

ELEKTROENERGETYKA - ĆWICZENIA -

PRZESYŁ I ROZDZIAŁ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Przemysław Tabaka

Instytut Elektroenergetyki

bud. A11, p. 508, V p. (LBOiSE)

e-mail: przemyslaw.tabaka@wp.pl

www.i15.p.lodz.pl/~przemekt



Konsultacje:

- wtorki, godz. 14.15 – 15.00
- czwartki, godz. 14.15 – 15.00
- niedziele, godz. 13.15 – 14.00

Rok ak. 2008/2009

Warunki zaliczenia

- Obecność na zajęciach
- Pozytywna ocena z kolokwium

Forma zaliczenia

- Kolokwium na ostatnich zajęciach obejmujące zadania rachunkowe z zakresu programu ćwiczeń

Program ćwiczeń

- Schematy zastępcze elementów – cz. I.
- Rozpływy prądów, spadki napięć, straty napięć straty mocy, współczynnik mocy – cz. II.
- Zwarcia – cz. III.

CZĘŚĆ I: SCHEMATY ZASTĘPCZE ELEMENTÓW



SCHEMATY ZASTĘPCZE LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH

linia	zastosowanie	param.	schemat zastępczy
I rodzaju	<ul style="list-style-type: none"> • I. napowietrzne 0,4 kV • I. kablowe do 6 kV (o małych przekrojach) 	<ul style="list-style-type: none"> • R_L 	
II rodzaju	<ul style="list-style-type: none"> • I. napowietrzne do 30 kV włącznie • I. kablowe do 15 kV włącznie 	<ul style="list-style-type: none"> • R_L • X_L 	
III rodzaju	<ul style="list-style-type: none"> • I. napowietrzne powyżej 30 kV o dł. do 300 km • I. kablowe powyżej 15 kV o dł. do 150 km 	<ul style="list-style-type: none"> • R_L • X_L • G_L • B_L 	<p style="text-align: center; font-size: small;">Schemat typu Π</p>

SCHEMATY ZASTĘPCZE LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH

Rezystancja linii (związana z wydzielaniem się ciepła)

$$R_L = \frac{l}{\gamma \cdot s}$$

l - długość linii [m]
 γ - konduktywność [m/Ωmm²]
 s - przekrój żyły [mm²]

Reaktancja linii (związana z polem magnetycznym)

$$X_L = \omega L_K l$$

$$L_K = \left(4,61 \log \frac{b_{sr}}{0,779r} \right) \cdot 10^{-4} \left[\frac{H}{km} \right]$$

Konduktancja linii (związana z upływnością)

$$G_L = G_K l$$

$$G_K = \frac{\Delta P_k}{U_N^2}$$

Susceptancja linii (związana z istnieniem pola elektrycznego)

$$B_L = \omega C_K l$$

$$C_K = \frac{0,02415}{\log \frac{b_{sr}}{r}} \cdot 10^{-6} \left[\frac{F}{km} \right]$$

ZADANIE 1.1.

Określić schemat zastępczy trójfazowej linii kablowej 400/230 V wykonanej kablem AKFtA 3 x 25 mm² o długości 0,4 km.

ROZWIĄZANIE

Oznaczenie: **AKFtA 3 x 25 mm²**

- kabel elektroenergetyczny (**K**) o żyłach wykonanych z aluminium (**A**), o izolacji papierowej (-), opancerzony taśmami stalowymi (**Ft**) z ochronną osłoną z przesyconego materiału włóknistego (**A**)
- Kabel trójżyłowy o przekroju 25 mm² każda

▪ Rezystancja linii:

$$R_L = \frac{l}{\gamma \cdot s}$$

l ← Długość linii [m]

Konduktywność
(przewodność właściwa)
aluminium $\gamma_{Al} = 34 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

$$R_L = \frac{1}{\gamma_{Al} \cdot s} = \frac{400}{34 \cdot 25} \left[\frac{\cancel{\text{m}}}{\cancel{\text{m}} \cdot \cancel{\text{mm}^2}} \right] = \underline{0,47 \Omega}$$

$\Omega \cdot \cancel{\text{mm}^2}$

▪ Reaktancja linii:

$$X_L = X_K \cdot l = \omega \cdot L_k \cdot l$$

Pulsacja prądu [rad/s]
Indukcyjność kilometryczna [H/km]
Długość linii [km]

Z tabeli nr 3 odczytujemy wartość L_k kabla trójżyłowego z izolacją rdzeniową, dla przekroju żyły 25 mm^2

$$L_k = 0,238 \text{ mH/km}$$

$$X_L = \omega \cdot L_k \cdot l = 314 \cdot 0,238 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4 = \underline{0,03 \Omega}$$

$$\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{H}}{\text{km}} \cdot \text{km} \right]$$

Reaktancja jest ok. 24 razy mniejsza od rezystancji

ZADANIE 1.2.

Obliczyć rezystancję i reaktancję 100 m odcinka linii instalacyjnej jednofazowej wykonanej przewodem typu ADG $2 \times 4 \text{ mm}^2$ o średnicy 2,25 mm. Odstęp między przewodami wynosi 5,5 mm.

ROZWIĄZANIE

Oznaczenie: **AGD $2 \times 4 \text{ mm}^2$**

- Przewód o żyłce aluminiowej (**A**), jednodrutowej (**D**), o izolacji z gumy (**G**)
- Przewód dwużyłowy o przekroju 4 mm^2 każda

▪ Rezystancja linii:

$$R_L = \frac{2 \cdot l}{\gamma \cdot s}$$

dla linii jednofazowych
Konduktywność (przewodność właściwa) aluminium $\gamma_{Al} = 34 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

$$R_L = \frac{2 \cdot l}{\gamma_{Al} \cdot s} = \frac{2 \cdot 100}{34 \cdot 4} = \frac{200}{136} = \underline{1,47 \Omega}$$

- Reaktancja linii:

$$X_L = \omega \cdot L_k \cdot l = \omega \left(4,6 \log \frac{b_{sr}}{r} + 0,5 \mu \right) \cdot 10^{-4} \cdot l$$

Promień przekroju przewodu

Średni odstęp między przewodami

Względna przenikalność magnetyczna materiału przewodowego

Dla materiałów przewodowych: Al, Cu, AFI przyjmuje się $\mu = 1$

Dla $\mu = 1$

$$\left(4,6 \log \frac{b_{sr}}{r} + 0,5 \mu \right) \cdot 10^{-4} = 4,6 \log \frac{b_{sr}}{0,779r} \cdot 10^{-4} \text{ [H/km]}$$

$$X_L = \omega L_k l = \omega \left(4,6 \log \frac{b_{sr}}{0,779r} \cdot 10^{-4} \right) l =$$

$$= 314 \left(4,6 \log \frac{5,5}{0,779 \cdot 1,125} \cdot 10^{-4} \right) \cdot 0,1 = \underline{0,012 \Omega}$$

Reaktancja jest ok. 122 razy mniejsza od rezystancji

ZADANIE 1.3.

Obliczyć oporność czynną i bierną trójfazowej linii napowietrznej o napięciu 6 kV i długości 10 km. Linia wykonana jest przewodami miedzianymi 3 x 50 mm² rozmieszczonymi na wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku 80 cm. Średnica przewodów wynosi 0,9 cm.

ROZWIĄZANIE

Konduktywność (przewodność właściwa) miedzi

$$\gamma_{Cu} = 55 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$$

- Rezystancja linii:

$$R_L = \frac{l}{\gamma_{Cu} \cdot S}$$

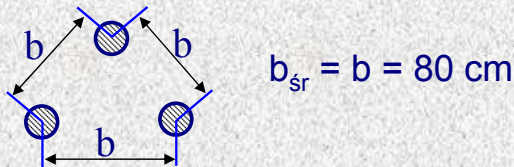
$$R_L = \frac{10 \cdot 10^3}{55 \cdot 50} = \frac{10\,000}{2750} = \underline{3,64 \Omega}$$



▪ Reaktancja linii:

$$X_L = \omega L_K l \quad L_K = \left(4,6 \log \frac{b_{sr}}{0,779r} \right) \cdot 10^{-4} \left[\frac{H}{km} \right]$$

średnica przewodów: $2r = 0,9 \text{ cm}$
 promień przewodów: $r = 0,45 \text{ cm}$



$$\begin{aligned} X_L &= \omega \left(4,6 \log \frac{b_{sr}}{0,779r} \right) \cdot 10^{-4} \cdot l \\ &= 314 \left(4,6 \log \frac{80}{0,779 \cdot 0,45} \right) \cdot 10^{-4} \cdot 10 \\ &= 314 \cdot 4,6 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot \log(228,21) \\ &= \underline{3,4 \Omega} \end{aligned}$$



ZADANIE 1.4.

Określić schemat zastępczy trójfazowej linii kablowej o napięciu 30 kV, wykonanej kablem HAKFtA 3 x 95 mm² o długości 3 km.

ROZWIĄZANIE

Oznaczenie: **HAKFtA 3 x 95 mm²**

- kabel elektroenergetyczny (**K**) z ekranowanymi (**H**) żyłami aluminiowymi (**A**), o izolacji papierowej (-), opancerzony taśmami stalowymi (**Ft**) z ochronną osłoną z przesyconego materiału włóknistego (**A**)
- kabel trójżyłowy o przekroju 95 mm² każda

Konduktywność (przewodność właściwa) aluminium $\gamma_{Al} = 34 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

▪ Rezystancja linii:

$$\begin{aligned} R_L &= \frac{l}{\gamma_{Al} \cdot S} \\ R_L &= \frac{3 \cdot 10^3}{34 \cdot 95} = \frac{3000}{3230} = \underline{0,93 \Omega} \end{aligned}$$

- Reaktancja linii:

$$X_L = \omega L_K l$$

Z tabeli nr 4 odczytujemy indukcyjność kilometryczną kabla trójżyłowego ekranowanego dla:

$$\left. \begin{array}{l} s = 95 \text{ mm}^2 \\ U_N = 30 \text{ kV} \end{array} \right\} \longrightarrow L_K = 0,348 \text{ mH/km}$$

$$X_L = \omega L_K l = 314 \cdot 0,348 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = \underline{0,33 \Omega}$$

- Susceptancja linii:

$$B_L = \omega C_K l$$

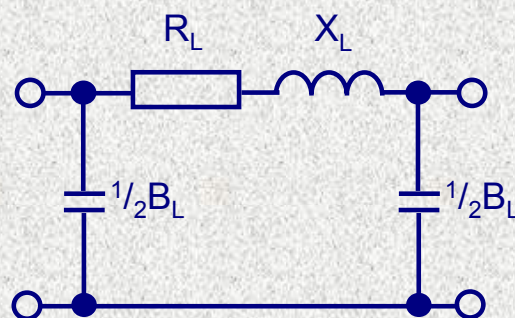
Z tabeli nr 6 odczytujemy pojemność kilometryczną kabla trójżyłowego ekranowanego dla:

$$\left. \begin{array}{l} s = 95 \text{ mm}^2 \\ U_N = 30 \text{ kV} \end{array} \right\} \longrightarrow C_K = 0,248 \text{ }\mu\text{F/km}$$

$$B_L = \omega C_K l = 314 \cdot 0,248 \cdot 10^{-6} \cdot 3 = \underline{0,23 \cdot 10^{-3} \text{ S}}$$

Konduktancję pomijamy

Schemat zastępczy linii



$$R_L = 0,93 \Omega$$

$$X_L = 0,33 \Omega$$

$$B_L = 0,23 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$\frac{1}{2} B_L = 0,115 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

ZADANIE 1.5.

Obliczyć konduktancję i susceptancję 3-fazowej linii napowietrznej 110 kV. Linia zbudowana jest przewodami AFL 3 x 120 mm² rozmieszczonymi w układzie płaskim o odstępnie 4 m. Poprzeczne straty mocy czynnej $\Delta P_k = 0,3 \text{ kW/km}$; długość linii 30 km. Promień przewodu AFI 120 wynosi 0,685 cm.

ROZWIĄZANIE

- Konduktancja linii:

$$G_L = G_K l$$

$$G_K = \frac{\Delta P_k}{U_N^2} = \frac{0,3 \cdot 10^3}{(110 \cdot 10^3)^2} = \frac{0,3 \cdot 10^3}{12100 \cdot 10^6} = 0,025 \cdot 10^{-6} \text{ S/km}$$

$$G_L = G_K l = 0,025 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = \underline{0,75 \cdot 10^{-6} \text{ S}}$$

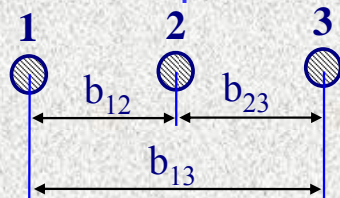
- Susceptancja linii:

$$B_L = \omega C_K l$$

Pojemność kilometryczna linii napowietrznej

$$C_K = \frac{0,02415}{\log\left(\frac{b_{sr}}{r}\right)} \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{F}}{\text{km}} \right]$$

Promień przewodu: $r = 0,685 \text{ cm}$



$$b_{12} = b_{23} = b = 4 \text{ m}$$

$$b_{13} = 2b = 8 \text{ m}$$

Średni odstęp między przewodami

$$b_{sr} = \sqrt[3]{b_{12} \cdot b_{13} \cdot b_{23}} = \sqrt[3]{b \cdot 2b \cdot b} = \sqrt[3]{2b^3} = b \sqrt[3]{2}$$

$$b_{sr} = b \sqrt[3]{2} = 4 \sqrt[3]{2} = 4 \cdot 1,26 = 5 \text{ m}$$

$$B_L = \omega C_K l = C_K = 314 \cdot \frac{0,02415}{\log\left(\frac{500}{0,685}\right)} \cdot 10^{-6} \cdot 30 = \underline{79,54 \cdot 10^{-6} \text{ S}}$$

ZADANIE 1.6.

Określić i porównać schematy zastępcze dla:

- linii kablowej 15 kV wykonanej kablem HAKFtA 3 x 50 mm² o długości 2 km,
- dwóch linii kablowych 15 kV pracujących równolegle, zbudowanych z kabli HAKFtA 3 x 25 mm² o długości 2 km.

ROZWIĄZANIE

Konduktywność (przewodność właściwa) aluminium $\gamma_{Al} = 34 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

a) Jedna linia kablowa

$$R_{La} = \frac{1}{\gamma_{Al} \cdot S_a}$$

$$R_{La} = \frac{2 \cdot 10^3}{34 \cdot 50} = \underline{1,17 \Omega}$$

b) Dwie linie kablowe prac. równol.

▪ Rezystancja linii:

$$R_{Lb} = \frac{1}{\gamma_{Al} \cdot S_b}$$

$$R_{Lb} = \frac{2 \cdot 10^3}{34 \cdot 2 \cdot 25} = \underline{1,17 \Omega}$$

W obu przypadkach rezystancje są takie same

a) Jedna linia kablowa

$$X_{La} = \omega \cdot L_{Ka} \cdot 1$$

Z tabeli nr 4 odczytujemy L_{Ka} oraz L_{Kb}

Dla $U_N = 15 \text{ kV}$ i $s_a = 50 \text{ mm}^2$
 $L_{Ka} = 0,329 \text{ mH/km}$

$$X_{La} = 314 \cdot 0,329 \cdot 10^{-3} \cdot 2$$
$$= \underline{0,207 \Omega}$$

b) Dwie linie kablowe prac. równol.

▪ Reaktancja linii:

$$X_{Lb} = \frac{\omega \cdot L_{Kb} \cdot 1}{2}$$

Dla $U_N = 15 \text{ kV}$ i $s_b = 25 \text{ mm}^2$
 $L_{Kb} = 0,368 \text{ mH/km}$

$$X_{Lb} = \frac{314 \cdot 0,368 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{2}$$
$$= \underline{0,116 \Omega}$$

W przypadku drugim – b reaktancja jest mniejsza;
mniejsza reaktancja – mniejszy spadek napięcia
(wariant b jest korzystniejszy)

ZADANIE 1.7.

Określić i porównać parametry jednostkowe:

- linii napowietrznej 30 kV zbudowanej na słupach strunobetonowych o płaskim układzie przewodów i odstępie 1,85 m; przewody AFL-6 3 x 35 mm² o średnicy 8,1 mm
- linii kablowej 30 kV wykonanej kablem HAKFtA 3 x 35 mm².

ROZWIĄZANIE

Konduktywność (przewodność właściwa) aluminium $\gamma_{Al} = 34 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

a) Linia napowietrzna 30 kV

$$R_{Ka} = \frac{1000}{\gamma_{Al} \cdot S_a}$$

$$R_{Ka} = \frac{1000}{34 \cdot 35} = \underline{0,84 \Omega}$$

b) Linia kablowa 30 kV

▪ Rezystancja linii:

$$R_{Kb} = \frac{1000}{\gamma_{Al} \cdot S_b}$$

$$R_{Kb} = \frac{1000}{34 \cdot 35} = \underline{0,84 \Omega}$$

W obu przypadkach rezystancje są takie same

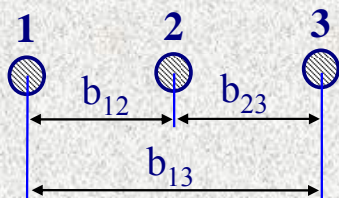
a) Linia napowietrzna 30 kV

$$X_{Ka} = \omega \cdot L_{Ka}$$

$$X_{Ka} = \omega \cdot \left(4,6 \log \frac{b_{sr}}{0,779 \cdot r} \right) \cdot 10^4$$

średnica przewodu: $2r = 8,10 \text{ mm}$

promień przewodu: $r = 4,05 \text{ mm}$



$$b_{12} = b_{23} = b = 1,85 \text{ m}$$

$$b_{13} = 2b = 3,70 \text{ m}$$

średni odstęp między przewodami

$$\begin{aligned} b_{sr} &= b \sqrt[3]{2} = 1,85 \cdot \sqrt[3]{2} \\ &= 1,85 \cdot 1,26 = 2,33 \text{ m} \end{aligned}$$

b) Linia kablowa 30 kV

▪ Reaktancja linii:

$$X_{Kb} = \omega \cdot L_{Kb}$$

a) Linia napowietrzna 30 kV**b) Linia kablowa 30 kV**

▪ Reaktancja linii:

$$X_{Kb} = \omega \cdot L_{Kb}$$

$$\begin{aligned} X_{Ka} &= \omega \cdot \left(4,6 \log \frac{b_{sr}}{0,779 \cdot r} \right) \cdot 10^{-4} \\ &= 314 \left(4,6 \log \frac{2330}{0,779 \cdot 4,05} \right) \cdot 10^{-4} \\ &= \underline{0,415 \Omega/\text{km}} \end{aligned}$$

Z tabeli nr 4 odczytujemy indukcyjność kilometryczną L_{Kb} kabla trójżyłowego ekranowanego dla:
 $s = 35 \text{ mm}^2$
 $U_N = 30 \text{ kV}$ } $\Rightarrow L_K = 0,41 \text{ mH/km}$

$$\begin{aligned} X_{Kb} &= \omega L_K \text{ l} \\ &= 314 \cdot 0,41 \cdot 10^{-3} \\ &= \underline{0,129 \Omega/\text{km}} \end{aligned}$$

Reaktancja linii kablowej jest ok. 3 razy mniejsza niż równorzędnej linii napowietrznej

a) Linia napowietrzna 30 kV**b) Linia kablowa 30 kV**

▪ Susceptancja linii:

$$B_{Kb} = \omega \cdot C_{Kb}$$

$$\begin{aligned} B_{Ka} &= \omega \cdot C_K \\ B_{Ka} &= \omega \cdot \frac{0,02415}{\log\left(\frac{b_{sr}}{r}\right)} \cdot 10^{-6} \\ &= 314 \cdot \frac{0,02415}{\log(4,05)} \cdot 10^{-6} \\ &= \underline{2,76 \cdot 10^{-6} \text{ S/km}} \end{aligned}$$

Z tabeli nr 6 odczytujemy pojemność kilometryczną kabla C_{Kb} trójżyłowego ekranowanego dla:
 $s = 35 \text{ mm}^2$
 $U_N = 30 \text{ kV}$ } $\Rightarrow C_K = 0,178 \mu\text{F/km}$

$$\begin{aligned} B_{Kb} &= \omega C_{Kb} \\ &= 314 \cdot 0,178 \cdot 10^{-6} \\ &= \underline{55,89 \cdot 10^{-6} \text{ S/km}} \end{aligned}$$

Susceptancja linii kablowej jest ok. 20 razy większa niż równorzędnej linii napowietrznej

ZADANIE 1.8.

Określić impedancję zastępczą transformatora typu TON 630 o danych katalogowych:

$$S_n = 630 \text{ kVA}$$
$$U = 15/0,4 \text{ kV}$$

$$\Delta P_{cu} = 9450 \text{ W}$$
$$u_{z\%} = 4,5\%$$

ROZWIĄZANIE

- Impedancja transformatora po stronie GN

- Rezystancja transformatora

$$R_T = \Delta P_{cu} \frac{U_N^2}{S_N^2} = 9450 \cdot \frac{(15 \cdot 10^3)^2}{(630 \cdot 10^3)^2} = 9450 \cdot \frac{225}{396900} = \underline{5,36 \Omega}$$

- Reaktancja transformatora

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad Z_T = \frac{u_{z\%}}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{(15 \cdot 10^3)^2}{630 \cdot 10^3} = 0,045 \cdot \frac{225 \cdot 10^6}{630 \cdot 10^3} = 16,07 \Omega$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{16,07^2 - 5,36^2} = \underline{15,15 \Omega}$$

$$\underline{Z_T = R_T + jX_T = (5,36 + j15,15) \Omega}$$

ZADANIE 1.9.

Wyznaczyć schemat zastępczy stacji transformatorowej 110/30 kV w której pracują dwa transformatory o następujących danych:

$$S_n = 16 \text{ MVA}$$
$$U = 110/33 \text{ kV}$$
$$u_{z\%} = 11\%$$

$$\Delta P_{cu} = 87 \text{ kW}$$
$$\Delta P_{Fe} = 25 \text{ kW}$$
$$I_0\% = 1,1\%$$

ROZWIĄZANIE

- dla jednego transformatora

- Rezystancja transformatora

$$R_T = \Delta P_{cu} \frac{U_N^2}{S_N^2} = 87 \cdot 10^3 \cdot \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{(16 \cdot 10^6)^2} = 87 \cdot 10^3 \cdot \frac{12100 \cdot 10^6}{256 \cdot 10^{12}} = \underline{4,11 \Omega}$$

- Reaktancja transformatora

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad Z_T = \frac{u_{z\%}}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{11}{100} \cdot \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{16 \cdot 10^6} = 0,11 \cdot \frac{12100 \cdot 10^6}{16 \cdot 10^6} = 83,19 \Omega$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{83,19^2 - 4,11^2} = 83,088 \Omega \approx \underline{83,1 \Omega}$$

$$\underline{Z_T = R_T + jX_T = (4,11 + j83,1) \Omega}$$

- Konduktancja transformatora

$$G_T = \frac{\Delta P_{Fe}}{U_N^2} = \frac{25 \cdot 10^3}{(110 \cdot 10^3)^2} = \frac{25 \cdot 10^3}{12100 \cdot 10^6} = 0,00206 \cdot 10^{-3} = \underline{2,06 \cdot 10^{-6} \text{ S}}$$

- Susceptancja transformatora

$$B_T = -\frac{I_{\mu\%}}{100} \cdot \frac{S_N}{U_N^2} = -\frac{1,08}{100} \cdot \frac{16 \cdot 10^6}{(110 \cdot 10^3)^2} = -0,0108 \cdot \frac{16}{12100} = \underline{-14,28 \cdot 10^{-6} \text{ S}}$$

$$I_{\mu\%} = \sqrt{I_{0\%}^2 - \Delta P_{Fe\%}^2} = \sqrt{1,1^2 - 0,156^2} = \underline{1,08\%}$$

$$\Delta P_{Fe\%} = \frac{\Delta P_{Fe}}{S_N} \cdot 100\% = \frac{25 \cdot 10^3}{16 \cdot 10^6} \cdot 100\% = \underline{0,156\%}$$

Dla dużych transformatorów można przyjąć: $I_{\mu\%} \approx I_{0\%}$

$$\underline{\underline{Y_T = G_T + jB_T = (2,06 - j14,28) \cdot 10^{-6} \text{ S}}}$$

- impedancja (dla jednego transformatora)

$$\underline{\underline{Z_T = R_T + jX_T = (4,11 + j83,1) \Omega}}$$

- admitancja (dla jednego transformatora)

$$\underline{\underline{Y_T = G_T + jB_T = (2,06 - j14,28) \cdot 10^{-6} \text{ S}}}$$

- dla dwóch transformatorów

$$\underline{\underline{Z_{T2} = 0,5 \cdot (R_T + jX_T) = (2,06 + j41,6) \Omega}}$$

$$\underline{\underline{Y_{T2} = 2 \cdot (G_T + jB_T) = (4,12 - j28,56) \cdot 10^{-6} \text{ S}}}$$

ZADANIE 1.10.

Określić schemat zastępczy transformatora trójfazowego trójuzwojeniowego o mocy $S_n = 40$ MVA (dla wszystkich uzwojeń) na napięcie 110/33/6,3 kV.

uzwojenie	I	II	III
U_N [kV]	110	33	6,3
ΔP_{Cu} [kW]	220	200	160

$$I_0\% = 1\%,$$

$$\Delta P_{fe} = 63 \text{ kW}$$

uzwojenie	I-II	I-III	II-III
$u_{z\%}$	11%	17,2%	6,4%

ROZWIĄZANIE

- Rezystancja uzwojeń transformatora

$$R_{TI} = \Delta P_{Cu I} \frac{U_N^2}{S_N^2} = 220 \cdot 10^3 \cdot \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{(40 \cdot 10^6)^2} = \underline{1,66 \Omega}$$

$$R_{TII} = \Delta P_{Cu II} \frac{U_N^2}{S_N^2} = 200 \cdot 10^3 \cdot \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{(40 \cdot 10^6)^2} = \underline{1,51 \Omega}$$

- Rezystancja uzwojeń transformatora (cd.)

$$R_{TIII} = \Delta P_{Cu III} \frac{U_N^2}{S_N^2} = 160 \cdot 10^3 \cdot \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{(40 \cdot 10^6)^2} = \underline{1,21 \Omega}$$

- Reaktancje par uzwojeń transformatora

uzwojenie	I-II	I-III	II-III
$u_{z\%}$	11%	17,2%	6,4%

$$X_{TI-II} = \frac{u_{z\% I-II}}{100} \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{11}{100} \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{40 \cdot 10^6} = \underline{33,28 \Omega}$$

$$X_{TI-III} = \frac{u_{z\% I-III}}{100} \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{17,2}{100} \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{40 \cdot 10^6} = \underline{52,03 \Omega}$$

$$X_{TII-III} = \frac{u_{z\% II-III}}{100} \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{6,4}{100} \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{40 \cdot 10^6} = \underline{19,36 \Omega}$$

- Reaktancje uzwojeń transformatora

$$X_{TI} = 0,5(X_{TI-II} + X_{TI-III} - X_{TII-III})$$

$$= 0,5(33,28 + 52,03 - 19,36) = \underline{32,98 \Omega}$$

$$X_{TII} = 0,5(X_{TI-II} + X_{TII-III} - X_{TI-III})$$

$$= 0,5(33,28 + 19,36 - 52,03) = \underline{0,31 \Omega}$$

$$X_{TIII} = 0,5(X_{TI-III} + X_{TII-III} - X_{TI-II})$$

$$= 0,5(52,03 + 19,36 - 33,28) = \underline{19,1 \Omega}$$

- Konduktancja transformatora

$$G_T = \frac{\Delta P_{Fe}}{U_N^2} = \frac{63 \cdot 10^3}{(110 \cdot 10^3)^2} = \underline{5,21 \cdot 10^{-6} S}$$

- Susceptancja transformatora

$$B_T = -\frac{I_{\mu\%}}{100} \cdot \frac{S_N}{U_N^2} \approx -\frac{I_{0\%}}{100} \cdot \frac{S_N}{U_N^2} = -\frac{1}{100} \cdot \frac{40 \cdot 10^6}{(110 \cdot 10^3)^2} = \underline{-33,1 \cdot 10^{-6} S}$$

Schemat zastępczy transformatora trójfazowego trójuzwojeniowego

$R_{TI} = 1,66 \Omega$

$X_{TI} = 32,98 \Omega$

$G_T = 5,21 \cdot 10^{-6} S$

$R_{TII} = 1,51 \Omega$

$X_{TII} = 0,31 \Omega$

$B_T = -33,1 \cdot 10^{-6} S$

$R_{TIII} = 1,21 \Omega$

$X_{TIII} = 19,1 \Omega$

