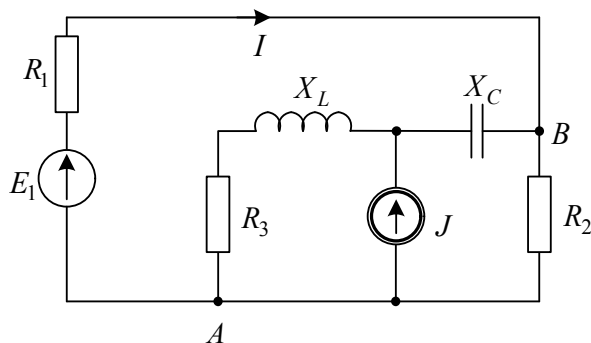


„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Elektronicznej
Rok szkolny 2009/2010
 Rozwiązania zadań dla grupy elektrycznej na zawody II stopnia

Zadanie nr 1 (autor dr inż. Eugeniusz Rożnowski)

Stosując twierdzenie Thevenina o zastępczym źródle napięcia, oblicz wartość prądu I . Schemat obwodu elektrycznego przedstawiono na rysunku 1.



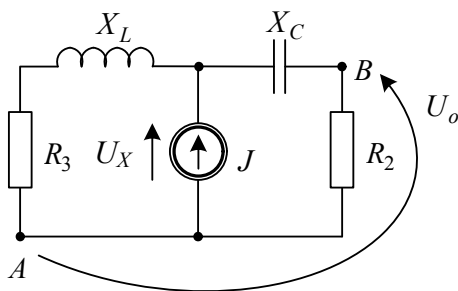
Dane:

$$\begin{aligned}\underline{E}_1 &= 20 \text{ V} \\ \underline{J} &= 4,0 \text{ A} \\ R_1 &= 5,0 \Omega \\ R_2 &= 3,0 \Omega \\ R_3 &= 4,0 \Omega \\ X_L &= 6,0 \Omega \\ X_C &= 2,5 \Omega\end{aligned}$$

Rys. 1.

Rozwiązanie:

-wyznaczam napięcie otwarcia \underline{U}_0 (przy odłączonej gałęzi zawierającej siłę elektromotoryczną \underline{E}_1 oraz rezystor R_1)



$$\underline{Z}_1 = R_3 + jX_L = (4 + j6) \Omega$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 - jX_C = (3 - j2,5) \Omega$$

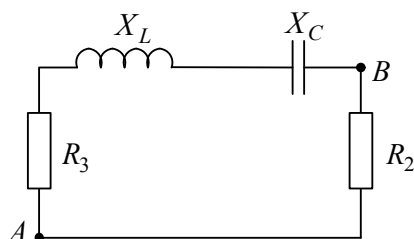
$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = \frac{(4 + j6)(3 - j2,5)}{(4 + j6) + (3 - j2,5)} = (3,543 - j0,629) \Omega$$

$$\underline{U}_X = \underline{J} \cdot \underline{Z} = 4(3,543 - j0,629) = (14,172 - j2,516) \text{ V}$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_X}{R_2 - jX_C} = \frac{14,172 - j2,516}{3 - j2,5} = (3,2 + j1,828) \text{ A}$$

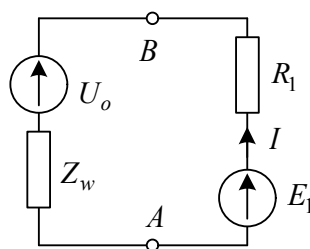
$$\underline{U}_0 = \underline{I}_1 \cdot R_2 = 3(3,2 + j1,828) = (9,6 + j5,484) \text{ V}$$

- wyznaczam impedancję widzianą z zacisków AB (obwód pasywny)



$$\underline{Z}_W = \frac{R_2(R_3 + jX_L - jX_C)}{R_2 + R_3 + jX_L - jX_C} = \frac{3(4 + j6 - j2,5)}{3 + 4 + j6 - j2,5} = \frac{12 + j10,5}{7 + j3,5} = (1,971 + j0,514) \Omega$$

- wyznaczam prąd \underline{I} płynący przez \underline{E}_1 oraz R_1 (obwód zastępczego generatora napięcia)

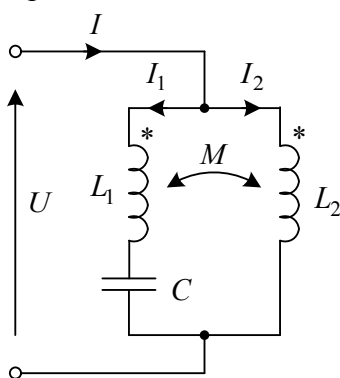


$$\underline{E}_1 - \underline{U}_0 - \underline{I}(R_1 + \underline{Z}_W) = 0$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{E}_1 - \underline{U}_0}{R_1 + \underline{Z}_W} = \frac{20 - 9,6 + j5,484}{5 + 1,971 + j0,514} = \frac{10,4 + j5,484}{6,971 + j0,514} = (1,542 + j0,673) = 1,682e^{j23,58^\circ} \text{ A}$$

Zadanie nr 2 (autor dr inż. Eugeniusz Rożnowski)

Przy jakiej pojemności kondensatora, w obwodzie elektrycznym (schemat pokazano na rys. 2) wystąpi rezonans prądów? Częstotliwość napięcia zasilającego obwód jest równa 1,0 kHz.



Rys. 2.

Dane:

$$L_1 = 40 \text{ mH}$$

$$L_2 = 20 \text{ mH}$$

$$M = 10 \text{ mH}$$

Rozwiązanie:

- przyjmuję:

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

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

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

-z drugiego prawa Kirchhoffa

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

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

- wyznaczam prądy \underline{I}_1 , \underline{I}_2 oraz \underline{I}

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

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

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

Ponieważ obwód zawiera tylko reaktancje, to rezonans zachodzi wtedy, gdy prąd \underline{I} jest równy zero. Warunek ten jest spełniony, gdy licznik wyrażenia na prąd \underline{I} przyrównamy do zera.

$$\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 - 2\underline{Z}_{12} = 0$$

- podstawiając impedancje otrzymamy

$$j\omega L_1 - j\frac{1}{\omega C} + j\omega L_2 - 2j\omega M = 0$$

stąd:

$$C = \frac{1}{\omega^2(L_1 + L_2 - 2M)} = \frac{1}{10^6(0,04 + 0,02 - 0,02)} = 25 \cdot 10^{-6} F$$

Zadanie nr 3 (autor dr inż. Mirosław Miszewski)

Za pomocą analizatora sieciowego wyznaczono następujące parametry napięcia zasilania: wartość skuteczną $U = 231 V$ oraz parametr $THD = 25\%$ (total harmonic distortion). Wyznacz wartość skuteczną harmoniczną podstawowej (pierwszej harmonicznnej) tego napięcia.

$$\text{Wskazówka: } THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} U_k^2}}{U_1},$$

gdzie: U_1 – wartość skuteczna pierwszej harmonicznnej,
 U_k – wartość skuteczna harmonicznnej rzędu k .

Rozwiązanie:

Na podstawie definicji mamy następującą zależność:

$$\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} U_k^2} = THD \cdot U_1,$$

a stąd

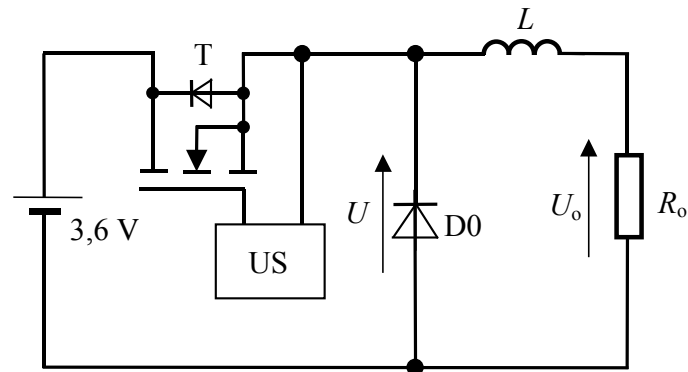
$$U = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} U_k^2} = \sqrt{U_1^2 + \sum_{k=2}^{\infty} U_k^2} = U_1 \sqrt{1 + \frac{\sum_{k=2}^{\infty} U_k^2}{U_1^2}} = U_1 \sqrt{1 + THD^2}.$$

Zatem ostatecznie

$$U_1 = \frac{U}{\sqrt{1 + THD^2}} = \frac{231}{\sqrt{1 + 0,25^2}} = 224 \text{ V}.$$

Zadanie nr 4 (autor dr inż. Mirosław Miszewski)

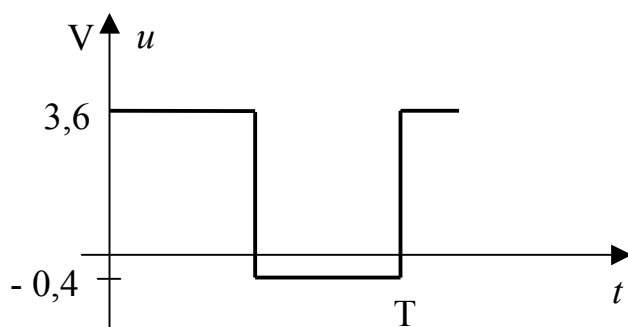
Zasilacz impulsowy prądu stałego (rys. 3), obniżający napięcie, zasila odbiornik o rezystancji R_o . Współczynnik wypełnienia impulsu sygnału sterującego tranzystor klucujący wynosi $d = 0,5$. Jako diodę zerową D0 zastosowano diodę Schottky'ego o spadku napięcia w kierunku przewodzenia $U_{F1} = 0,4 \text{ V}$. Po awarii tej diody zastąpiono ją zwykłą diodą krzemową o spadku napięcia w kierunku przewodzenia $U_{F2} = 1,2 \text{ V}$. 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 klucującego w stanie załączenia $R_{DS(on)} = 0$ i w stanie wyłączenia $R_{DS(off)} \rightarrow \infty$.



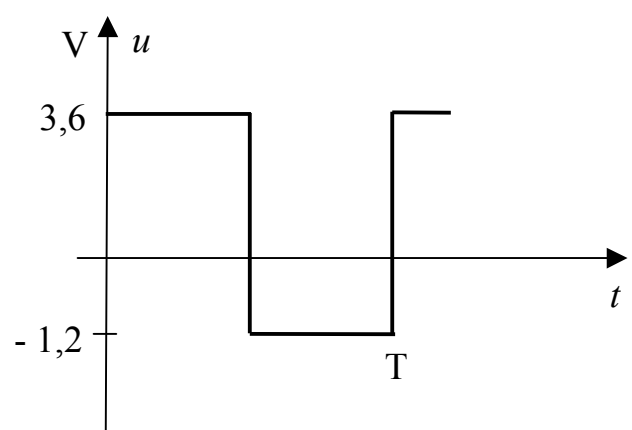
Rys. 3.

Rozwiązanie:

Przy podanych założeniach przebieg napięcia u w układzie z diodą Schottky'ego pokazano na rysunku 3.1.



Rys. 3.1.



Rys. 3.2.

Zatem wartość średnia napięcia na odbiorniku jest równa

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

Przebieg napięcia u po wymianie diody zerowej na diodę krzemową pokazano na rysunku 3.2. Wartość średnia napięcia na odbiorniku przy współczynniku wypełnienia impulsu sygnału sterującego tranzystor klucujący $d = 0,5$ wyniesie

$$U_{AV} = 3,6 \cdot 0,5 - 1,2 \cdot 0,5 = 1,2 \text{ V}.$$

Nowy współczynnik wypełnienia impulsu d' , przy którym wartość średnia napięcia na odbiorniku będzie równa 1,6 V, wyznaczyć można z równania

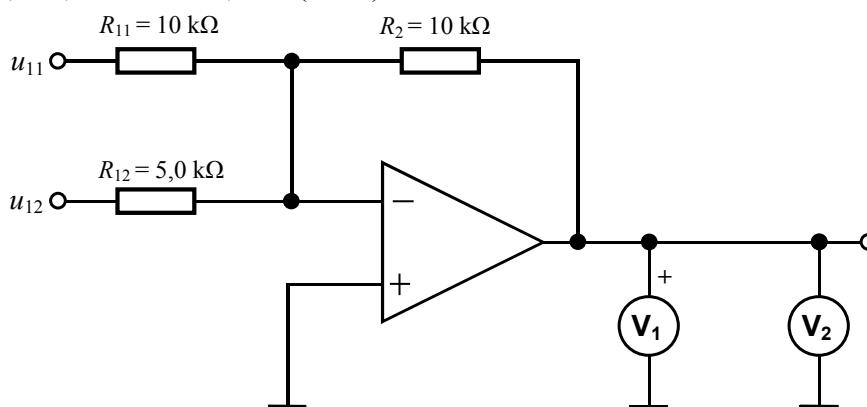
$$U'_{AV} = 1,6 = 3,6 \cdot d' - 1,2 \cdot (1 - d').$$

A zatem ostatecznie

$$d' = \frac{2,8}{4,8} = 0,58.$$

Zadanie nr 5 (autor dr inż. Mirosław Miszewski)

Oblicz wskazania woltomierzy: magnetoelektrycznego V_1 i elektromagnetycznego V_2 przyłączonych do wyjścia wzmacniacza operacyjnego w układzie pokazanym na rysunku 4. Przyjmij, że rezystancje wewnętrzne woltomierzy są nieskończenie duże, a wzmacniacz operacyjny jest elementem idealnym. Na wejście wzmacniacza podane są następujące napięcia: $u_{11} = U_{11} = 8,0 \text{ V}$; $u_{12} = \sqrt{2} \cdot 3,0 \cdot \sin(314 \cdot t) \text{ V}$.



Rys. 4.

Rozwiązanie:

Wzmacniacz operacyjny pracuje w układzie sumatora odwracającego fazę. Napięcie na jego wyjściu będzie równe

$$u_2 = -R_2(u_{11}/R_{11} + u_{12}/R_{12}) = -8 - \sqrt{2} \cdot 6 \cdot \sin(314 \cdot t) \text{ V}.$$

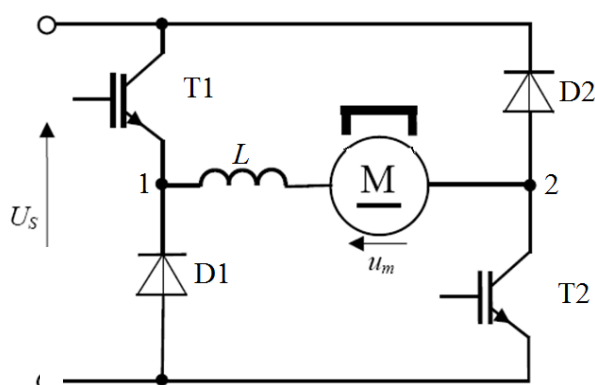
Jest to przebieg odkształcony, zawierający składową stałą oraz jedną harmoniczną. Miernik magnetoelektryczny wskazuje wartość średnią, a miernik elektromagnetyczny wartość skuteczną przebiegu. Wartość średnia takiego przebiegu jest równa wartości składowej stałej, czyli $U_{2AV} = -8 \text{ V}$, natomiast wartość skuteczną wyznacza się ze wzoru

$$U_{2RMS} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ V}.$$

Tę wartość pokaże miernik elektromagnetyczny.

Zadanie nr 6 (autor dr inż. Mirosław Miszewski)

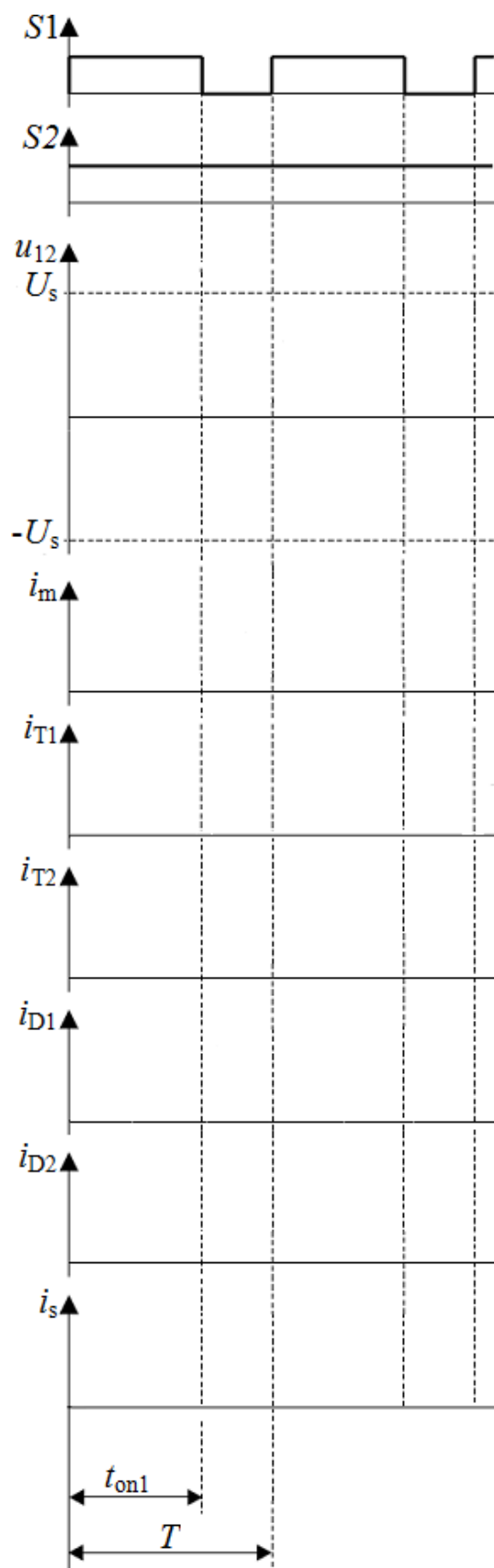
Na rysunku 5 przedstawiono schemat dwukwadrantowego przekształtnika impulsowego prądu stałego, zasilającego silnik prądu stałego. Silnik ten, wzbudzany magnesami trwałymi, obciążony jest momentem aktywnym (na przykład silnik dźwigu podnoszący lub opuszczający ciężar).



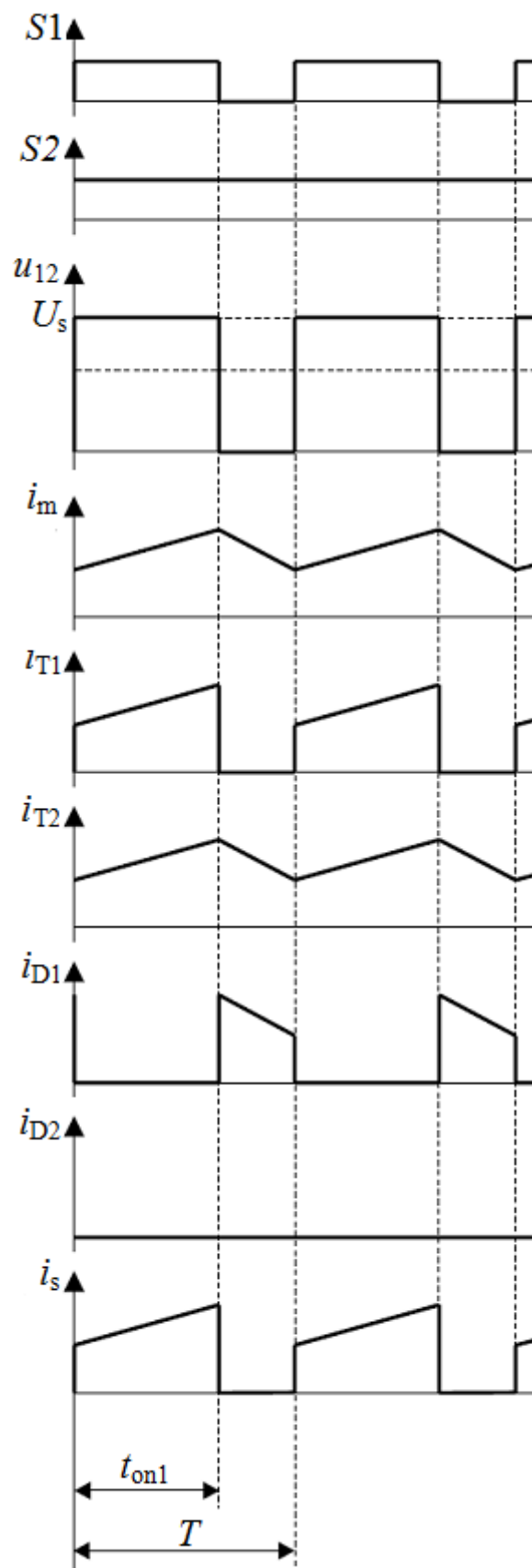
Rys. 5.

Tranzystory T1 i T2 w przekształtniku są sterowane sygnałami $S1$ i $S2$ w ten sposób, że przy pracy w pierwszym kwadrancie tranzystor T2 jest na stałe załączony, a tranzystor T1 impulsowany, natomiast przy pracy w czwartym kwadrancie tranzystor T1 jest stałe wyłączony, a tranzystor T2 jest impulsowany. Wyznacz wartość średnią napięcia U_{mAV} na zaciskach silnika dla $d_1 = 0,67$, $d_2 = 1,00$, przy czym napięcie źródła $U_s = 60 \text{ V}$. Uzupełnij podane na rysunku 6 przebiegi

w stanie ustalonym układu o: przebieg napięcia u_{12} na gałęzi poprzecznej, zawierającej silnik i dławik, przebiegi prądów tranzystorów T1 i T2, diod D1 i D2 oraz silnika i_m i źródła i_s . Przyjmij, że tranzystory, diody, dławik i źródło są elementami idealnymi, a indukcyjność dławika L i częstotliwość impulsowania są na tyle duże, że prąd silnika jest ciągły.



Rys. 6.



Rys. 6.1.

Rozwiązanie:

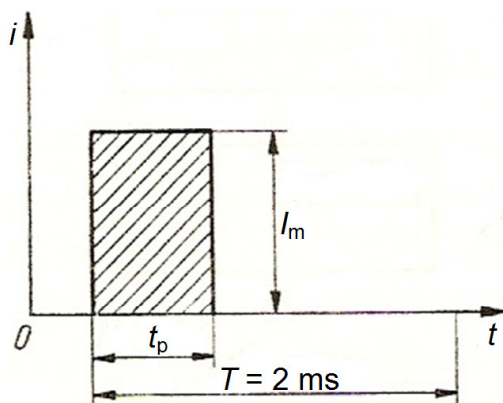
Poszukiwane przebiegi przedstawiono na rysunku 6.1. Ponieważ napięcie u_{12} nie zmienia znaku, zatem wartość średnia tego napięcia, a tym samym i wartość średnia napięcia u_m wyniesie

$$U_{12} = U_m = d \cdot U_s = 40 \text{ V}.$$

Zadanie nr 7

(autor dr inż. Mirosław Miszewski)

Na rysunku 8 przedstawiono przebieg czasowy prądu pewnego urządzenia energoelektronicznego. Wiadomo, że przy stałej wartości okresu $T = 2 \text{ ms}$ oraz niezmienniej wartości średniej prądu $I_{AV} = 10 \text{ A}$ charakteryzuje on się zmiennym względnym czasem przewodzenia $\lambda = t_p/T$. Wyznacz zależność na moc wydzielaną na rezystorze o rezystancji 1Ω , przez który przepływa ten prąd, w zależności od względnego czasu przewodzenia λ . Oblicz tę moc dla $\lambda = 0,5$ i $\lambda = 0,1$.



Rys. 8.

Rozwiązanie:

Znamy wartość średnią tego przebiegu

$$I_{AV} = \frac{I_m \cdot t_p}{T} = \lambda I_m.$$

Stąd można wyznaczyć wartość I_m w zależności od wartości względnego czasu przewodzenia

$$I_m = \frac{I_{AV}}{\lambda}.$$

Wartość skuteczna przebiegu wyraża się zależnością

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot I_m^2 \cdot t_p} = \sqrt{\lambda} I_m = \frac{I_{AV}}{\sqrt{\lambda}}.$$

Moc wydzielaną na rezystorze wyznacza się ze wzoru

$$P = I_{RMS}^2 R = \frac{I_{AV}^2}{\lambda} R.$$

Na tej podstawie

$$P_1 = \frac{10^2}{0,5} = 200 \text{ W};$$

$$P_2 = \frac{10^2}{0,1} = 1000 \text{ W}.$$

Jak widać przy tej samej wartości średniej prądu moc przyrasta bardzo szybko, gdy zmniejsza się względna wartość czasu przewodzenia impulsu.