

Zadanie 12.4

Dane

Koncentracja domieszki:

$$N_d = 2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$$

Koncentracja nośników samoistnych w temperaturze T :

$$n_i = 1,5 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$$

Temperatura pokojowa:

$$T = 27^\circ\text{C} = \text{const}$$

Rozwiązanie

Koncentracja swobodnych elektronów w przewodniku typu n (domieszkowanym) w stałej temperaturze:

$$N_n = N_d + n_i$$

$$N_d \gg n_i$$

$$N_n \approx N_d$$

$$N_n = 2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$$

Dla stałej temperatury zachodzi:

$$n_0 \cdot p_0 = n_i^2$$

Gdzie n_0 to koncentracja przewodzących elektronów, p_0 to koncentracja dziur elektronowych oraz n_i to koncentracja nośników samoistnych.

Liczba swobodnych dziur jest taka sama jak w materiale czystego półprzewodnika niepoddanego domieszkowaniu.

$$p_n = p = \frac{n_i^2}{N_n} = \frac{(1,5 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3})^2}{2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}} = 1,125 \cdot 10^{10} \text{ m}^{-3}$$

Zadanie 13.3

Termistor o ujemnym współczynniku temperaturowym rezystancji NTC (ang. Negative Temperature Coefficient).

Rezystancja termistora NTC zmniejsza się ze wzrostem temperatury zgodnie z zależnością:

$$R_T = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

Gdzie A i B stałe materiałowe, T temperatura bezwzględna (K) . Muszę wyznaczyć dwa współczynniki A i B . W tym celu tworzę układ równań z dwoma niewiadomymi:

$$R_T = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

$$kR_T = A \cdot e^{\frac{B}{mT}}$$

Wyznaczam i porównuję A

$$\frac{R_T}{e^{\frac{B}{T}}} = \frac{kR_T}{e^{\frac{B}{mT}}}$$

$$e^{\frac{B}{mT}} = ke^{\frac{B}{T}}$$

$$\frac{B}{mT} = \frac{B}{T} + \ln k$$

$$\frac{B - mB}{mT} = \ln k$$

$$B = \frac{mT \ln k}{1 - m}$$

Z tabeli odczytuję:

t °C	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
T K	233,15	243,15	253,15	263,15	273,15	283,15	293,15	303,15	313,15	323,15	333,15	343,15	353,15	363,15	373,15
R_T Ω	75780	39860	21460	12460	7353	4481	2813	1814	1200	811,4	560,3	394,6	283,3	206,7	153,1

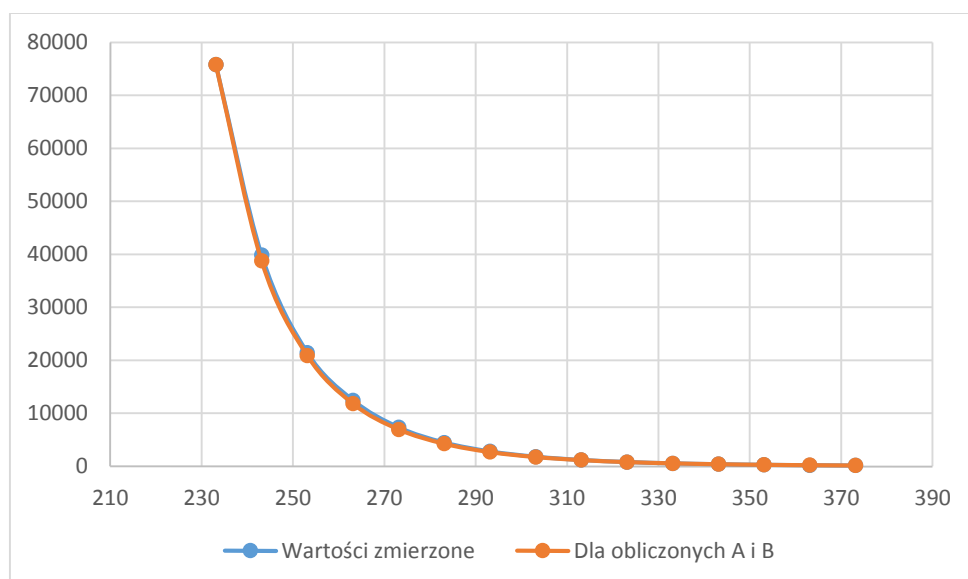
Obliczam współczynniki dla przejścia z -40°C do -30°C

$$k = \frac{39860}{75780}, \quad m = \frac{243,15}{233,15}$$

$$B = 3798,353 \text{ K}$$

$$A = \frac{R_T}{e^{\frac{B}{T}}} = \frac{39860 \Omega}{e^{\frac{3798,353}{243,15}}} = 0,00637183 \Omega$$

Na wykresie przedstawiam charakterystykę daną w tabelce (niebieskie) i narysowaną dla wyżej obliczonych współczynników. Jak widać, wykresy bardzo dobrze się pokrywają.



Zadanie 14.2

$$T = 300 \text{ K}$$

$$r_D = \frac{dU}{dI}$$

Z modelu Shockleya wyznaczam funkcję napięcia przewodzenia:

$$I_F = I_S \left(e^{\frac{U_F}{nU_T}} - 1 \right)$$

$$\frac{I_F}{I_S} + 1 = e^{\frac{U_F}{nU_T}}$$

$$\ln \left(\frac{I_F}{I_S} + 1 \right) = \frac{U_F}{nU_T}$$

$$U_F = nU_T \ln \left(\frac{I_F}{I_S} + 1 \right)$$

$$U_F = nU_T \ln \left(\frac{I_F}{I_S} + 1 \right)$$

Współczynnik emisji:

$$n = 1$$

Liczę rezystancję dynamiczną:

$$\frac{dU_F}{dI_F} = U_T \cdot \frac{1}{\frac{I_F}{I_S} + 1} \cdot \frac{1}{I_S} = \frac{U_T}{\left(\frac{I_F}{I_S} + 1 \right) \cdot I_S} = \frac{U_T}{I_F + I_S}$$

Potencjał elektrokinetyczny w temperaturze T :

$$U_T = \frac{kT}{e} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 300 \text{ K}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ V} = 26 \text{ mV}$$

Kończę obliczenia:

$$\frac{U_T}{I_F + I_S} = \frac{26 \text{ mV}}{100 \text{ mA}} = 0,26 \Omega$$

Zadanie 15.3

Dane:

$$U_{Z0} = 5 \text{ V}$$

$$r_z = 10 \Omega$$

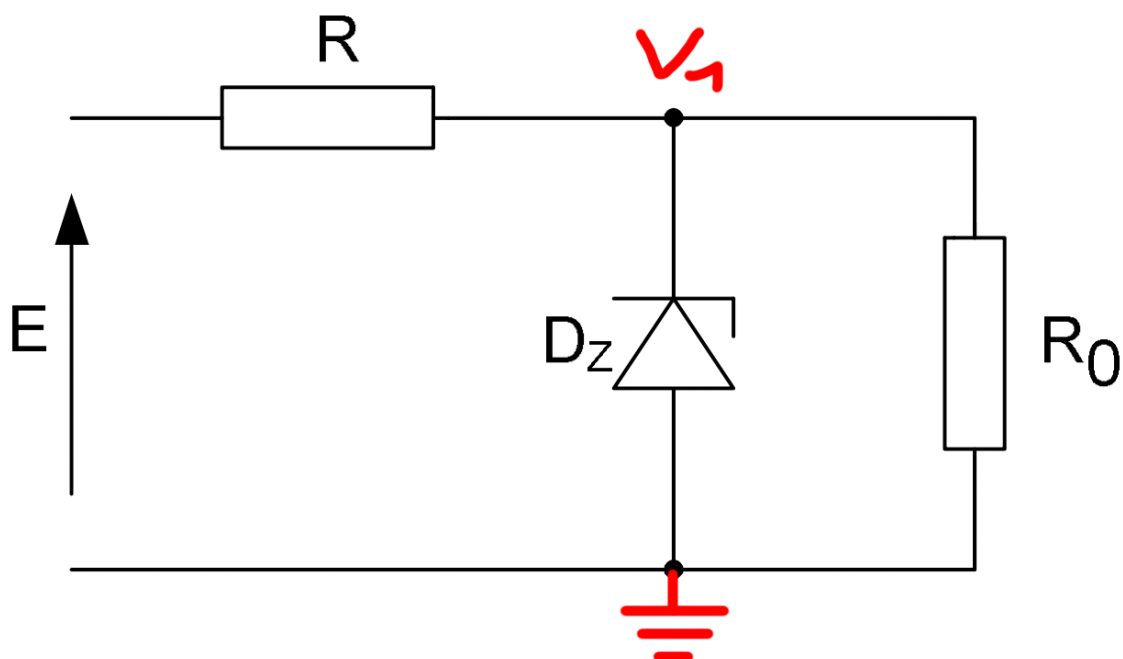
$$E = 10 \text{ V}$$

$$R = 100 \Omega$$

$$R_0 = 200 \Omega$$

Rozwiązanie:

Obliczę napięcie V_1 jak na poniższym obrazku. Dla diody Zenera, obszarem roboczym jest ten, w którym występuje polaryzacja zaporowa.



Używam metody potencjałów węzłowych. Dla dwóch węzłów będzie jedno równanie:

$$\frac{V_1}{R_0} + \frac{V_1 - E}{R} + \frac{V_1 - U_{Z0}}{r_z} = 0$$

$$\frac{V_1}{200} + \frac{V_1 - 10}{100} + \frac{V_1 - 5}{10} = 0$$

$$V_1 + 2(V_1 - 10) + 20(V_1 - 5) = 0$$

$$23V_1 = 120$$

$$V_1 = \frac{120}{23} \text{ V} = 5,22 \text{ V}$$

Natężenie przepływające przez R_0 :

$$\frac{\frac{120}{23}}{200} = \frac{120}{4600} = 0,0261 = 26,1 \text{ mA}$$

Natężenie przepływające przez R :

$$\frac{\frac{120}{23} - 10}{100} = \frac{\frac{120}{23} - \frac{230}{23}}{100} = -\frac{110}{2300} = -\frac{11}{230} = -47,9 \text{ mA}$$

Minus oznacza przeciwny od przyjętego kierunek prądu. Przyjęty był od węzła na zewnątrz, z kolei ten prąd płynie do węzła.

Zatem natężenie przepływające przez diodę będzie równe różnicy natężenia całkowitego w obwodzie i natężenia na rezystorze R_0 :

$$47,9 \text{ mA} - 26,1 \text{ mA} = 21,8 \text{ mA}$$

Ostatecznie punkt pracy diody to (21,8 mA, 5,22 V).