

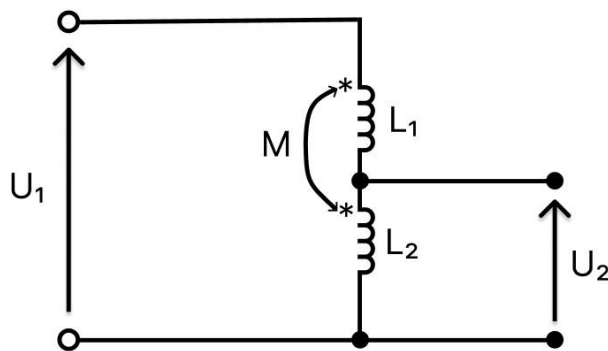
**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE**

ZAWODY II STOPNIA

Autor: Stanisław Wincenciak
Koreferent: Dariusz Baczyński

Zadanie nr 1

Na rysunku pokazano schemat zastępczy autotransformatora:

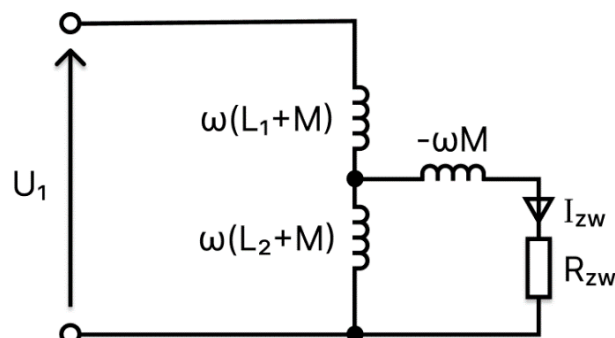


Dane: wartość skuteczna napięcia sinusoidalnie zmiennego ($f = 50 \text{ Hz}$) $U_1 = 90 \text{ kV}$, stosunek liczby zwojów części uzwojenia zaznaczonej na schemacie jako indukcyjność L_1 do liczby zwojów uzwojenia o indukcyjności L_2 wynosi: $n = n_1/n_2 = 2$, rezystancje cewek pomijamy, rezystancja zwarcia $R_{zw} = 10 \Omega$.

1. Należy wyznaczyć wartość skuteczną (wskazanie amperomierza) prądu zwarcia autotransformatora (zwarcie na zaciskach napięcia U_2), jeśli sprzężenie między cewkami przyjmiemy jako idealne (współczynnik sprzężenia $k = 1$).
2. Ile wyniesie napięcie na wyjściu nieobciążonego autotransformatora, jeśli uwzględnimy, że sprzężenie cewek nie jest idealne, a współczynnik sprzężenia $k = 0,9$?

Rozwiązanie zadania nr 1

W celu ułatwienia rozwiązania zadania na rysunku przedstawiono schemat elektryczny autotransformatora z zastosowaniem eliminacji sprzężenia:



**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE**

ZAWODY II STOPNIA

AD. 1

Przy wyznaczaniu prądu płynącego przez rezystancję zwarcia skorzystamy z często stosowanego do obliczeń w obwodach elektrycznych twierdzenia Thevenina

$$I_{zw} = \frac{U_0}{Z_W + R_{ZW}}$$

gdzie: U_0 – napięcie na wyjściu przy rozwartym obwodzie wyjściowym, Z_W – impedancja indukcyjna (wypadkowa indukcyjność) widziana z zacisków wyjściowych przy odłączonej rezystancji zwarcia.

W stanie jałowym na wyjściu korzystamy z zależności dla dzielnika napięcia i U_0 wyraża się zależnością

$$U_0 = U_1 \frac{\omega L_2 + \omega M}{\omega L_1 + \omega L_2 + 2\omega M}$$

Skracamy ułamek przez ω oraz uwzględniamy, że $M = k\sqrt{L_1 L_2}$, a w przypadku idealnego sprzężenia $k = 1$. Dodatkowo, jeśli uwzględnimy, że indukcyjności cewek są proporcjonalne do kwadratu liczby zwojów, to otrzymamy

$$U_0 = U_1 \frac{n_2^2 + n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2} = U_1 \frac{1 + n}{(1 + n)^2} = U_1 \frac{1}{1 + n} = 90 \text{ kV} \frac{1}{1 + 2} = 30 \text{ kV}$$

Impedancja indukcyjna Z_W wyraża się zależnością

$$Z_W = \frac{\omega(L_1 + M) \cdot \omega(L_2 + M)}{\omega(L_1 + M) + \omega(L_2 + M)} - \omega M$$

Przy $k = 1$ otrzymamy $Z_W = 0$.

Zatem prąd zwarcia na wyjściu autotransformatora będzie równy

$$I_{zw} = \frac{30 \text{ kV}}{0 \Omega + 10 \Omega} = 3 \text{ kA}$$

AD. 2

Jeśli we wzorze na napięcie U_0 uwzględnimy, że $k \neq 1$, to otrzymamy

$$U_0 = U_1 \frac{n_2^2 + k n_1 n_2}{n_1^2 + n_2^2 + 2k n_1 n_2} = U_1 \frac{1 + kn}{n^2 + 2kn + 1} = 90 \text{ kV} \frac{1 + 0,9 \cdot 2}{4 + 3,6 + 1} = 29,3 \text{ kV}$$

**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE**

ZAWODY II STOPNIA

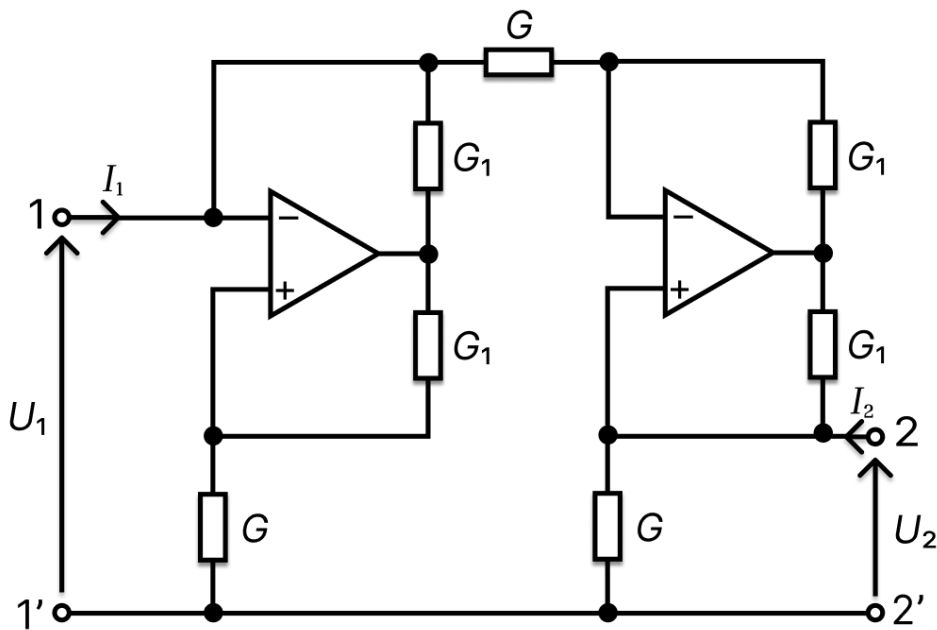
Zadanie nr 2

Autor: Kazimierz Mikołajuk

Koreferent: Stanisław Wincenciak

Na rysunku pokazano schemat czwórnik, który realizuje funkcję żyratora (rezystancja wejściowa jest proporcjonalna do odwrotności rezystancji obciążenia).

1. Należy wykazać, że taką funkcję realizuje układ o schemacie z rysunku.
2. Należy także udowodnić, że analizowany czwórnik jest elementem bezstratnym patrząc z punktu widzenia relacji wielkości fizycznych na jego zaciskach wejściowych (1-1') i wyjściowych (2-2').



**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE**

ZAWODY II STOPNIA

Rozwiązanie zadania nr 2

Na schemacie żyratora zaznaczono węzły $V_3 - V_6$ oraz węzeł odniesienia (0). Korzystając z metody potencjałów węzłowych możemy zapisać dla tego schematu układ równań algebraicznych:

$$(G_1 + G)U_1 - GV_5 - G_1V_4 = I_1$$

$$(G_1 + G)U_2 - G_1V_6 = I_2$$

$$(G_1 + G)V_3 - G_1V_4 = 0$$

$$(G_1 + G)V_5 - GU_1 - G_1V_6 = 0$$

$$V_3 = U_1$$

$$V_5 = U_2$$

Po wyeliminowaniu potencjałów $V_3 - V_6$ otrzymamy dwa równania

$$I_1 = -GU_2$$

$$I_2 = GU_1$$

Jeśli zaciski wyjściowe 2-2' obciążymy rezystancją R_0 , to możemy zapisać

$$U_2 = -R_0 I_2$$

Wtedy otrzymamy

$$R_{we} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{1}{G^2 R_0}$$

W ten sposób wykazaliśmy prawdziwość postulatu zawartego w pierwszym punkcie treści zadania.

W celu udowodnienia drugiego postulatu należy zapisać wyrażenia określające moc na wejściu i wyjściu czwórnika

$$P_1 = U_1 I_1$$

$$P_2 = U_2 I_2$$

Po podstawieniu wyrażen opisujących prądy na wejściu i wyjściu otrzymamy

$$P_1 = -GU_1 U_2$$

$$P_2 = GU_1 U_2$$

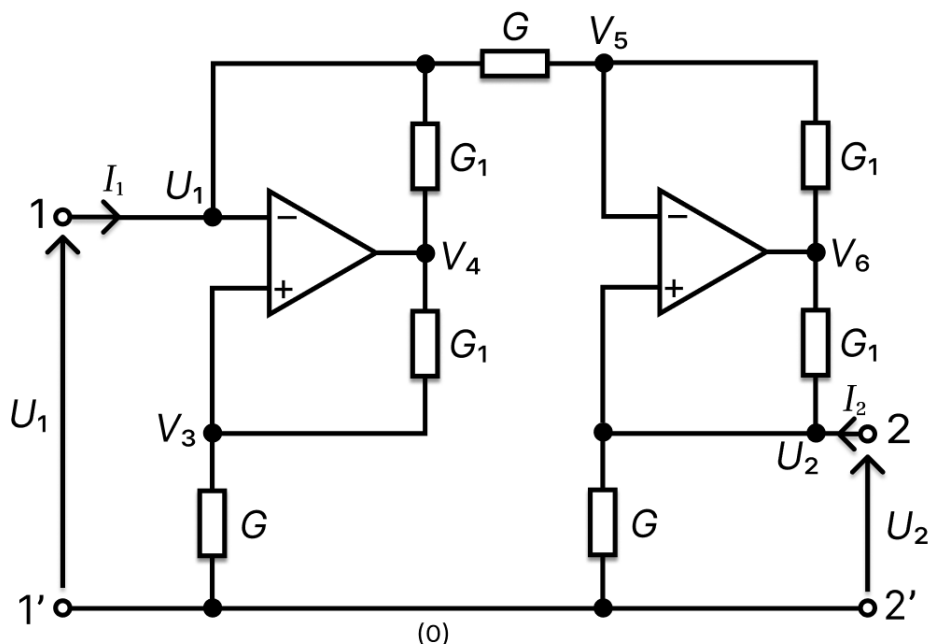
Zatem suma mocy na wejściu i wyjściu

$$P_1 + P_2 = 0$$

**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE**

ZAWODY II STOPNIA

Patrząc z tego punktu widzenia możemy powiedzieć, że analizowany czwórnik jest bezstratny.



Zadanie nr 3

Autor: Wojciech Radomski

Koreferent: Maciej Jaworski

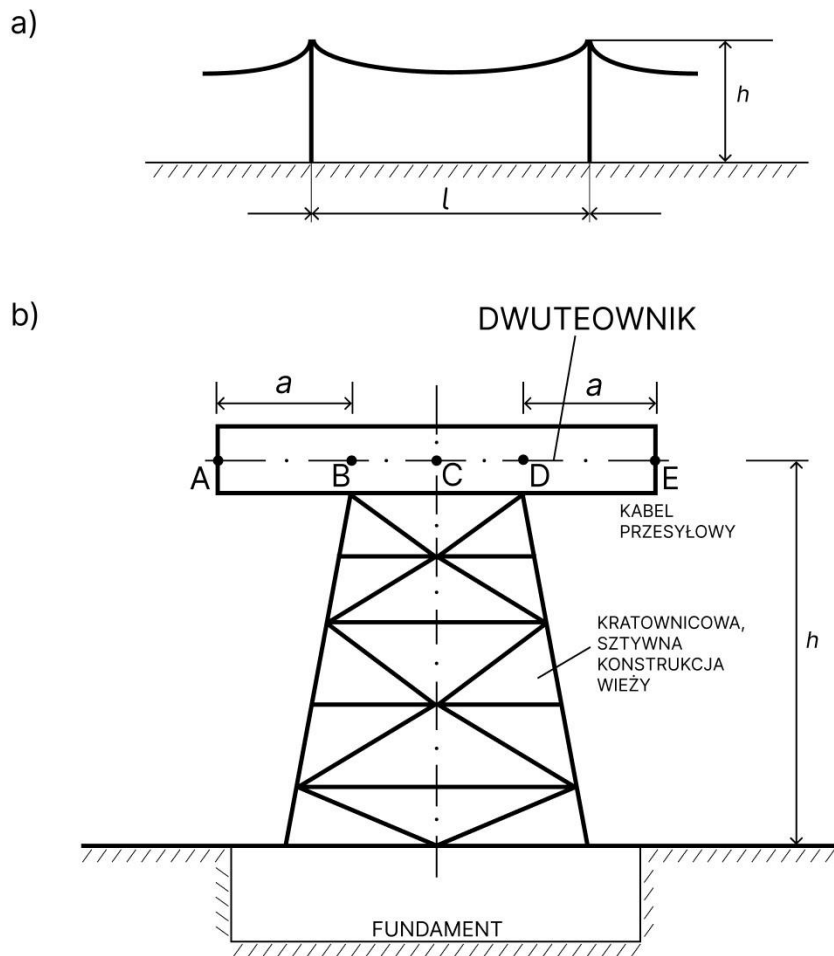
Na rys. 1a) pokazano fragment linii przesyłowej wysokiego napięcia. Maszty tej linii są usytuowane w odstępach l i mają wysokość h . Linia ta wymaga remontu. Podczas jej inspekcji stwierdzono między innymi, że jeden z kratownicowych masztów (rys. 1b), wskutek nierównomiernego osiadania gruntu, uległ przechyleniu jako bryła sztywna o kąt α . Na szczycie masztu, na czas remontu umieszczono dwuwspornikową belkę o wysięgu a z dwuteownika, na którego jednym końcu pozostał jedyny kabel o ciężarze jednostkowym g (rys. 1b), pozostałe zdążono zdemonstrować.

Jakiego przemieszczenia pionowego doznał koniec wspornika (punkt E na rys. 1b) wskutek przechylenia masztu i ugięcia wspornika? Ciężaru własnego dwuteownika nie należy uwzględniać.

Dane liczbowe:

$l = 80 \text{ m}$; $h = 20 \text{ m}$; $a = 5 \text{ m}$; $g = 60 \text{ N/m}$; $\alpha = 10^\circ$; Dwuteownik HEB – moduł bezwładności $J = 5700 \text{ cm}^4$; moduł Younga stali $E = 210 \text{ GPa}$.

**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE
ZAWODY II STOPNIA**



Rys. 1

Rozwiązanie zadania nr 3

Sytuację po odchyleniu masztu jako bryły sztywnej od pionu o kąt α pokazano na rys. 2, natomiast układ osi przed i po tym odchyleniu – na rys. 3.

Przemieszczenie pionowe punktu E jest złożone z dwóch składników. Pierwszy, Δh , wynika z zależności geometrycznej pokazanej na rys. 3. Mamy:

$$(1) \Delta h = h - h \cdot \cos \alpha = 20 - 20 \cdot \cos 10^\circ = 20 - 20 \cdot 0,9848 = 0,304 \text{ m} = 304 \text{ mm}$$

Drugi składnik, f_E , przemieszczenia jest konsekwencją ugięcia wspornika siłą P pochodząca od ciężaru kabla.

Z rys. 1a) wynika, że:

$$(2) P = l \cdot g = 80 \cdot 60 \text{ N/m} = 4800 \text{ N} = 4,8 \text{ kN}$$

**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE**

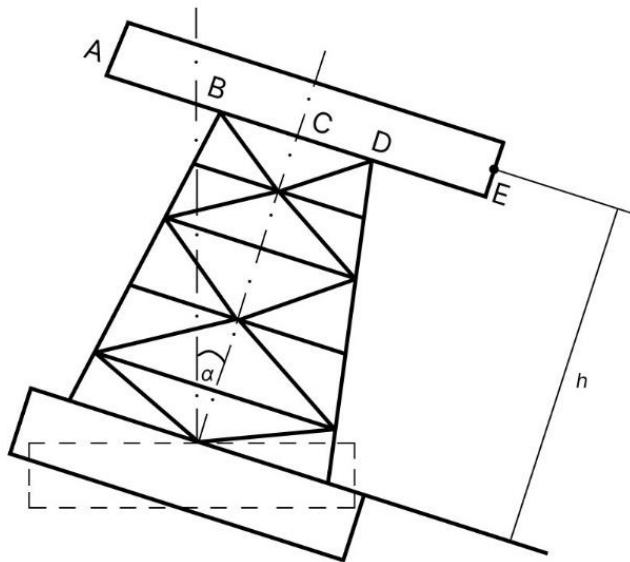
ZAWODY II STOPNIA

Maksymalne ugięcie wspornika D-E , przy założeniu jego utwierdzenia w przekroju D-D, można wyznaczyć z dostępnego w każdym podręczniku wzoru. We wzorze tym siła P jest siłą działającą pionowo. W naszym przypadku, ze względu na obrót masztu, należy uwzględnić pionową składową tej siły, zatem pionowe przemieszczenie f_E będzie równe:

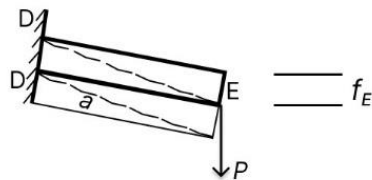
$$(3) f_E = \frac{P \cdot \cos \alpha \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot J} \cos \alpha = \frac{4,8 \cdot 0,9848 \cdot 5^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 5700 \cdot 10^{-8}} 0,9848 = \frac{581,90}{35910} = 0,0162 \text{ m} = 16,2 \text{ mm}$$

Łącznie więc przemieszczenie pionowe punktu E jest równe:

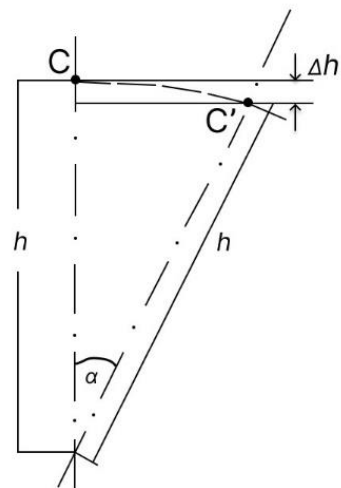
$$(4) \Delta h + f_E = 304 + 16,2 = 320,2 \text{ mm}.$$



Rys. 2



Rys. 4



Rys. 3