

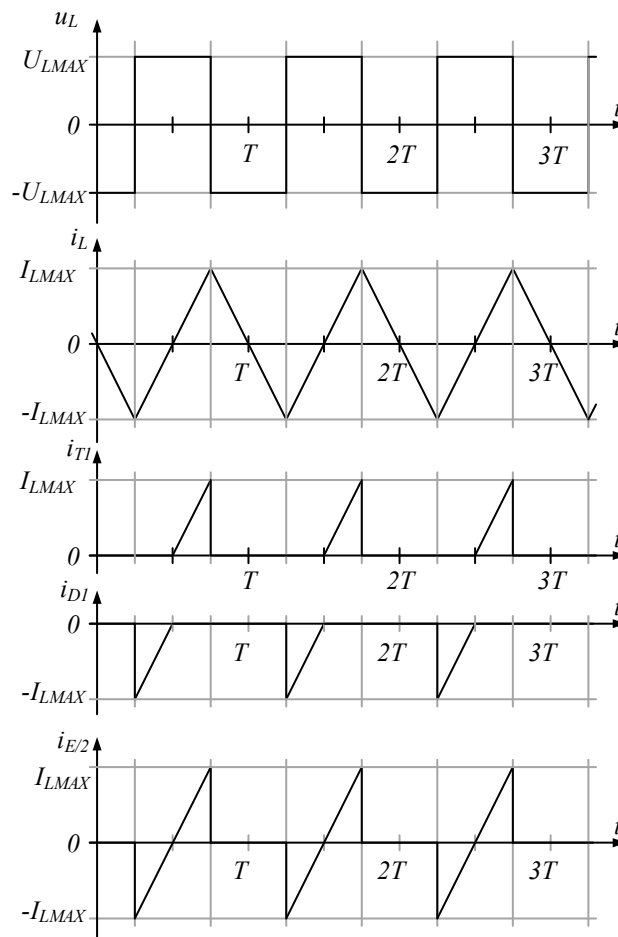
# XLV OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ

## Zawody III stopnia

### Rozwiązania zadań dla grupy elektryczno-elektronicznej

#### Rozwiązanie zadania 1

Przebiegi czasowe napięcia  $u_L$  i prądu  $i_L$  dławika, prądu tranzystora  $i_{T1}$ , prądu diody  $i_{D1}$  oraz prądu źródła zasilania  $i_{E/2}$  przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Przebiegi prądów i napięć w układzie falownika

---

Organizatorem OWT jest Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT.  
Olimpiada jest finansowana ze środków MEN.

**Ad.1)** Częstotliwość pracy falownika można obliczyć z zależności:

$$u_L = \frac{E}{2} = L \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = L \frac{2 I_{Lmax}}{\Delta t}, \quad (1)$$

gdzie  $u_L$  jest chwilową wartością napięcia na dławiku w czasie równym  $\Delta t = \frac{T}{2}$ , kiedy prąd  $i_L$  narasta liniowo od  $-I_{Lmax}$  do  $I_{Lmax}$ .

Dla przebiegu trójkątnego relację pomiędzy wartością skuteczną, a wartością maksymalną opisuje zależność:

$$I_L = \frac{I_{Lmax}}{\sqrt{3}}. \quad (2)$$

Zatem

$$I_{Lmax} = \sqrt{3} I_L = \sqrt{3} \cdot 3 \cdot \sqrt{3} = 9 \text{ A}. \quad (3)$$

Po przekształceniu zależności (1) jest:

$$\Delta t = \frac{I_{Lmax} L}{u_L}. \quad (4)$$

Częstotliwość falownika jest zatem równa:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \Delta t} = \frac{u_L}{2 \cdot 2 I_{Lmax} L} = \frac{45}{2 \cdot 18 \cdot 0,0005} = \frac{5}{0,0002} = 25000 \text{ Hz} = 25 \text{ kHz}. \quad (5)$$

**Ad 2)** Wartość skuteczna napięcia odbiornika

$$U_L = U_{Lmax} = \frac{E}{2} = 45 \text{ V}. \quad (6)$$

**Ad 3)** Wartość średnia i skuteczna prądu tranzystora

$$I_{TAVG} = \frac{I_{Lmax}}{8} = \frac{\sqrt{3} I_L}{8} = \frac{9}{8} = 1,125 \text{ A}. \quad (7)$$

$$I_T = \frac{I_L}{2} = \frac{3\sqrt{3}}{2} = 2,598 \text{ A}. \quad (8)$$

Ad.4) Wartość średnia i skuteczna prądu źródła  $E/2$ :

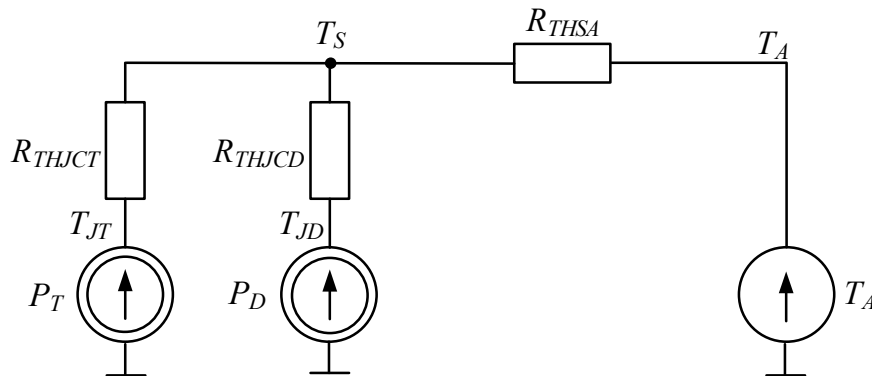
$$I_{E/2AVG} = 0 \text{ A} . \quad (9)$$

$$I_{E/2} = \frac{I_L}{\sqrt{2}} = \frac{3\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = \frac{3 \cdot \sqrt{6}}{2} = 3,674 \text{ A} . \quad (10)$$

**Odpowiedź:** Częstotliwość pracy falownika 25 kHz, skuteczne napięcie na odbiorniku  $U_L = 45 \text{ V}$ , wartość średnia prądu tranzystora  $I_{TAVG} = 1,125 \text{ A}$ , wartość skuteczna  $I_T = 2,6 \text{ A}$ , wartość średnia prądu źródła zasilania  $I_{E/2AVG} = 0 \text{ A}$ , a wartość skuteczna  $I_{E/2} = 3,7 \text{ A}$ .

## Rozwiązanie zadania 2

Ad.1)



Rys.1. Schemat obwodu termicznego tranzystora i diody umieszczonych na wspólnym radiatorze

Schemat obwodu termicznego przedstawiono na rys.1. Na podstawie tego schematu można napisać:

$$T_S - T_A = P R_{THSA} , \quad (1)$$

gdzie  $P$  to całkowita moc strat diody i tranzystora.

$$P = \frac{T_S - T_A}{R_{THSA}} = \frac{85 - 25}{1} = 60 \text{ W} . \quad (2)$$

Z warunków zadania wiadomo, że całkowita moc strat jest równa:

$$P = P_D + P_T = P_D + 2 P_D = 3 P_D . \quad (3)$$

Zatem całkowita moc strat diody  $P_D$  i tranzystora  $P_T$  jest równa:

$$P_D = \frac{P}{3} = \frac{60}{3} = 20 \text{ W} , \quad P_T = 3 P_D = 2 \cdot 20 = 40 \text{ W} . \quad (4)$$

Temperatury struktur półprzewodnikowych tranzystora  $T_{JT}$  i diody  $T_{JD}$  można obliczyć z zależności:

$$T_{JT} = T_S + P_T R_{THJCT} = 85 + 40 \cdot 1 = 125^\circ \text{C} , \quad (5)$$

$$T_{JD} = T_S + P_D R_{THJCD} = 85 + 20 \cdot 1,5 = 115^\circ \text{C} . \quad (6)$$

**Ad.2)** Temperatura struktury półprzewodnikowej tranzystora,  $T_{JT} = 125^\circ \text{C}$  jest większa niż diody  $T_{JD} = 115^\circ \text{C}$ , zatem przyjmując, że maksymalna temperatura struktury półprzewodnikowej tranzystora może być równa  $T_{JTmax} = 150^\circ \text{C}$ , temperatura radiatora może wzrosnąć o:

$$\Delta T = T_{JTmax} - T_{JT} = 150 - 125 = 25^\circ \text{C} . \quad (7)$$

Zatem maksymalna temperatura radiatora jest równa:

$$T_{Smax} = T_S + \Delta T = 85 + 25 = 110^\circ \text{C} . \quad (8)$$

Rezystancję termiczną radiatora można zatem obliczyć z zależności:

$$R_{THSAMax} = \frac{T_{Smax} - T_A}{P} = \frac{110 - 25}{60} = 1,416^\circ \text{C/W} . \quad (9)$$

**Ad.3)** Rozdzielając straty mocy w tranzystorze i diodzie na straty przewodzenia (odpowiednio  $P_{PT}$ ,  $P_{PD}$ ) i straty łączeniowe (odpowiednio  $P_{CT}$ ,  $P_{CD}$ ), które są zależne od częstotliwości przełączeń można napisać:

$$P_T = P_{PT} + P_{CT} = P_{PT} + f_S E_T , \quad (10)$$

$$P_D = P_{PD} + P_{CD} = P_{PD} + f_S E_D , \quad (11)$$

gdzie  $E_T$  i  $E_D$  to ilość energii tracona w tranzystorze i diodzie w trakcie przełączania.

Z warunków zadania wynika, że

$$P_{PT} = 0,5 P_T = 0,5 \cdot 40 = 20 \text{ W}, \quad (12)$$

$$P_{PD} = 0,75 P_D = 0,75 \cdot 20 = 15 \text{ W}, \quad (13)$$

$$P_{CT} = P_T - P_{PT} = 40 - 20 = 20 \text{ W}, \quad (14)$$

$$P_{CD} = P_D - P_{PD} = 20 - 15 = 5 \text{ W}. \quad (15)$$

Energie  $E_T$  i  $E_D$  można zatem obliczyć ze wzorów:

$$E_T = \frac{P_{CT}}{f_S} = \frac{20}{20 \cdot 10^3} = 1 \text{ mJ}, \quad (16)$$

$$E_D = \frac{P_{CD}}{f_S} = \frac{5}{20 \cdot 10^3} = 250 \text{ } \mu\text{J}. \quad (17)$$

Na podstawie schematu przedstawionego na rys.1 temperaturę złącza tranzystorowego  $T_{JT}$  można obliczyć z zależności:

$$\begin{aligned} T_{JT} &= T_A + P R_{THSA} + P_T R_{THJCT} = \\ &= T_A + \left( P_{CT} + f_S E_T + P_{CD} + f_S E_D \right) R_{THSA} + \\ &+ \left( P_{CT} + f_S E_T \right) R_{THJCT} = \\ &= T_A + f_S \left[ \left( E_T + E_D \right) R_{THSA} + E_T R_{THJCT} \right] + \\ &+ P_{CT} \left( R_{THSA} + R_{THJCT} \right) + P_{CD} R_{THSA}. \end{aligned} \quad (18)$$

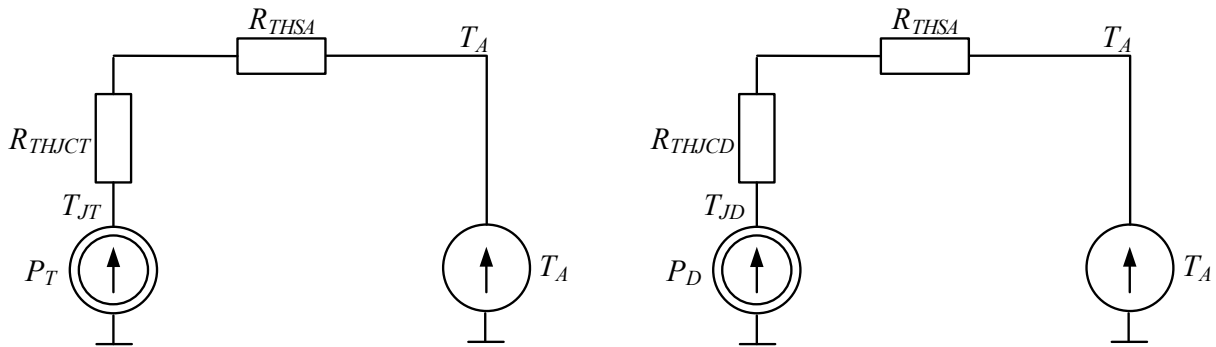
Po przekształceniu

$$f_S = \frac{T_{JT} - T_A - P_{CT} \left( R_{THSA} + R_{THJCT} \right) - P_{CD} R_{THSA}}{R_{THSA} \left( E_T + E_D \right) + R_{THJCT} E_T}. \quad (19)$$

Podstawiając  $T_{JT} = 150^{\circ}\text{C}$  maksymalna częstotliwość łączy będzie równa:

$$f_S = \frac{150 - 25 - 20(1 + 1) - 15 \cdot 1}{1(0,001 + 0,00025) + 1 \cdot 0,001} \approx 31,1 \text{ kHz}. \quad (20)$$

**Ad.4)** Tranzystor i dioda są umieszczone na osobnych radiatorach, a zatem schematy obwodów termicznych dla obu elementów można przedstawić jak na rys.2.



Rys.2. Schematy obwodów termicznych tranzystora i diody umieszczonych na oddzielnych radiatorach

Dla tranzystora

$$T_{JT} = T_A + P_T \left( R_{THSA} + R_{THJCT} \right) = 25 + 40 \cdot 2 = 105^{\circ}\text{C}. \quad (21)$$

Dla diody

$$T_{JD} = T_A + P_D \left( R_{THSA} + R_{THJCD} \right) = 25 + 20 \cdot 2,5 = 75^{\circ}\text{C}. \quad (22)$$

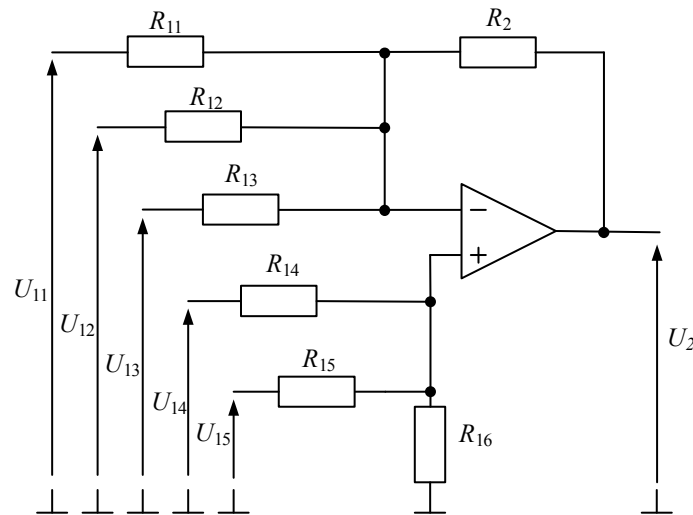
Odpowiedź: Średnia temperatura złącz diody i tranzystora odpowiednio są równe:

$$T_{JT} = 125^{\circ}\text{C}, T_{JD} = 115^{\circ}\text{C}.$$

Zwiększeni rezystancji termicznej radiatora o około 41% nie spowoduje przekroczenia maksymalnej temperatury złącz, równej  $T_{Jmax} = 150^{\circ}\text{C}$ . Maksymalna częstotliwość łączy w układzie jest równa  $f_S \approx 31,1 \text{ kHz}$ . Jeżeli tranzystor i diodę umieści się na oddzielnych radiatorach o rezystancji termicznej  $R_{THSA} = 1 \text{ K/W}$  temperatury złącz tranzystora i diody będą równe:  $T_{JT} = 105^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{JD} = 75^{\circ}\text{C}$ .

### Rozwiązanie zadania 3

Dla przyjętych w zadaniu współczynników wzmocnienia sygnałów wejściowych można zrealizować zadany układ stosując jeden wzmacniacz operacyjny. Schemat tego układu przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Układ z jednym wzmacniaczem operacyjnym

Zakładając, że wzmacniacz operacyjny jest idealny, funkcję napięcia wyjściowego można opisać zależnością:

$$u_2 = -\frac{R_2}{R_{11}} u_{11} - \frac{R_2}{R_{12}} u_{12} - \frac{R_2}{R_{13}} u_{13} + k_u \gamma_{14} u_{14} + k_u \gamma_{15} u_{15}, \quad (1)$$

gdzie:

$$k_u = \frac{R_2}{R_{123}} + 1, \quad \frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{13}}, \quad (2)$$

$$\gamma_{14} = \frac{R_{56}}{R_{14} + R_{56}} \quad \text{gdzie:} \quad R_{56} = \frac{R_{15} R_{16}}{R_{15} + R_{16}}, \quad (3)$$

$$\gamma_{15} = \frac{R_{46}}{R_{15} + R_{46}} \quad \text{gdzie:} \quad R_{46} = \frac{R_{14} R_{16}}{R_{14} + R_{16}}. \quad (4)$$

Z warunków zadania jest:

$$\frac{R_2}{R_{11}} = 2,5 \quad ; \quad \frac{R_2}{R_{12}} = 5 \quad ; \quad \frac{R_2}{R_{13}} = 7,5 \quad ; \quad k_u \gamma_{14} = 8 \quad ; \quad k_u \gamma_{15} = 6,4. \quad (5)$$

Zakładając  $R_2 = 15 \text{ k}\Omega$  można obliczyć rezystory  $R_{11}$ ,  $R_{12}$ ,  $R_{13}$ .

$$R_{11} = \frac{R_2}{2,5} = \frac{15}{2,5} = 6 \text{ k}\Omega \quad R_{12} = \frac{R_2}{5} = \frac{15}{5} = 3 \text{ k}\Omega \quad R_{13} = \frac{R_2}{7,5} = \frac{15}{7,5} = 2 \text{ k}\Omega . \quad (6)$$

Wzmocnienie układu powtarzającego  $k_u$  (dla sygnałów  $u_{14}$ ,  $u_{15}$ ) jest równe:

$$k_u = \frac{R_2}{R_{123}} + 1 = 15 \cdot 1 + 1 = 16 \text{ V/V} , \quad (7)$$

gdzie:

$$\frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{13}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} = 1 \text{ mS} .$$

Z zależności (1)

$$k_u \gamma_{14} = 16 \cdot \gamma_{14} = 8 \quad \gamma_{14} = 0,5 , \quad (8)$$

$$k_u \gamma_{15} = 16 \cdot \gamma_{15} = 6,4 \quad \gamma_{15} = 0,4 . \quad (9)$$

Korzystając z zależności (3), (4) i zakładając wartość rezystora  $R_{16}$ , np.  $R_{16} = 10 \text{ k}\Omega$  można obliczyć rezystory  $R_{14}$  i  $R_{15}$ .

$$\gamma_{14} = \frac{R_{56}}{R_{14} + R_{56}} = \frac{R_{15} R_{16}}{R_{14} R_{15} + R_{14} R_{16} + R_{15} R_{16}} = 0,5 , \quad (10)$$

$$\gamma_{15} = \frac{R_{46}}{R_{15} + R_{46}} = \frac{R_{14} R_{16}}{R_{14} R_{15} + R_{14} R_{16} + R_{15} R_{16}} = 0,4 , \quad (11)$$

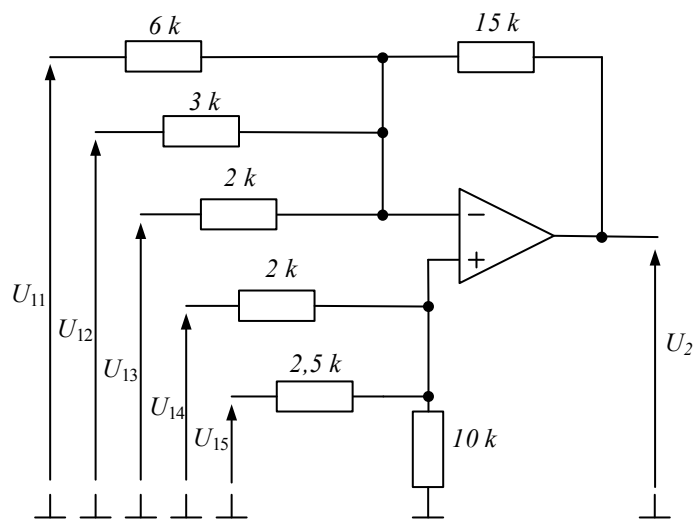
$$\frac{R_{15}}{R_{14}} = \frac{\gamma_{14}}{\gamma_{15}} = \frac{0,5}{0,4} = 1,25 , \quad (12)$$

$$R_{14} = \frac{0,1 \cdot R_{16}}{0,5} = \frac{10}{5} = 2 \text{ k}\Omega , \quad (13)$$

$$R_{15} = 1,25 \cdot R_{14} = 2,5 \text{ k}\Omega . \quad (14)$$



Odpowiedź: Układ realizujący funkcję z zadania przedstawiono na rysunku.



Rys.2