



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 домашнему заданию №1

на тему «ПЛИС Altera ССИ, минимизация алгебраических функций»

по дисциплине «Цифровые устройства и микропроцессоры»

Вариант № 20Л112

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

ШК
(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 различных алгоритмов	4
1.2.1 Законы алгебры логики	4
1.2.2 Карты Карно	6
1.2.3 Метод Квайна	8
СКНФ	8
СДНФ	9
1.3 Перевод полученных выражений к базисам 2И-НЕ и 2ИЛИ-НЕ	11
1.3.1 2И-НЕ	11
1.3.2 2ИЛИ-НЕ	12
1.4 Цифровая схема	13
2 Реализация дешифратора для вывода знака на ССИ.	21
3 Реализация реверсивного дешифратора для вывода знака на ССИ.	24
4 Реализация счётчика с коэффициентом счёта 6.	28
5 Реализация делителя частоты	29
6 Общая схема	31

1 Реализация шифратора для вывода знака на ССИ.

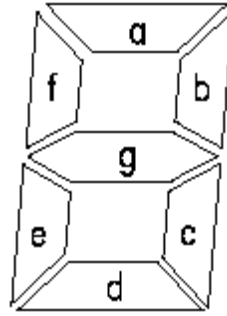


Рисунок 1.1 – Семисегментный индикатор

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
y_e^{\text{СКНФ}} &= (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot \\
&\quad (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \\
y_e^{\text{СДНФ}} &= \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_f^{\text{СКНФ}} &= (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot \\
&\quad (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \\
y_f^{\text{СДНФ}} &= \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \\
&\quad x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3
\end{aligned}$$

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

1.2 Минимизация с помощью различных алгоритмов

1.2.1 Законы алгебры логики

$$\begin{aligned}
y_a^{\text{СКНФ}} &= (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) = \\
&\quad ((x_0 \vee x_2) \vee (x_1 \vee \bar{x}_3)) \cdot ((x_0 \vee x_2) \vee (\bar{x}_1 \vee x_3)) = \\
&\quad (x_0 \vee x_2) \vee ((x_1 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_1 \vee x_3)) \\
y_a^{\text{СДНФ}} &= \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3} \vee \underline{\underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3}} \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \underline{\underline{\bar{x}_0 x_1 x_2 x_3}} \vee \\
&\quad \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}} \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}} \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3}} = \\
&\quad \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2
\end{aligned}$$

Используем закон дистрибутивности:

$$\boxed{x \vee (y \cdot z) = (x \vee y) \cdot (x \vee z)}$$

$$\begin{aligned}
y_b^{\text{СКНФ}} &= (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) = \\
&\quad x_0 \vee \bar{x}_1 \vee ((x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_2 \vee x_3)) \\
y_b^{\text{СДНФ}} &= \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \vee \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3} \vee \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3} \vee \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3} \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 x_3 \vee \\
&\quad \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}} \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}} \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3}} = \\
&\quad \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2} \vee \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2} \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 x_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 = \\
&\quad \bar{x}_0 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 x_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3
\end{aligned}$$

Для $y_c^{\text{СКНФ}}$ сокращать нечего, поэтому: $y_c^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$

$$\begin{aligned}
y_c^{\text{СДНФ}} &= \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \vee \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3} \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3 \vee \underline{\underline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}} \vee \underline{\underline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3}} \vee \underline{\underline{\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3}} \vee \\
&\quad \underline{\underline{\bar{x}_0 x_1 x_2 x_3}} \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}} \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}} \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3}} =
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2} \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3 \vee \underline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2} \vee \underline{\bar{x}_0 x_1 x_2} \vee \underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2} \vee x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 = \\ & \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \vee x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_d^{\text{CKH}\Phi} &= (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot \\ & \quad (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) = \\ & (x_0 \vee (x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot (\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)) \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \\ y_d^{\text{CDH}\Phi} &= \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \vee \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3} \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}} \vee \\ & \quad \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}} = \\ & \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_e^{\text{CKH}\Phi} &= (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot \\ & \quad \underline{\underline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)}} = \\ & (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2) \cdot (\bar{x}_3 \vee (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2) \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2)) \\ y_e^{\text{CDH}\Phi} &= \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \vee \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3} \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}} \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3}} = \\ & \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3} \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3} = \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_f^{\text{CKH}\Phi} &= (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \cdot \underline{(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot} \\ & \quad \underline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)} = \\ & (x_0 \vee x_1 \vee (x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_2 \vee x_3)) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \\ y_f^{\text{CDH}\Phi} &= \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \vee \underline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}} \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}} \vee \\ & \quad x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 = \\ & \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_g^{\text{CKH}\Phi} &= \underline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot} \\ & \quad \underline{(\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)} = \\ & (x_0 \vee x_1 \vee x_2) \cdot (\bar{x}_2 \vee (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_3)) \\ y_g^{\text{CDH}\Phi} &= \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3} \vee \underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3} \vee \underline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \vee \underline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3} \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}} \vee \\ & \quad \underline{\underline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}} = \\ & \underline{\underline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2}} \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \end{aligned}$$

1.2.2 Карты Карно

$a^{\text{СДНФ}}$

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

$a^{\text{СКНФ}}$

x_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
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_2, x_3 \ x_0, x_1					
		00	01	11	10
00	0	0	1	1	
01	0	1	1	0	
11	0	1	1	1	
10	0	1	1	0	

$b^{\text{СКНФ}}$

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

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

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

$c^{\text{СДНФ}}$

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	

$c^{\text{СКНФ}}$

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	

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

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

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

		x_0, x_1			
		00	01	11	10
x_2, x_3	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_0, x_1			
		00	01	11	10
x_2, x_3	00	1	0	1	1
	01	1	1	1	0
	11	1	0	1	1
	10	0	1	1	1

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

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

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

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

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

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

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

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

$f^{\text{СДНФ}}$

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

 $f^{\text{СКНФ}}$

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

 $g^{\text{СКНФ}}$

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

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

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

1.2.3 Метод Квайна

СКНФ

Корректно минимизировать возможно только СКНФ для е, f и g.

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

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

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

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

$(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) 1$	$1+3=(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_3) 1'$	$(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_3)$
$(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) 2$	$2+3=(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2) 2'$	$(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2)$
$(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) 3$	$3+4=(x_0 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) 3'$	$(x_0 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)$
$(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) 4$		

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

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

$(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) 1$	$1+2=(x_0 \vee x_1 \vee x_2) 0'$	$(x_0 \vee x_1 \vee x_2)$
$(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) 2$		$(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)$
$(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) 3$		$(\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$
$(\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) 4$		

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

СДНФ

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

$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 1$	$1+2=\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 1'$	$1'+10'=\bar{x}_1 \bar{x}_3 1''$	$\bar{x}_1 \bar{x}_3$
$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 2$	$1+7=\bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 2'$	$2'+5'=\bar{x}_1 \bar{x}_3 2''$	$\bar{x}_0 x_2$
$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3 3$	$2+3=\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 3'$	$3'+8'=\bar{x}_0 x_2 3''$	$\bar{x}_0 x_1 x_3$
$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3 4$	$2+5=\bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3 4'$	$4'+6'=\bar{x}_0 x_2 4''$	$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2$
$\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 5$	$2+9=\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 5'$		
$\bar{x}_0 x_1 x_2 x_3 6$	$3+6=\bar{x}_0 x_2 x_3 6'$		
$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 7$	$4+6=\bar{x}_0 x_1 x_3 7'$		
$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 8$	$5+6=\bar{x}_0 x_1 x_2 8'$		
$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 9$	$7+8=x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 9'$		
	$7+9=x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 10'$		

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

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

$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 1$	$1+2=\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 1'$	$1'+7'=\bar{x}_0 \bar{x}_1 1''$	$\bar{x}_0 \bar{x}_1$
$\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 2$	$1+3=\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 2'$	$1'+10'=\bar{x}_1 \bar{x}_2 2''$	$\bar{x}_1 \bar{x}_2$
$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 3$	$1+5=\bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 3'$	$2'+5'=\bar{x}_0 \bar{x}_1 3''$	$\bar{x}_1 \bar{x}_3$
$\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 x_3 4$	$1+7=\bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 4'$	$2'+11'=\bar{x}_1 \bar{x}_3 4''$	$\bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3$
$\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 5$	$2+4=\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_3 5'$	$4'+6'=\bar{x}_1 \bar{x}_2 5''$	$\bar{x}_0 x_2 x_3$
$\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3 6$	$2+8=\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 6'$	$4'+8'=\bar{x}_1 \bar{x}_3 6''$	
$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 7$	$3+4=\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 7'$		
$x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 8$	$3+9=\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 8'$		
$x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 9$	$4+6=\bar{x}_0 x_2 x_3 9'$		
	$7+8=x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 10'$		
	$7+9=x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 11'$		

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

$$y_c = \bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3 \vee \bar{x}_0\bar{x}_1x_2x_3 \vee \bar{x}_0x_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_1\bar{x}_2x_3 \vee \bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_1x_2x_3 \\ \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3 \vee x_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$$

$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 1	1+2= $\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2$ 1'	1'+8'= $\bar{x}_0\bar{x}_2$ 1''	$\bar{x}_0\bar{x}_2$
$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 2	1+4= $\bar{x}_0\bar{x}_2\bar{x}_3$ 2'	1'+12'= $\bar{x}_1\bar{x}_2$ 2''	$\bar{x}_1\bar{x}_2$
$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2x_3$ 3	1+8= $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 3'	2'+5'= $\bar{x}_0\bar{x}_2$ 3''	\bar{x}_0x_3
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 4	2+3= $\bar{x}_0\bar{x}_1x_3$ 4'	3'+6'= $\bar{x}_1\bar{x}_2$ 4''	\bar{x}_0x_1
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2x_3$ 5	2+5= $\bar{x}_0\bar{x}_2x_3$ 5'	4'+10'= \bar{x}_0x_3 5''	$x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3$ 6	2+9= $\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 6'	5'+7'= \bar{x}_0x_3 6''	
$\bar{x}_0x_1x_2x_3$ 7	3+7= $\bar{x}_0x_2x_3$ 7'	8'+11'= \bar{x}_0x_1 7''	
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 8	4+5= $\bar{x}_0x_1\bar{x}_2$ 8'	9'+10'= \bar{x}_0x_1 8''	
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 9	4+6= $\bar{x}_0x_1\bar{x}_3$ 9'		
$x_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 10	5+7= $\bar{x}_0x_1x_3$ 10'		
	6+7= $\bar{x}_0x_1x_2$ 11'		
	8+9= $x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$ 12'		
	8+10= $x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$ 13'		

$$y_c = \bar{x}_0\bar{x}_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2 \vee \bar{x}_0x_3 \vee \bar{x}_0x_1 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$$

$$y_d = \bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0\bar{x}_1x_2x_3 \vee \bar{x}_0x_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$$

$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 1	1+2= $\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_3$ 1'	$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_3$
$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 2	1+6= $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 2'	$\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$
$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2x_3$ 3	2+3= $\bar{x}_0\bar{x}_1x_2$ 3'	$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2$
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 4	2+5= $\bar{x}_0x_2\bar{x}_3$ 4'	$\bar{x}_0x_2\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3$ 5	6+7= $x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$ 5'	$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 6		
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 7		

$$y_d = \bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0\bar{x}_1x_2 \vee \bar{x}_0x_2\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$$

$$y_e = \bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$$

$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 1	1+2= $\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_3$ 1'	1'+5'= $\bar{x}_1\bar{x}_3$ 1''	$\bar{x}_1\bar{x}_3$
$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 2	1+4= $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 2'	2'+4'= $\bar{x}_1\bar{x}_3$ 2''	$\bar{x}_0x_2\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3$ 3	2+3= $\bar{x}_0x_2\bar{x}_3$ 3'		
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 4	4+5= $x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$ 4'		
$x_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 5			

$$y_e = \bar{x}_0x_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_3$$

$$y_f = \bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_1\bar{x}_2x_3 \vee \bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3 \vee x_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$$

$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 1	1+2= $\bar{x}_0\bar{x}_2\bar{x}_3$ 1'	$\bar{x}_0\bar{x}_2\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 2	1+5= $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 2'	$\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2x_3$ 3	2+3= $\bar{x}_0x_1\bar{x}_2$ 3'	$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2$
$\bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3$ 4	2+4= $\bar{x}_0x_1\bar{x}_3$ 4'	$\bar{x}_0x_1\bar{x}_3$
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 5	5+6= $x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$ 5'	$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 6	5+7= $x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$ 6'	$x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$
$x_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 7		

$$y_f = \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3$$

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

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

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

1.3 Перевод полученных выражений к базисам 2И-НЕ и 2ИЛИ-НЕ

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

$$\begin{aligned} \overline{a \cdot b} &= \bar{a} \vee \bar{b} \\ \overline{a \vee b} &= \bar{a} \cdot \bar{b} \end{aligned}$$

1.3.1 2И-НЕ

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

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

1.3.2 2ИЛИ-НЕ

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

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

1.4 Цифровая схема

Все схемы строились через КНФ.

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

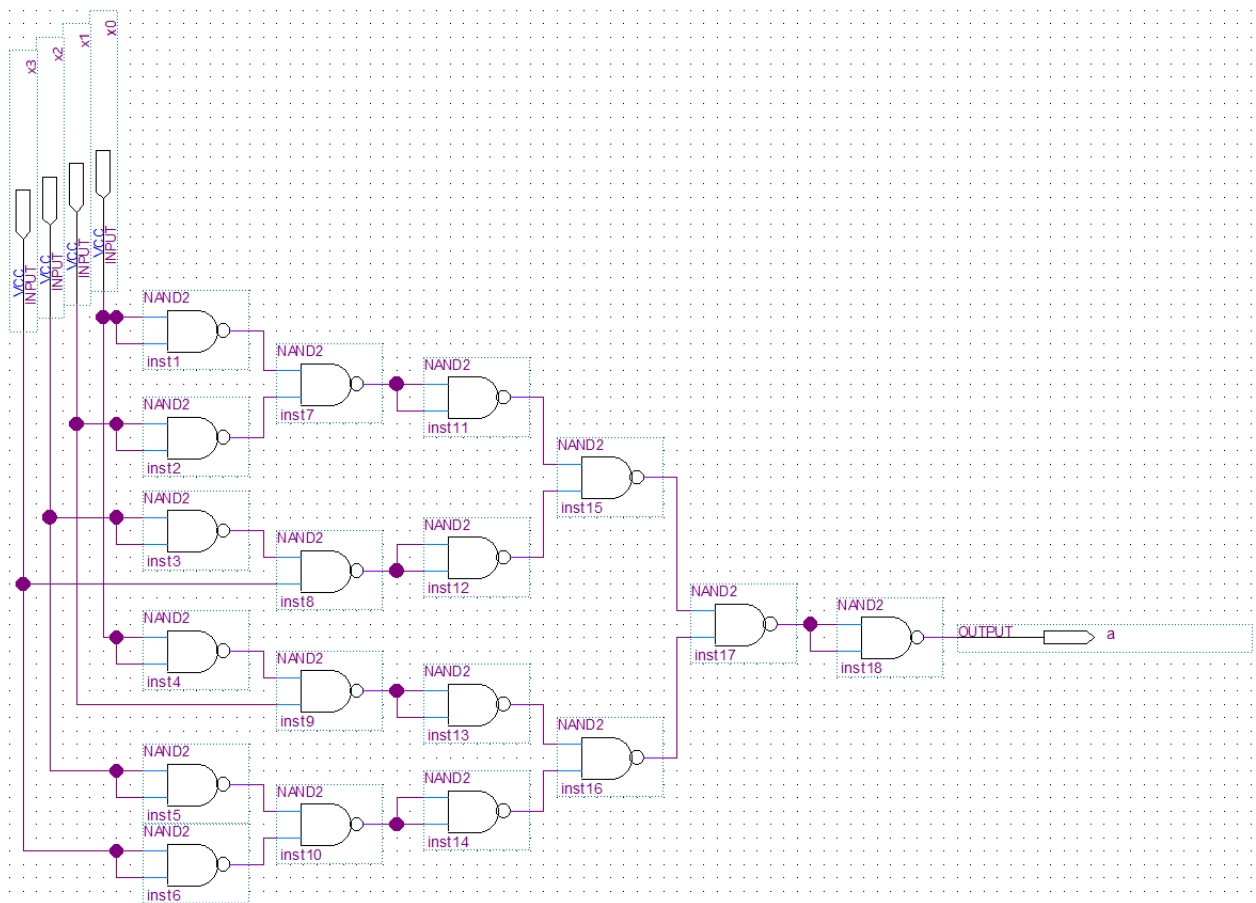


Рисунок 1.2 – Схема для светодиода “а”

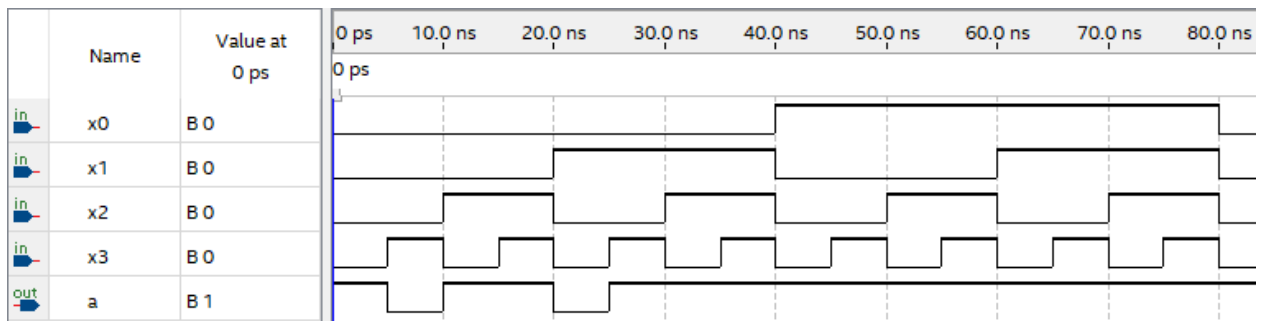


Рисунок 1.3 – Временная диаграмма для светодиода “а”

$$y_b^{\text{КНФ}} = \overline{\overline{x_0}x_1\overline{x_2}x_3} \cdot \overline{\overline{x_0}x_1x_2\overline{x_3}}$$

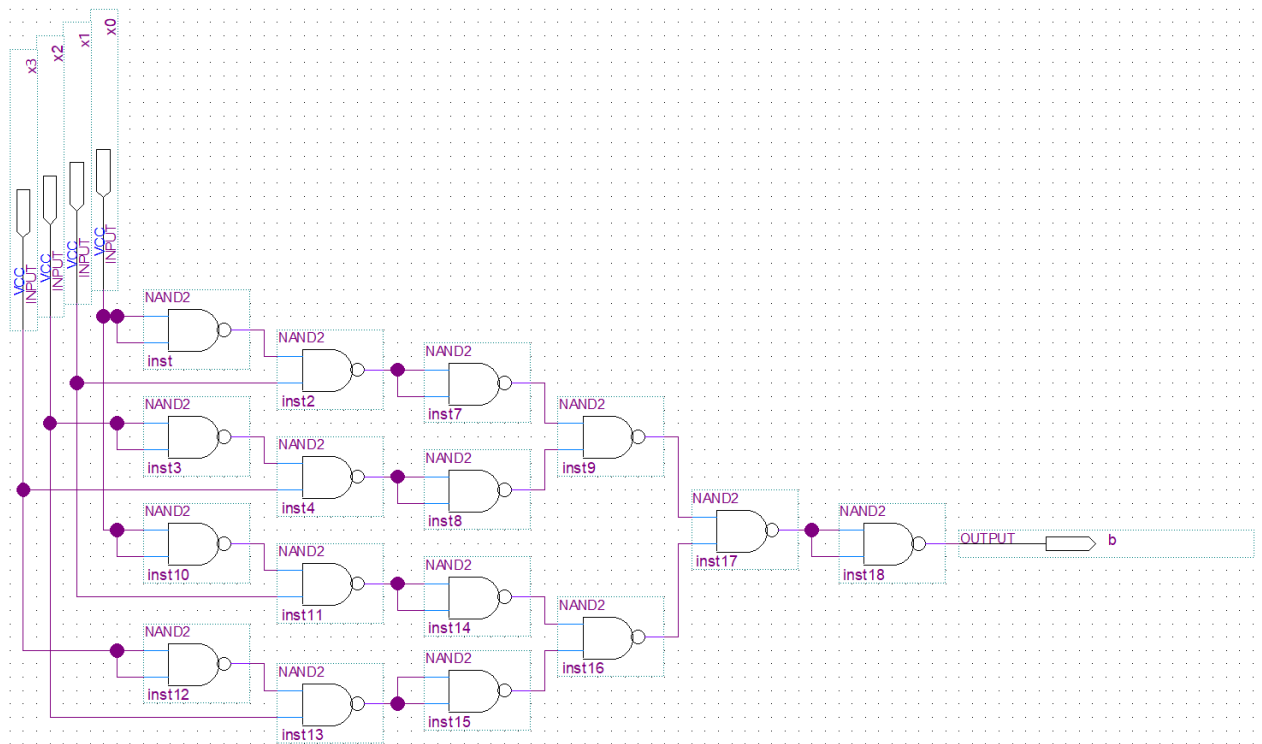


Рисунок 1.4 – Схема для светодиода “b”

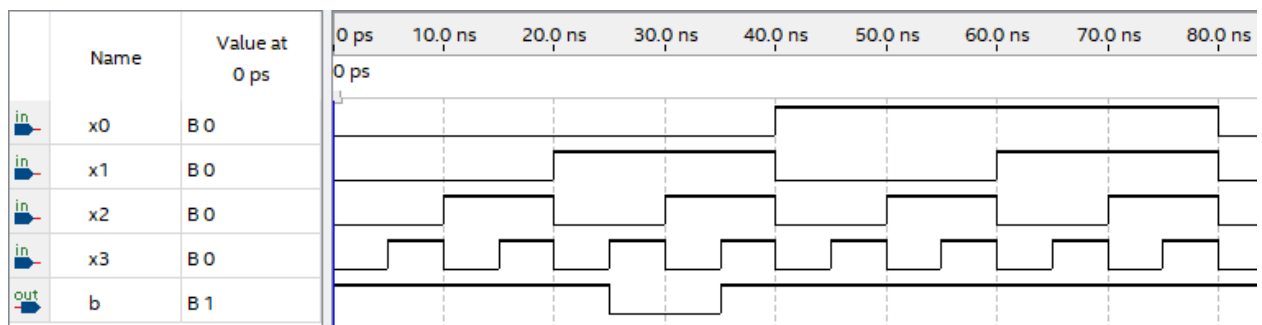


Рисунок 1.5 – Временная диаграмма для светодиода “b”

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

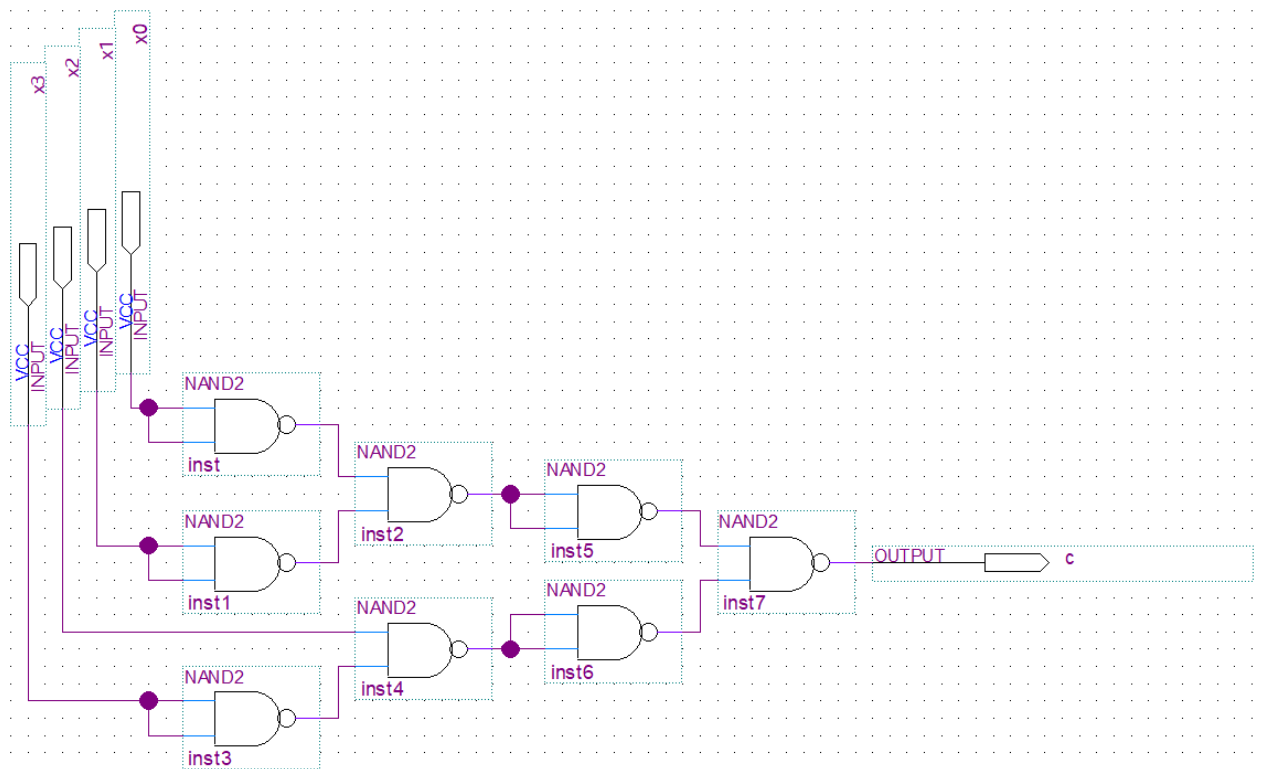


Рисунок 1.6 – Схема для светодиода “с”

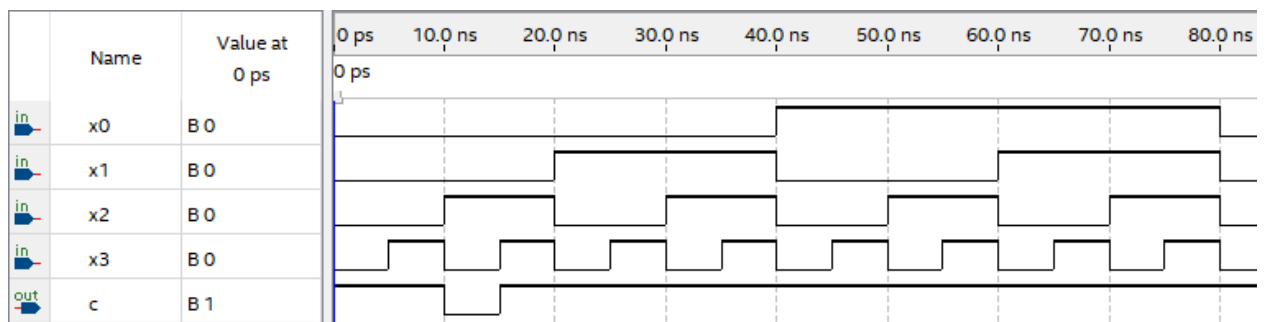


Рисунок 1.7 – Временная диаграмма для светодиода “с”

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

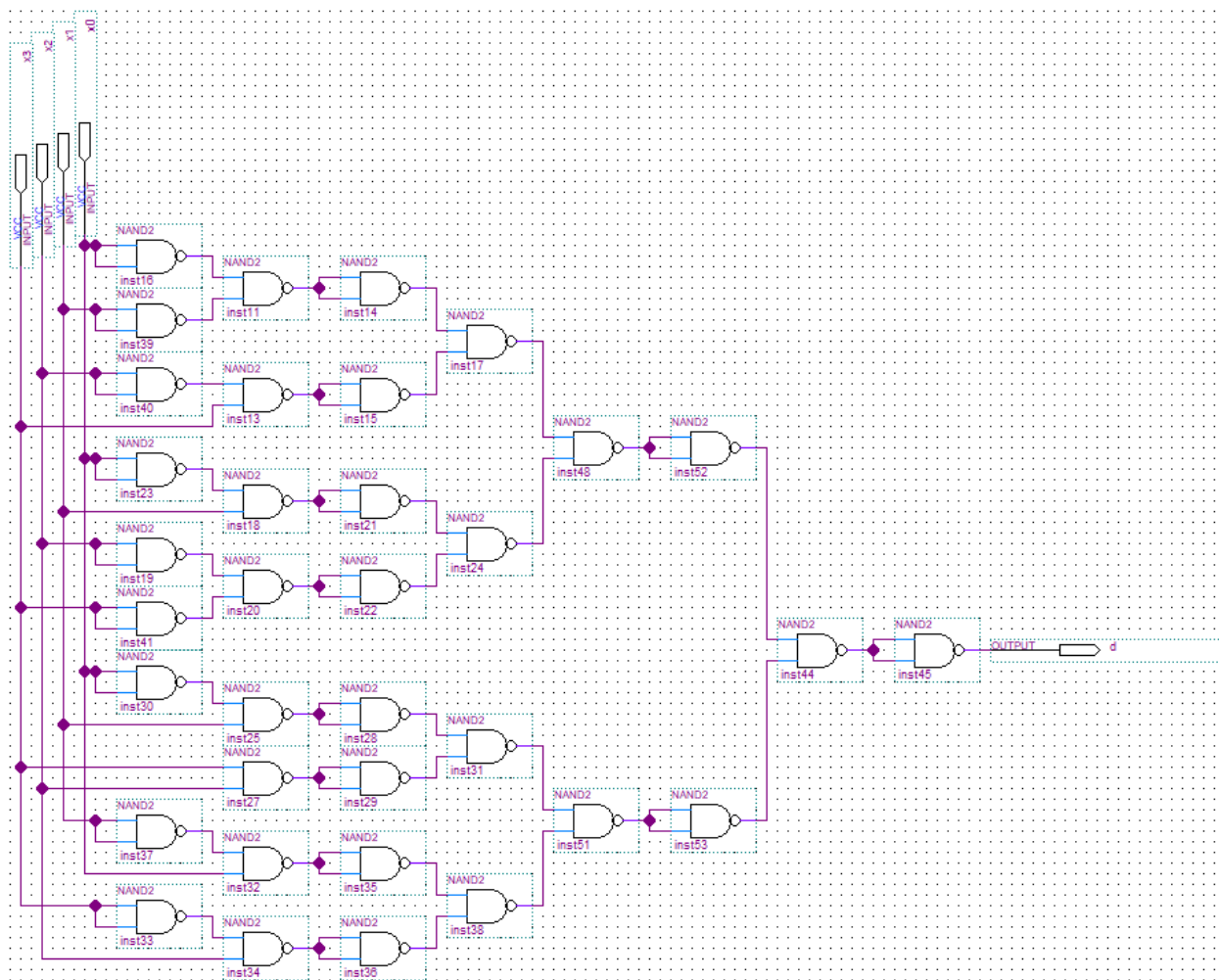


Рисунок 1.8 – Схема для светодиода “d”

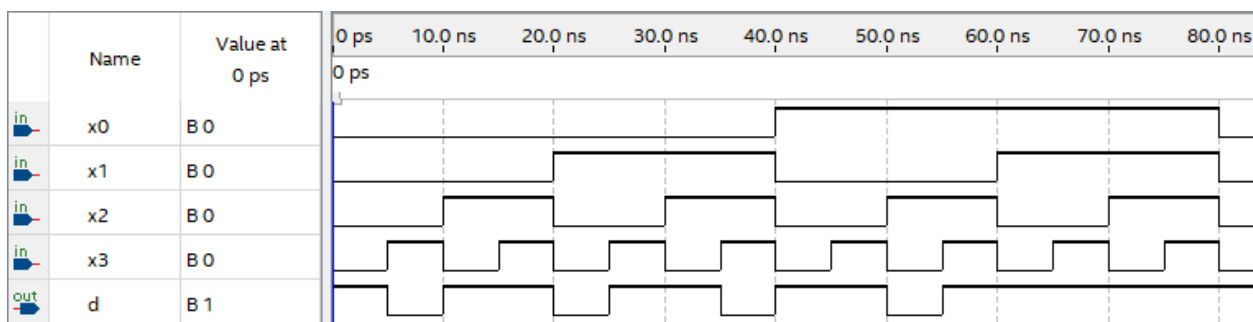


Рисунок 1.9 – Временная диаграмма для светодиода “d”

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

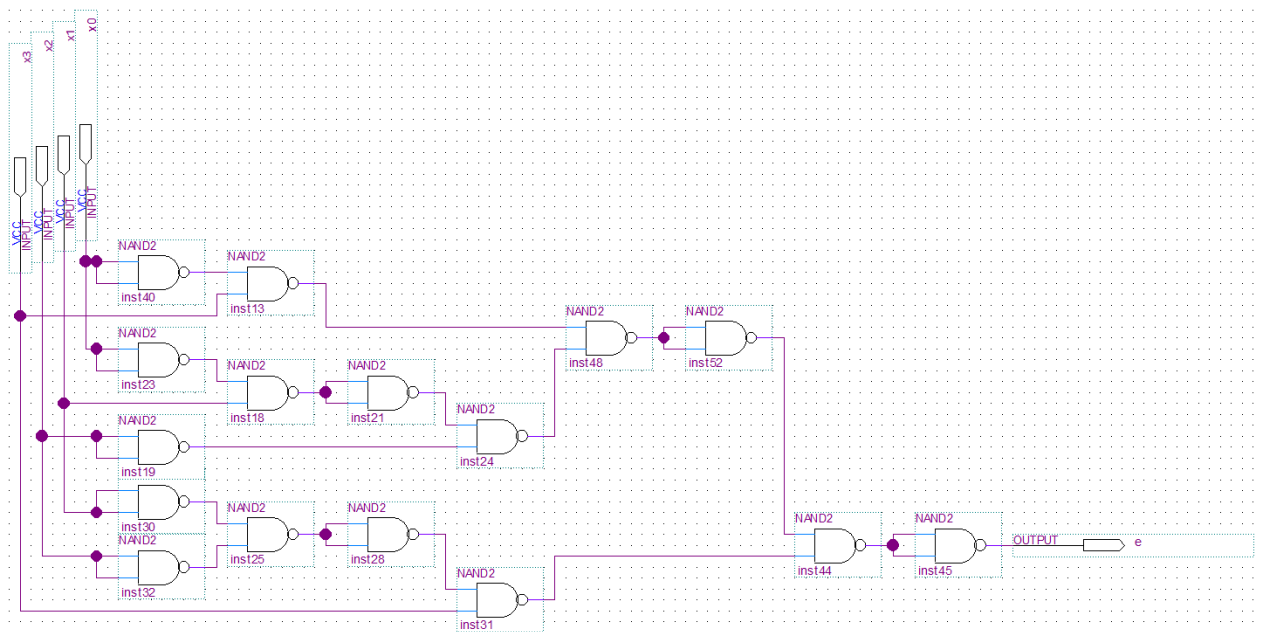


Рисунок 1.10 – Схема для светодиода “e”

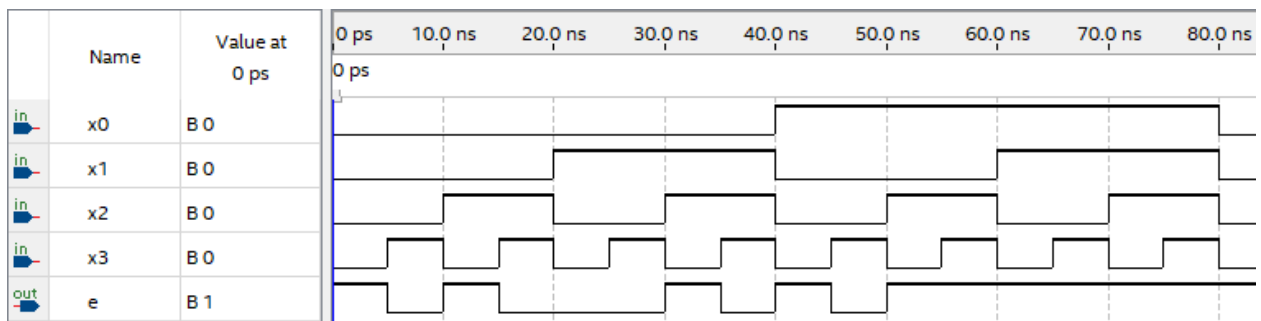


Рисунок 1.11 – Временная диаграмма для светодиода “e”

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

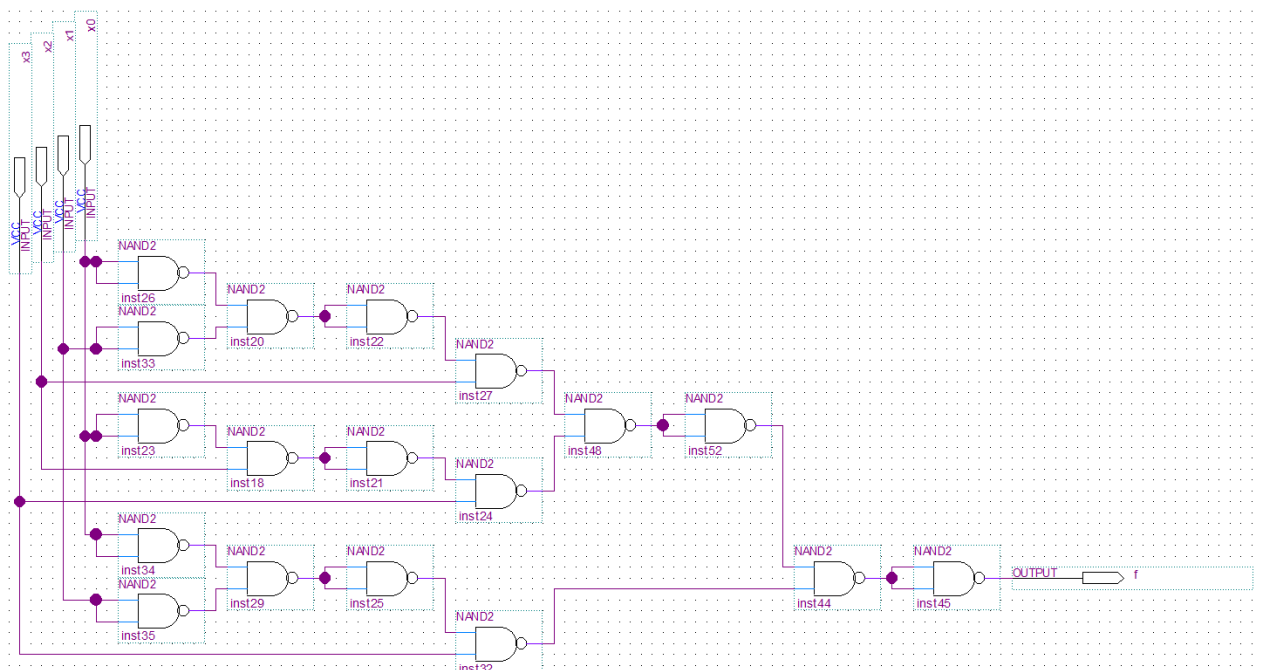


Рисунок 1.12 – Схема для светодиода “f”

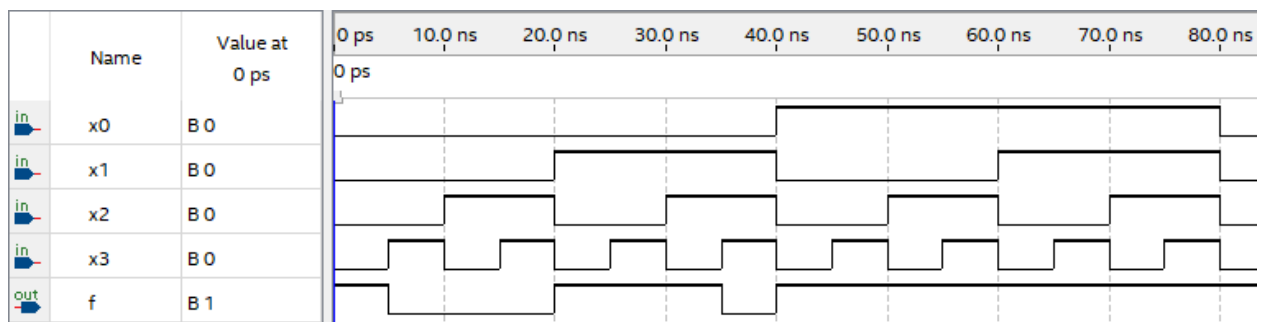


Рисунок 1.13 – Временная диаграмма для светодиода “f”

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

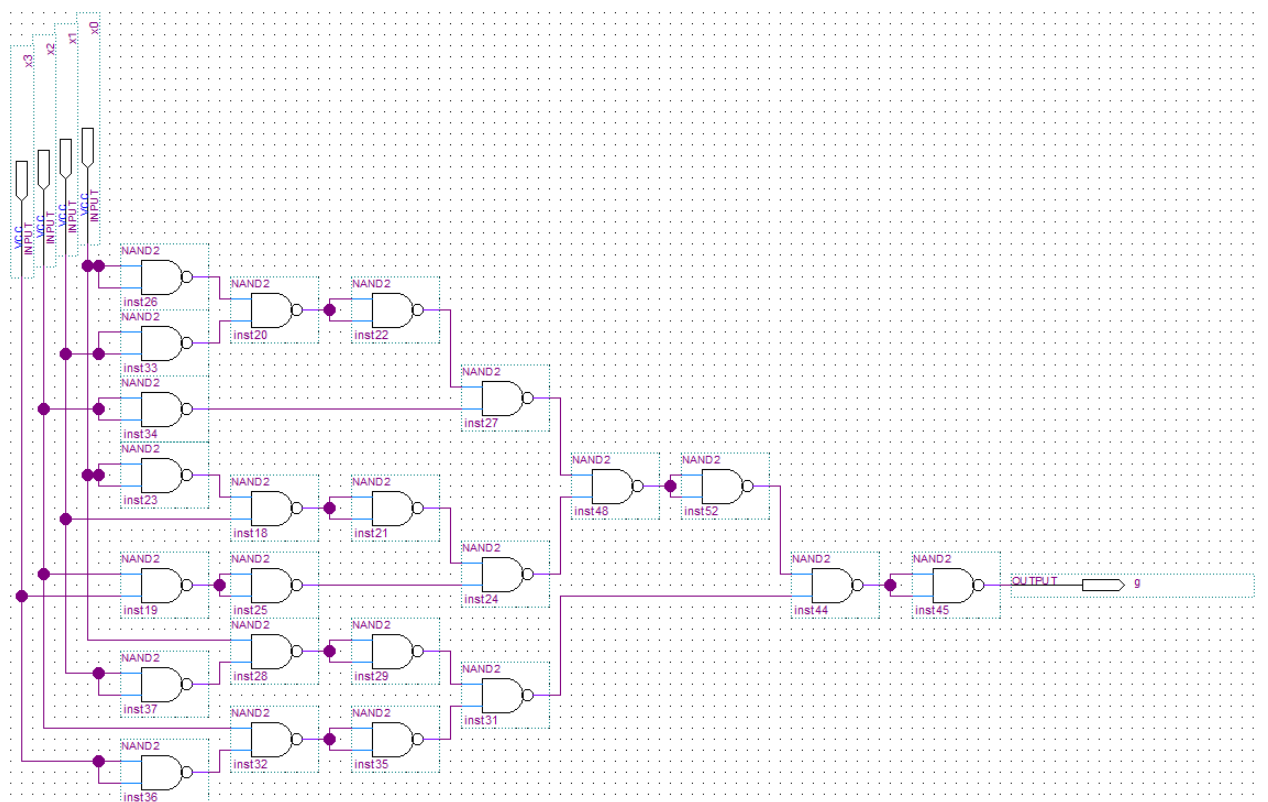


Рисунок 1.14 – Схема для светодиода “g”

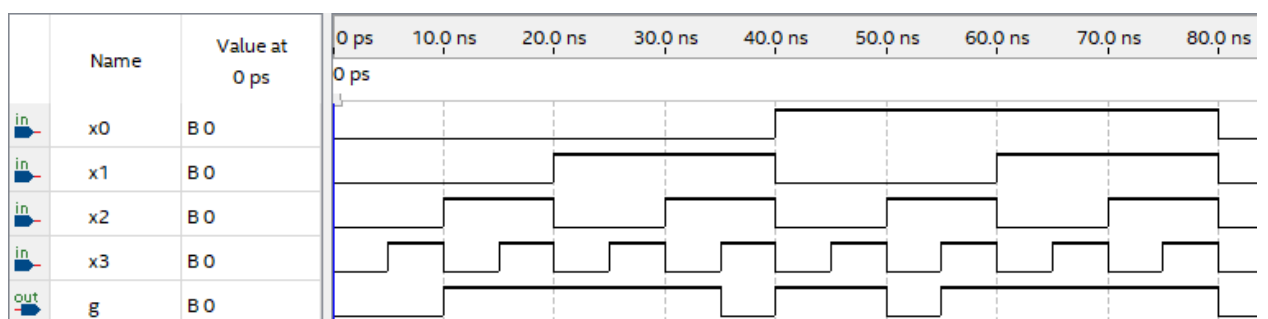


Рисунок 1.15 – Временная диаграмма для светодиода “g”

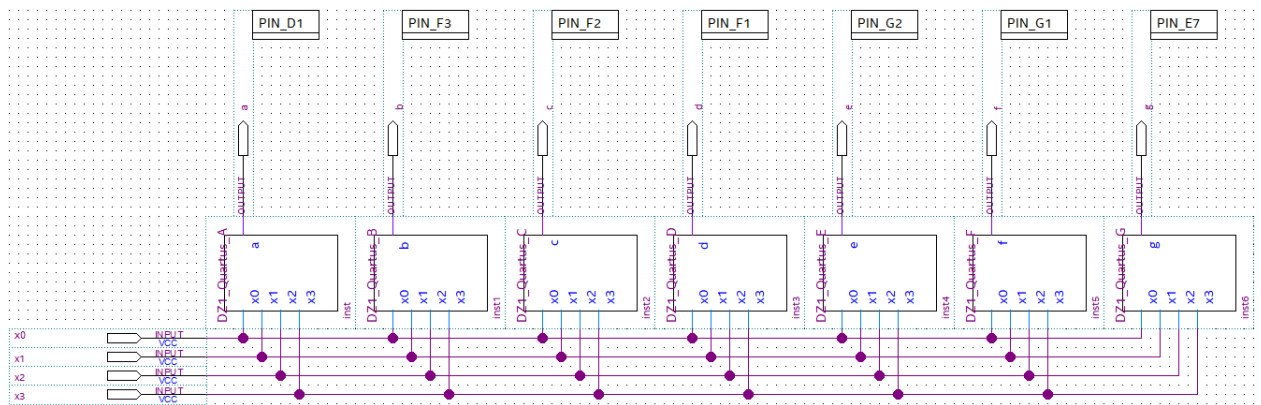


Рисунок 1.16 – Схема шифратора

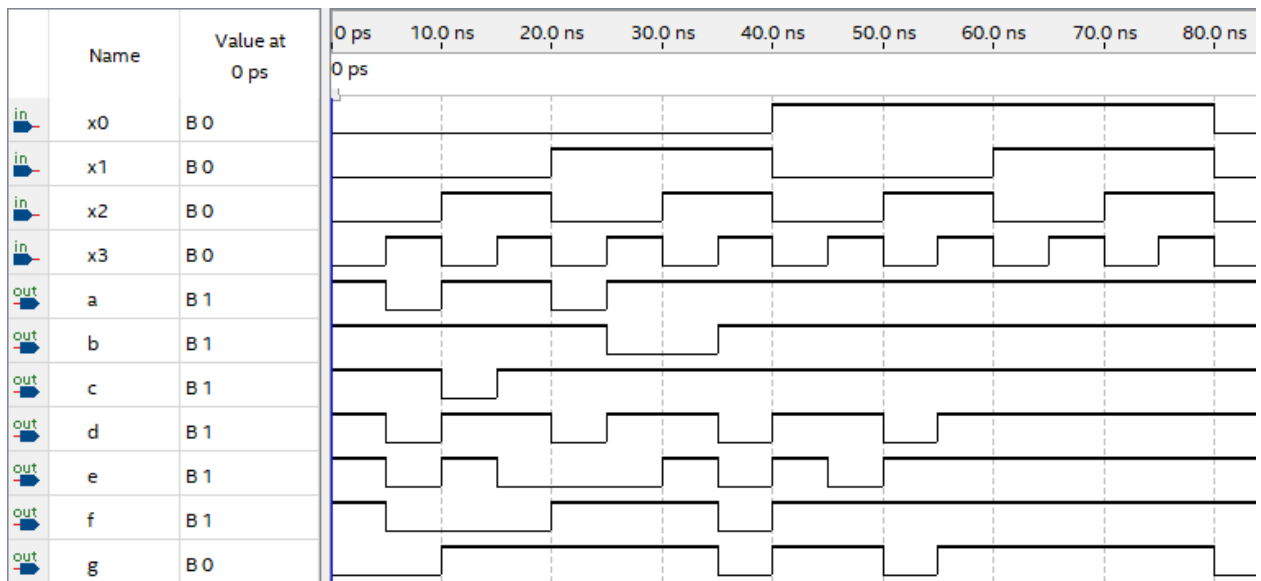


Рисунок 1.17 – Временная диаграмма для шифратора

2 Реализация дешифратора для вывода знака на ССИ.

Для того, чтобы шифратор выводил нужные числа зачётки в нужной последовательности, необходимо перед ним поставить дешифратор, который будет подавать на вход шифратора нужную комбинацию бинарных чисел. Нужной комбинацией является номер студенческого билета: 20Л112.

Кодировка:

Символ	A	B	C	x_0	x_1	x_2	x_3
2	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0
Л	0	1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0	0	1
1	1	0	0	0	0	0	1
2	1	0	1	0	0	1	0

$$x_0^{\text{СДНФ}} = \overline{A} \overline{B} \overline{C}$$

$x_1^{\text{СДНФ}}$ – нет выражения СДНФ

$$x_2^{\text{СДНФ}} = \overline{A} \overline{B} \overline{C} \vee \overline{A} B \overline{C} \vee A \overline{B} \overline{C}$$

$$x_3^{\text{СДНФ}} = \overline{A} B C \vee A \overline{B} \overline{C}$$

Переведём выражения в базис 2И-НЕ:

$$x_0^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\overline{A} \overline{B} \overline{C}}}$$

$$x_2^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\overline{A} \overline{C} \vee A \overline{B} C}} = \overline{\overline{A} \overline{C}} \cdot \overline{A \overline{B} C}$$

$$x_3^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\overline{A} B C \vee A \overline{B} \overline{C}}} = \overline{\overline{A} B C} \cdot \overline{A \overline{B} \overline{C}}$$

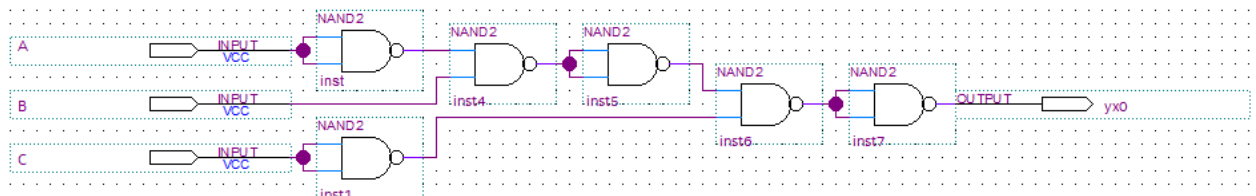


Рисунок 2.1 – Схема для выхода x_0 дешифратора

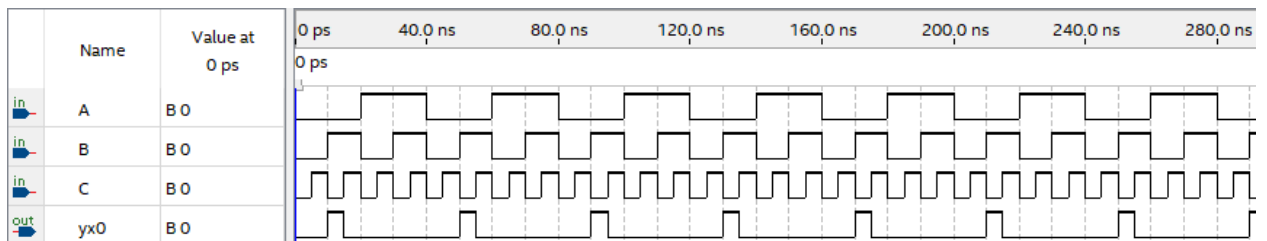


Рисунок 2.2 – Временная диаграмма для выхода x_0 дешифратора

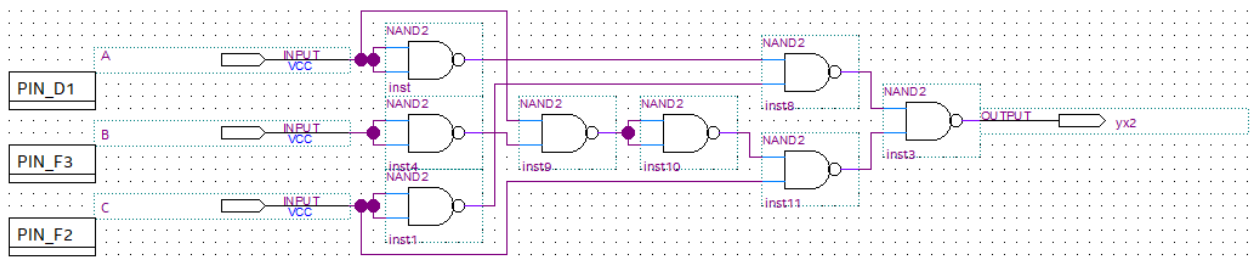


Рисунок 2.3 – Схема для выхода x_2 дешифратора

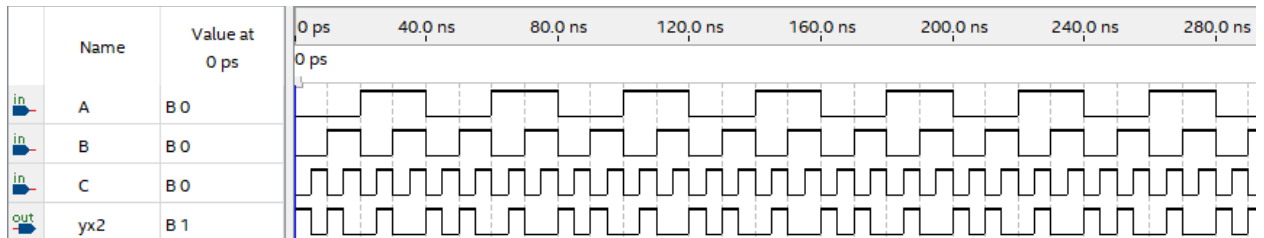


Рисунок 2.4 – Временная диаграмма для выхода x_2 дешифратора

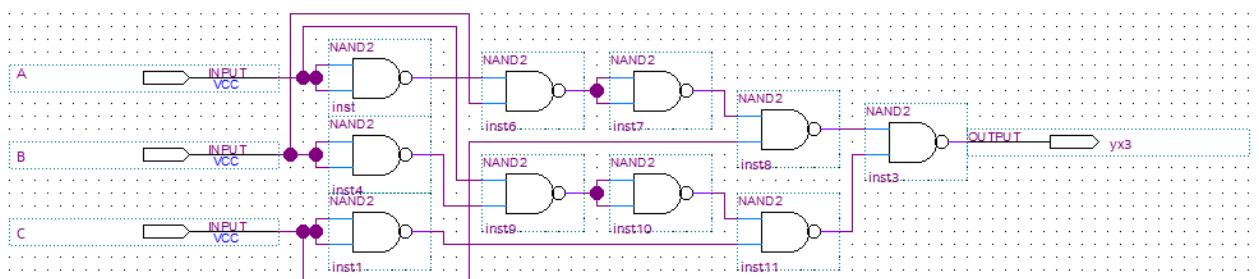


Рисунок 2.5 – Схема для выхода x_3 дешифратора

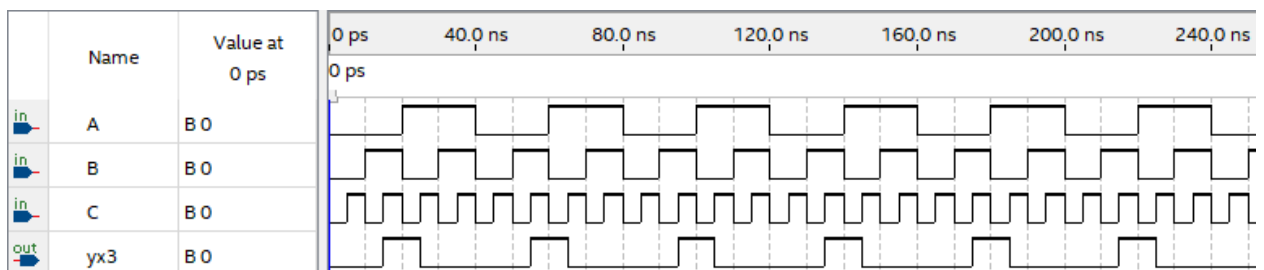


Рисунок 2.6 – Временная диаграмма для выхода x_3 дешифратора

Объединим все схемы в одном файле и получим схему дешифратора. Т.к. “ x_1 ” по таблице истинности всегда равен 0, то для него нет ДНФ выражения и, соответственно, схемы, а потому просто заземлим его.

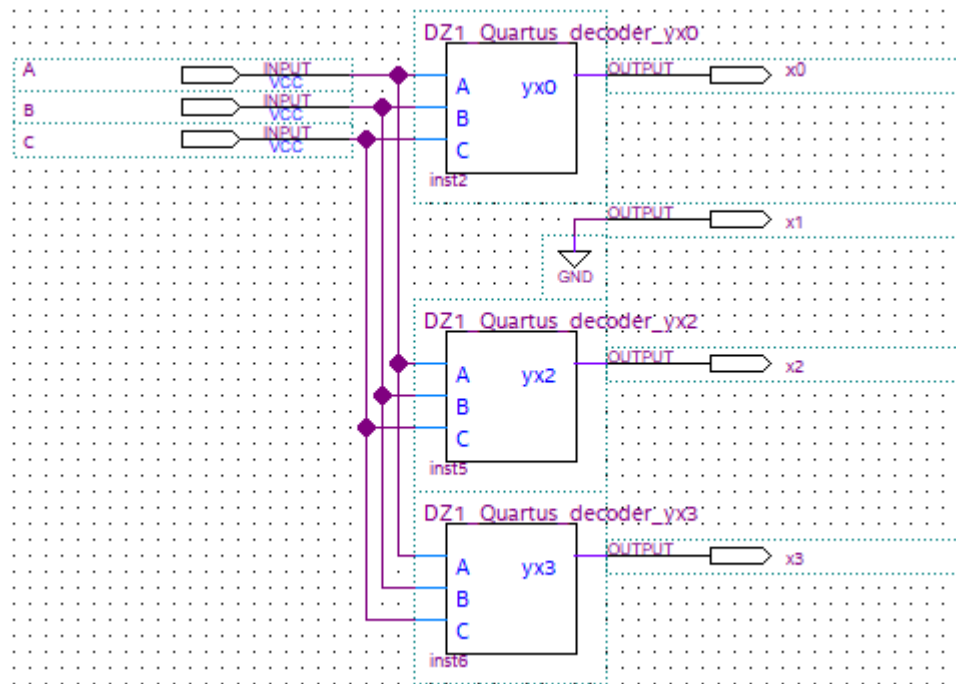


Рисунок 2.7 – Схема дешифратора

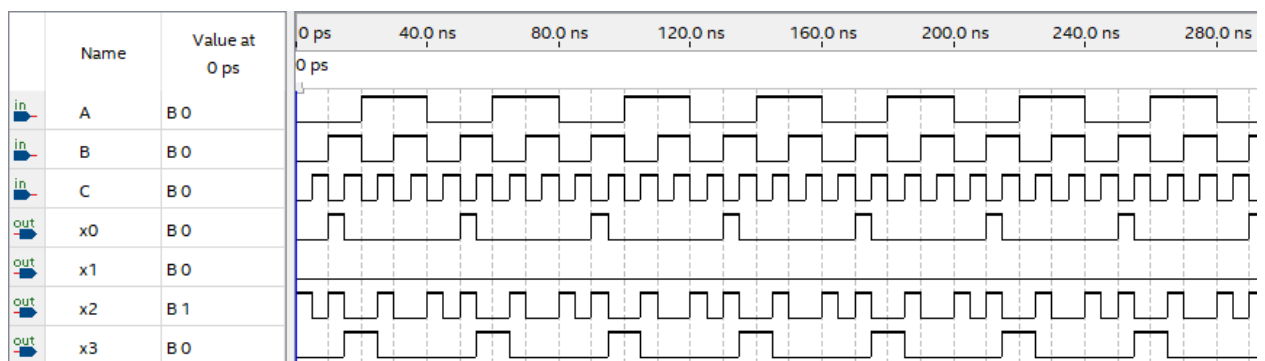


Рисунок 2.8 – Временная диаграмма для дешифратора

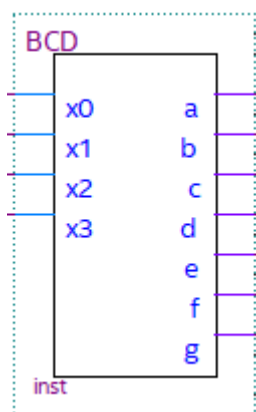


Рисунок 2.9 – Компактный вид дешифратора на схеме

3 Реализация реверсивного дешифратора для вывода знака на ССИ.

Как оказалось в дальнейшем, для корректного отображения символов студенческого билета необходимо сделать реверсивный дешифратор, а также добавить после шифратора отрицания перед выходами, т.к. у нас схема с общим катодом.

Для удобства использования и более компактного вида, соберём все отрицания в отдельное устройство «NOT_A-G».

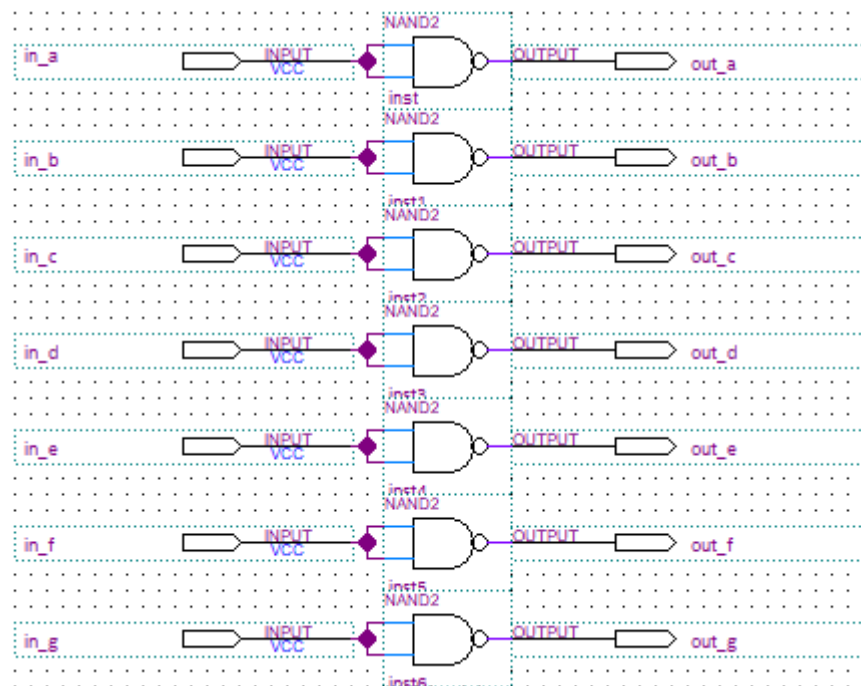


Рисунок 3.1 – Схема устройства «NOT_A-G»

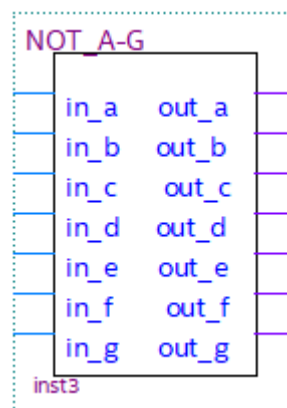


Рисунок 3.2 – Компактный вид устройства «NOT_A-G» на схеме

Кодировка:

Символы	D	E	F	x_0	x_1	x_2	x_3
2	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	1
1	0	1	0	0	0	0	1
Л	0	1	1	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	1	0

$$x_0^{\text{СДНФ}} = \overline{D}EF$$

$x_1^{\text{СДНФ}}$ – нет выражения СДНФ

$$x_2^{\text{СДНФ}} = \overline{D}\overline{E}\overline{F} \vee \overline{D}EF \vee D\overline{E}F$$

$$x_3^{\text{СДНФ}} = \overline{D}\overline{E}F \vee \overline{D}E\overline{F}$$

Переведём выражения в базис 2И-НЕ:

$$x_0^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\overline{D}EF}}$$

$$x_2^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\overline{D}\overline{E}\overline{F} \vee \overline{D}EF \vee D\overline{E}F}} = \overline{\overline{\overline{D}\overline{E}\overline{F}} \cdot \overline{\overline{D}EF}} \cdot \overline{\overline{D\overline{E}F}}$$

$$x_3^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\overline{D}\overline{E}F \vee \overline{D}E\overline{F}}} = \overline{\overline{\overline{D}\overline{E}F}} \cdot \overline{\overline{\overline{D}E\overline{F}}}$$

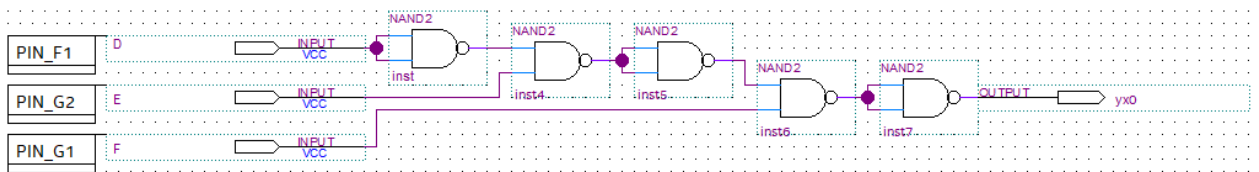


Рисунок 3.3 – Схема для выхода x_0 реверсивного дешифратора

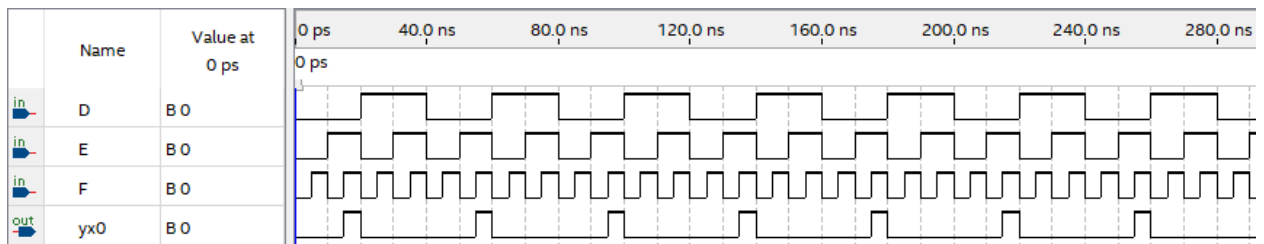


Рисунок 3.4 – Временная диаграмма для выхода x_0 реверсивного дешифратора

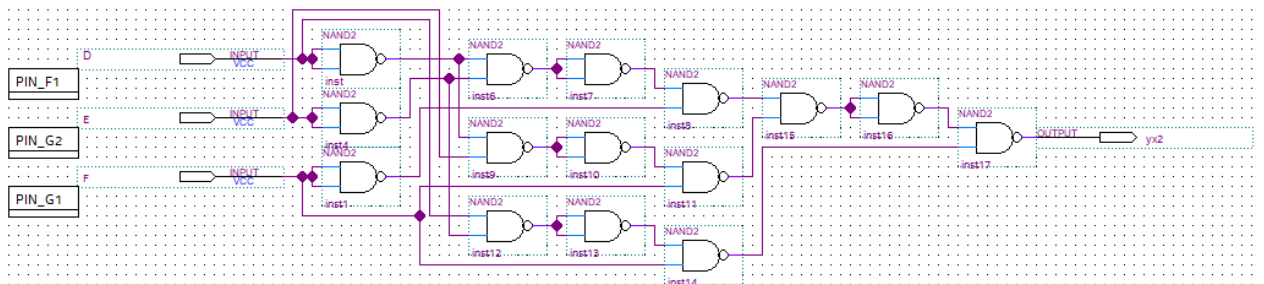


Рисунок 3.5 – Схема для выхода x_2 реверсивного дешифратора

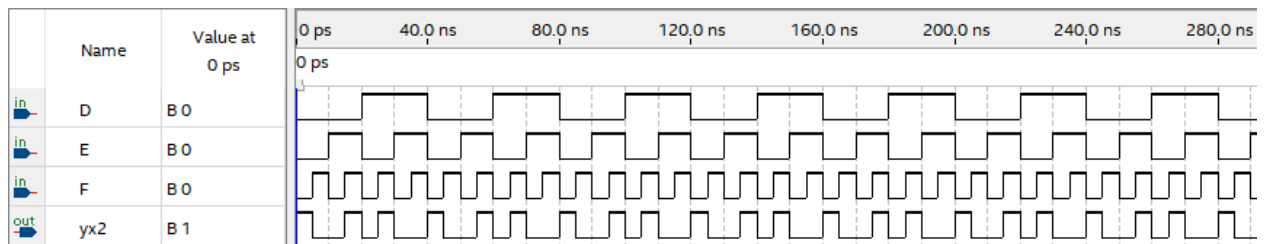


Рисунок 3.6 – Временная диаграмма для выхода x_2 реверсивного дешифратора

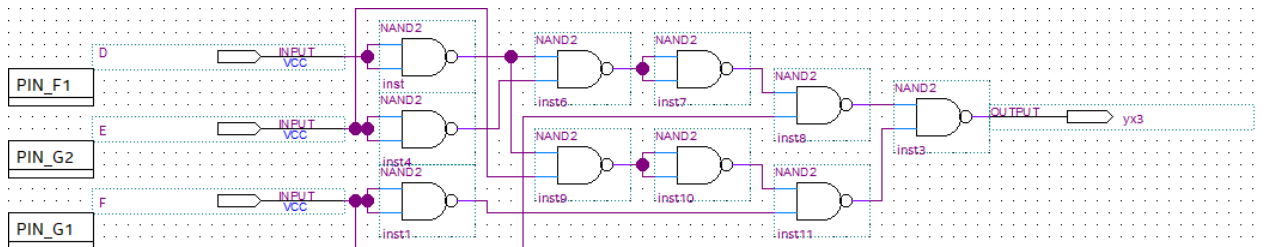


Рисунок 3.7 – Схема для выхода x_3 реверсивного дешифратора

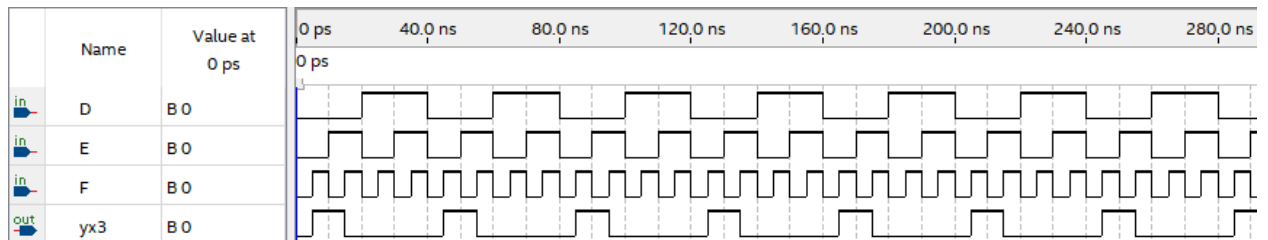


Рисунок 3.8 – Временная диаграмма для выхода x_3 реверсивного дешифратора

Объединим все схемы в одном файле и получим схему реверсивного дешифратора. Т.к. " x_1 " по таблице истинности всегда равен 0, то для него нет ДНФ выражения и, соответственно, схемы, а потому просто заземлим его.

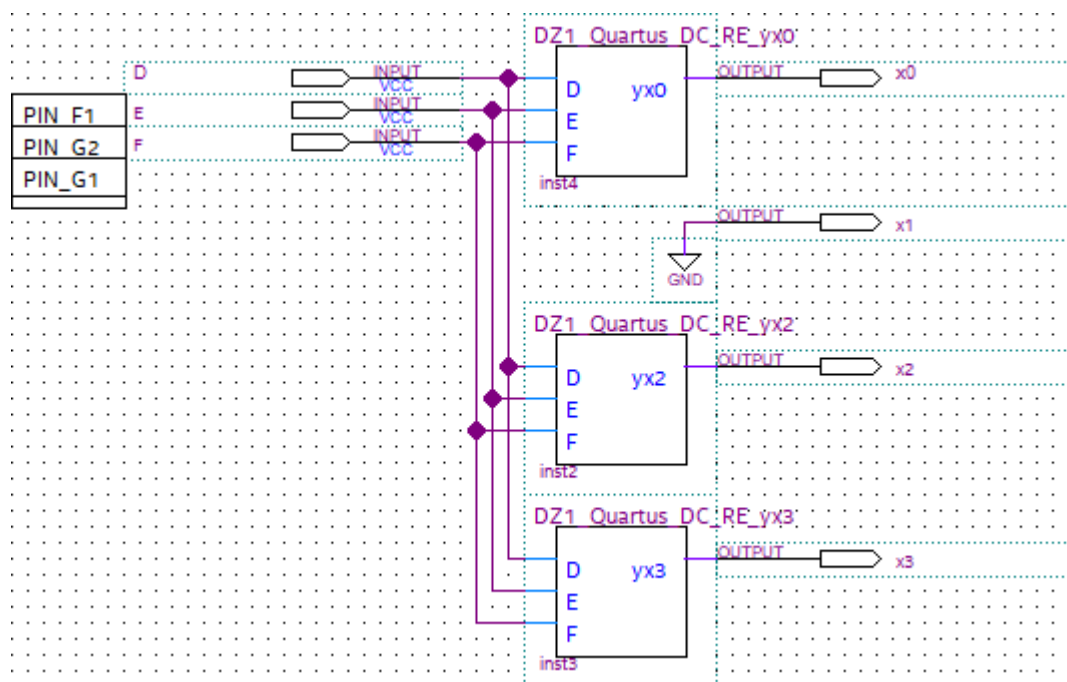


Рисунок 3.9 – Схема реверсивного дешифратора

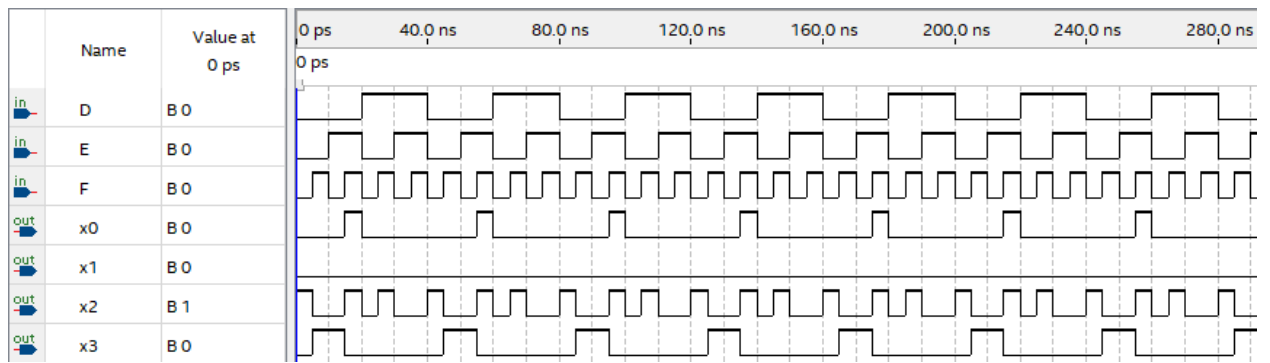


Рисунок 3.10 – Временная диаграмма для реверсивного дешифратора

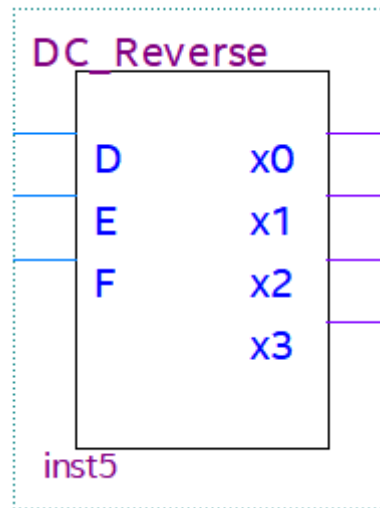


Рисунок 3.11 – Компактный вид реверсивного дешифратора на схеме

4 Реализация счётчика с коэффициентом счёта 6.

Теперь нам необходимо добавить в схему счётчик, чтобы отсчитывать числа от 0 до 5 для подачи на 6 ССИ правильных знаков студенческого билета.

Воспользуемся скриптом, приложенным к условию домашнего задания, изменив значения «output reg [3:0] out_pos;» на «output reg [0:2] out_pos;», т.к. у нас 3 разряда на входе в дешифратор и необходимо, чтобы номер студенческого билета выводился слева направо. Также необходимо изменить «always @(posedge clk)» на «always @(negedge clk)», чтобы временная диаграмма строилась по заднему фронту входного импульса.

```
1 module Counter (clk, reset, out_pos);
2     input clk;
3     input reset;
4     output reg [0:2] 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
```

Рисунок 4.1 – Скрипт для создания счётчика

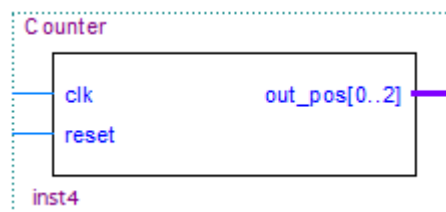


Рисунок 4.2 – Счётчик на схеме

5 Реализация делителя частоты.

На текущий момент мы собрали все блок-схемы, необходимые нам для вывода на семисегментные индикаторы номера нашего студенческого билета. Но особенности строения человеческого глаза не позволят нам увидеть мерцание светодиодов, если частота будет не в видимом диапазоне (т.е., например, очень большой). И т.к. опорная частота микросхемы составляет 50 МГц, что является очень большой величиной, то мы с помощью делителя частоты уменьшим данную частоту до приемлемой частоты, равной ≈ 200 Гц. Т.е. нам надо уменьшить частоту в $\frac{50 \cdot 10^6}{200} = 250000$ раз. Данное деление частоты можно получить с помощью Т-триггеров, соединённых последовательно. Если 1 Т-триггер делит частоту на 2, то тогда мы можем рассчитать количество Т-триггеров: $\log_2 250000 = 17.932 \approx 18$ (шт.) – Т-триггеров. Построим данную схему.

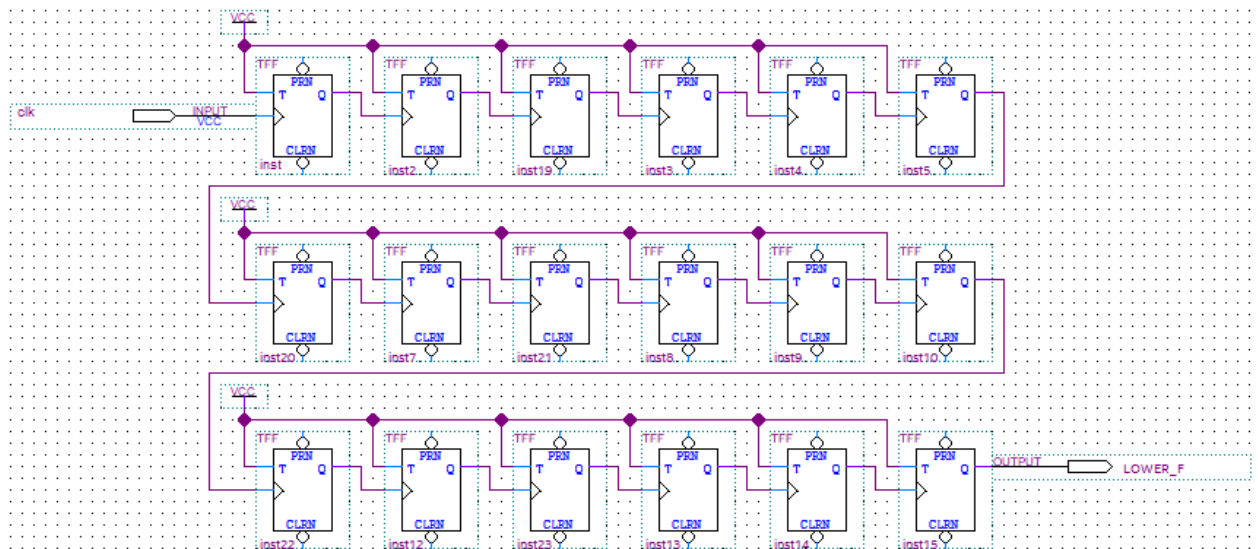


Рисунок 5.1 – Схема делителя частоты с 18 Т-триггерами

Позже на практике оказалось, что 18 Т-триггеров – слишком много, и изображение выводилось не ровно, а мерцало, поэтому пришлось уменьшить количество Т-триггеров до 16-ти.

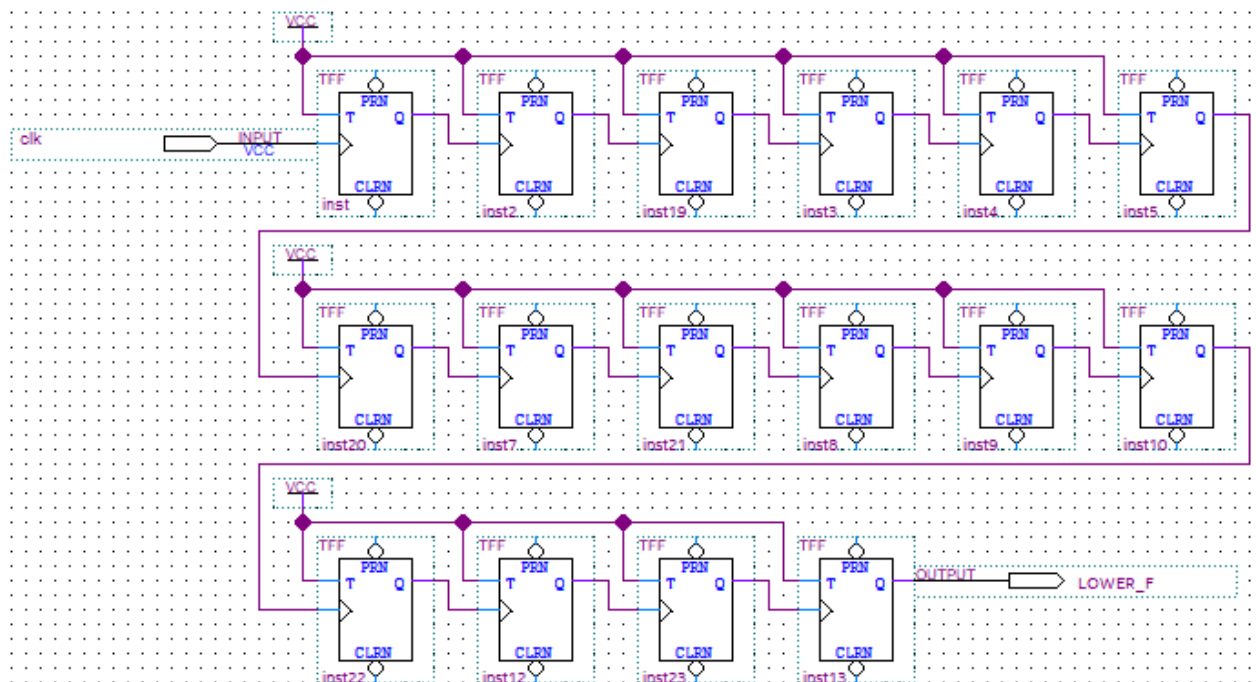


Рисунок 5.2 – Схема делителя частоты с 16 Т-триггерами

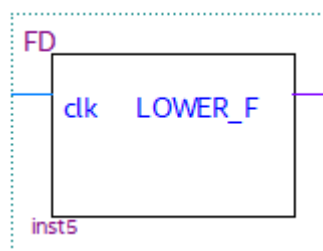


Рисунок 5.3 – Компактный вид делителя частоты на схеме

6 Общая схема.

Теперь необходимо всё подключить в правильной последовательности: делитель частоты → счётчик → дешифратор → шифратор.

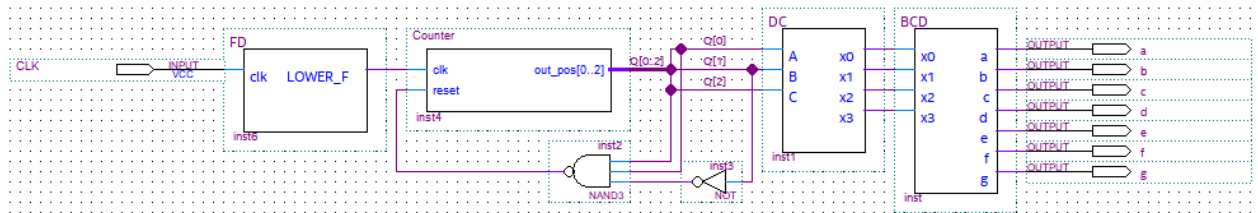


Рисунок 6.1 – Схема устройства без делителя частоты

Для проверки правильности работы устройства построим временную диаграмму, но для этого сначала уберём из схемы делитель частоты, чтобы было удобнее разглядеть поочерёдное загорание символов, отображающих номер зачётки.



Рисунок 6.2 – Временная диаграмма для итогового устройства

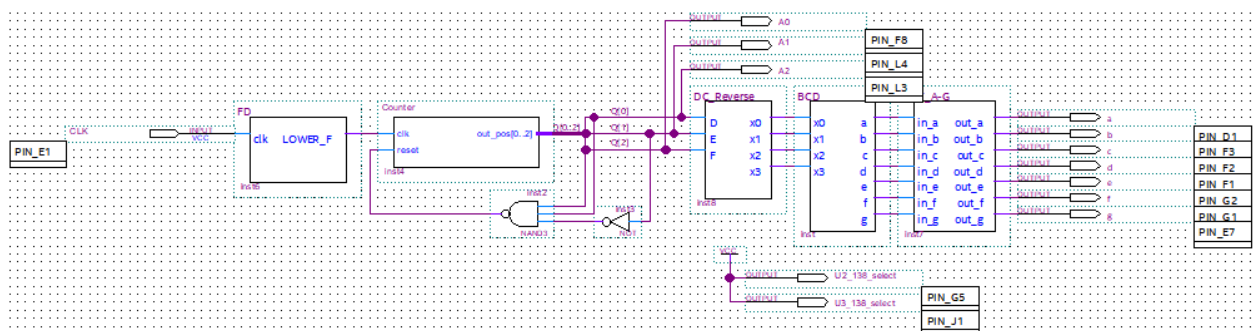


Рисунок 6.3 – Итоговая схема устройства

Далее назначим выводы схемы.

Top View - Wire Bond

Cyclone IV E - EP4CE6F17C8

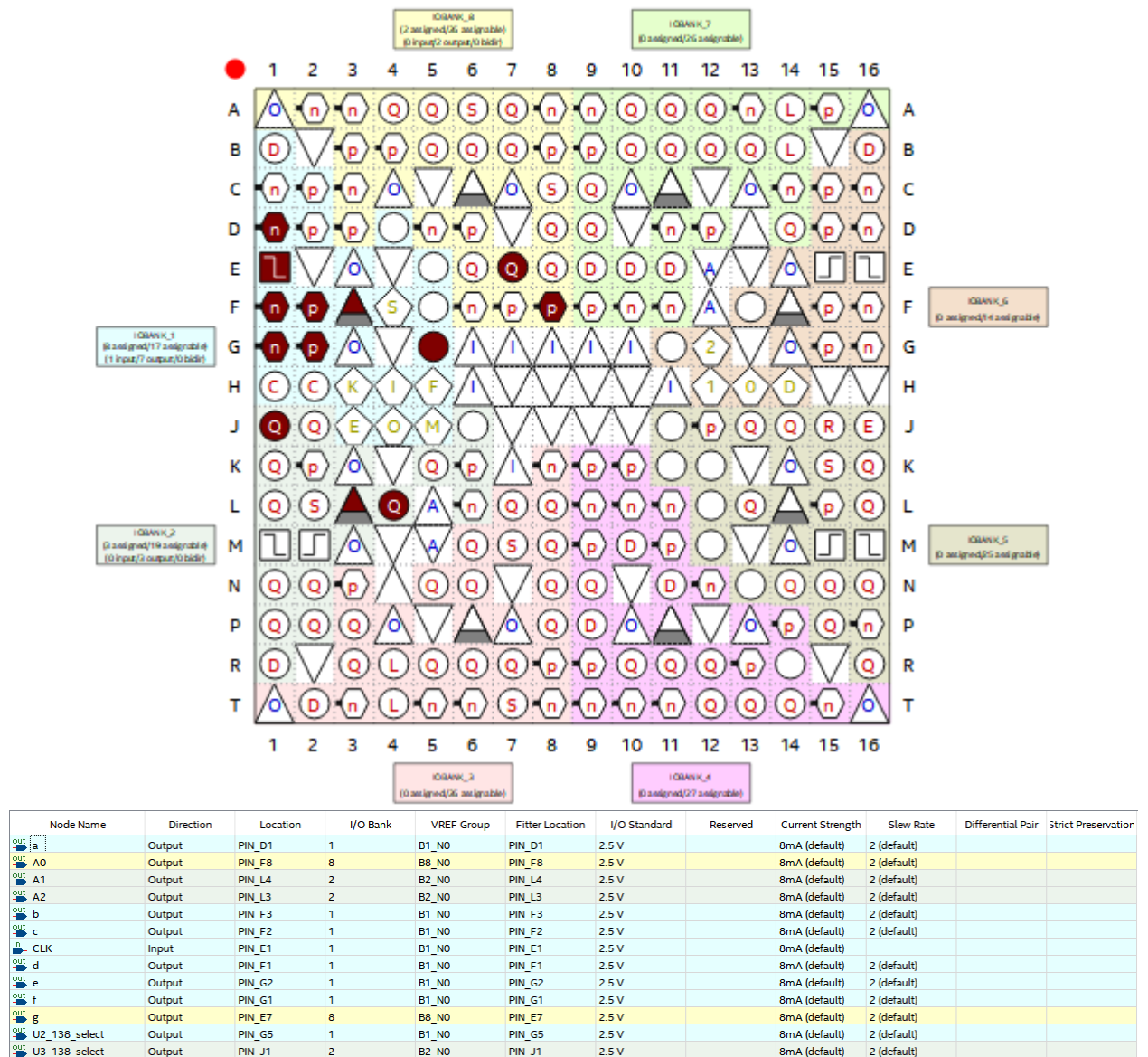


Рисунок 6.4 – Назначение выводов схемы

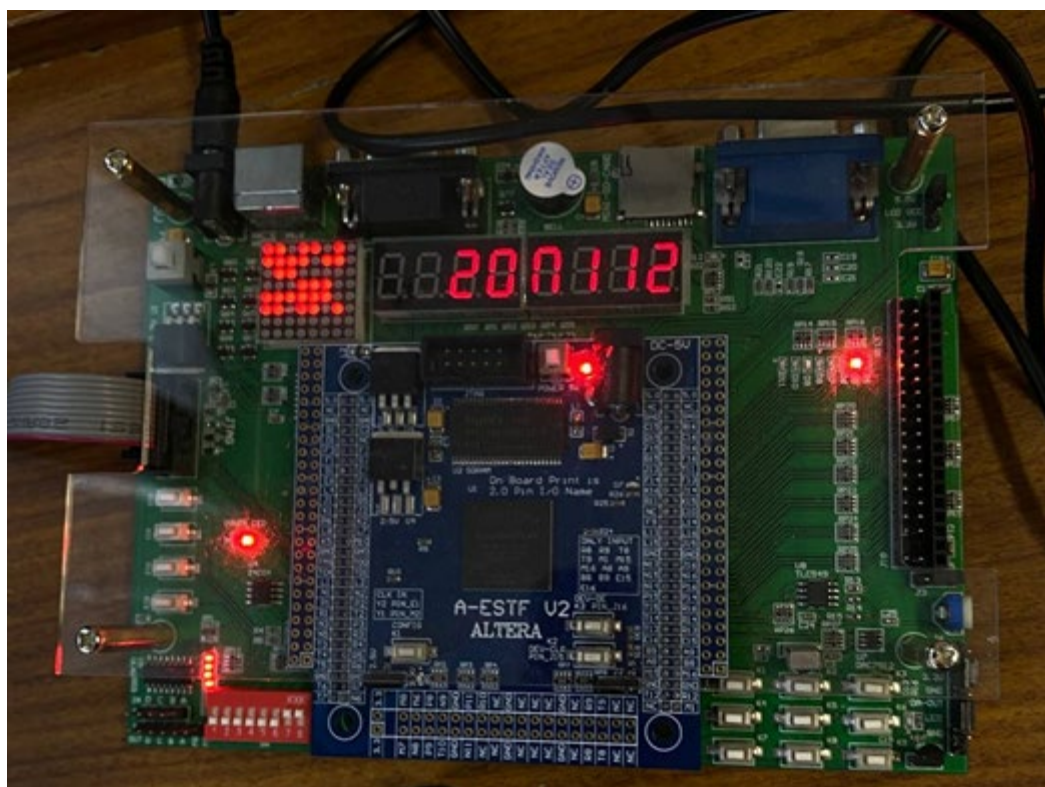


Рисунок 3.10 – Результат – Вывод номера моего студенческого билета 20Л112 на реальной ПЛИС

P.s. Л = П = L