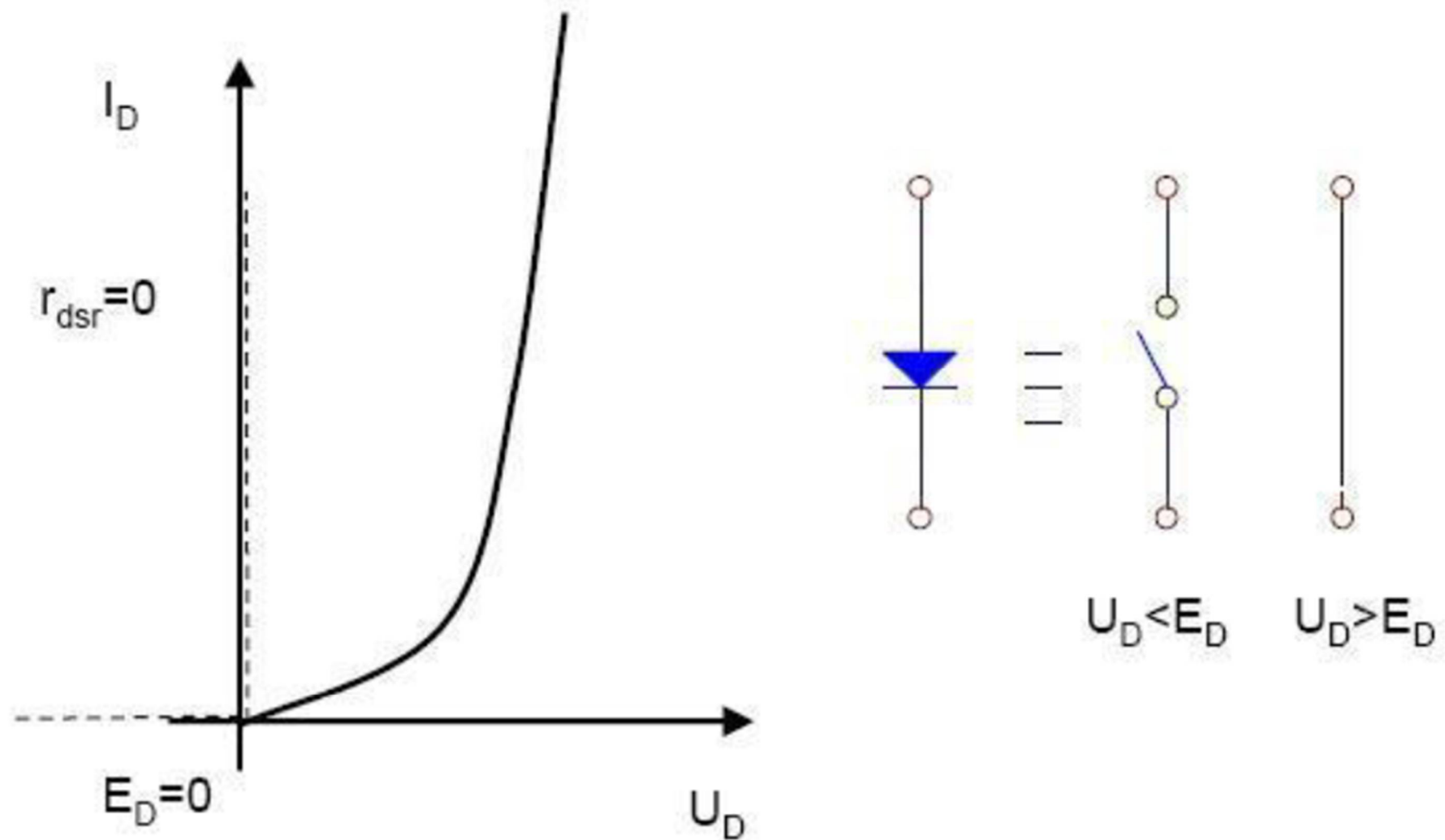


Diody

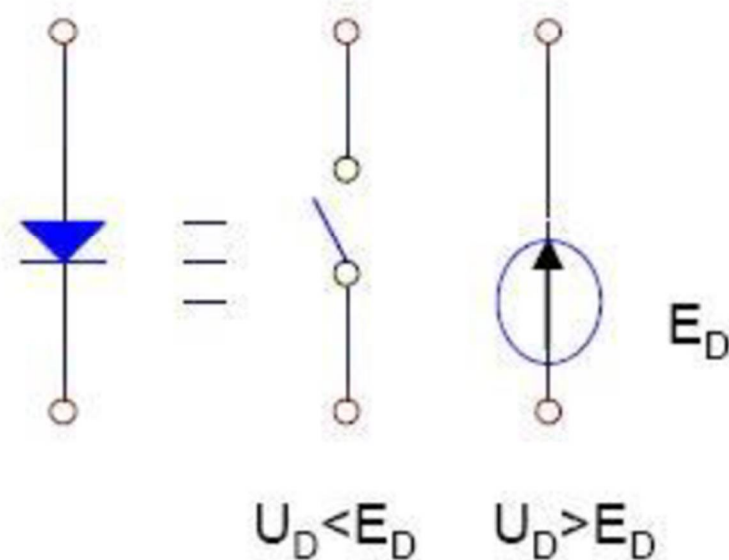
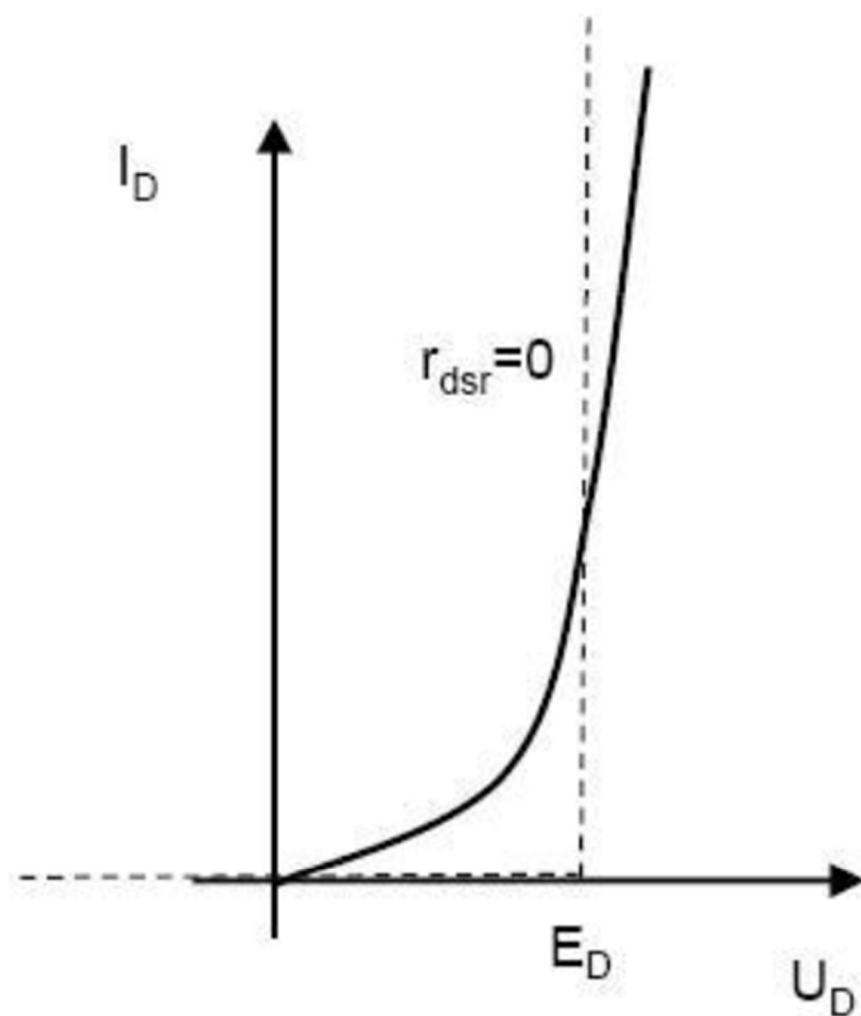
1. Dioda prostownicza
2. Dioda stabilizacyjna (Zenera)
3. Dioda pojemnościowa (warikap, waraktor)

1. Dioda prostownicza

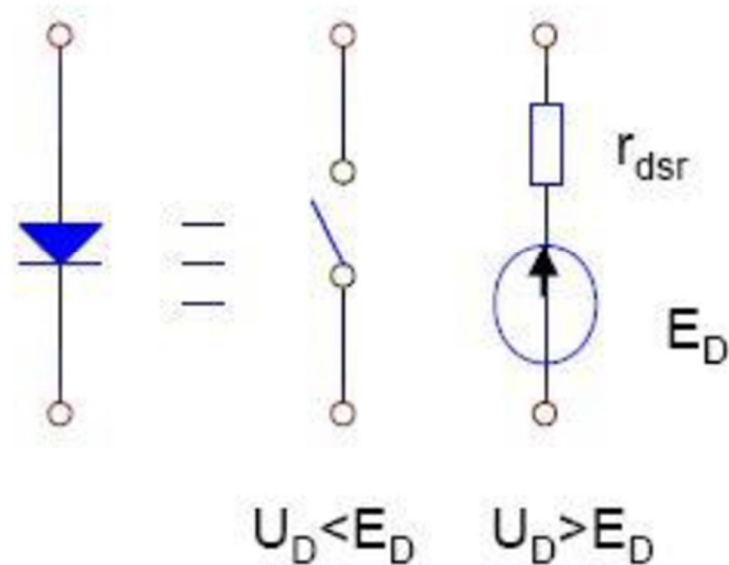
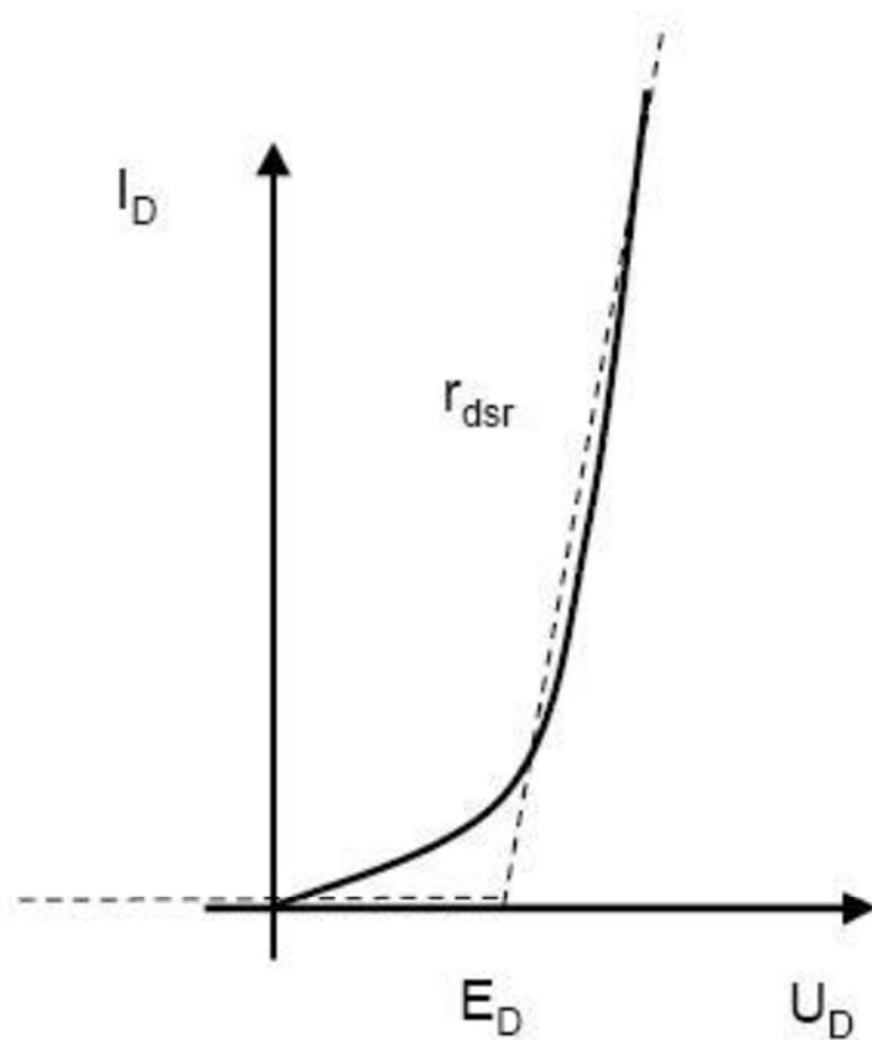
Model idealny



Model o stałym spadku napięcia

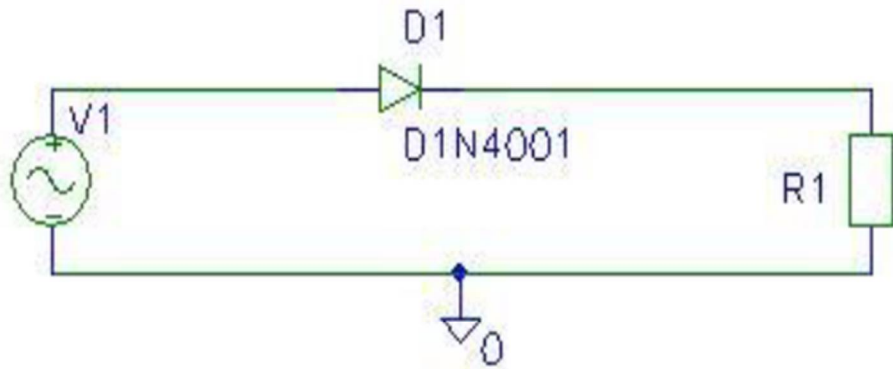


Model odcinkowo - liniowy

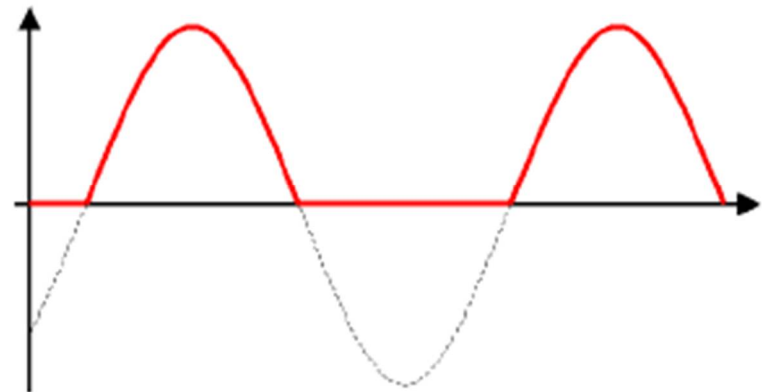
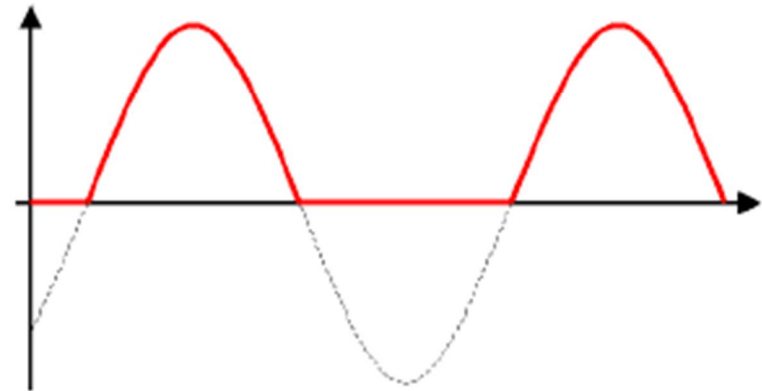
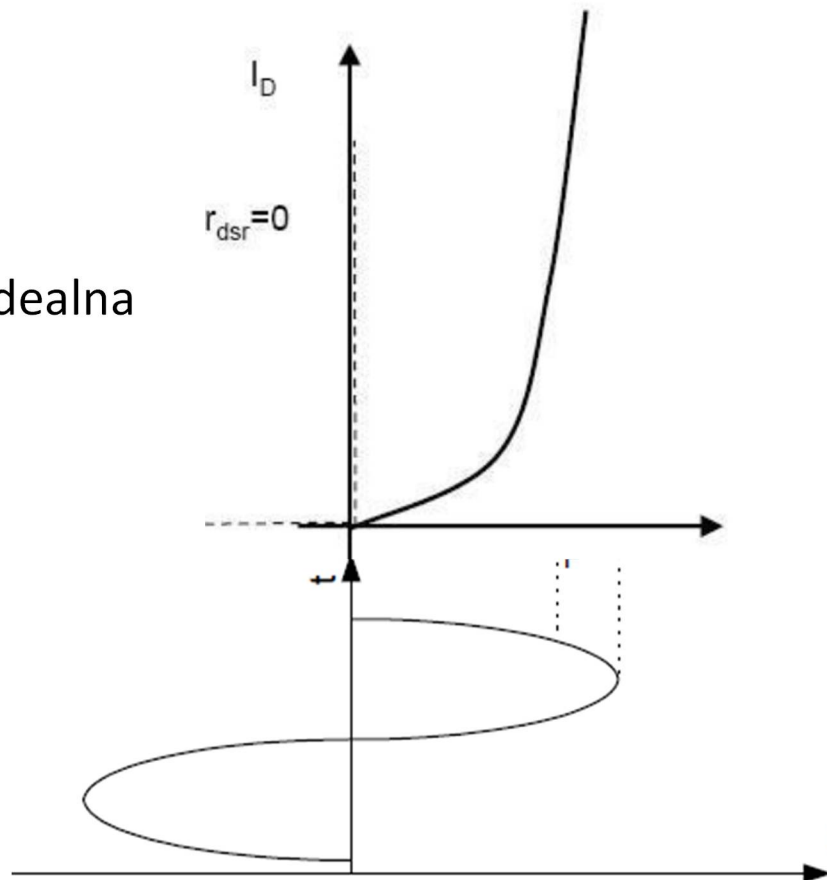


$$I = I_R \left[\exp \left(\frac{U_{AK}}{m \varphi_T} \right) - 1 \right]$$

Działanie diody prostowniczej

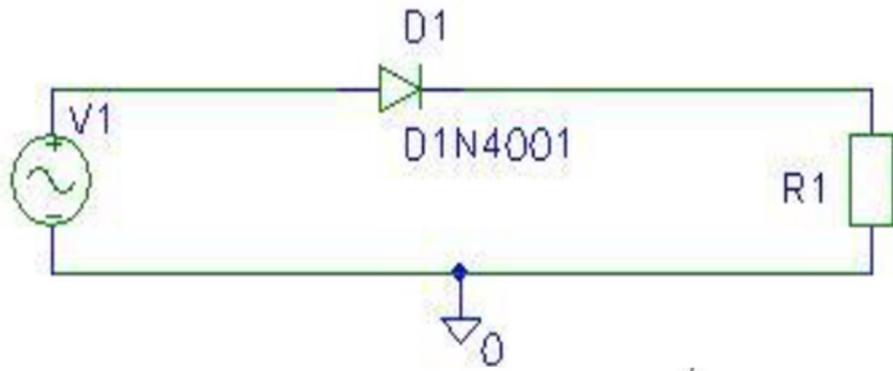


Dioda idealna

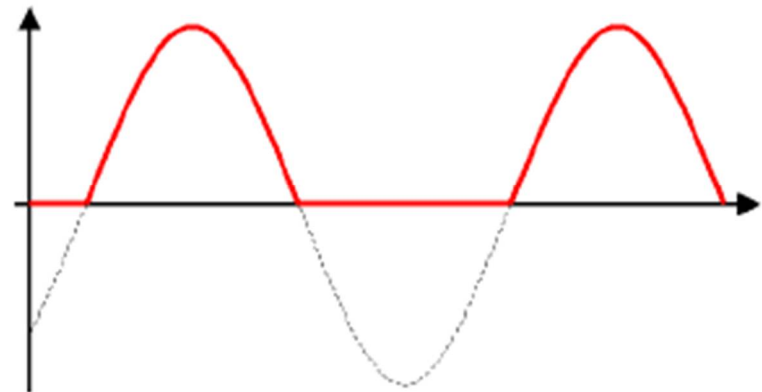
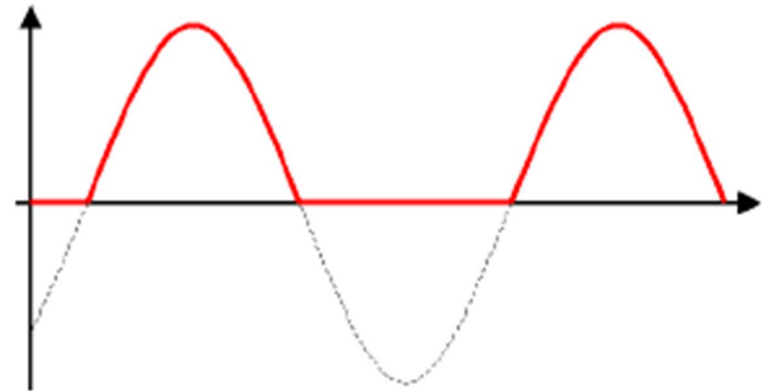
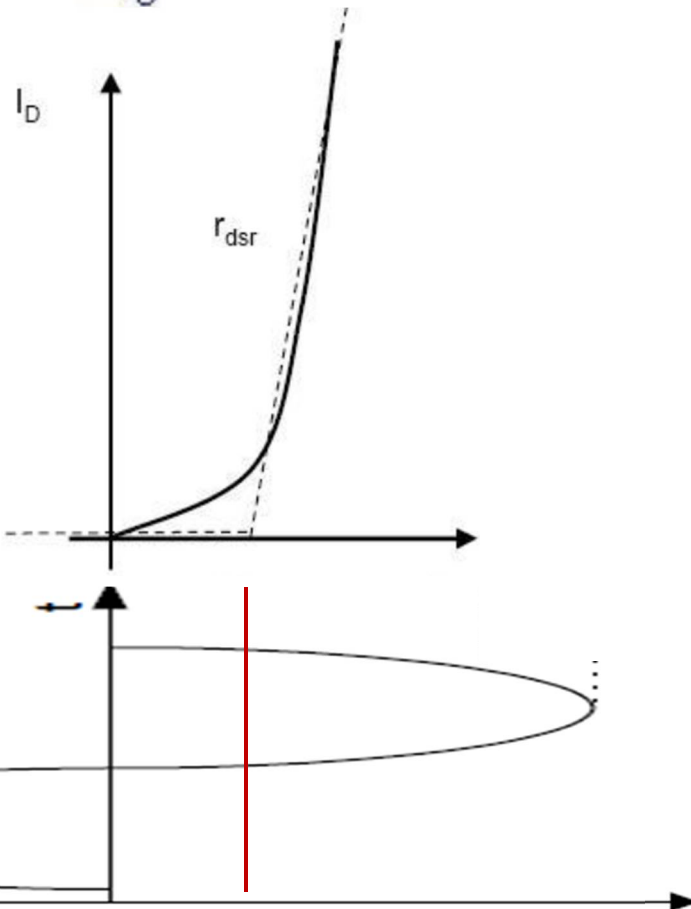


Prostownik jednopółwkowy

Działanie diody prostowniczej

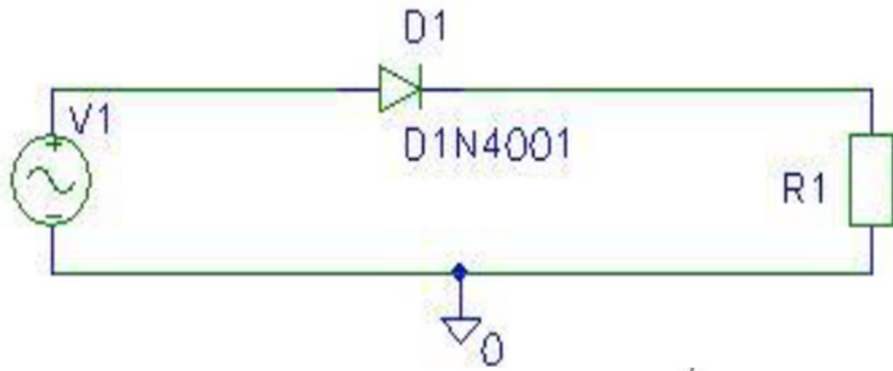


Dioda rzeczywista

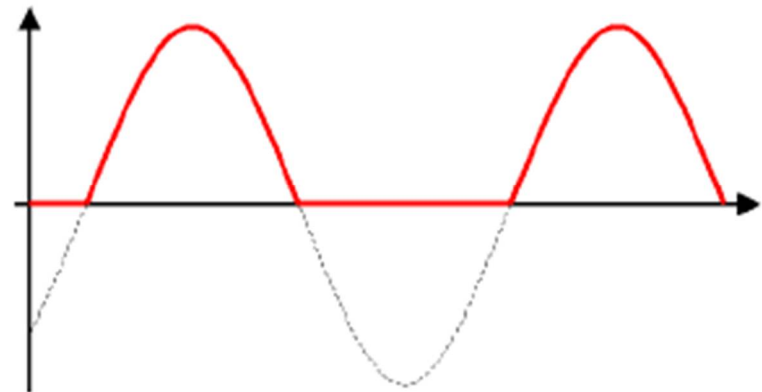
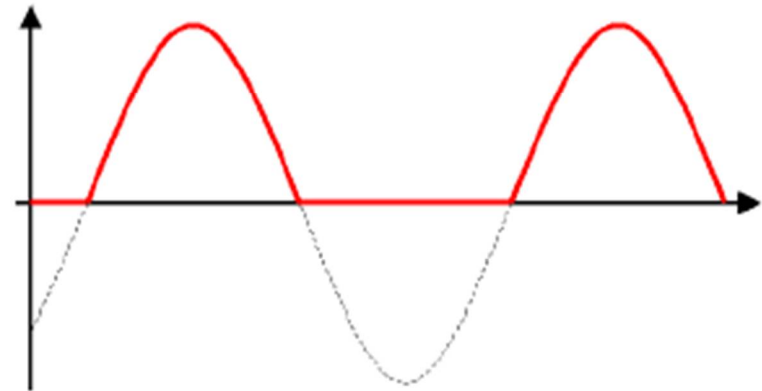
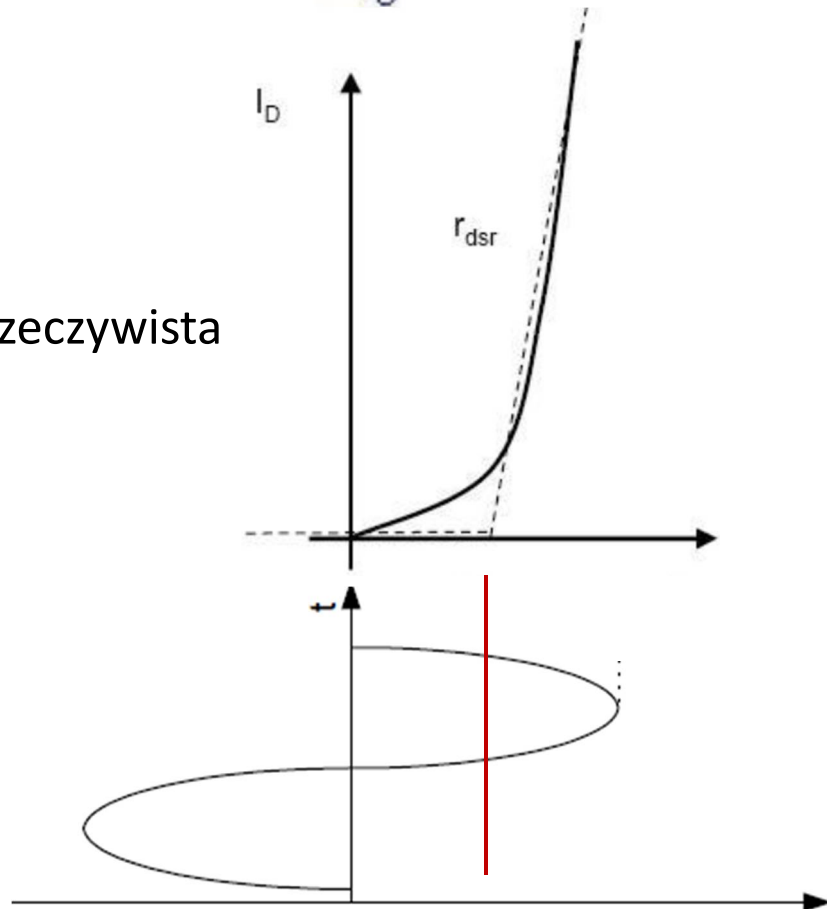


Prostownik jednopółówkowy

Działanie diody prostowniczej

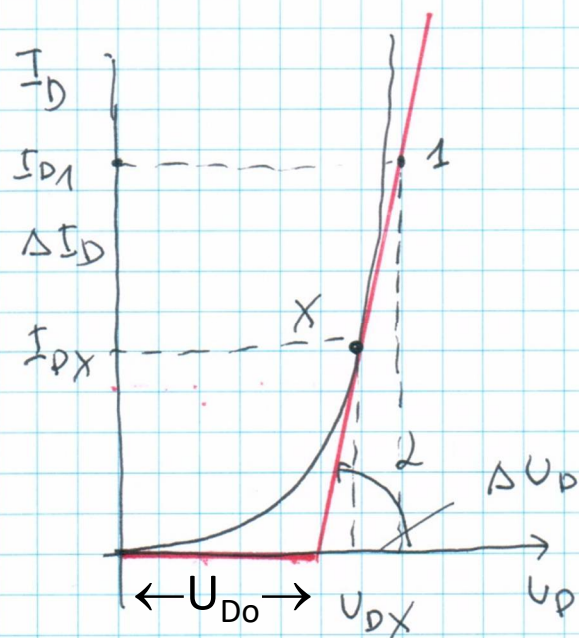


Dioda rzeczywista



Prostownik jednopółwkowy

Linearyzacja charakterystyki diody

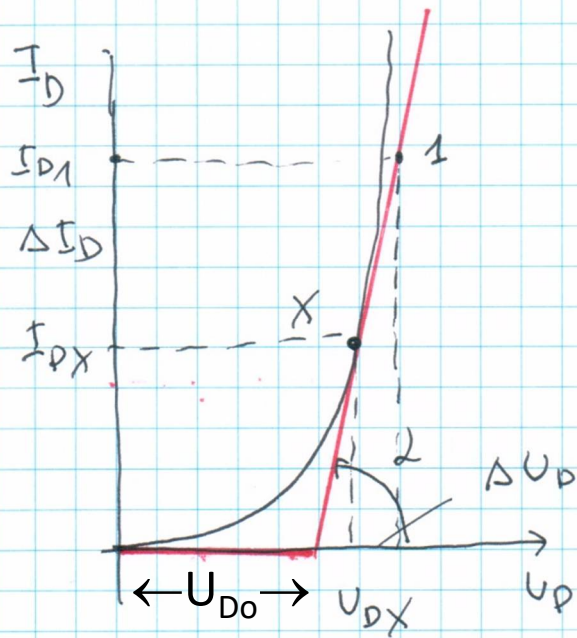


$$I_{D1} = I_{DX} + \Delta I_D = I_{DX} + \Delta U_D \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \left. \frac{dI_D}{dU_D} \right|_X = \frac{1}{r_D}$$

$$I_{D1} = I_{DX} + \frac{\Delta U_D}{r_D}$$

Linearyzacja charakterystyki diody

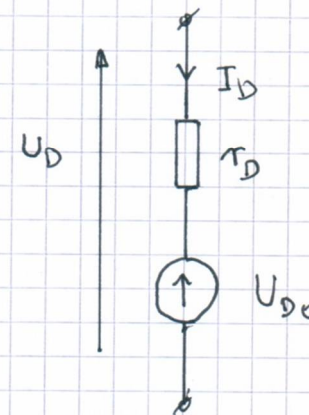


$$I_{D1} = I_{DX} + \Delta I_D = I_{DX} + \Delta U_D \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \left. \frac{dI_D}{dU_D} \right|_X = \frac{1}{r_D}$$

$$I_{D1} = I_{DX} + \frac{\Delta U_D}{r_D}$$

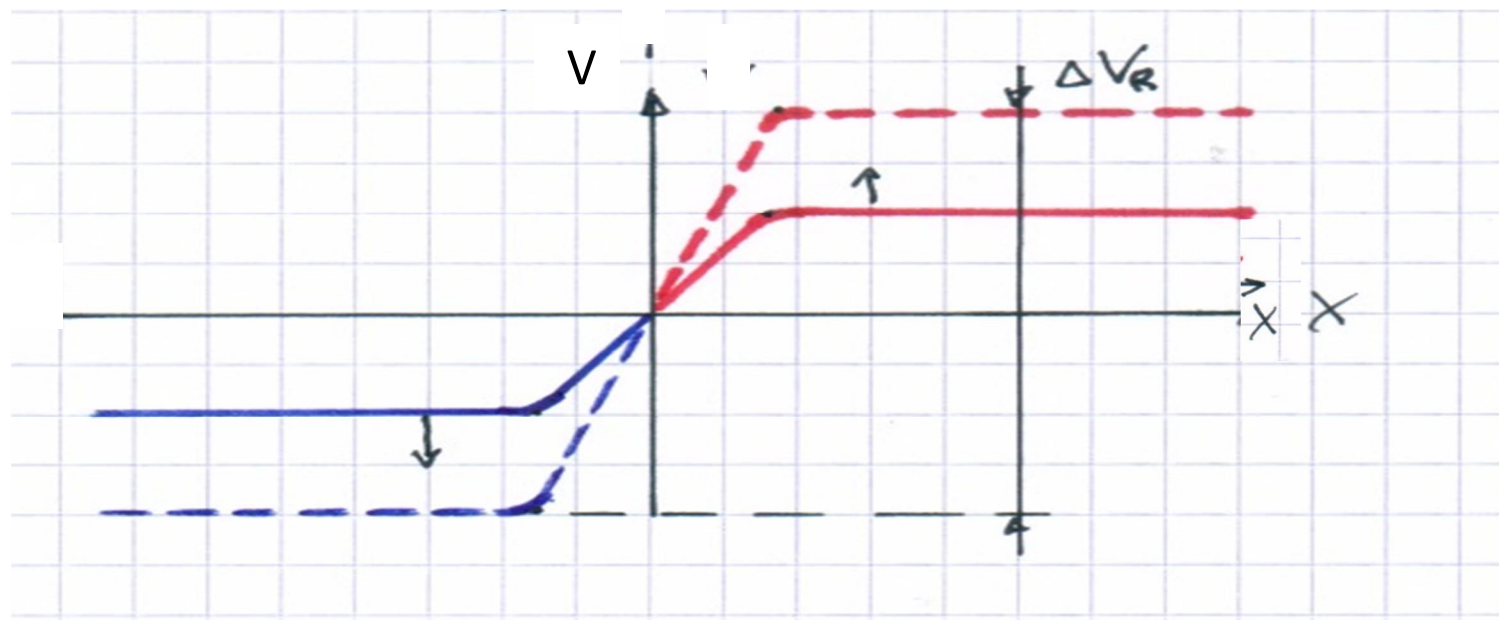
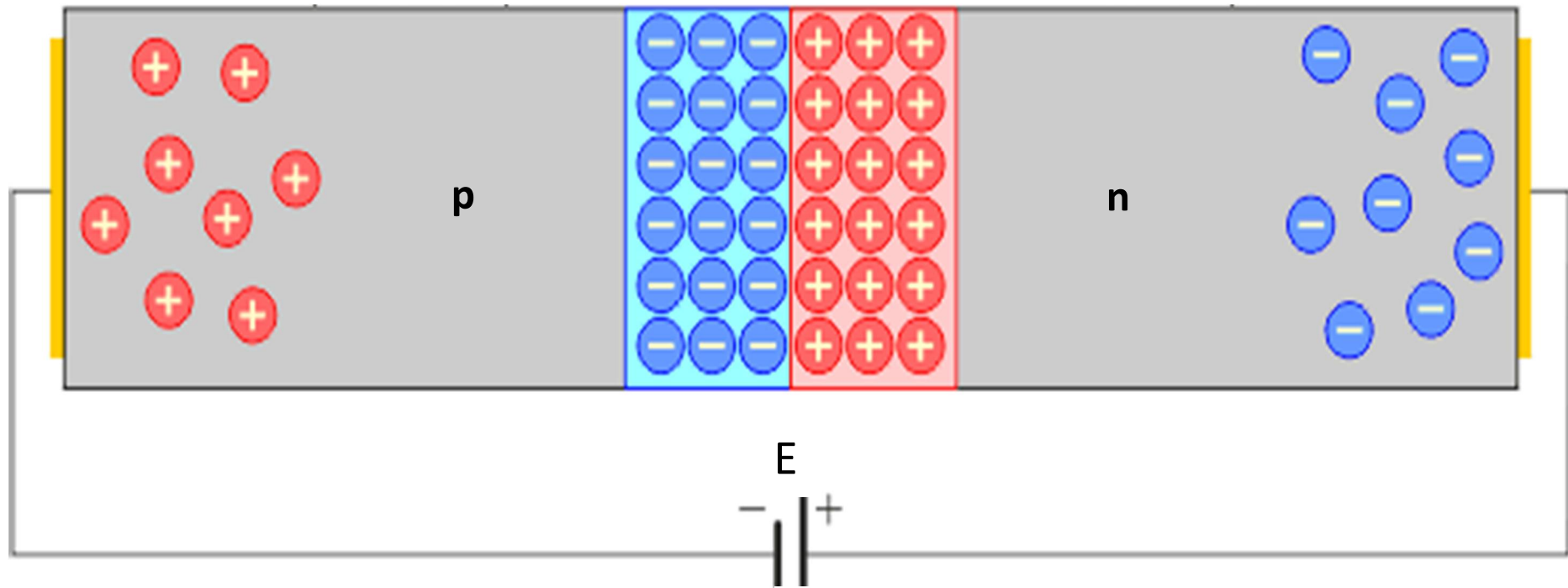
$$U_D = U_{D0} + r_D \cdot I_D$$



Reprezentacja zlinearyzowanej diody
na schemacie obwodu elektrycznego

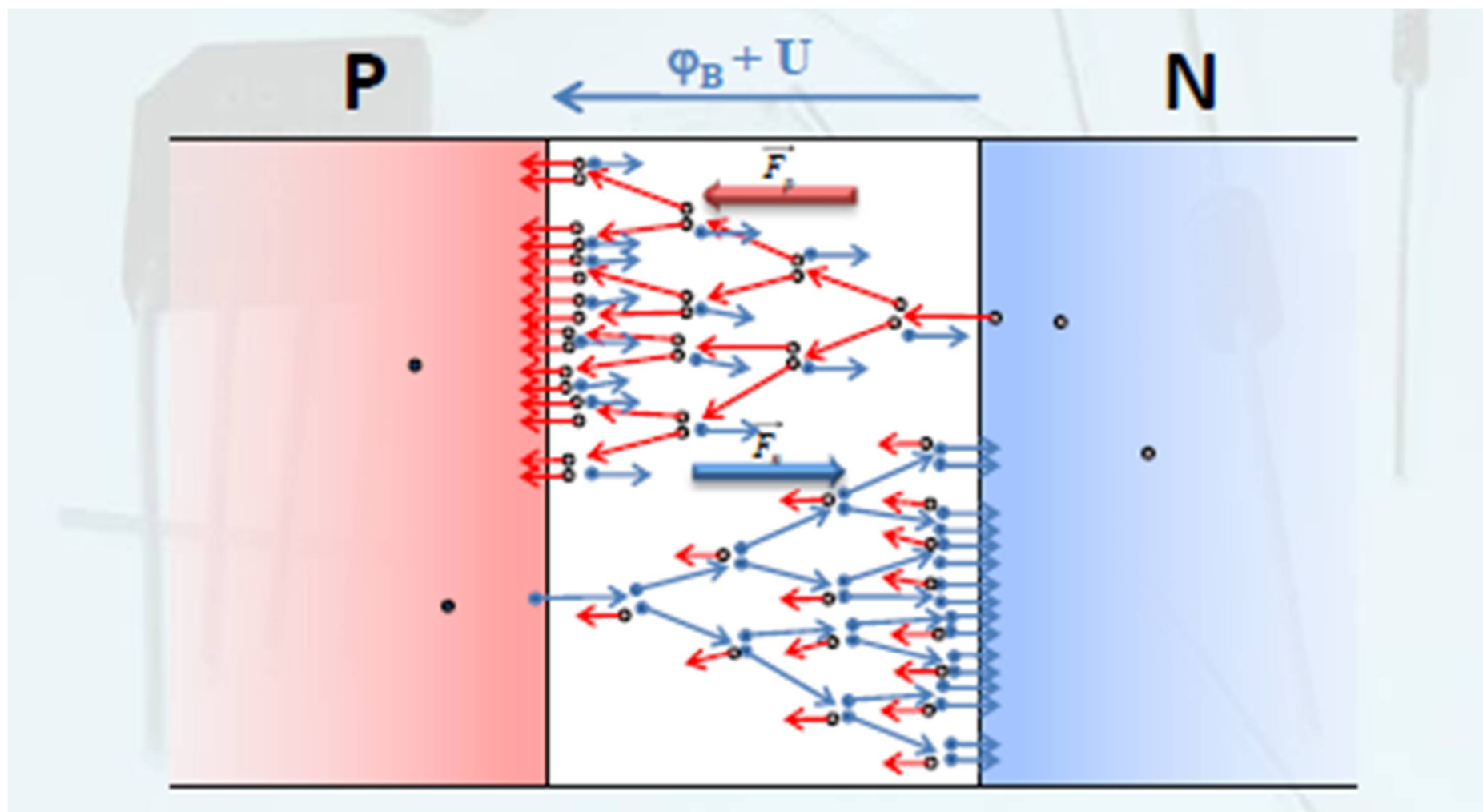
2. Dioda stabilizacyjna (Zenera)

Złącze spolaryzowane w kierunku zaporowym (wstecznym)



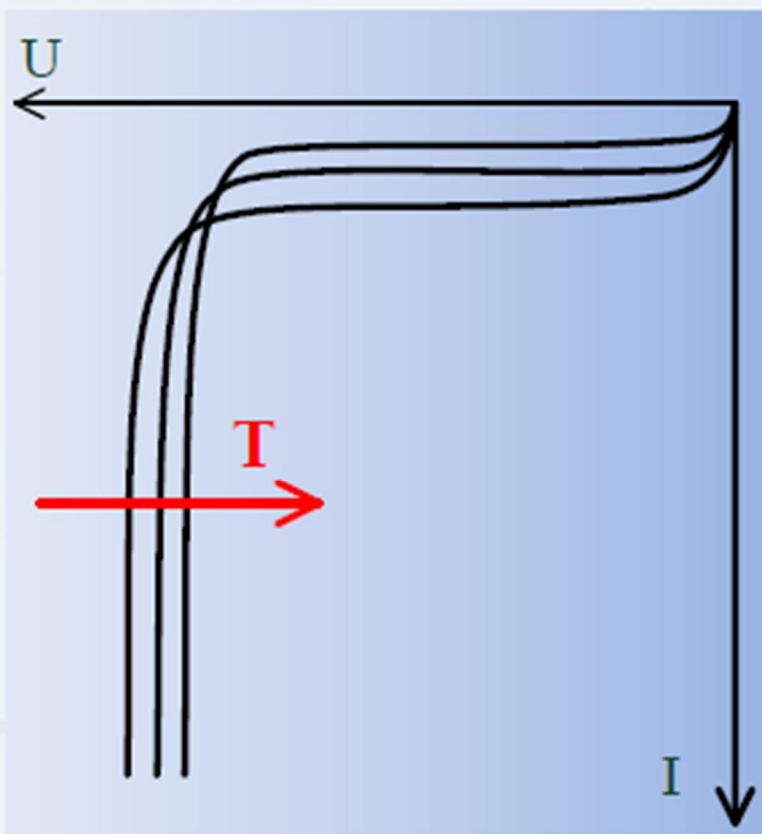
2. Dioda stabilizacyjna (Zenera)

Przebiegiem złącza PN nazywa się zjawisko gwałtownego wzrostu prądu przy polaryzacji złącza w kierunku zaporowym napięciem większym od napięcia przebicia.

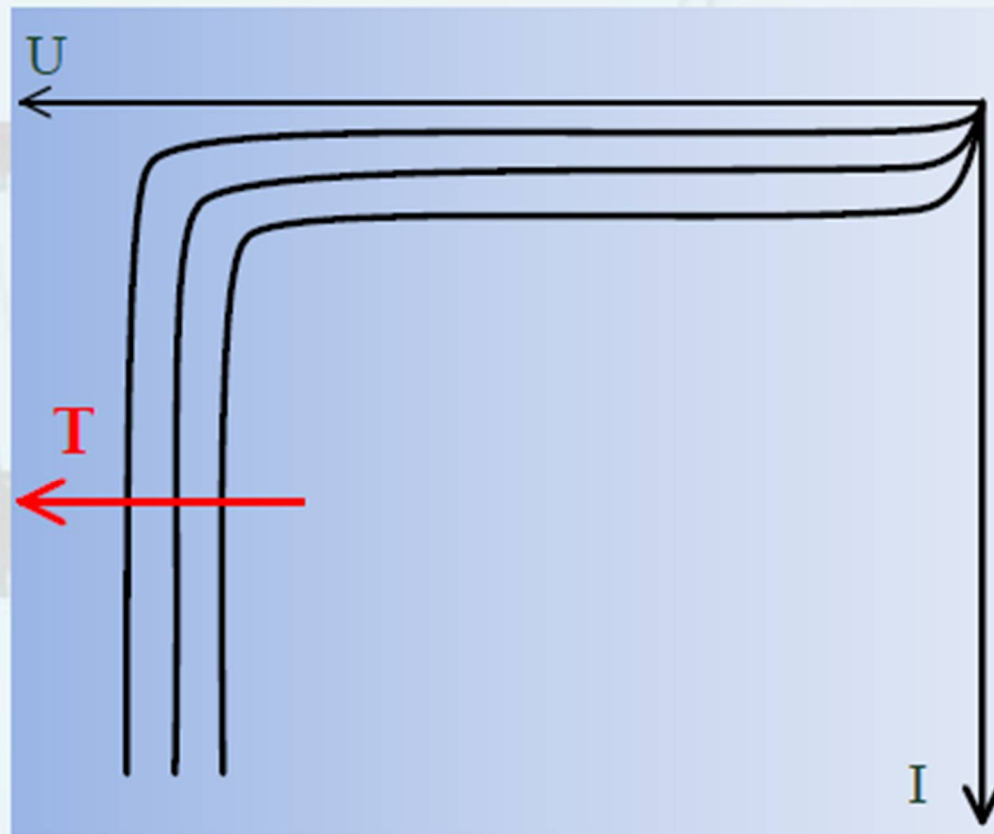


Charakterystyki diody dla przebicia tunelowego (Zenera) i lawinowego

przebiecie Zenera

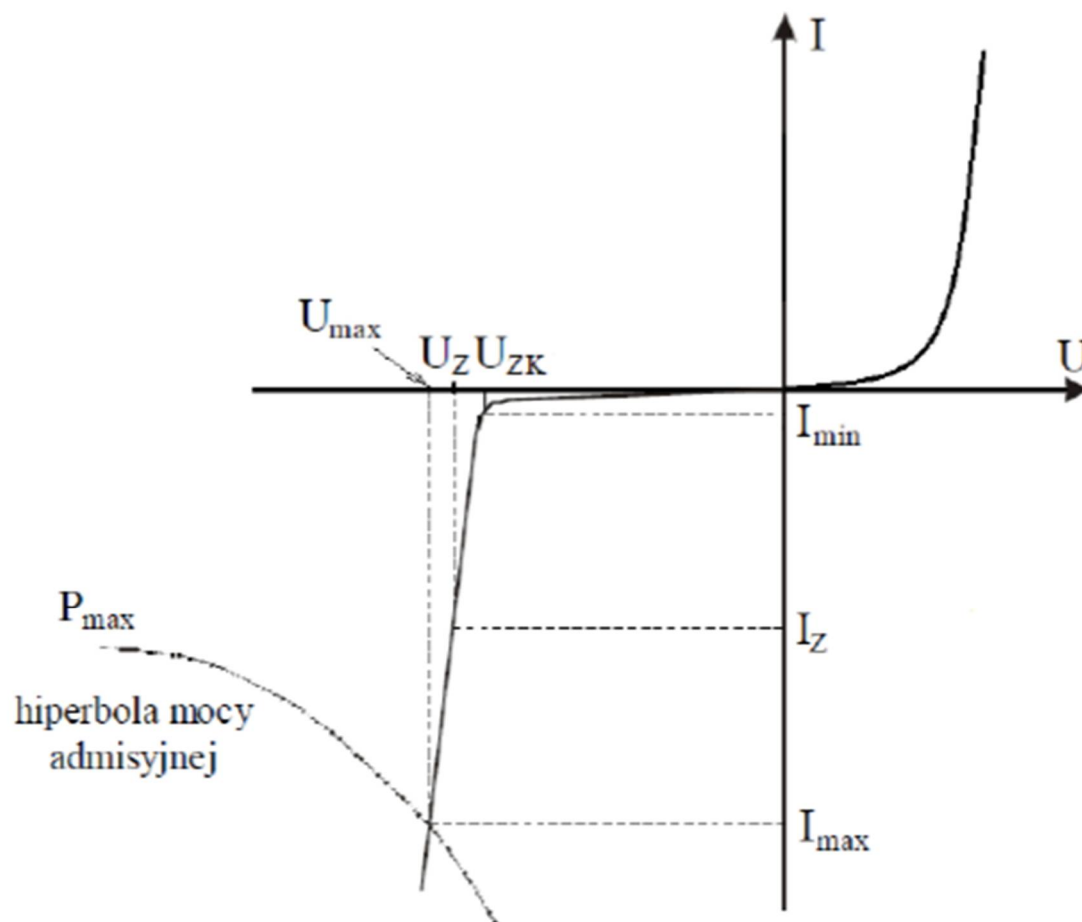


przebiecie lawinowe

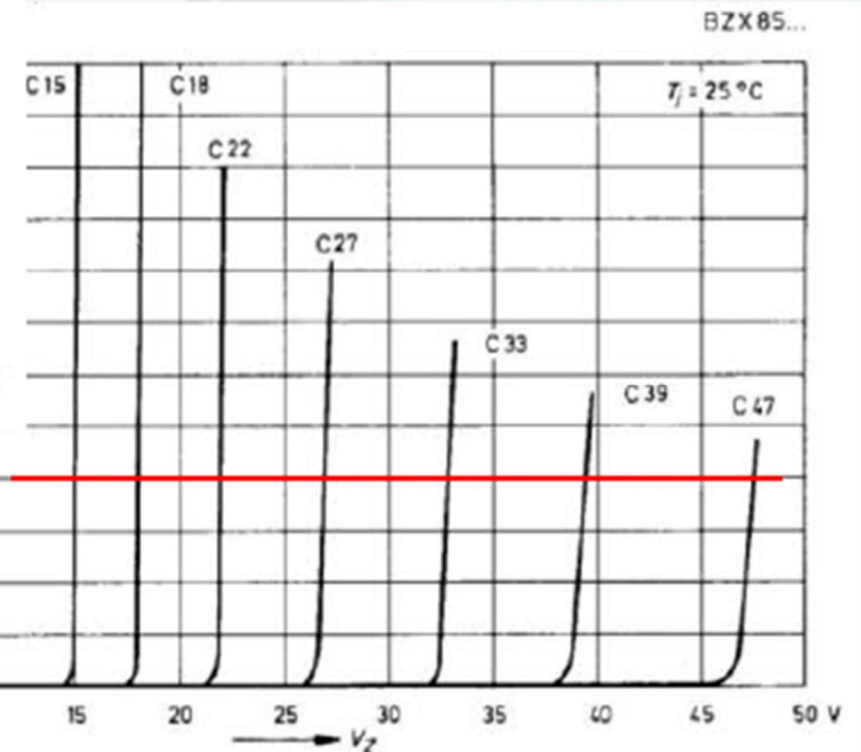
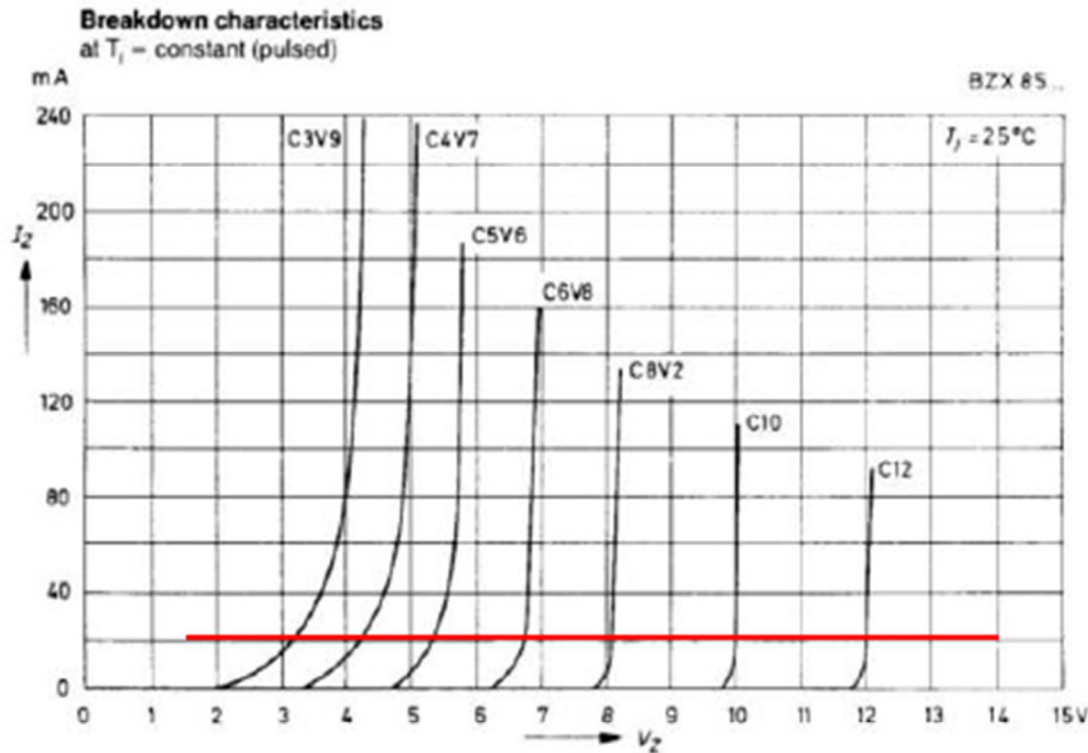


Dioda Zenera

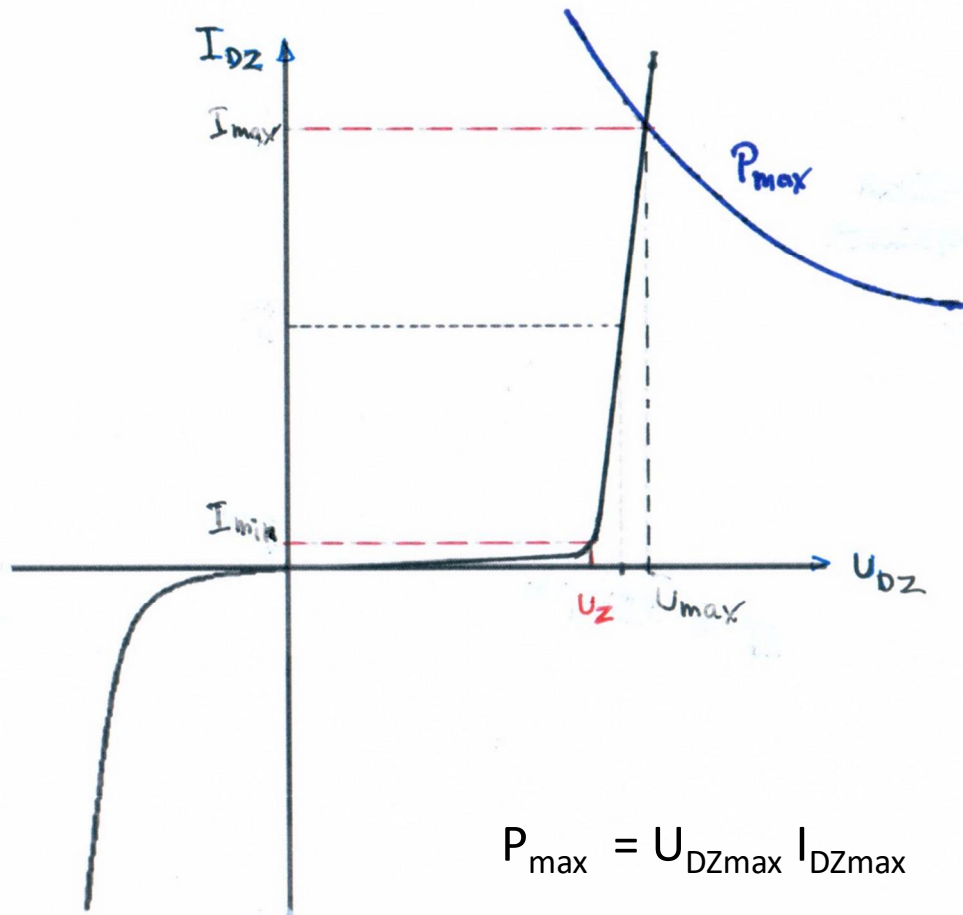
- Wykorzystuje zjawisko Zenera (przebicie tunelowe)
- Pracuje przy napięciach wstecznych
- Napięcie przebicia w niewielkim stopniu zależy od prądu wstecznego, zachowuje niemal stałą wartość określaną jako napięcia Zenera
- Napięcia Zenera jest rzędu kilku – kilkudziesięciu voltów



Charakterystyki katalogowe diod Zenera

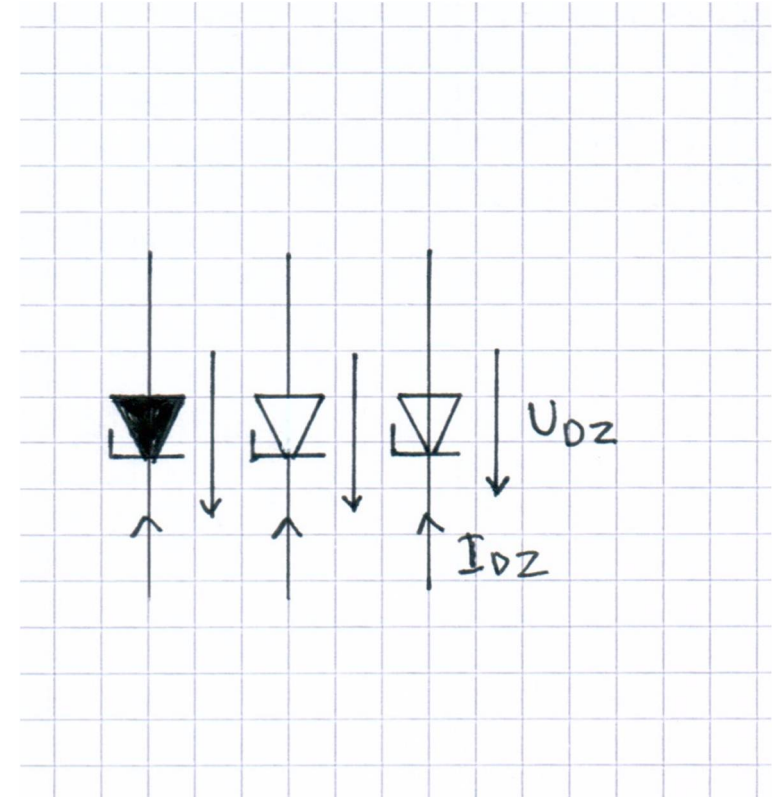


Charakterystyka i symbole diody Zenera

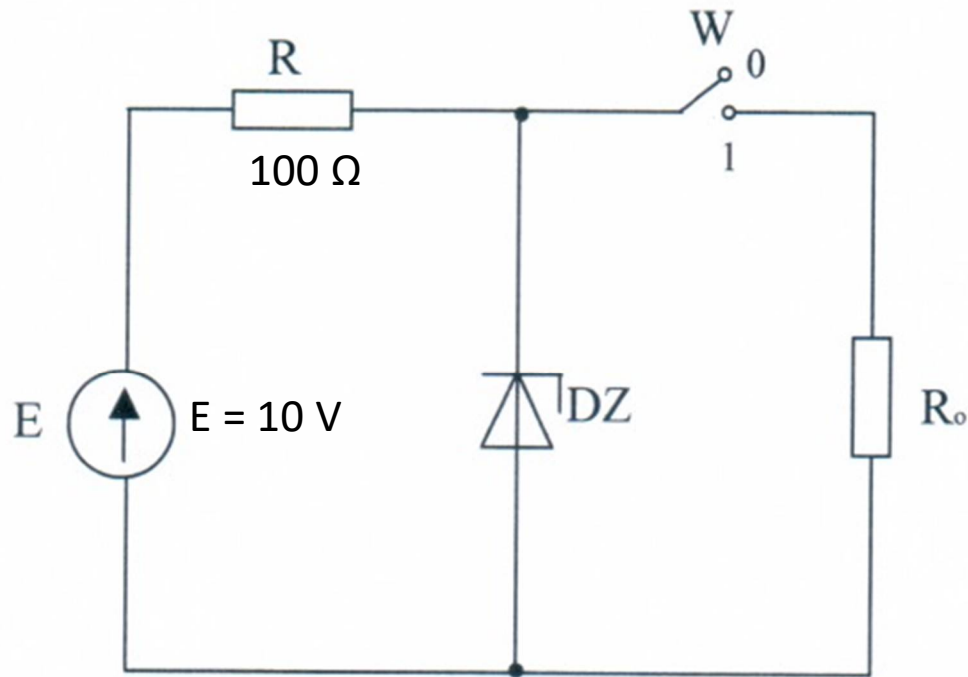


$$P_{max} = U_{DZmax} I_{DZmax}$$

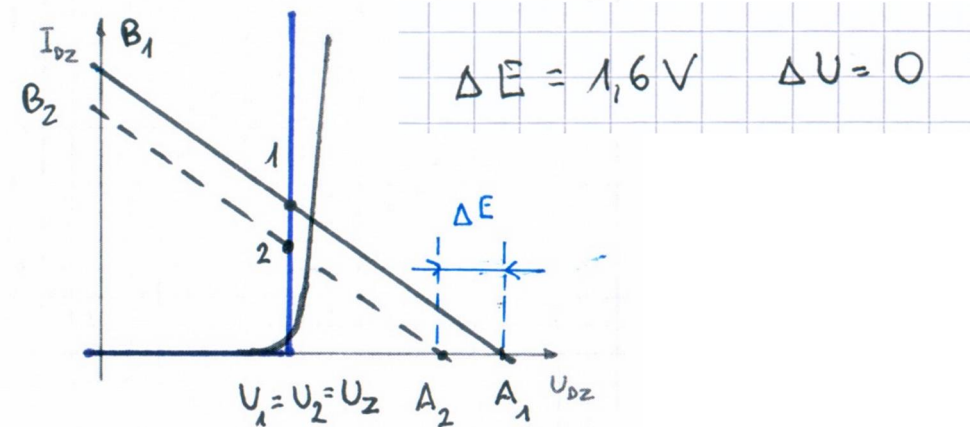
$$I_{DZ} = P_{max} / U_{DZ}$$



Prosty stabilizator wykorzystujący diodę Zenera



Ilustracja działania przy zmianie napięcia E



Charakterystyka idealna diody

$$U_Z = 4,9 \text{ V}$$

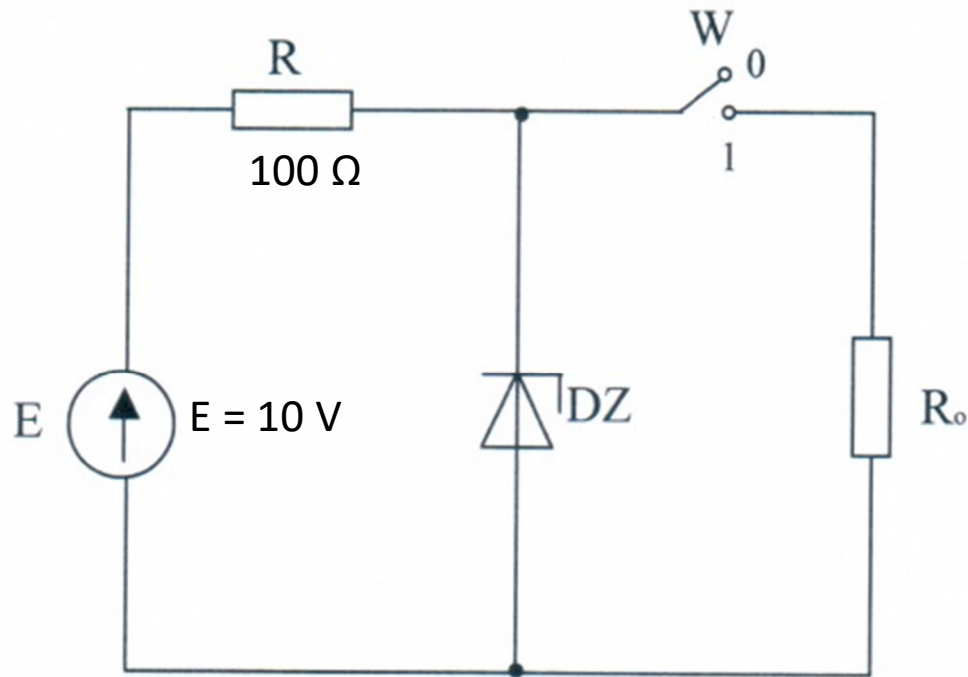
$$\Delta E = E(A_1) - E(A_2)$$

$$\Delta E = 10 - 8,4 = 1,6 \text{ V}$$

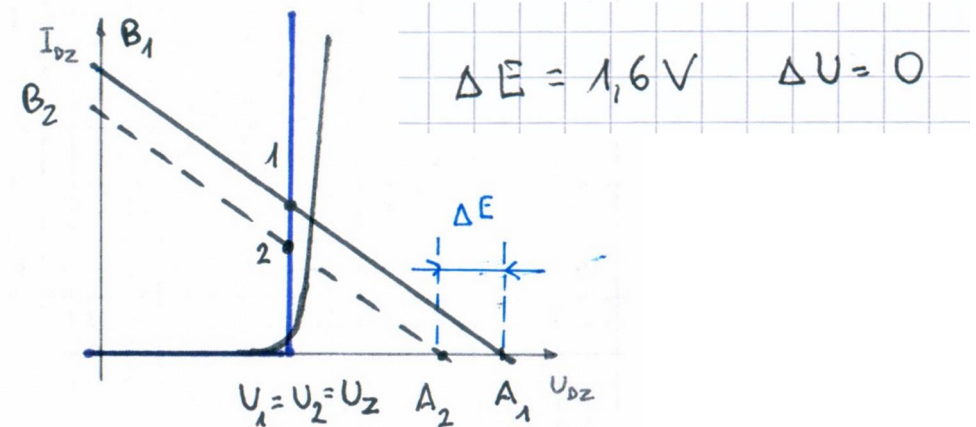
$$A_1 = 10 \text{ V} \quad B_1 = \frac{10 \text{ V}}{100 \text{ Ω}} = 0,1 \text{ A}$$

$$A_2 = 8,4 \text{ V} \quad B_2 = \frac{8,4 \text{ V}}{100 \text{ Ω}} = 0,084 \text{ A}$$

Prosty stabilizator wykorzystujący diodę Zenera



Ilustracja działania przy zmianie napięcia E



Charakterystyka idealna diody

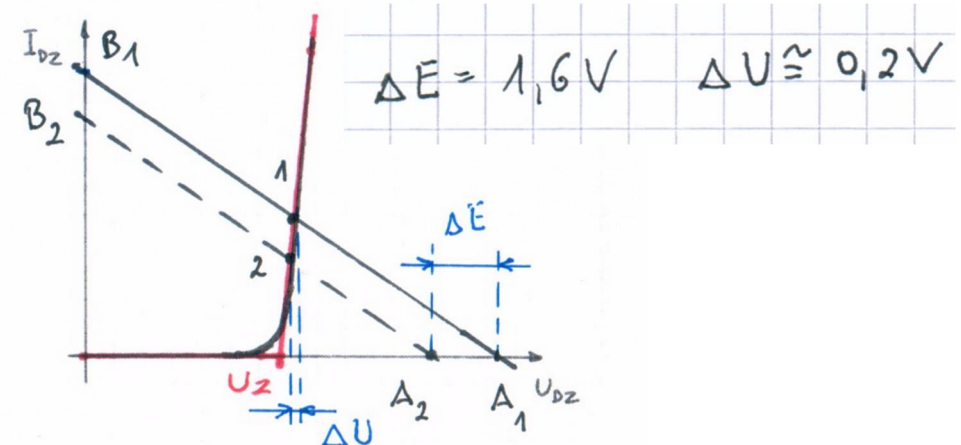
$$U_Z = 4,9V$$

$$\Delta E = E(A_1) - E(A_2)$$

$$\Delta E = 10 - 8,4 = 1,6V$$

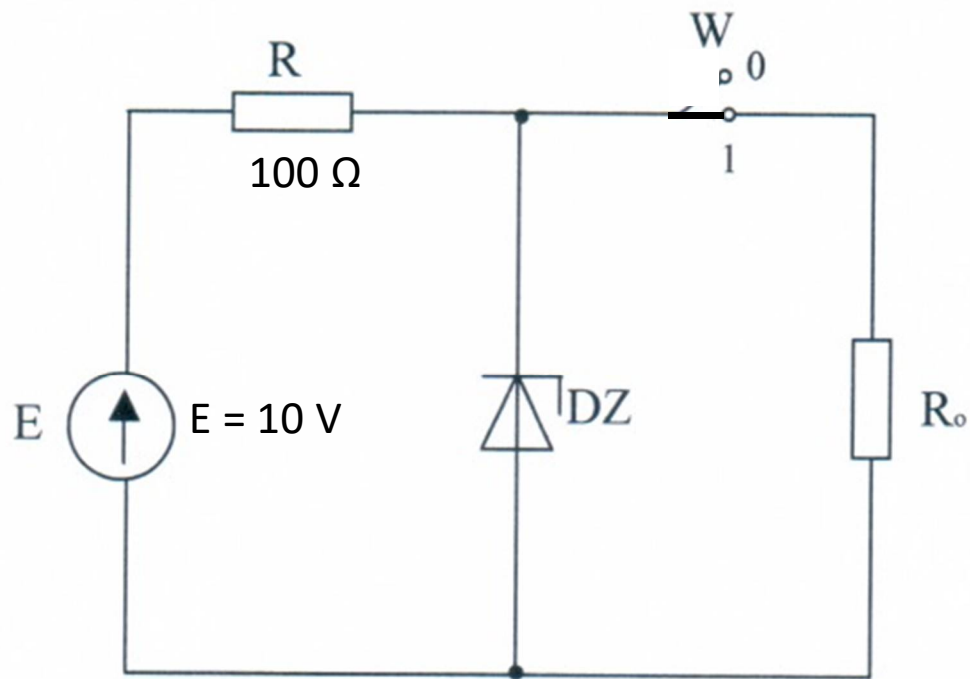
$$A_1 = 10V \quad B_1 = \frac{10V}{100\Omega} = 0,1A$$

$$A_2 = 8,4V \quad B_2 = \frac{8,4V}{100\Omega} = 0,084A$$



Charakterystyka rzeczywista diody

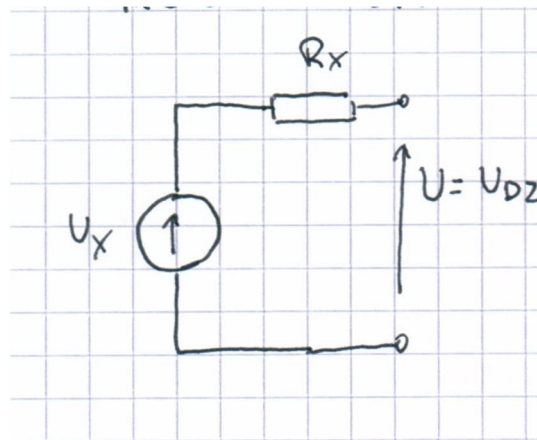
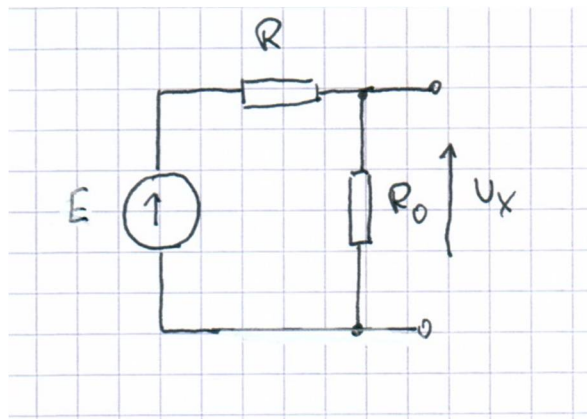
Prosty stabilizator wykorzystujący diodę Zenera



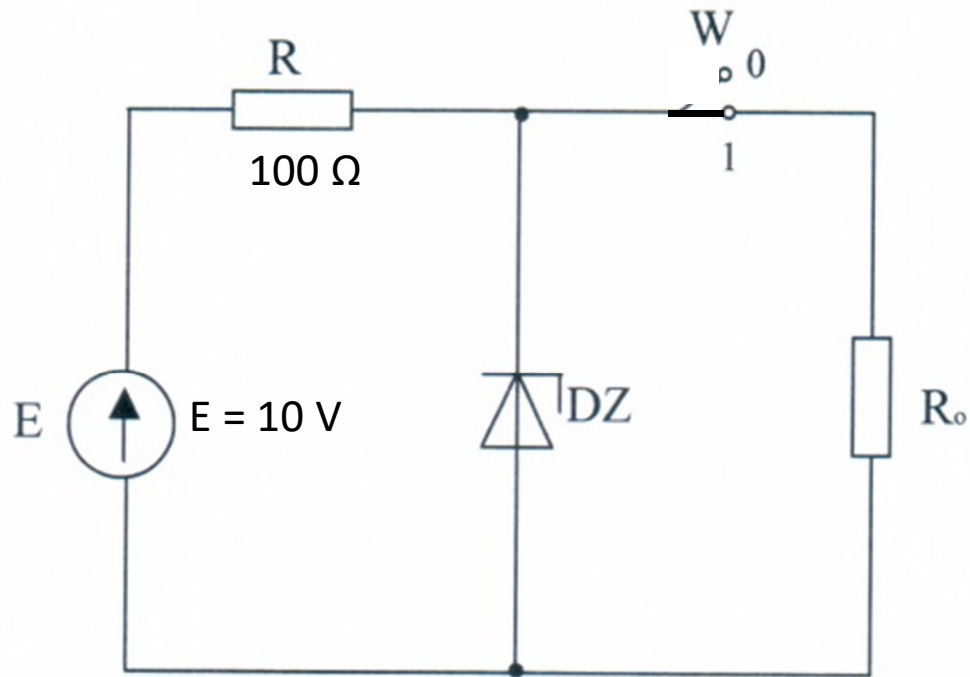
Ilustracja działania przy zmianie rezystancji obciążenia R_o

Wyznaczenie punktów prostej pracy

Metoda Thevenina

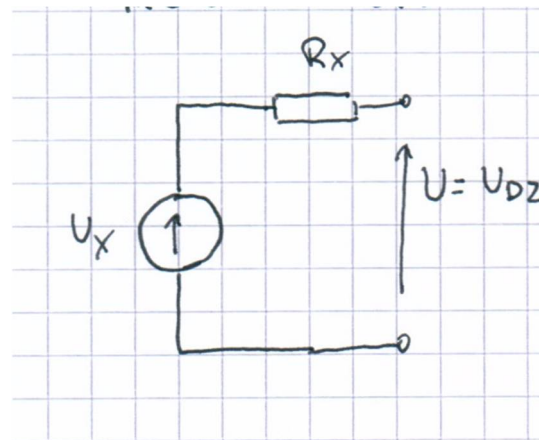
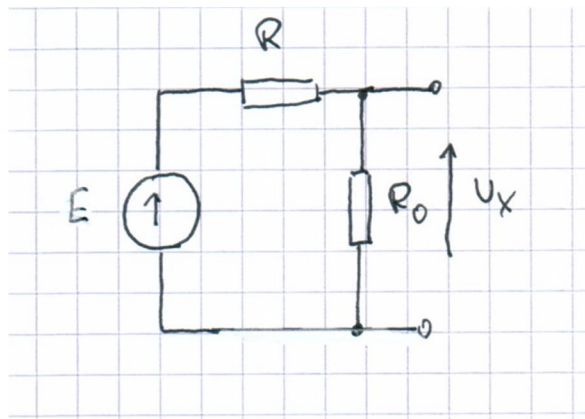


Prosty stabilizator wykorzystujący diodę Zenera

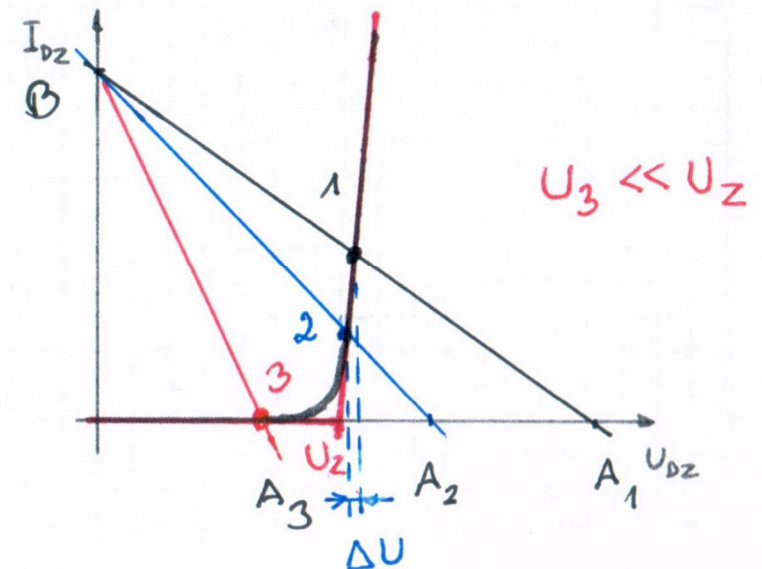


Wyznaczenie punktów prostej pracy

Metoda Thevenina

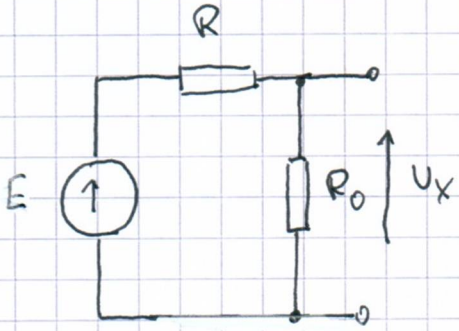


Ilustracja działania przy zmianie rezystancji obciążenia R_o



Charakterystyka rzeczywista diody

Metoda Thevenina



$$U_x = E \cdot \frac{R_0}{R + R_0}$$

$$R_x = R_0 \parallel R = \frac{R \cdot R_0}{R + R_0}$$

(h) $R_o \rightarrow \infty$ $A_x = E = 10$ $B_1 = \frac{E}{R} = \frac{10}{100} = 0,1 A$

$$(2) \quad R_0 = 2R \quad A_2 = U_x^{(2)} \quad B_2 = \frac{U_x}{R_x}$$

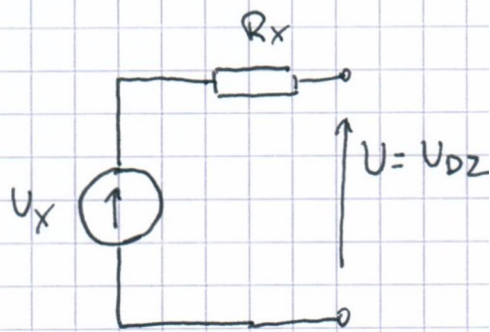
$$U_X^{(2)} = E \cdot \frac{2R}{R+2R} = \frac{2}{3} E = 6,67 \cdot V$$

$$B_2 = \frac{U_X^{(2)}}{R_X^{(2)}} = E \cdot \frac{R_0}{R+R_0} \cdot \frac{R+R_0}{R \cdot R_0} = \frac{E}{R} = B_1 = 0,1 \text{ A} \quad (\text{b.z.})$$

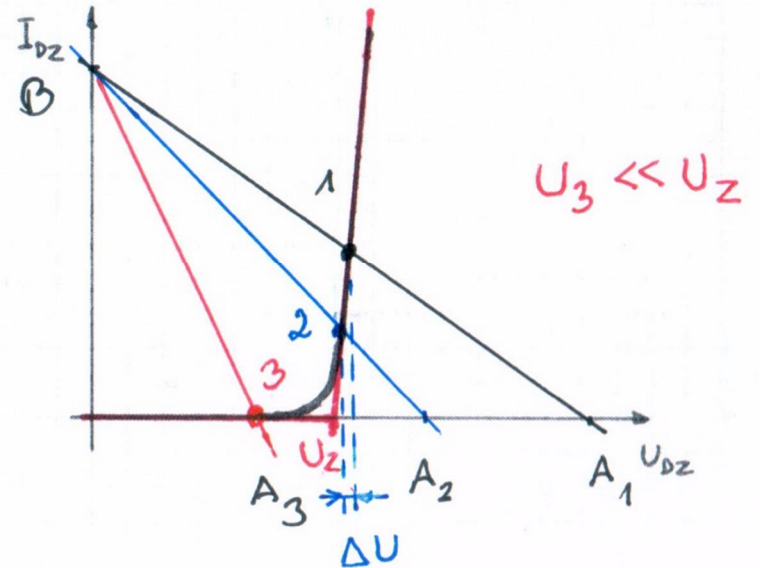
$$(3) \quad R_0 = \frac{1}{2} R \quad A_3 = U_X^{(3)}$$

$$U_X^{(3)} = E \cdot \frac{\frac{1}{2}R}{R + \frac{1}{2}R} = E \cdot \frac{\frac{1}{2}}{\frac{3}{2}} = \frac{1}{3} E = 3,33V$$

$$B_3 = B$$



Ilustracja działania stabilizatora przy zmianie rezystancji obciążenia R_o



$$A_1 \sim 10V$$

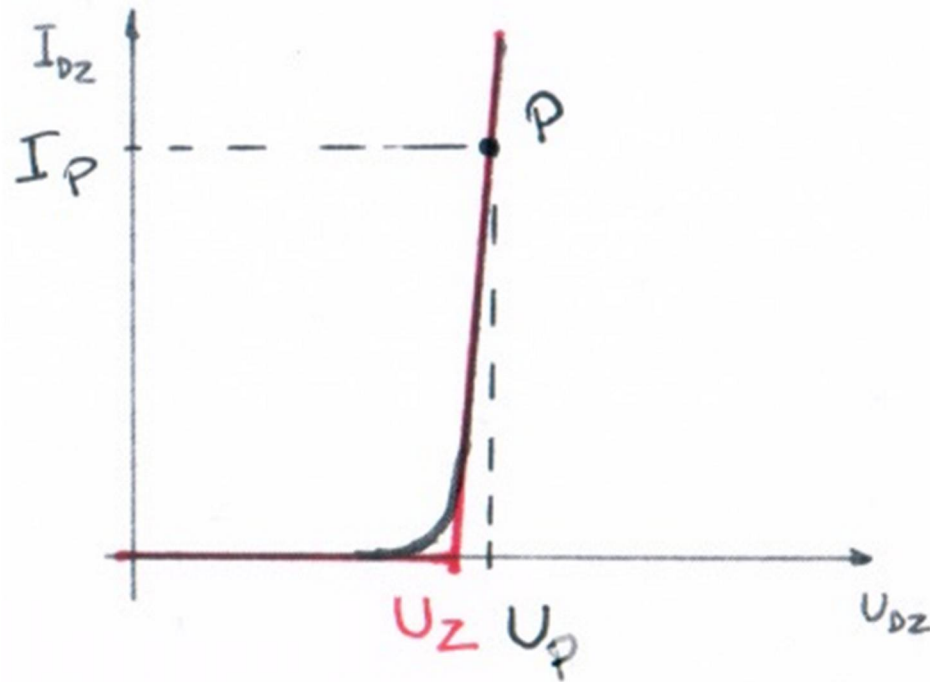
$$A_2 \approx \frac{2}{3} \cdot 10 = 6,67 \text{ V}$$

$$A_3 \approx \frac{1}{3} \cdot 10 = 3,33 \text{ V}$$

$$U_2 = 4,9 \text{ V}$$

$$B = 0,1 \text{ A}$$

Linearyzacja charakterystyki diody Zenera



$$U_X = U_Z + \Delta U$$

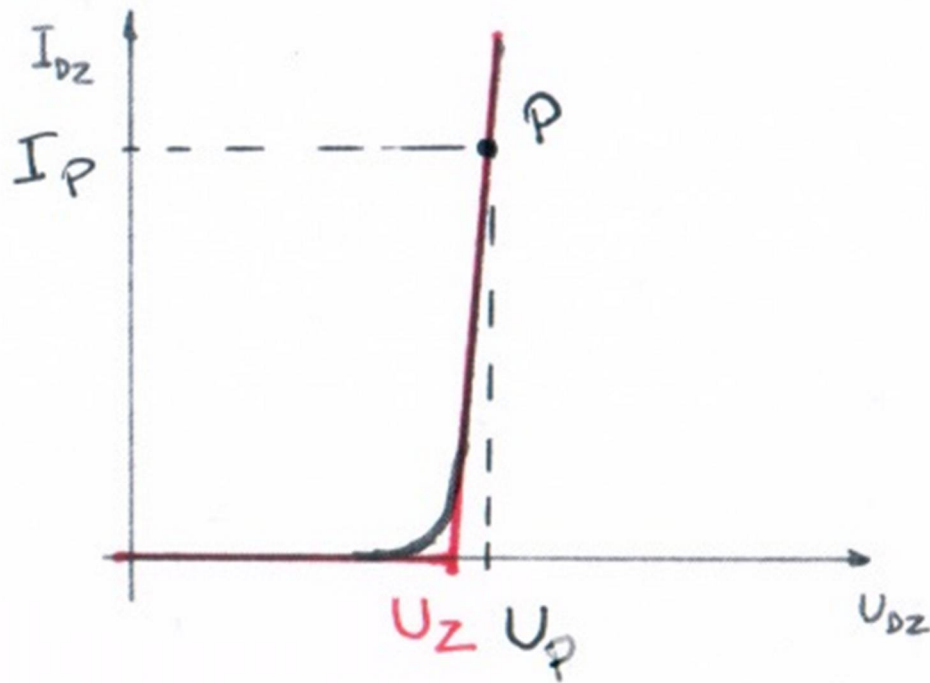
$$U_X = U_Z + r_{DZ} \cdot I_{DZ}$$

$$r_{DZ} = \frac{U_P - U_Z}{I_P} = \frac{0,6}{0,0886} = 6,8 \Omega$$

$$\begin{cases} U_Z = 4,9 \text{ V} & U_P = 5,5 \text{ V} \\ I_P = 0,0886 \text{ A} \end{cases}$$

$$P = U_{DZ} \cdot I_{DZ} = (U_Z + r_{DZ} \cdot I_{DZ}) \cdot I_{DZ} = U_Z \cdot I_{DZ} + r_{DZ} \cdot I_{DZ}^2$$

Linearyzacja charakterystyki diody Zenera



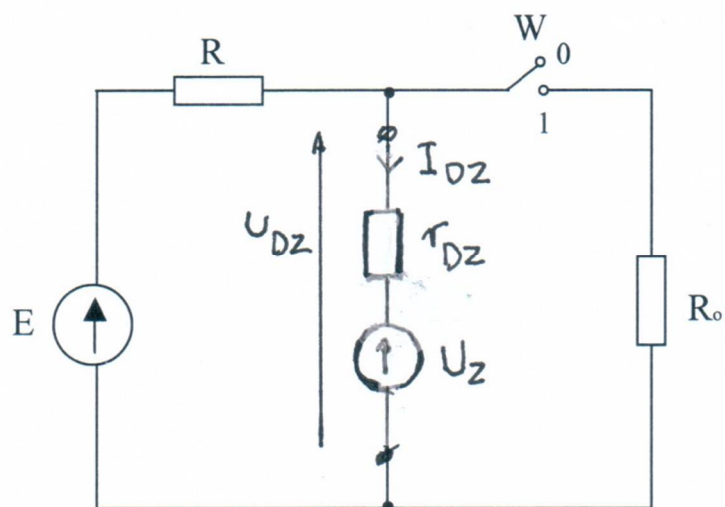
$$U_X = U_Z + \Delta U$$

$$U_X = U_Z + r_{DZ} \cdot I_{DZ}$$

$$r_{DZ} = \frac{U_P - U_Z}{I_P} = \frac{0,6}{0,0886} = 6,8 \Omega$$

$$\begin{cases} U_Z = 4,9 \text{ V} & U_P = 5,5 \text{ V} \\ I_P = 0,0886 \text{ A} \end{cases}$$

$$P = U_{DZ} \cdot I_{DZ} = (U_Z + r_{DZ} \cdot I_{DZ}) \cdot I_{DZ} = U_Z \cdot I_{DZ} + r_{DZ} \cdot I_{DZ}^2$$

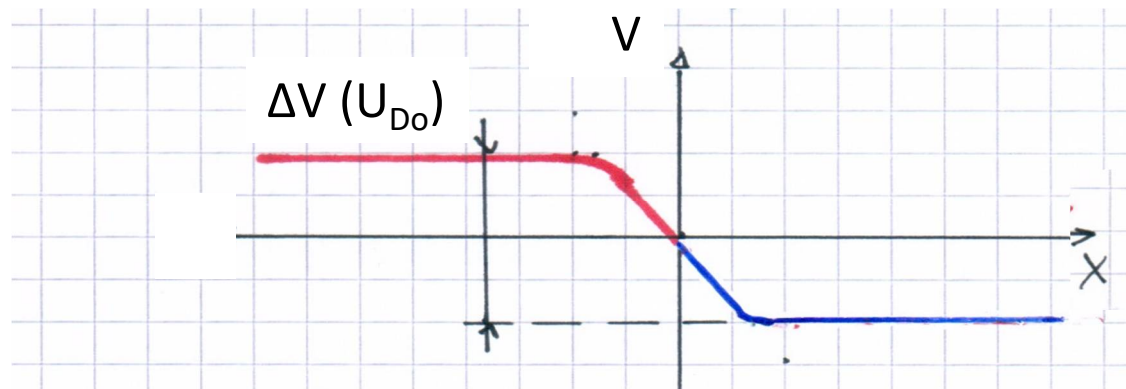
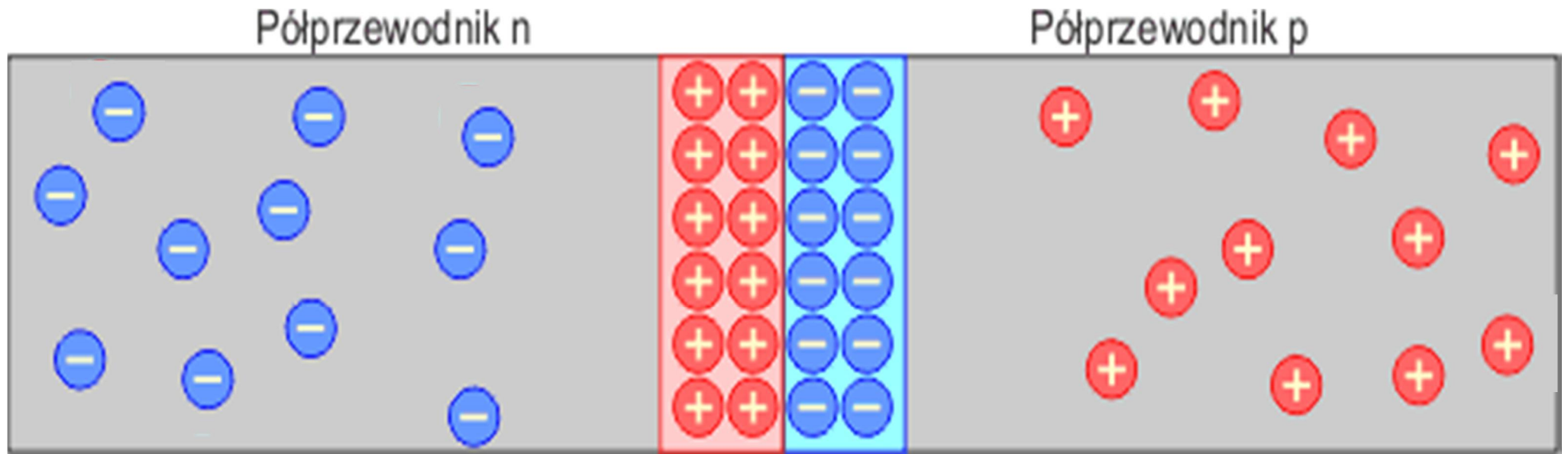


Schemat obwodu elektrycznego stabilizatora z modelem zlinearyzowanym diody Zenera

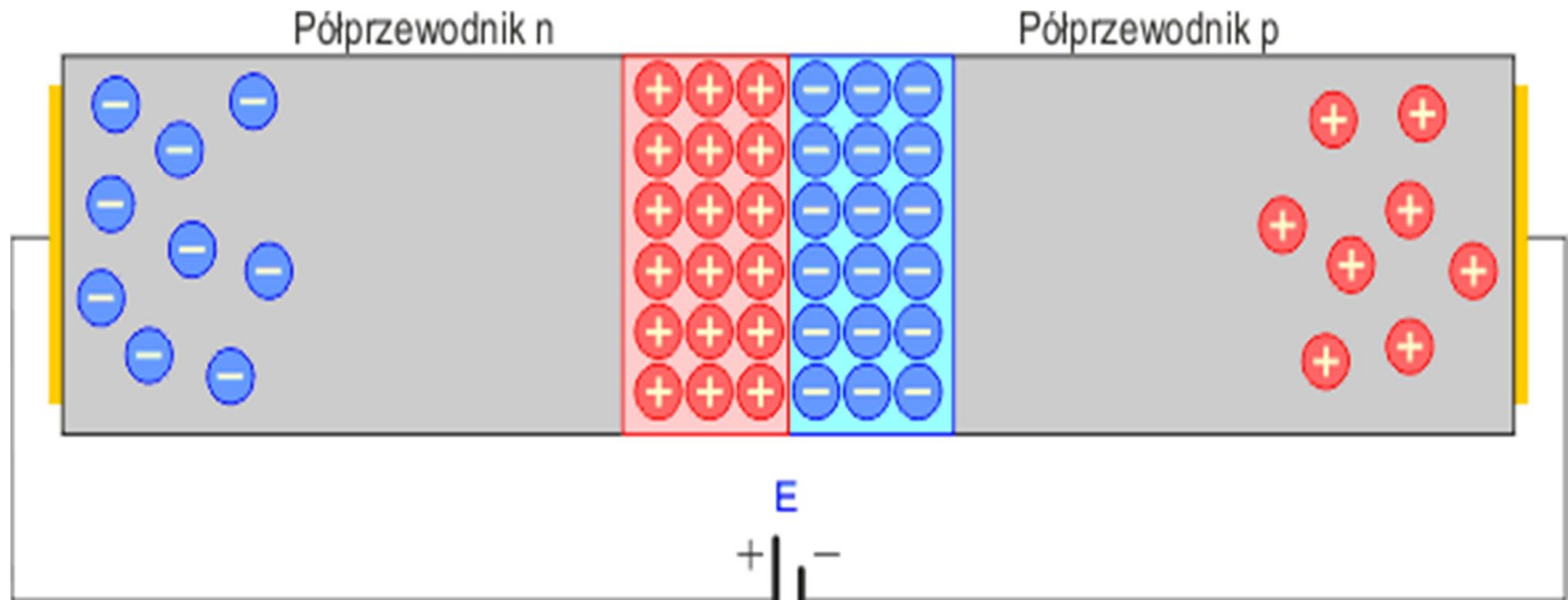
Dioda pojemnościowa

Dioda pojemnościowa – [dioda półprzewodnikowa](#), w której wykorzystuje się zjawisko zmiany [pojemności złącza p-n](#) pod wpływem zmiany [napięcia](#) przyłożonego w kierunku zaporowym. Zmiana pojemności diody jest bardzo niewielka, zwykle od **6 pF do 20 pF**, przy zmianach napięcia od 2 do 20 V. Konstrukcja złączy stosowanych w diodach pojemnościowych jest specjalnie przystosowana do wykorzystania tej właściwości; diody pojemnościowe są wykonywane zazwyczaj z krzemu lub [arsenku galu](#). Diody pojemnościowe są zoptymalizowane pod względem możliwości wykorzystania pojemności barierowej złącza.

Złącze n-p



Złącze spolaryzowane w kierunku zaporowym (wstecznym)



Dioda pojemnościowa

Diody

szerokość obszaru zubożonego

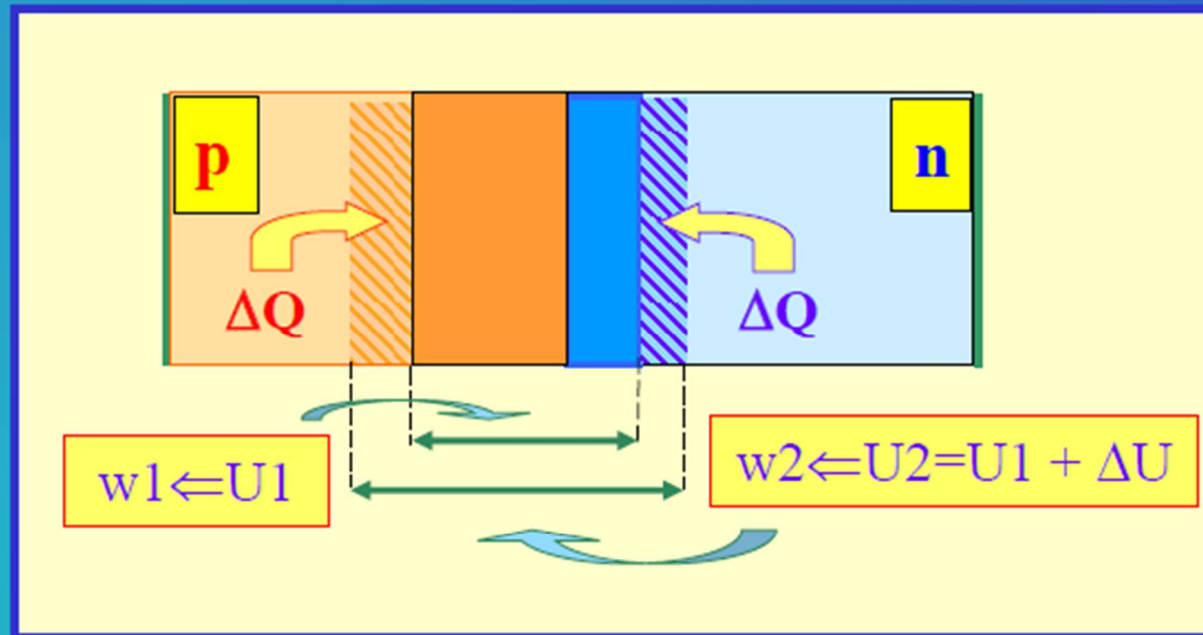
Szerokość obszaru zubożonego w nośniki zależy od napięcia przyłożonego do diody. Wyrażenie na szerokość da się obliczyć z prawa Gaussa.
(Na przykład B.G.Streetman, rozdział 5.2.3). Otrzymujemy:

$$d = \sqrt{\frac{2 \varepsilon_0 \varepsilon}{q} \frac{N_a + N_d}{N_a N_d} (U_D - U)}$$

Dioda z obszarem zubożonym może być traktowana jako kondensator.
Zmiana napięcia przyłożonego do diody powoduje zmianę pojemności kondensatora.

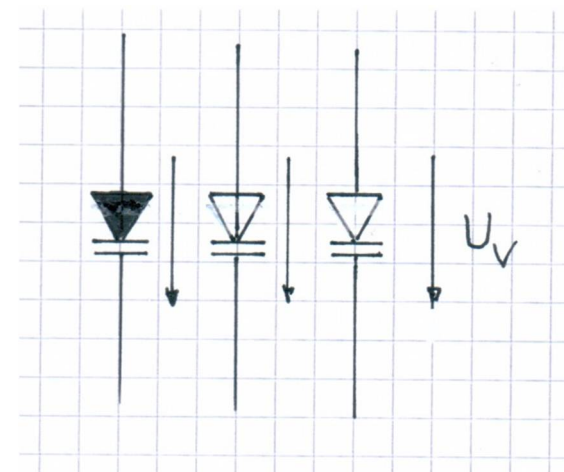
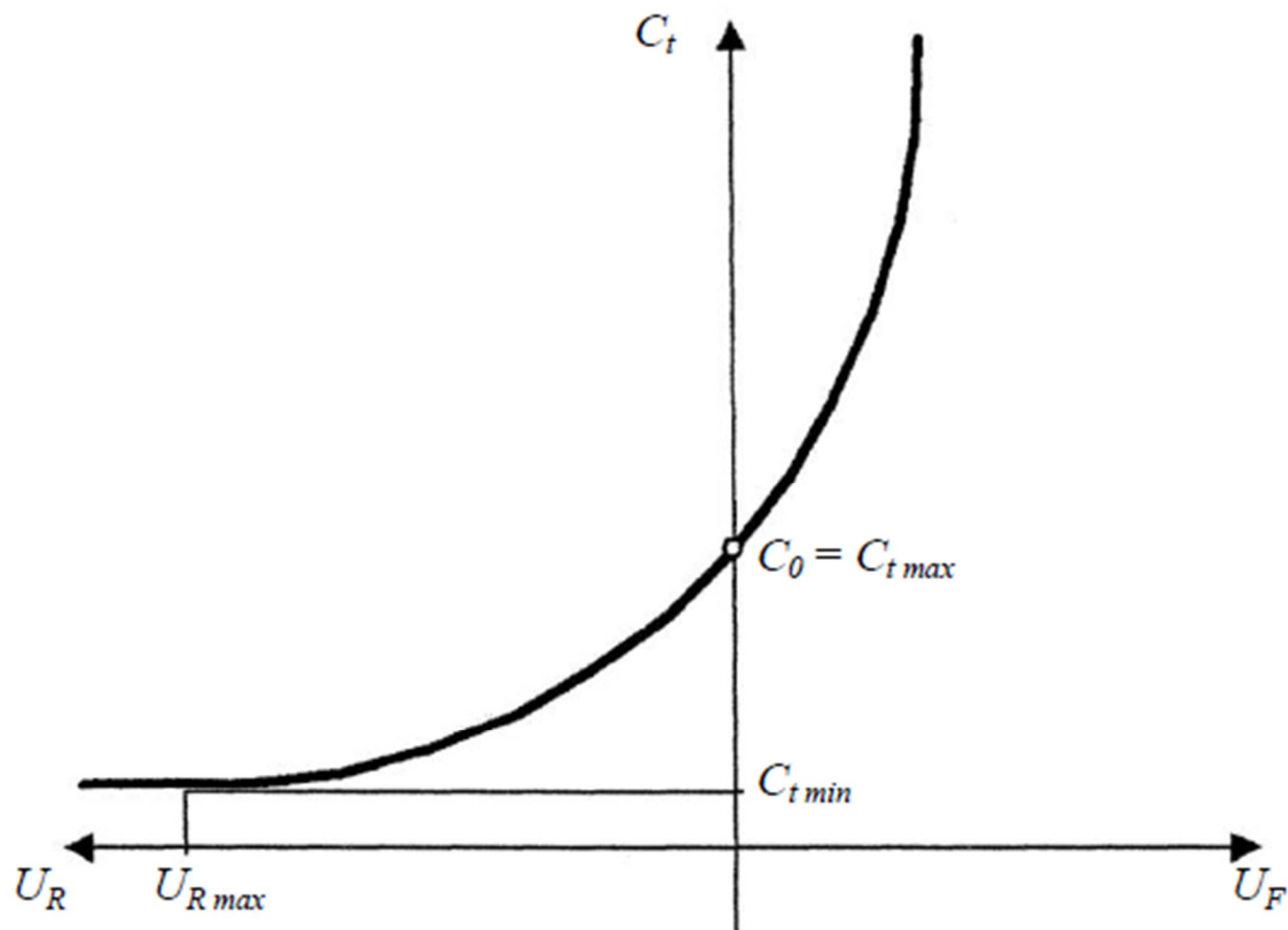
Dioda pojemnościowa

Złącze p-n – pojemność złączowa



$$C_j = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$$

Charakterystyka diody pojemnościowej



symbol

Dioda pojemnościowa

- **warikapy** (od ang. *variable capacitance*, zmienna pojemność), o pojemności 10–500 pF, używane głównie w układach automatycznego strojenia jako elementy [obwodów rezonansowych](#),
- **waraktory** (od ang. *variable reactance*, zmienna [reaktancja](#)), o pojemności 0,2–20 pF, używane głównie w zakresie wysokich częstotliwości, jak również mikrofalowym (5–200 GHz); znajdują zastosowanie na przykład w [powielaczach częstotliwości](#).