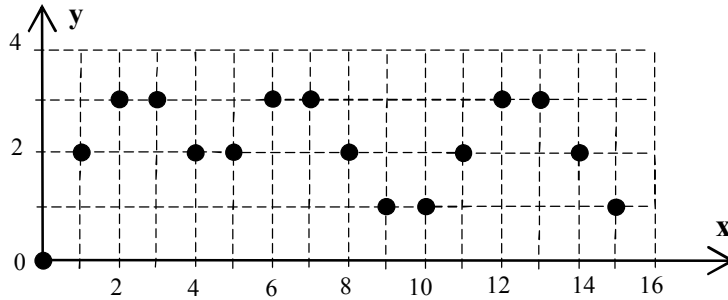


**„EUROELEKTRA”**  
**OLIMPIADA ELEKTRYCZNA I ELEKTRONICZNA**  
**Rok szkolny 2006/2007 - Stopień III (zawody centralne) - Grupa elektroniczna**

**Rozwiązania zadań III stopni**

**Zadanie 1**

Wykorzystując demultiplekser o 4 wejściach adresowych oraz bramki logiczne typu AND zbudować konwerter  $y = f(x)$ , przekształcający dyskretny zbiór szesnastowartościowy  $X$  w czterowartościowy  $Y$  w sposób zilustrowany na rysunku. Wartości ze zbiorów  $X$  i  $Y$  wyrazić w kodzie binarnym prostym za pomocą zmiennych  $x_3, x_2, x_1, x_0$  oraz  $y_1, y_0$ , gdzie indeks zero wskazuje bity najmniej znaczące. Na wskazanym przez adres wyjściu demultipleksera pojawia się „0”, a na pozostałych wyjściach jest „1”.



Z zależności funkcyjnej pokazanej na rysunku wynika następująca tablica prawdy (stanów) konwertera.

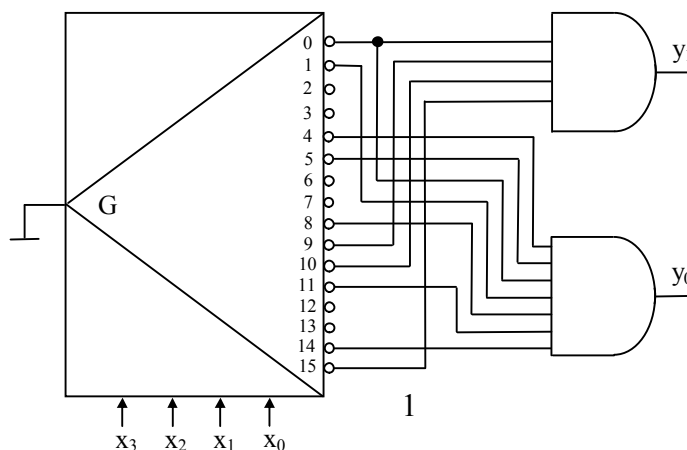
L.p.	$x_3$	$x_2$	$x_1$	$x_0$	$y_1$	$y_0$
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0
2	0	0	1	0	1	1
3	0	0	1	1	1	1
4	0	1	0	0	1	0
5	0	1	0	1	1	0
6	0	1	1	0	1	1
7	0	1	1	1	1	1
8	1	0	0	0	1	0
9	1	0	0	1	0	1
10	1	0	1	0	0	1
11	1	0	1	1	1	0
12	1	1	0	0	1	1
13	1	1	0	1	1	1
14	1	1	1	0	1	0
15	1	1	1	1	0	1

Na wejścia adresowe demultipleksera o wagach  $2^3, 2^2, 2^1, 2^0$  podajemy odpowiednio sygnały wejściowe  $x_3, x_2, x_1, x_0$ . Z tablicy stanów widać, że sygnały wyjściowe konwertera możemy zapisać jako:

$$y_1(x_3, x_2, x_1, x_0) = \Pi(0, 9, 10, 15)$$

$$y_0(x_3, x_2, x_1, x_0) = \Pi(0, 1, 4, 5, 8, 11, 14)$$

Równania te prowadzą do pokazanego niżej schematu układu realizującego podaną w treści zdania konwersję.



## Zadanie 2

Dla układu pokazanego na rysunku określić, w jakim przedziale napięć  $U_{GS}$  tranzystor pracuje w zakresie nasycenia, a w jakim w zakresie omowym (nienasycenia). Przyjąć, że w zakresie nasycenia prąd drenu opisany jest wzorem:

$$I_D \cong K(U_{GS} - U_p)^2, \quad (1)$$

a w zakresie nienasycenia wzorem:

$$I_D \cong K[2(U_{GS} - U_p)^2 - U_{DS}^2] \quad (2)$$

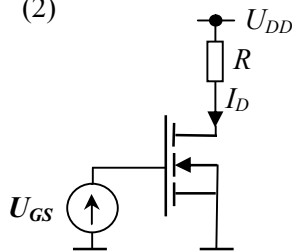
Dane:

$$U_{DD} = 3V$$

$$U_p = 1V$$

$$K = 1 \frac{mA}{V^2}$$

$$R = 1k\Omega$$



Na granicy między obszarem nasycenia i nienasycenia prądy drenu  $I_D$  określone równaniem (1) i równaniem (2) są sobie równe. Przyrównując prawe strony obu równań dochodzimy do zależności:

$$U_{DS} = U_{GS} - U_p, \quad (3)$$

która opisuje granicę między obu obszarami.

Dla schematu pokazanego na rysunku prawdziwe jest równanie (drugie prawo Kirchhoffa):

$$U_{DD} = U_{DS} + I_D R \quad (4)$$

Wstawiając do wzoru (4) w miejsce  $U_{DS}$  zależność (3), a w miejsce  $I_D$  zależność (1), otrzymujemy równanie:

$$x^2 + x \frac{1}{KR} - \frac{U_{DD}}{KR} = 0, \quad (5)$$

w którym:

$$x = U_{GS} - U_p \quad (6)$$

Spśród dwóch pierwiastków równania (6) sens fizyczny ma tylko pierwiastek większy od zera. Pierwiastek ten jest równy:

$$x_1 = U_{GS1} - U_p = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{K^2 R^2} + \frac{4U_{DD}}{KR}} - \frac{1}{2KR} \cong 1,3V \quad (7)$$

Ze wzoru (7) wynika wartość napięcia  $U_{GS}$ , dla której tranzystor pracuje na granicy między obszarem nasycenia i nienasycenia, tj.

$$U_{GS1} = x_1 + U_p \cong 2,3V \quad (8)$$

Ponieważ dla obu obszarów napięcie  $U_{GS}$  musi być większe od  $U_p$ , więc ostatecznie można napisać następujące przedziały wartości  $U_{GS}$  odpowiadające pracy tranzystora w zakresie nasycenia i nienasycenia:

- a) dla obszaru nasycenia  $1V \leq U_{GS} \leq 2,3V$ ; b) dla obszaru nienasycenia  $U_{GS} > 2,3V$

## Zadanie 3

Sprecyzuj pojęcia: a) pasmo przenoszenia toru transmisyjnego, b) skuteczność widmowa modulacji.

Czy pojęcia te mają ze sobą coś wspólnego? Uzasadnij odpowiedź.

**Odp.**

Pasma przenoszenia toru transmisyjnego jest ograniczone od góry i od dołu (lub tylko od góry) przez tzw. częstotliwości graniczne, tzn. częstotliwości, przy których moduł funkcji przenoszenia toru jest mniejszy o 3 dB od wartości tego modułu (w przybliżeniu stałej) wewnątrz pasma przenoszenia. Jednostką pasma przenoszenia jest herc [Hz]. Pasma przenoszenia jest informacją o tym, jak szerokie widmo sygnału może być przeniesione przez dany tor transmisyjny i dotyczy zarówno transmisji bez modulacji, jak i transmisji z modulacją fali nośnej.

Wyrażona w bitach na sekundę na herc [b/s/Hz] skuteczność (efektywność) widmowa modulacji jest parametrem transmisji z modulacją cyfrową. Określa ona, ile bitów na sekundę, tj. jaka szybkość transmisji danych cyfrowych przypada na 1Hz widma zmodulowanej fali nośnej, wykorzystywanej do przesyłu tych danych. Skuteczność widmowa może przyjmować wartości w szerokim przedziale (od ułamków do wartości dużo większych niż jeden), w zależności od użytej metody modulacji. Przykładem modulacji skutecznej widmowo jest modulacja kwadraturowa.

Modulacja kwadraturowa jest stosowana, między innymi, do realizacji szybkiego dostępu do Internetu (Neostarda) z wykorzystaniem kabli miedzianych doprowadzających sygnał do telefonu abonenta (technologia ADSL). Mimo wąskiego pasma przenoszenia kabla (~1,1MHz) uzyskuje się stosunkowo dużą szybkość transmisji danych (kilka Mb/s). Przykład ten pokazuje, że pasmo przenoszenia toru transmisyjnego i skuteczność widmowa modulacji mają ze sobą dużo wspólnego w obszarze niektórych sieci telekomunikacyjnych, a także komputerowych.

## Zadanie 4

Dla układu jak na rysunku obliczyć wartość rezystora  $R$ , dla której napięcie kolektor-emiter tranzystora T2 wynosi  $U_{CE2} = 2,5V$ . Przyjąć, że szukana rezystancja  $R$  spełnia nierówność  $R \gg R_3$ , a współczynnik wzmocnienia prądowego w konfiguracji wspólnego emitera dla obu tranzystorów jest identyczny i wynosi  $\beta = 100$ . Przyjąć ponadto, że napięcia baza-emiter tranzystorów T1 i T2 są w przybliżeniu stałe i równe odpowiednio:

$$U_{BE1} = 0,6V; \quad U_{BE2} = 0,7V.$$

Dane:

$$U_{CC} = 6V$$

$$U_{CE2} = 2,5V$$

$$\beta = 100$$

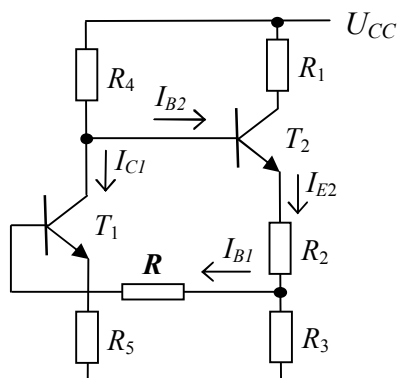
$$R_1 = 1,2k\Omega$$

$$R_2 = 1k\Omega$$

$$R_3 = 1,3k\Omega$$

$$R_4 = 100k\Omega$$

$$R_5 = 20k\Omega$$



Przy założeniu, że  $R \gg R_3$  można przyjąć, że prąd płynący przez rezystor  $R_3$  jest w przybliżeniu równy prądowi płynącemu przez rezystor  $R_2$ , tzn. prądowi emitera tranzystora T2. Dla  $\beta = 100$  można ponadto przyjąć, że prąd kolektora tranzystora T2 jest także w przybliżeniu równy jego prądowi emitera  $I_{E2}$ . Pozwala to napisać następujące równanie:

$$U_{CC} \cong I_{E2}(R_1 + R_2 + R_3) + U_{CE2}, \quad (1)$$

z którego otrzymuje się:

$$I_{E2} \cong \frac{U_{CC} - U_{CE2}}{R_1 + R_2 + R_3} \cong \frac{6V - 2,5V}{1,2k\Omega + 1k\Omega + 1,3k\Omega} = 1mA \quad (2)$$

Biorąc pod uwagę fakt, że przez rezystor  $R_4$  płynie suma prądów kolektora tranzystora T1 ( $I_{C1}$ ) i bazy tranzystora T2 ( $I_{B2}$ ), można napisać równanie:

$$U_{CC} \cong R_4(I_{B2} + I_{C1}) + U_{BE2} + I_{E2}(R_2 + R_3) \quad (3)$$

Ponieważ tranzystor T2 pracuje w zakresie aktywnym ( $U_{CE2} = 2,5V$ ), więc

$$I_{B2} \cong \frac{I_{E2}}{\beta} = 10\mu A \quad (4)$$

Oznacza to, że jedyną niewiadomą w równaniu (3) jest prąd kolektora tranzystora T1. Wyznaczając ten prąd z równania (3) otrzymuje się:

$$I_{C1} \cong \frac{U_{CC} - U_{BE2} - I_{B2}R_4 - I_{E2}(R_2 + R_3)}{R_4} \cong 20\mu A \quad (5)$$

Ze schematu układu widać, że napięcie kolektor-emiter  $U_{CE1}$  tranzystora T1 można wyrazić jako sumę czterech składników i napisać zależność:

$$U_{CE1} = U_{BE1} + I_{B1}R + I_{E2}R_2 + U_{BE2} > U_{BE1} + I_{E2}R_2 + U_{BE2} = 0,6V + 1V + 0,7V = 2,3V \quad (6)$$

Dla takiej wartości napięcia  $U_{CE1}$  tranzystor T1 pracuje w zakresie aktywnym, a jego prąd bazy wynosi:

$$I_{B1} \cong \frac{I_{C1}}{\beta} = 0,2\mu A \quad (7)$$

W celu wyznaczenia rezystancji  $R$  można skorzystać z następującego równania (II prawo Kirchoffa), w którym uwzględniono nierówność  $I_{E2} \gg I_{B1}$ :

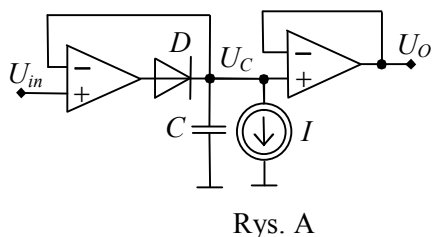
$$I_{E2}R_3 \cong I_{B1}R + U_{BE1} + I_{B1}(\beta + 1)R_5 \quad (8)$$

Ze wzoru (8) otrzymuje się ostatecznie:

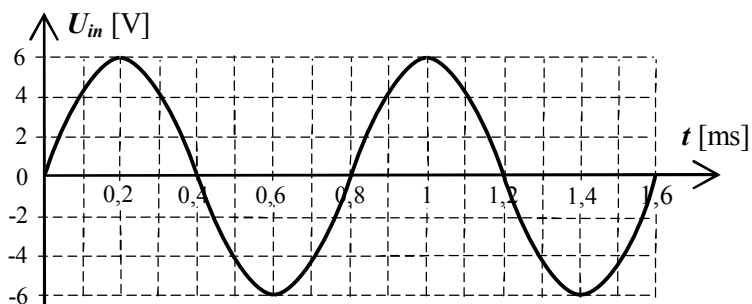
$$R \cong \frac{I_{E2}R_3 - U_{BE1} - I_{B1}(\beta + 1)R_5}{I_{B1}} = 1,5M\Omega \quad (9)$$

### Zadanie 5

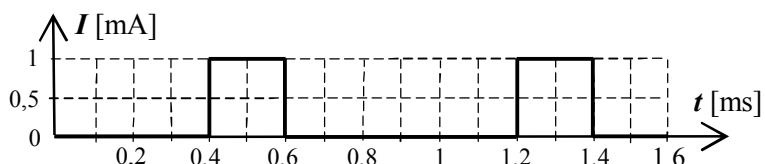
W układzie jak na rysunku A napięcie wejściowe,  $U_{in}$ , oraz prąd  $I$  mają przebiegi czasowe pokazane na rysunkach B i C. Kondensator ma pojemność  $C=20nF$ . Wykorzystując układ współrzędnych z rys. D narysować (z uwzględnieniem wartości liczbowych) przebieg napięcia  $U_o$  na wyjściu układu jako funkcję czasu  $t$ .



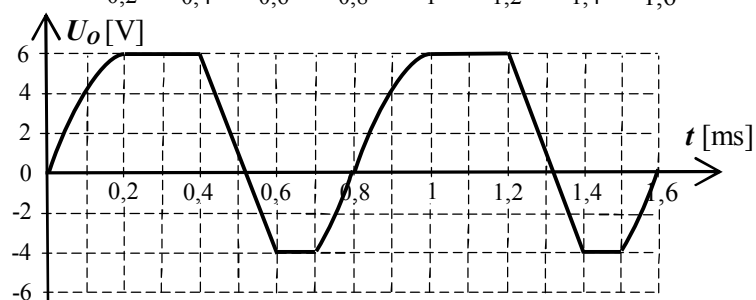
Rys. A



Rys. B



Rys. C



Rys. D

W przedziałach czasu, w których prąd  $I$  jest równy zeru, pokazany układ pełni rolę detektora szczytowego śledzącego napięcie wejście. Napięcie  $U_o$  na wyjściu, które jest zawsze równe napięciu  $U_C$  na kondensatorze (wtórnik napięciowy na wyjściu), podąża za wzrostem napięcia wejściowego  $U_{in}$ , gdy dioda  $D$  przewodzi prąd, tj. gdy  $U_{in} \geq U_C$ . Jest tak w przedziałach czasowych 0ms - 0,2ms, 0,7ms - 1ms i 1,5ms - 1,6ms. Gdy napięcie  $U_{in}$  spada poniżej wartości  $U_C$ , wówczas dioda się zatyka, a napięcie  $U_C$  nie reaguje na spadek napięcia  $U_{in}$  i pozostaje na stałym poziomie. Ma to miejsce w przedziałach czasowych 0,2ms - 0,4ms, 0,6ms - 0,7ms, 1ms - 1,2ms i 1,4ms - 1,5ms.

W przedziałach czasu, w których prąd  $I$  jest różny od zera (w naszym przypadku przyjmuje wartość stałą  $I = 1mA$ ), kondensator rozładowuje się, a napięcie  $U_o = U_C$  maleje liniowo z czasem zgodnie ze wzorem:

$$\Delta U_o = \Delta U_C = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I}{C} \Delta t = \frac{1mA}{20nF} \Delta t$$

Dla  $\Delta t = 0,2ms$  spadek napięcia wynosi 10V i dotyczy to przedziałów czasowych 0,4ms - 0,6ms i 1,2ms - 1,4ms.

Opracowali:

**Dr inż. Krzysztof Górecki**  
**Dr inż. Dr inż. Krystyna Noga**  
**Dr hab. inż. Ryszard Wojtyna**  
**profesor nadzwyczajny UTP**

Sprawdził: **Dr inż. Jarosław Majewski**

Zatwierdził: **Dr hab. inż. Ryszard Wojtyna**  
**profesor nadzwyczajny UTP**  
**Przewodniczący Rady Naukowej**  
**Olimpiady „EUROELEKTRA”**