

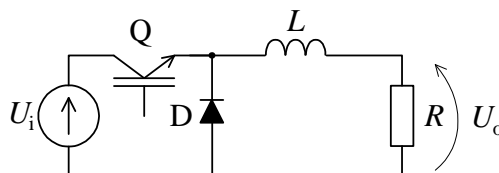
**„EUROELEKTRA”**  
**Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Elektronicznej**  
**Rok szkolny 2011/2012**

Zadania i rozwiązania dla grupy elektrycznej na zawody III stopnia (finał)

**Zadanie 1**

Na rysunku 1 przedstawiono schemat przekształtnika impulsowego DC-DC obniżającego napięcie (typu buck) o następujących danych:

- napięcie zasilania  $U_i = 10 \text{ V}$ ,
- częstotliwość kluczowania  $f = 20 \text{ kHz}$ ,
- współczynnik wypełnienia impulsów sterujących  $\gamma = 0,7$ ,
- rezystancja obciążenia  $R = 10 \Omega$ .



Rysunek 1

Wyznacz sprawność układu w podanym punkcie

pracy przyjmując następujące założenia: indukcyjność dławika  $L$  jest tak duża, że prąd obciążenia jest całkowicie wygładzony; dławik jest bezstratny; napięcie przewodzenia tranzystora ma wartość stałą, równą  $U_{CE} = 1 \text{ V}$ ; napięcie przewodzenia diody też ma wartość stałą, równą  $U_{FWD} = 0,8 \text{ V}$ .

**Rozwiązanie zadania 1**

Wartość średnia napięcia diody wynosi  $U_{D(AV)} = \gamma(U_i - U_{CE}) + (1 - \gamma)(-U_{FWD}) = 6,06 \text{ V}$ .

Wartość średnia spadku napięcia na dławiku w stanie ustalonym równa jest 0, więc wartość średnia napięcia  $U_{o(AV)}$  na rezystorze obciążenia  $R$  równa się wartości średniej napięcia na diodzie  $U_{D(AV)}$ . Ponieważ prąd płynący przez rezystor obciążenia  $R$  jest całkowicie wygładzony, zatem i napięcie na rezystorze jest całkowicie wygładzone, a jego wartość średnia  $U_{o(AV)}$  równa jest jego wartości skutecznej  $U_{o(RMS)}$ . Moc  $P_o$  na rezystorze  $R$  będzie

$$\text{równa } P_o = \frac{U_{o(RMS)}^2}{R} = \frac{U_{D(AV)}^2}{R} = 3,67 \text{ W}.$$

Wartość średnia prądu obciążenia  $I_{oAV}$  wyniesie  $I_{oAV} = \frac{U_{D(AV)}}{R} = 0,606 \text{ A}$  i będzie równa

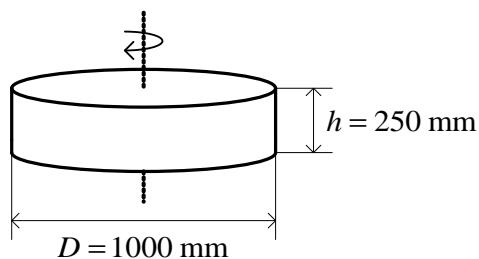
wartości średniej prądu płynącego przez tranzystor w czasie przewodzenia tranzystora. Stąd wartość średnia prądu pobieranego ze źródła zasilania  $I_{iAV}$  będzie równa  $I_{i(AV)} = \gamma I_{o(AV)} = 0,424 \text{ A}$ .

Moc pobierana ze źródła zasilania wyniesie  $P_i = U_i I_{i(AV)} = 4,24 \text{ W}$ .

Ostatecznie sprawność układu będzie równa  $\eta = \frac{P_o}{P_i} = 0,866$ .

**Zadanie 2**

Wyznacz pojemność baterii superkondensatorów o napięciu znamionowym  $400 \text{ V}$ , która jest zasobnikiem energii o takiej samej wartości maksymalnej co akumulator energii kinetycznej ruchu obrotowego, który stanowi jednorodna masa wirująca, pokazana na rysunku 2. Jej prędkość obrotowa jest równa jest  $n = 10000 \text{ min}^{-1}$ , natomiast jej gęstość wynosi  $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$ .



Rysunek 2

Wskazówka: moment bezwładności walca o promieniu  $R$  i masie  $m$ , wirującego wokół swojej osi wynosi  $J = 0,5 \cdot m \cdot R^2$ .

### Rozwiązanie zadania 2

W pierwszej kolejności należy wyznaczyć energię masy wirującej. Objętość walca wynosi:

$$V = \pi R^2 h = \frac{\pi D^2 h}{4} = 0,196 \text{ m}^3.$$

Masa walca będzie równa  $m = \rho V = 1532 \text{ kg}$ .

Moment bezwładności walca wyniesie  $J = \frac{1}{2} m R^2 = 191,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ .

$$\text{Energia masy wirującej równa jest } E_k = \frac{J \omega^2}{2} = \frac{J \left( \frac{2\pi n}{60} \right)^2}{2} = 105,0 \text{ MJ}.$$

Na podstawie równości energii kinetycznej masy wirującej  $E_k$  i energii zgromadzonej w polu elektrycznym baterii superkondensatorów  $E_C$  wyznaczyć można pojemność baterii

$$\text{superkondensatorów } C = \frac{2E_C}{U^2} = \frac{2E_k}{U^2} = 1312 \text{ F}.$$

### Zadanie 3

Wyznacz temperaturę złącza tranzystora IGBT w stanie ustalonym przy założeniu, że pracuje on impulsowo z częstotliwością przełączania  $f = 10 \text{ kHz}$  przy współczynniku wypełnienia impulsów  $\gamma = 0,4$ . Pozostałe parametry to: wartość średnia prądu tranzystora w czasie przewodzenia  $I = 10 \text{ A}$ , spadek napięcia na tranzystorze w czasie przewodzenia  $U_{CE} = 1,85 \text{ V}$ , energia strat przy załączaniu  $E_{on} = 2,65 \text{ mJ}$ , energia strat przy wyłączaniu  $E_{off} = 2,00 \text{ mJ}$ , rezystancja termiczna złącze – obudowa  $R_{thJC} = 0,66 \text{ K/W}$ , rezystancja termiczna obudowa – radiator (z uwzględnieniem pasty)  $R_{thCH} = 0,80 \text{ K/W}$ , rezystancja termiczna radiator – otoczenie  $R_{thHA} = 0,3 \text{ K/W}$ , temperatura otoczenia  $t_a = 15^\circ\text{C}$ .

### Rozwiązanie zadania 3

W pierwszej kolejności należy wyznaczyć moc strat tranzystora. Średnia moc strat przewodzenia równa jest  $P_{AV} = \gamma U_{CE} I = 7,4 \text{ W}$ .

Moc strat łączeniowych równa jest  $P_{sw} = f(E_{on} + E_{off}) = 46,5 \text{ W}$ .

Łączna moc strat tranzystora wynosi  $P_{tot} = P_{AV} + P_{sw} = 53,9 \text{ W}$ .

Temperatura złącza równa jest więc  $t_j = t_a + P_{tot} (R_{thJC} + R_{thCH} + R_{thHA}) = 109,9^\circ\text{C}$ .

### Zadanie 4

Dobierz moc typowego, trójfazowego silnika indukcyjnego o napięciu znamionowym  $U_N = 400 \text{ V}$  oraz wyznacz wartość prądów fazowych pobieranych z sieci przez silnik, jeżeli napędza on wciągarkę, która musi podnieść ładunek o masie  $m = 200 \text{ kg}$  na wysokość  $h = 10 \text{ m}$  w czasie  $t = 10 \text{ s}$ . Dobierz silnik z zapasem mocy znamionowej równym 70% mocy rzeczywistego obciążenia silnika. Przyjmij, że sprawność wciągarki równa jest  $\eta_w = 0,7$ , a sprawność silnika  $\eta_s$  i jego współczynnik mocy  $\cos\varphi$  przy obciążeniu go wciągarką wynoszą odpowiednio  $\eta_s = 0,80$  i  $\cos\varphi = 0,85$ .

### Rozwiązanie zadania 4

Praca  $W$  potrzebna na podniesienie masy  $m$  w czasie  $t$  na wysokość  $h$  przy użyciu wciągarki

$$\text{o sprawności } \eta_w = 0,7 \text{ równa jest } W = \frac{mgh}{\eta_w} = 28 \text{ kJ}.$$

Czas podnoszenia wynosi  $t$ , więc moc na wale wciągarki równa jest  $P = \frac{W}{t} = 2,8 \text{ kW}$ .

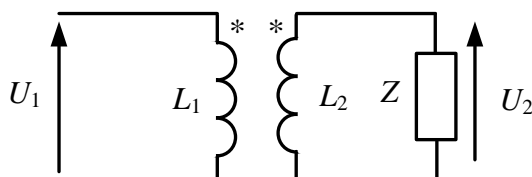
Dobieramy moc silnika z zapasem wynoszącym 70% mocy rzeczywistego obciążenia  $P_s = 1,7P = 4,76 \text{ kW}$ .

Dobieramy silnik o mocy znamionowej 5 kW. Prąd pobierany przez silnik z sieci przy obciążeniu go mocą  $P = 2,8 \text{ kW}$  wyniesie  $I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi \eta_s} = 5,94 \text{ A}$ .

### Zadanie 5

Na rysunku 3 przedstawiono schemat układu cewek idealnie sprzężonych. Układ zasilany jest napięciem sinusoidalnym o pulsacji  $\omega$ . Przy jakiej impedancji  $Z$  stosunek napięć skutecznych

$$\frac{U_1}{U_2} \text{ wynosi } \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}.$$



Rysunek 3

### Rozwiązanie zadania 5

Z uwagi na idealne sprzężenie mamy  $k = 1$  oraz  $M = k\sqrt{L_1 L_2}$ .

Impedancja widziana z zacisków odbiornika, po jego wycięciu i po zastosowaniu schematu zastępczego dla cewek sprzężonych, jest równa

$$\underline{Z}_T = \frac{(jX_{L1} - jX_M)jX_M}{jX_{L1} - jX_M + jX_M} + jX_{L2} - jX_M = 0.$$

Jeżeli  $\underline{Z}_T$  jest równe zero, to napięcie  $\underline{U}_2$  jest równe  $\underline{U}_2 = \underline{E}_T = \frac{\underline{U}_1 jX_M}{jX_{L1} - jX_M + jX_M}$ , stąd

$$U_2 = E_T = \frac{U_1 M}{L_1} \text{ oraz } \frac{U_1}{U_2} = \frac{L_1}{M} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}.$$

Dla każdej wartości impedancji  $Z$  stosunek napięć skutecznych  $\frac{U_1}{U_2}$  będzie wynosił  $\sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$ .

Zadanie to można sprawdzić rozwiązując obwód z dowolnym  $Z$  i zmieniając  $Z$  zawsze będzie ten sam stosunek napięć.

### Zadanie 6

Pomiar rezystancji  $R$  metodą techniczną możliwy jest w jednym z dwóch układów: a) układzie poprawnie mierzonego napięcia lub b) układzie poprawnie mierzonego prądu. Wyznaczyć wartość rezystancji  $R$ , dla której moduły względnych uchybów pomiarowych w obu układach będą jednakowe. Uwzględnić, że przy pomiarze w obu układach amperomierz miał taką samą rezystancję równą  $R_A = 2 \Omega$ , a woltomierz  $R_V = 100 \Omega$ . (Założyć, że wskazania mierników nie są obciążone uchybem).

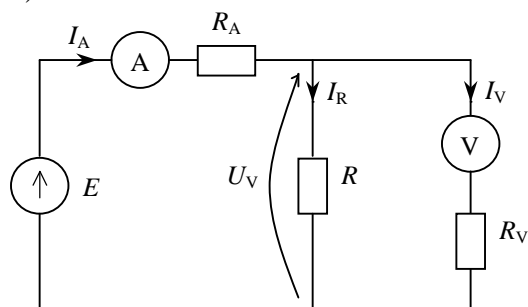
### Rozwiązanie zadania 6

W przypadku układu poprawnie mierzonego napięcia rezystancja pomiarowa określana

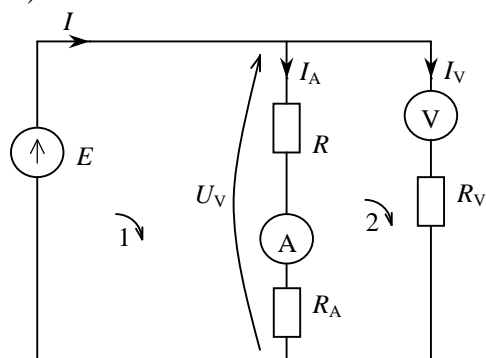
stosunkiem  $R_p = \frac{U_V}{I_A} = \frac{I_A \cdot \frac{RR_V}{R + R_V}}{I_A} = \frac{RR_V}{R + R_V}$  stąd uchyb względny

$$\delta_V = \frac{R_p - R}{R} = -\frac{R}{R + R_V}$$

a)



b)



W przypadku układu poprawnie mierzonego prądu rezystancja pomiarowa wynosi:

$$R_p = \frac{U_V}{I_A} = \frac{I_A \cdot (R + R_A)}{I_A} = R + R_A \text{ stąd uchyb względny } \delta_A = \frac{R_p - R}{R} = \frac{R_A}{R}$$

Wstawiając wyliczone uchyby do równania:  $|\delta_V| = |\delta_A|$  otrzymamy równanie kwadratowe

$R^2 - R_A R - R_V R = 0$ . Odrzucając rozwiązanie ujemne szukana rezystancja  $R$  wyraża się

$$\text{wzorem } R = \frac{R_A + \sqrt{R_A^2 + 4R_A R_V}}{2}.$$

Po wstawieniu danych wartość szukanej rezystancji  $R = 15,2 \, \Omega$ .

**Opracowali:**

dr inż. D. Wojciechowski (zad. 1, 2, 3, 4)

Akademia Morska Gdynia

dr inż. P. Jankowski (zad. 5, 6)

Akademia Morska Gdynia

**Sprawdzili:**

dr inż. Sławomir Cieślik

UTP Bydgoszcz

dr inż. M. Miszewski

PS PESA Bydgoszcz SA

**Zatwierdził:**

**Przewodniczący Rady Naukowej Olimpiady**  
**dr hab. inż. Andrzej Borys, prof. nadzw. UTP**