

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника (РЛ)»

Кафедра «Технология приборостроения (РЛ6)»

---

Домашнее задание №1

по дисциплине «Цифровые устройства и микропроцессоры»

Выполнил ст. группы РЛ6-69

Лобанов Д.Д.

Преподаватель Семеренко Д.А.

Москва, 2023

## Оглавление

1. Реализовать шифратор для вывода знака на ССИ. ....	3
1.1,1.2. Написать алгебраические уравнения в СДНФ и СКНФ. Минимизировать с помощью: законов алгебры, карт Карно, метода Квайна. .....	3
1.3 Привести полученные выражения к базису 2И-НЕ и 2ИЛИ-НЕ .....	14
1.4 Начертить цифровую схему. ....	19
2. Реализовать счётчик с коэффициентом счёта 6. ....	29
Способ 1 .....	29
Способ 2 .....	30
3. Реализовать преобразователь кода, на выходе которого формируется последовательность бинарных чисел, соответствующая цифрам студенческого билета.....	31
4. Реализовать делитель частоты. ....	33
1 способ .....	33
2 способ .....	33
5. Итоговая схема. ....	34
6. Проверка итоговой схемы на ПЛИС. ....	35

# 1. Реализовать шифратор для вывода знака на ССИ.

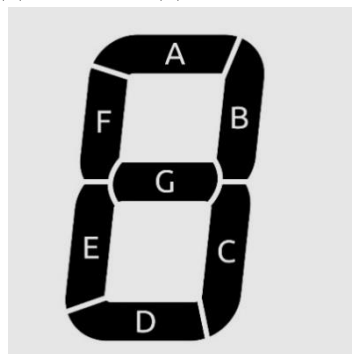


Рис. 1 – Обозначение сегментов индикатора.

Таблица истинности ССИ

	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	a	b	c	d	e	f	g
«0»	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
«1»	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
«2»	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1
«3»	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
«4»	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
«5»	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1
«6»	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
«7»	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
«8»	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
«9»	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
«L»	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0

## 1.1.1.2. Написать алгебраические уравнения в СДНФ и СКНФ. Минимизировать с помощью: законов алгебры, карт Карно, метода Квайна.

$$y_a^{\text{СДНФ}} = \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} \vee \overline{x_0} x_1 x_2 \overline{x_3} \vee x_0 x_1 x_2 \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 \vee x_0 \overline{x_1} \overline{x_2} x_3$$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики. Склеивание 1-2, 2-3, 4-6, 5-6, 7-8:

$$y_a = \overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 x_2 \overline{x_3} \vee x_1 x_2 \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 = |\text{склеивание 2} - 4| = \overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_1 \overline{x_3} \vee x_0 x_2 \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} x_3$$

2) Карты Карно

	$x_0 x_1$	$\overline{x_0} x_1$	$\overline{x_0} \overline{x_1}$	$x_0 \overline{x_1}$
$x_2 x_3$	0	0	0	0
$\overline{x_2} x_3$	0	0	1	1
$\overline{x_2} \overline{x_3}$	1	1	1	0
$x_2 \overline{x_3}$	1	1	0	1

$$y_a = x_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee x_0 x_2 \bar{x}_3$$

### 3) Метод Квайна

1	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	1-2: $\bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3$ (1')	$\bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3$ (1'')
2	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	2-3: $x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$ (2')	$x_0 x_2 \bar{x}_3$ (2'')
3	$x_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	4-6: $x_0 x_2 \bar{x}_3$ (3')	$\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$ (3'')
4	$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	5-6: $x_1 x_2 \bar{x}_3$ (4')	(2'-4'): $x_1 \bar{x}_3$ (4'')
5	$\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3$	7-8: $\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$ (5')	
6	$x_0 x_1 x_2 \bar{x}_3$		
7	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$		
8	$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$		

	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	$x_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	$\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3$	$x_0 x_1 x_2 \bar{x}_3$	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$	$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$
$\bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	X	X						
$x_0 x_2 \bar{x}_3$				X		X		
$\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$							X	X
$x_1 \bar{x}_3$		X	X		X	X		

$$y_a = \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 \bar{x}_3 \vee x_0 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$$

- $y_a^{\text{СКНФ}} = (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики не минимизируется.

2) Карты Карно

	$x_0 \vee x_1$	$\bar{x}_0 \vee x_1$	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1$	$x_0 \vee \bar{x}_1$
$x_2 \vee x_3$	1	0	1	1
$\bar{x}_2 \vee x_3$	0	1	1	1
$\bar{x}_2 \vee \bar{x}_3$	1	1	1	1
$x_2 \vee \bar{x}_3$	1	1	1	0

Нет нулей в соседних ячейках, получаем изначальное выражение:

$$y_a = (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$$

3) Метод Квайна

1	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	
2	$x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	
3	$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3$	

	$\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	$x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3$	$x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}$
$\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	X		
$x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3$		X	
$x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}$			X

Не минимизируется, получаем изначальное выражение:

$$y_a = (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3})$$

$$\bullet y_b^{\text{СДНФ}} = \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} \vee x_0 \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} \vee \overline{x_0} x_1 x_2 \overline{x_3} \vee x_0 x_1 x_2 \overline{x_3}$$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики. Склеивание 1-2, 1-3, 1-5, 1-7, 3-4, 4-6, 7-8:

$$y_b = \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \vee x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 x_1 \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 = |\text{склеивание } 1 - 5, 1 - 7| = \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 x_1 \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} = |\text{склеивание } 1 - 3, 2 - 6| = \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} \vee x_0 x_1 \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3}$$

2) Карты Карно

	$x_0 x_1$	$\overline{x_0} x_1$	$\overline{x_0} \overline{x_1}$	$x_0 \overline{x_1}$
$x_2 x_3$	0	0	0	0
$\overline{x_2} x_3$	0	0	1	1
$\overline{x_2} \overline{x_3}$	1	1	1	1
$x_2 \overline{x_3}$	1	0	1	0

$$y_b = \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 x_1 \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3}$$

3) Метод Квайна

1	$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}$	1-2: $\overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}$ (1')	1'-5': $\overline{x_2} \overline{x_3}$ (1'')	1''-3'': $\overline{x_2} \overline{x_3}$
2	$x_0 \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}$	1-3: $\overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3}$ (2')	1'-7': $\overline{x_1} \overline{x_2}$ (2'')	2''-5'': $\overline{x_1} \overline{x_2}$
3	$\overline{x_0} x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}$	1-5: $\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3}$ (3')	$\overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3}$ (3'')	$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3}$
4	$x_0 x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}$	1-7: $\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2}$ (4')	$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3}$ (4'')	$x_0 x_1 \overline{x_3}$
5	$\overline{x_0} \overline{x_1} x_2 \overline{x_3}$	3-4: $x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}$ (5')	$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2}$ (5'')	
6	$x_0 x_1 x_2 \overline{x_3}$	4-6: $x_0 x_1 \overline{x_3}$ (6')	$x_0 x_1 \overline{x_3}$ (6'')	
7	$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} x_3$	7-8: $\overline{x_1} \overline{x_2} x_3$ (7')		
8	$x_0 \overline{x_1} \overline{x_2} x_3$			

	$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}$	$x_0 \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}$	$\overline{x_0} x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}$	$x_0 x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}$	$\overline{x_0} \overline{x_1} x_2 \overline{x_3}$	$x_0 x_1 x_2 \overline{x_3}$	$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} x_3$	$x_0 \overline{x_1} \overline{x_2} x_3$
$\overline{x_2} \overline{x_3}$	X	X	X	X				
$\overline{x_1} \overline{x_2}$	X	X					X	X
$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3}$	X				X			
$x_0 x_1 \overline{x_3}$				X		X		

$$y_b = \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3} \vee x_0 x_1 \overline{x_3}$$

- $y_b^{\text{СКНФ}} = (\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3})$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики не минимизируется.

2) Карты Карно

	$x_0 \vee x_1$	$\overline{x_0} \vee x_1$	$\overline{x_0} \vee \overline{x_1}$	$x_0 \vee \overline{x_1}$
$x_2 \vee x_3$	1	1	1	1
$\overline{x_2} \vee x_3$	1	0	1	0
$\overline{x_2} \vee \overline{x_3}$	1	1	1	1
$x_2 \vee \overline{x_3}$	1	1	1	0

Нет нулей в соседних ячейках, получаем изначальное выражение:

$$y_b = (\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3})$$

3) Метод Квайна

1	$\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3$	
2	$x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3$	
3	$x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}$	

	$\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3$	$x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3$	$x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}$
$\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3$	X		
$x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3$		X	
$x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}$			X

Не минимизируется, получаем изначальное выражение:

- $y_c^{\text{СДНФ}} = \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} \vee x_0 \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} \vee \overline{x_0} x_1 x_2 \overline{x_3} \vee x_0 x_1 x_2 \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 \vee x_0 \overline{x_1} \overline{x_2} x_3$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики. Склеивание 1-2, 1-4, 1-8, 2-3, 2-5, 2-9, 4-5, 5-7, 6-7, 8-9:

$$\begin{aligned} y_c &= \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \vee x_0 \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_0 \overline{x_1} \overline{x_3} \vee x_0 \overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} \vee \\ &\vee x_0 x_2 \overline{x_3} \vee x_1 x_2 \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 = |\text{склеивание } 1 - 7, 1 - 10, 2 - 5, 3 - 6, 4 - 8, 7 - 9| = \\ &= \overline{x_1} \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_1} \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} \vee x_0 \overline{x_3} \vee x_2 \overline{x_3} = \overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_1} \overline{x_3} \vee x_0 \overline{x_3} \vee x_2 \overline{x_3} \end{aligned}$$

2) Карты Карно

	$x_0x_1$	$\overline{x_0}x_1$	$\overline{x_0}\overline{x_1}$	$x_0\overline{x_1}$
$x_2x_3$				
$\overline{x_2}x_3$			1	1
$\overline{x_2}\overline{x_3}$	1		1	1
$x_2\overline{x_3}$	1	1	1	1

$$y_c = x_2\overline{x_3} \vee \overline{x_1}\overline{x_2} \vee x_0\overline{x_3}$$

### 3) Метод Квайна

1	$\overline{x_0}\overline{x_1}\overline{x_2}\overline{x_3}$	1-2: $\overline{x_1}\overline{x_2}\overline{x_3}$ (1')	1'-8': $\overline{x_1}\overline{x_3}$ (1'')	$\overline{x_1}\overline{x_3}$
2	$x_0\overline{x_1}\overline{x_2}\overline{x_3}$	1-4: $\overline{x_0}\overline{x_1}\overline{x_3}$ (2')	1'-12': $\overline{x_1}\overline{x_2}$ (2'')	$\overline{x_1}\overline{x_2}$
3	$x_0x_1\overline{x_2}\overline{x_3}$	1-8: $\overline{x_0}\overline{x_1}\overline{x_2}$ (3')	2'-5': $\overline{x_1}\overline{x_3}$ (3'')	$x_0\overline{x_3}$
4	$\overline{x_0}\overline{x_1}x_2\overline{x_3}$	2-3: $x_0\overline{x_2}\overline{x_3}$ (4')	3'-6': $\overline{x_1}\overline{x_2}$ (4'')	$x_2\overline{x_3}$
5	$x_0\overline{x_1}x_2\overline{x_3}$	2-5: $x_0\overline{x_1}\overline{x_3}$ (5')	4'-10': $x_0\overline{x_3}$ (5'')	
6	$\overline{x_0}x_1x_2\overline{x_3}$	2-9: $x_0\overline{x_1}\overline{x_2}$ (6')	5'-7': $x_0\overline{x_3}$ (6'')	
7	$x_0x_1x_2\overline{x_3}$	3-7: $x_0x_1\overline{x_3}$ (7')	4'-10': $x_0\overline{x_3}$ (7'')	
8	$\overline{x_0}\overline{x_1}\overline{x_2}x_3$	4-5: $\overline{x_1}x_2\overline{x_3}$ (8')	8'-11': $x_2\overline{x_3}$ (8'')	
9	$x_0\overline{x_1}\overline{x_2}x_3$	4-6: $\overline{x_0}x_2\overline{x_3}$ (9')		
		5-7: $x_0x_2\overline{x_3}$ (10')		
		6-7: $x_1x_2\overline{x_3}$ (11')		
		8-9: $\overline{x_1}\overline{x_2}x_3$ (12')		

	$\overline{x_0}\overline{x_1}\overline{x_2}\overline{x_3}$	$x_0\overline{x_1}\overline{x_2}\overline{x_3}$	$x_0x_1\overline{x_2}\overline{x_3}$	$\overline{x_0}\overline{x_1}x_2\overline{x_3}$	$x_0\overline{x_1}x_2\overline{x_3}$	$\overline{x_0}x_1x_2\overline{x_3}$	$x_0x_1x_2\overline{x_3}$	$\overline{x_0}\overline{x_1}\overline{x_2}x_3$	$x_0\overline{x_1}\overline{x_2}x_3$
$\overline{x_1}\overline{x_3}$	X	X		X	X				
$\overline{x_1}\overline{x_2}$	X	X						X	X
$x_0\overline{x_3}$		X	X		X		X		
$x_2\overline{x_3}$				X	X	X	X		

$$y_c = \overline{x_1}\overline{x_2} \vee x_0\overline{x_3} \vee x_2\overline{x_3}$$

$$\bullet y_c^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3})$$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики:

$$y_c = (x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}) = x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2$$

2) Карты Карно

	$x_0 \vee x_1$	$\overline{x_0} \vee x_1$	$\overline{x_0} \vee \overline{x_1}$	$x_0 \vee \overline{x_1}$
$x_2 \vee x_3$	1	1	1	0
$\overline{x_2} \vee x_3$	1	1	1	1
$\overline{x_2} \vee \overline{x_3}$	1	1	1	1
$x_2 \vee \overline{x_3}$	1	1	1	0

$$y_c = x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2$$

### 3) Метод Квайна

1	$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2$	1-2: $x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2$
2	$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3$	

	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3$
$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2$	X	X

$$y_c = x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2$$

$$\bullet y_d^{\text{СДНФ}} = \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 x_3$$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики. Склеивание 1-2, 1-6, 2-3, 2-5, 6-7, 6-8:

$$y_d = \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_2 x_3 \vee x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 =$$

$$= |\text{Склеивание 1} - 6| = \bar{x}_0 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$$

2) Карты Карно

	$x_0 x_1$	$\bar{x}_0 x_1$	$\bar{x}_0 \bar{x}_1$	$x_0 \bar{x}_1$
$x_2 x_3$	0	0	0	0
$\bar{x}_2 x_3$	0	1	1	1
$\bar{x}_2 \bar{x}_3$	1	1	1	0
$x_2 \bar{x}_3$	0	1	0	1

$$y_d = \bar{x}_0 \bar{x}_2 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$$

3) Метод Квайна

1	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	1-2: $\bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3$ (1')	1'-6': $\bar{x}_0 \bar{x}_2$
2	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	1-6: $\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2$ (2')	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2$
3	$x_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	2-3: $x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$ (3')	$x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$
4	$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	2-5: $\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3$ (4')	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3$
5	$\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3$	6-7: $\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$ (5')	$\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$
6	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$	6-8: $\bar{x}_0 \bar{x}_2 x_3$ (6')	$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$
7	$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$	$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$ (7')	
8	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3$		



	$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}$	$\overline{x_0} x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}$	$x_0 x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}$	$x_0 \overline{x_1} x_2 \overline{x_3}$	$\overline{x_0} x_1 x_2 \overline{x_3}$	$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} x_3$	$x_0 \overline{x_1} \overline{x_2} x_3$	$\overline{x_0} x_1 \overline{x_2} x_3$
$\overline{x_0} \overline{x_2}$	X	X				X		X
$\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2}$	X					X		
$x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}$		X	X					
$\overline{x_0} x_1 \overline{x_3}$		X			X			
$\overline{x_1} \overline{x_2} x_3$						X	X	
$x_0 \overline{x_1} x_2 \overline{x_3}$				X				

$$y_d = \overline{x_0} \overline{x_2} \vee x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} x_1 \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 \vee x_0 \overline{x_1} x_2 \overline{x_3}$$

- $y_d^{\text{СКНФ}} = (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3)$

Минимизация:

- 1) С помощью основных законов алгебры логики не минимизируется.
- 2) Карты Карно

	$x_0 \vee x_1$	$\overline{x_0} \vee x_1$	$\overline{x_0} \vee \overline{x_1}$	$x_0 \vee \overline{x_1}$
$x_2 \vee x_3$	1	0	1	1
$\overline{x_2} \vee x_3$	0	1	0	1
$\overline{x_2} \vee \overline{x_3}$	1	1	1	1
$x_2 \vee \overline{x_3}$	1	1	1	1

Нет нулей в соседних ячейках, получаем изначальное выражение:

$$y_d = (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3)$$

- 3) Метод Квайна

1	$\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	
2	$x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3$	
3	$\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3$	

	$\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	$x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3$	$\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3$
$\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	X		
$x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3$		X	
$\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3$			X

Не минимизируется, получаем изначальное выражение:

$$y_d = (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3)$$

- $y_e^{\text{СДНФ}} = \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} x_1 x_2 \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 \vee \overline{x_0} x_1 \overline{x_2} x_3$

Минимизация:

- 1) С помощью основных законов алгебры логики. Склеивание 1-2, 1-4, 2-3, 2-5, 4-5:

$$y_e = \overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} x_1 \overline{x_3} \vee \overline{x_0} x_1 \overline{x_2} \vee \overline{x_0} \overline{x_2} x_3 =$$

$$= |\text{Склеивание } 1 - 5, 2 - 4| = \overline{x_0} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} x_1 \overline{x_3} = \overline{x_0} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} x_1 \overline{x_3}$$

## 2) Карты Карно

	$x_0x_1$	$\overline{x_0}x_1$	$\overline{x_0}\overline{x_1}$	$x_0\overline{x_1}$
$x_2x_3$	0	0	0	0
$\overline{x_2}x_3$	0	1	1	0
$\overline{x_2}\overline{x_3}$	0	1	1	0
$x_2\overline{x_3}$	0	1	0	0

$$y_e = \overline{x_0}\overline{x_2} \vee \overline{x_0}x_1\overline{x_3}$$

## 3) Метод Квайна

1	$\overline{x_0}\overline{x_1}\overline{x_2}\overline{x_3}$	1-2: $\overline{x_0}\overline{x_2}\overline{x_3}$ (1')	1'-5': $\overline{x_0}\overline{x_2}$
2	$\overline{x_0}x_1\overline{x_2}\overline{x_3}$	1-4: $\overline{x_0}\overline{x_1}\overline{x_2}$ (2')	2'-4': $\overline{x_0}\overline{x_2}$
3	$\overline{x_0}x_1x_2\overline{x_3}$	2-3: $\overline{x_0}x_1\overline{x_3}$ (3')	$\overline{x_0}x_1\overline{x_3}$
4	$\overline{x_0}\overline{x_1}x_2\overline{x_3}$	2-5: $\overline{x_0}x_1\overline{x_2}$ (4')	
5	$\overline{x_0}x_1x_2x_3$	4-5: $\overline{x_0}\overline{x_2}x_3$ (5')	

	$\overline{x_0}\overline{x_1}\overline{x_2}\overline{x_3}$	$\overline{x_0}x_1\overline{x_2}\overline{x_3}$	$\overline{x_0}x_1x_2\overline{x_3}$	$\overline{x_0}\overline{x_1}x_2\overline{x_3}$	$\overline{x_0}x_1x_2x_3$
$\overline{x_0}\overline{x_2}$	X	X		X	
$\overline{x_0}x_1\overline{x_3}$		X	X		

$$y_e = \overline{x_0}\overline{x_2} \vee \overline{x_0}x_1\overline{x_3}$$

- $y_e^{\text{СКНФ}} = (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee \overline{x_3})$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики, 1-2, 1-4, 1-6, 2-5, 3-4, 4-5:

$$y_e^{\text{СКНФ}} = (\overline{x_0} \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2) \wedge (\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee x_3) \wedge (x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee \overline{x_2} \vee x_3) = |1 - 6, 2 - 4| = (\overline{x_0} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2) \wedge (x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3) = (\overline{x_0} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2) \wedge (x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3)$$

## 2) Карты Карно

	$x_0 \vee x_1$	$\overline{x_0} \vee x_1$	$\overline{x_0} \vee \overline{x_1}$	$x_0 \vee \overline{x_1}$
$x_2 \vee x_3$	1	0	0	1
$\overline{x_2} \vee x_3$	0	0	0	1
$\overline{x_2} \vee \overline{x_3}$	1	1	1	1
$x_2 \vee \overline{x_3}$	1	0	1	1

$$y_e = (\overline{x_0} \vee x_3) \wedge (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2) \wedge (x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3)$$

## 3) Метод Квайна

1	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	1-2: $\bar{x}_0 \vee x_2 \vee x_3$ (1')	1'-6': $\bar{x}_0 \vee x_3$
2	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3$	1-4: $\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_3$ (2')	2'-4': $\bar{x}_0 \vee x_3$
3	$x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	1-6: $\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2$ (3')	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2$
4	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	2-5: $\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_3$ (4')	$x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$
5	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	3-4: $x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$ (5')	
6	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3$	4-5: $\bar{x}_0 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$ (6')	

	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3$	$x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3$
$\bar{x}_0 \vee x_3$	X	X		X	X	
$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2$	X					X
$x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$			X	X		

$$y_e = (\bar{x}_0 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2) \wedge (x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$$

$$\bullet y_f^{\text{СДНФ}} = \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3$$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики. Склеивание 1-2, 1-5, 2-3, 2-4, 5-6, 5-7:

$$y_f = \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_2 x_3$$

2) Карты Карно

	$x_0 x_1$	$\bar{x}_0 x_1$	$\bar{x}_0 \bar{x}_1$	$x_0 \bar{x}_1$
$x_2 x_3$	0	0	0	0
$\bar{x}_2 x_3$	0	1	1	1
$\bar{x}_2 \bar{x}_3$	0	0	1	0
$x_2 \bar{x}_3$	0	1	1	1

$$y_f = \bar{x}_0 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2$$

3) Метод Квайна

1	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	1-2: $\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3$ (1')
2	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	1-5: $\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2$ (2')
3	$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	2-3: $\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$ (3')
4	$\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3$	2-4: $\bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3$ (4')
5	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$	5-6: $\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$ (5')
6	$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$	5-7: $\bar{x}_0 \bar{x}_2 x_3$ (6')
7	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3$	

	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	$\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3$	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3$	$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3$
$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3$	X	X					
$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2$	X				X		
$\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$		X	X				
$\bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3$		X		X			
$\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$					X	X	
$\bar{x}_0 \bar{x}_2 x_3$					X		X

$$y_f = \bar{x}_0 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2$$

- $y_f^{\text{СКНФ}} = (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики 1-3, 2-3, 3-4:

$$y_f = (\bar{x}_0 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_3)$$

2) Карты Карно

	$x_0 \vee x_1$	$\bar{x}_0 \vee x_1$	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1$	$x_0 \vee \bar{x}_1$
$x_2 \vee x_3$	1	0	0	0
$\bar{x}_2 \vee x_3$	1	1	0	1
$\bar{x}_2 \vee \bar{x}_3$	1	1	1	1
$x_2 \vee \bar{x}_3$	1	1	1	1

$$y_f = (\bar{x}_0 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_3)$$

3) Метод Квайна

1	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	1-3: $\bar{x}_0 \vee x_2 \vee x_3$
2	$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3$	2-3: $\bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3$
3	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3$	3-4: $\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_3$
4	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	

	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3$	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3$	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$
$\bar{x}_0 \vee x_2 \vee x_3$	X		X	
$\bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3$		X	X	
$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_3$			X	X

$$y_f = (\bar{x}_0 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_3)$$

- $y_g^{\text{СДНФ}} = \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики. Склеивание 1-2, 1-5, 3-4, 3-5, 6-7:

$$y_g = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$$

2) Карты Карно

	$x_0 x_1$	$\bar{x}_0 x_1$	$\bar{x}_0 \bar{x}_1$	$x_0 \bar{x}_1$
$x_2 x_3$	0	0	0	0
$\bar{x}_2 x_3$	0	0	1	1
$\bar{x}_2 \bar{x}_3$	1	1	0	0
$x_2 \bar{x}_3$	0	1	1	1

$$y_g = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$$

3) Метод Квайна

1	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	1-2: $x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$
2	$x_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	1-5: $\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3$
3	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	3-4: $\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$
4	$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	3-5: $\bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3$
5	$\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3$	6-7: $\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$
6	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$	
7	$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$	

	$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	$x_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$	$\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3$	$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$	$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$
$x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$	X	X					
$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3$	X				X		
$\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$			X	X			
$\bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3$			X		X		
$\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$						X	X

$$y_g = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3$$

- $y_g^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3)(\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$

Минимизация:

1) С помощью основных законов алгебры логики 1-2:

$$y_g = (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$$

2) Карты Карно

	$x_0 \vee x_1$	$\bar{x}_0 \vee x_1$	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1$	$x_0 \vee \bar{x}_1$
$x_2 \vee x_3$	0	0	1	1
$\bar{x}_2 \vee x_3$	1	1	0	1
$\bar{x}_2 \vee \bar{x}_3$	1	1	1	1
$x_2 \vee \bar{x}_3$	1	1	1	0

$$y_g = (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$$

### 3) Метод Квайна

1	$x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	1-2: $x_1 \vee x_2 \vee x_3$
2	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$
3	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3$
4	$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3$	

	$x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	$\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3$	$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$	$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3$
$x_1 \vee x_2 \vee x_3$	X	X		
$\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3$			X	
$x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3$				X

$$y_g = (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \wedge (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$$

### 1.3 Привести полученные выражения к базису 2И-НЕ и 2ИЛИ-НЕ

При переводе в базис к изначальному алгебраическому уравнению применяется двойное отрицание, после чего используются законы де Моргана:

$$\overline{a \wedge b} = \bar{a} \vee \bar{b}$$

$$\overline{a \vee b} = \bar{a} \wedge \bar{b}$$

Чтобы не загромождать запись двойными отрицаниями, они будут опускаться после того, как будет показано их применение, то есть:

$$\overline{\overline{A \vee B \vee C \vee D}} = \overline{\overline{A} \overline{B} \overline{C} \overline{D}} = \overline{\overline{\overline{A}} \overline{\overline{B}} \overline{\overline{C}} \overline{\overline{D}}} = |\text{убрал из записи}| = \overline{\overline{A} \overline{B} \overline{C} \overline{D}}$$

$$A \vee B \vee C \vee D = \overline{\overline{\overline{A \vee B \vee C \vee D}}} = \overline{\overline{\overline{A} \overline{B} \overline{C} \overline{D}}} = |\text{убрал из записи}| = \overline{\overline{\overline{A} \overline{B} \overline{C} \overline{D}}}$$

### 2И-НЕ:

$$\begin{aligned}
 y_a^{\text{ДНФ}} &= \overline{\overline{\overline{x_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 \bar{x}_3 \vee x_0 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}}} = \overline{\overline{\overline{x_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \overline{\overline{x_1 \bar{x}_3}} \overline{\overline{x_0 x_2 \bar{x}_3}} \overline{\overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}}}} \\
 &= \overline{\overline{\overline{x_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \overline{\overline{x_1 \bar{x}_3}} \overline{\overline{x_0 x_2 \bar{x}_3}} \overline{\overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}}}} = \overline{\overline{\overline{x_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \overline{\overline{x_1 \bar{x}_3}} \overline{\overline{x_0 x_2 \bar{x}_3}} \overline{\overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}}}} = \\
 &= \overline{\overline{\overline{x_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \overline{\overline{x_1 \bar{x}_3}} \overline{\overline{x_0 x_2 \bar{x}_3}} \overline{\overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}}}}
 \end{aligned}$$







$$\begin{aligned}
&= \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \overline{x_0 x_1 x_2 x_3} \overline{x_0 x_1 x_2 x_3} = \overline{\overline{\overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}}} \overline{x_0 x_1} \overline{\overline{\overline{x_2 x_3}}} \overline{\overline{\overline{x_0 x_1}}} \overline{\overline{\overline{x_2 x_3}}} = \\
&= \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \overline{x_0 x_1 x_2 x_3} \overline{x_0 x_1 x_2 x_3}
\end{aligned}$$

## 2ИЛИ-НЕ:

$$\begin{aligned} y_a^{\text{ДН}\Phi} &= \overline{\overline{\overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee x_1 \overline{x_3} \vee x_0 x_2 \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}}} = \overline{\overline{\overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3}} \vee \overline{\overline{x_1 \overline{x_3}}} \vee \overline{\overline{x_0 x_2 \overline{x_3}}} \vee \overline{\overline{\overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}}}} = \\ &= \overline{x_0 \vee x_2 \vee x_3 \vee \overline{x_1} \vee x_3 \vee \overline{x_0} \vee \overline{x_2} \vee x_3 \vee x_1 \vee x_2 \vee \overline{x_3}} = \\ &= \overline{\overline{\overline{x_0} \vee x_2 \vee x_3} \vee \overline{\overline{x_1} \vee x_3} \vee \overline{\overline{\overline{x_0} \vee \overline{x_2} \vee x_3}} \vee \overline{\overline{\overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}}}} = \\ &= \overline{x_0 \vee x_2 \vee x_3 \vee \overline{x_1} \vee x_3 \vee \overline{x_0} \vee \overline{x_2} \vee x_3 \vee x_1 \vee x_2 \vee \overline{x_3}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_a^{\text{KHF}} &= (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3)(x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3)(x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}) = \\
&= (\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3)(x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3)(x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}) \\
&= \overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3 \vee x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3} = \\
&= \overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3 \vee x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3} = \\
&= \overline{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_0 \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3 \vee x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_b^{\text{DN}\Phi} &= \overline{\overline{\overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3}}} = \overline{\overline{\overline{x_2} \overline{x_3}} \vee \overline{\overline{\overline{x_1} \overline{x_2}}} \vee \overline{\overline{\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3}}} \vee \overline{\overline{\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3}}} = \\ &= \overline{x_2 \vee x_3 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_0 \vee x_1 \vee x_3 \vee x_0 \vee x_1 \vee x_3} = \\ &= \overline{x_2 \vee x_3 \vee x_1 \vee x_2 \vee \overline{\overline{\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_3}} \vee \overline{\overline{\overline{x_0} \vee x_1 \vee x_3}}} = \\ &= \overline{x_2 \vee x_3 \vee x_1 \vee x_2 \vee \overline{x_0 \vee x_1 \vee x_3} \vee \overline{x_0 \vee x_1 \vee x_3}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_b^{\text{KHF}} &= \overline{\overline{(\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3)(x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3) (x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3})}} \\
&= \overline{\overline{(\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3)(x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3)(x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3})}} = \\
&= \overline{\overline{\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3} \vee \overline{\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3}} \vee \overline{\overline{\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}}} = \\
&= \overline{\overline{\overline{\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3} \vee \overline{\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3}} \vee \overline{\overline{\overline{\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}}}}} = \\
&= \overline{\overline{\overline{\overline{x_0} \vee x_1 \vee \overline{x_2} \vee x_3} \vee \overline{\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3}} \vee \overline{\overline{\overline{\overline{x_0} \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}}}}}
\end{aligned}$$

$$y_c^{\text{DNF}} = \overline{\overline{\overline{x_1 x_2 \vee x_0 x_3 \vee x_2 x_3}}} = \overline{\overline{\overline{x_1 x_2}} \vee \overline{\overline{\overline{x_0 x_3}}} \vee \overline{\overline{\overline{x_2 x_3}}} = \overline{\overline{x_1 \vee x_2}} \vee \overline{\overline{x_0 \vee x_3}} \vee \overline{\overline{x_2 \vee x_3}}$$

$$y_c^{\text{KH}\Phi} = \overline{\overline{(x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2)}} = \overline{\overline{\overline{(x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2)}}}$$

$$y_d^{\text{DNF}} = \overline{\overline{x_0 x_2} \vee x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}} \vee \overline{\overline{x_0 x_1 x_3} \vee x_1 \overline{x_2} x_3 \vee x_0 \overline{x_1} x_2 \overline{x_3}} =$$

[illegible]

$$\begin{aligned}
y_g^{\text{ДНФ}} &= \overline{\overline{\overline{x_1 x_2 x_3} \vee \overline{x_0 x_2 x_3} \vee \overline{x_1 x_2 x_3} \vee \overline{x_1 x_2 x_3}}} = \overline{\overline{\overline{x_1 x_2 x_3} \vee \overline{x_0 x_2 x_3} \vee \overline{x_1 x_2 x_3} \vee \overline{x_1 x_2 x_3}}} = \\
&= \overline{\overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3} \vee \overline{x_0} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3}} = \\
&= \overline{\overline{\overline{\overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3}} \vee \overline{x_0} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3}} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3}}} = \\
&= \overline{\overline{\overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3}} \vee \overline{x_0} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee \overline{x_3}}} \\
y_g^{\text{КНФ}} &= \overline{\overline{\overline{(x_1 \vee x_2 \vee x_3)(x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3)(x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3})}} = \\
&= \overline{\overline{(x_1 \vee x_2 \vee x_3)(x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3)(x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3})}} = \\
&= \overline{\overline{x_1 \vee x_2 \vee x_3} \vee \overline{x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3} \vee \overline{x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}}} = \\
&= \overline{\overline{\overline{x_1 \vee x_2 \vee x_3} \vee \overline{x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3} \vee \overline{x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}}}} = \\
&= \overline{\overline{\overline{x_1 \vee x_2 \vee x_3} \vee \overline{x_0 \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_2} \vee x_3} \vee \overline{x_0 \vee \overline{x_1} \vee x_2 \vee \overline{x_3}}}}
\end{aligned}$$

#### 1.4 Начертить цифровую схему.

##### Цифровая схема для $y_a$

Все цифровые схемы приведены в базисе «2И-НЕ» для минимизированных ДНФ выражений.

$$y_a^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3}} \overline{x_1 \overline{x_3}} \overline{x_0 x_2 \overline{x_3}} \overline{x_1 x_2 x_3}}$$

Используя результат перевода алгебраического выражения  $y_a$  в базис «2И-НЕ», построим цифровую схему:

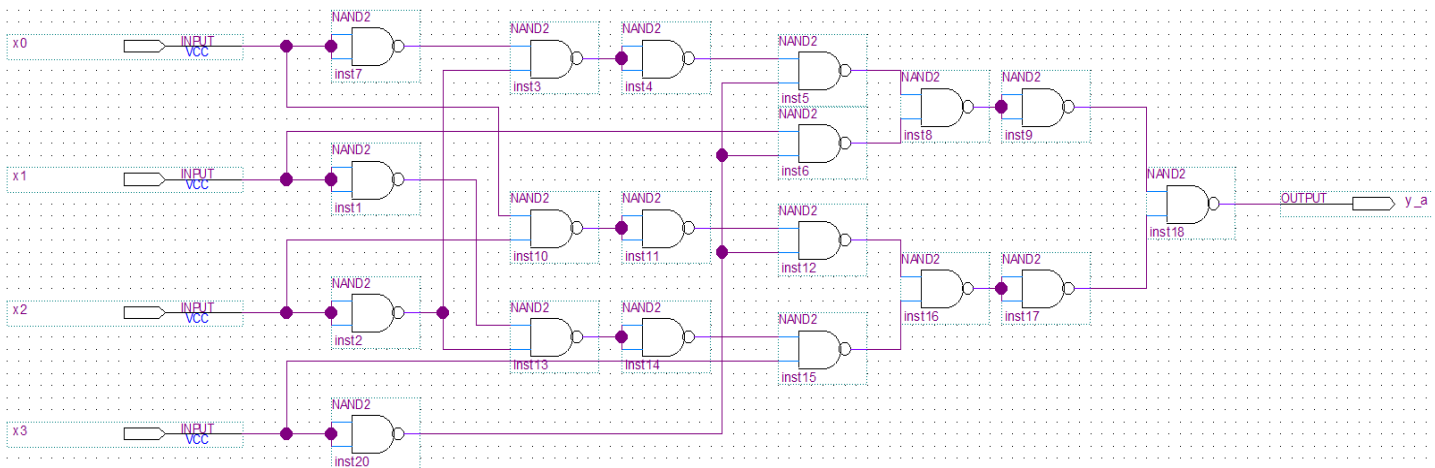


Рис. 2 – Цифровая схема  $y_a$  в базисе «2И-НЕ».

Проведём симуляцию схемы:

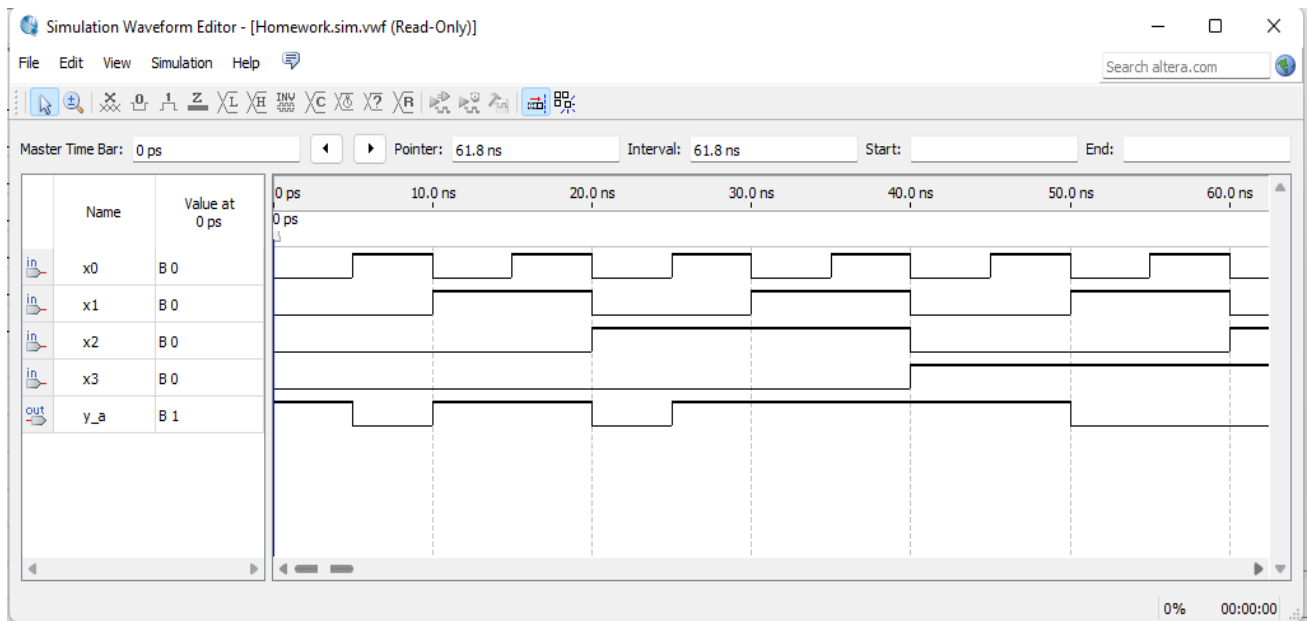


Рис. 3 – Результат симуляции цифровой схемы  $y_a$ .

Сверимся с таблицей истинности для  $y_a$  и убедимся, что схема собрана правильно:

	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	a
«0»	0	0	0	0	1
«1»	1	0	0	0	0
«2»	0	1	0	0	1
«3»	1	1	0	0	1
«4»	0	0	1	0	0
«5»	1	0	1	0	1
«6»	0	1	1	0	1
«7»	1	1	1	0	1
«8»	0	0	0	1	1
«9»	1	0	0	1	1
«L»	0	1	0	1	0

### Цифровая схема для $y_b$

$$y_b^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{x_2} \overline{x_3}} \overline{\overline{x_1} \overline{x_2}} \overline{\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_3}} \overline{\overline{x_0} x_1 x_3}$$

Используя результат перевода алгебраического выражения  $y_a$  в базис «2И-НЕ», построим цифровую схему:

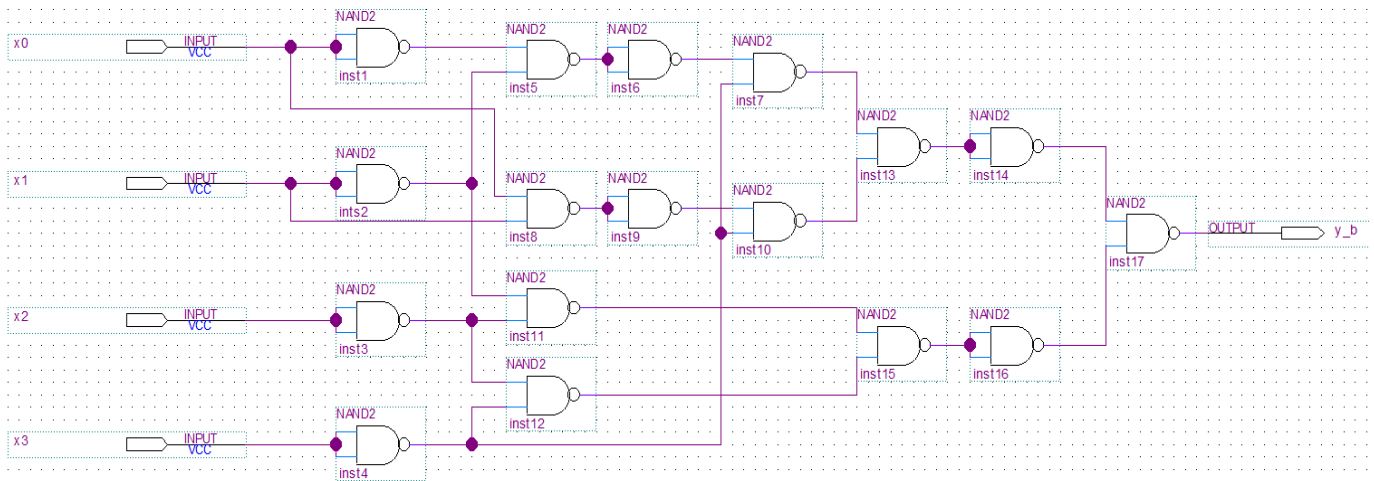


Рис. 4 – Цифровая схема  $y_b$  в базисе «2И-НЕ».

Проведём симуляцию схемы:

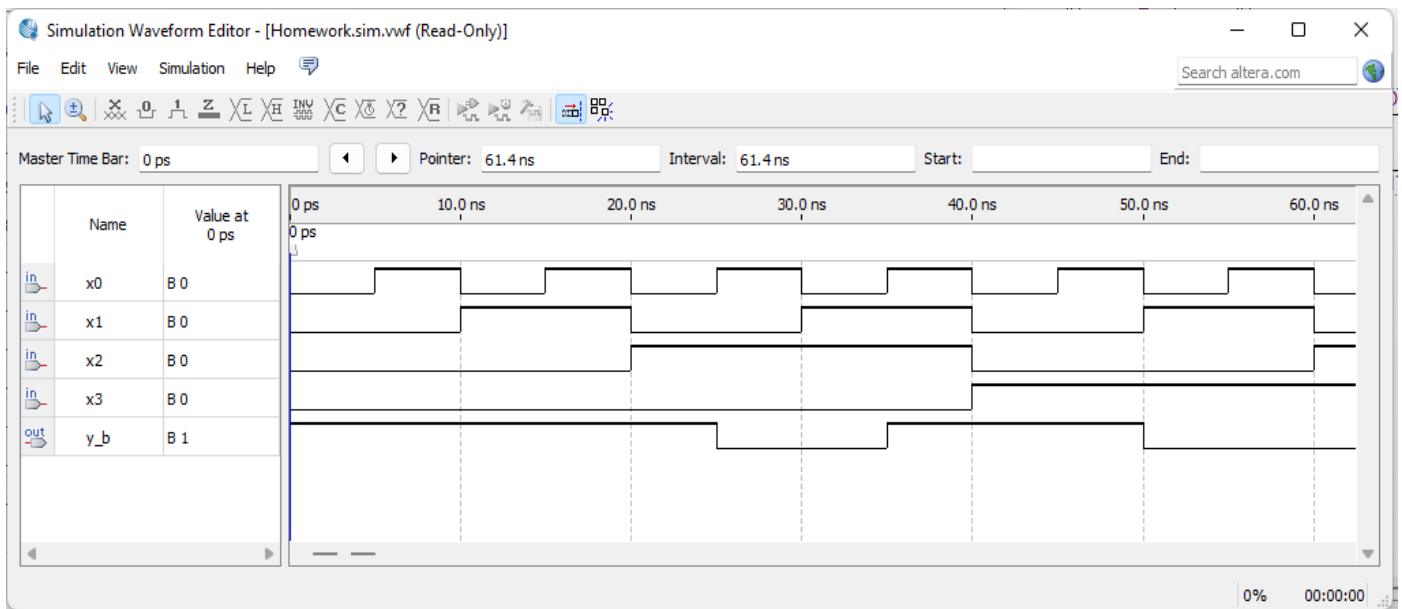


Рис. 5 – Результат симуляции цифровой схемы  $y_b$ .

Сверимся с таблицей истинности для  $y_b$  и убедимся, что схема собрана правильно:

	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$b$
«0»	0	0	0	0	1
«1»	1	0	0	0	1
«2»	0	1	0	0	1
«3»	1	1	0	0	1
«4»	0	0	1	0	1
«5»	1	0	1	0	0
«6»	0	1	1	0	0
«7»	1	1	1	0	1
«8»	0	0	0	1	1
«9»	1	0	0	1	1

## Цифровая схема для $y_c$

$$y_c^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_0} \overline{x_3}} \overline{x_2 x_3}$$

Используя результат перевода алгебраического выражения  $y_c$  в базис «2И-НЕ», построим цифровую схему:

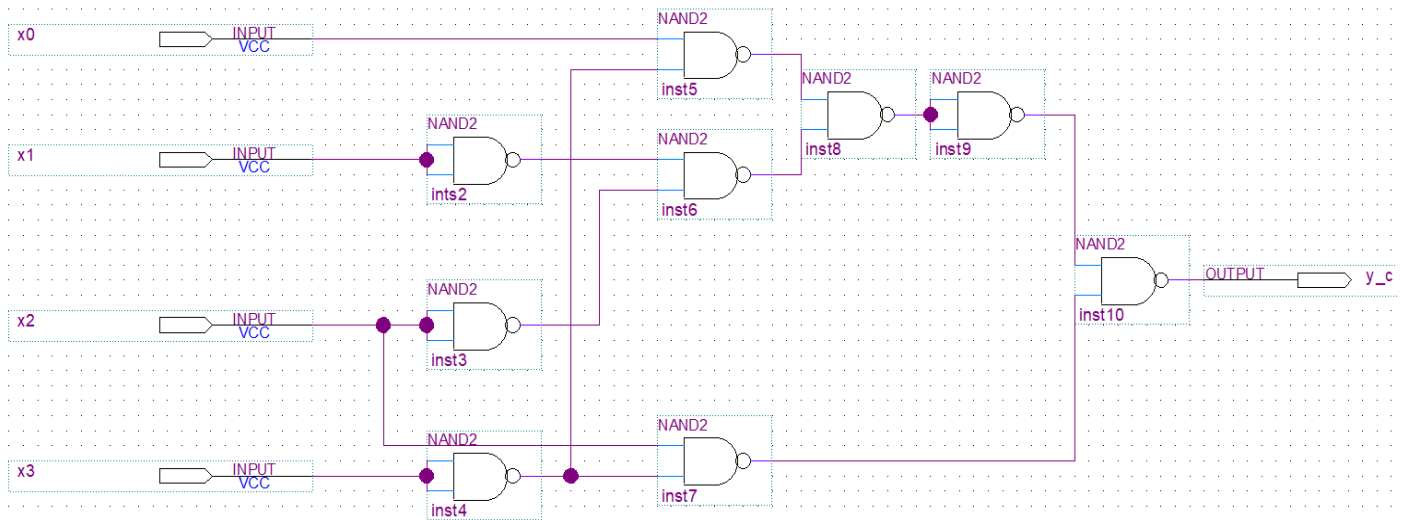


Рис. 6 – Цифровая схема  $y_c$  в базисе «2И-НЕ».

Проведём симуляцию схемы:

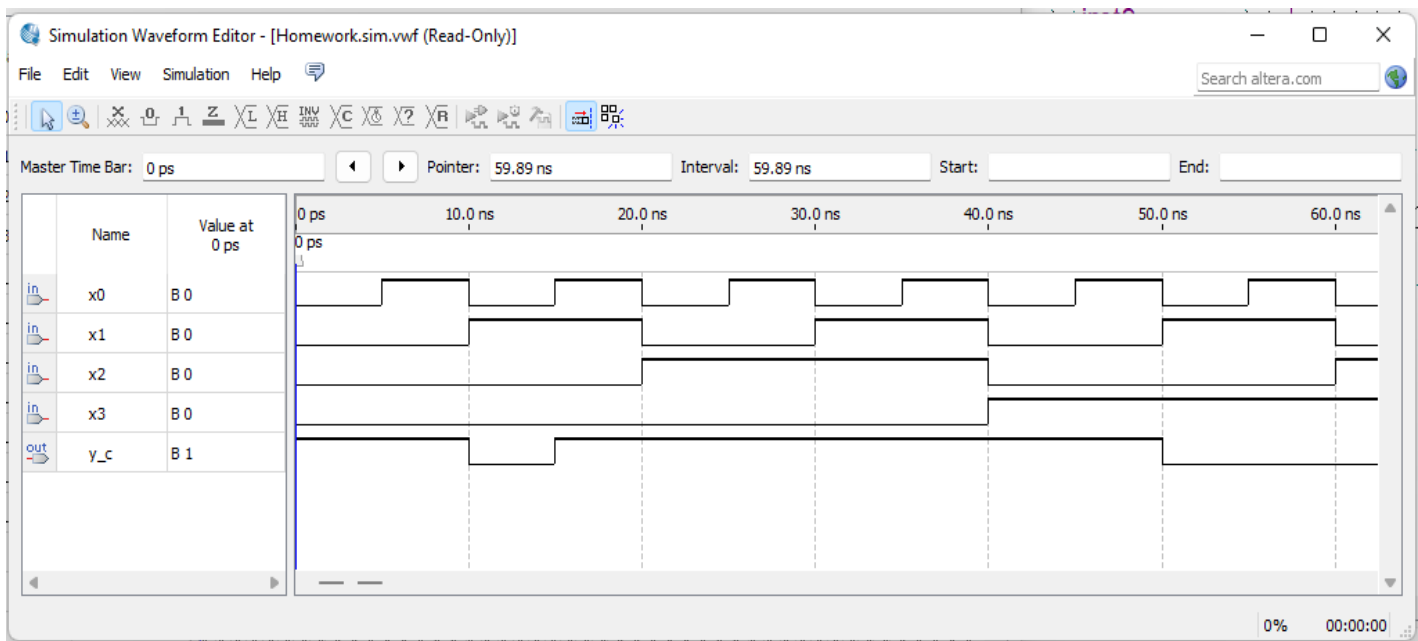


Рис. 7 – Результат симуляции цифровой схемы  $y_c$ .

Сверимся с таблицей истинности для  $y_c$  и убедимся, что схема собрана правильно:

	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	c
«0»	0	0	0	0	1
«1»	1	0	0	0	1
«2»	0	1	0	0	0
«3»	1	1	0	0	1
«4»	0	0	1	0	1
«5»	1	0	1	0	1
«6»	0	1	1	0	1
«7»	1	1	1	0	1
«8»	0	0	0	1	1
«9»	1	0	0	1	1
«L»	0	1	0	1	0

### Цифровая схема для $y_d$

$$y_d^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{x_0} \overline{x_2}} \overline{x_1 \overline{x_2} \overline{x_3}} \overline{\overline{x_0} x_1 \overline{x_3}} \overline{\overline{x_1} \overline{x_2} x_3} \overline{x_0 \overline{x_1} x_2 \overline{x_3}}$$

Используя результат перевода алгебраического выражения  $y_d$  в базис «2И-НЕ», построим цифровую схему:

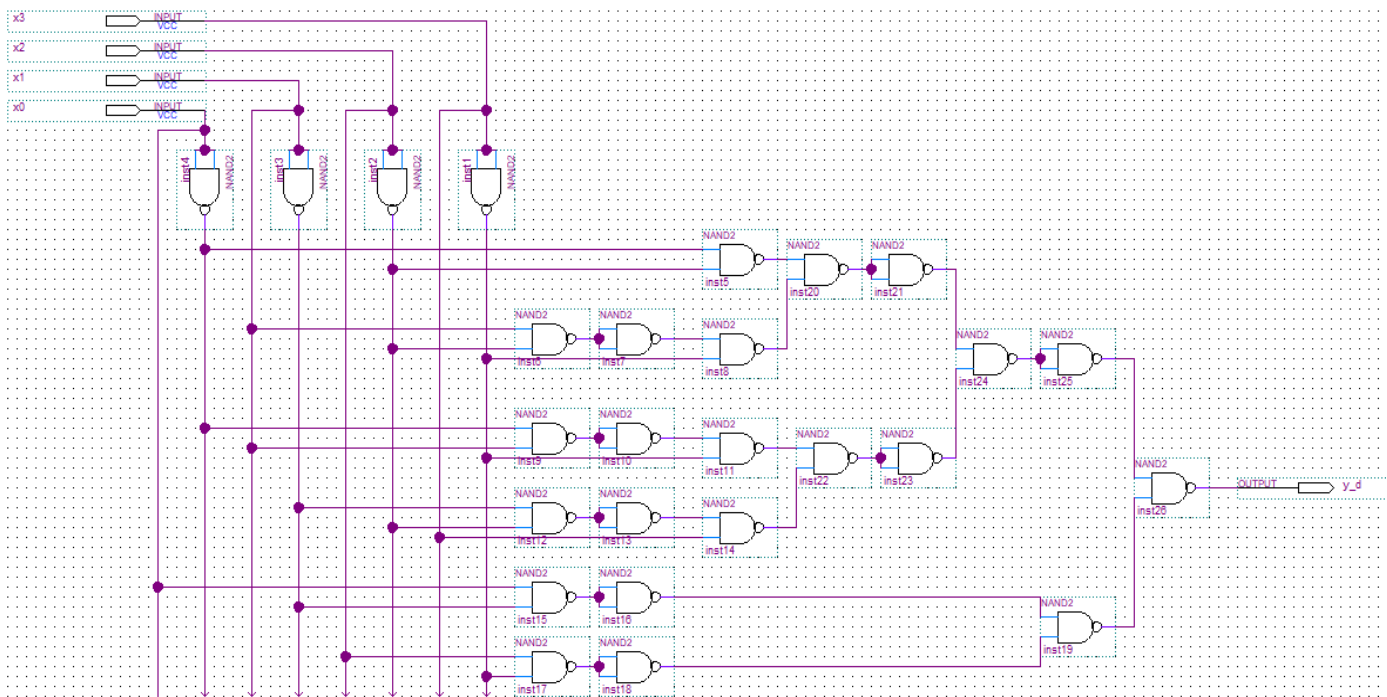


Рис. 8 – Цифровая схема  $y_d$  в базисе «2И-НЕ».

Проведём симуляцию схемы:

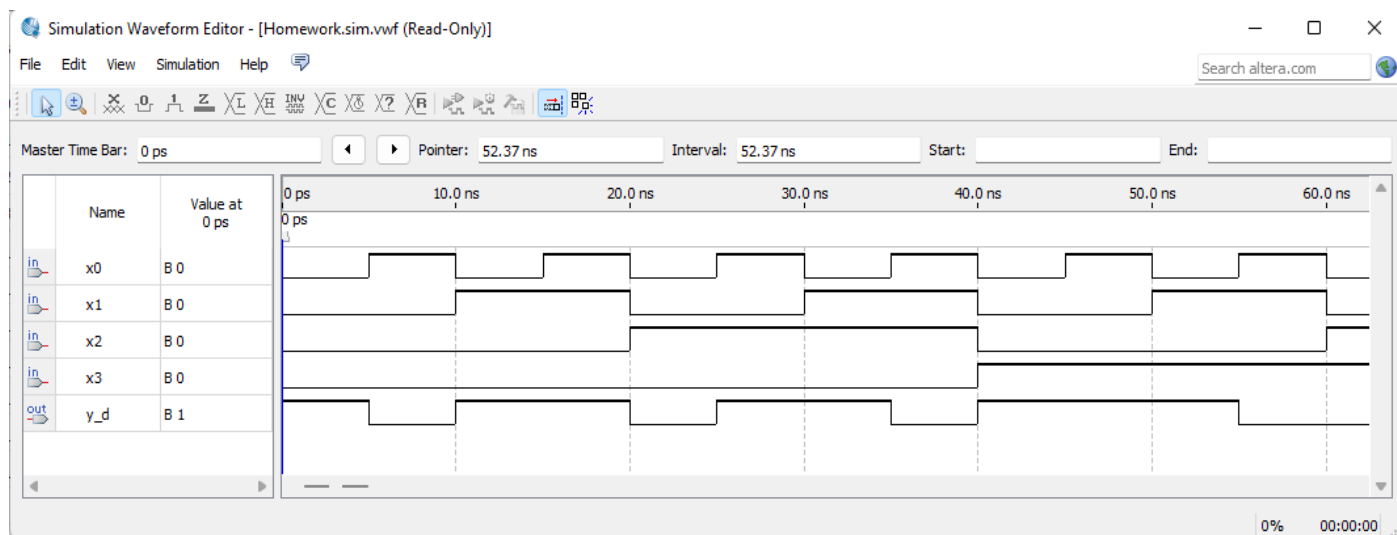


Рис. 9 – Результат симуляции цифровой схемы  $y_d$ .

Сверимся с таблицей истинности для  $y_d$  и убедимся, что схема собрана правильно:

	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	d
«0»	0	0	0	0	1
«1»	1	0	0	0	0
«2»	0	1	0	0	1
«3»	1	1	0	0	1
«4»	0	0	1	0	0
«5»	1	0	1	0	1
«6»	0	1	1	0	1
«7»	1	1	1	0	0
«8»	0	0	0	1	1
«9»	1	0	0	1	1
«L»	0	1	0	1	1

### Цифровая схема для $y_e$

$$y_e^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\overline{x_0} \overline{x_2}} \overline{x_0 x_1 x_3}}$$

Используя результат перевода алгебраического выражения  $y_e$  в базис «2И-НЕ», построим цифровую схему:



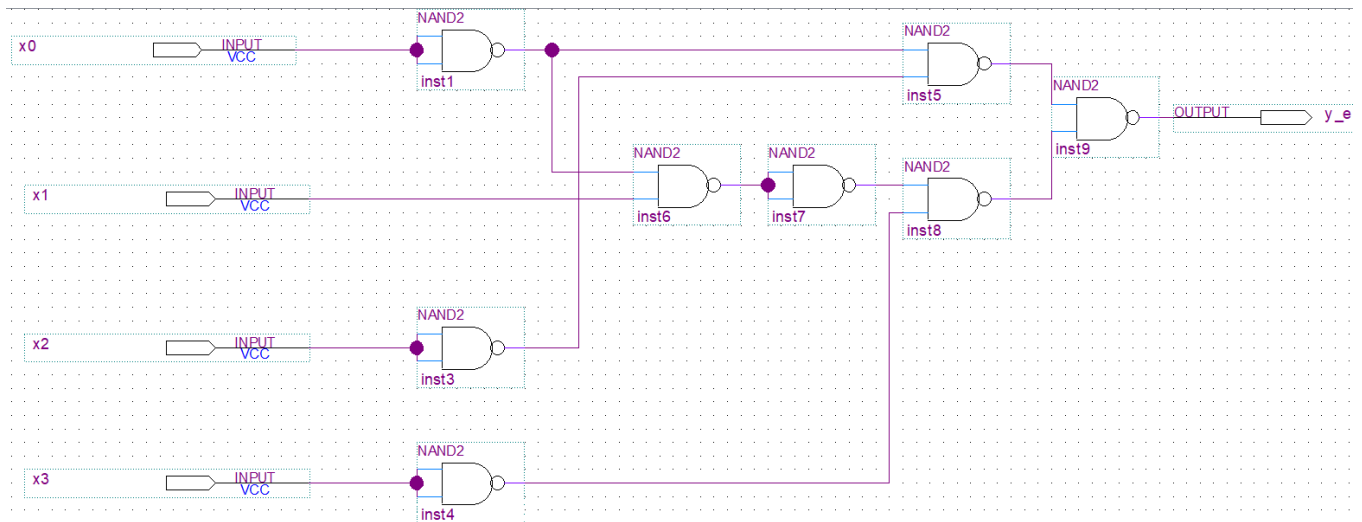


Рис. 10 – Цифровая схема  $y_e$  в базисе «2И-НЕ».

Проведём симуляцию схемы:

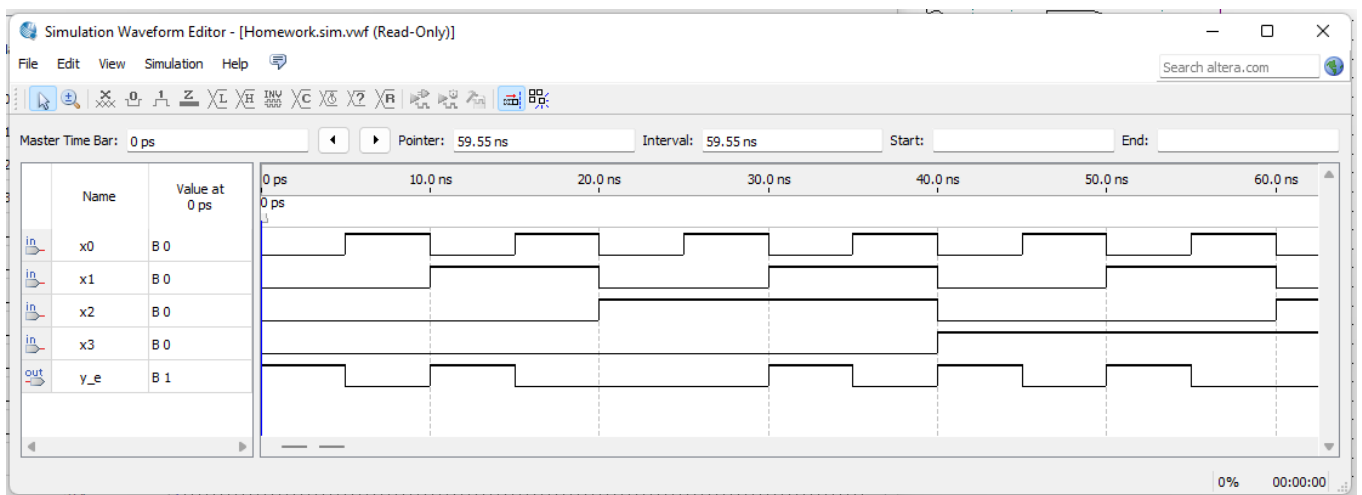


Рис. 11 – Результат симуляции цифровой схемы  $y_e$ .

Сверимся с таблицей истинности для  $y_e$  и убедимся, что схема собрана правильно:

	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$e$
«0»	0	0	0	0	1
«1»	1	0	0	0	0
«2»	0	1	0	0	1
«3»	1	1	0	0	0
«4»	0	0	1	0	0
«5»	1	0	1	0	0
«6»	0	1	1	0	1
«7»	1	1	1	0	0
«8»	0	0	0	1	1
«9»	1	0	0	1	0
«L»	0	1	0	1	1

## Цифровая схема для $y_f$

$$y_f^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3}} \overline{\overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}} \overline{\overline{x_0} \overline{x_2} \overline{x_3}} \overline{\overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3}} \overline{\overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2}}$$

Используя результат перевода алгебраического выражения  $y_f$  в базис «2И-НЕ», построим цифровую схему:

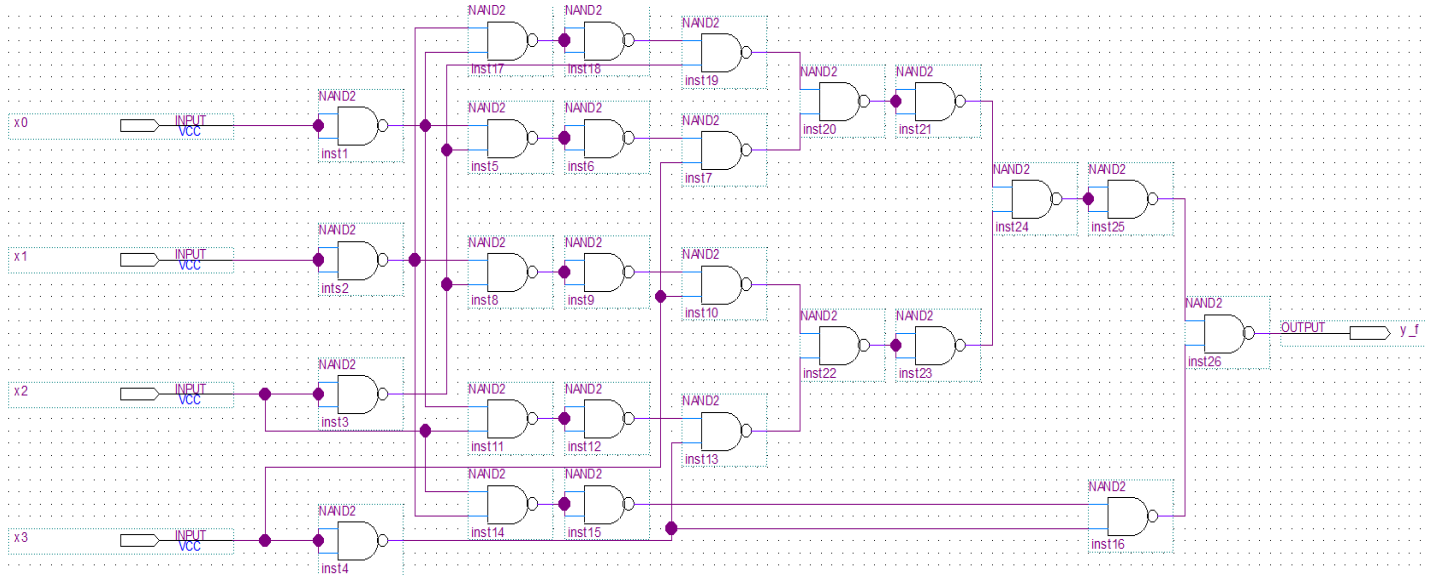


Рис. 12 – Цифровая схема  $y_f$  в базисе «2И-НЕ».

Проведём симуляцию схемы:

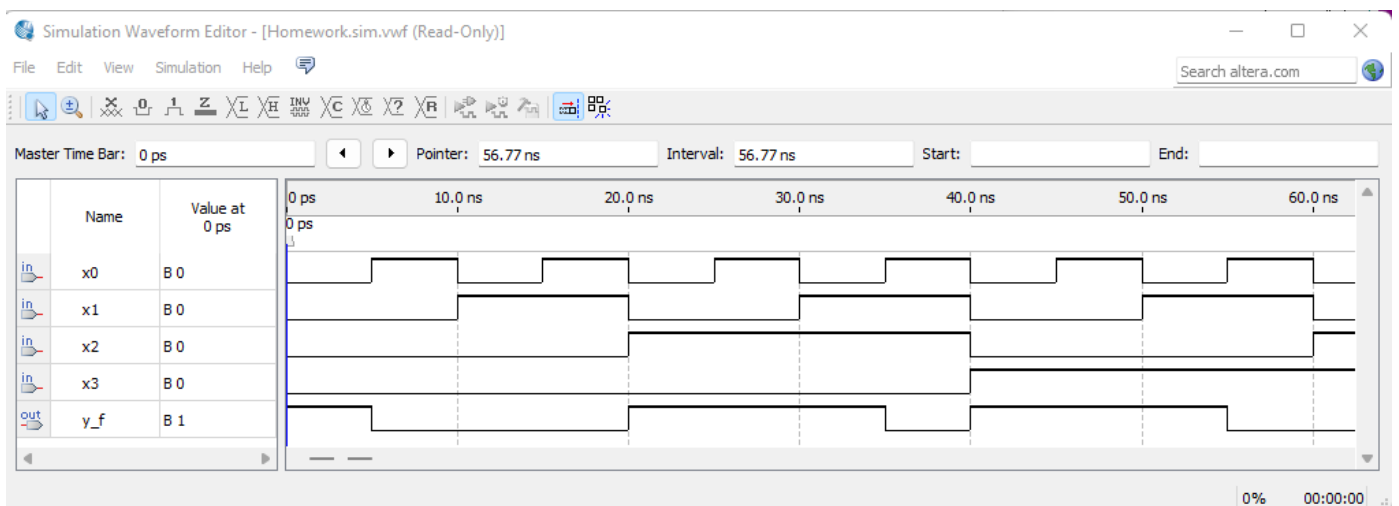


Рис. 13 – Результат симуляции цифровой схемы  $y_f$ .

Сверимся с таблицей истинности для  $y_f$  и убедимся, что схема собрана правильно:

	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	f
«0»	0	0	0	0	1
«1»	1	0	0	0	0
«2»	0	1	0	0	0
«3»	1	1	0	0	0
«4»	0	0	1	0	1
«5»	1	0	1	0	1
«6»	0	1	1	0	1
«7»	1	1	1	0	0
«8»	0	0	0	1	1
«9»	1	0	0	1	1
«L»	0	1	0	1	1

Цифровая схема для  $y_g$

$$y_g^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{x_0} \overline{x_2} x_3} \overline{\overline{x_1} \overline{x_2} x_3} \overline{\overline{x_0} x_2 \overline{x_3}} \overline{\overline{x_1} x_2 \overline{x_3}} \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2}$$

Используя результат перевода ДНФ  $y_g$  в базис «2И-НЕ», построим цифровую схему:

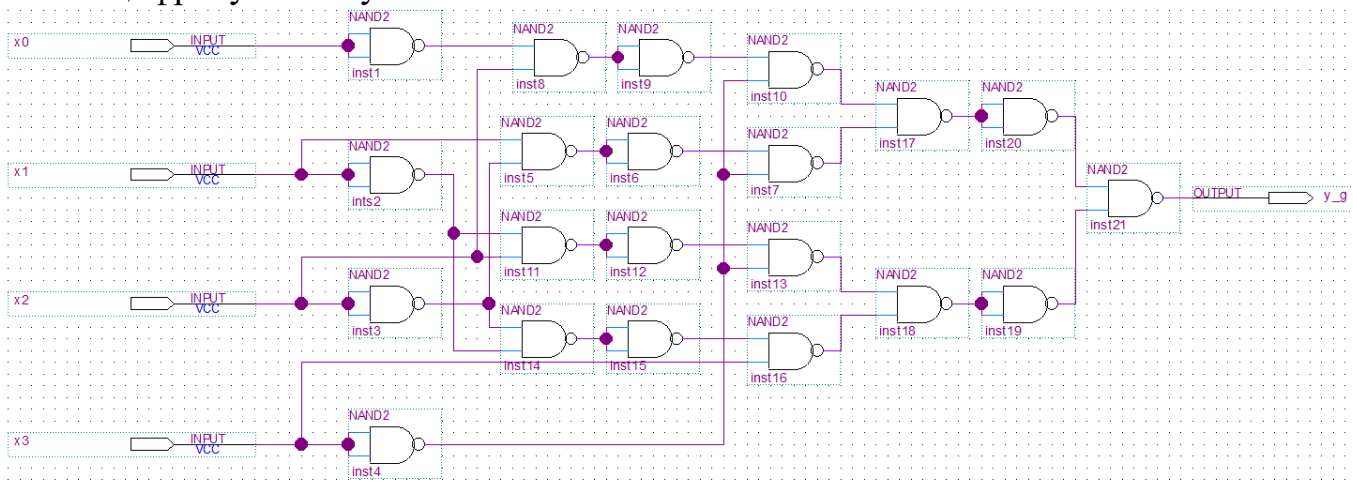


Рис. 14 – Цифровая схема  $y_g$  в базисе «2И-НЕ».

Проведём симуляцию схемы:

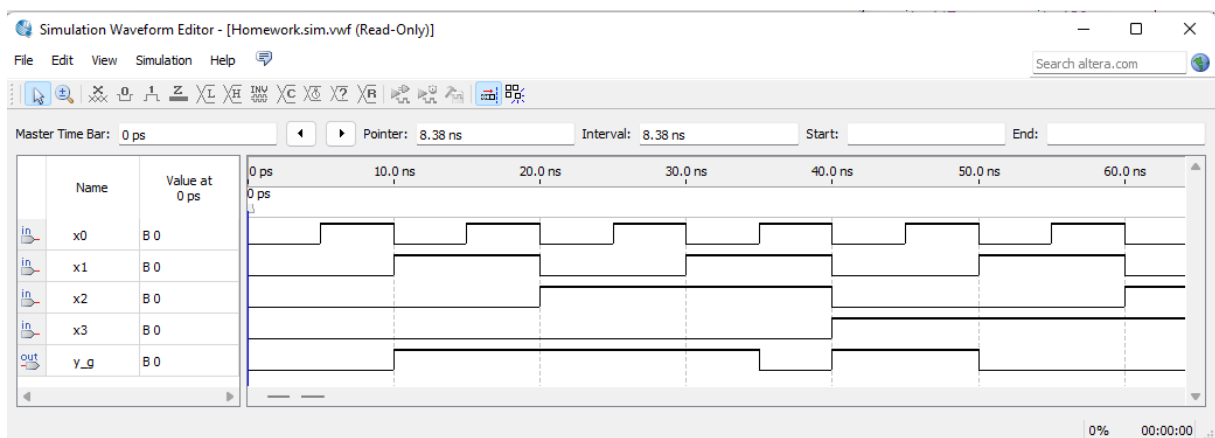


Рис. 15 – Результат симуляции цифровой схемы  $y_g$ .

Сверимся с таблицей истинности для  $y_g$  и убедимся, что схема собрана правильно:

	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$g$
«0»	0	0	0	0	0
«1»	1	0	0	0	0
«2»	0	1	0	0	1
«3»	1	1	0	0	1
«4»	0	0	1	0	1
«5»	1	0	1	0	1
«6»	0	1	1	0	1
«7»	1	1	1	0	0
«8»	0	0	0	1	1
«9»	1	0	0	1	1
«L»	0	1	0	1	0

Итоговая схема шифратора

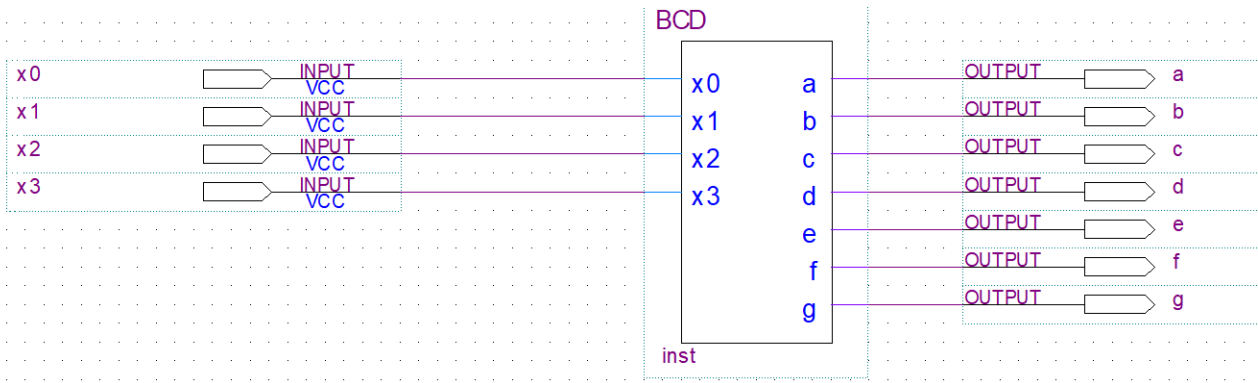


Рис. 16 – Итоговая схема шифратора.

Проведём симуляцию схемы и убедимся в правильности его работы:

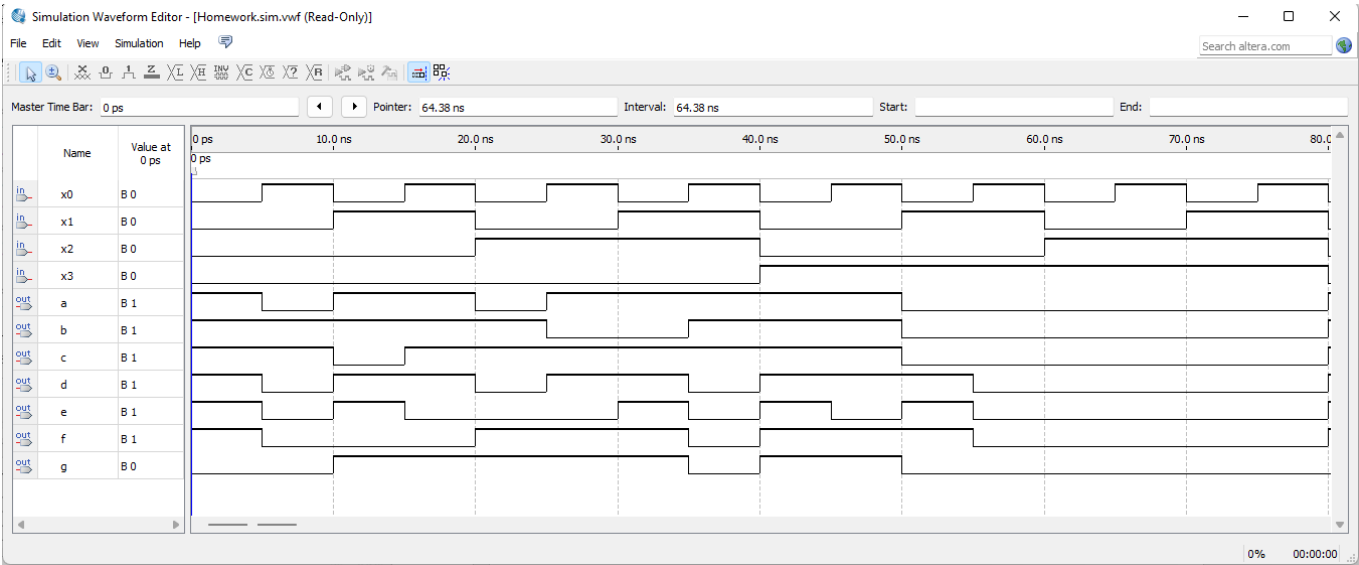


Рис. 17 – Результат симуляции итоговой схемы шифратора.

## 2. Реализовать счётчик с коэффициентом счёта 6.

### Способ 1

Реализуем асинхронный счётчик на D-триггерах для 3 разрядов. Так как DFF элемент в Quartus работает по переднему фронту импульса, необходимо инвертировать сигнал Q перед входом C, чтобы счётчик вёл счёт «вверх» по заднему фронту:

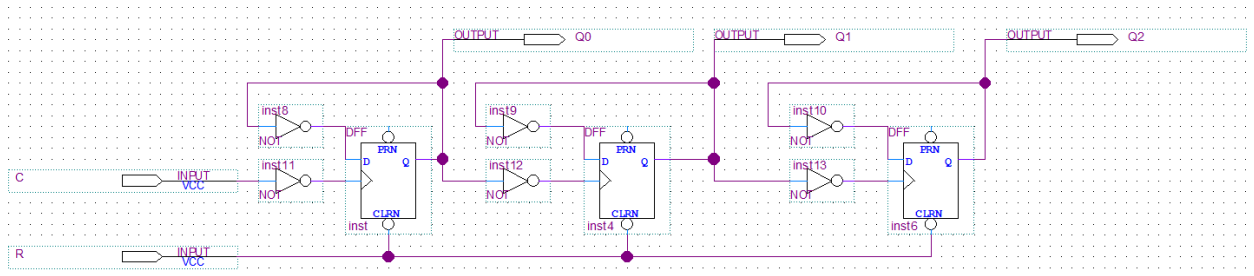


Рис. 18 – Асинхронный счётчик на D-триггерах.

Так как нам необходимо обеспечить счёт лишь до 6 (номер студенческого билета содержит 6 символов), то реализуем «Reset» для счётчика при достижении комбинации  $110_2 = 6_{10}$ :

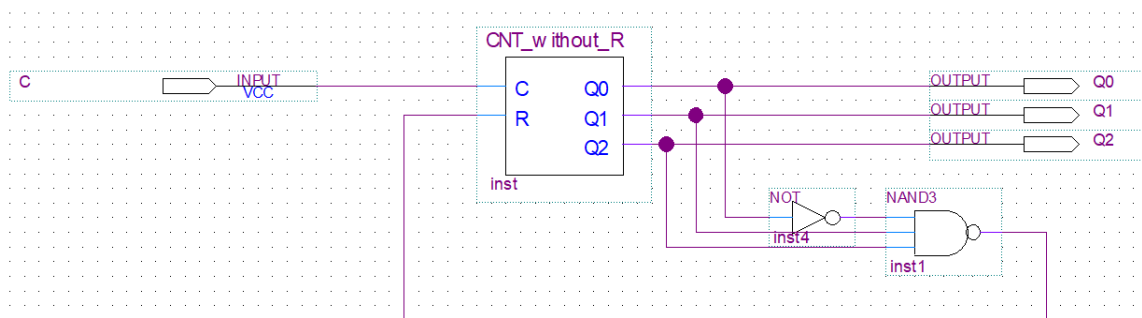


Рис. 19 – Асинхронный счётчик на D-триггерах с коэффициентом счёта 6.

Проверим работу счётчика на временной диаграмме:

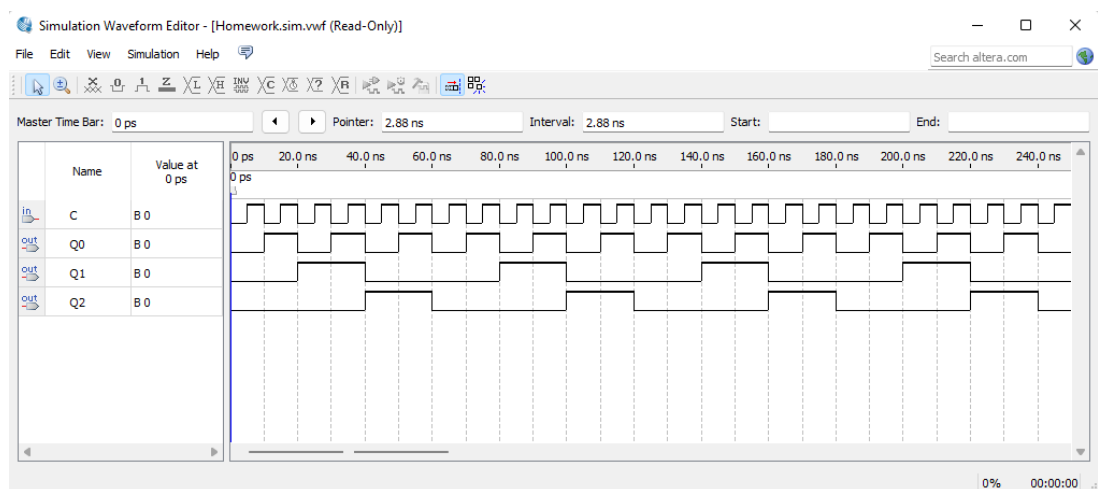


Рис. 20 – Временная диаграмма асинхронного счётчика на D-триггерах с коэффициентом счёта 6.

## Способ 2

Реализуем счётчик на языке Verilog:

```
1  module counter_verilog(clk, reset, out_pos);
2      input clk;
3      input reset;
4      output reg [2:0]out_pos;
5
6      always @(negedge clk)
7      begin
8          if (reset == 0)
9              out_pos = 0;
10         else
11             out_pos <= out_pos + 1'd1;
12     end
13 endmodule
```

Рис. 21 – Асинхронный счётчик на языке Verilog.

Аналогично реализуем сброс счётчика при достижении 6:

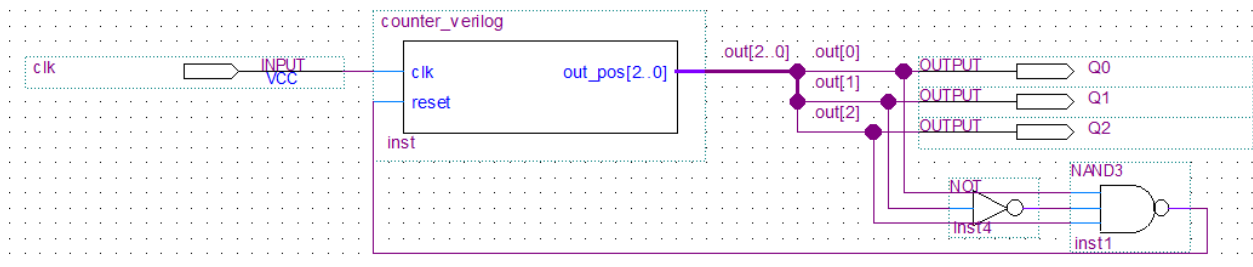


Рис. 22 – Асинхронный счётчик с коэффициентом счёта 6.

Проверим работу счётчика на временной диаграмме:

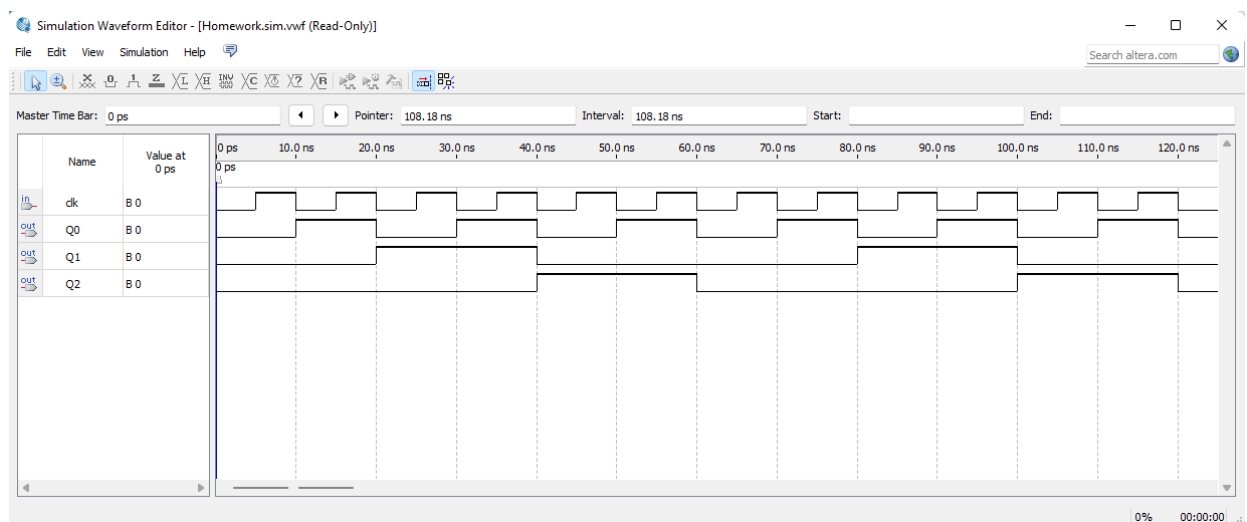


Рис. 23– Временная диаграмма асинхронного счётчика с коэффициентом счёта 6.

**3. Реализовать преобразователь кода, на выходе которого формируется последовательность бинарных чисел, соответствующая цифрам студенческого билета.**

	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$y_0$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
«2»	0	0	0	0	1	0	0
«0»	1	0	0	0	0	0	0
«L»	0	1	0	0	1	0	1
«0»	1	1	0	0	0	0	0
«2»	0	0	1	0	1	0	0
«4»	1	0	1	0	0	1	0

Запишем алгебраические выражения для «у» в СДНФ, минимизируем с помощью алгебры логики, если это возможно, а также переведем в базис «2И-НЕ»:

$y_0$ :

На  $y_0$  всегда подаём "0"

$y_1$ :

$$y_1^{\text{СДНФ}} = \overline{x_0} \overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} x_1 \overline{x_2} \vee \overline{x_0} \overline{x_1} x_2$$

Минимизация  $y_1$  (склеивание 1-2, 1-3):  $y_1 = \overline{x_0} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} \overline{x_1}$

$$\text{Перевод в базис: } y_1 = \overline{\overline{\overline{\overline{\overline{x_0} \overline{x_2} \vee \overline{x_0} \overline{x_1}}}}} = \overline{\overline{\overline{\overline{x_0} \overline{x_2}}}} \overline{\overline{\overline{\overline{x_0} \overline{x_1}}}}$$

$y_2$ :

$$y_2^{\text{СДНФ}} = x_0 \overline{x_1} x_2$$

$$\text{Перевод в базис: } y_2 = x_0 \overline{x_1} x_2 = \overline{\overline{\overline{\overline{\overline{x_0 \overline{x_1} x_2}}}}} = \overline{\overline{\overline{\overline{x_0 \overline{x_1}}}}} \overline{\overline{\overline{\overline{x_2}}}}$$

$y_3$ :

$$y_3^{\text{СДНФ}} = \overline{x_0} x_1 \overline{x_2}$$

$$\text{Перевод в базис: } y_3 = \overline{x_0} x_1 \overline{x_2} = \overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{x_0} x_1 \overline{x_2}}}}}} = \overline{\overline{\overline{\overline{x_0} x_1}}}} \overline{\overline{\overline{\overline{x_2}}}}$$

Реализуем цифровую схему для преобразователя кода, используя перевод каждой составляющей в базис «2И-НЕ»:

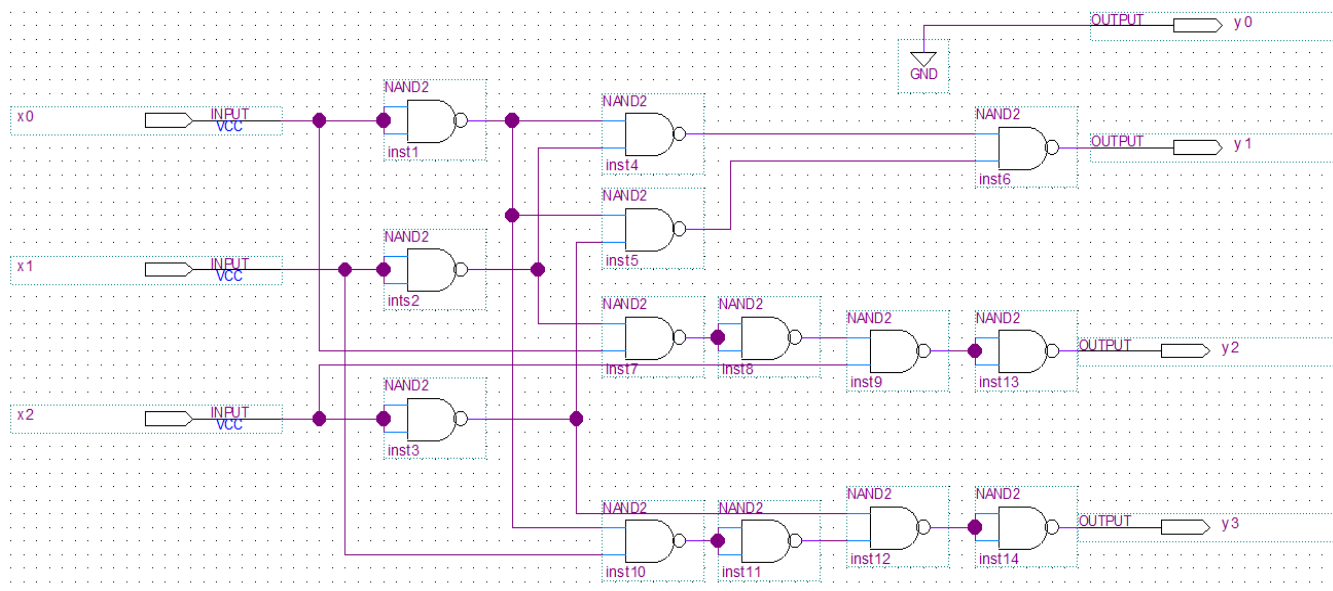


Рис. 24 – Схема преобразователя кода.



#### 4. Реализовать делитель частоты.

##### 1 способ

Так как опорная частота микросхемы составляет 50 МГц, то нам нужно понизить её до видимых человеком значений. Для этого воспользуемся D-триггерами, у которых выход  $\bar{Q}$  подключён ко входу  $D$ , как в счётчике. На выходе  $Q$  такого включения частота сигнала будет понижаться в два раза. Следовательно, нам нужно включить в схему столько D-триггеров, чтобы частота понизилась до 50-100 Гц. Посчитаем количество D-триггеров, подобрав  $N$  исходя из формулы:

$$f = \frac{50 \cdot 10^6}{2^N} \Rightarrow \text{при } N = 19 \text{ обеспечивается } f \approx 96 \text{ Гц, что удовлетворяет условию.}$$

Соберём схему делителя частоты на D-триггерах:

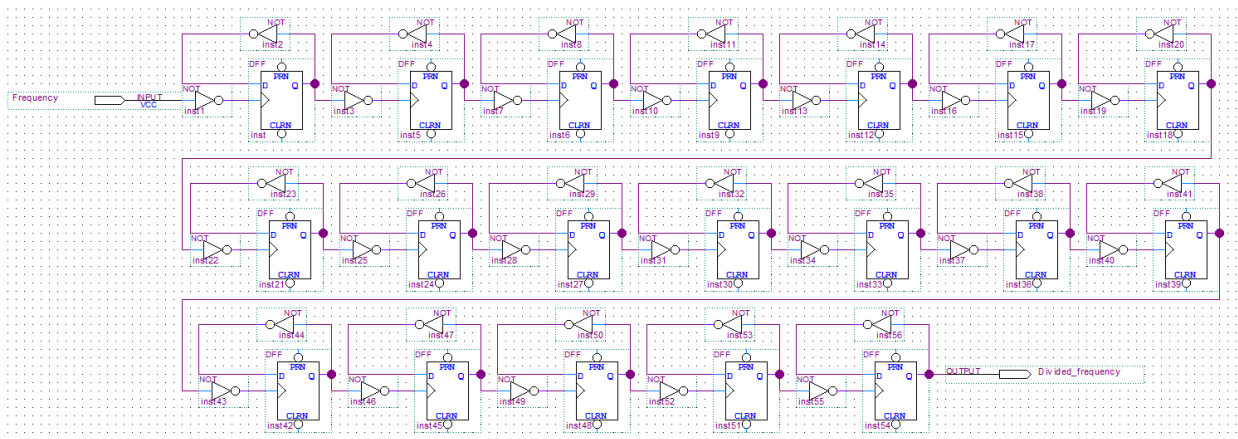


Рис. 25 – Схема делителя частоты.

##### 2 способ

Реализуем делитель частоты, основываясь на аналогичных рассуждениях, на языке Verilog:

```
1 module Freq_divider(clk, out_pos);
2     input clk;
3     output reg [19:0]out_pos;
4
5     always @(negedge clk)
6     begin
7         out_pos <= out_pos + 1'd1;
8     end
9 endmodule
```

Рис. 26 – Делитель частоты на языке Verilog.

Создадим «.bsf» файл для полученного делителя и возьмём значения с 19 провода шины:

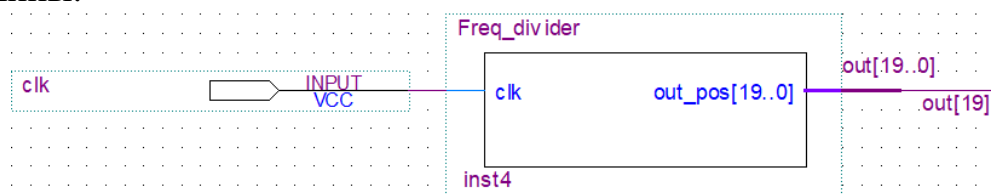


Рис. 27 – Делитель частоты.

## 5. Итоговая схема.

Для начала соберём реализованные схемы вместе: опорная частота поступает на счётчик с коэффициентом 6; счётчик управляет работой преобразователя кода, который в свою очередь подаёт сигналы на входы шифратора для вывода сигналов на ССИ:

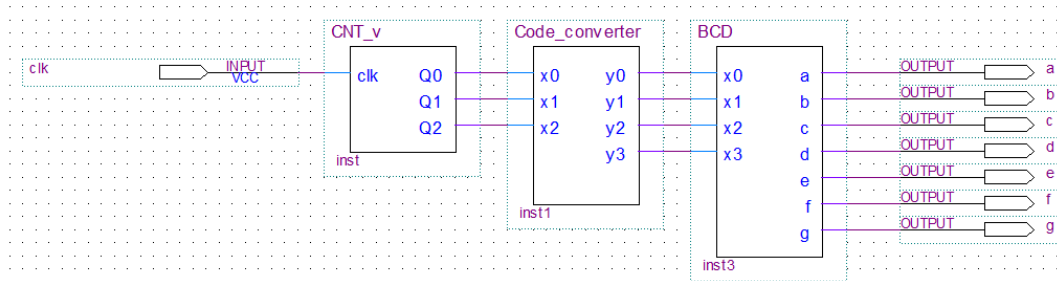


Рис. 28 – Итоговая схема без делителя частоты.

Построим временные диаграммы и убедимся в правильности работы итоговой схемы без делителя частоты:

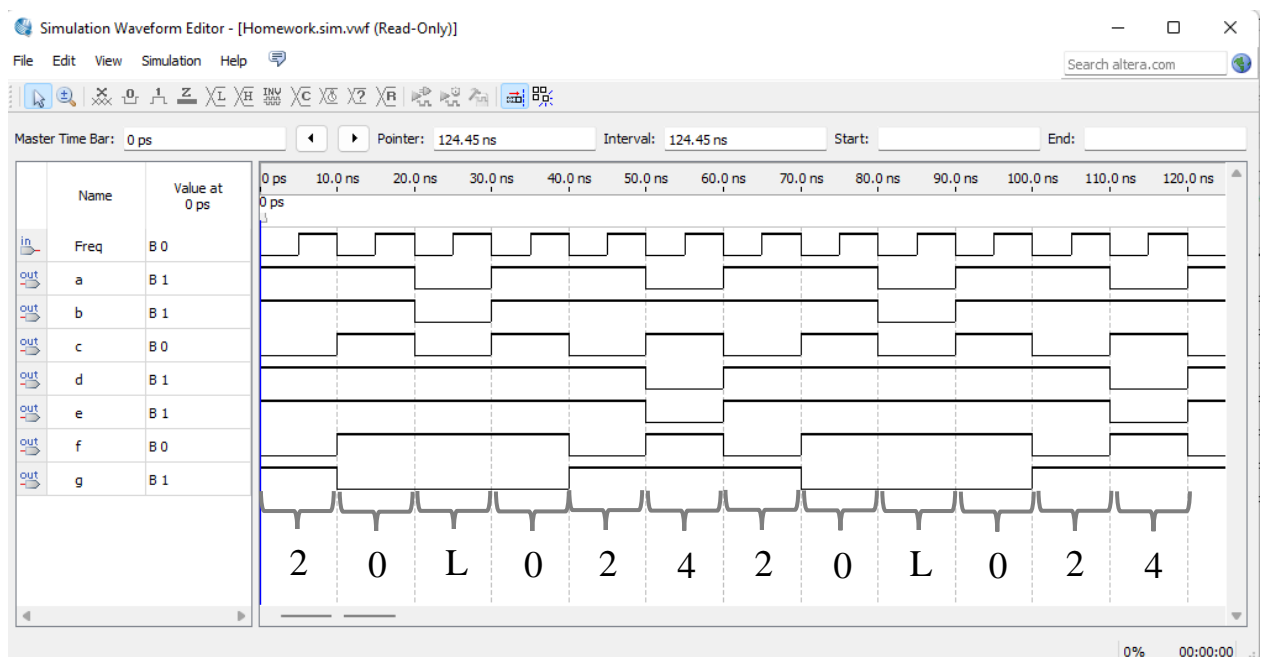


Рис. 29 – Временная диаграмма итоговой схемы без делителя частоты.

Итоговая схема с делителем частоты имеет следующий вид:

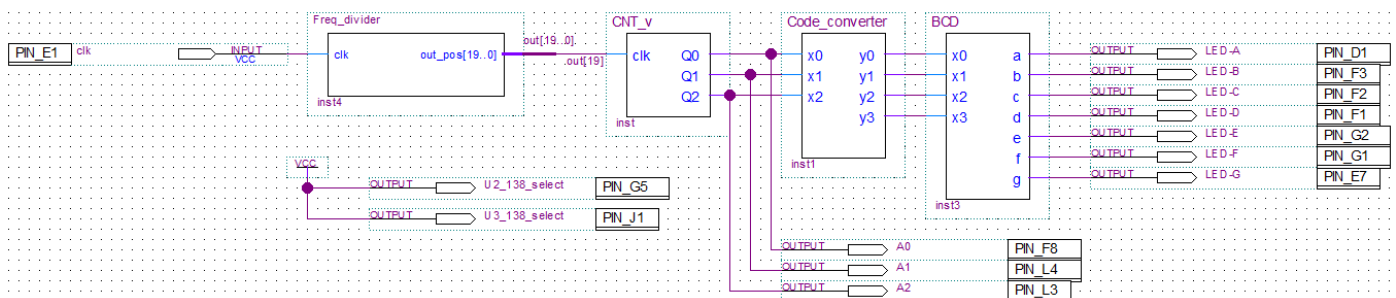


Рис. 30 – Итоговая схема.

## 6. Проверка итоговой схемы на ПЛИС.

Учтём некоторые особенности работы схемы, связанные с выводом символов на ССИ ПЛИС:

1) ССИ подключены по схеме с общим анодом, поэтому необходимо подавать «0», чтобы зажечь индикатор. Таким образом, схема требует добавления отрицания на каждый выход шифратора:

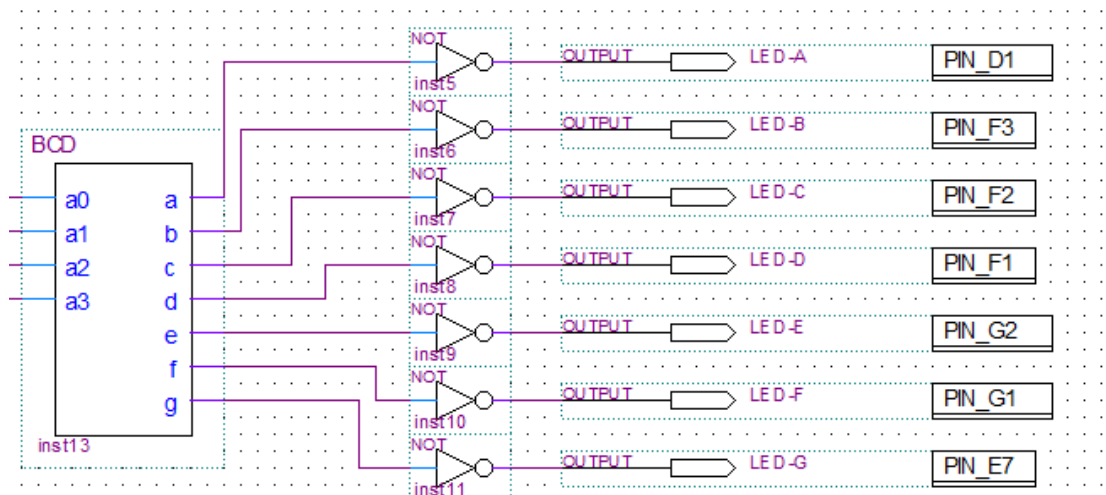


Рис. 31 – Добавление отрицания на выходы шифратора.

2) Символы на ССИ ПЛИС выводятся справа налево, вследствие чего вместо «20L024» получаем «420L02». Исправить данную ситуацию можно несколькими способами. Приведём один из них: на языке Verilog напишем вычитающий счётчик с «5» до «0»:

```
1  module subtractor_v(clk, count);
2      input clk;
3      output reg[2:0] count;
4      initial begin
5          count[2] = 1'd1;
6          count[1] = 0;
7          count[0] = 1'd1;
8      end
9      always @(negedge clk)
10     begin
11         if(count == 0)
12             begin
13                 count[2] = 1'd1;
14                 count[1] = 0;
15                 count[0] = 1'd1;
16             end
17         else
18             count <= count - 1;
19     end
20 endmodule
```

Рис. 32 – Вычитающий счётчик с «5» до «0».

Таким образом, схема будет иметь следующий вид:

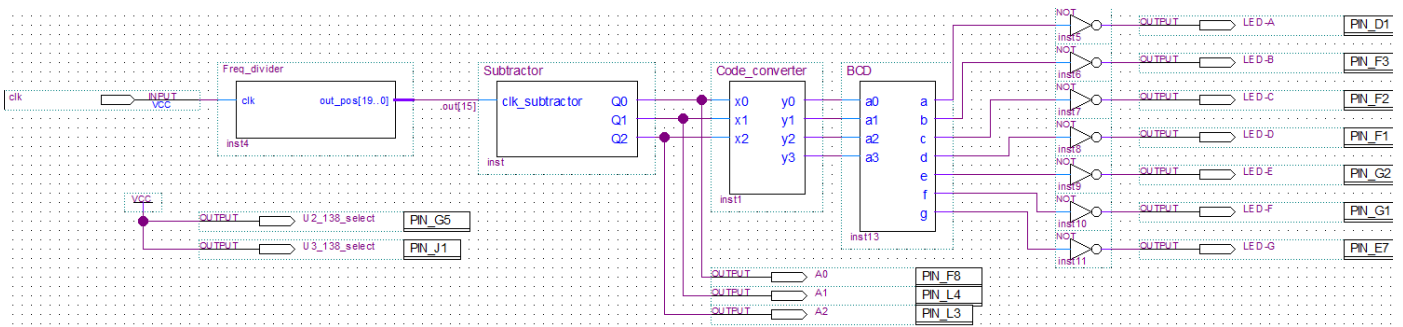


Рис. 33 – Итоговая схема с учётом особенностей работы ПЛИС.

Результат работы ПЛИС:



Рис. 34 – Результат работы ПЛИС.