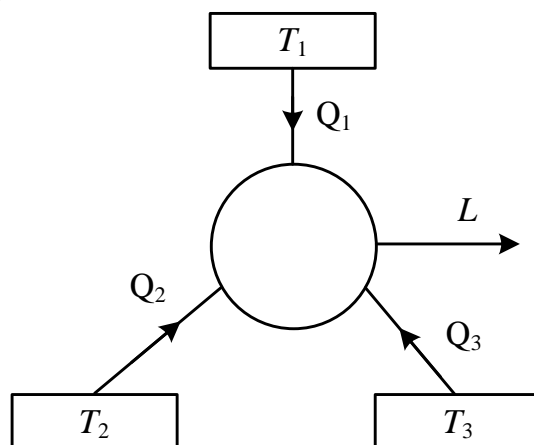


„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Energetycznej
Rok szkolny 2023/2024

Rozwiązania zadań dla grupy energetycznej na zawody III stopnia

Zadanie 1

Odwracalne urządzenie cieplne pracuje z trzema zbiornikami ciepła o różnej temperaturze: $T_1 = 1000 \text{ K}$, $T_2 = 300 \text{ K}$, $T_3 = 500 \text{ K}$. Silnik pobiera 400 kJ ciepła ze zbiornika pierwszego a całkowita praca wykonana przez cyklicznie pracujące urządzenie wynosi 100 kJ . Określ kierunek i ilość wymiany ciepła w dwóch pozostałych zbiornikach. Schemat realizowanego obiegu przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5. Schemat realizowanego obiegu

ROZWIĄZANIE

Z pierwszej zasady termodynamiki można zapisać równanie na pracę maszyny

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = L \quad (1)$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy równanie

$$400 + Q_2 + Q_3 = 100 \quad (2)$$

Powyższa zależność posiada dwie niewiadome, z związku z tym należy na podstawie II zasady termodynamiki dla obiegu odwracalnego zapisać drugie równanie

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_3}{T_3} = 0 \quad (3)$$

Podstawiając dane do drugiego równania otrzymujemy

$$\frac{400}{1000} + \frac{Q_2}{300} + \frac{Q_3}{500} = 0 \quad (4)$$

Posiadając dwa równania można zapisać układ równań

$$\begin{cases} 400 + Q_2 + Q_3 = 100 \\ \frac{400}{1000} + \frac{Q_2}{300} + \frac{Q_3}{500} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Układ równań (5) rozwiązując względem Q_3 otrzymujemy

$$Q_3 = \frac{T_2 \cdot T_3 \left(-\frac{Q_1}{T_1} - \frac{L - Q_1}{T_2} \right)}{T_2 - T_3} \quad (6)$$
$$Q_3 = \frac{300 \cdot 500 \left(-\frac{400}{1000} - \frac{100 - 400}{300} \right)}{300 - 500} = -450 \text{ kJ}$$

Po rozwiązaniu układu równań widać, że z urządzenia cieplnego jest oddawane ciepło zbiornika Q_3 450 kJ. Następnie można z równania (2) wyznaczyć ilość ciepła w urządzeniu Q_2 .

$$400 + Q_2 - 450 = 100 \quad (7)$$

Rozwiązując równanie 7 otrzymujemy

$$Q_2 = 150 \text{ kJ} \quad (8)$$

Na podstawie obliczeń otrzymuje się następujące wnioski: 150 kJ ciepła przenoszone jest ze zbiornika 2 do urządzenia i 450 kJ ciepła jest oddawane z urządzenia do zbiornika 3.

Zadanie 2

Do ogrzewania domu jednorodzinnego o powierzchni użytkowej 200 m² i wskaźniku zużycia energii pierwotnej $EP = 120 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{rok}}$ ogrzewany jest za pomocą gruntowej pompy ciepła z sondą pionową o współczynniku $COP = 4,5$. Jaką wymaganą moc powinna mieć ta pompa ciepła? Dla obliczeń przyjąć, że liczba dni grzewczych wynosi 160.

ROZWIĄZANIE

Roczne zapotrzebowanie na energię domu wynosi $Q = 120 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{rok}} \cdot 200 \text{ m}^2 = 24000 \frac{\text{kWh}}{\text{rok}}$

$$COP = \frac{\dot{Q}}{N_e} = 4,8$$

gdzie N_e – moc pompy ciepła, \dot{Q} – strumień energii (godzinowy) $\dot{Q} = \frac{24000}{160 \cdot 24} = 6,25$

$$N_e = \frac{\dot{Q}}{COP} = \frac{6,25}{4,5} = 1,389 \text{ kW}$$

Zadanie 3

Do zabezpieczenia instalacji c.o zastosowano jedno membranowe naczynie wzbiorcze. Jaka powinna być minimalna pojemność całkowita naczynia, jeżeli pojemność instalacji wynosi $V = 1500 \text{ dm}^3$? Należy przyjąć następujące założenia:

- Maksymalne obliczeniowe ciśnienie w naczyniu $p_{\max} = 4,00 \text{ bar}$
- Ciśnienie wstępne w przestrzeni gazowej $p = 2,10 \text{ bar}$
- Gęstość wody instalacyjnej dla temperatury obliczeniowej ($t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$)
 $\rho = 0,9997 \text{ kg/dm}^3$
- Przyrost objętości wody instalacyjnej $\Delta V = 0,0287 \text{ dm}^3/\text{kg}$

ROZWIĄZANIE

1) Wzór na minimalną pojemność całkowitą naczynia V_{\min}

$$V_{\min} = V_u \cdot \frac{p_{\max} + 1}{p_{\max} - p}$$

Gdzie V_u – pojemność użytkowa naczynia,

2) Obliczenie pojemności użytkowej naczynia

$$V_u = 1,1 \cdot V \cdot \rho \cdot \frac{\Delta V}{n}$$

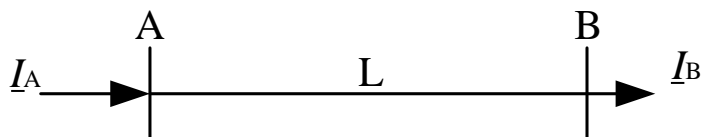
Gdzie: n – liczba naczyń $n = 1$, V – pojemność instalacji

$$V_u = 1,1 \cdot V \cdot \rho \cdot \frac{\Delta V}{n} = 1,1 \cdot 1500 \text{ dm}^3 \cdot 0,9997 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot \frac{0,0287 \frac{\text{dm}^3}{\text{kg}}}{1} = 47,34079 \text{ dm}^3$$

$$V_{\min} = 47,2129 \cdot \frac{4,00 + 1}{4,00 - 2,10} = 124,581 \text{ dm}^3$$

Zadanie 4

Dana jest linia prądu przemiennego trójfazowego o napięciu znamionowym 15 kV. Obliczyć, jaki będzie poziom napięcia w punkcie A, jeśli napięcie w punkcie B wynosi 15,0 kV.



Rysunek 4. Schemat linii elektroenergetycznej

Dane:

$$U_n = 15kV$$

$$R_L = 4,78\Omega, X_L = 5,4\Omega,$$

$$I_B = (60 - j50)A$$

ROZWIĄZANIE

Natężenie prąd płynącego przez linie jest równy prądowi odbieranemu na końcu linii:

$$I_{AB} = I_B = (60 - j50)A$$

Spadek napięcia w linii jest równy:

$$\Delta U_{AB} = \sqrt{3}(I_{AB}^c R_L - I_{AB}^b X_L)$$

$$\Delta U_{AB} = \sqrt{3} \cdot (60 \cdot 4,78 + 50 \cdot 5,4) = 963,3 \text{ V}$$

Napięcie w punkcie A jest równe:

$$U_A = U_B + \Delta U_{AB} = 15000 + 963,3 = 15963,3 \text{ V}$$

Dla której konfiguracji wyłączników w stacji elektroenergetycznej wystąpi największa wartość prądu zwarciovego w przypadku zwarcia 3-fazowego na szynach A? Odpowiedź uzasadnić. Wykonując obliczenia można założyć, że reaktancje są wielokrotnie większe od rezystancji, związku z tym w obliczeniach zwarciovych można pominąć jej wpływ. Dane sieci są następujące: $X_{SEE1} = 0,32 \, \Omega$, $X_{SEE2} = 0,26 \, \Omega$, $X_{L1} = 0,12 \, \Omega$, $X_{L2} = 0,16 \, \Omega$, $X_{T1} = X_{T2} = 1,7 \, \Omega$. Wszystkie reaktancje są przeliczone na poziom napięcia 15 kV.



- Wyłączniki W1 i W2 – zamknięte;
- Wyłączniki W1 – zamknięty, W2 – otwarty;
- Wyłączniki W1 – otwarty, W2 – zamknięty;
- Wyłączniki W1 i W2 – otwarte.

Rozwiązanie – wykorzystanie twierdzenia Thevenina.

$$X_{ka} = \frac{(X_{SEE1} + X_{L1}) \cdot (X_{SEE2} + X_{L2})}{X_{SEE1} + X_{L1} + X_{SEE2} + X_{L2}} + \frac{X_{T1}}{2} = \frac{(0,32 + 0,16) \cdot (0,26 + 0,16)}{0,32 + 0,16 + 0,26 + 0,16} + \frac{1,7}{2} = 1,0649 \Omega$$
$$I_{ka}'' = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot X_{ka}} = \frac{1,1 \cdot 15}{\sqrt{3} \cdot 1,0649} = 8,946 \text{ kA}$$
$$X_{kb} = \frac{(X_{SEE1} + X_{L1}) \cdot (X_{SEE2} + X_{L2})}{X_{SEE1} + X_{L1} + X_{SEE2} + X_{L2}} + X_{T1} = \frac{(0,32 + 0,16) \cdot (0,26 + 0,16)}{0,32 + 0,16 + 0,26 + 0,16} + 1,7 = 1,9149 \Omega$$
$$I_{kb}'' = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot X_{kb}} = \frac{1,1 \cdot 15}{\sqrt{3} \cdot 1,9149} = 4,975 \text{ kA}$$

Obliczenia prądu zwarciovego dla konfiguracji wyłączników **c** - Wyłączniki W1 – otwarty, W2 – zamknięty.

Reaktancja zastępcza obwodu zwarciovego, przedstawionego na powyższym rysunku, wynosi:

$$X_{kc} = \frac{(X_{SEE1} + X_{L1} + X_{T1}) \cdot (X_{SEE2} + X_{L2} + X_{T2})}{X_{SEE1} + X_{L1} + X_{T1} + X_{SEE2} + X_{L2} + X_{T2}}$$

$$= \frac{(0,32 + 0,16 + 1,7) \cdot (0,26 + 0,16 + 1,7)}{0,32 + 0,16 + 1,7 + 0,26 + 0,16 + 1,7} = 1,065 \Omega$$

Początkowy prąd zwarciovego wynosi więc:

$$I_{kc}'' = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot X_{kc}} = \frac{1,1 \cdot 15}{\sqrt{3} \cdot 1,065} = 8,945 \text{ kA}$$

Obliczenia prądu zwarciovego dla konfiguracji wyłączników **d** - Wyłączniki W1 i W2 – otwarte.

Reaktancja zastępcza obwodu zwarciovego, przedstawionego na powyższym rysunku, wynosi:

$$X_{kd} = X_{SEE2} + X_{L2} + X_{T2} = 0,26 + 0,16 + 1,7 = 2,12 \Omega$$

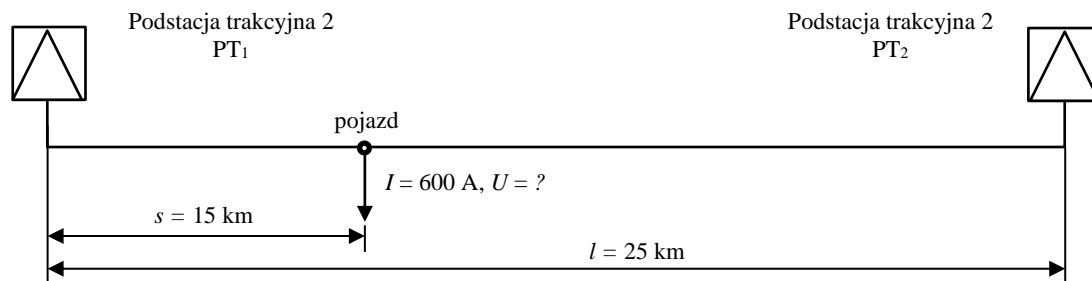
Początkowy prąd zwarciovego wynosi więc:

$$I_{kd}'' = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot X_{kd}} = \frac{1,1 \cdot 15}{\sqrt{3} \cdot 2,12} = 4,494 \text{ kA}$$

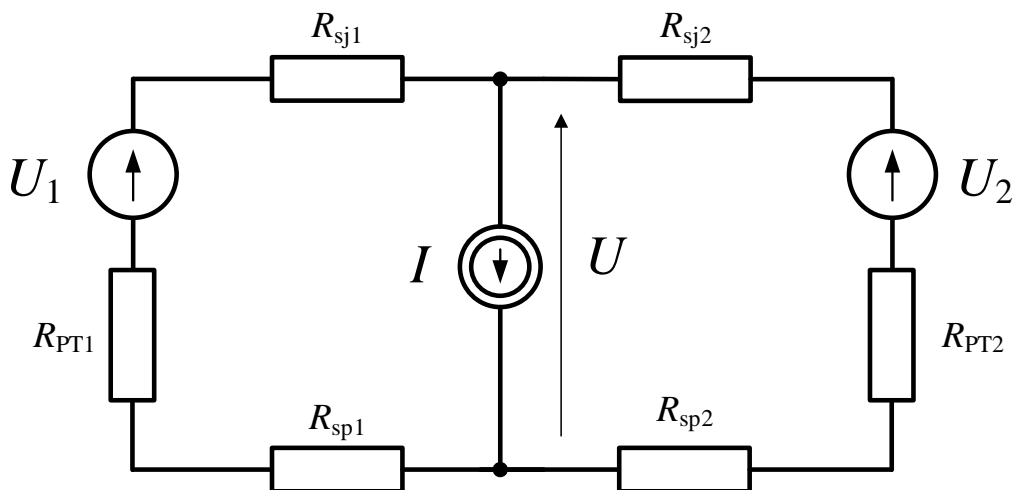
Największa wartość prądu zwarciovego 3-fazowego będzie dla przypadków **a** i **c**, kiedy linie i transformatory będą pracowały równolegle. Połączenie równoległe powoduje, że impedancja obwodu zwarciovego jest najmniejsza.

Zadanie 6

Elektryczny pojazd trakcyjny porusza się po linii kolejowej o długości $l = 25 \text{ km}$. Linia ta jest zasilana dwustronnie z dwóch jednakowych podstacji trakcyjnych o napięciu jałowym $U_0 = 3300 \text{ V}$ i rezystancji $R_{PT} = 0,200 \Omega$. Górna sieć trakcyjna (sieć jezdna) to sieć typu 2C120-2C-1 o polu przekroju równym 440 mm^2 i rezystancji jednostkowej $r_{sj} = 0,045 \Omega/\text{km}$. Sieć powrotną stanowi 1-torowa sieć szynowa wykonana z szyny UIC60, której rezystancja jednostkowa wynosi $r_{sp} = 0,0166 \Omega/\text{km}$. Jakie napięcie występuje na odbieraku prądu (pantografie), jeżeli pojazd znajduje się w odległości 15 km od stacji A (rys.1) i pobiera prąd $I = 600 \text{ A}$. Schemat zastępczy trakcji elektrycznej po której porusza się pojazd elektryczny przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 1. Schemat trakcji kolejowej po której porusza się pojazd elektryczny



Rysunek 2. Schemat zastępczy trakcji elektrycznej po której porusza się pojazd elektryczny

ROZWIĄZANIE

Wartość rezystancji poszczególnych elementów trakcji kolejowej można wyznaczyć z zależności

$$R = r \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \cdot l[\text{km}]$$

gdzie: r – rezystancja jednostkowa [Ω/km], długość elementu [km]

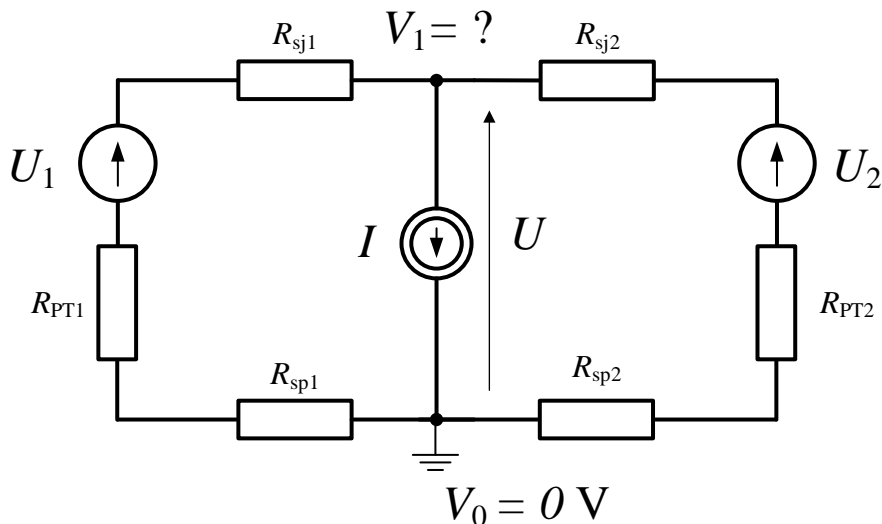
Rezystancja szyny górnej (sieci jezdnej) części pierwszej wynosi $R_{sj1} = 0,045 \cdot 15 = 0,675 \Omega$

Rezystancja szyny dolnej (sieci powrotna) części pierwszej wynosi $R_{sp1} = 0,0166 \cdot 15 = 0,249 \Omega$

Rezystancja szyny górnej (sieci jezdnej) części drugiej wynosi $R_{sj2} = 0,045 \cdot 10 = 0,450 \Omega$

Rezystancja szyny dolnej (sieci powrotna) części drugiej wynosi $R_{sp2} = 0,0166 \cdot 10 = 0,166 \Omega$

Wykorzystując Metodę Potencjałów Węzłowych można wyznaczyć potencjał V_1 .



$$\left(\frac{1}{R_{sj1} + R_{sp1} + R_{PT1}} + \frac{1}{R_{sj2} + R_{sp2} + R_{PT2}} \right) \cdot V_1 = \frac{U_1}{R_{sj1} + R_{sp1} + R_{PT1}} + \frac{U_2}{R_{sj2} + R_{sp2} + R_{PT2}} - I$$

$$(0,8897 + 1,2255) \cdot V_1 = 0,8897 \cdot 3300 + 1,2255 \cdot 3300 - 600$$

$$V_1 = 3016,3 \text{ V}$$

Na odbieraku prądu (pantografie) występuje napięcie o wartości 3016 V.