



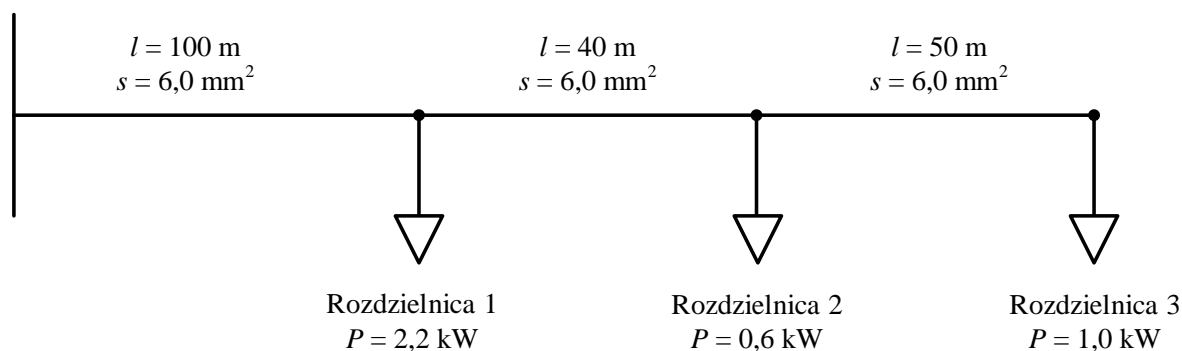
„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Energetycznej
Rok szkolny 2022/2023

Odpowiedzi do zadań dla grupy energetycznej na zawody III stopnia

Zadanie 1

W zakładzie przemysłowym zasilono za pomocą sieci prądu stałego o napięciu 230V trzy kolejno ustawione rozdzielnice oświetlenia awaryjnego o następujących mocach 2,2 kW, 0,6 kW oraz 1,0 kW. Odległość między punktem zasilania a poszczególnymi rozdzielnicami wynosi kolejno: 100 m, 40 m oraz 50 m. W linii zastosowano kabel z żyłami miedzianymi o przekroju 6 mm^2 . Należy obliczyć spadek napięcia na poszczególnych odcinkach i spadek całościowy linii zasilającej.

$$U = 230 \text{ V}$$



Rysunek 1. Schemat zasilania oświetlenia awaryjnego w zakładzie przemysłowym

Rozwiązanie

Należy obliczyć prądy obciążenia.

$$P = U \cdot I$$

Stąd:

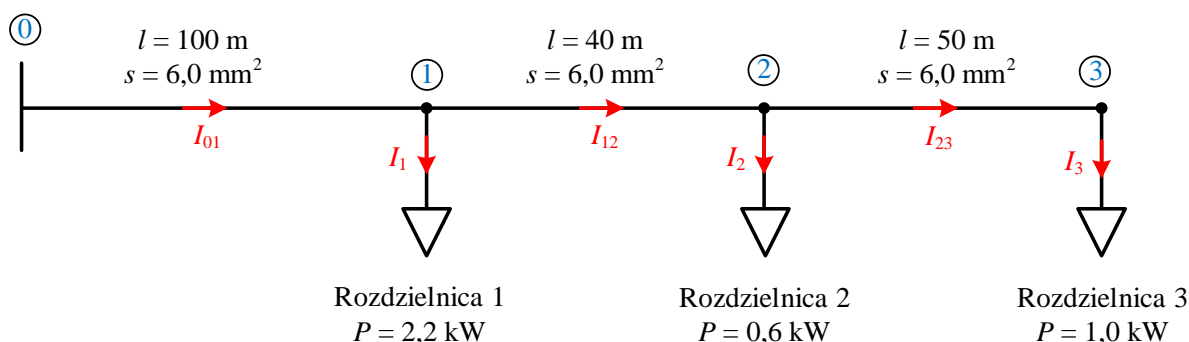
$$I = P/U$$

$$I_1 = 2200\text{W}/230\text{V} = 9,56\text{A};$$

$$I_2 = 600\text{W}/230\text{V} = 2,61\text{A};$$

$$I_3 = 1000\text{W}/230\text{V} = 4,35\text{A}$$

$$U = 230 \text{ V}$$



I Prawo Kirchhoffa

$$\begin{aligned}I_{23} &= I_3 = 4,35 \text{ A} \\I_{12} &= I_2 + I_3 = 4,35 \text{ A} + 2,61 \text{ A} = 6,96 \text{ A} \\I_{01} &= I_1 + I_2 + I_3 = 4,35 \text{ A} + 2,61 \text{ A} + 9,56 \text{ A} = 16,52 \text{ A}\end{aligned}$$

Spadek napięcia na poszczególnych odcinkach linii zasilającej

$$\Delta U = (2/\gamma \cdot S) \cdot l \cdot I$$

$$\begin{aligned}\Delta U_{23} &= (2/53 [\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2] \cdot 6 [\text{mm}^2]) \cdot 50 \text{ m} \cdot 4,35 \text{ A} = 1,36 \text{ V} \\ \Delta U_{12} &= 1,75 \text{ V} \quad (I_{23} + I_{12}) \\ \Delta U_{01} &= 10,38 \text{ V} \quad (I_{01} + I_{12} + I_{23})\end{aligned}$$

II Prawo Kirchhoffa

$$\Delta U = 10,38 \text{ V} + 1,75 \text{ V} + 1,36 \text{ V} = 13,5 \text{ V}$$

Odpowiedź:

Spadek napięcia na odcinku 23 wyniesie 1,36 V, na odcinku 12 wyniesie 1,75 V, natomiast na odcinku 10,38 V.

Spadek napięcia na całym odcinku linii zasilającej rozdzielnicę oświetlenia awaryjnego wyniesie 13,5 V.

Zadanie 2

Temperatura dolnego źródła ciepła pompy ciepła wynosi $T_d = 5\text{ °C}$. O ile zmieni się (zmniejszy/zwiększy) współczynnik efektywności pompy ciepła, jeżeli temperatura górnego źródła ciepła wzrosła z $T_g' = 35\text{ °C}$ do $T_g'' = 50\text{ °C}$?

Rozwiązanie**Dane:**

Temperatura dolnego źródła $T_d = 5\text{ °C} = 278\text{ K}$

Temperatura górnego źródła $T_g' = 35\text{ °C} = 308\text{ K}$

Temperatura górnego źródła po zwiększeniu $T_g'' = 50\text{ °C} = 323\text{ K}$

Szukane:

Współczynnik efektywności przed wzrostem temperatury ε

Współczynnik efektywności po wzroście temperatury

Współczynnik efektywności przed wzrostem temperatury

$$\varepsilon' = \frac{T_g'}{T_g' - T_d} = \frac{308\text{ K}}{308\text{ K} - 278\text{ K}} = 10,3$$

$$\varepsilon'' = \frac{T_g''}{T_g'' - T_d} = \frac{323\text{ K}}{323\text{ K} - 278\text{ K}} = 7,18$$

Odpowiedź:

Współczynnik efektywności pompy ciepła wraz ze wzrostem temperatury górnego źródła ciepła zmniejszy się z 10,3 do 7,18.

Zadanie 3

Temperatura dolnego źródła ciepła T_2 jest stała. O ile zmieni się sprawność cyklu Carnota, jeżeli temperatura górnego źródła ciepła zwiększy się z 400 K do 460 K, przy początkowej sprawności $\eta_1 = 20\%$?

Rozwiązanie:**Dane:**

Temperatura dolnego źródła $T_2 = \text{const}$

Temperatura górnego ciepła $T_1' = 400 \text{ K}$

Temperatura górnego ciepła po wzroście temperatury $T_1'' = 460 \text{ K}$

Sprawność początkowa $\eta' = 20\%$

Szukane:

Sprawność po wzroście temperatury górnego źródła $\eta'' = ?$

$T_2 = \text{const} = ?$

Obliczenie temperatury T_2

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

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

$$T_2 = T_1'(1 - \eta') = 400 \text{ K} \cdot (1 - 0,2) = 320 \text{ K}$$

Obliczenie sprawności po wzroście temperatury górnego ciepła

$$\eta'' = 1 - \frac{T_2}{T_1''} = 1 - \frac{320 \text{ K}}{460 \text{ K}} = 0,304$$

Odpowiedź:

Sprawność przy wzroście temperatury górnego ciepła wzrośnie do wartości $\eta'' = 0,304$

Zadanie 4

W Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 29 listopada 2022 r. w sprawie sposobu kształtowania i kalkulacji taryf oraz sposobu rozliczeń w obrocie energią elektryczną podane są zasady rozliczania za ponadumowne zużycie energii biernej (pobranie lub oddanie). W przypadku nadwyżki pobranej ponad umowną ilość wynikającą ze współczynnika $\text{tg}\varphi_0$ w okresie rozliczeniowym, oblicza się według wzoru:

$$O_b = k \cdot C_{rk} \cdot \left(\sqrt{\frac{1+\text{tg}^2\varphi}{1+\text{tg}^2\varphi_0}} - 1 \right) \cdot A, \quad (1)$$

gdzie:

O_b – opłata za nadwyżkę energii biernej, w zł,

k – ustalona w taryfie krotność ceny C_{rk} ,

C_{rk} – cena energii elektrycznej, w zł/MWh lub zł/kWh,

$\text{tg}\varphi$ – tangens φ wynikający z pobranej energii biernej rozumiany jako stosunek energii biernej pobranej do energii czynnej pobranej,

$\text{tg}\varphi_0$ – umowny tangens φ ,

A – energia czynna pobrana, w MWh lub kWh.

Zaś w przypadku za oddawanie energii biernej do sieci sposób naliczenia opłaty zależy od zużycia:

$$O_b = k \cdot C_{rk} \cdot A_b, \quad (2)$$

gdzie:

O_b – opłata za nadwyżkę energii biernej oddawanej do sieci, w zł,

k – ustalona w taryfie krotność ceny C_{rk} ,

C_{rk} – cena energii elektrycznej, w zł/MWh lub zł/kWh,

A_b – energia bierna oddana, w Mvarh lub kvarh.

W tabeli przedstawiono dane dotyczące miesięcznego zużycia energii elektrycznej przez zakład przemysłowy zasilany z sieci średniego napięcia, który rozliczany jest według taryfy B21. Jakie koszty poniesie odbiorca z tytułu opłat za energię bierną? Umowna wartość $\text{tg}\varphi_0 = 0,4$, cena jednostkowa za energię elektryczną wynosi $C_{rk} = 800 \text{ zł/MWh}$, krotność ceny C_{rk} dla odbiorcy zasilanego z sieci średniego napięcia wynosi $k = 1$.

Tab. 1. Dane do zadania nr 3

Energia czynna pobrana	Energia bierna pobrana
MWh	Mvarh
100	20

Rozwiązanie:

Energia czynna pobrana $A = 100 \text{ MWh}$

Energia bierna pobrana $A_b = 20 \text{ Mvarh}$

Umowny $\text{tg}\varphi_0 = 0,4$

Cena jednostkowa $C_{rk} = 800 \text{ zł/MWh}$

Krotność ceny C_{rk} $k = 1$

Szukane:

Koszt za energię bierną O_b

Określenie sposobu rozliczenia za energię bierną

W tabeli 1 podana energia bierna jest pobierana, a niewprowadzana do sieci, zatem koszt za energię bierną O_b należy wyznaczyć według wzoru (1)

Określenie $\operatorname{tg}\varphi$ wynikającego z pobranej energii biernej

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{A_b}{A} = \frac{20 \text{ Mvarh}}{100 \text{ MWh}} = 0,2$$

Na tym etapie zadania można już stwierdzić, że zakład przemysłowy nie przekroczył umownego tangensa $\operatorname{tg}\varphi_0 = 0,4$. Zatem koszty $O_b = 0,00 \text{ zł}$

Podstawiając do wzoru

$$O_b = k \cdot C_{rk} \cdot \left(\sqrt{\frac{1+\operatorname{tg}^2\varphi}{1+\operatorname{tg}^2\varphi_0}} - 1 \right) \cdot A = 1 \cdot 800 \frac{\text{zł}}{\text{MWh}} \cdot \left(\sqrt{\frac{1+0,2^2}{1+0,4^2}} - 1 \right) \cdot 1000 \text{ MWh}$$

otrzymana się wartość ujemną równą $O_b = -45\,508,68 \text{ zł}$ co jest oczywiście błędne.

Odpowiedź:

Odbiorca nie poniesie kosztów z tytułu opłat za energię bierną $O_b = 0,00 \text{ zł}$

Zadanie 5

Transformator jednofazowy o danych znamionowych: moc znamionowa $S_N = 24 \text{ kVA}$; napięcie znamionowe strony GN (strona 1) $U_{1N} = 400 \text{ V}$; napięcie znamionowe strony dolnej DN (strona 2) $U_{2N} = 230 \text{ V}$; częstotliwość znamionowa $f_N = 50 \text{ Hz}$. Podczas pomiarów tego transformatora uzyskano następujące wyniki:

- pomiary w stanie jałowym (zasilana strona 2):
 - napięcie zasilania $U_{20} = U_{2N}$ o częstotliwości f_N ;
 - prąd stanu jałowego $I_{20} = 6,5 \text{ A}$;
 - moc czynna w stanie jałowym $P_{20} = 230 \text{ W}$.
- pomiary w stanie zwarcia (zasilana strona 1, zwarcie po stronie 2):
 - napięcie zasilania $U_{1Z} = 9,2 \text{ V}$;
 - prąd w stanie zwarcia $I_{1Z} = 69,5 \text{ A}$;
 - moc czynna w stanie zwarcia $P_{1Z} = 105 \text{ W}$.

Należy obliczyć parametry schematu zastępczego typu T transformatora sprowadzone na stronę GN (strona 1) oraz narysować ten schemat. W obliczeniach należy przyjąć następujące założenia upraszczające: $R_1 = R_2'$ oraz $X_1 = X_2'$.

Rozwiązanie

Prąd znamionowy strony 1:

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{24000}{400} = 60,00 \text{ A}$$

Prąd znamionowy strony 2:

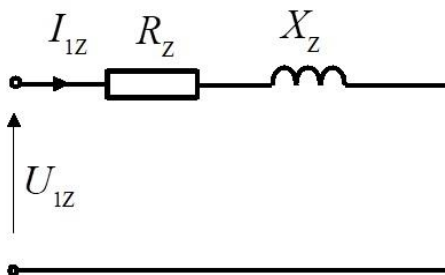
$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{24000}{230} = 104,35 \text{ A}$$

Przekładnia:

$$n = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{400}{230} = 1,74$$

Wyznaczanie parametrów w stanie zwarcia

Wykonując obliczenia parametrów w stanie zwarcia zakłada się, że prąd magnesujący jest bardzo mały w stosunku do prądu płynącego przez uzwojenia transformatora podczas próby zwarcia oraz straty w rdzeniu są pomijalnie małe w stosunku do strat w uzwojeniach. Schemat zastępczy transformatora w stanie zwarcia został przedstawiony na rysunku 1.



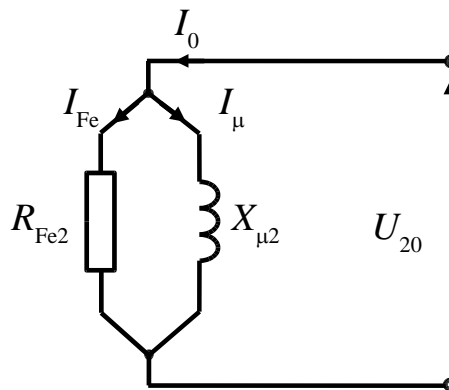
Rys. 1

Na podstawie wyników pomiarów uzyskanych z próby stanu zwarcia można wyznaczyć:

- impedancję zwarcia: $Z_Z = \frac{U_{1Z}}{I_{1Z}} = \frac{9,2}{69,5} = 0,1324 \Omega$
- rezystancję zwarcia: $R_Z = \frac{P_{1Z}}{I_{1Z}^2} = \frac{105}{69,5^2} = 0,0217 \Omega$
- reaktancję zwarcia: $X_Z = \sqrt{Z_Z^2 - R_Z^2} = \sqrt{0,1324^2 - 0,0217^2} = 0,1306 \Omega$
- reaktancję rozproszenia: $X_1 = X_2' = \frac{X_Z}{2} = \frac{0,1306}{2} = 0,0653 \Omega$
- rezystancję uzwojeń: $R_1 = R_2' = \frac{R_Z}{2} = \frac{0,0217}{2} = 0,0109 \Omega$

Wyznaczanie parametrów w stanie jałowym

Wykonując obliczenia parametrów w stanie jałowym zakłada się, że spadki napięcia na rezystancji uzwojenia R_2 oraz reaktancji rozproszenia X_2 są bardzo małe w porównaniu z napięciem $U_{20} = U_{2N}$ na zaciskach i dlatego można je pominąć w dalszym rozważaniu. Schemat zastępczy transformatora w stanie jałowym został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2

W celu wyliczenia rezystancji reprezentującej straty mocy w rdzeniu transformatora R_{Fe2} wyznaczonej dla strony 2 należy skorzystać z następującej zależności

$$P_{20} = \frac{U_{20}^2}{R_{Fe2}}$$
$$\Downarrow$$
$$R_{Fe2} = \frac{U_{20}^2}{P_{20}} = \frac{230^2}{230} = 230 \, \Omega$$

Reaktancję $X_{\mu2}$ można wyznaczyć z następującej zależności $X_{\mu2} = \frac{U_{20}}{I_{\mu}}$

Z powyższej zależności będzie można skorzystać, gdy zostanie wyznaczony prąd magnesujący I_{μ}

$$I_{\mu} = I_{20} \cdot \sin \varphi_0$$

Wartość $\sin \varphi_0$ można obliczyć z

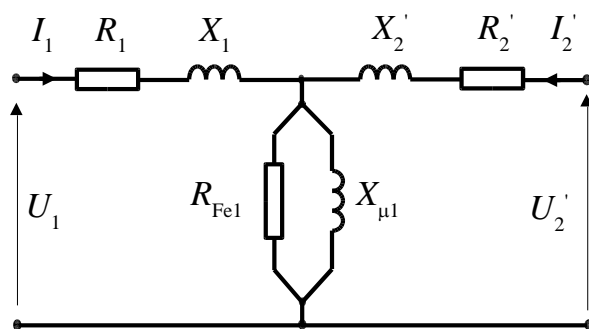
$$\cos \varphi_0 = \frac{P_{20}}{U_{20} \cdot I_{20}} = \frac{230}{230 \cdot 6,5} = 0,1538$$
$$\Downarrow$$
$$\sin \varphi_0 = 0,988$$

Po wyznaczeniu brakujących wielkości można przejść do wyznaczenia reaktancji $X_{\mu2}$ wyznaczonej dla strony 2

$$I_{\mu} = I_{20} \cdot \sin \varphi_0 = 6,5 \cdot 0,988 = 6,42 \, A$$
$$X_{\mu2} = \frac{U_{20}}{I_{\mu}} = \frac{230}{6,42} = 35,81 \, \Omega$$

Schemat zastępczy typu T transformatora jednofazowego dla strony 1

Schemat zastępczy typu T transformatora jednofazowego dla strony 1 został przedstawiony na rysunku 3



Rys. 3

Rezystancja R_{Fe} oraz reaktancja X_{μ} zostały one określone dla strony 2 (ozn. R_{Fe2} i $X_{\mu2}$), w celu wyznaczenia tych parametrów od strony 1 (ozn. R_{Fe1} i $X_{\mu1}$), należy przemnożyć te wielkości przez kwadrat przekładnik transformatora, według następujących zależności:

$$R_{Fe1} = R_{Fe2} \cdot n^2 = 230 \cdot 1,74^2 = 695,65 \, \Omega$$

$$X_{\mu1} = X_{\mu2} \cdot n^2 = 35,81 \cdot 1,74^2 = 108,31 \, \Omega$$

Odpowiedź:

Parametry schematu zastępczego:

$$R_1 = 0,011 \, \Omega$$

$$R_2' = 0,011 \, \Omega$$

$$X_1 = 0,065 \, \Omega$$

$$X_2' = 0,065 \, \Omega$$

$$R_{Fe1} = 695,6 \, \Omega$$

$$X_{\mu1} = 108,3 \, \Omega$$

Opracowali: dr inż. Roman Kostyszyn, UMG dr inż. Tomasz Nowak, UMG mgr inż. Łukasz Mazur, PBS	Sprawdził: dr inż. Zbigniew Kłosowski	Zatwierdził: Przewodniczący Rady Naukowej Olimpiady dr hab. inż. Sławomir Cieślik, prof. PBS
---	---	---