

XLI OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ

Zawody III stopnia

Rozwiązania zadań dla grupy elektryczno-elektronicznej

Rozwiązanie zadania 1

Ponieważ zgodnie z założeniami brak strat energii w obwodzie rezonatora ($R = 0$) oznacza, że impedancja Z układu zastępczego rezonatora jest równa jego reaktancji X . Reaktancję tą, którą można obliczyć ze wzoru:

$$X = \frac{(X_C - X_L) X_{C_0}}{X_C - X_L + X_{C_0}} = \frac{\left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right) \frac{1}{\omega C}}{\frac{1}{\omega C} - \omega L + \frac{1}{\omega C_0}} = \frac{(1 - \omega^2 LC) C_0}{\omega (C_0 + C - \omega^2 LC C_0)}. \quad (1)$$

Wypadkowa reaktancja szeregowego połączenia kwarcu i kondensatora C_s jest zatem równa:

$$\begin{aligned} X_w &= X_{C_s} + X = \frac{1}{\omega C_s} + \frac{(1 - \omega^2 LC) C_0}{\omega (C_0 + C - \omega^2 LC C_0)} = \\ &= \frac{\omega (C_0 + C - \omega^2 LC C_0) + \omega C_s C_0 (1 - \omega^2 LC)}{\omega^2 C_s (C_0 + C - \omega^2 LC C_0)} = \\ &= \frac{C_0 + C + C_s - \omega^2 LC (C_0 + C_s)}{\omega C_s (C_0 + C - \omega^2 LC C_0)}. \end{aligned} \quad (2)$$

W rezonansie szeregowym $\omega = \omega_s$ i licznik wyrażenia (2) jest równy 0.

$$C_0 + C + C_s - \omega_s^2 LC (C_0 + C_s) = 0. \quad (3)$$

Patronem honorowym OWT jest Minister Gospodarki.
Organizatorem OWT jest Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT.
Olimpiada jest finansowana ze środków MEN.

Zatem częstotliwość rezonansowa f_s kwarcu z dołączonym szeregowo kondensatorem C_s jest równa:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 + \frac{C}{C_0 + C_s}}. \quad (4)$$

Częstotliwość samej płytki kwarcowej $f_{s0} = 32768$ Hz. Zależność opisującą tę częstotliwość można wyznaczyć zakładając, że licznik zależności (1) jest równy 0.

$$f_{s0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (5)$$

Skrajne częstotliwości zakresu przestrajania są zatem równe:

$$f_{s1} = f_{s0} x_1 \quad \text{oraz} \quad f_{s2} = f_{s0} x_2. \quad (6)$$

Współczynniki x_1 oraz x_2 mają odpowiednio wartości:

$$x_1 = \sqrt{1 + \frac{C}{C_0 + C_{smin}}} = \sqrt{1 + \frac{2,8 \cdot 10^{-15}}{1,6 \cdot 10^{-12} + 2 \cdot 10^{-12}}} = 1,0003888, \quad (7)$$

$$x_2 = \sqrt{1 + \frac{C}{C_0 + C_{smax}}} = \sqrt{1 + \frac{2,8 \cdot 10^{-15}}{1,6 \cdot 10^{-12} + 50 \cdot 10^{-12}}} = 1,00002713. \quad (8)$$

Maksymalna i minimalna częstotliwość rezonansowa szeregowego układu rezonator K – kondensator C_s są zatem równe:

$$f_{s1} = f_{s0} x_1 = 32781 \text{ Hz} \quad ; \quad f_{s2} = f_{s0} x_2 = 32769 \text{ Hz}. \quad (9)$$

Odp.: Częstotliwość napięcia wyjściowego generatora można praktycznie przestroić o w zakresie od 32769Hz do 32781Hz. Można zatem zmieniając pojemność kondensatora C_s dostroić tak częstotliwość układu generatora, aby była równa 32755 Hz.

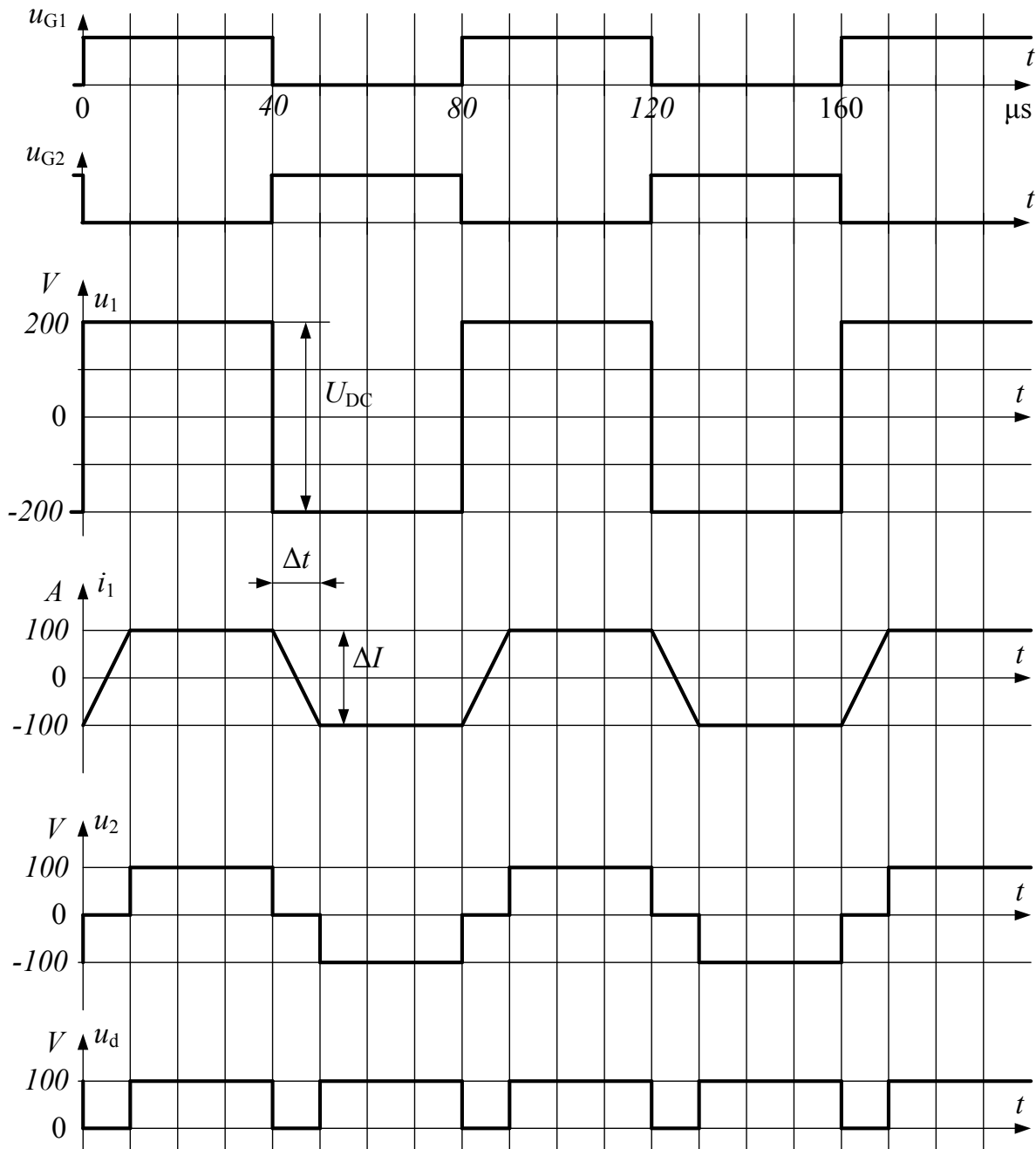
Rozwiązanie zadania 2

Na rysunku (rys.1) przedstawiono w kolejności przebiegi napięć u_{G1} , u_{G2} , oraz u_1 , prądu i_1 i napięć u_2 i u_d . Zgodnie z danymi zadania współczynnik wypełnienia impulsów jest równy $D = 0,5$, a okres T :

$$T = \frac{1}{f_i} = \frac{1}{12500} = 80 \mu\text{s}. \quad (1)$$

Napięcie u_1 ma kształt prostokątny i jest zsynchronizowane z napięciami sterującymi u_{G1} , u_{G2} . Wartość maksymalna tego napięcia jest równa

$$U_{1M} = \frac{U_{DC}}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{ V} . \quad (2)$$



Rys.1. Przebiegi czasowe napięć i prądów w układzie przekształtnika DC/DC

Przebieg prądu i_1 ma kształt trapezoidalny ponieważ indukcyjność L_S rozproszenia transformatora spowalnia podczas przełączania procesy narastania i opadania prądu.

W przedziale czasu (Δt), w którym spełniony jest warunek:

$$\left| i_2 \right| < I_d, \quad (3)$$

przewodzą diody $D_1 \div D_4$ i napięcia u_2 oraz u_d przyjmują wartości zerowe.

Napięcie indukowane na indukcyjności rozproszenia L_S podczas przełączania jest równe:

$$U_L = L_S \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (4)$$

Ponieważ w czasie przełączania (Δt) na dławiku L_S zaindukuje się napięcie

$U_L = \frac{U_{DC}}{2} = 200 \text{ V}$, a wartość maksymalna I_{1M} prądu i_1 jest równa:

$$I_{1M} = \frac{z_2}{z_1} I_d = \frac{1}{2} \cdot 200 = 100 \text{ A}, \quad (5)$$

to czas, w którym następuje liniowa zmiana chwilowej wartości prądu i_1 od wartości I_{1M} do wartości $-I_{1M}$ (tzn. $\Delta I = 100 - (-100) = 200 \text{ A}$) można obliczyć z zależności:

$$\Delta t = L_S \frac{\Delta I}{U_L} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{200}{200} = 10 \cdot 10^{-6} = 10 \mu\text{s}. \quad (6)$$

W czasie, kiedy spełniony jest warunek

$$\left| i_2 \right| = I_d, \quad (7)$$

przewodzi para diód D_1, D_4 lub D_2, D_3 , a prądy i_1 oraz i_2 ze względu na bardzo dużą wartość L_d utrzymują stałe wartości, a zatem napięcie na indukcyjności rozproszenia L_S ($L_S \ll L_d$) przyjmuje wartość zero.

Odpowiednie przebiegi napięć u_2 i u_d będą miały w tym wypadku kształt jak na rysunku (rys.1).

Wartości maksymalne tych przebiegów będą równe:

$$U_{2M} = U_{dM} = \frac{z_1}{z_2} U_{1M} = \frac{1}{2} \cdot 200 = 100 \text{ V}. \quad (8)$$

Wartość średnia napięcia u_d równa wartości średniej napięcia na odbiorniku jest równa:

$$U_d = U_0 = \frac{U_{dM} \left(\frac{T}{2} - \Delta t \right)}{\frac{T}{2}} = \frac{100 \left(\frac{80 \cdot 10^{-6}}{2} - 10 \cdot 10^{-6} \right)}{\frac{80 \cdot 10^{-6}}{2}} = 75 \text{ V}. \quad (9)$$

Rezystancja odbiornika

$$R_0 = \frac{U_0}{I_d} = \frac{75}{200} = 0,375 \Omega. \quad (10)$$

Odp.: Średnia wartość napięcia na odbiorniku jest równa 75 V, a rezystancja obciążenia 0,375 Ω.

Rozwiązanie zadania 3

Ad.a)

Dodatkowy przekształtnik DC/DC umożliwia zastosowanie każdego z możliwych połączeń baterii kondensatorów takiego, które zagwarantuje, że na każdym kondensatorze będzie jednakowe napięcie, a w stanie pełnego naładowania baterii będzie ono równe napięciu znamionowemu kondensatora. Można zatem rozważyć następujące połączenia:

1. Wszystkie kondensatory są połączone szeregowo $\left(C_B = \frac{3600}{8} = 450 \text{ F} \right)$, napięcie znamionowe baterii 21,6 V. W takim układzie trudno jest zagwarantować, równomierny rozkład napięć na kondensatorach.
2. Wszystkie kondensatory są połączone równolegle $\left(C_B = 3600 \cdot 8 = 28800 \text{ F} \right)$, napięcie znamionowe baterii 2,7 V. W takim układzie trudno jest zagwarantować równomierny rozpył prądów ładujących. Bardzo duża pojemność zastępcza. Czas ładowania baterii będzie relatywnie długi.
3. Cztery gałęzie po dwa kondensatory połączone szeregowo lub dwa szeregowo połączone zestawy w każdym po cztery kondensatory połączone równolegle $\left(C_B = 4 \cdot \frac{3600}{2} = 7200 \text{ F} \right)$ lub $\left(C_B = \frac{4 \cdot 3600}{2} = 7200 \text{ F} \right)$, napięcie znamionowe baterii 5,4 V. Układ możliwy do zastosowania. Jeżeli ma jednak współpracować z akumulatorem 12 V napięcie znamionowe takiej baterii jest za niskie.

4. Dwie gałęzie po cztery kondensatory połączone szeregowo lub cztery szeregowo połączone zestawy w każdy po dwa kondensatory połączone równolegle
 $\left(C_B = 2 \cdot \frac{3600}{4} = 1800 \text{ F} \quad \text{lub} \quad C_B = \frac{2 \cdot 3600}{4} = 1800 \text{ F} \right)$, napięcie znamionowe baterii 10,8V. Układ najlepiej spełnia warunki zadania. Relatywnie mała pojemność zastępcza C_B baterii, porównywalne z napięciem akumulatora (12 V) napięcie znamionowe baterii. Oba warianty połączeń przedstawiono na rysunku (rys. 1).



Rys.1. Możliwe do realizacji warianty połączeń baterii superkondensatorów

Ad.b)

Energia zgromadzona w jednym superkondensatorze naładowanym do napięcia znamionowego jest równa:

$$W = \frac{C U_N^2}{2} = \frac{3600 \cdot 2,7^2}{2} = 13122 \text{ J} .$$

Energia zgromadzona w baterii składającej się z ośmiu kondensatorów:

$$W_C = 8 \cdot W = 8 \cdot 13122 = 104976 \text{ J} \approx 105 \text{ kJ} .$$

Przy prądzie szczytowym ogniwa fotowoltaicznego energia dostarczona w jednostce czasu do baterii kondensatorów (moc) jest równa:

$$P_M = \eta U_f I_M = 0,95 \cdot 48 \cdot 4 = 182,4 \text{ W} .$$

Przy prądzie średnim:

$$P_{sr} = \eta U_f I_{sr} = 0,95 \cdot 48 \cdot 1 = 45,6 \text{ W} .$$

Zatem czasy ładowania baterii superkondensatorów są odpowiednio równe:

$$t_M = \frac{W_C}{P_M} = \frac{104976}{182,4} = 575,5 \text{ s} = 9,6 \text{ min} \quad \text{dla prądu szczytowego ,}$$

$$t_{sr} = \frac{W_C}{P_{sr}} = \frac{104976}{45,6} = 2302 \text{ s} = 38,4 \text{ min} \quad \text{dla prądu średniego .}$$

Ad.c)

Energia wytworzona przez panel fotowoltaiczny w 10 godzinnym cyklu pracy jest równa:

$$W_d = U_f I_{sr} t = 48 \cdot 1 \cdot 36000 = 1728000 \text{ J} = 1728 \text{ kJ} .$$

Akumulator musi zatem zmagazynować nadmiar energii, której nie może przechować bateria superkondensatorów:

$$W_A = W_d - W_C = 1728000 - 105000 = 1623000 \text{ J} = 1623 \text{ kJ} .$$

Pojemność tego akumulatora powinna zatem być równa:

$$Q_A = \frac{W_A}{U_A} = \frac{1623000}{12 \cdot 3600} = 37,6 \text{ Ah} \approx 40 \text{ Ah} .$$

Odp.: Przy prądzie szczytowym czas ładowania baterii superkondensatorów jest równy 9,6 min., przy prądzie średnim 38,4 min. Akumulator magazynujący energię ogniwa fotowoltaicznego współpracujący z baterią superkondensatorów powinien mieć pojemność około 40 Ah.

Rozwiązanie problemu technicznego

Wśród problemów, które należy poruszyć podczas omawiania tematu do najistotniejszych należą:

1. Zagadnienia związane z samym pojazdem samochodowym, dotyczące, np.:
 - (a) źródeł energii stosowanych w pojazdach samochodowych, a szczególnie ilości zgromadzonej w nich energii elektrycznej, możliwości szybkiego ładowania w dowolnym momencie jego eksploatacji, odpowiednia wytrzymałość mechaniczna, łatwość wymiany całych zespołów baterii itp.,
 - (b) jednostki napędu elektrycznego, np. liczba silników napędowych, sposobu synchronizacji ich pracy, itp.,
 - (c) elektrycznej sieci pokładowej, np. optymalizacja strat cieplnych, masy przewodów, dobór napięcia znamionowego, izolacji elektrycznej, itp.,
 - (d) niezawodność systemu bezpośredniego sterowania napędem elektrycznym oraz innych systemów pokładowych np. systemu zarządzania energią pojazdu, systemu kontroli i bezpieczeństwa jazdy, itp.,
 - (e) centralnego systemu sterowania ruchem pojazdu, itp..

2. Zagadnienia związane z eksploatacją dużej liczby pojazdów, które dotyczą np.:

- (a) sieci stacji dokujących do ładowania baterii pojazdów samochodowych i związana z tym rozbudowa sieci elektroenergetycznej i elektrowni, budowa magazynów energii elektrycznej, wykorzystanie tzw. czystej energii, itp.,
- (b) czasu ładowania lub wymiany baterii w pojeździe,
- (c) sposobu przekazania energii z sieci elektroenergetycznej lub magazynu energii do baterii,
- (d) przechowywania i dystrybucji eksploatowanych baterii,
- (e) utylizacji zużytych baterii.