



OLIMPIADA WIEDZY ELEKTRYCZNEJ I ENERGETYCZNEJ



Wydział
Elektryczny

Organizatorzy:

Stowarzyszenie Elektryków Polskich

Oddział Szczeciński SEP

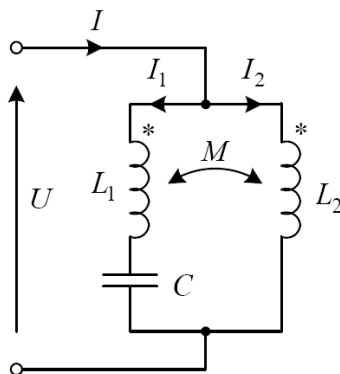
Wydział Elektryczny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Energetycznej
Rok szkolny 2025/2026**

**Zadania dla grupy elektrycznej na zawody II stopnia
z rozwiązaniami**

Zadanie 1.

Przy jakiej pojemności kondensatora w obwodzie elektrycznym przedstawionym na rysunku wystąpi rezonans prądów. Częstotliwość wynosi 1,0 kHz, $L_1 = 40$ mH, $L_2 = 20$ mH, $M = 10$ mH.



Rozwiązanie:

Impedancje poszczególnych gałęzi dwójnika:

$$\underline{Z}_1 = j \left(\omega \cdot L_1 - \frac{1}{\omega \cdot C} \right)$$

$$\underline{Z}_2 = j\omega \cdot L_2$$

$$\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{21} = j\omega \cdot M$$

Na podstawie II prawa Kirchhoffa:

$$\underline{U} = \underline{Z}_1 \cdot \underline{I}_1 + \underline{Z}_{12} \cdot \underline{I}_2$$

$$\underline{U} = \underline{Z}_2 \cdot \underline{I}_2 + \underline{Z}_{12} \cdot \underline{I}_1$$

po rozwiązaniu układu równań wyznaczamy $\underline{I}_1, \underline{I}_2$

$$\underline{I}_1 = \underline{U} \frac{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_{12}}{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2 - \underline{Z}_{12}^2}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{U} \frac{\underline{Z}_1 - \underline{Z}_{12}}{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2 - \underline{Z}_{12}^2}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = \underline{U} \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 - 2 \cdot \underline{Z}_{12}}{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2 - \underline{Z}_{12}^2}$$

Rezonans zachodzi gdy prąd $\underline{I} = 0$ czyli

$$\begin{aligned} \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 - 2 \cdot \underline{Z}_{12} &= 0 \\ j\omega \cdot L_1 - j\omega \cdot \frac{1}{C} + j\omega \cdot L_2 - 2 \cdot j\omega \cdot M &= 0 \end{aligned}$$

po przekształceniu:

$$C = \frac{1}{\omega^2 \cdot (L_1 + L_2 - 2 \cdot M)} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 10^6 \cdot (0,04 + 0,02 - 0,02)} = 0,63 \mu\text{F}$$

Odpowiedź:

$C = 0,63 \mu\text{F}$

Zadanie 2.

Cewkę rzeczywistą o indukcyjności $L = 100 \text{ mH}$ i rezystancji uzwojenia $R_L = 60 \Omega$, połączono równolegle z kondensatorem idealnym $C = 10 \mu\text{F}$. Przy jakiej pulsacji sinusoidalnego napięcia zasilającego moc bierna obwodu osiągnie wartość zero?

Rozwiązanie:

prąd wpływający do obwodu:

$$\underline{I} = \underline{U} \cdot (G_L + jB_L + jB_C)$$

Moc bierna będzie zerowa gdy $B_L = B_C$

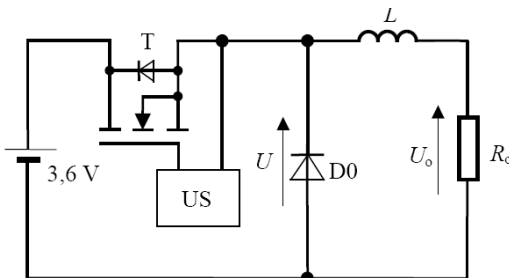
$$-\frac{X_L}{R_L^2 + X_L^2} + \frac{1}{X_C} = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R_L^2}{L^2}} = \sqrt{\frac{1}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-6}} - \frac{60^2}{(100 \cdot 10^{-3})^2}} = 800 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: 800 rad/s

Zadanie 3.

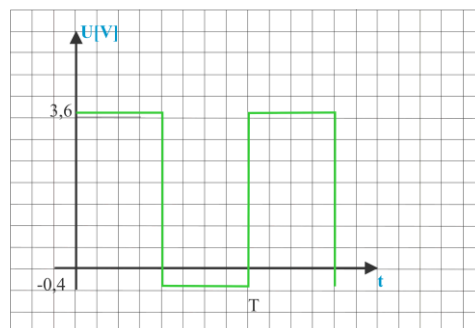
Zasilacz impulsowy prądu stałego obniżający napięcie zasila odbiornik o rezystancji R_0 . Współczynnik wypełnienia impulsu sygnału sterującego tranzystor kluczujący wynosi $d = 0,5$. Jako diodę zerową D0 zastosowano spadku napięcia w kierunku przewodzenia $U_{F1} = 0,4 \text{ V}$. Po awarii tej diody zastąpiono ją diodą o spadku napięcia w kierunku przewodzenia $U_{F2} = 1,4 \text{ V}$. Jak należy zmienić współczynnik wypełnienia sygnału sterującego tranzystor, aby wartość średnia napięcia na odbiorniku była taka sama jak przed zmianą typu diody? Przyjmij, że prąd obciążenia jest ciągły i idealnie wygładzony, a rezystancja kanału tranzystora kluczującego w stanie załączenia $R_{DS(on)} = 0$ i w stanie wyłączenia $R_{DS(off)} = \infty$.



Rozwiązanie:

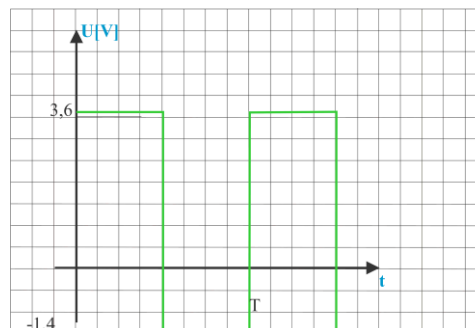
Średnia wartość napięcia na obciążeniu przed awarią:

$$U_{OAV1} = 3,6 \cdot 0,5 - 0,4 \cdot 0,5 = 1,6 \text{ V}$$



Średnia wartość napięcia na obciążeniu po awarii i zastąpieniu diody dotychczasowej diodą o spadku napięcia 1,4 V:

$$U_{OAV2} = 3,6 \cdot 0,5 - 1,4 \cdot 0,5 = 1,1 \text{ V}$$



Równanie na współczynnik wypełnienia d_2 , przy którym utrzymane zostanie napięcie 1,6 V wygląda następująco:

$$U_{OAV1} = 1,6 = 3,6 \cdot d_2 - 1,4 \cdot (1 - d_2)$$

$$1,6 = 3,6 \cdot d_2 - 1,4 + 1,4 \cdot d_2$$

$$d_2 = \frac{3}{5} = 0,6$$

Odpowiedź:

Nowy współczynnik wypełnienia wynosi $d_2 = 0,6$

Zadanie 4.

Odcinek trójfazowej linii napowietrznej 15 kV o długości 10 km, wykonanej przewodem w postaci linki stalowo-aluminiowej typu AFL 6-70 mm, o rezystancji jednostkowej $r' = 0,4 \Omega/\text{km}$ oraz reaktancji jednostkowej $x' = 0,35 \Omega/\text{km}$ obciążony na końcu mocą czynną $P = 3 \text{ MW}$.

- Ile wynosi napięcie międzyfazowe na początku linii, jeśli na jej końcu wartość napięcia wynosi 15,6 kV?
- Dla danego obciążenia mocą czynną dobierz takie obciążenie mocą bierną, aby wartość napięcia na początku linii była taka sama jak na jej końcu? Określ charakter tej mocy (indukcyjny czy pojemnościowy).

Rozwiązanie:

Napięcie na początku linii:

$$U_1 = U_2 + \Delta U$$

gdzie:

U_2 napięcie na końcu linii

ΔU spadek napięcia na linii

$$\Delta U = \frac{P \cdot R_l + Q \cdot X_l}{U_N}$$

$$R_l = R' \cdot l = 0,4 \cdot 10 = 4 \Omega$$
$$X_l = X' \cdot l = 0,35 \cdot 10 = 3,5 \Omega$$

$$U_1 = U_2 + \frac{P \cdot R_l + Q \cdot X_l}{U_N} = 15,6 + \frac{3 \cdot 4 + 0 \cdot 3,5}{15} = 16,4 \text{ kV}$$

aby napięcia na początku i końcu były równe $\Delta U = 0$ wtedy

$$U_1 = U_2$$

$$\frac{P \cdot R_l + Q \cdot X_l}{U_N} = 0$$

przekształcając:

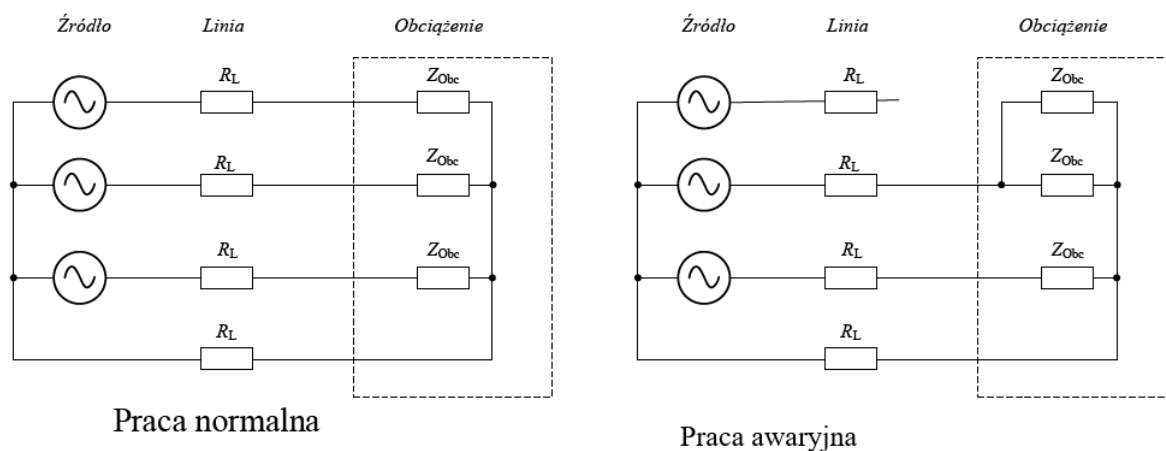
$$Q = -\frac{P \cdot R_l}{X_l} = -\frac{3 \cdot 4}{3,5} = 3,43 \text{ MVar}$$

Odpowiedź:

- napięcie na początku linii wynosi 16,4 kV
- moc bierna pojemnościowa 3,43 MVar

Zadanie 5.

W symetrycznej i obciążonej symetrycznie odbiornikami jednofazowymi trójfazowej sieci niskiego napięcia straty mocy wynoszą $\Delta P_n = 150 \text{ W}$. Z uwagi na przepalenie się bezpiecznika w jednej fazie przełączono zasilany z niej odbiornik do jednej z pozostałych, działających faz. Ile wyniosą w przybliżeniu straty mocy w sieci w stanie awaryjnym? Uwaga: pominąć spadki napięcia w przewodach.



Rozwiązanie:

W przypadku odbiornika symetrycznego prąd $I_N = 0$

W każdej z faz płynie ten sam prąd przewodowy I przesunięty fazowo względem siebie o 120° ponieważ przesunięcie fazowe odbiornika z racji jego symetryczności jest takie same można je pominąć

$$\underline{I_{L1}} = I \quad I_{L1} = |\underline{I_{L1}}| = I$$

$$\underline{I_{L2}} = I \cdot \left(-0,5 - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \quad I_{L2} = |\underline{I_{L2}}| = I$$

$$\underline{I_{L3}} = I \cdot \left(-0,5 + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \quad I_{L3} = |\underline{I_{L3}}| = I$$

prądy są symetryczne więc prąd w przewodzie neutralnym wynosi:

$$\underline{I_N} = \underline{I_{L1}} + \underline{I_{L2}} + \underline{I_{L3}} = 0 \quad I_N = |\underline{I_N}| = 0$$

straty mocy wynoszą:

$$\Delta P_N = 3 \cdot I^2 \cdot R_L + I_N^2 \cdot R_L = 3 \cdot I^2 \cdot R_L + 0^2 \cdot R_L = 3 \cdot I^2 \cdot R_L$$

gdzie R_L rezystancja linii dla poszczególnej fazy

Po przełączeniu jednego z odbiorników na jedną z pozostałych faz tak jak na schemacie w pracy awaryjnej można napisać:

$$\underline{I_{L1}} = 0 \quad I_{L1} = |\underline{I_{L1}}| = 0$$

$$\underline{I_{L2}} = 2 \cdot I \cdot \left(-0,5 - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \quad I_{L2} = |\underline{I_{L2}}| = 2 \cdot I$$

$$\underline{I}_{L3} = I \cdot \left(-0,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \quad I_{L3} = |\underline{I}_{L3}| = I$$

$$\underline{I}_N = \underline{I}_{L2} + \underline{I}_{L3} = 2 \cdot I \cdot \left(-0,5 - j \frac{\sqrt{3}}{2}\right) + I \cdot \left(-0,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = I \cdot \left(-1,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$|\underline{I}_N| = I \cdot \sqrt{(-1,5)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = I \cdot \sqrt{3}$$

straty mocy w awarii oznaczamy ΔP_{awar}

$$\begin{aligned} \Delta P_{awar} &= I_{L1}^2 \cdot R_L + I_{L2}^2 \cdot R_L + I_{L3}^2 \cdot R_L + I_N^2 \cdot R_L = (0)^2 \cdot R_L + (2 \cdot I)^2 \cdot R_L + I^2 \cdot R_L + I_N^2 \cdot R_L \\ &= 8 \cdot I^2 \cdot R_L \end{aligned}$$

porównanie strat

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P_{awar}}{\Delta P_N} &= \frac{8 \cdot I^2 \cdot R_L}{3 \cdot I^2 \cdot R_L} \\ \Delta P_{awar} &= \frac{8}{3} \cdot \Delta P = \frac{8}{3} \cdot 150 = 400 \text{ W} \end{aligned}$$

Odpowiedź:

straty mocy wzrosną do wartości 400 W