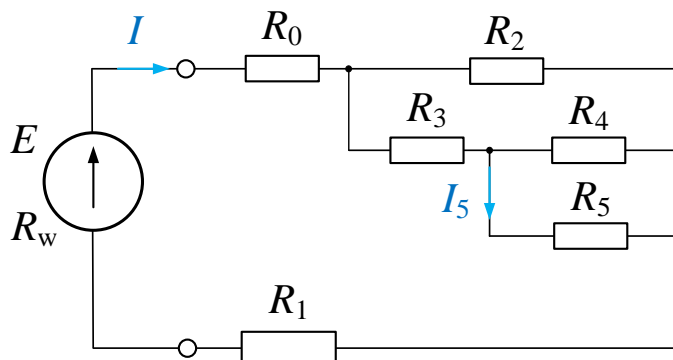


„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Energetycznej
Rok szkolny 2022/2023

Odpowiedzi do zadań dla grupy energetycznej na zawody II stopnia

Zadanie 1

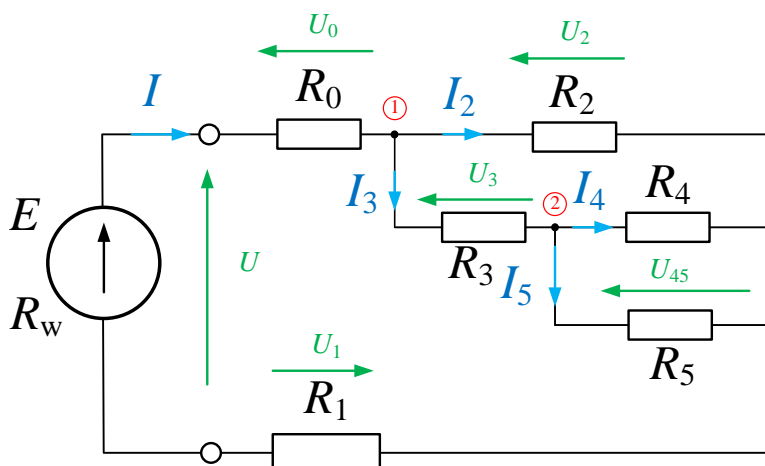
Do rzeczywistego źródła napięcia podłączono rezystory. Obwód przedstawiono na rysunku 1, w którym wiadomo, że wartość natężenia prądu w gałęzi z rezystorem R_5 wynosi $I_5 = 5$ A. Należy obliczyć wartość siły elektromotorycznej E oraz wartość natężenia prądu pobieranego ze źródła I oraz wartość rezystancji zastępczej R_z widzianą z zacisków rzeczywistego źródła napięcia. Dane obwodu: $R_0 = 1,00 \Omega$, $R_1 = 2,00 \Omega$, $R_2 = 11,0 \Omega$, $R_3 = 40,0 \Omega$, $R_4 = 50,0 \Omega$, $R_5 = 100 \Omega$, $R_w = 1,00 \Omega$.



Rysunek 1. Obwód elektryczny prądu stałego

Rozwiązanie

W pierwszej kolejności oznaczamy umowny kierunek przepływu prądu i spadków napięć oraz oznaczamy węzły.



Rysunek 2. Obwód elektryczny prądu stałego ze strzałkowaniem

Rezystory R_4 i R_5 są połączone równolegle, a napięcie na nich wynosi

$$U_{45} = R_5 \cdot I_5 = 100 \cdot 5,00 = 500 \text{ V}$$

Zając wartość spadku napięcia na rezystorze R_4 można wyznaczyć wartość natężenia prądu w gałęzi z rezystorem R_4 :

$$I_4 = \frac{U_{45}}{R_4} = \frac{500}{50,0} = 10,0.$$

Z pierwszego prawa Kirchhoffa dla węzła 2 można wyznaczyć wartość natężenia prądu płynącego przez rezystor R_3 .

$$I_3 = I_4 + I_5 = 10,0 + 5,00 = 15,0 \text{ A.}$$

Następnie obliczamy spadek napięcia na rezystancji R_3 z zależności

$$U_3 = R_3 \cdot I_3 = 40,0 \cdot 15,0 = 600 \text{ V}$$

Wykorzystując drugie prawo Kirchhoffa można wyznaczyć spadek napięcia na rezystorze R_2

$$U_2 = U_3 + U_{45} = 600 + 500 = 1100 \text{ V}$$

W kolejnym kroku znając spadek napięcia U_2 można wyznaczyć wartość natężenia prądu I_2

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{1100}{11} = 100 \text{ A.}$$

Z pierwszego prawa Kirchhoffa dla węzła 1 można wyznaczyć wartość natężenia prądu płynącego ze źródła.

$$I = I_2 + I_3 = 100 + 15,0 = 115 \text{ A.}$$

Spadki napięć na rezystorze R_1 i R_2

$$U_1 = R_1 \cdot I = 2,00 \cdot 115 = 230 \text{ V}$$

$$U_0 = R_0 \cdot I = 1,00 \cdot 115 = 115 \text{ V}$$

Wartość napięcia na zaciskach rzeczywistego źródła napięcia wyniesie

$$U = U_0 + U_1 + U_2 = 115 + 230 + 1100 = 1445 \text{ V}$$

Siła elektromotoryczna źródła wynosi:

$$E = U + R_w \cdot I = 1445 + 1,00 \cdot 115 = 1560 \text{ V}$$

Rezystancja zastępcza obwodu widzianego z zacisków rzeczywistego źródła napięcia:

$$R_z = \frac{U}{I} = \frac{1445}{115} = 12,56 \Omega$$

Odpowiedź:

Siła elektromotoryczna źródła napięcia wynosi $E = 1560 \text{ V}$, wartość natężenia prądu pobieranego ze źródła wynosi $I = 115 \text{ A}$ natomiast rezystancja zastępcza obwodu widzianego z zacisków rzeczywistego źródła napięcia wynosi $R_z = 12,6 \Omega$.

Zadanie 2

Czajnik elektryczny o mocy znamionowej $P_N = 1000 \text{ W}$ zasilono napięciem znamionowym $U_N = 230 \text{ V}$ (zakłada się stałą wartość napięcia) i nagrzano w nim $0,476 \text{ kg}$ wody o temperaturze początkowej $T_p = 19,0 \text{ °C}$ do temperatury wrzenia $T_k = 100,0 \text{ °C}$ w czasie $t = 3 \text{ min } 35 \text{ s}$. Podczas próby wyparowało 11 g wody. Przyjmując, że ciepło właściwe wody wynosi $c_w = 4,175 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, a ciepło parowania wody wynosi $r = 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ oblicz sprawność całkowitą procesu nagrzewania.

Rozwiązanie

Obliczenie zużycia energii elektrycznej Q_{ce}

W zadaniu podano, że czajnik o mocy znamionowej $P_N = 1000 \text{ W}$ zasilono napięciem znamionowym $U_N = 230 \text{ V}$, zatem przyjąć można, że czajnik przy takim napięciu pobiera moc znamionową, ponadto zakładając stałą wartość napięcia można przyjąć $P_{sr} = 1000 \text{ W}$. W czasie $t = 215 \text{ s}$ czajnik zużyje:

$$Q_{ce} = P_{sr} \cdot t = 1000 \text{ W} \cdot 215 \text{ s} = 215000 \text{ Ws} = 215 \text{ kJ}$$

Obliczenie ciepła użytecznego (ciepła całkowitego do podgrzania wody z uwzględnieniem strat parowania)

Obliczenie ciepła potrzebnego do podgrzania wody

$$Q_c = m_p \cdot c_w \cdot \Delta T = 0,476 \text{ kg} \cdot 4,175 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 81,0 \text{ K} = 161,0 \text{ kJ}$$

Obliczenie ciepła parowania

$$Q_p = m_r \cdot r = 0,011 \text{ kg} \cdot 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 24,8 \text{ kJ}$$

Obliczenie ciepła całkowitego

$$Q_u = Q_c + Q_p = 161,0 \text{ kJ} + 24,8 \text{ kJ} = 185,8 \text{ kJ}$$

Obliczenie sprawności całkowitej procesu nagrzewania

$$\eta_c = \frac{Q_u}{Q_{ce}} = \frac{185,8 \text{ kJ}}{215 \text{ kJ}} = 0,864 = 86,4\%$$

Odpowiedź:

Sprawność całkowita procesu nagrzewania wynosi $\eta_c = 86,4\%$

Zadanie 3

Temperatura dolnego źródła ciepła silnika cieplnego pracującego w cyklu Carnota wynosi $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. O ile podwyższy się temperatura górnego źródła ciepła tego silnika, jeśli sprawność zwiększy się z $30,0\%$ do $40,0\%$.

Rozwiązanie:

Podanie wzoru na sprawność cyklu Carnota określona na podstawie temperatury dolnego i górnego źródła ciepła i wyprowadzenie zależności na temperaturę górnego źródła ciepła T_1

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$T_1 = \frac{T_2}{1 - \eta}$$

Obliczenie temperatury górnego źródła ciepła przed podwyższeniem sprawności silnika T_1'

$$T_1' = \frac{T_2}{1 - \eta'} = \frac{293,15\text{ K}}{1 - 0,300} = 418,8\text{ K}$$

Obliczenie temperatury górnego źródła ciepła przed podwyższeniem sprawności silnika T_1''

$$T_1'' = \frac{T_2}{1 - \eta''} = \frac{293,15\text{ K}}{1 - 0,400} = 488,6\text{ K}$$

Obliczenie wzrostu temperatury górnego źródła ciepła po zwiększeniu sprawności ΔT

$$\Delta T = T_1'' - T_1' = 488,6\text{ K} - 418,8\text{ K} = 69,8\text{ K}$$

Odpowiedź:

Temperatura górnego źródła ciepła po zwiększeniu sprawności wzrośnie o $\Delta T = 69,8\text{ K}$

Zadanie 4

Płaski kolektor słoneczny o powierzchni $S = 2,5 \text{ m}^2$ i sprawności $\eta = 85\%$ jest wykorzystany do przygotowywania ciepłej wody użytkowej. Czynnikiem roboczym jest glikol, którego ciepło właściwe wynosi $c_w = 2500 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ i gęstość $\rho = 1,15 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$. Czynnik ten przepływa przez rury o średnicy $d = 10 \text{ mm}$ ze strumieniem masowym równym $\dot{m} = 175 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$. Jaka jest temperatura absorbera kolektora słonecznego T_a , jeżeli temperatura otoczenia wynosi $T_o = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, a natężenie promieniowania $G = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

Rozwiązanie:

Do wyznaczenia temperatury absorbera należy wykorzystać podstawowy wzór na sprawność kolektora słonecznego

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{G \cdot S} = \frac{\dot{m} \cdot c_w \cdot \Delta T}{G \cdot S}$$

Gdzie: \dot{Q} - strumień energii otrzymanej z kolektora (uzysk solarny), W

$\Delta T = T_a - T_o$ - różnica temperatur pomiędzy absorberem a kolektorem, $^\circ\text{C}$

Zatem: $T_a = \Delta T + T_o$

Wyznaczenie ΔT

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{G \cdot S} = \frac{\dot{m} \cdot c_w \cdot \Delta T}{G \cdot S}$$
$$\Delta T = \frac{\eta \cdot G \cdot S}{\dot{m} \cdot c_w}$$

Aby jednostki się zgadzały $\dot{m} = 175 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ należy zamienić na $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$, zatem $\dot{m} = \frac{175}{3600} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$\Delta T = \frac{0,85 \cdot 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 2,5 \text{ m}^2}{\frac{175}{3600} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 2500 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 17,5 \text{ K} = 17,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Wyznaczenie temperatury absorbera

$$T_a = \Delta T + T_o = 17,5 \text{ }^\circ\text{C} + 20 \text{ }^\circ\text{C} = 37,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Odpowiedź:

Temperatura absorbera kolektora słonecznego wynosi $T_a = 37,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Zadanie 5

Ze stacji A do stacji B linią napowietrzną 110 kV o długości 30 km przesyłana jest moc pozorna o wartości $\underline{S} = (20,0 + j10,0)$ MVA. Linia napowietrzna 110 kV wykonana jest przewodami AFL-6 o przekroju 240 mm^2 . Podczas przesyłu mocy ze stacji A do stacji B występują w liniach elektroenergetycznych straty mocy czynnej jak i biernej, które należy wyznaczyć. Dla uproszczenia należy przyjąć model linii napowietrznej 110 kV jako szeregowy dwójnik RL. Konduktywność aluminium należy przyjąć $\gamma = 34 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$, natomiast jednostkowa reaktancja linii wynosi $X'_L = 0,40 \frac{\Omega}{\text{km}}$.

Rozwiązanie:

Jednostkowa rezystancja linii AFL-6 o przekroju 240 mm^2

$$R'_L = \frac{1000}{\gamma \cdot S} = \frac{1000}{34 \cdot 240} = 0,122 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Rezystancja linii AFL-6 o przekroju 240 mm^2 o długości 30 km wynosi:

$$R_L = R'_L \cdot l = 0,122 \cdot 30 = 3,66 \Omega$$

Reaktancja linii AFL-6 o przekroju 240 mm^2 o długości 30 km wynosi:

$$X_L = X'_L \cdot l = 0,4 \cdot 30 = 12,0 \Omega$$

Straty mocy czynnej w rozważanej linii wynoszą:

$$\Delta P_{0L} = \frac{P^2 + Q^2}{U_r^2} \cdot R_L$$

$$\Delta P_{0L} = \frac{(20 \cdot 10^6)^2 + (10 \cdot 10^6)^2}{(110 \cdot 10^3)^2} \cdot 3,66 = 41322 \cdot 3,66 = 151238 \text{ W} = 151,24 \text{ kW}$$

Straty mocy biernej:

$$\Delta Q_{0L} = \frac{P^2 + Q^2}{U_r^2} \cdot X_L$$

$$\Delta Q_{0L} = \frac{(20 \cdot 10^6)^2 + (10 \cdot 10^6)^2}{(110 \cdot 10^3)^2} \cdot 12 = 41322 \cdot 12 = 495864 \text{ var} = 495,87 \text{ kvar}$$

Odpowiedź:

Straty mocy czynnej w linii podczas przesyłu mocy pozornej \underline{S} wynoszą 151 kW, natomiast Straty mocy biernej w linii podczas przesyłu mocy pozornej \underline{S} wynoszą 496 kvar.