



„ELEKTROMECHATRON” I Ogólnopolska Olimpiada Elektroników i Mechatroników Rok szkolny 2022/2023

Odpowiedzi do zadań dla grupy elektronicznej na zawody III stopnia

Zadanie 1

Zaprojektuj licznik synchroniczny modulo 5 liczący w górę i w dół z wejściem zerowania, liczący w kodzie NKB. Licznik zaprojektuj z wykorzystaniem przerzutników D lub JK (wyrażenia boolowskie zapisz w postaci sumy iloczynów).

Tab. 1 – sygnały sterujące

X1	X2	Funkcja licznika
0	0	Zliczanie w górę
0	1	Zliczanie w dół
1	1	Zerowanie
1	0	Zerowanie

Uwaga: Dokonaj pełnej analizy układu, napisz tabelę wzbudzeń przerzutników oraz wyprowadź i napisz wszystkie wymagane do narysowania schematu licznika wzory opisujące wejścia poszczególnych przerzutników. Wynik napisz w postaci algebraicznej (schematów nie należy rysować), tj:

- a) $D1=..., D2=..., \text{ itd.}$ (dla rozwiązania na przerzutnikach D)
 b) $J1=..., K1=..., J2=..., \text{ itd.}$ (dla rozwiązania na przerzutnikach JK)

Rozwiązanie

g – „w górę”, d – „w dół”, z - zerowanie

X	g	d	z
S0	S1	S4	S0
S1	S2	S0	S0
S2	S3	S1	S0
S3	S4	S2	S0
S4	S0	S3	S0

X1X2	00	01	11	10
Q2Q1Q0				
000	001	100	000	000
001	010	000	000	000
010	011	001	000	000
011	100	010	000	000
100	000	011	000	000

Implementacja z przerzutnikami D:

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	001	100	000	000
001	010	000	000	000
011	100	010	000	000
010	011	001	000	000
110	---	---	---	---
111	---	---	---	---
101	---	---	---	---
100	000	011	000	000

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	0	1	0	0
001	0	0	0	0
011	1	0	0	0
010	0	0	0	0
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	0	0	0	0

$$D2 = Q1Q0\bar{x1}\bar{x2} + \bar{Q2}\bar{Q1}\bar{Q0}x1x2$$

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	0	0	0	0
001	1	0	0	0
011	0	1	0	0
010	1	0	0	0
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	0	1	0	0

$$D1 = Q1\bar{Q0}\bar{x1}\bar{x2} + \bar{Q1}Q0\bar{x1}\bar{x2} + Q1Q0\bar{x1}x2 + Q2\bar{x1}x2$$

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	1	0	0	0
001	0	0	0	0
011	0	0	0	0
010	1	1	0	0
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	0	1	0	0

$$D0 = Q1\bar{Q0}\bar{x1} + \bar{Q2}\bar{Q0}\bar{x1}\bar{x2} + Q2\bar{x1}x2$$

Implementacja z wykorzystaniem przerzutników JK:

Dla Q2:

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	0	1	0	0
001	0	0	0	0
011	1	0	0	0
010	0	0	0	0
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	0	0	0	0

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	0	1	0	0
001	0	0	0	0
011	1	0	0	0
010	0	0	0	0
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	-	-	-	-

$$J2 = Q1Q0\overline{x1}\overline{x2} + \overline{Q1}\overline{Q0}\overline{x1}x2$$

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	-	-	-	-
001	-	-	-	-
011	-	-	-	-
010	-	-	-	-
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	1	1	1	1

$$K2 = 1$$

Dla Q1:

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	0	0	0	0
001	1	0	0	0
011	0	1	0	0
010	1	0	0	0
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	0	1	0	0

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	0	0	0	0
001	1	0	0	0
011	-	-	-	-
010	-	-	-	-
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	0	1	0	0

$$J1 = Q0\bar{x1}\bar{x2} + Q2\bar{x1}x2$$

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	-	-	-	-
001	-	-	-	-
011	1	0	1	1
010	0	1	1	1
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	-	-	-	-

$$K1 = x1 + Q0\bar{x2} + \bar{Q0}x2$$

Dla Q0:

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	1	0	0	0
001	0	0	0	0
011	0	0	0	0
010	1	1	0	0
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	0	1	0	0

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	1	0	0	0
001	-	-	-	-
011	-	-	-	-
010	1	1	0	0
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	0	1	0	0

$$J0 = \bar{Q2}\bar{x1}\bar{x2} + Q1\bar{x1} + Q2\bar{x1}x2$$

Q2Q1Q0 \ X1X2	00	01	11	10
000	-	-	-	-
001	1	1	1	1
011	1	1	1	1
010	-	-	-	-
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	-	-	-	-

$$K0 = 1$$

Zadanie 2

Oblicz liczbę fotonów emitowanych na sekundę przez laser pracujący na długości fali $\lambda = 532 \text{ nm}$. Moc lasera wynosi 5 mW .

Dane: stała Plancka $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, prędkość światła $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Rozwiązanie

Energia emitowana na sekundę:

$$5 \text{ mW} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ J/s}$$

Energia pojedynczego fotonu:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{532 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,734 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Liczba fotonów emitowanych na sekundę:

$$\frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ J/s}}{3,734 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 1,339 \cdot 10^{16} \text{ fotonów/s}$$

Odp. Wskazany laser emituje $1,339 \cdot 10^{16}$ fotonów na sekundę.

Zadanie 3

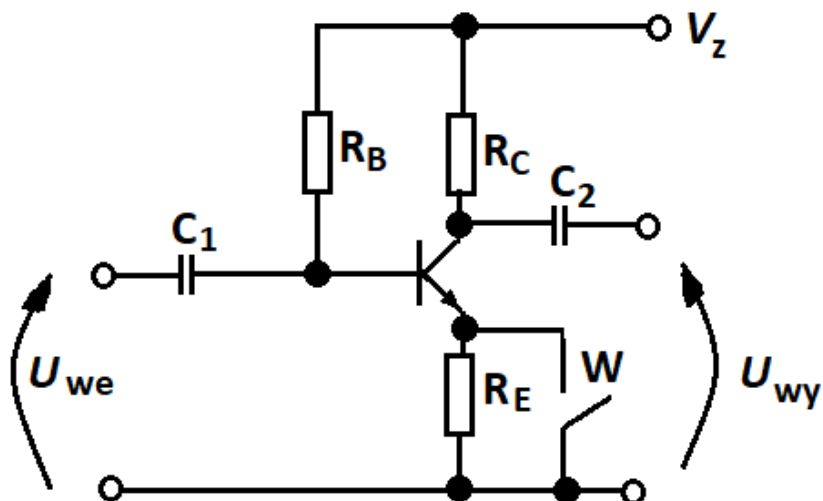
Wyznaczanie parametrów wzmacniacza.

- Oblicz jaką wartość powinien mieć współczynnik wzmocnienia prądowego h_{21E} tranzystora, by wzmocnienie napięciowe wzmacniacza przedstawionego na rys. zwiększyło się 4 krotnie przy zamknięciu wyłącznika W, a następnie
- oblicz rezystancję wejściową R_{we} układu po i przed zamknięciu wyłącznika W.

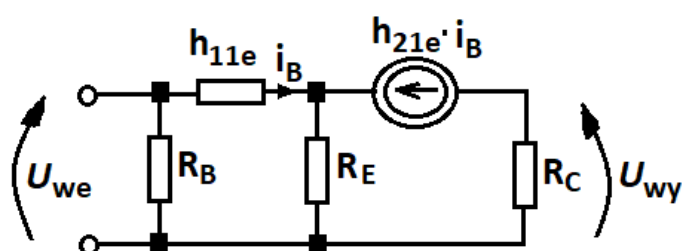
Do analizy zdania narysuj schemat zastępczy układu, wykorzystując model małosygnałowy tranzystora.

Dane: $R_E = 50 \text{ } \Omega$, $R_C = 1 \text{ k}\Omega$, $R_B = 100 \text{ k}\Omega$, $V_Z = 12 \text{ V}$, $\frac{1}{\omega C_1} = 0$, $\frac{1}{\omega C_2} = 0$. Parametry hybrydowe tranzystora wynoszą $h_{11e} = 2000 \text{ } \Omega$, $h_{12e} = 0$, $h_{22e} = 0$.

Wyprowadź odpowiednie wzory, a dopiero następnie wykonaj obliczenia.



Rozwiązanie



$$\frac{-h_{21e} \cdot R_C}{h_{11e}} = 4 \cdot \frac{-h_{21e} \cdot R_C}{h_{11e} + (h_{21e} + 1) \cdot R_E}$$

$$\frac{-1}{h_{11e}} = 4 \cdot \frac{-1}{h_{11e} + (h_{21e} + 1) \cdot R_E}$$

$$4 \cdot h_{11e} = -h_{11e} - R_E - R_E \cdot h_{21e}$$

$$h_{21e} = \frac{5 \cdot h_{11e} - R_E}{R_E} = \frac{5 \cdot h_{11e}}{R_E} - 1 = 199 \text{ V/V}$$

R_{we} – po zamknięciu włącznika W

$$R_{we} = \frac{U_{we}}{I_{we}} \quad I_{we} = i_B + \frac{U_{we}}{R_B} \quad i_B = \frac{U_{we}}{h_{11e}}$$

$$I_{we} = \frac{U_{we}}{h_{11e}} + \frac{U_{we}}{R_B} \quad R_{we} = \frac{U_{we}}{I_{we}} = \frac{U_{we}}{\frac{U_{we}}{h_{11e}} + \frac{U_{we}}{R_B}} = \frac{h_{11e} \cdot R_B}{h_{11e} + R_B} \approx 1960 \Omega$$

R_{we} – przed zamknięciem włącznika W

$$R_{we} = \frac{U_{we}}{I_{we}} \quad I_{we} = i_B + \frac{U_{we}}{R_B}$$

$$U_{WE} = i_B \cdot h_{11} + i_B (h_{21} + 1) \cdot R_E \rightarrow i_B = \frac{U_{we}}{(h_{21} + 1) \cdot R_E + h_{11}}$$

$$I_{we} = \frac{U_{we}}{(h_{21} + 1) \cdot R_E + h_{11}} + \frac{U_{we}}{R_B}$$

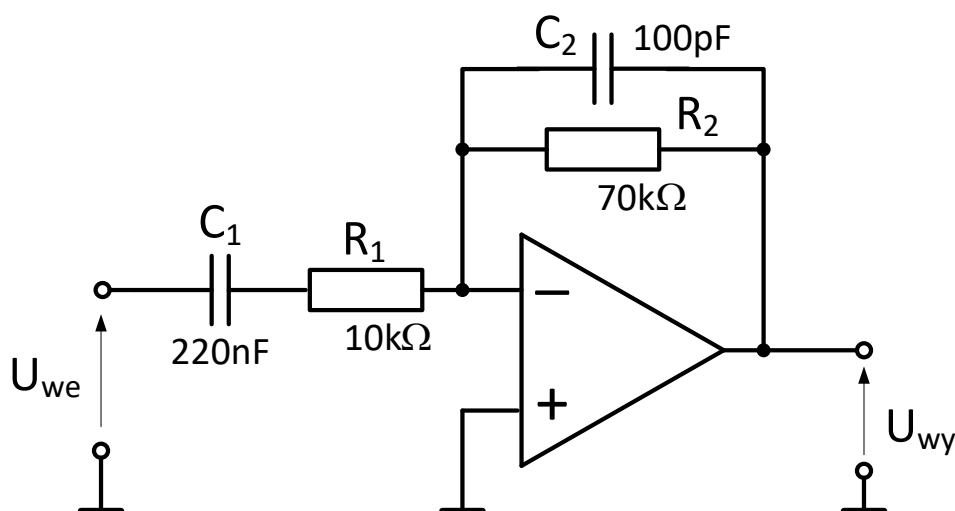
$$R_{we} = \frac{U_{we}}{\frac{U_{we}}{(h_{21} + 1) \cdot R_E + h_{11}} + \frac{U_{we}}{R_B}} \approx 10715 \Omega$$

Zadanie 4

Wyznacz zależność napięciową pomiędzy sygnałem wyjściowym i wejściowym (transmitancje) w układzie przedstawionym na rysunku. Ile wynosi impedancja wejściowa Z_{we} oraz wzmocnienie napięciowe K_u w układzie? Wyprowadź wzory opisujące te wielkości. Naszkicuj teoretyczną asymptotyczną charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową, na której zaznaczone zostaną punkty charakterystyczne.

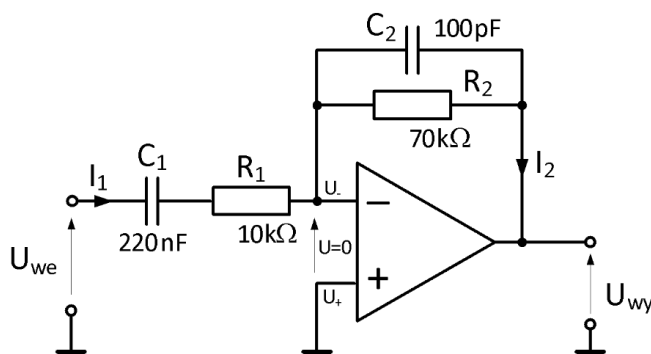
Podaj teoretyczne wartości wzmocnienia w paśmie przenoszenia w V/V oraz częstotliwości graniczne układu.

W trakcie prowadzonych obliczeń należy przyjąć założenie upraszczające, że zastosowany wzmacniacz operacyjny jest elementem idealnym.



Rozwiązanie

W celu rozwiązania zadania należy oznaczyć kierunki płynących prądów I_1 oraz I_2 , które mają takie same wartości ponieważ przy założeniu że wzmacniacz jest elementem idealnym, oba potencjały U_- oraz U_+ wynoszą 0.



Należy wyznaczyć impedancję gałęzi w obwodzie sprzężenia zwrotnego:

$$Z_2 = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C_2}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} = \frac{R_2}{j\omega R_2 C_2 + 1} \quad (1)$$

Bazując na warunku równości potencjałów U oraz U_+ można zapisać:

$$U_{we} - I_1 \left(\frac{1}{j\omega C_1} + R_1 \right) = 0 \rightarrow I_1 = \frac{U_{we}}{\frac{1}{j\omega C_1} + R_1}$$

$$U_{wy} + I_2 \frac{R_2}{j\omega R_2 C_2 + 1} = 0 \rightarrow I_2 = - \frac{U_{wy}}{\frac{R_2}{j\omega R_2 C_2 + 1}}$$
(2)

Porównując prądy I_1 oraz I_2 można napisać:

$$\frac{U_{we}}{\frac{1}{j\omega C_1} + R_1} = - \frac{U_{wy}}{\frac{R_2}{j\omega R_2 C_2 + 1}}$$
(3)

Po dokonaniu przekształcenia równania (3) można zapisać wzór na wzmocnienie układu:

$$K_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = - \frac{\frac{R_2}{j\omega R_2 C_2 + 1}}{\frac{1}{j\omega C_1} + R_1} = - \frac{j\omega R_2 C_1}{(j\omega R_2 C_2 + 1)(j\omega R_1 C_1 + 1)}$$
(4)

Charakterystykę amplitudową można zapisać jako:

$$|K_U| = \left| - \frac{j\omega R_2 C_1}{(j\omega R_2 C_2 + 1)(j\omega R_1 C_1 + 1)} \right|$$
(5)

lub w postaci logarytmicznej:

$$20 \log |K_U| = 20 \log \left| - \frac{j\omega R_2 C_1}{(j\omega R_2 C_2 + 1)(j\omega R_1 C_1 + 1)} \right|$$
(6)

Przedstawiony na rysunku układ to filtr środkowo-przepustowy. Teoretyczna charakterystyka amplitudowa została przedstawiona poniżej. Na charakterystyce zostały zaznaczone wartości tłumienia w paśmie zaporowym, poziom wzmocnienia w paśmie przenoszenia oraz wartości częstotliwości granicznych.

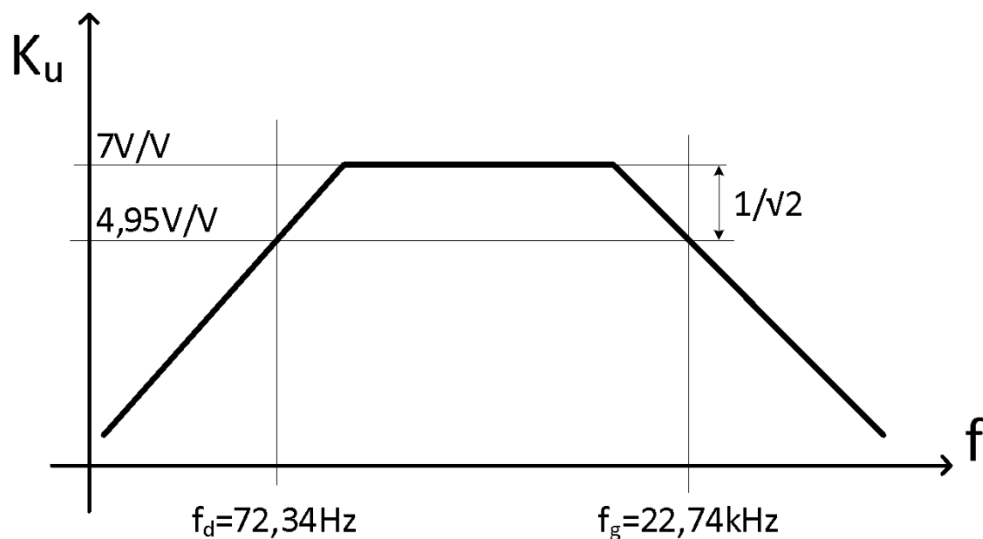
Wartości częstotliwości granicznych można wyznaczyć w oparciu o wzory uproszczone:

$$f_d = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = 72,34 \text{ Hz}$$
(7)

$$f_g = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = 22736,42 \text{ Hz}$$
(8)

Wartość wzmocnienia w paśmie przenoszenia należy wyznaczyć z wykorzystaniem wzoru:

$$K_u = \frac{R_2}{R_1} = 7 \text{ V/V}$$
(9)

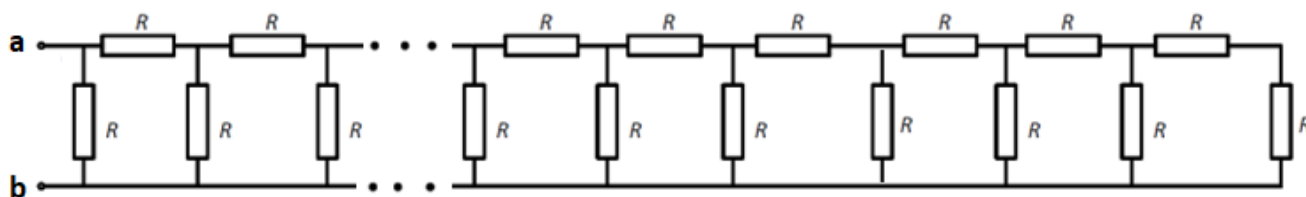


Z kolei impedancja wejściowa układu jest to szeregowe połączenie elementów R i C_1 :

$$Z_{we} = \frac{1}{j\omega C_1} + R_1 \quad (10)$$

Zadanie 5

Oblicz rezystancję zastępczą układu (R_{ab}).



Rozwiązanie

Jeśli drabinka rezystorowa jest nieskończona, to po usunięciu dwóch pierwszych rezystorów z lewej strony jej rezystancja będzie taka sama. Mamy zatem widzianą między zaciskami ab rezystancję R_{ab} . Z drugiej strony, jest to równoległe połączenie rezystancji R z rezystancją szeregową R i R_{ab} . Otrzymujemy zatem:

$$R_{ab} = R \parallel (R + R_{ab})$$

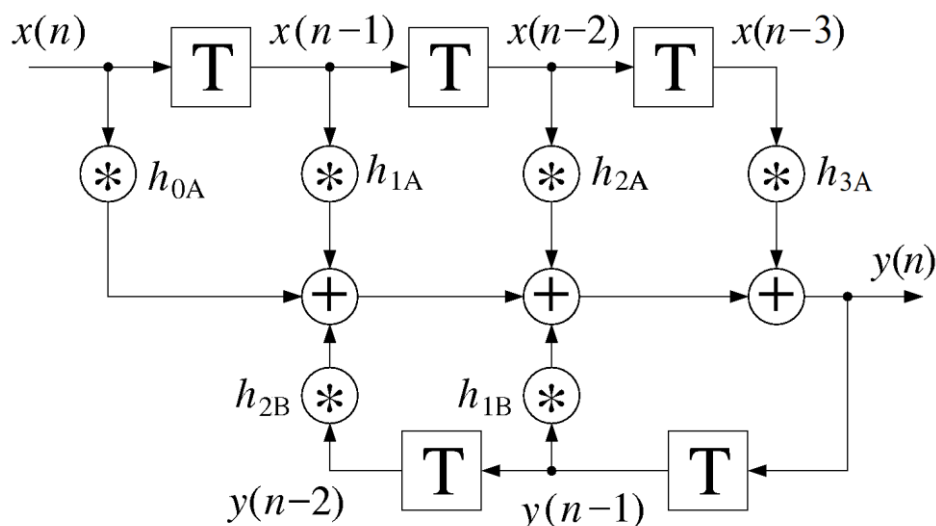
$$\text{Stąd: } R_{ab} = R(R + R_{ab}) / (2R + R_{ab})$$

Po przekształceniach uzyskujemy trójmian kwadratowy ze względu na R_{ab} , którego rozwiązanie to

$$R_{ab} = (\sqrt{5} - 1)R/2$$

Zadanie 6

Dany jest filtr cyfrowy pokazany na rysunku.



Wartości współczynników h są następujące:

(a) $h_{0A} = 0.125$, $h_{1A} = -0.375$, $h_{2A} = 0.375$, $h_{3A} = -0.125$, $h_{1B} = 0$, $h_{2B} = 0$

(b) $h_{0A} = 0.25$, $h_{1A} = 0.25$, $h_{2A} = 0.25$, $h_{3A} = 0.25$, $h_{1B} = 0$, $h_{2B} = 0$

(c) $h_{0A} = 0.25$, $h_{1A} = 0.25$, $h_{2A} = 0.25$, $h_{3A} = 0.25$, $h_{1B} = 0$, $h_{2B} = 0.25$

W ramach zadania należy:

a) Wyznaczyć równanie różnicowe układu. W równaniu należy wykorzystać oznaczenia pokazane na rysunku – sygnały x , y oraz współczynniki h .

b) Jaka będzie odpowiedź układu (sygnał $y(n)$) w każdym z wymienionych przypadków (a, b, c), dla następującej sekwencji wejściowej: $x(n) = \{0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$, dla $n = 0, \dots, 8$.

c) Scharakteryzuj przedstawiony układ:

- Dla przypadków (a), (b), (c) napisz czy układ jest filtrem o skończonej odpowiedzi impulsowej czy o nieskończonej odpowiedzi impulsowej. Uzasadnij swoją odpowiedź.
- Dla przypadków (a) oraz (b) napisz czy jest to filtr dolnoprzepustowy, czy górnoprzepustowy. Uzasadnij swoją odpowiedź dając przykładowe zestawy sygnałów np.: $x_1(n) = \{\dots, 1, -1, 1, -1, 1, -1, \dots\}$ oraz $x_2(n) = \{\dots, 1, 1, 1, 1, 1, \dots\}$

Rozwiązanie

A) transmitancja układu

Równanie różnicowe ogólne (bez podstawiania liczbowych wartości współczynników):

$$y(n) = x(n) \cdot h_{0A} + x(n-1) \cdot h_{1A} + x(n-2) \cdot h_{2A} + x(n-3) \cdot h_{3A} + y(n-1) \cdot h_{1B} + y(n-2) \cdot h_{2B}$$

Dla poszczególnych przypadków przyjmuje następującą postać:

(a) $h_{0A} = 0.125$, $h_{1A} = -0.375$, $h_{2A} = 0.375$, $h_{3A} = -0.125$, $h_{1B} = 0$, $h_{2B} = 0$

$$y(n) = x(n) \cdot 0.125 - x(n-1) \cdot 0.375 + x(n-2) \cdot 0.375 - x(n-3) \cdot 0.125$$

(b) $h_{0A} = 0.25$, $h_{1A} = 0.25$, $h_{2A} = 0.25$, $h_{3A} = 0.25$, $h_{1B} = 0$, $h_{2B} = 0$

$$y(n) = x(n) \cdot 0.25 + x(n-1) \cdot 0.25 + x(n-2) \cdot 0.25 + x(n-3) \cdot 0.25$$

(c) $h_{0A} = 0.25$, $h_{1A} = 0.25$, $h_{2A} = 0.25$, $h_{3A} = 0.25$, $h_{1B} = 0$, $h_{2B} = 0.25$

$$y(n) = x(n) \cdot 0.25 + x(n-1) \cdot 0.25 + x(n-2) \cdot 0.25 + x(n-3) \cdot 0.25 + y(n-2) \cdot 0.25$$

B) Jaka będzie odpowiedź układu (sygnał $y(n)$) w każdym z wymienionych przypadków (a, b, c), dla następującej sekwencji wejściowej: $x(n) = \{0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$, dla $n = 1, \dots, 9$.

(a) 0, 0.125, -0.375, 0.375, -0.125, 0, 0, 0, 0

(b) 0, 0.25, 0.25, 0.25, 0.25, 0, 0, 0, 0

(c) 0, 0.25, 0.25, 0.3125, 0.3125, 0.078125, 0.078125, 0.01953125, 0.01953125

C) Scharakteryzuj przedstawiony układ:

- dla przypadków (a), (b), (c) napisz czy układ jest filtrem o skończonej odpowiedzi impulsowej (FIR) czy nieskończonej odpowiedzi impulsowej (IIR). Uzasadnij swoją odpowiedź.

(a) FIR, (b) FIR, (c) IIR

W przypadkach (a) i (b) po przejściu impulsu przez górną linię opóźniającą (przechowującą kolejne próbki sygnału $x(n)$), sygnał na wyjściu filtru będzie wynosił 0. W przypadku (c) ze względu na jeden niezerowy współczynnik w dolnej linii opóźniającej (przechowującej wcześniej próbki sygnału wyjściowego $y(n)$), na wyjściu filtru w nieskończoność będą pojawiać się niezerowe próbki sygnału.

- dla przypadków (a) oraz (b) napisz czy jest to filtr dolnoprzepustowy, czy górnoprzepustowy.

(a) górnoprzepustowy, (b) dolnoprzepustowy

Opracowali: dr hab. inż. Karolina Detka, prof. UMG dr inż. Leszek Piechowski, UMG dr hab. inż. Tomasz Talaśka, prof. PBŚ	Sprawdził: dr hab. inż. Tomasz Talaśka, prof. PBŚ	Zatwierdził: Przewodniczący Rady Naukowej Olimpiady dr hab. inż. Tomasz Talaśka, prof. PBŚ
--	---	---