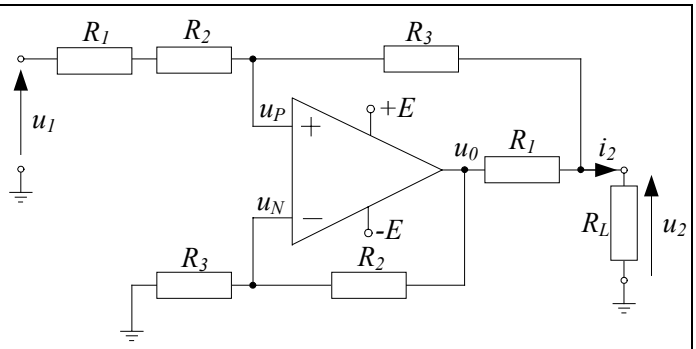
„EUROELEKTRA”

OLIMPIADA ELEKTRYCZNA I ELEKTRONICZNA

Rok szkolny 2008/2009

Zadania dla grupy elektroniczno-telekomunikacyjnej z rozwiązaniami – **Zawody III stopnia**

1. Oblicz wartość prądu i_2 płynącego przez rezystancję obciążenia R_L w zależności od napięć u_1 i u_2. Kiedy ten układ można potraktować jako idealne źródło prądowe?



Dla układu można napisać następujące równania:

$$\begin{cases} \dfrac{u_1 - u_P}{R_1 + R_2} = \dfrac{u_P - u_2}{R_3} \text{ (z pierwszego prawa Kirchhoffa)} \\ u_N = u_0 \dfrac{R_3}{R_2 + R_3} \text{ (z dzielnika napięciowego)} \\ i_2 = \dfrac{u_0 - u_2}{R_1} - \dfrac{u_2 - u_1}{R_1 + R_2 + R_3} \text{ (z pierwszego prawa Kirchhoffa)} \end{cases}$$

przy pominięciu bardzo małych prądów wejściowych, wpływających do wejścia „plus” i wejścia „minus” wzmacniacza operacyjnego (można założyć, że są one równe zero).

W związku z tym, że wzmacniacz operacyjny ma bardzo dużą rezystancję wejściową i nieskończenie wielkie wzmocnienie, można przyjąć, że $u_P = u_N$ (tzw. „zwarcie wirtualne”). Wykorzystując ten fakt w równaniu pierwszym i drugim, otrzymamy z nich, po przekształceniu

$$u_0 = u_1 \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + u_2 \frac{R_2 + R_3}{R_3} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad .$$

Podstawiając następnie u_0, dane powyższą zależnością, do równania określającego prąd i_2, otrzymamy, po wykonaniu szeregu przekształceń, następującą zależność:

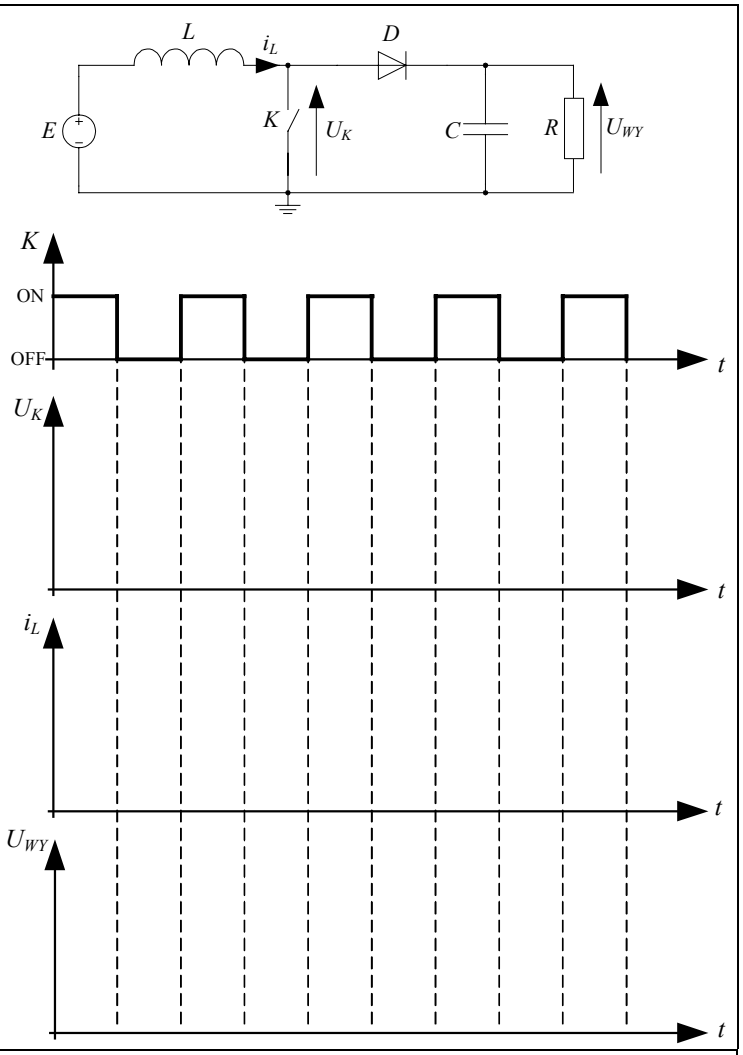
$$i_2 = \frac{u_1}{R_1} + \frac{R_2 - R_3}{R_1 R_3} u_2 .$$

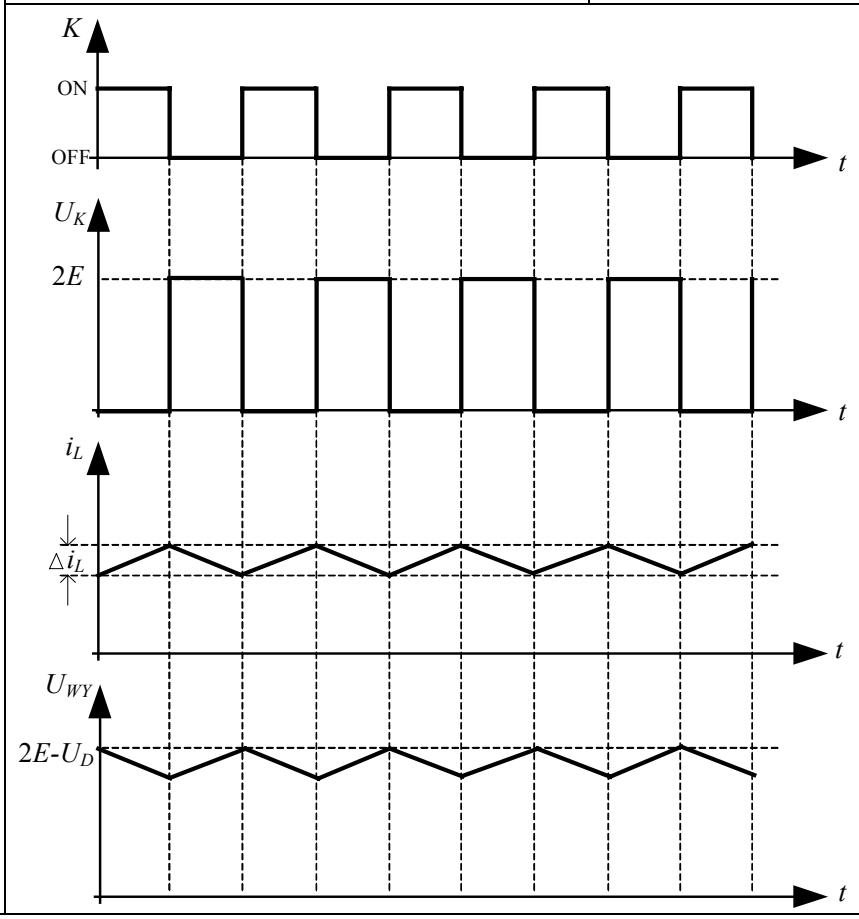
Zauważmy, że jeśli przyjmiemy $R_2 = R_3$ w ostatnim równaniu, to prąd wyjściowy i_2 nie będzie zależał od napięcia u_2. Obowiązywać będzie wtedy prosta zależność

$$i_2 = \frac{u_1}{R_1} .$$

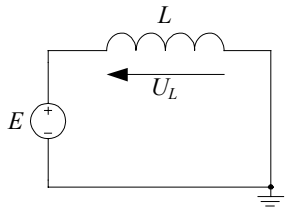
Z zależności tej wynika, że rezystancja wyjściowa układu będzie w tym przypadku nieskończenie wielka. To znaczy układ będzie można uważać za idealne źródło prądowe (prąd wyjściowy nie zależy wtedy od napięcia na wyjściu) sterowane napięciem wejściowym.

2. Dla układu przedstawionego na rysunku, naszkicuj przybliżone przebiegi napięcia wyjściowego U_{WY}, napięcia na kluczu U_K oraz prądu cewki i_L w warunkach ustalonych, tzn. gdy czas od momentu włączenia układu jest wielokrotnie większy od okresu przełączania klucza. Swoje szkice przebiegów nanieś na właściwych rysunkach zamieszczonych po prawej stronie. Przyjmij, że klucz K jest włączony (zwarty) przez czas Δt_{ON}, a wyłączony (rozwarty) przez czas Δt_{OFF} ($\Delta t_{ON} = \Delta t_{OFF}$). Określ przybliżone wartości na osiach rzędnych na wykresach, korzystając z oznaczeń podanych na schemacie i przyjmując U_D jako napięcie na diodzie w kierunku przewodzenia.
Jaką rolę może spełniać ten układ?
Do analizy należy przyjąć, że prąd płynący przez indukcyjność L nie maleje nigdy do zera, a stała czasowa RC jest znacznie większa niż okres $T = \Delta t_{ON} + \Delta t_{OFF}$. Należy również założyć, że klucz jest idealny, to znaczy iż w momencie jego przełączania nie występują żadne zakłócenia.



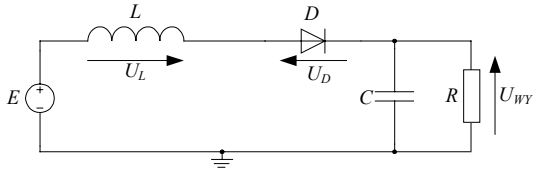


Gdy klucz jest zwarty, prąd płynący przez indukcyjność L rośnie. Napięcie na indukcyjności jest proporcjonalne do szybkości wzrostu prądu i w tym wypadku wynosi E, jak wynika z rysunku i równania podanego poniżej.



$$E = L\frac{\Delta i_L}{\Delta t_{ON}}.$$

Napięcie na kluczu U_K wynosi wtedy 0V.
Natomiast, gdy klucz zostanie rozwarty, prąd w cewce zacznie maleć. A zatem na cewce wytworzy się napięcie o przeciwnym znaku niż poprzednio. Zilustrowano to na kolejnym rysunku



Drugie prawo Kirchhoffa dla układu z rozwartym kluczem K ma postać

$$E + L\frac{\Delta i_L}{\Delta t_{OFF}} = U_{WY} + U_D.$$

gdzie przyjęto, że wielkość Δi_L jest dodatnia. Ponadto U_{WY} w tym równaniu oznacza napięcie na wyjściu układu (tj. na równoległym obwodzie RC), a U_D jest napięciem przewodzenia diody.
Zauważmy następnie, że z zasady ciągłości prądu płynącego przez cewkę w momencie przełączenia (może on zmienić swój kierunek, ale nie wartość bezwzględną) wynika, że zmiany Δi_L w obydwu równaniach są sobie równe. Zatem, podstawiając Δi_L z pierwszego równania do drugiego, otrzymamy

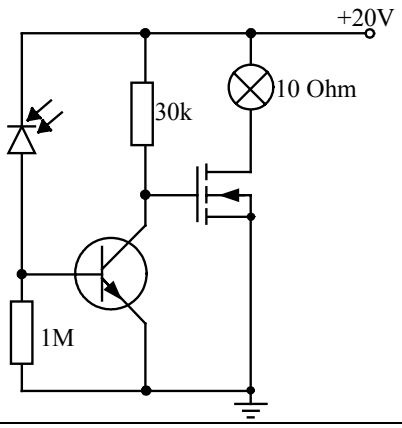
$$E = -L\frac{\frac{E\Delta t_{ON}}{L}}{\Delta t_{OFF}} + U_{WY} + U_D.$$

Przy założeniu $\Delta t_{ON} = \Delta t_{OFF}$ otrzymamy ostatecznie:

$$U_{WY} = 2E - U_D.$$

Stąd wynika również, że napięcie na kluczu jest w tym przypadku równe $U_K = 2E$.
Ze wzoru na U_{WY} widać, że układ około dwukrotnie zwiększa napięcie wejściowe.
Jest to zatem przetwornica podwyższająca napięcie. Jej napięcie wyjściowe zależy od czasów włączenia i wyłączenia klucza. Ze względu na obciążenie układu R, napięcie to nie będzie stałe. Jego tętnienia będą zależały od wartości pojemności filtrującej i wartości oporności obciążenia. Pojemność C będzie doładowywać się w czasie rozwartego klucza K prądem płynącym z cewki, a rozładowywać przez oporność R przy kluczu K zwartym.

3. Opisz zasadę działania układu pokazanego na rysunku. Kiedy żarówka się włączy i jaka w przybliżeniu będzie wartość prądu płynącego przez nią? Jaka moc wydzieli się w tranzystorze MOSFET w najmniej korzystnym przypadku. Jakie widzisz wady takiego układu jako wyłącznika zmierzchowego?



Układ z rysunku służy do automatycznego włączenia oświetlenia (żarówki) po zapadnięciu zmroku, gdy na fotodiodę pada bardzo mała ilość energii świetlnej.
Oświetlenie fotodiody w dzień powoduje, że zaczyna płynąć przez nią znaczniejszy prąd. W wyniku tranzystor NPN zostaje wysterowany (tym znaczniejszym prądem) tak, że przechodzi w stan nasycenia. W stanie nasycenia tranzystora NPN napięcie kolektor-emiter jest bardzo małe. To powoduje „przytkanie" tranzystora MOSFET i w wyniku zgaszenie żarówki.
Po zapadnięciu zmierzchu (zanik oświetlenia fotodiody) przez fotodiodę nie płynie prąd. Tranzystor NPN ulega wyłączeniu (w tym sensie, że napięcie kolektor-emiter znacznie wzrasta). Powoduje to, że napięcie na bramce tranzystora MOSFET rośnie i tranzystor ten zostaje włączony (zaczyna płynąć duży prąd drenu). W konsekwencji zaczyna się świecić żarówka.
W tym przypadku prąd płynący przez żarówkę będzie wynosił około:

$$I \approx \frac{20V}{10\Omega} = 2A\,.$$

Wady układu jako wyłącznika zmierzchowego:

- Konieczność oddzielenia obwodu z żarówką od obwodu z fotodiodą (świecąca żarówka może oświetlać diodę) – układ może się wzbudzać.
- Przy słabym oświetleniu, tranzystor MOSFET może się włączyć, ale nie będzie pracował w stanie nasyconym, co spowoduje wydzielanie się na nim znacznej mocy (należałoby dodać układ progowy pomiędzy fotodiodę a tranzystor NPN).
- Maksymalnie na tranzystorze MOSFET może wydzielić się znaczna moc. Będzie to miało miejsce, gdy rezystancja tranzystora będzie równa w przybliżeniu rezystancji żarówki. (Na podstawie zasady: maksymalna moc na oporniku obciążenia wydziela się wtedy, gdy jego wartość równa się oporności wewnętrznej napięciowego źródła zasilania.) Wtedy prąd drenu będzie wynosił:

$$I \approx \frac{20V}{10\Omega + 10\Omega} = 1A\,,$$

a moc tracona w tranzystorze wyniesie $P=UI=RI^2=10W$.

4. Zaprojektuj realizację translatora 3-bitowego kodu Gray'a (dwa kolejne słowa kodowe różnią się tylko stanem jednego bitu) na kod zanegowany 1z8 (słowa kodowe o długości 8 bitów zawierają zawsze tylko jeden bit o wartości 0) przy wykorzystaniu minimalnej liczby bramek logicznych typu NAND.

Tabela stanów translatora

Dzies.	Kod Gray'a			Kod zanegowany 1 z 8							
	g_2	g_1	g_0	a_7	a_6	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
2	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
3	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
4	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
6	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
7	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

$$a_0 = g_0 + g_1 + g_2 = \overline{\overline{g_0 + g_1 + g_2}} = \overline{\overline{g_0} \cdot \overline{g_1} \cdot \overline{g_2}} \quad ,$$

$$a_1 = \overline{g_0} + g_1 + g_2 = \overline{\overline{g_0} + g_1 + g_2} = \overline{g_0 \cdot \overline{g_1} \cdot \overline{g_2}} \quad ,$$

$$a_2 = \overline{g_0} + \overline{g_1} + g_2 = \overline{\overline{g_0} + \overline{g_1} + g_2} = \overline{g_0 \cdot g_1 \cdot \overline{g_2}} \quad ,$$

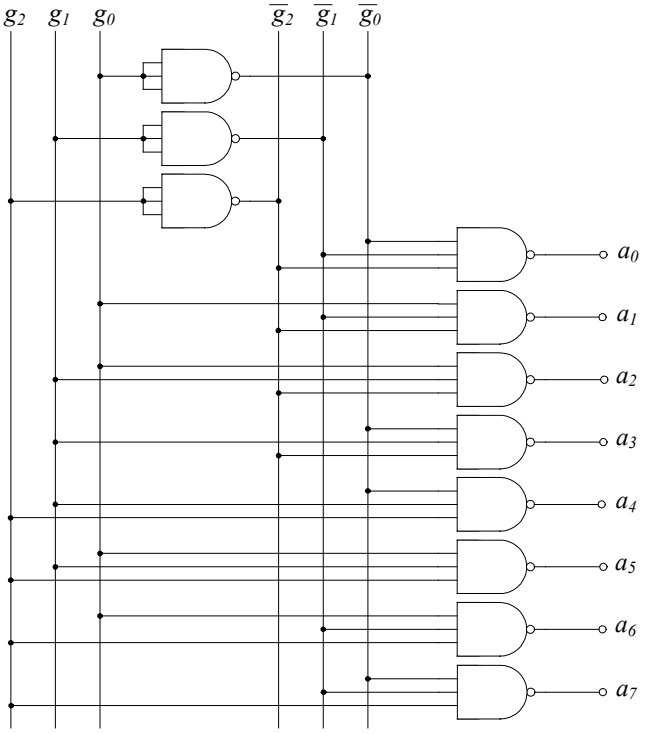
$$a_3 = g_0 + \overline{g_1} + g_2 = \overline{\overline{g_0} + \overline{g_1} + g_2} = \overline{\overline{g_0} \cdot g_1 \cdot \overline{g_2}} \quad ,$$

$$a_4 = g_0 + \overline{g_1} + \overline{g_2} = \overline{\overline{g_0} + \overline{g_1} + \overline{g_2}} = \overline{\overline{g_0} \cdot g_1 \cdot g_2} \quad ,$$

$$a_5 = \overline{g_0} + \overline{g_1} + \overline{g_2} = \overline{\overline{g_0} + \overline{g_1} + \overline{g_2}} = \overline{g_0 \cdot g_1 \cdot g_2} \quad ,$$

$$a_6 = \overline{g_0} + g_1 + \overline{g_2} = \overline{\overline{g_0} + g_1 + \overline{g_2}} = \overline{g_0 \cdot \overline{g_1} \cdot g_2} \quad ,$$

$$a_7 = g_0 + g_1 + \overline{g_2} = \overline{\overline{g_0} + g_1 + \overline{g_2}} = \overline{\overline{g_0} \cdot \overline{g_1} \cdot g_2} \quad .$$

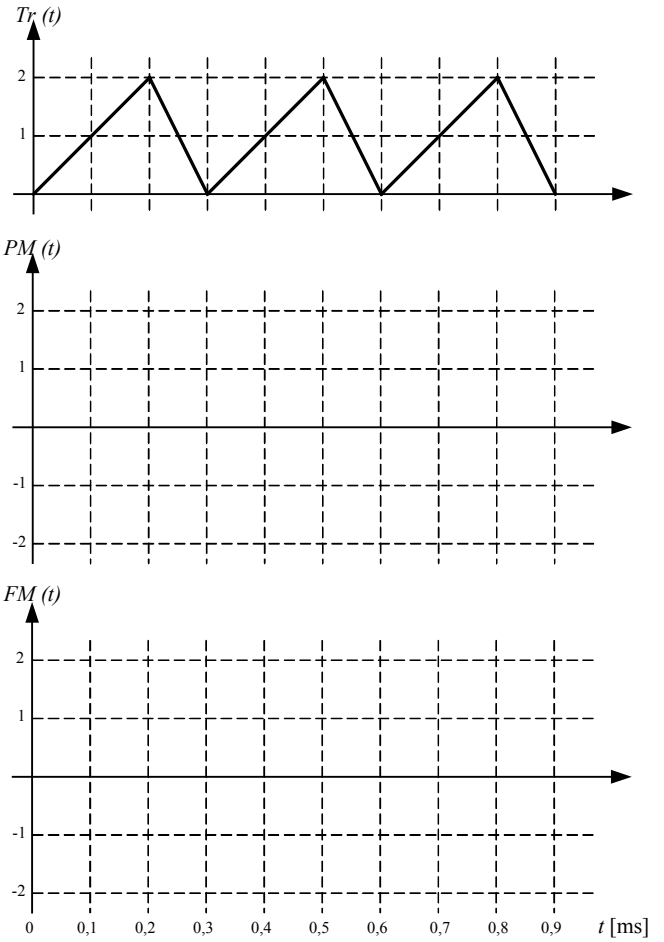


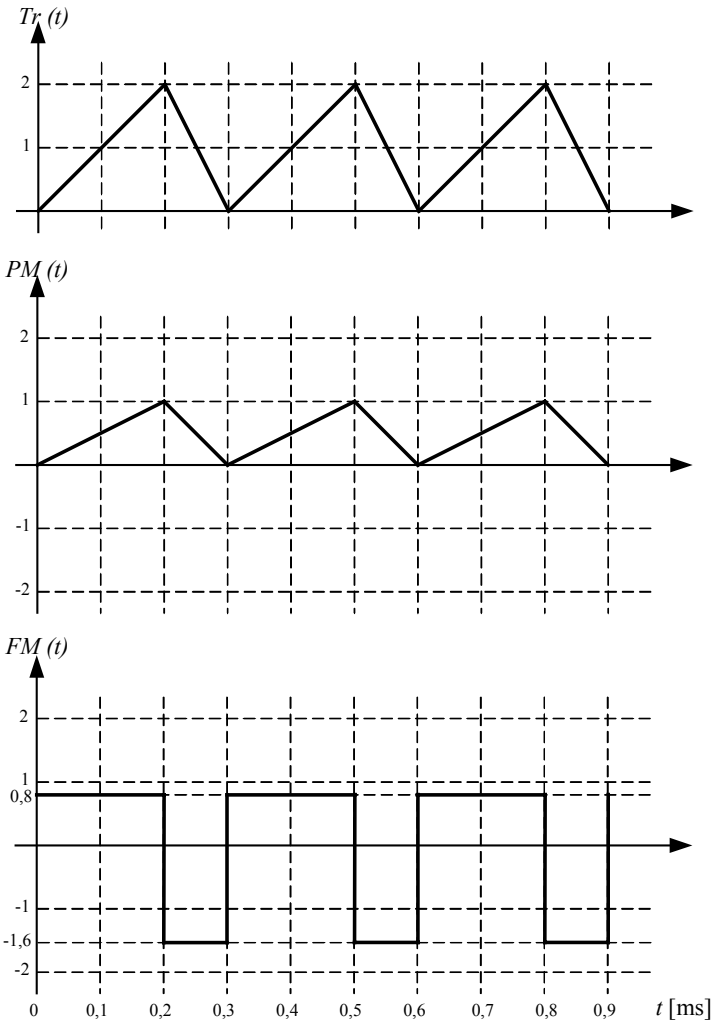
5. Sygnał złożony, dany wzorem: $s(t) = \sin\left(\Omega_0 t + ATr(t)\right)$ można uważać za sygnał zmodulowany częstotliwościowo. Niech parametry Ω_0 i A w tym wzorze mają wartości: $\Omega_0 = 2\pi \cdot 10^6$ [Hz] i $A = 5$ [rd/V], a sygnał $Tr(t)$ jest przebiegiem trójkątnym, niesymetrycznym, jak przedstawiono na rysunku obok.

a) Jaki sygnał (oznaczmy go $PM(t)$) otrzymamy, gdy sygnał $s(t)$ zostanie zdemodulowany detektorem fazy o stałej przetwarzania (współczynniku proporcjonalności) k_{PM}=0,1[V/rd]? Uzupełnij rysunek obok.

b) Jaki sygnał (oznaczmy go $FM(t)$) dostaniemy na wyjściu układu demodulatora częstotliwości o stałej przetwarzania (współczynniku proporcjonalności) k_{FM}=10^{-4} [V/Hz]? Uzupełnij rysunek obok.

c) Jaka jest maksymalna dewiacja częstotliwości tego sygnału (z punktu b)?





Ad. a) Odpowiedź detektora fazowego można wyznaczyć wprost z następującego wzoru:

$$PM(t) = k_{PM} ATr(t) = 0{,}1\frac{V}{rd} 5\frac{rd}{V} Tr(t) = 0{,}5Tr(t) \quad ,$$

Ad. b) Pulsacja chwilowa jest pochodną fazy tj.:

$$\Omega(t) = \frac{d}{dt}\left(\Omega_0 t + ATr(t)\right) = \Omega_0 + A\frac{d}{dt}Tr(t) = \Omega_0 + A\begin{cases}\dfrac{2V}{0{,}2ms} \\ -\dfrac{2V}{0{,}1ms}\end{cases} =$$

$$= \Omega_0 + \begin{cases} 5\dfrac{rd}{V}\cdot 10^4 \dfrac{V}{s} \\ -5\dfrac{rd}{V}\cdot 2\cdot 10^4 \dfrac{V}{s}\end{cases} = \Omega_0 + \begin{cases} 5\cdot 10^4 \dfrac{rd}{s} & t \in tu \\ -10^5 \dfrac{rd}{s} & t \in td\end{cases} \quad ,$$

gdzie przez *tu* i *td* oznaczono przedziały czasowe, w których funkcja *Tr(t)* odpowiednio rośnie (*tu*) lub maleje (*td*).

Chwilowa odchyłka od pulsacji Ω_0 będzie wynosiła:

$$\Delta\Omega(t) = \frac{d}{dt}\left(ATr(t)\right) = \begin{cases} A\dfrac{2V}{0{,}2ms} \\ -A\dfrac{2V}{0{,}1ms}\end{cases} = \begin{cases} 5\dfrac{rd}{V}\cdot 10^4 \dfrac{V}{s} \\ -5\dfrac{rd}{V}\cdot 2\cdot 10^4 \dfrac{V}{s}\end{cases} = \begin{cases} 5\cdot 10^4 \dfrac{rd}{s} & t \in tu \\ -10^5 \dfrac{rd}{s} & t \in td\end{cases} \quad .$$

Skąd chwilowa odchyłka częstotliwości będzie równa:

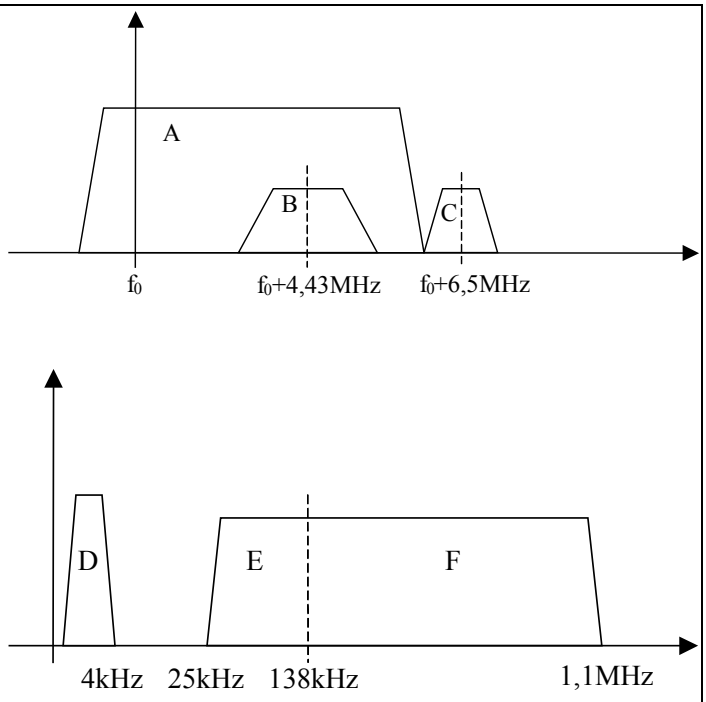
$$f(t) = \frac{\Delta\Omega(t)}{2\pi} = \begin{cases} \dfrac{1}{2\pi} 5\cdot 10^4 \dfrac{rd}{s} \\ -\dfrac{1}{2\pi} 10^5 \dfrac{rd}{s}\end{cases} \approx \begin{cases} 8kHz & t \in tu \\ -16kHz & t \in td\end{cases} \quad .$$

Odpowiedź detektora częstotliwości będziemy mogli zatem zapisać jako:

$$FM(t) = k_{FM} f(t) \approx 10^{-4}\frac{V}{Hz}\begin{cases} 8kHz \\ -16kHz\end{cases} = \begin{cases} 0{,}8V & t \in tu \\ -1{,}6V & t \in td\end{cases} \quad .$$

Z powyższego wynika, że odpowiedź detektora częstotliwości będzie falą prostokątną.

Ad. c) Z przedostatniego wzoru wynika, że maksymalna dewiacja częstotliwości wynosi 16kHz.

6.	Rysunki przedstawiają w sposób schematyczny widma amplitudowe pewnych sygnałów telekomunikacyjnych. Co to są za sygnały? Opisz krótko ich składowe (A-F) i stosowane w nich rodzaje modulacji.	
	Pierwszy z rysunków przedstawia całkowity sygnał telewizji analogowej. Poszczególnymi literami oznaczono: - A oznacza sygnał luminancji (odpowiedzialny za jasność ekranu). Dla tego sygnału stosuje się modulację amplitudową z tłumioną wstęga boczną VSB (dlatego sygnał nie jest symetryczny względem osi f_0). - B jest sygnałem chrominancji (kolor). Stosuje się tutaj modulację amplitudowo-fazową (QAM). Faza odpowiada kolorowi a amplituda nasyceniu koloru. - C jest sygnałem fonii nadawanym równocześnie z obrazem na podnośnej 6,5 MHz wyższej niż nośna wizji. Stosuje się modulację częstotliwości FM. Drugi z rysunków przedstawia widmo sygnału telefonicznego z szerokopasmową transmisją danych ADSL. Poszczególnymi literami oznaczono: - D sygnał telefonii analogowej w paśmie naturalnym (bez modulacji). - E jest to widmo sygnału przesyłanego od abonenta do sieci rozległej (upstream). - F widmo sygnału przychodzącego z sieci do abonenta (downstream). - Sygnały EF przesyła się na wielu podnośnych w odstępie ok. 4kHz ze złożoną modulacją amplitudowo-fazową.	

Opracowali:
Dr inż. Remigiusz Mydlikowski
Dr inż. Jerzy Witkowski
Dr inż. Grzegorz Beziuk

Sprawdzili:
Dr hab. inż. Andrzej Borys
Dr inż. Jerzy Witkowski

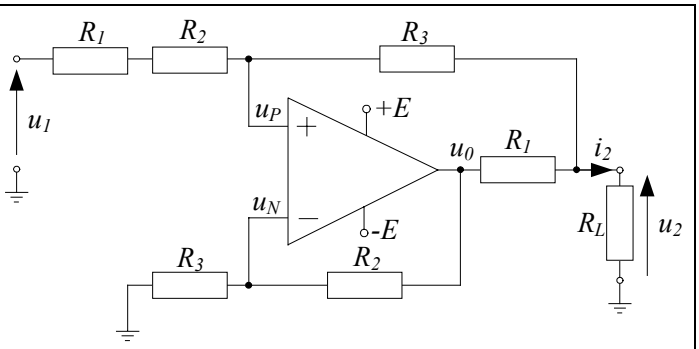
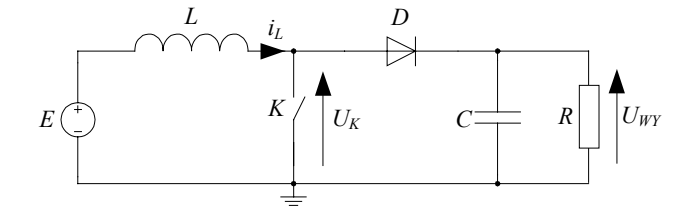
Zatwierdził:
Przewodniczący Rady Naukowej
Olimpiady „EUROELEKTRA”
Dr hab. inż. Andrzej Borys

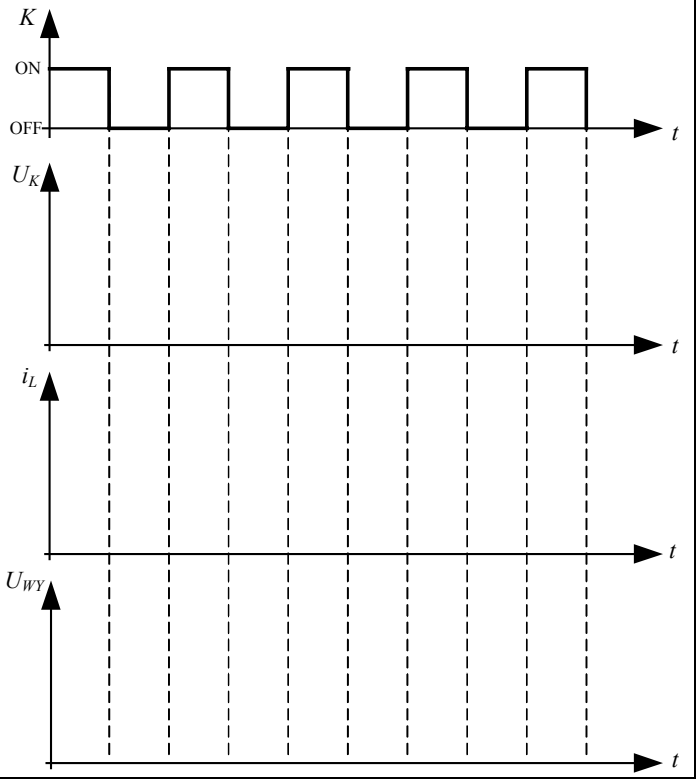
„EUROELEKTRA”

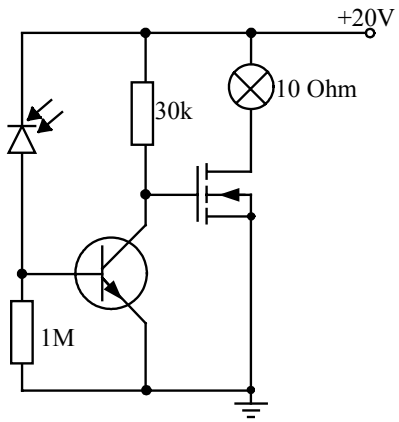
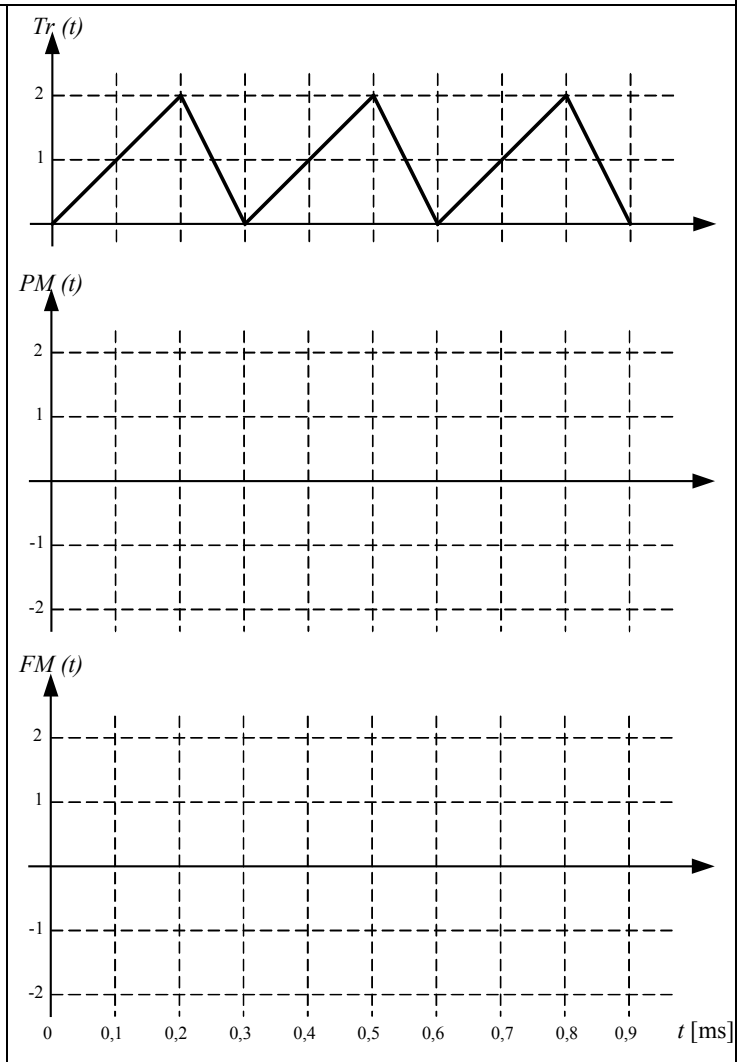
OLIMPIADA ELEKTRYCZNA I ELEKTRONICZNA

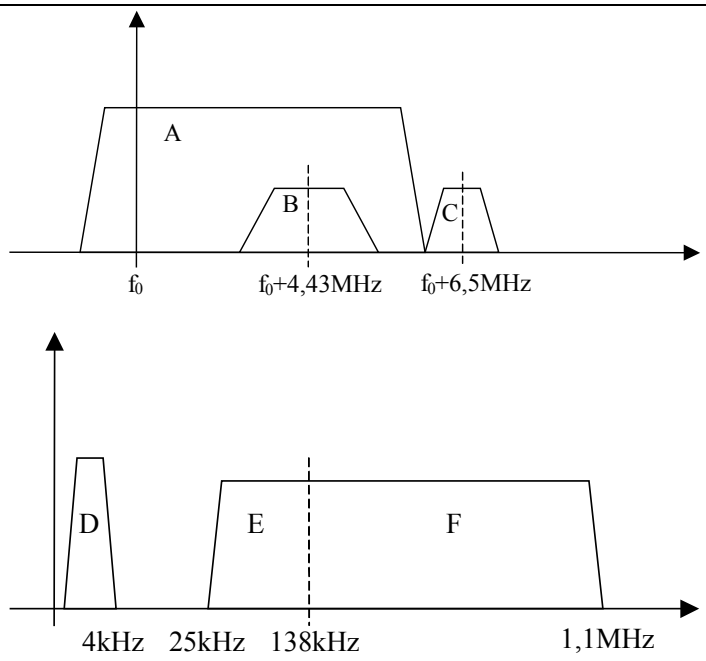
Rok szkolny 2008/2009

Zadania dla grupy elektroniczno-telekomunikacyjnej – **Zawody III stopnia**

<table>
<tr>
<td>1.</td>
<td>Oblicz wartość prądu i_2 płynącego przez rezystancję obciążenia R_L w zależności od napięć u_1 i u_2. Kiedy ten układ można potraktować jako idealne źródło prądowe?</td>
<td> 
</td>
</tr>
<tr>
<td>2.</td>
<td>Dla układu przedstawionego na rysunku, naszkicuj przybliżone przebiegi napięcia wyjściowego U_{WY}, napięcia na kluczu U_K oraz prądu cewki i_L w warunkach ustalonych, tzn. gdy czas od momentu włączenia układu jest wielokrotnie większy od okresu przełączania klucza. Swoje szkice przebiegów nanieś na właściwych rysunkach zamieszczonych po prawej stronie. Przyjmij, że klucz K jest włączony (zwarty) przez czas Δt_{ON}, a wyłączony (rozwarty) przez czas Δt_{OFF} ($\Delta t_{ON} = \Delta t_{OFF}$). Określ przybliżone wartości na osiach rzędnych na wykresach, korzystając z oznaczeń podanych na schemacie i przyjmując U_D jako napięcie na diodzie w kierunku przewodzenia.
Jaką rolę może spełniać ten układ?
Do analizy należy przyjąć, że prąd płynący przez indukcyjność L nie maleje nigdy do zera, a stała czasowa RC jest znacznie większa niż okres $T = \Delta t_{ON} + \Delta t_{OFF}$. Należy również założyć, że klucz jest idealny, to znaczy iż w momencie jego przełączania nie występują żadne zakłócenia.</td>
<td> 


</td>
</tr>
</table>

3.	Opisz zasadę działania układu pokazanego na rysunku. Kiedy żarówka się włączy i jaka w przybliżeniu będzie wartość prądu płynącego przez nią? Jaka moc wydzieli się w tranzystorze MOSFET w najmniej korzystnym przypadku. Jakie widzisz wady takiego układu jako wyłącznika zmierzchowego?	
4.	Zaprojektuj realizację translatora 3-bitowego kodu Gray'a (dwa kolejne słowa kodowe różnią się tylko stanem jednego bitu) na kod zanegowany 1z8 (słowa kodowe o długości 8 bitów zawierają zawsze tylko jeden bit o wartości 0) przy wykorzystaniu minimalnej liczby bramek logicznych typu NAND.	
5.	Sygnał złożony, dany wzorem: $s(t) = \sin\left(\Omega_0 t + ATr(t)\right)$ można uważać za sygnał zmodulowany częstotliwościowo. Niech parametry Ω_0 i A w tym wzorze mają wartości: $\Omega_0 = 2\pi \cdot 10^6$ [Hz] i $A = 5$ [rd/V], a sygnał $Tr(t)$ jest przebiegiem trójkątnym, niesymetrycznym, jak przedstawiono na rysunku obok. a) Jaki sygnał (oznaczmy go $PM(t)$) otrzymamy, gdy sygnał $s(t)$ zostanie zdemodulowany detektorem fazy o stałej przetwarzania (współczynniku proporcjonalności) k_{PM}=0,1[V/rd]? Uzupełnij rysunek obok. b) Jaki sygnał (oznaczmy go $FM(t)$) dostaniemy na wyjściu układu demodulatora częstotliwości o stałej przetwarzania (współczynniku proporcjonalności) $k_{FM}=10^{-4}$ [V/Hz]? Uzupełnij rysunek obok. c) Jaka jest maksymalna dewiacja częstotliwości tego sygnału (z punktu b)?	

6.	Rysunki przedstawiają w sposób schematyczny widma amplitudowe pewnych sygnałów telekomunikacyjnych. Co to są za sygnały? Opisz krótko ich składowe (A-F) i stosowane w nich rodzaje modulacji.	

Opracowali:
Dr inż. Remigiusz Mydlikowski
Dr inż. Jerzy Witkowski
Dr inż. Grzegorz Beziuk

Sprawdzili:
Dr hab. inż. Andrzej Borys
Dr inż. Jerzy Witkowski

Zatwierdził:
Przewodniczący Rady Naukowej
Olimpiady „EUROELEKTRA”
Dr hab. inż. Andrzej Borys