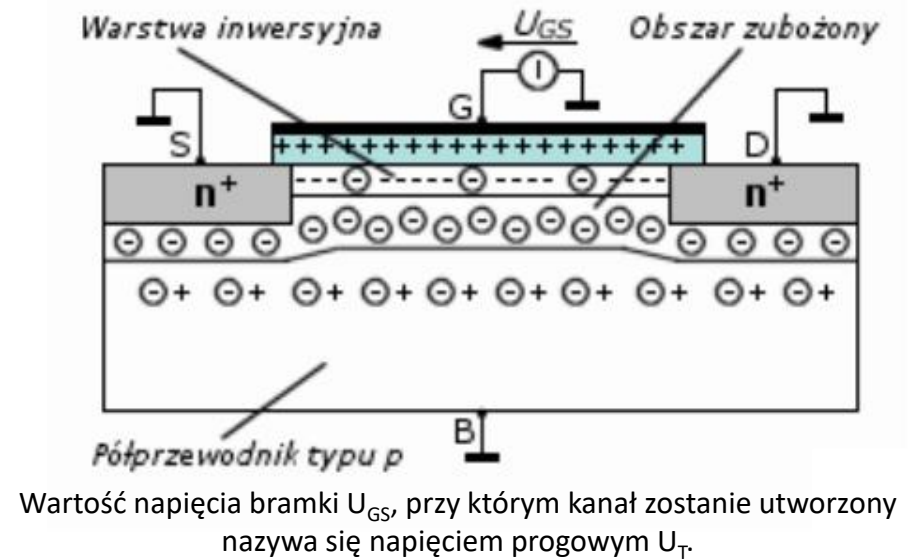
Tranzystor MOSFET - budowa



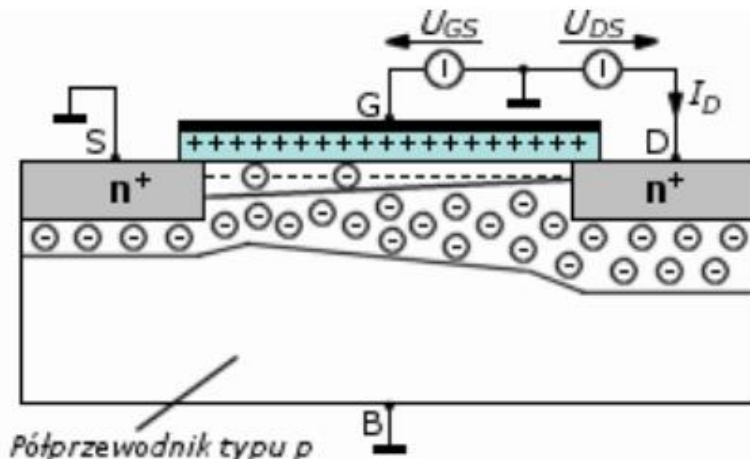
a) $U_{DS} = U_{GS} = 0$



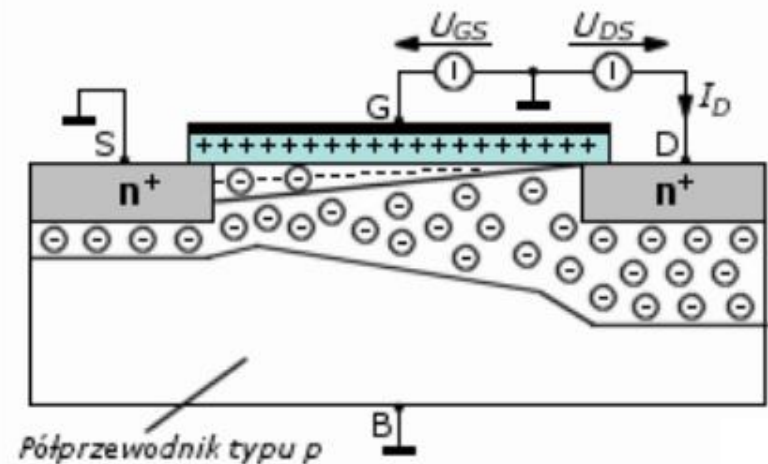
b) $U_{GS} > 0$



c) $U_{DS} > 0$

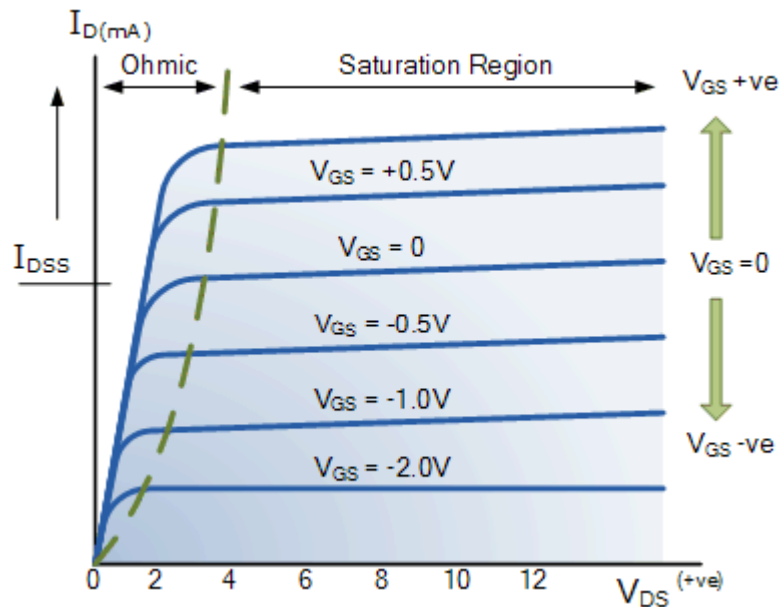


d) $U_{DS} > U_{GS} - U_T$

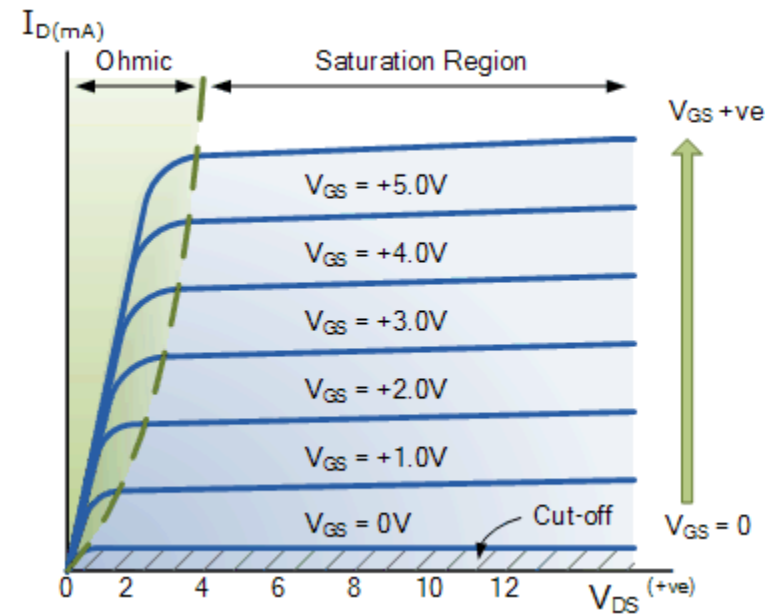


Zakresy pracy

- Zakres nienasycenia (liniowy, triodowy)
- Zakres nasycenia (pentodowy)

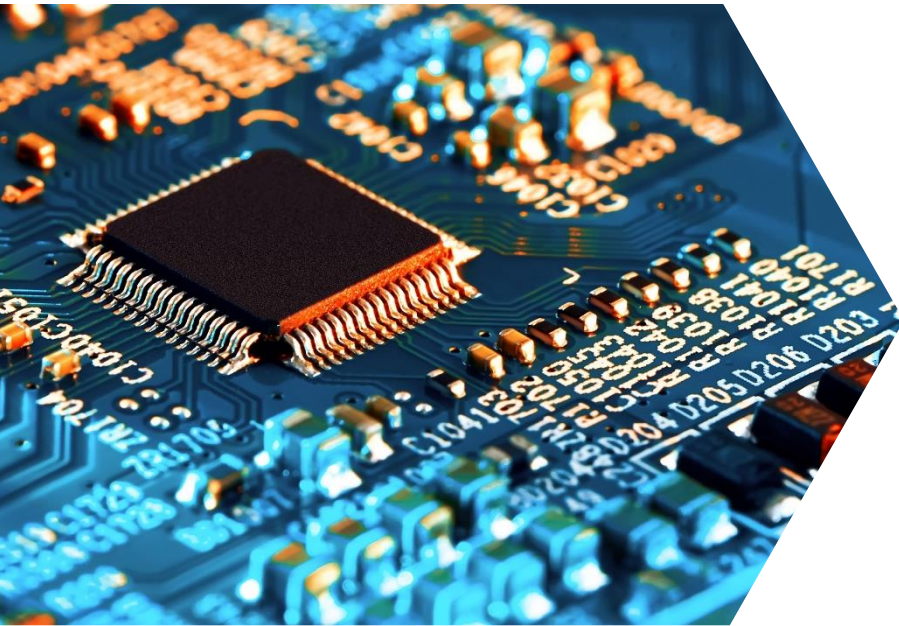


Z kanałem zubożonym



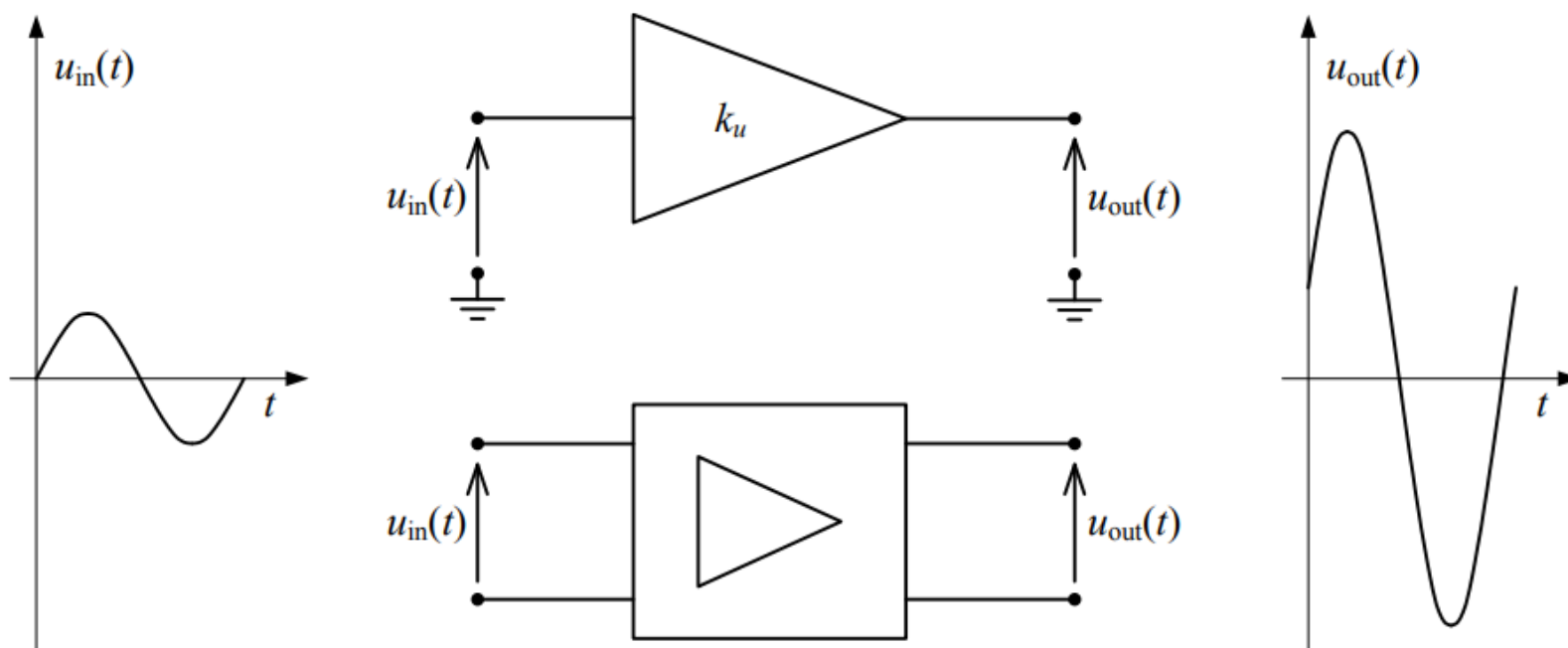
Z kanałem wzbożonym

Tranzystor MOSFET n-kanałowy



Wzmocniacz operacyjny

Wzmacniacz



$$k_u = \frac{U_{out}}{U_{in}}$$

$$k_u = 20 \log_{10} \frac{U_{out}}{U_{in}} [\text{dB}]$$

Decybele

Decybele

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

$$-3 = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

$$-0.3 = \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

$$\frac{P}{P_0} = 10^{-0.3} \approx 0.5$$

$$P = V * I$$

$$I = U/R$$

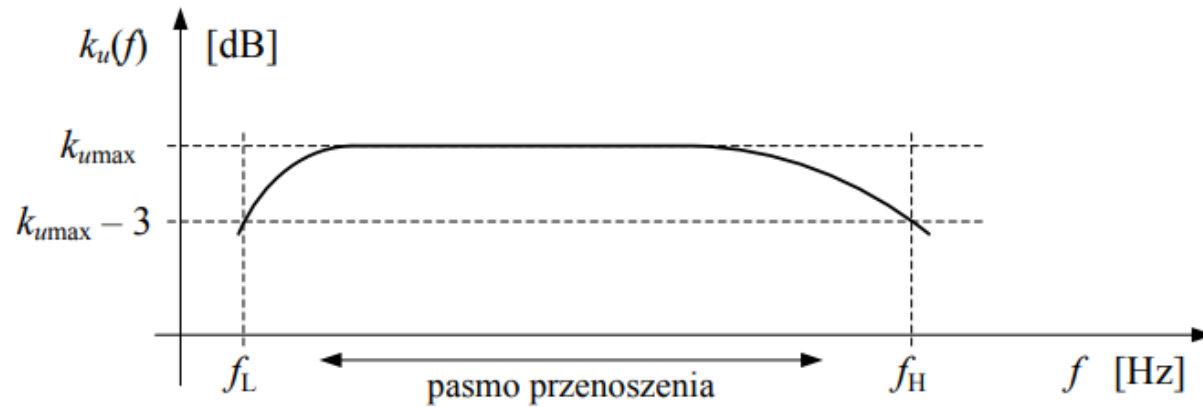
$$P \propto V^2 \Rightarrow V = \sqrt{P}$$

dla -3 dB

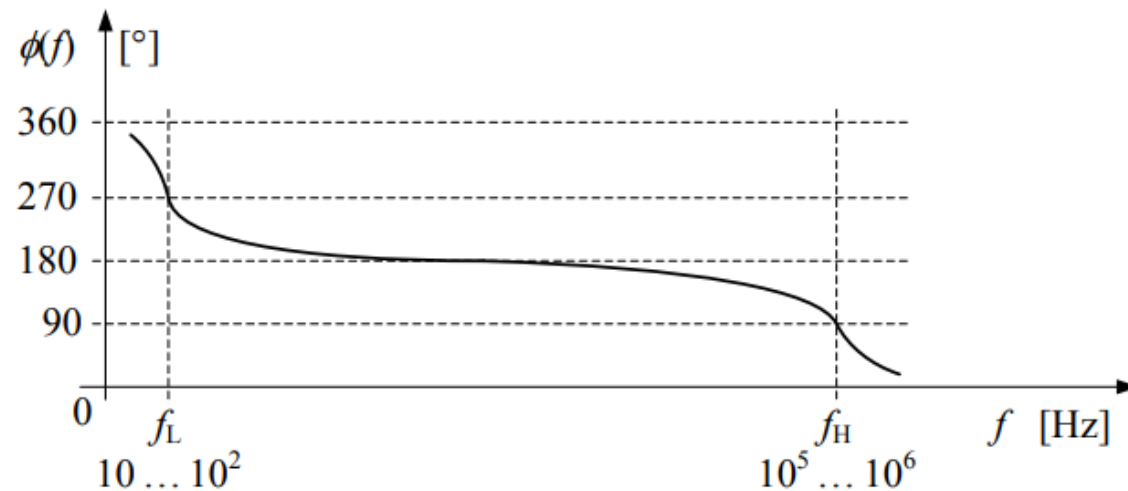
$$\frac{V}{V_0} = \sqrt{\frac{P}{P_0}} = \sqrt{0.5} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.707$$

Wzmacniacz - charakterystyki częstotliwościowe

a)



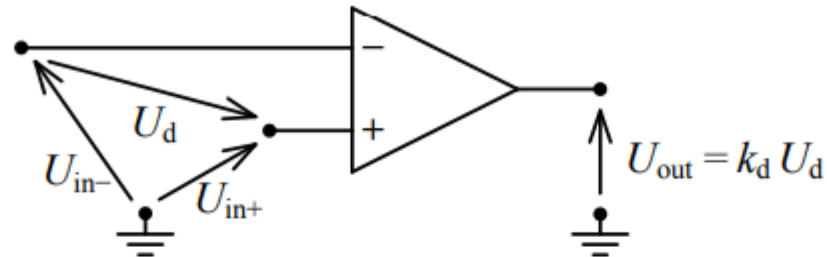
b)



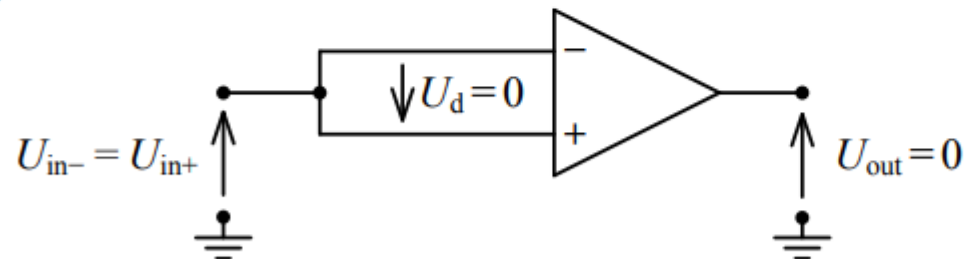
Wzmacniacz operacyjny

$$U_{\text{out}} = k_d (U_{\text{in}+} - U_{\text{in}-}) = k_d U_d$$

a)



b)



Sygnał wejściowy wzmacniacza operacyjnego: (a) różnicowy i (b) sumacyjny

Idealny wzmacniacz operacyjny - właściwości

- Wzmocnienie różnicowych sygnałów wejściowych jest nieskończone, czyli

$$k_d = \frac{U_{out}}{U_d} \rightarrow \infty$$

- Różnica potencjałów między zaciskami wejściowymi wzmacniacza operacyjnego jest równa zero

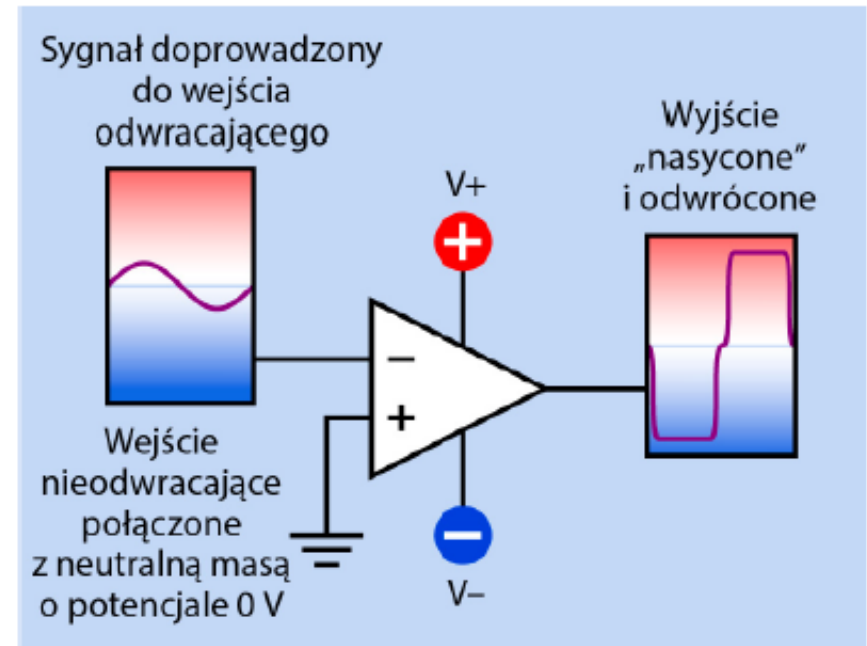
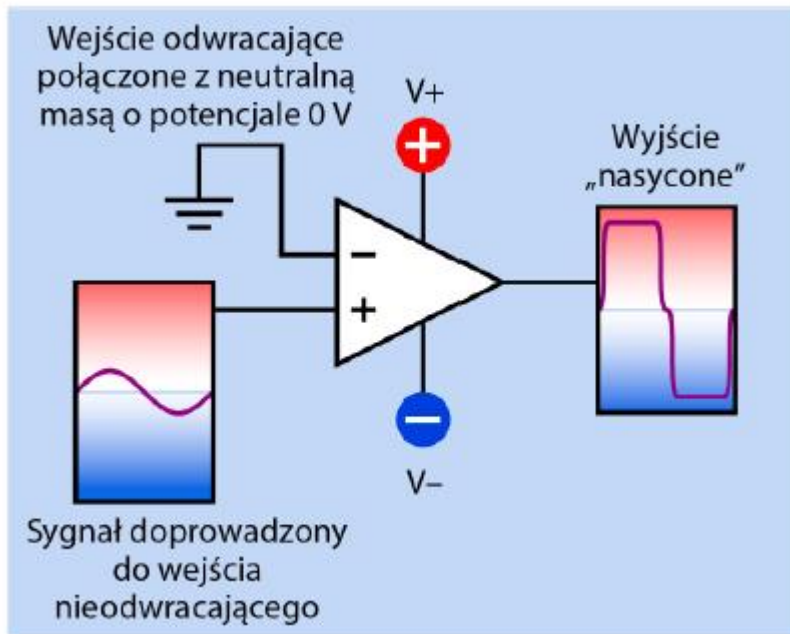
$$U_d \rightarrow 0$$

- Przez zaciski wejściowe wzmacniacza nie płyną prądy, gdyż impedancja wejściowa jest nieskończenie duża

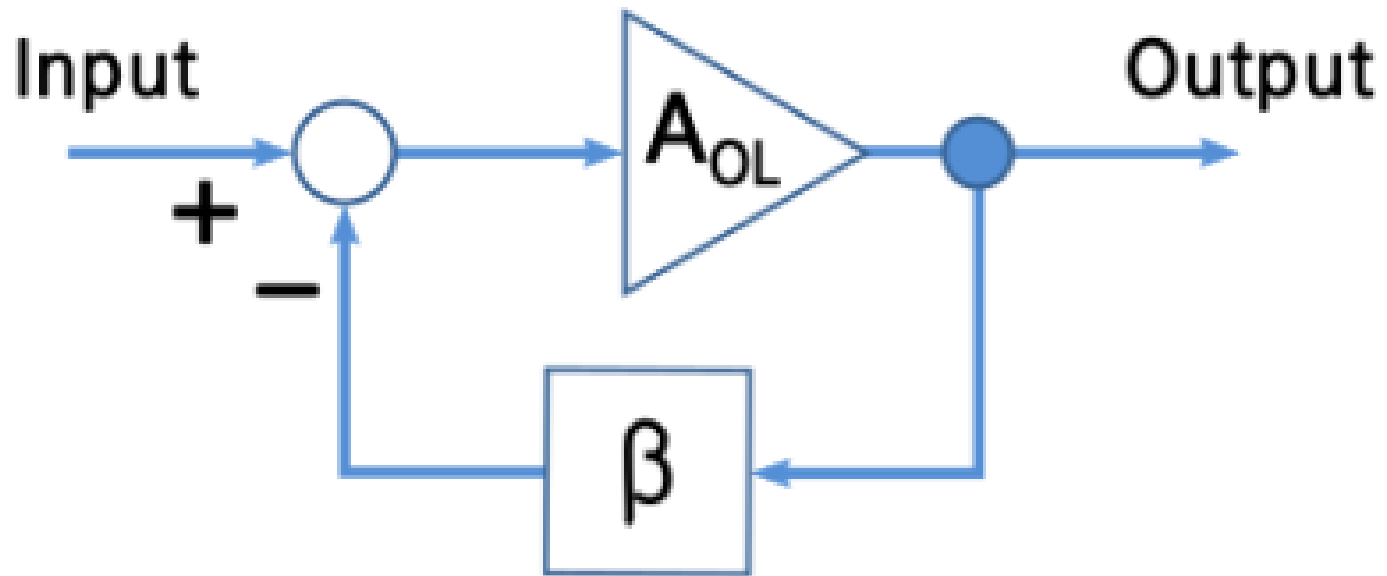
$$Z_{in} \rightarrow \infty$$

- Wzmocnienie sumy sygnałów wejściowych jest zerowe.
- Impedancja wyjściowa jest bardzo mała
- Nieskończona szerokość pasma

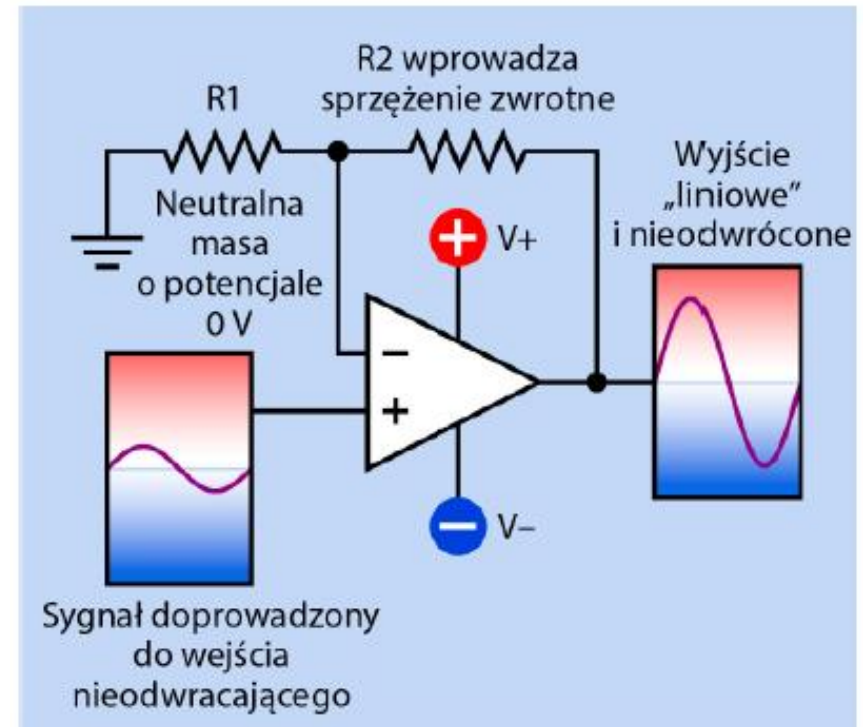
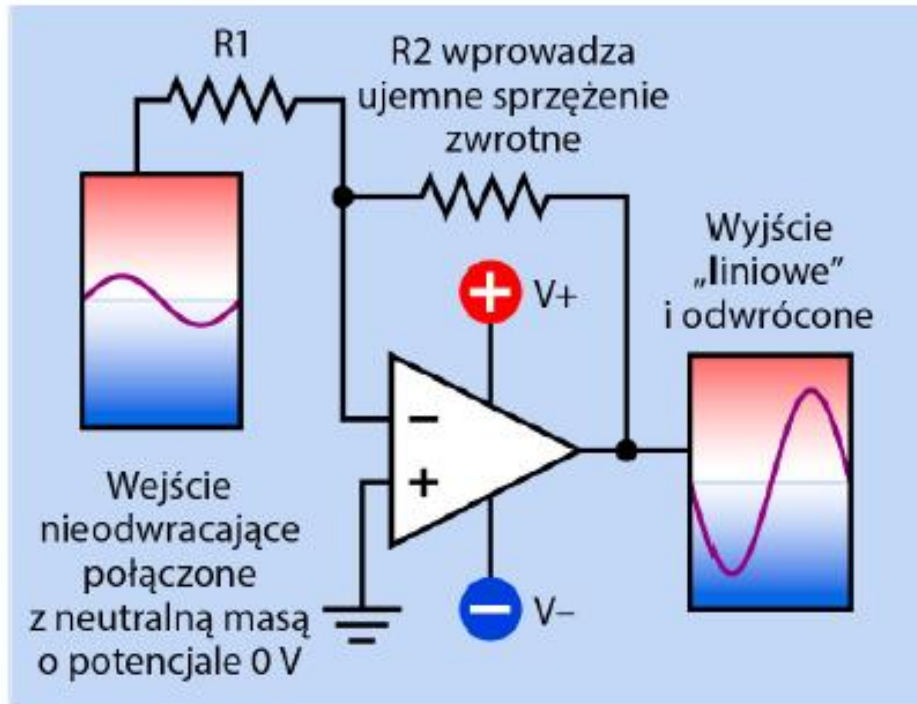
Wzmacniacz operacyjny



Sprzężenie zwrotne

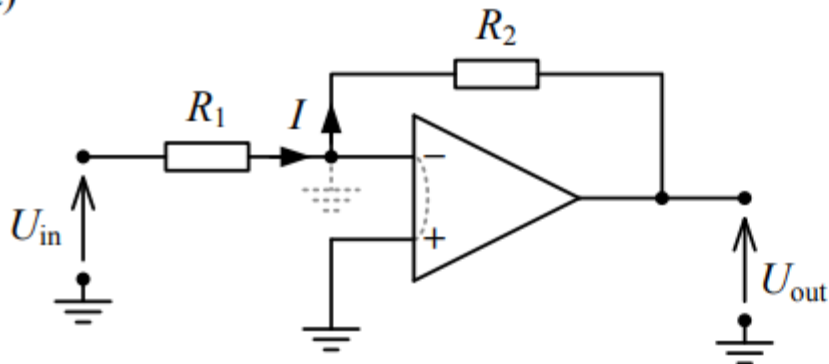


Sprężenie zwrotne

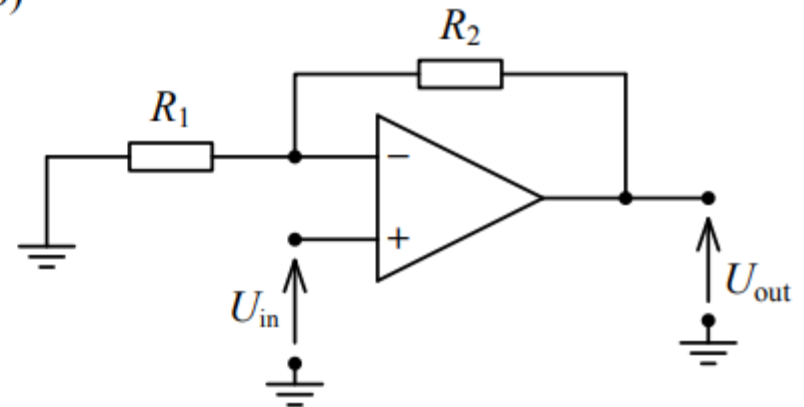


Podstawowe konfiguracje wzmacniające

a)



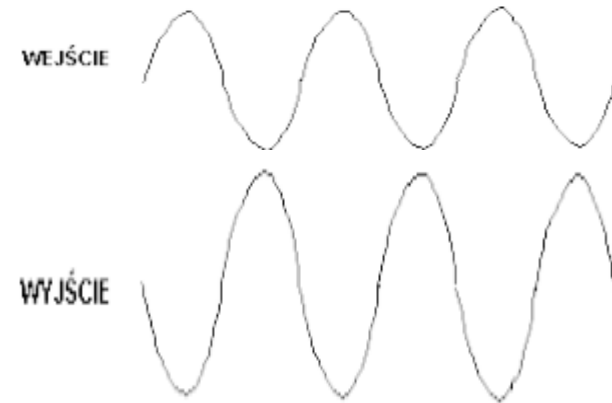
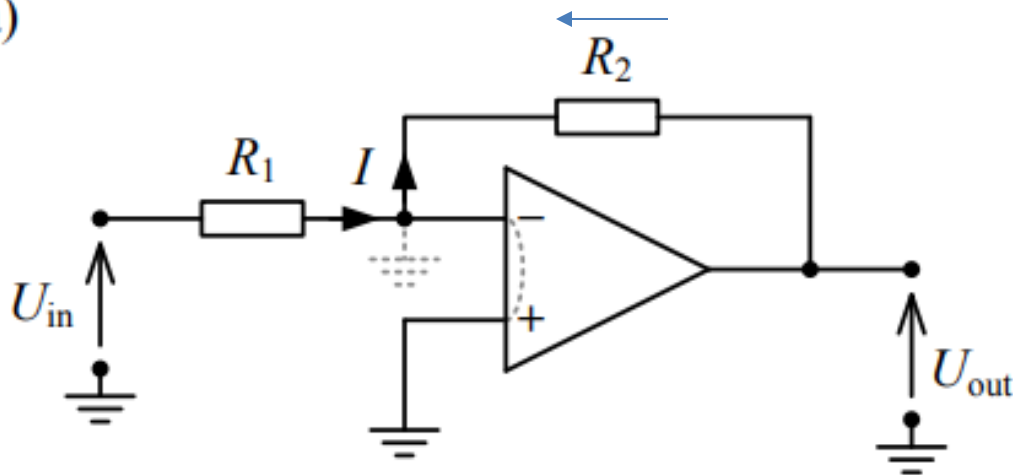
b)



Wzmacniacz operacyjny jako wzmacniacz napięcia
(a) odwracający (b) nieodwracający

Wzmacniacz odwracający

a)



$$U_{\text{in}} = R_1 I$$

$$U_{\text{out}} = -R_2 I$$

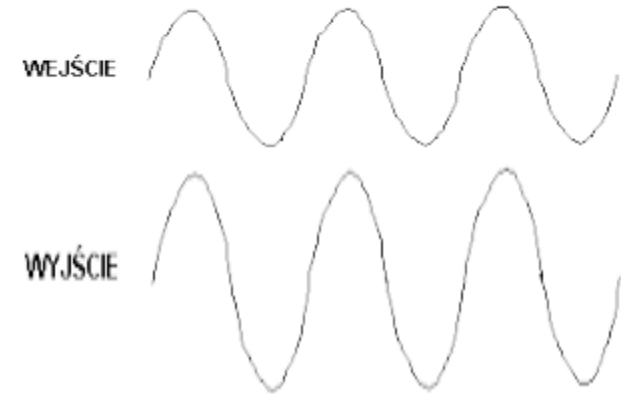
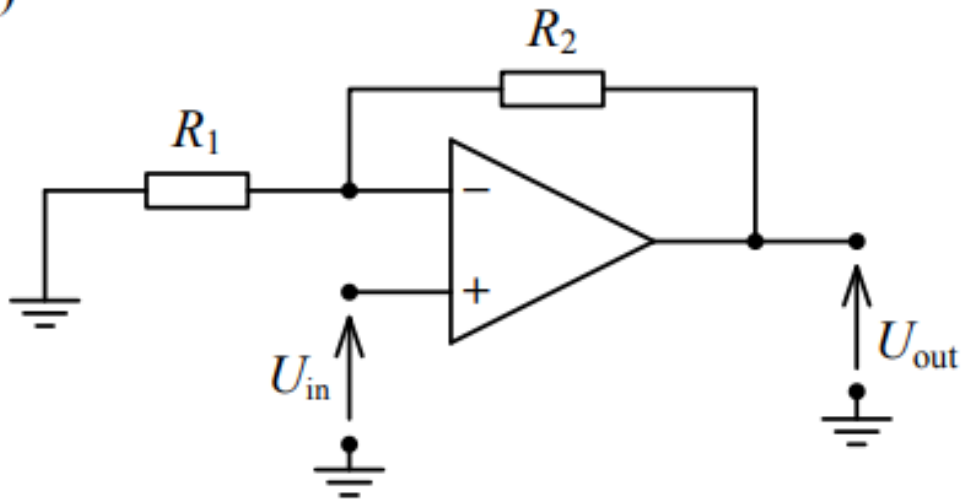
$$I = U_{\text{in}} / R_1$$

$$U_{\text{out}} = -\frac{R_2}{R_1} U_{\text{in}}$$

$$k_u = \frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Wzmacniacz nieodwracający

b)



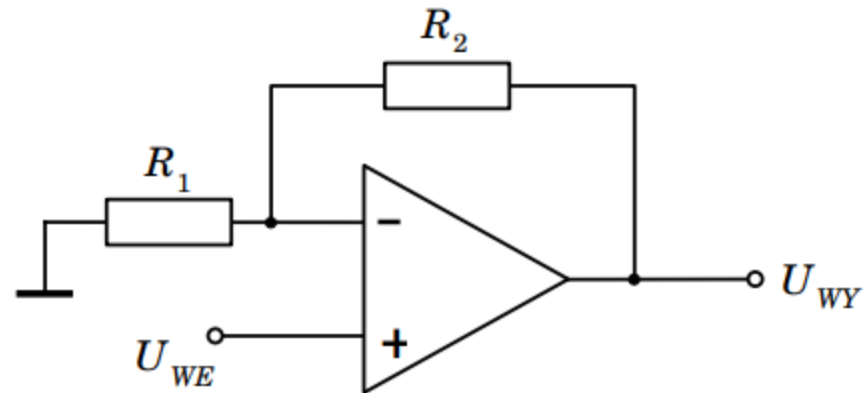
$$U_{in} = R_1 I$$

$$U_{out} - U_{in} = R_2 I$$

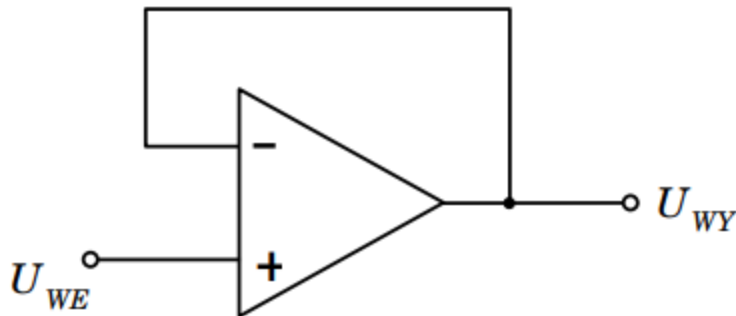
$$U_{out} = U_{in} + R_2 I = U_{in} + R_2 \frac{U_{in}}{R_1}$$

$$k_u = \frac{U_{out}}{U_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Wtórnik napięciowy



Przypadek wzmacniacza nieodwracającego fazy gdy $R_1 = \infty$ oraz $R_2 = 0$



$$U_{WY} = U_{WE}$$