

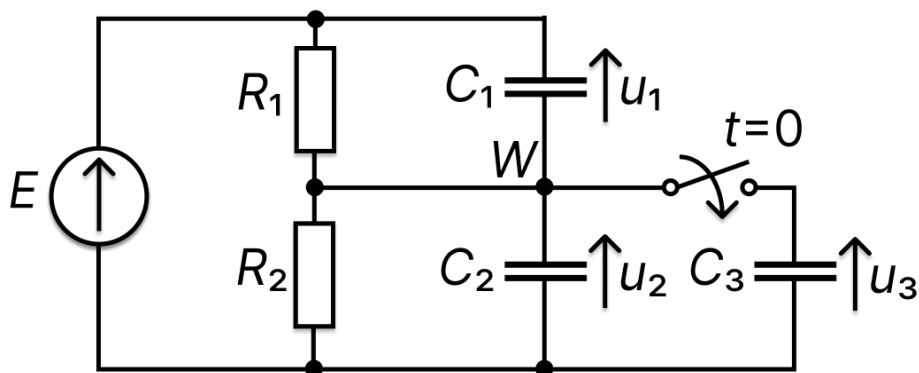
**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE
ZAWODY III STOPNIA – ZADANIA Z ROZWIĄZANAMI**

Autor: Kazimierz Mikołajuk

Koreferent: Stanisław Wincenciak

Zadanie nr 1

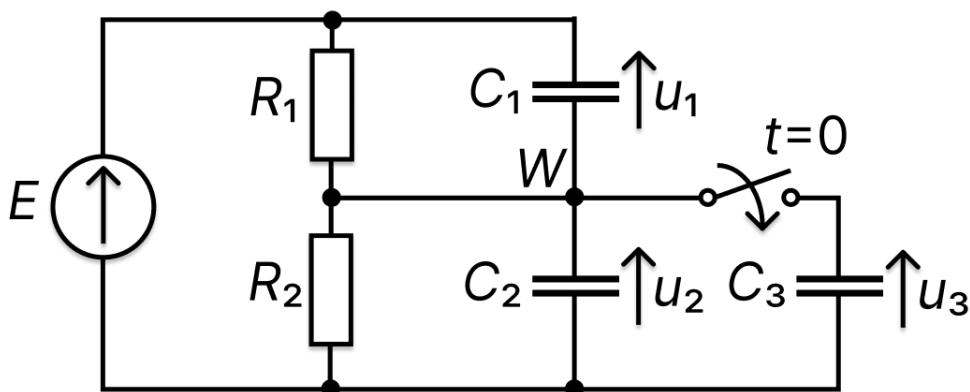
W obwodzie prądu stałego, pokazanym na rysunku, przed zamknięciem wyłącznika był stan ustalony. Parametry obwodu są następujące: $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = C_3 = 1 \mu\text{F}$, $R_1 = R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $E = 20 \text{ V}$. Przed zamknięciem wyłącznika kondensator C_3 nie był naładowany. Należy podać wyrażenia określające napięcia na kondensatorach dla $t > 0$ (po zamknięciu wyłącznika): $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$.



Rozwiązanie

Na rysunku a) pokazano obwód z treści zadania wraz z przyjętymi oznaczeniami

a)



LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE
ZAWODY III STOPNIA – ZADANIA Z ROZWIĄZANAMI

Przed zamknięciem wyłącznika napięcia na kondensatorach były następujące:

$$u_1^- = u_2^- = 10 \text{ V}; u_3^- = 0.$$

W chwili zamknięcia wyłącznika, zgodnie z zasadą zachowania ładunku w węźle W, mamy

$$-C_1 u_1^+ + C_2 u_2^+ + C_3 u_3^+ = -C_1 u_1^- + C_2 u_2^- + C_3 u_3^-$$

Po podstawieniu wartości liczbowych otrzymamy równanie

$$-2u_1^+ + u_2^+ + u_3^+ = -10$$

Dodatkowo z równań Kirchhoffa dla obwodu mamy

$$u_2^+ = u_3^+; u_1^+ + u_2^+ = 20$$

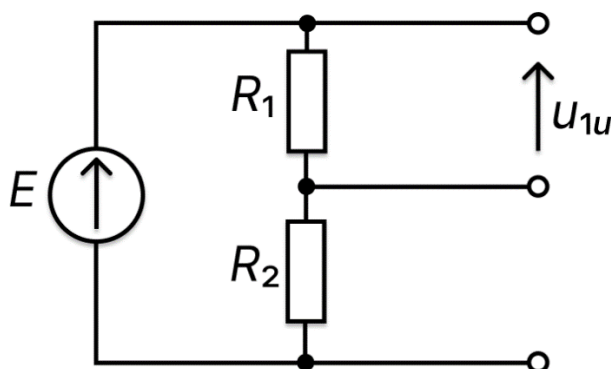
Po rozwiązaniu układu równań otrzymamy

$$u_1^+ = 12,5 \text{ V}; u_2^+ = u_3^+ = 7,5 \text{ V}$$

Napięcie na kondensatorze C_1 wyznaczamy z ogólnej postaci rozwiązania równania dla obwodów pierwszego rzędu, pomimo występowania 3 kondensatorów (patrz rys. a), ale w specjalnej konfiguracji. W tym obwodzie znajomość napięcia na jednym z kondensatorów jednoznacznie określa napięcie dla pozostałych. Zatem zależność ogólna dla napięcia na kondensatorze C_1 przyjmie postać

$$u_1(t) = u_{1u} - (u_{1u} - u_1^+(0))e^{-\frac{t}{T}}$$

b)



**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE
ZAWODY III STOPNIA – ZADANIA Z ROZWIĄZANAMI**

W celu wyznaczenia wartości ustalonej u_{1u} na kondensatorze C_1 skorzystamy ze schematu przedstawionego na rys. b). Przy równości rezystorów łatwo ustalić, że

$$u_{1u} = 10 \text{ V}.$$

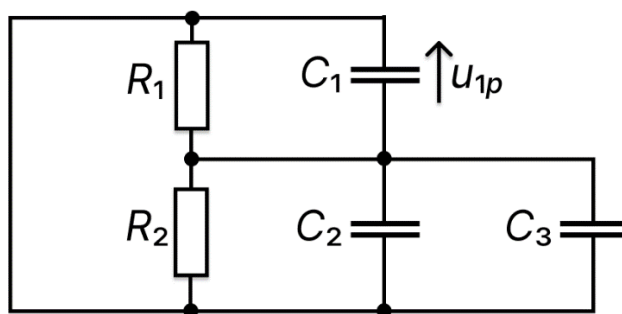
Stałą czasową T określającą zmianę napięcia na każdym z kondensatorów wyznaczamy na podstawie obwodu pokazanego na rys c) – 3 kondensatory i 2 rezystory połączone równolegle. Zatem mamy

$$T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} (C_1 + C_2 + C_3)$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymamy

$$T = 4 \cdot 10^{-3} \text{ s}; \quad \frac{1}{T} = 250 \frac{1}{\text{s}}$$

c)



Podstawiając wyznaczone wielkości do wzoru ogólnego na napięcie na kondensatorze C_1 otrzymamy

$$u_1(t) = 10 - (10 - 12,5)e^{-250t} = (10 + 2,5e^{-250t})\text{V}$$

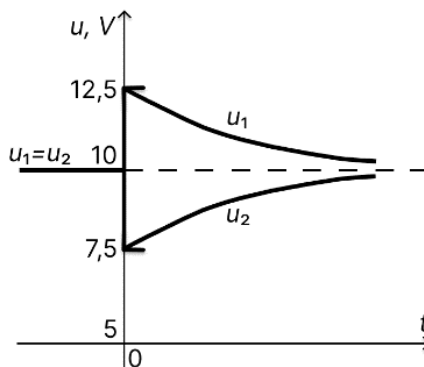
Zatem napięcia na pozostałych kondensatorach będą wyrażone zależnością

$$u_2(t) = u_3(t) = E - u_1(t) = 20 - 10 - 2,5e^{-250t} = (10 - 2,5e^{-250t})\text{V}$$

Wykresy zmienności w czasie napięć na kondensatorach pokazano na rys. d)

**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE
ZAWODY III STOPNIA – ZADANIA Z ROZWIĄZANAMI**

d)



Autor: Maciej Jaworski

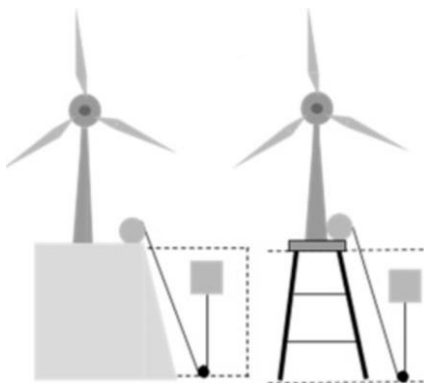
Koreferent: Wojciech Radomski

Zadanie nr 2

W celu stabilizacji pracy turbin wiatrowych usytuowanych na morzu lub blisko głębokich akwenów, działających w zmiennych warunkach zarówno szybkości wiatru, jak i po stronie odbioru produkowanej energii, proponuje się metodę magazynowania energii wykorzystującą siłę wyporu działającą na pływak o dużej objętości wypełniony powietrzem. W takim układzie nadwyżki energii byłyby wykorzystywane do wciągnięcia pływaka w głąb akwenu, natomiast odbiór energii odbywałby się w czasie kiedy pławak wynurzałby się pod działaniem siły wyporu (schemat pokazano na rysunku).

Przeprowadzić bilans energetyczny układu, którego głównym elementem jest sferyczny pławak o średnicy zewnętrznej $D = 5 \text{ m}$, wykonany z blachy stalowej o grubości $t = 3 \text{ mm}$. Gęstość stali wynosi $\rho_s = 7900 \text{ kg/m}^3$. Pławak wypełniony jest powietrzem, którego ciśnienie w temperaturze $t_p = 10^\circ\text{C}$ wynosi $p_p = 2 \text{ bar}$. Powietrze potraktować jako gaz doskonały o masie molowej $M_p = 28,97 \text{ kg/kmol}$. Przyjmując, że pławak przemieszcza się (zarówno w górę, jak i w dół) z szybkością $v = 1,0 \text{ m/s}$ wyznaczyć moc wymaganą do wciągnięcia pływaka w dół (moc netto na wyjściu z układu napędowego), oraz moc możliwą do uzyskania w czasie unoszenia się pływaka do góry. Przyjąć, że współczynnik oporu hydrodynamicznego wynosi $C_d = 0,45$. Gęstość wody $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, przyspieszenie ziemskie $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

**LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE
ZAWODY III STOPNIA – ZADANIA Z ROZWIĄZANAMI**



Schemat układu dla turbiny wiatrowej na lądzie i na morzu

Rozwiązanie:

Objętość wypartej wody:

$$V_w = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 2,5^3 = 65,45 \text{ m}^3$$

Siła wyporu:

$$F_w = V_w \rho_w g = 65,45 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 642 \text{ kN}$$

Siła ciężkości

Masa pływak (pole powierzchni x grubość ścianki x gęstość stali):

$$m_s = 4 \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 t \rho_s = 4 \cdot 3,14 \cdot 2,5^2 \cdot 7900 = 1861 \text{ kg}$$

Masa powietrza wewnątrz pływaka:

$$m_p = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2} - t \right)^3 \rho_p$$

Gęstość powietrza z równania Clapeyrona (uniwersalna stała gazowa 8315 J/(kmol·K)):

$$\rho_p = \frac{p}{(R/M_p) \cdot T_p} = \frac{2 \cdot 10^5}{(8315/28,97) \cdot (273,15 + 10)} = 2,46 \text{ kg/m}^3$$

$$m_p = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2} - t \right)^3 \rho_p = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (2,5 - 0,003)^3 \cdot 2,46 = 160,5 \text{ kg}$$

Siła ciężkości:

LI (51) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE
ZAWODY III STOPNIA – ZADANIA Z ROZWIĄZANAMI

$$F_s = (m_s + m_p) \cdot g = (1861 + 160,5) \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 19,83 \text{ kN}$$

Opór hydrodynamiczny (A – pole powierzchni przekroju pływaką prostopadłego do kierunku ruchu):

$$F_h = \frac{1}{2} \rho_w A v^2 C_d = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot 1^2 \cdot 0,45 = 4,418 \text{ kN}$$

Równowaga sił w czasie “ładowania” magazynu – ściąganie pływaka w dół (F – siła naciągu liny):

$$F + F_s = F_w + F_h$$

Moc ładowania:

$$P_{\text{ład}} = Fv = (645 + 4,418 - 19,83) \cdot 1 = 626,6 \text{ kW}$$

Równowaga sił w czasie “rozładowania” magazynu – pływak unosi się do góry:

$$F + F_s + F_h = F_w$$

Moc rozładowania:

$$P_{\text{rozład}} = Fv = (645 - 4,418 - 19,83) \cdot 1 = 617,8 \text{ kW}$$

Koniec