



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА»
КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ» (РЛ6)

ОТЧЕТ

по Лабораторной работе №1

на тему «Исследование дребезга контактов на кнопке.»

по дисциплине «Цифровые устройства и микропроцессоры»

Студент: Шатовкин Константин Романович
(фамилия, имя, отчество)


(подпись, дата)

Группа: РЛ6-81

Преподаватель:

Доцент кафедры РЛ6
(должность)

Семеренко Д.А.
(фамилия и.о.)

(подпись, дата)

Оценка: _____

2024 г.

Оглавление

1 Реализация шифратора для вывода знака на ССИ.....	3
1.1 Алгебраические уравнения в СКНФ и СДНФ	3
1.2 Минимизация с помощью карт Карно	4
1.3 Перевод полученных выражений к базисам 2И-НЕ.....	7
1.4 Цифровая схема	8
2 Реализация устройств «1-го уровня».....	15
2.1 Таймер.....	15
2.2 Мультиплексор.....	15
2.3 Элемент для перенаправления сигналов	15
2.4 Маркеры.....	16
2.4.1 Маркер 0.....	16
2.4.2 Маркер 9.....	16
2.4.3 Маркер STOP	17
2.5 Разветвитель	17
3 Реализация устройств «2-го уровня».....	18
3.1 RS-триггер	18
3.2 JK-триггер.....	18
3.3 Задержка	19
3.4 Блокиратор, или “Защита от дурака”	19
3.5 Оповещающий элемент	19
3.6 Большой мультиплексор	20
4 Реализация устройств «3-го уровня».....	22
4.1 Таймер с кликом	22
4.2 Бесконечный счётчик	22
4.3 Реверсивный счётчик на JK-триггерах	23
5 Реализация устройства «4-го уровня» - Счётчик.	24
6 Реализация устройства «5-го уровня» - Десятичный счётчик.	25
7 Реализация устройства «6-го уровня» - Десятичный счётчик с большим мультиплексором.....	25
8 Реализация устройства последнего «7-го уровня» - Итоговая схема.....	25
9. Запуск итоговой схемы на реальной ПЛИС.	26

1 Реализация шифратора для вывода знака на ССИ.

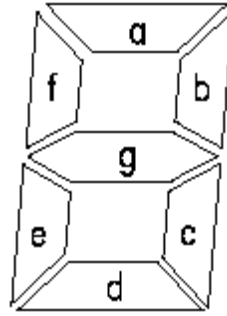


Рисунок 1.1 – Семисегментный индикатор

Кодировка:

Символ	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	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
Л	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0

1.1 Алгебраические уравнения в СКНФ и СДНФ

Определим СКНФ и СДНФ:

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

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

$$y_b^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$$

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

$$y_c^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$$

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

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

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

$$y_e^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)$$

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

$$y_f^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)$$

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

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

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

1.2 Минимизация с помощью карт Карно

$a^{\text{СДНФ}}$

		x_0, x_1			
		00	01	11	10
x_2, x_3	00	0	0	1	1
	01	0	1	1	1
	11	0	1	1	0
	10	0	1	0	1

$a^{\text{СКНФ}}$

		x_0, x_1			
		00	01	11	10
x_2, x_3	00	1	0	1	1
	01	1	1	1	1
	11	1	1	1	1
	10	0	1	1	1

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

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

$b^{\text{СДНФ}}$

		x_0, x_1			
		00	01	11	10
x_2, x_3	00	0	0	1	1
	01	0	1	1	0
	11	0	1	1	1
	10	0	1	1	0

$b^{\text{СКНФ}}$

		x_0, x_1			
		00	01	11	10
x_2, x_3	00	1	1	1	1
	01	1	0	1	1
	11	1	1	1	1
	10	1	0	1	1

$$y_b^{\text{CDH}\Phi} = \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 x_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3$$

$$y_b^{\text{CKH}\Phi} = (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$$

$c^{\text{CDH}\Phi}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	0	0	1	1	
01	0	1	0	1	
11	0	1	1	1	
10	0	1	1	1	

$c^{\text{CKH}\Phi}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	1	1	1	1	
01	0	1	1	1	
11	1	1	1	1	
10	1	1	1	1	

$$y_c^{\text{CDH}\Phi} = \bar{x}_0 \bar{x}_2 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2$$

$$y_c^{\text{CKH}\Phi} = (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$$

$d^{\text{CDH}\Phi}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	0	0	1	0	
01	0	0	1	1	
11	0	1	1	0	
10	0	1	0	1	

$d^{\text{CKH}\Phi}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	1	0	1	1	
01	1	1	1	0	
11	1	0	1	1	
10	0	1	1	1	

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

$$y_d^{\text{CKH}\Phi} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$$

$e^{\text{СДНФ}}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	0	0	0	0	0
01	0	1	1	1	1
11	0	1	1	0	0
10	0	0	0	0	0

 $e^{\text{СКНФ}}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	1	0	1	1	1
01	1	1	1	1	1
11	0	0	1	1	1
10	0	0	1	0	0

$$y_e^{\text{СДНФ}} = \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3$$

$$y_e^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2) \cdot (x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$$

 $f^{\text{СДНФ}}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	0	0	0	0	0
01	0	1	0	1	1
11	0	1	1	1	1
10	0	1	0	1	1

 $f^{\text{СКНФ}}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	1	1	1	1	1
01	0	1	1	1	1
11	0	0	1	1	1
10	0	1	1	1	1

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

$$y_f^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_3)$$

 $g^{\text{СДНФ}}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	0	0	1	0	0
01	0	1	1	1	1
11	0	1	0	1	1
10	0	0	0	1	1

 $g^{\text{СКНФ}}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	0	1	1	1	1
01	1	1	1	0	0
11	1	0	1	1	1
10	0	1	1	1	1

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

$$y_g^{\text{CKH}\Phi} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$$

1.3 Перевод полученных выражений к базисам 2И-НЕ

$$\begin{aligned}
y_a^{\text{ДН}\Phi} &= \overline{\overline{\overline{x_0 x_2 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2}}} = \\
&= \overline{\overline{x_0 x_2} \cdot \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_3} \cdot \overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 x_2}} = \\
y_a^{\text{КН}\Phi} &= \overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3)} = \\
&= \overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3)} = \\
&= \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \cdot \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} = \\
y_b^{\text{ДН}\Phi} &= \overline{\overline{\overline{\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 x_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3}}} = \\
&= \overline{\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_0 x_2 x_3 \cdot \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_3 \cdot \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \cdot x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3} = \\
y_b^{\text{КН}\Phi} &= \overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)} = \\
&= \overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)} = \\
&= \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3 \cdot \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3} = \\
y_c^{\text{ДН}\Phi} &= \overline{\overline{\overline{\bar{x}_0 \bar{x}_2 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2}}} = \\
&= \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_2 \cdot x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \cdot x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_0 x_2 x_3 \cdot \bar{x}_0 x_1 x_2} = \\
y_c^{\text{КН}\Phi} &= \overline{(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \cdot \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3} = \\
y_d^{\text{ДН}\Phi} &= \overline{\overline{\overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3}}} = \\
&= \overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \cdot \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3} = \\
&= y_d^{\text{КН}\Phi} = \\
&= \overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)} = \\
&= \overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)} = \\
&\cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) = \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \cdot \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_0 x_1 x_2 x_3 \cdot x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3} = \\
y_e^{\text{ДН}\Phi} &= \overline{\overline{\overline{\bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3}}} = \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3} = \\
y_e^{\text{КН}\Phi} &= \overline{(x_0 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2) \cdot (x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)} = \\
&= \overline{(x_0 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2) \cdot (x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)} = \\
&= \overline{\bar{x}_0 x_3 \cdot \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3} = \\
y_f^{\text{ДН}\Phi} &= \overline{\overline{\overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2}}} = \\
&= \overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \cdot x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_0 x_1 x_3 \cdot \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2} = \\
y_f^{\text{КН}\Phi} &= \overline{(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_3)} = \\
&= \overline{(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_3)} = \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \cdot \bar{x}_0 x_2 x_3 \cdot \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_3} = \\
y_g^{\text{ДН}\Phi} &= \overline{\overline{\overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2}}} = \\
&= \overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \cdot \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2} =
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_g^{\text{КНФ}} &= \overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2)} \cdot \overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot \overline{(\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)}} = \\
 &= \overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2)} \cdot \overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot \overline{(\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)}} = \\
 &= \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 x_2 x_3} \cdot \overline{x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3}
 \end{aligned}$$

1.4 Цифровая схема

Все схемы строились через КНФ.

$$y_a^{\text{КНФ}} = \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}$$

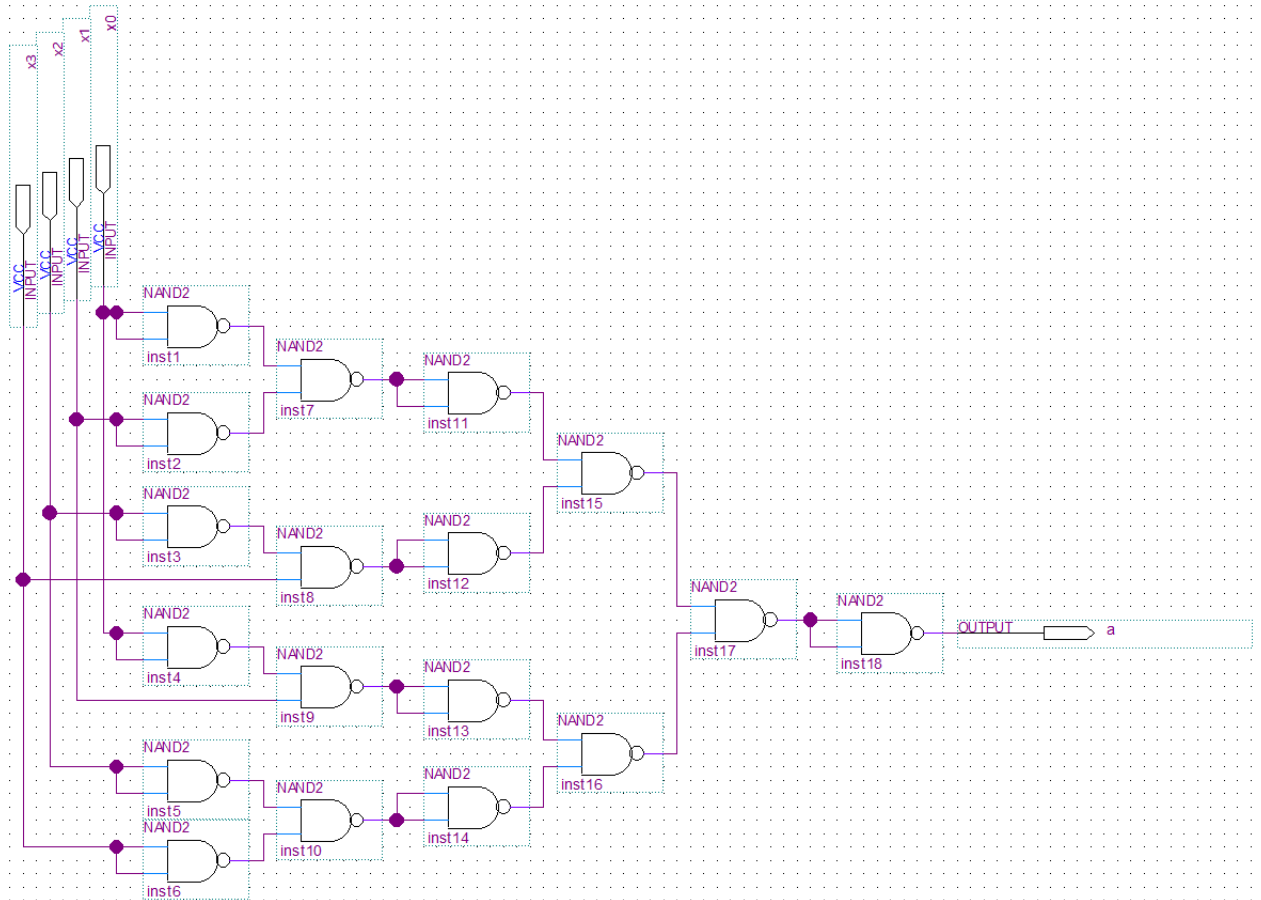


Рисунок 1.2 – Схема для светодиода “а”

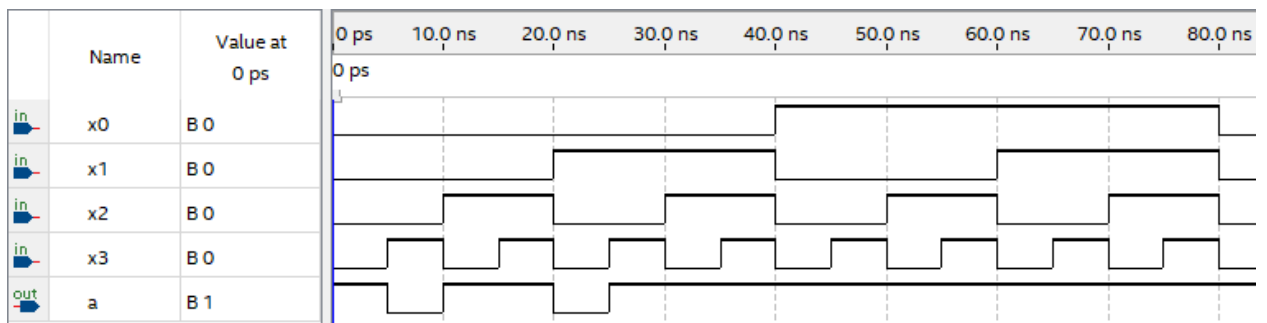


Рисунок 1.3 – Временная диаграмма для светодиода “а”

$$y_b^{\text{КНФ}} = \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3}$$

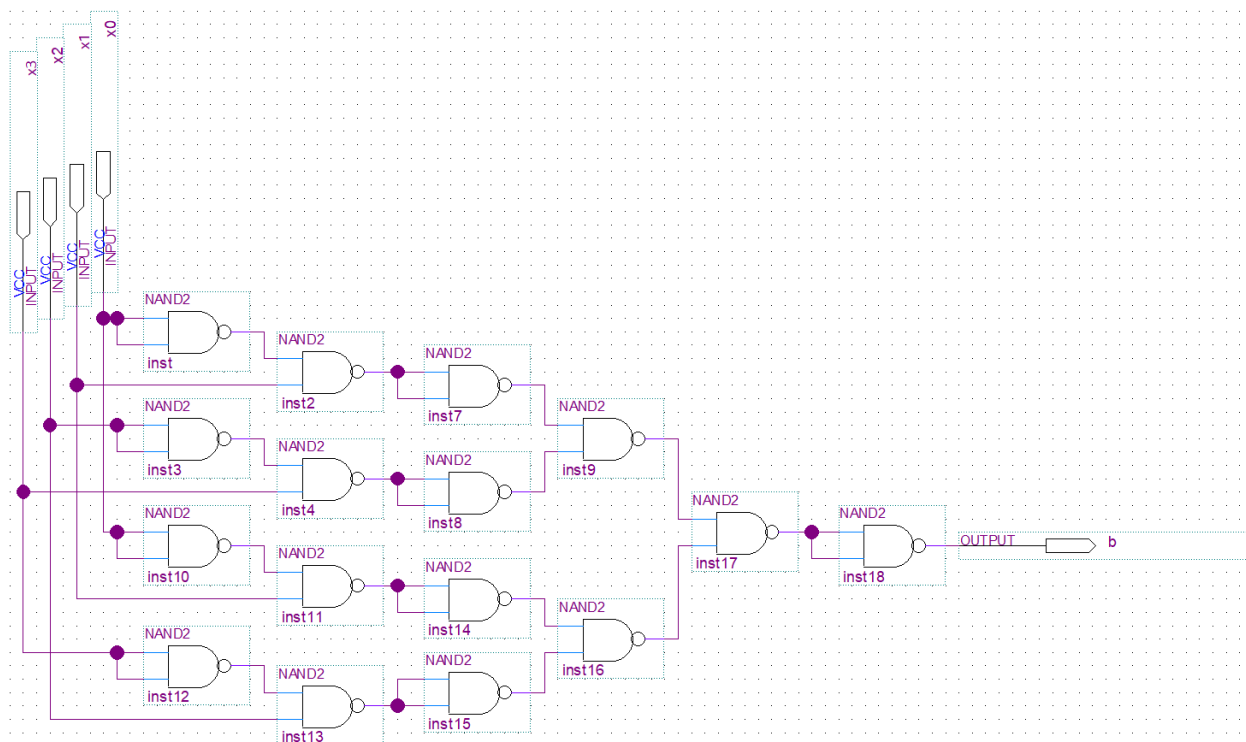


Рисунок 1.4 – Схема для светодиода “b”

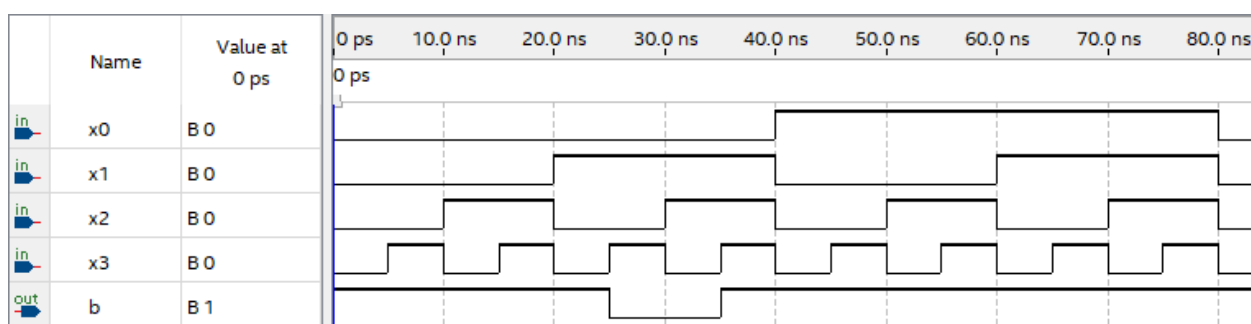


Рисунок 1.5 – Временная диаграмма для светодиода “b”

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

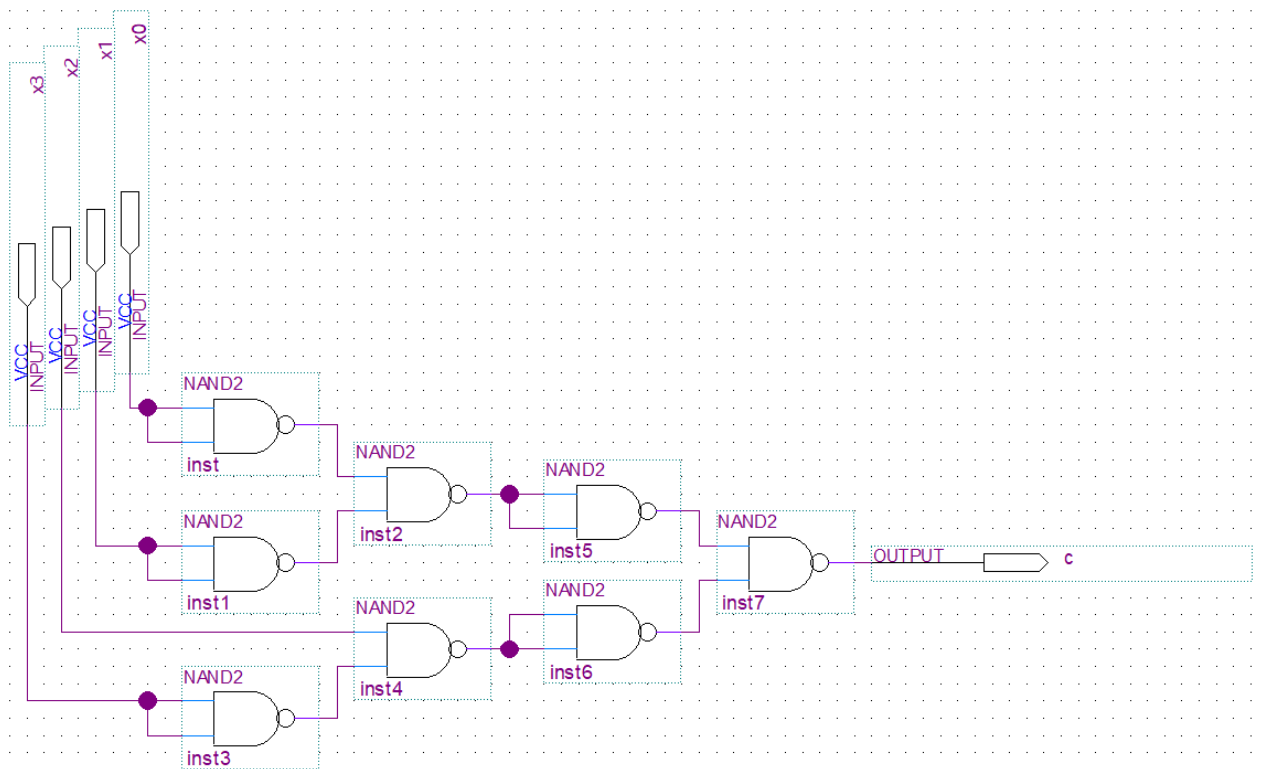


Рисунок 1.6 – Схема для светодиода “с”

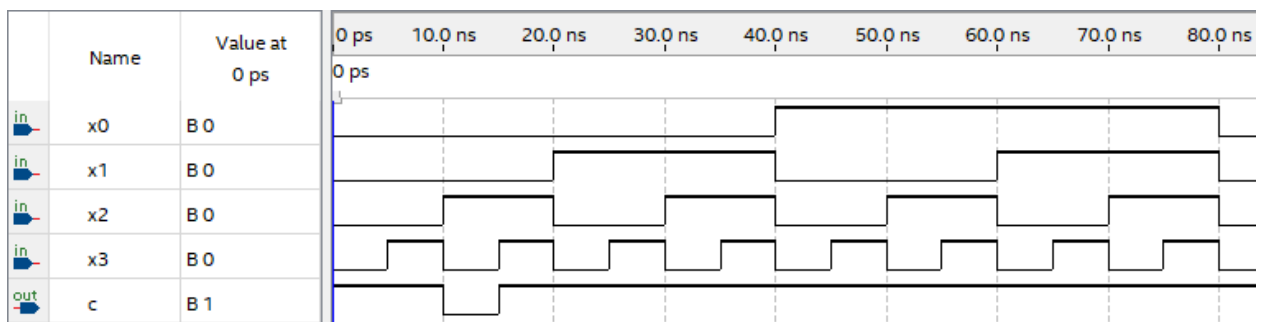


Рисунок 1.7 – Временная диаграмма для светодиода “с”

$$y_d^{\text{KH}\Phi} = \overline{x_0}\overline{x_1}\overline{x_2}x_3 + \overline{x_0}x_1\overline{x_2}\overline{x_3} + \overline{x_0}x_1x_2x_3 + \overline{x_0}\overline{x_1}x_2\overline{x_3}$$

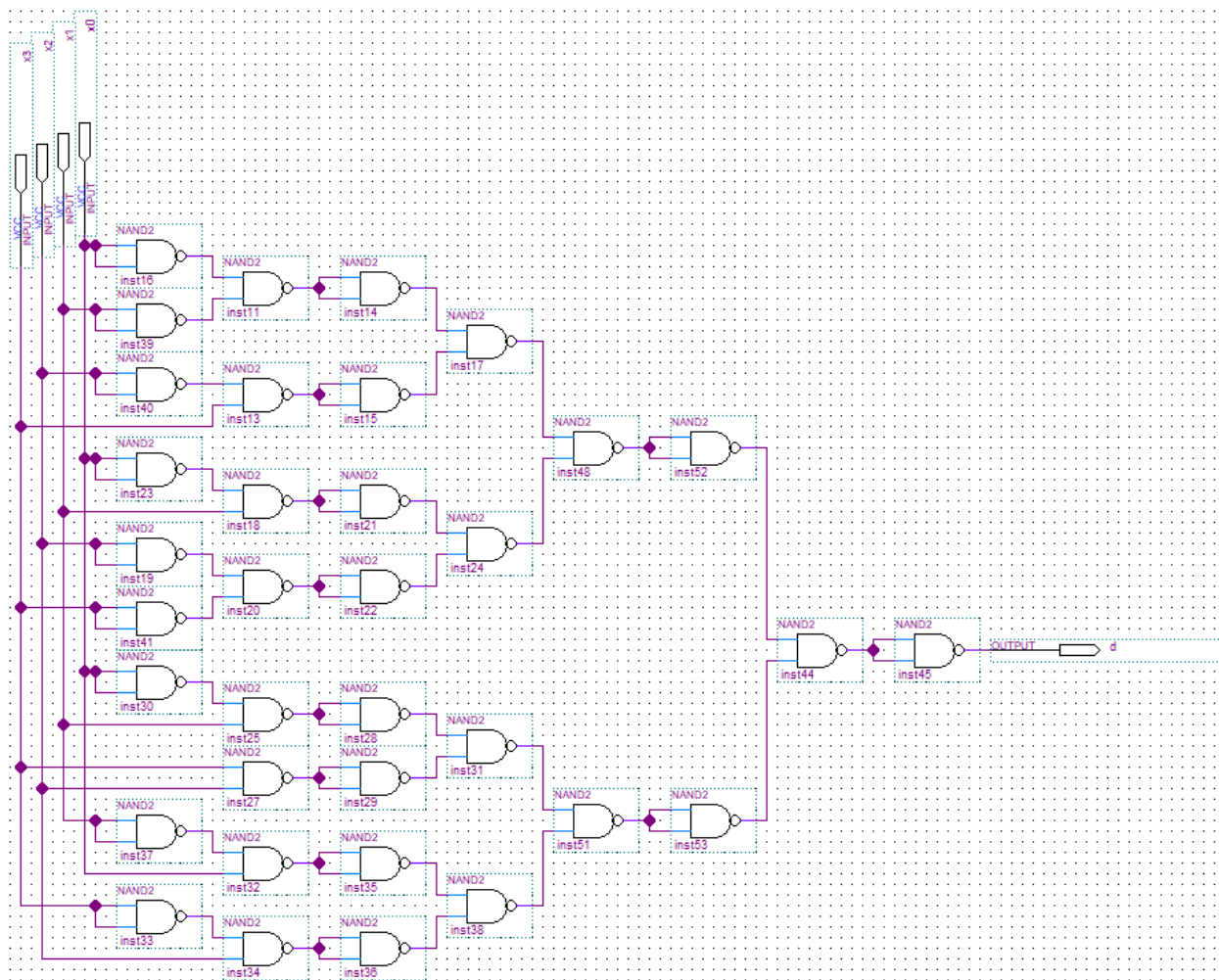


Рисунок 1.8 – Схема для светодиода “d”

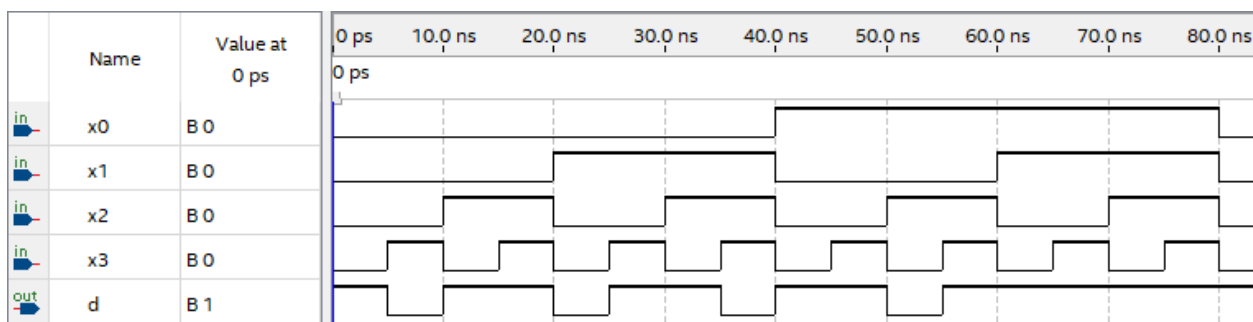


Рисунок 1.9 – Временная диаграмма для светодиода “d”

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

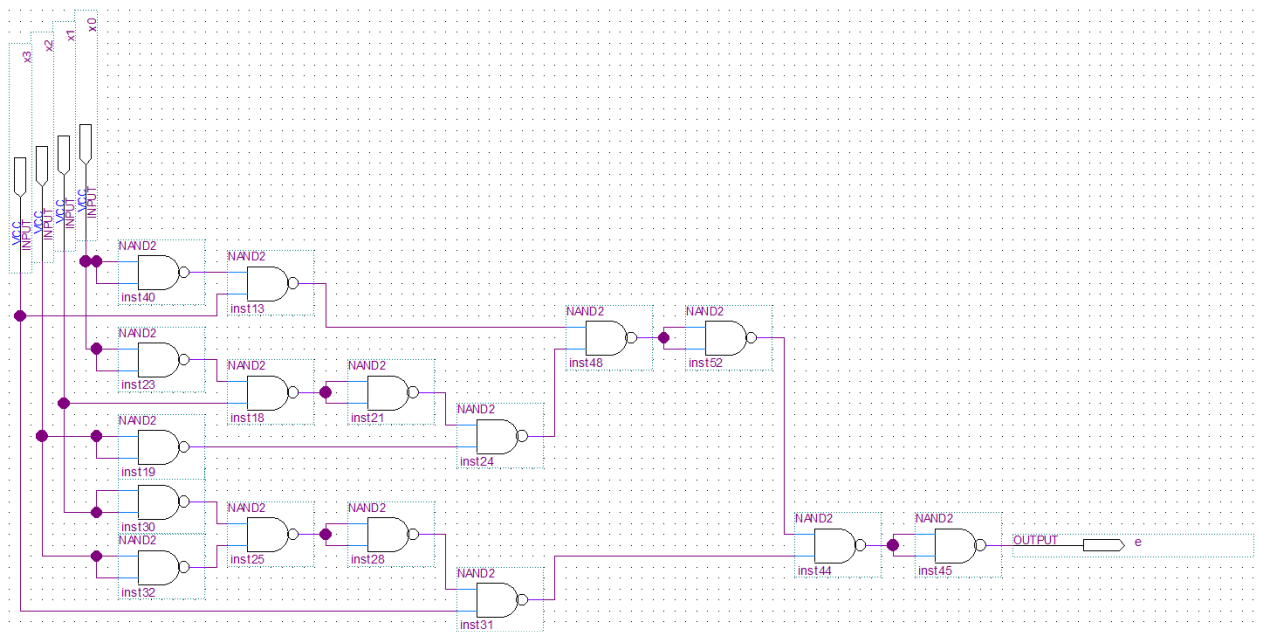


Рисунок 1.10 – Схема для светодиода “е”

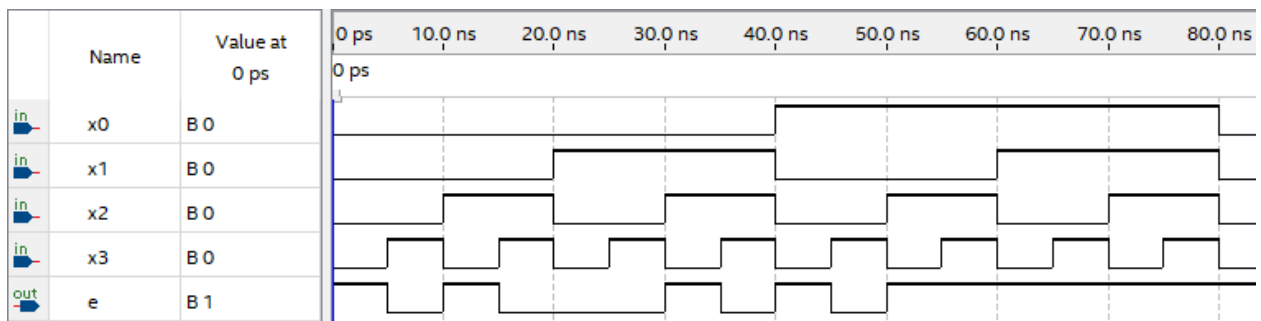


Рисунок 1.11 – Временная диаграмма для светодиода “е”

$$y_f^{\text{KH}\Phi} = \overline{\overline{x_0} \overline{x_1} x_2} \cdot \overline{\overline{x_0} x_2 x_3} \cdot \overline{\overline{x_0} \overline{x_1} x_3}$$

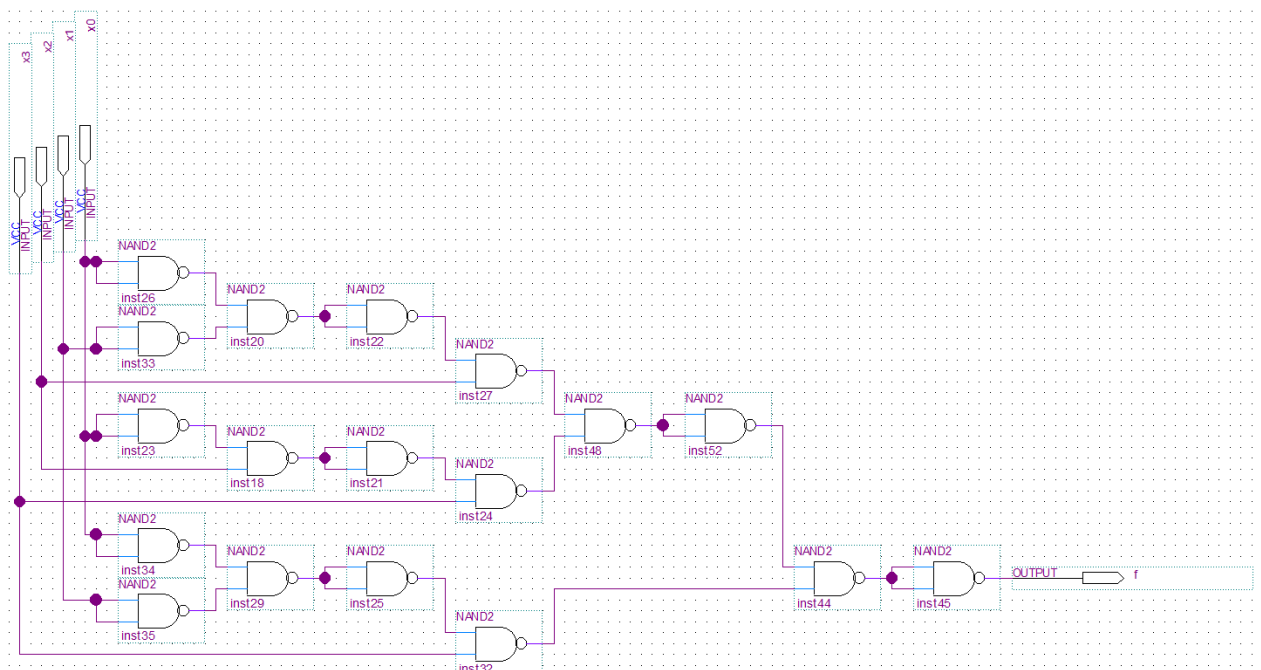


Рисунок 1.12 – Схема для светодиода “f”

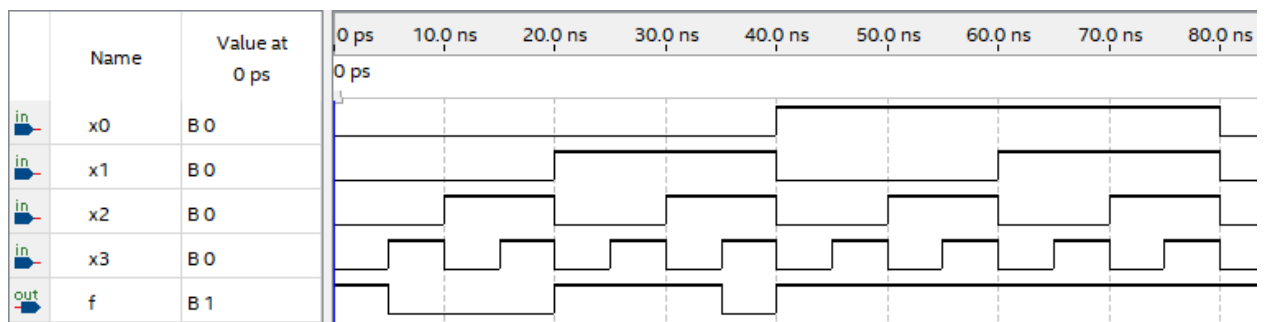


Рисунок 1.13 – Временная диаграмма для светодиода “f”

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

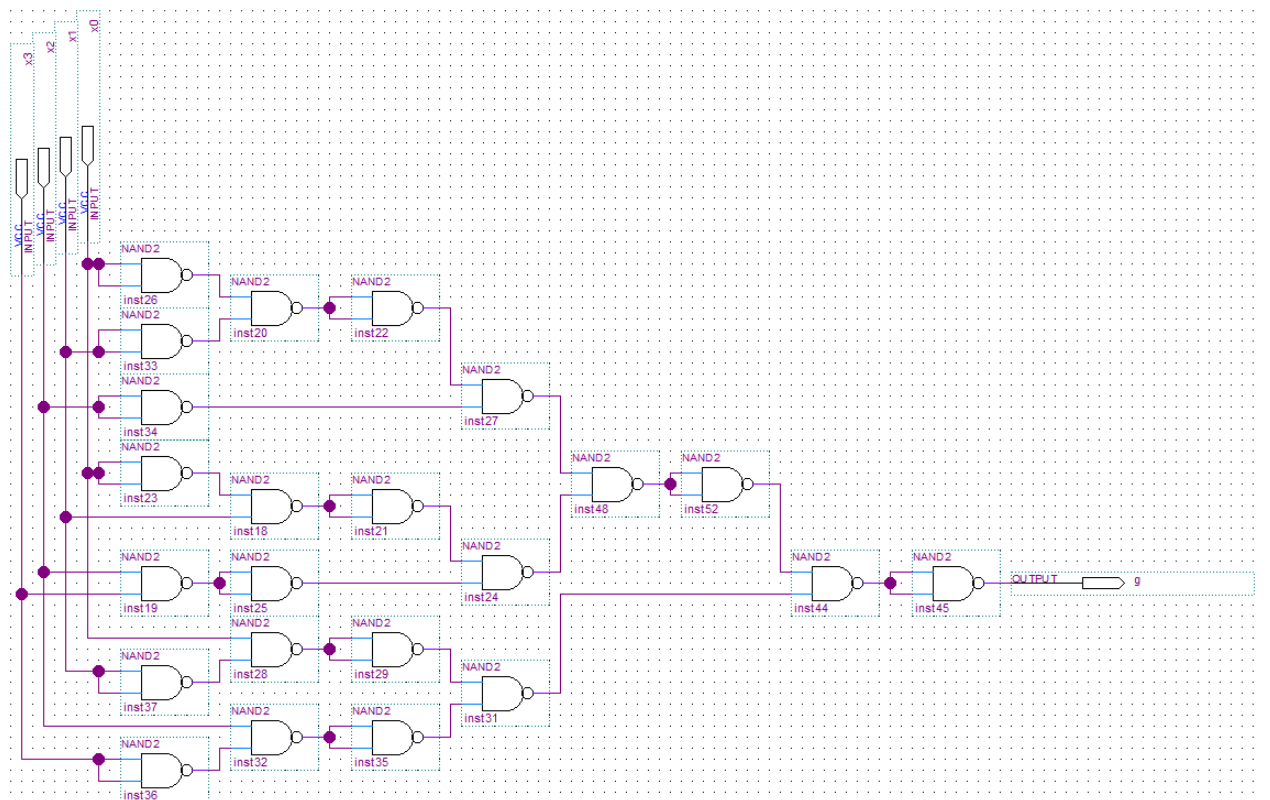


Рисунок 1.14 – Схема для светодиода “g”

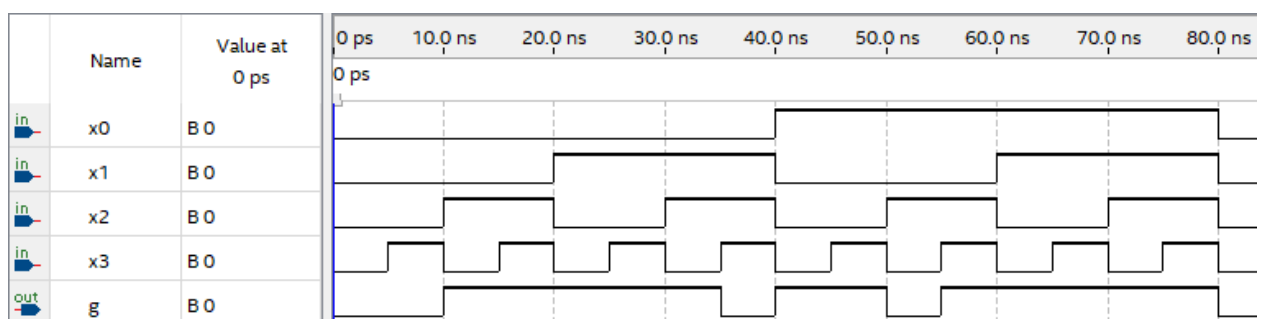


Рисунок 1.15 – Временная диаграмма для светодиода “g”

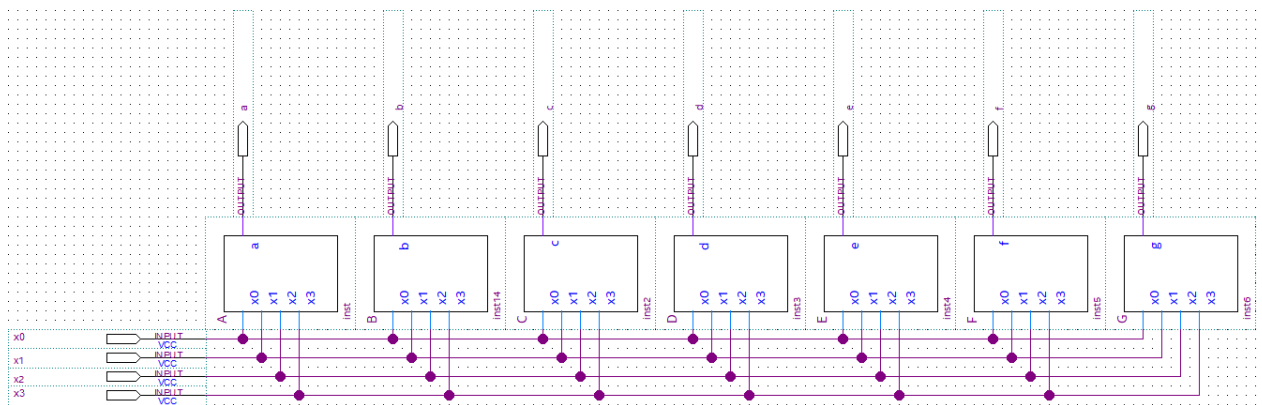


Рисунок 1.16 – Схема шифратора

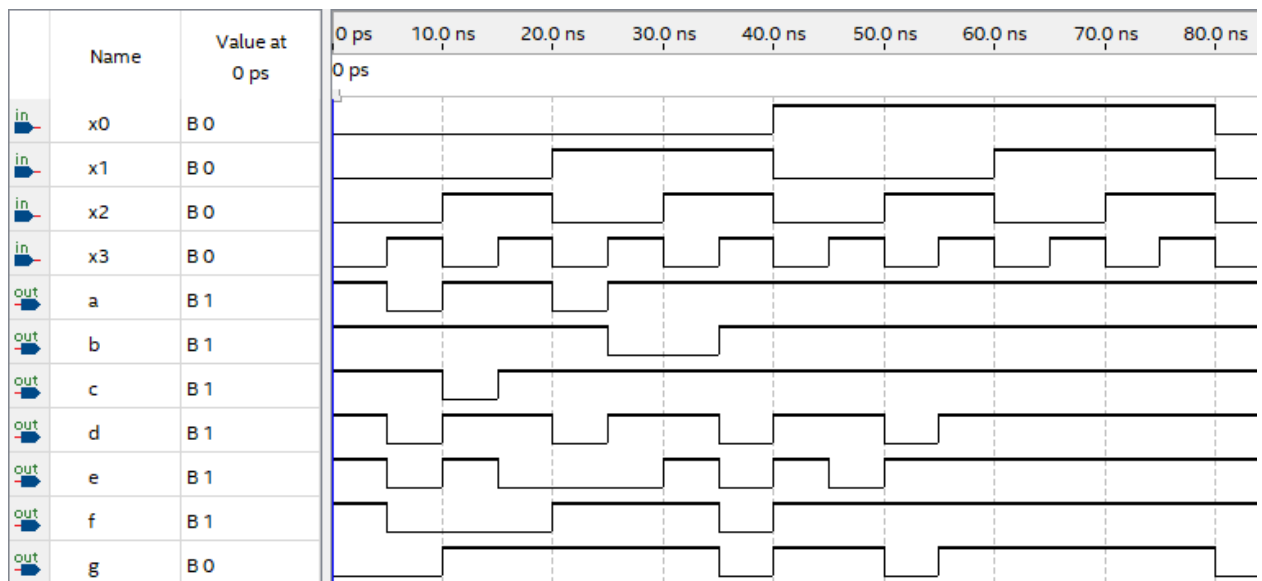


Рисунок 1.17 – Временная диаграмма для шифратора

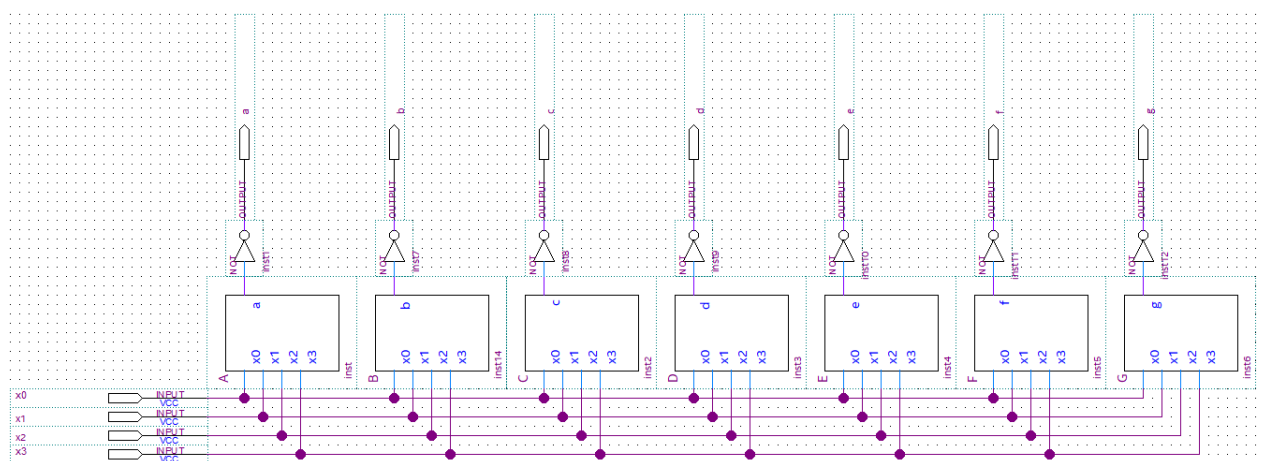


Рисунок 1.18 Схема шифратора с логическим отрицанием (оно нужно, т.к. в ПЛИС светодиоды на анодах)

2 Реализация устройств «1-го уровня».

Соберём устройства с относительно простой схемой, состоящей из обычных логических элементов (или созданной с помощью кода на Verilog HDL). Устройства «1-го уровня» используются при создании устройств последующих «уровней».

2.1 Таймер

```
module Timer(clk, reset, out_pos);  
    input clk;  
    input reset;  
    output reg [28:0]out_pos;  
  
    always @(posedge clk)  
    begin  
        if (reset == 0)  
            out_pos = 0;  
        else  
            out_pos <= out_pos + 1'd1;  
        end  
    end  
endmodule
```

2.2 Мультиплексор

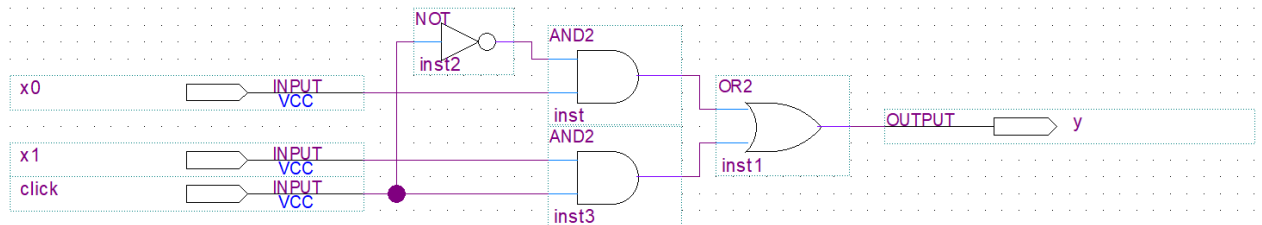


Рисунок 2.1 – Схема мультиплексора

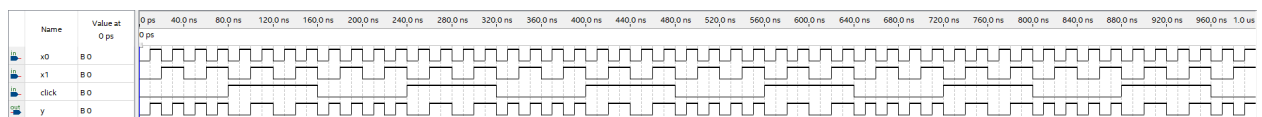


Рисунок 2.2 – Временная диаграмма для мультиплексора

2.3 Элемент для перенаправления сигналов

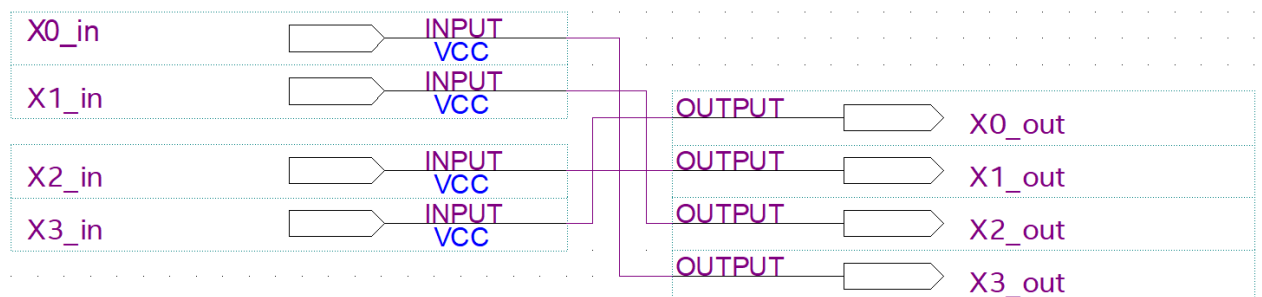


Рисунок 2.3 – Схема элемента, перенаправляющего сигналы

2.4 Маркеры

В дальнейшем нам понадобится возможность узнавать, какое значение на шине в данный момент времени. Чтобы реализовать такую возможность, используем один из трёх маркеров (0, 9, STOP).

2.4.1 Маркер 0

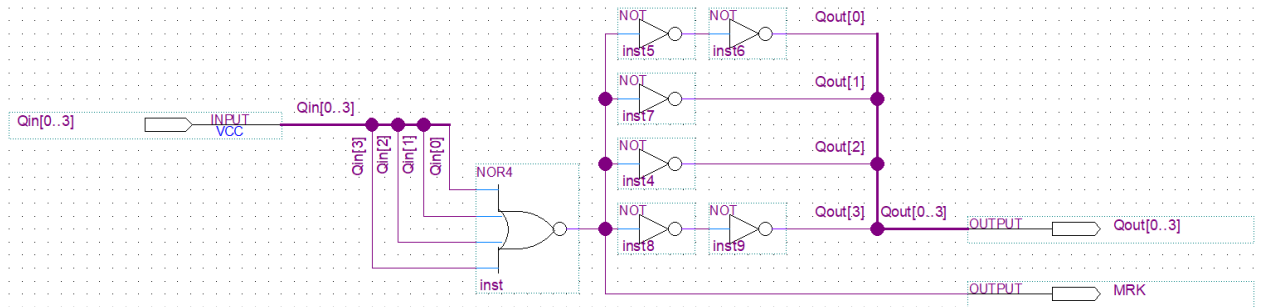


Рисунок 2.4 – Схема маркера 0

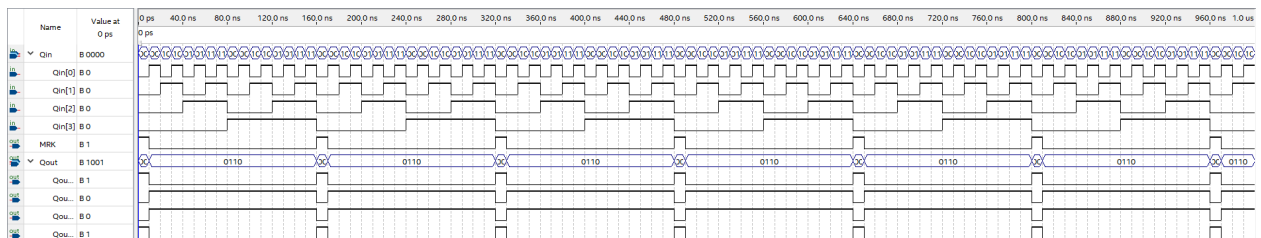


Рисунок 2.5 – Временная диаграмма для данного маркера

2.4.2 Маркер 9

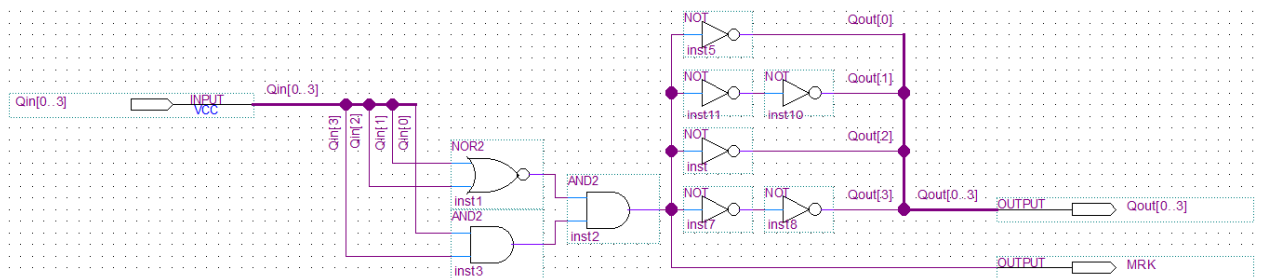


Рисунок 2.6 – Схема маркера 9

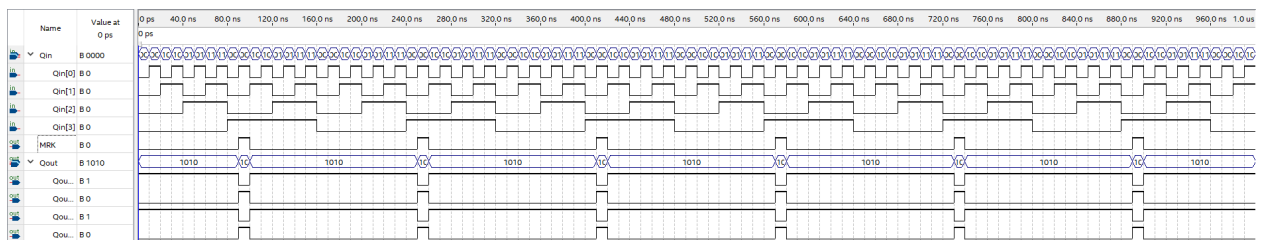


Рисунок 2.7 – Временная диаграмма для данного маркера

2.4.3 Маркер STOP

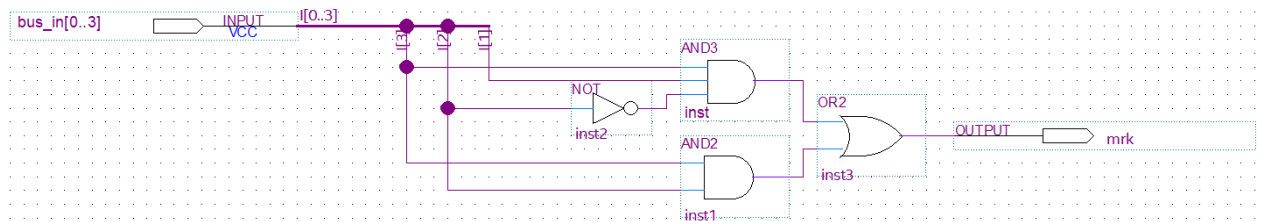


Рисунок 2.8 – Схема маркера STOP

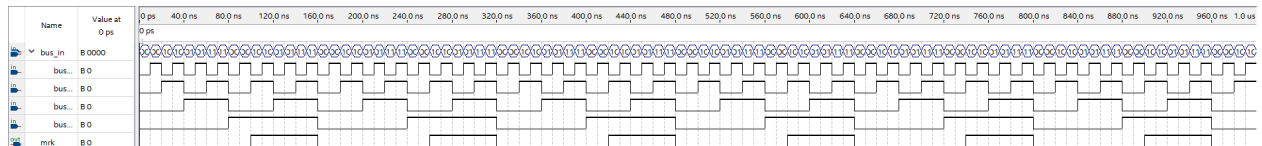


Рисунок 2.9 – Временная диаграмма для данного маркера

2.5 Разветвитель

Чтобы разделить шину с 8 элементами на две шины по 4 элемента, используем разветвитель.

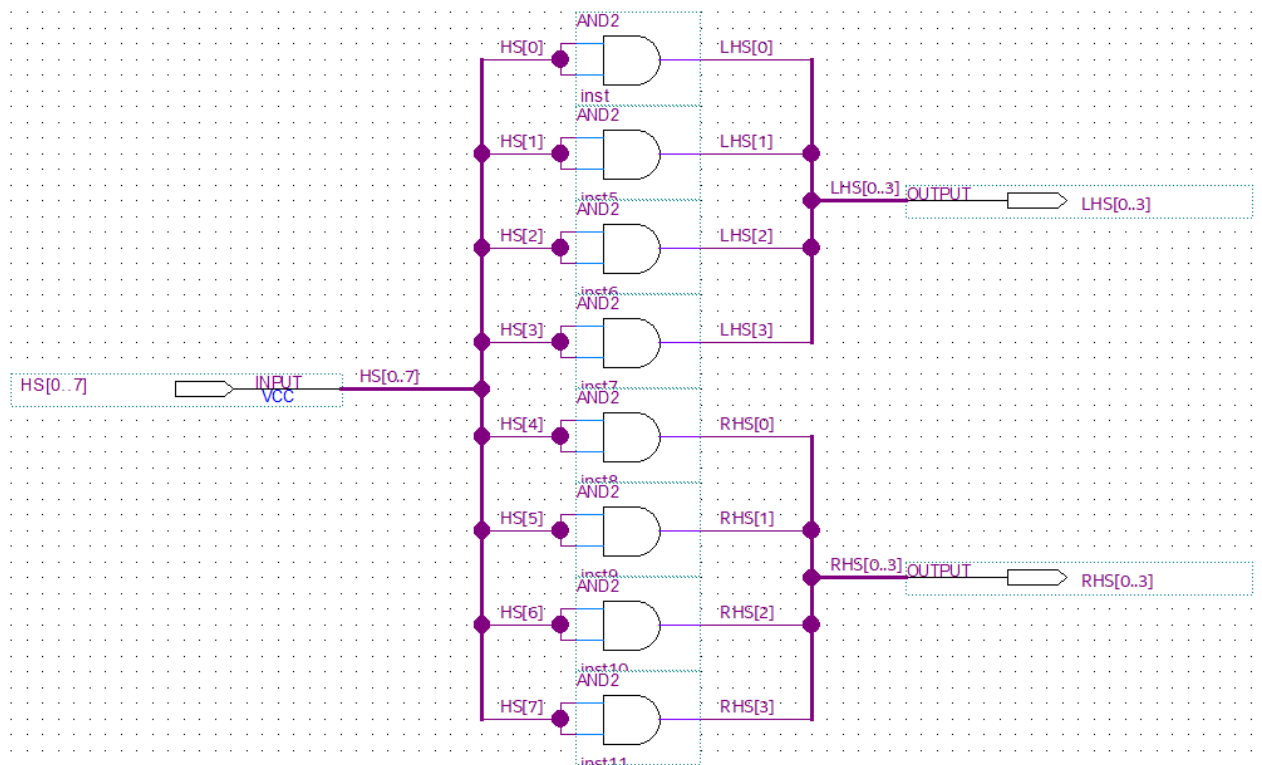


Рисунок 2.10 – Схема разветвителя

3 Реализация устройств «2-го уровня».

Соберём устройства со схемой, включающей в себя устройства «1-го уровня» и триггеры. Устройства «2-го уровня» используются при создании устройств последующих «уровней».

3.1 RS-триггер

Создадим свой RS-триггер на основе RS-триггера, встроенного в Quartus.

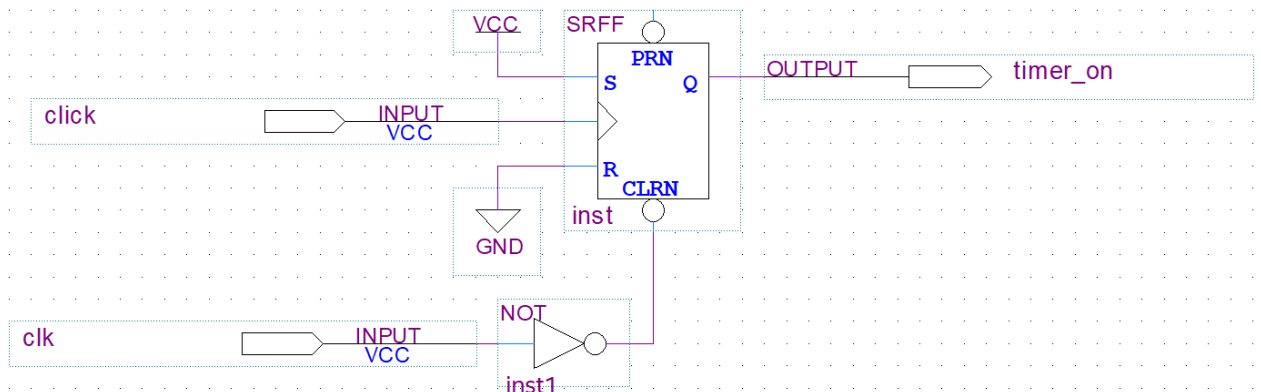


Рисунок 3.1 – Схема RS-триггера

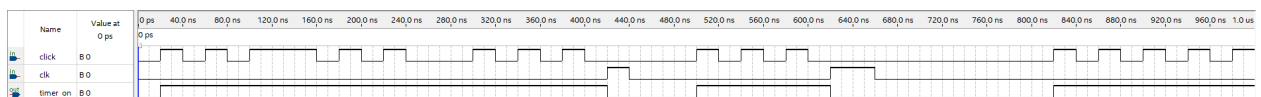


Рисунок 3.2 – Временная диаграмма для RS-триггера

3.2 JK-триггер

Создадим свой JK -триггер на основе JK -триггера, встроенного в Quartus.

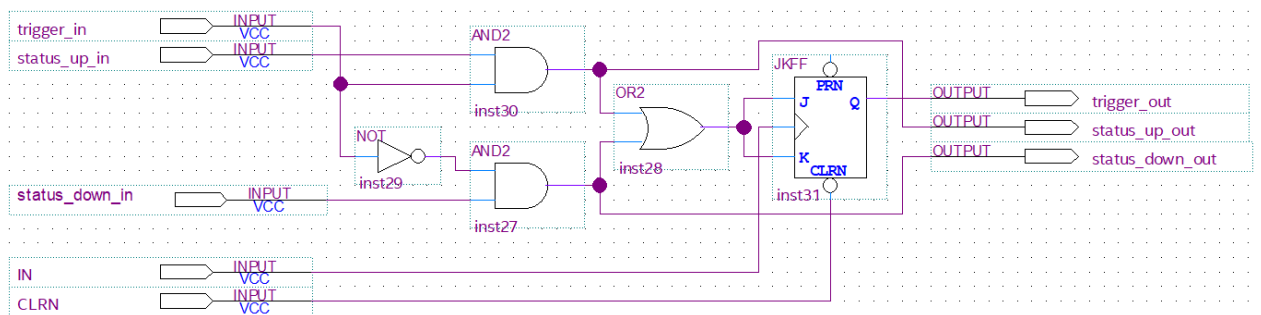


Рисунок 3.3 – Схема JK-триггера

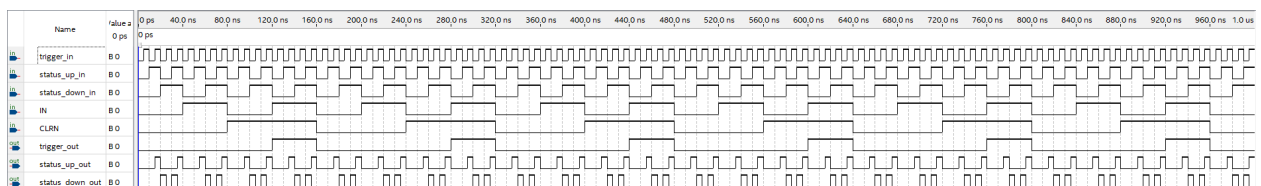


Рисунок 3.4 – Временная диаграмма для JK-триггера

3.3 Задержка

Соберём устройство для задерживания сигнала, получаемого с таймера с кликом (данное устройство приведено ниже).

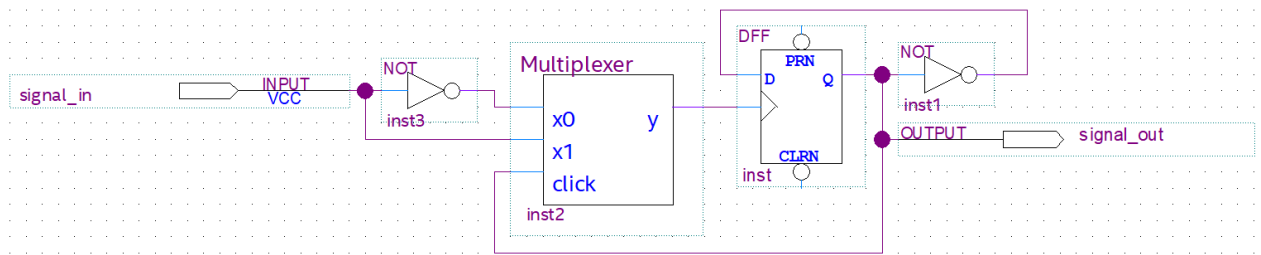


Рисунок 3.5 – Схема задержки

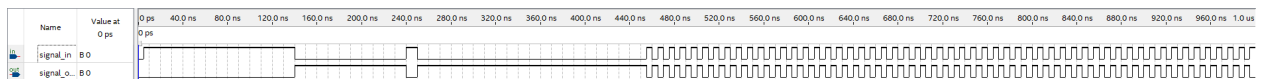


Рисунок 3.6 – Временная диаграмма для задержки

3.4 Блокиратор, или “Защита от дурака”

Соберём блокиратор, который ещё называют “Защитой от дурака”. Его суть в том, что он заблокирует сигнал, если тот при реверсивном ходе пришёл к 00 или при обычном ходе пришёл к 99.

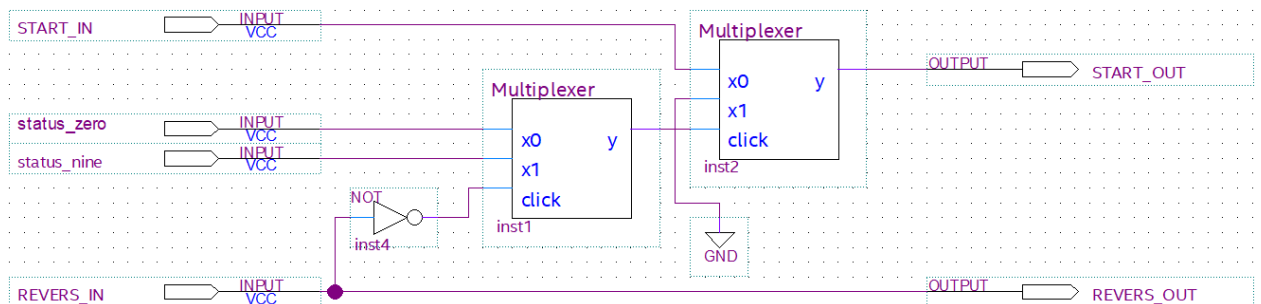


Рисунок 3.7 – Схема блокиратора

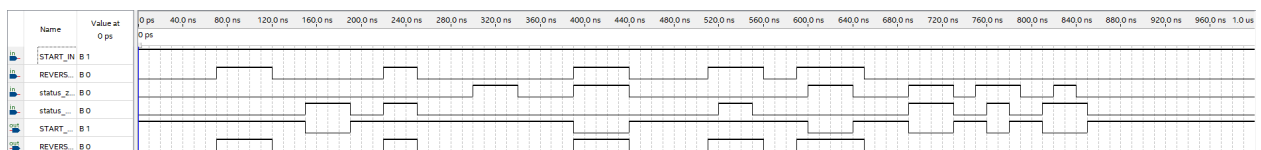


Рисунок 3.8 – Временная диаграмма для блокиратора

3.5 Оповещающий элемент

Соберём элемент, который будет оповещать нас о том, равен ли сигнал на счётчике 00 или 99.

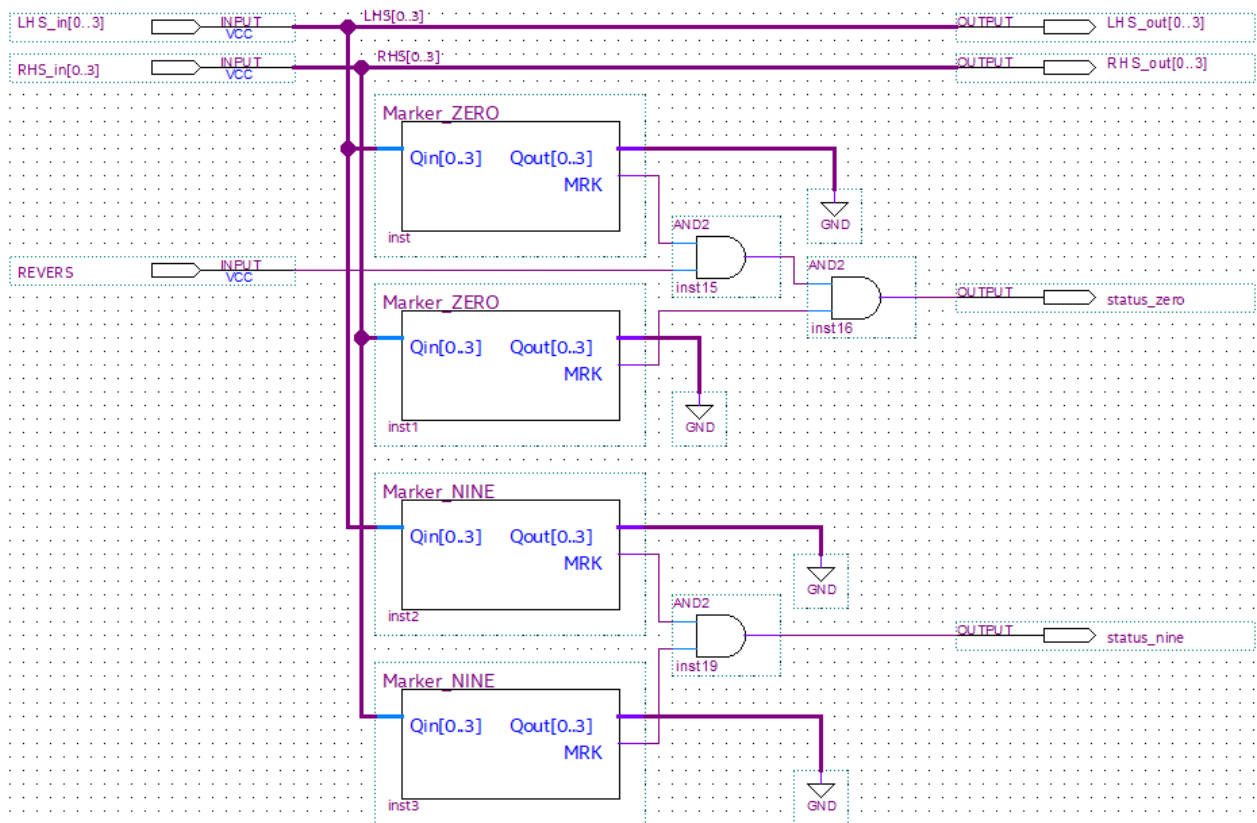


Рисунок 3.9 – Схема оповещающего элемента

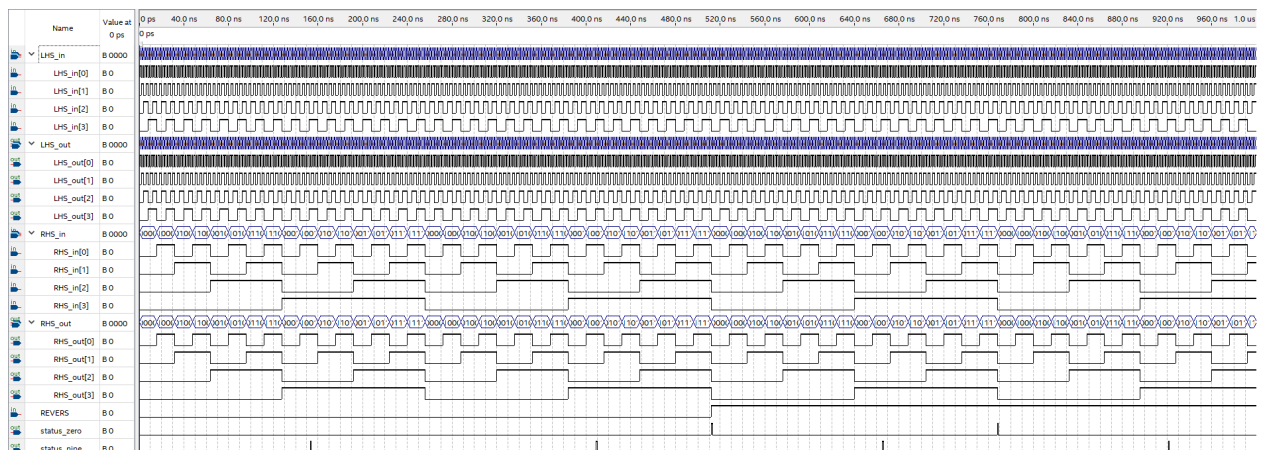


Рисунок 3.10 – Временная диаграмма для этого элемента

3.6 Большой мультиплексор

Ввиду того, что на выходе у нас две шины, существует необходимость их между собой переключать. Для этого нам понадобится большой мультиплексор, который при создании мы сразу объединим со счётчиком. Это нужно, чтобы в финальной схеме было меньше элементов.

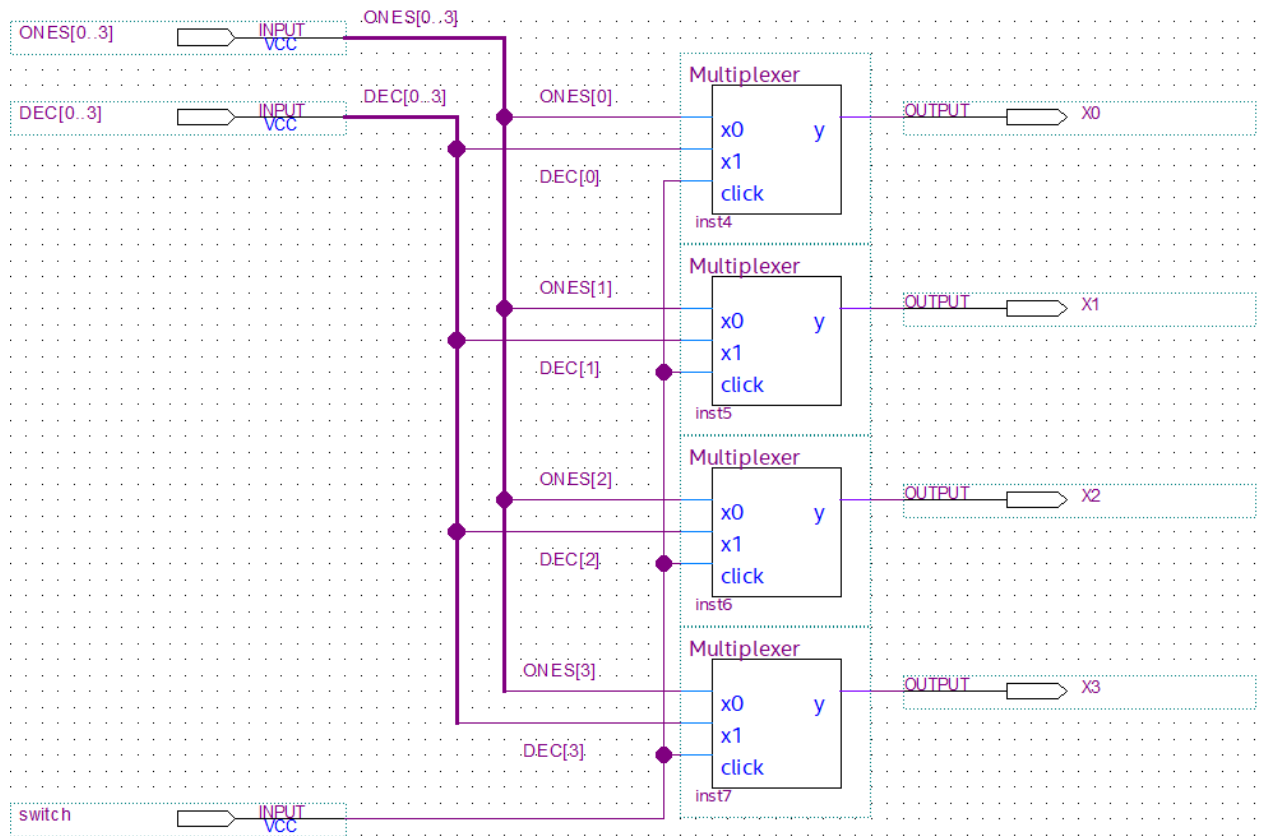


Рисунок 3.11 – Схема большого мультиплексора для шины счётчика десятков

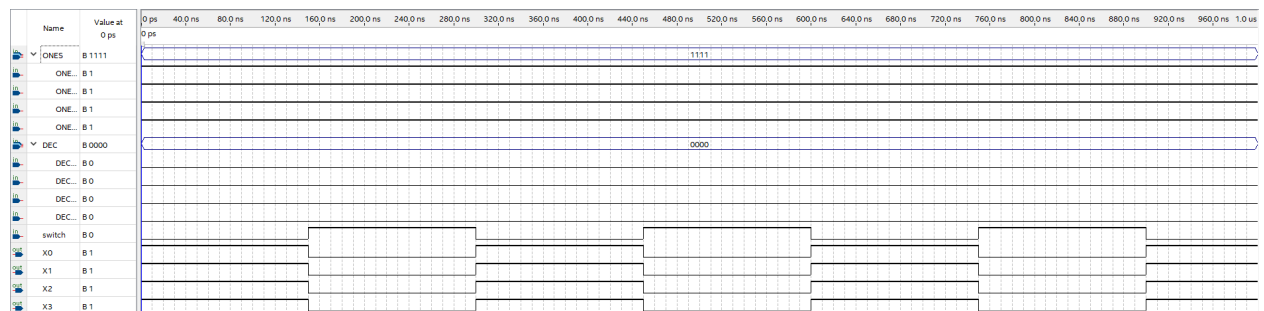


Рисунок 3.12 – Временная диаграмма для большого мультиплексора

4 Реализация устройств «3-го уровня».

Соберём устройства со схемой, включающей в себя устройства «1-го уровня» и «2-го уровня». Устройства «3-го уровня» используются при создании устройств последующих «уровней».

4.1 Таймер с кликом

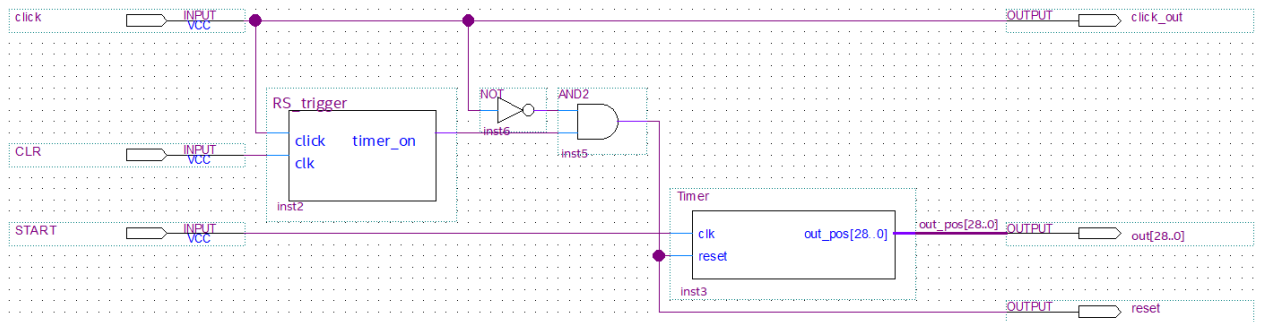


Рисунок 4.1 – Схема таймера с кликом

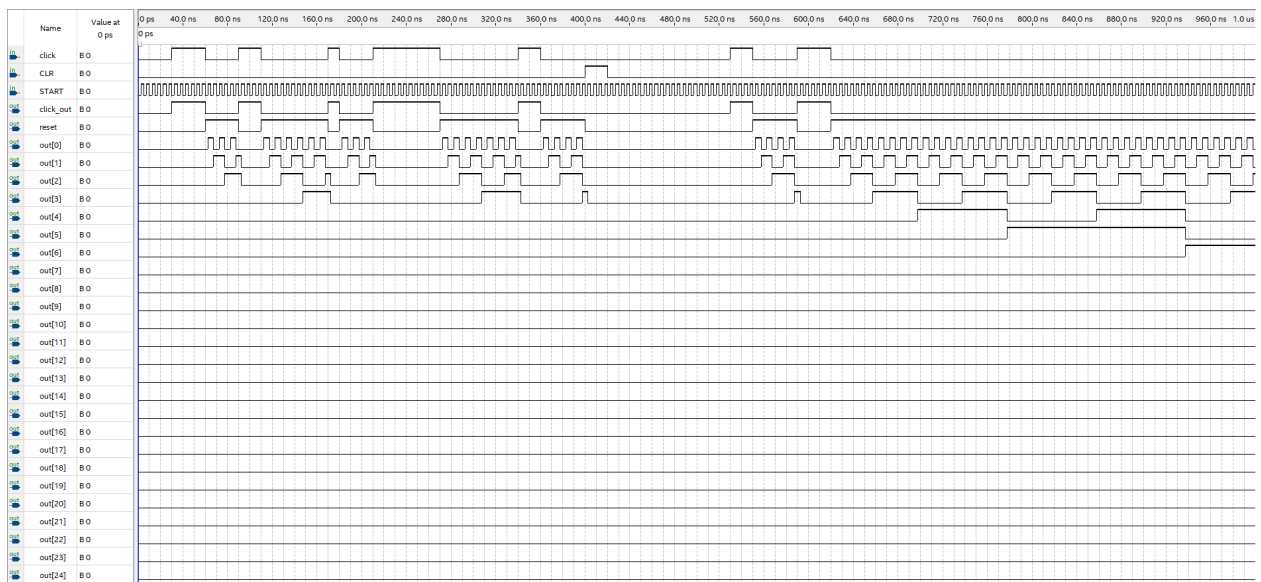


Рисунок 4.2 – Временная диаграмма для таймера с кликом

4.2 Бесконечный счётчик

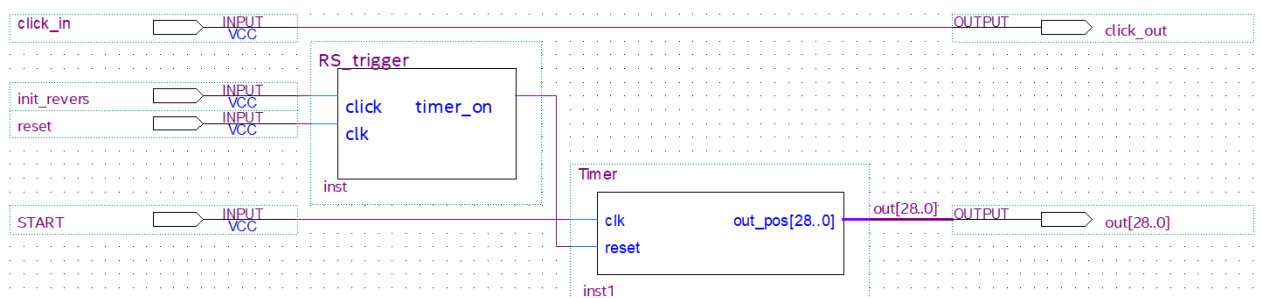


Рисунок 3.7 – Схема бесконечного счётчика

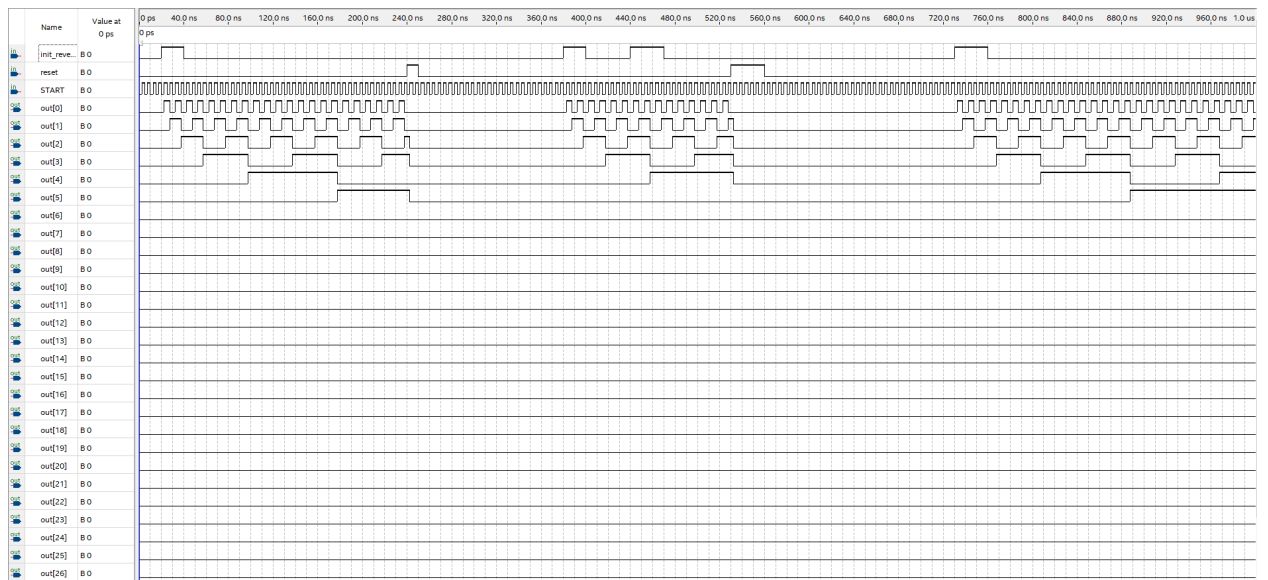


Рисунок 3.8 – Временная диаграмма для бесконечного счётчика

4.3 Реверсивный счётчик на JK-триггерах

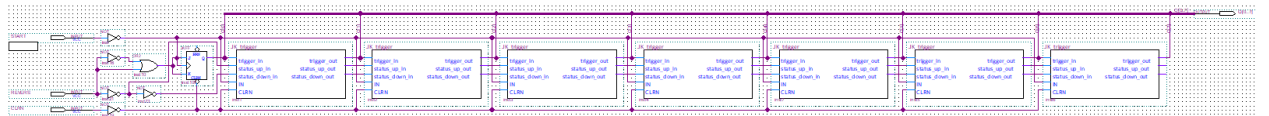


Рисунок 3.9 – Схема реверсивного счётчика на JK-триггерах

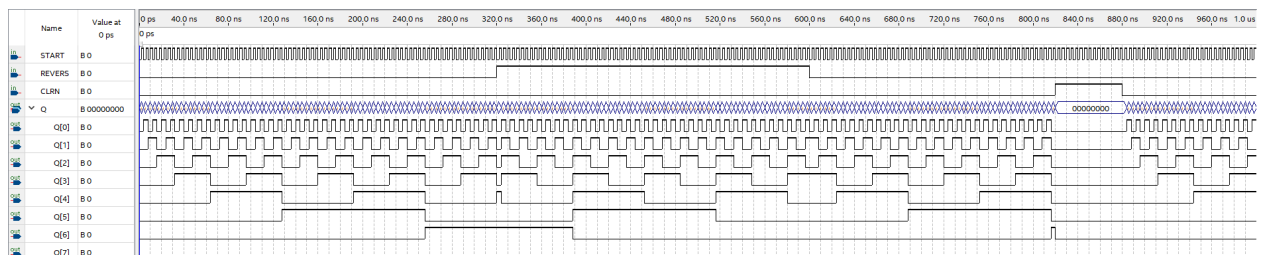


Рисунок 3.10 – Временная диаграмма для данного счётчика

5 Реализация устройства «4-го уровня» - Счётчик.

Соберём устройство со схемой, включающей в себя устройства предыдущих «уровней».

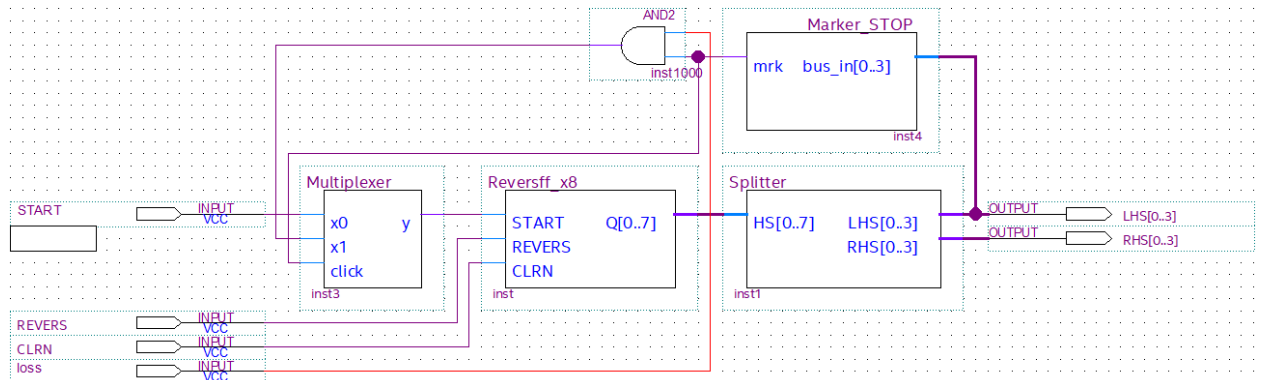


Рисунок 5.1 – Схема счётчика

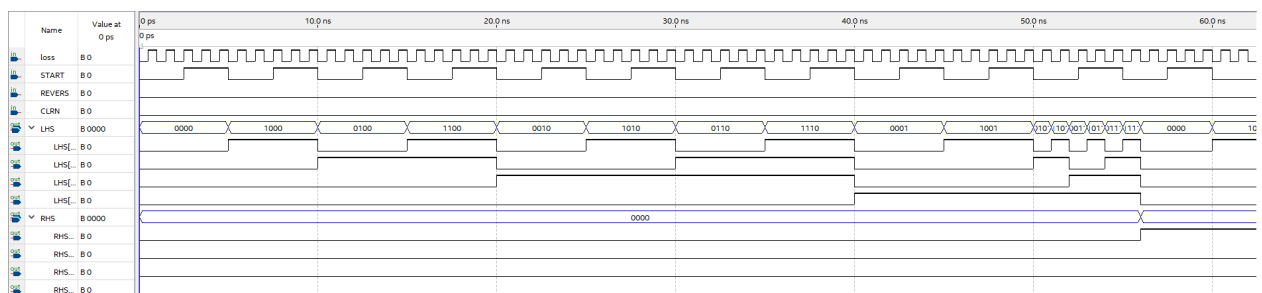


Рисунок 5.2 – Временная диаграмма для счётчика на коротком промежутке

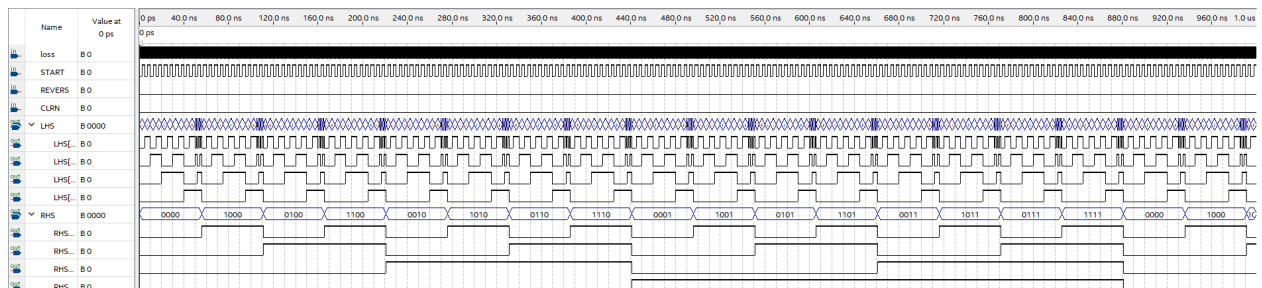


Рисунок 5.3 – Временная диаграмма для счётчика на длинном промежутке

6 Реализация устройства «5-го уровня» - Десятичный счётчик.

Соберём устройство со схемой, включающей в себя 2 устройства «2-го уровня» и одно устройство «4-го уровня».

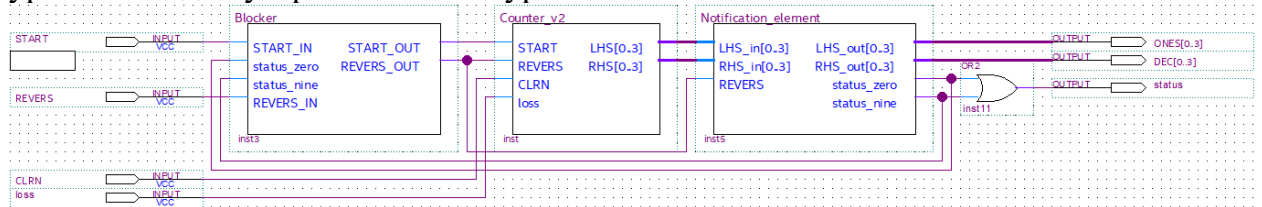


Рисунок 6.1 – Схема десятичного счётчика (с защитой и маркерами)

7 Реализация устройства «6-го уровня» - Десятичный счётчик с большим мультиплексором.

Соберём устройство со схемой, включающей в себя устройства «2-го уровня» и «6-го уровня».

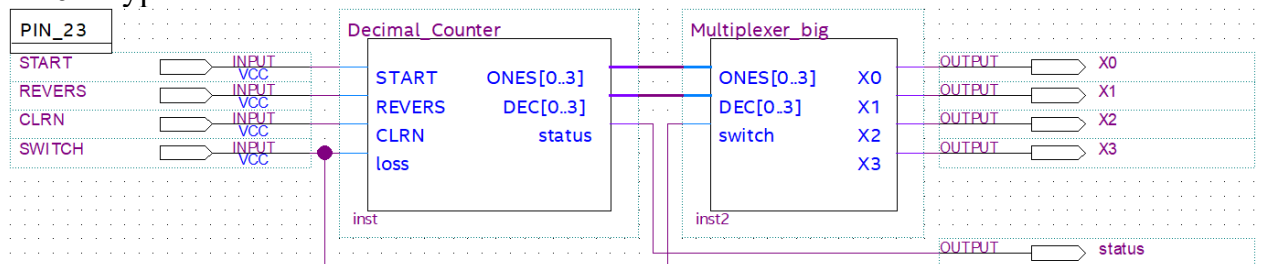


Рисунок 7.1 – Схема десятичного счётчика с большим мультиплексором

8 Реализация устройства последнего «7-го уровня» - Итоговая схема.

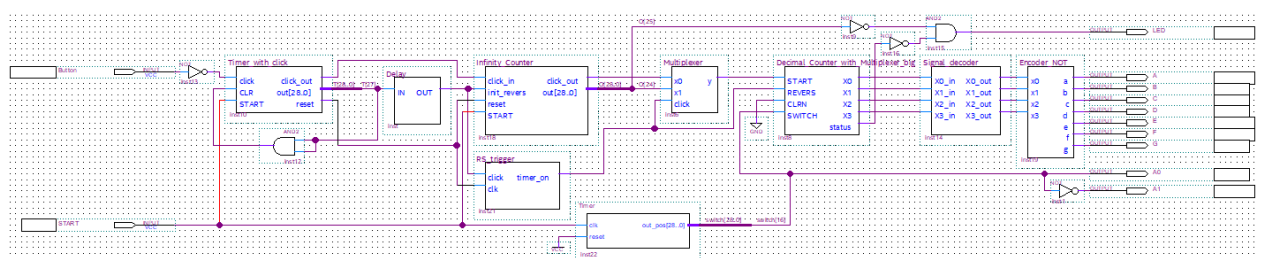


Рисунок 8.1 – Итоговая схема устройства

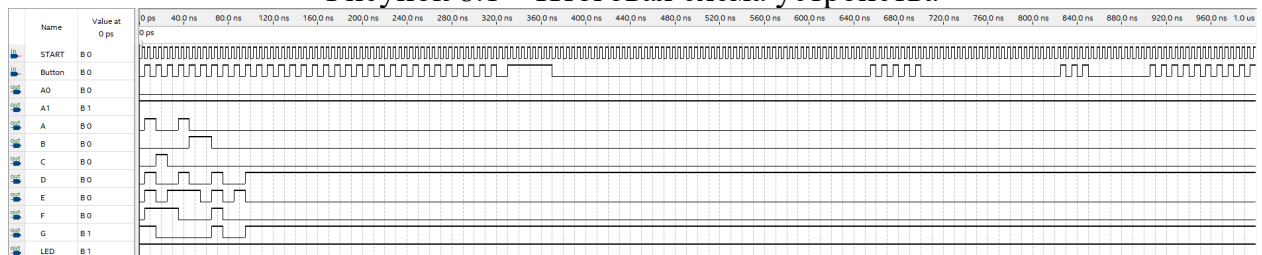


Рисунок 8.2 – Временная диаграмма для итоговой схемы

9. Запуск итоговой схемы на реальной ПЛИС.

Node Name	Direction	Location	I/O Bank	VREF Group	Fitter Location	I/O Standard	Reserved	Current Strength	Slew Rate	Differential Pair	strict Preservation
out A	Output	PIN_128	8	B8_NO	PIN_128	2.5 V		8mA (default)	2 (default)		
out A0	Output	PIN_133	8	B8_NO	PIN_133	2.5 V		8mA (default)	2 (default)		
out A1	Output	PIN_135	8	B8_NO	PIN_135	2.5 V		8mA (default)	2 (default)		
out B	Output	PIN_121	7	B7_NO	PIN_121	2.5 V		8mA (default)	2 (default)		
in Button	Input	PIN_88	5	B5_NO	PIN_88	2.5 V		8mA (default)			
out C	Output	PIN_125	7	B7_NO	PIN_125	2.5 V		8mA (default)	2 (default)		
out D	Output	PIN_129	8	B8_NO	PIN_129	2.5 V		8mA (default)	2 (default)		
out E	Output	PIN_132	8	B8_NO	PIN_132	2.5 V		8mA (default)	2 (default)		
out F	Output	PIN_126	7	B7_NO	PIN_126	2.5 V		8mA (default)	2 (default)		
out G	Output	PIN_124	7	B7_NO	PIN_124	2.5 V		8mA (default)	2 (default)		
out LED	Output	PIN_84	5	B5_NO	PIN_84	2.5 V		8mA (default)	2 (default)		
in START	Input	PIN_23	1	B1_NO	PIN_23	2.5 V		8mA (default)			
<<new node>>											

Рисунок 9.1 – Назначение выводов итоговой схемы

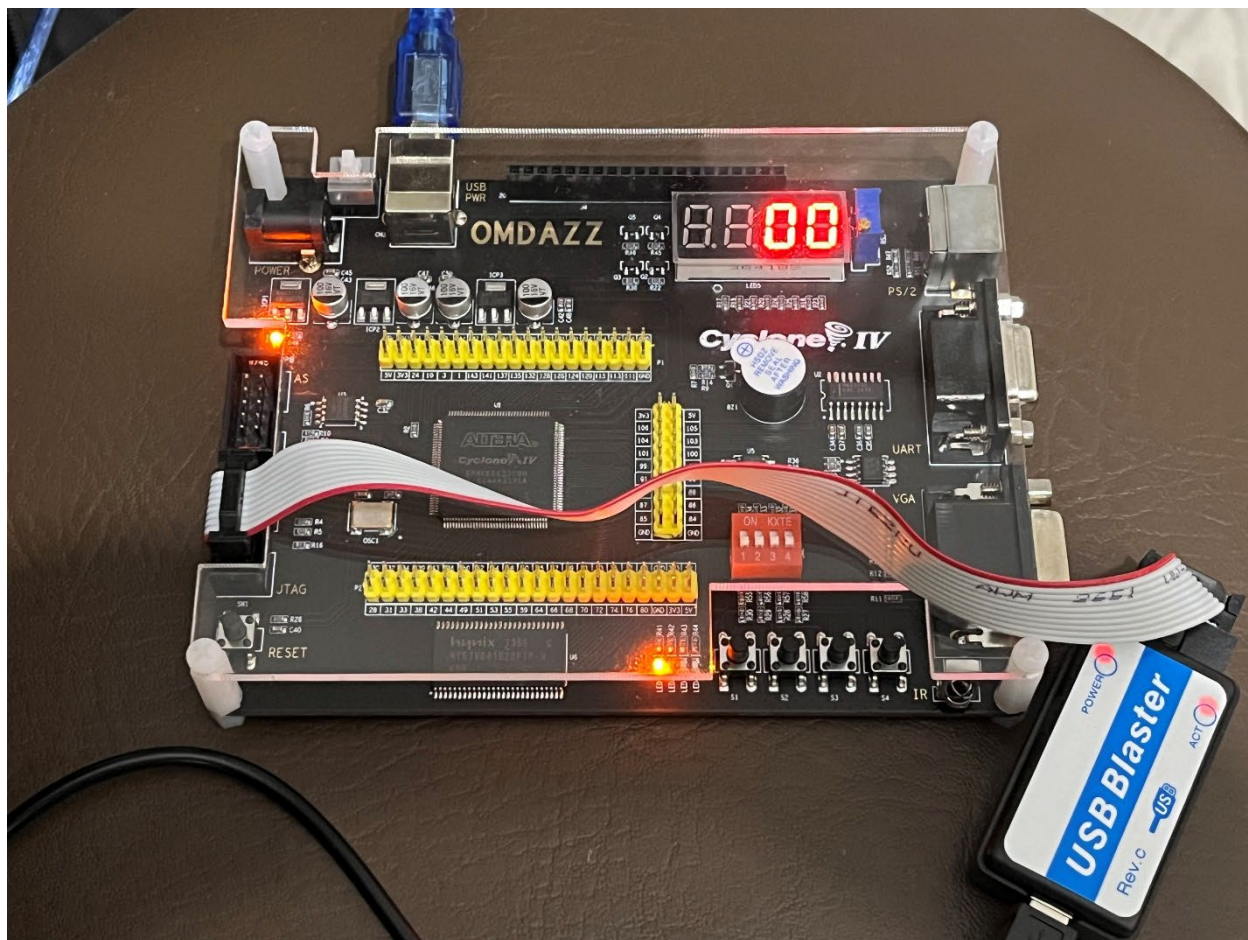


Рисунок 9.2 – Реальная ПЛИС, на которой уже запущена итоговая схема