



„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Elektronicznej
Rok szkolny 2015/2016

Zadania z elektroniki na zawody II stopnia
z rozwiązaniami

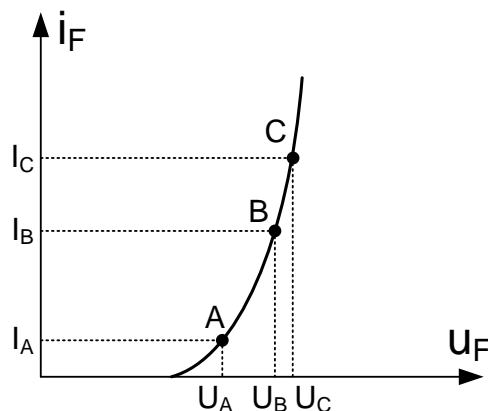
Instrukcja dla zdającego

1. Czas trwania zawodów: 120 minut.
2. II stopień olimpiady zawiera 6 zadań otwartych.
3. Należy podać poprawną odpowiedź wraz tokiem rozwiązania.
4. Za każdą prawidłową odpowiedź uzyskuje się maksymalnie 10 punktów. Maksymalna liczba punktów za 6 zadań do zdobycia to 60 punktów.
5. Można korzystać z przyborów do pisania, rozdawanych kart czystopisu i brudnopisu, kalkulatorów i tablic matematycznych. Korzystanie z notebooków, telefonów komórkowych itp. jest zabronione.

Życzymy powodzenia!

Zadanie 1

W laboratorium wykonano pomiary napięcia u_F oraz prądu i_F rzeczywistej diody, wykonanej z krzemu, w temperaturze pokojowej w punktach A i B zaznaczonych na rysunku. Uzyskano następujące wyniki pomiarów: $U_A = 0,35$ V, $I_A = 1$ mA, $U_B = 0,5$ V, $I_B = 10$ mA. Jaka będzie wartość napięcia diody w punkcie C charakterystyki przy prądzie $I_C = 25$ mA? W obliczeniach przyjąć, że prąd nasycenia I_S diody jest znacznie mniejszy od prądu przewodzenia i_F , a potencjał termiczny U_T wynosi 26 mV.



Odpowiedź

W przypadku diody rzeczywistej, w porównaniu do diody idealnej, uwzględnia się m. in. rezystancję szeregową wynikającą z rezystancji obszarów neutralnych półprzewodnika, styków metal-półprzewodnik i doprowadzeń metalowych. Charakterystyka statyczna diody w takim przypadku ma postać:

$$u_F = i_F \cdot R + U_T \cdot \ln\left(\frac{i_F}{I_S} + 1\right)$$

Rozwiązanie zadania polega na utworzeniu układu dwóch równań, do których wstawia się kolejno podane w zadaniu współrzędne punktów A i B. Niewiadomymi są: R – rezystancja szeregowo oraz I_S – prąd nasycenia. Można to zrobić w następujący sposób:

$$\begin{cases} 0,35 = 0,001 \cdot R + 0,026 \cdot \ln\left(\frac{0,001}{I_S} + 1\right) \\ 0,5 = 0,01 \cdot R + 0,026 \cdot \ln\left(\frac{0,01}{I_S} + 1\right) \end{cases}$$

Stosując założenie, że prąd nasycenia I_S diody jest znacznie mniejszy od prądu przewodzenia i_F otrzymujemy:

$$\begin{cases} 0,35 = 0,001 \cdot R + 0,026 \cdot \ln\left(\frac{0,001}{I_S}\right) \\ 0,5 = 0,01 \cdot R + 0,026 \cdot \ln\left(\frac{0,01}{I_S}\right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,35 = 0,001 \cdot R + 0,026 \cdot \ln 0,001 - 0,026 \cdot \ln I_S \\ 0,5 = 0,01 \cdot R + 0,026 \cdot \ln 0,01 - 0,026 \cdot \ln I_S \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ln I_S = \frac{0,001 \cdot R + 0,026 \cdot \ln 0,001 - 0,35}{0,026} \\ 0,5 = 0,01 \cdot R + 0,026 \cdot \ln 0,01 - 0,001 \cdot R - 0,026 \cdot \ln 0,001 + 0,35 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ln I_S = \frac{0,001 \cdot R + 0,026 \cdot \ln 0,001 - 0,35}{0,026} \\ R = \frac{-0,026 \cdot \ln 0,01 + 0,026 \cdot \ln 0,001 - 0,35 + 0,5}{0,009} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ln I_S = \frac{0,001 \cdot R + 0,026 \cdot \ln 0,001 - 0,35}{0,026} \\ R = 10 \Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ln I_S = -19,98 \\ R = 10 \Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_S = \exp(-19,98) \\ R = 10 \Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_S = 2,1 \text{ nA} \\ R = 10 \Omega \end{cases}$$

Na zakończenie wystarczy obliczyć wartość napięcia w punkcie C korzystając z podstawienia wyznaczonych wartości I_S oraz R:

$$U_C = 0,025 \cdot 10 + 0,026 \cdot \ln\left(\frac{0,025}{2,1 \cdot 10^{-9}}\right) = 0,673 \text{ V}$$

Zadanie 2

Widmo promieniowania widzialnego obejmuje zakres długości fal od 700 nm (barwa czerwona) do 400 nm (barwa niebieska). Jaką wartością szerokości przerwy energetycznej powinny charakteryzować się materiały półprzewodnikowe stosowane do konstrukcji diod emitujących promieniowanie w zakresie widzialnym?

W obliczeniach przyjąć wartość stałej Plancka $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$.

Odpowiedź

W przypadku diod elektroluminescencyjnych generacja fotonu odbywa się w wyniku rekombinacji promienistej elektronu położonego w paśmie przewodnictwa z dziurą znajdującą się w paśmie podstawowym. Tak więc, wartość energii E niezbędnej do uwolnienia fotonu powinna odpowiadać co najmniej wartości energii pasma zabronionego E_g . Energię fotonu można wyznaczyć ze wzoru:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Podstawiając do wzoru wymienione w treści długości fal otrzymujemy:

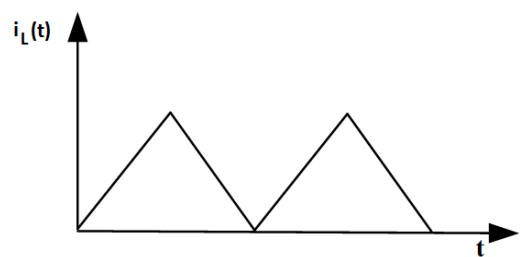
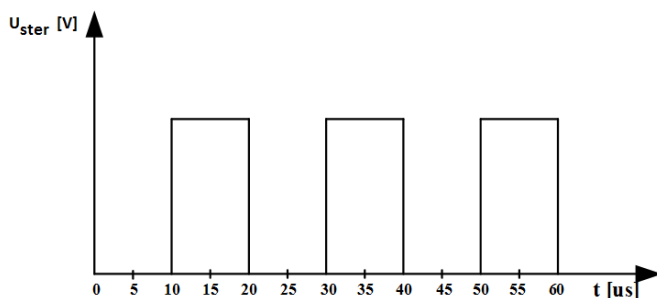
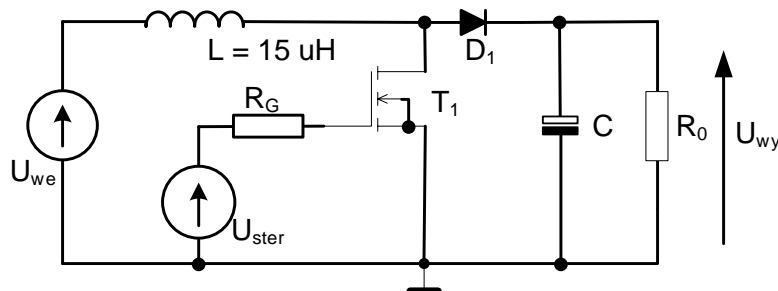
$$E_1 = \frac{4,14 \cdot 10^{-15} \cdot 3 \cdot 10^8}{700 \cdot 10^{-9}} = 1,77 \text{ eV}$$

$$E_2 = \frac{4,14 \cdot 10^{-15} \cdot 3 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} = 3,1 \text{ eV}$$

A zatem szerokość przerwy energetycznej materiału półprzewodnikowego powinna zawierać się w przedziale od 1,77 eV do 3,1 eV.

Zadanie 3

Na rysunku przedstawiono przetwornicę boost oraz przebiegi czasowe sygnału sterującego U_{ster} i prądu dławika i_L . Jaka będzie wartość napięcia wyjściowego rozważanej przetwornicy przy prądzie obciążenia $I_o = 2 \text{ A}$ i napięciu wejściowym równym 15 V.



Odpowiedź

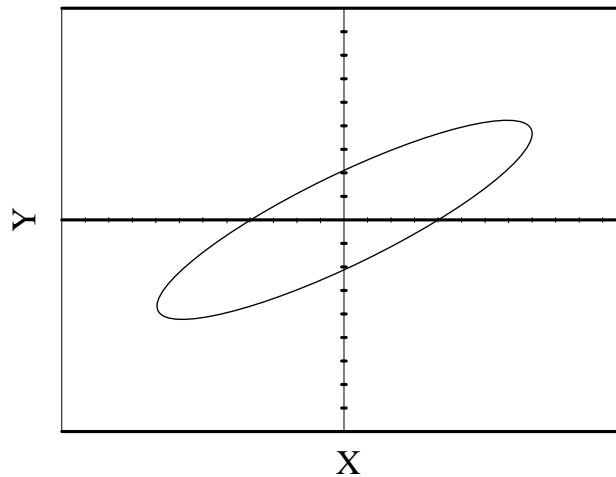
Przedstawiony przebieg sygnału sterującego wskazuje, że częstotliwość sygnału sterującego jest równa 50 kHz, a okres $T = 20 \text{ us}$. Współczynnik wypełnienia sygnału sterującego $d = 0,5$. Z przebiegu $i_L(t)$ widać, że przetwornica pracuje w trybie DCM, zatem wartość napięcia wyjściowego przetwornicy będzie równa:

$$U_{wy} = U_{we} \cdot \left[1 + \frac{U_{we} \cdot d^2 \cdot T}{2 \cdot L \cdot I_0} \right]$$

Zgodnie z oczekiwaniem, jako, że rozważana przetwornica podwyższa napięcie wejściowe Podstawiając dane otrzymuje się $U_{wy} = 33,75 \text{ V}$.

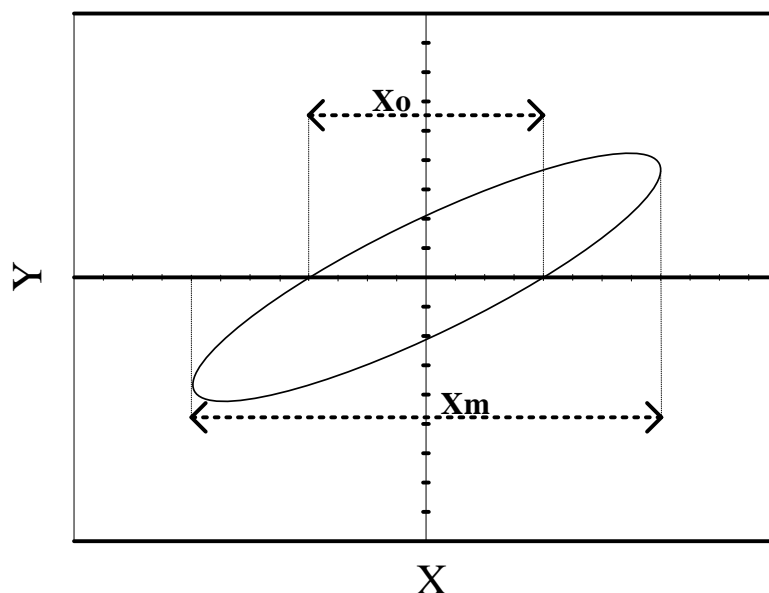
Zadanie 4

Na rysunku przedstawiono widok ekranu oscyloskopu, przedstawiające złożenie 2 sygnałów. Oblicz wartość przesunięcia fazowego między sygnałami.



Odpowiedź:

Z wykresu krzywej Lissajous można obliczyć na podstawie pomiaru na ekranie oscyloskopu długość elipsy X_0 odpowiadającej zerowej wartości rzędnej ($Y=0$) oraz maksymalną długość rzutu elipsy na oś odciętych X_m .



Podstawiając do równania można wyznaczyć przesunięcie fazowe:

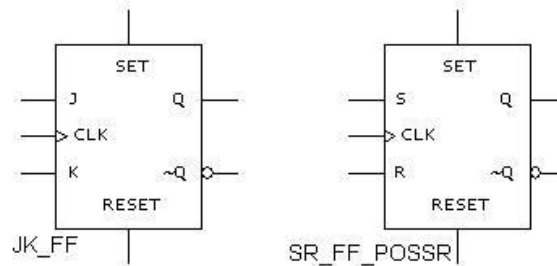
$$= \arcsin\left(\pm \frac{X_0}{X_m}\right)$$

$$= \arcsin\left(\frac{8}{16}\right) = \arcsin\left(\frac{1}{2}\right) = 0,52 \text{ rad}$$

lub $\varphi = \left(\frac{\pi}{6}\right)$

Zadanie 5.

Dokonaj konwersji przerzutnika RS na JK, przedstaw cały tok rozumowania. Symbole logiczne przerzutnika JK oraz RS przedstawiono na rysunku.



Odpowiedź

Należy zrealizować przerzutnik JK za pomocą przerzutnika RS. W celu dokonania konwersji przerzutnika RS na JK niezbędne jest przedstawienie tabeli stanów przerzutnika JK oraz tabeli wzbudzeń przerzutnika RS. Następnie należy określić funkcje opisujące wejścia informacyjne R i S.

Tabela stanów				wzbudzeń	
J(t)	K(t)	Q(t)	Q(t+1)	R(t)	S(t)
0	0	0	0	x	0
0	0	1	1	0	x
0	1	0	0	x	0
0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	x
1	1	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0

tablice Karnaugh dla wejścia R(t) oraz S(t) przyjmują następującą postać

R(t)

Q(t)	J(t),K(t)			
	00	01	11	10
0	x	x	0	0
1	0	1	1	0

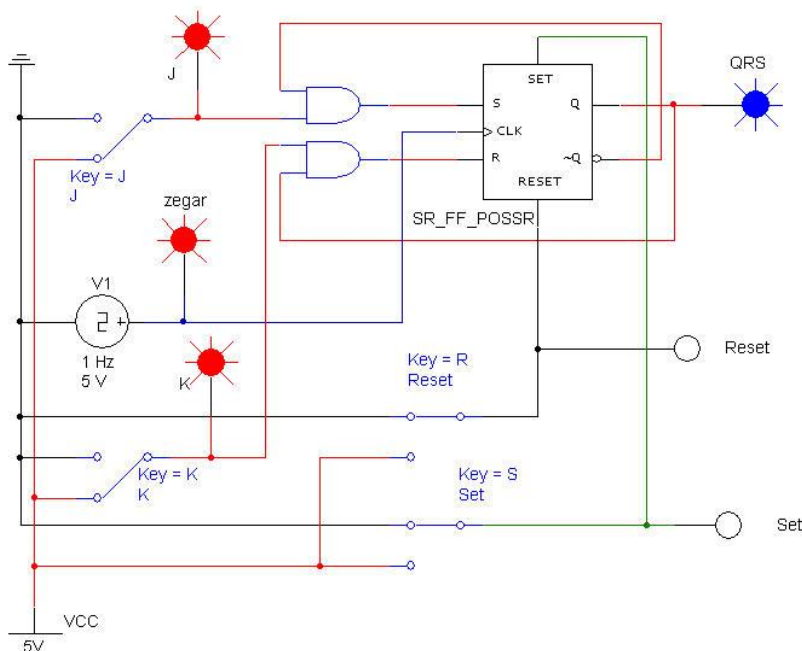
S(t)

Q(t)	J(t),K(t)			
	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	x	0	0	x

W wyniku minimalizacji uzyskujemy następujące funkcje opisujące wejścia informacyjne:

$$R(t) = K(t)Q(t) \text{ oraz } S(t) = J(t)\overline{Q(t)}.$$

Schemat zaprojektowanego układu (w środowisku Multisim) przedstawiono na rysunku, zawiera on również podłączone wejścia asynchroniczne Reset i Set.

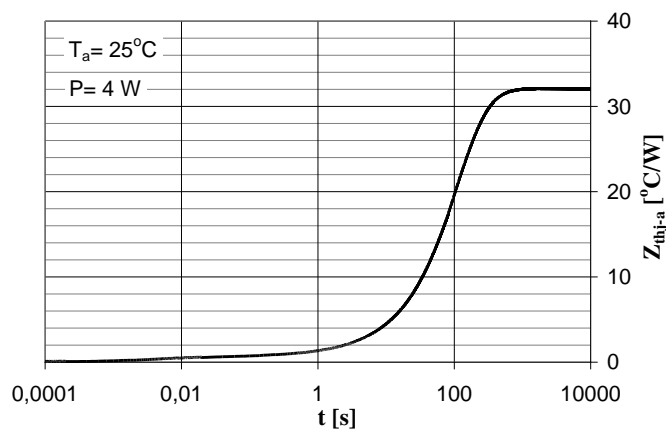


Zadanie 6

Na obudowie tranzystora JFET mocy zamocowano diodę typu 1N4148 za pomocą kleju termoprzewodzącego, uzyskując w ten sposób sprzężenie termiczne obu elementów, co zilustrowano na rysunku 1.



Rys. 1. Widok tranzystora



Rys. 2. Przebieg $Z_{thj-a}(t)$

Następnie wykonano pomiar czasowego przebiegu przejściowej impedancji termicznej tranzystora między jego wnętrzem a otoczeniem $Z_{thj-a}(t)$ przy mocy czynnej wydzielonej w tranzystorze $P = 4 \text{ W}$ w temperaturze otoczenia wynoszącej 25°C . Wynik pomiaru przedstawiono na rysunku 2.

W trakcie trwania tego pomiaru do diody dołączono niezależne źródło prądu stałego o wydajności 1 mA tak, aby dioda była spolaryzowana w kierunku przewodzenia. Obliczyć wartość napięcia U_F zmierzonego na zaciskach diody w stanie termicznie ustalonym wiedząc, że wartość tego napięcia w temperaturze 25°C wynosi $0,6 \text{ V}$, a temperaturowy współczynnik jego zmian przy prądzie 1 mA $k = -2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Przyjąć w obliczeniach, że wymiana ciepła między obudową tranzystora i diody odbywa się w sposób bezstratny, natomiast rezystancja termiczna pomiędzy wnętrzem tranzystora a jego obudową $R_{thj-c} = 2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$.

Odpowiedź

Rezystancja termiczna jest wartością asymptotyczną przejściowej impedancji termicznej przy czasie $t \rightarrow \infty$. Z rysunku 2 widać, że stan termicznie ustalony jest osiąganym po upływie już około 1000 s. W rozważanym przypadku, dla czasów $t > 1000$ s wartość przejściowej impedancji termicznej jest praktycznie stała i odpowiada wartości rezystancji termicznej. Z wykresu można odczytać, że w stanie termicznie ustalonym wartość rezystancji termicznej tranzystora między wnętrzem a otoczeniem wynosi $R_{thj-a} = 32 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

Rezystancja termiczna R_{thj-a} jest zdefiniowana jako stosunek nadwyżki temperatury wnętrza powyżej temperatury otoczenia do wartości mocy czynnej powodującej tą nadwyżkę, zgodnie ze wzorem:

$$R_{thj-a} = \frac{T_j - T_a}{P}$$

analogicznie, definicja rezystancji termicznej między wnętrzem a obudową:

$$R_{thj-c} = \frac{T_j - T_c}{P}$$

stąd temperatura wnętrza tranzystora w stanie ustalonym wynosi:

$$T_j = T_a + R_{thj-a} \cdot P = 25 + 32 \cdot 4 = 153^\circ\text{C}$$

natomiast temperatura obudowy tranzystora wynosi:

$$T_c = T_j - R_{thj-c} \cdot P = 153 - 2 \cdot 4 = 145^\circ\text{C}$$

Sprężenie termiczne w podanych w zadaniu warunkach powoduje, że temperatura zarówno obudowy jak i wnętrza diody jest w przybliżeniu równa temperaturze obudowy tranzystora.

Stąd wartość napięcia na diodzie można wyznaczyć następująco:

$$u_{F(145^\circ\text{C})} = u_{F(25^\circ\text{C})} + k \cdot \Delta T = 0,6 - 0,002 \cdot (145 - 25) = 0,36\text{V}$$

Opracowali:

dr inż. Damian Bisewski

dr inż. Kalina Detka

dr inż. Krystyna Noga