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 (РЛ)»

КАФЕДРА «Технология приборостроения (РЛ6)»

ОТЧЕТ

по домашней работе №1

по курсу «Цифровые устройства и микропроцессоры»

на тему: «ПЛИС Altera ССИ, минимизация алгебраических функций»

Вариант № 20Л274

Студент РЛ6-61 (Группа) _____ (Подпись, дата) Филимонов С. В. (И. О. Фамилия)

Преподаватель _____ (Подпись, дата) Семеренко Д. А. (И. О. Фамилия)

2023 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

1.3 Перевод полученных выражений к базису 2И-НЕ/2ИЛИ-НЕ . . 11

1.3.1 2И-НЕ 12

1.3.2 2ИЛИ-НЕ 13

1.4 Цифровая схема 14

2 Счётчик с коэффициентом счёта 6. 20

2.1 Счётчик для 6 знаков. 20

2.2 Делитель частоты. 20

3 Преобразователь кода, на выходе которого формируется последовательность бинарных чисел соответствующая цифрам студенческого билета. 22

3.1 Декодер номера билета. 22

3.2 Общая схема. 24

3.3 Исправление ошибок. 25

1 Реализация шифратора для вывода знака на ССИ.

На рисунке 1.1 пример семисегментного индикатора.

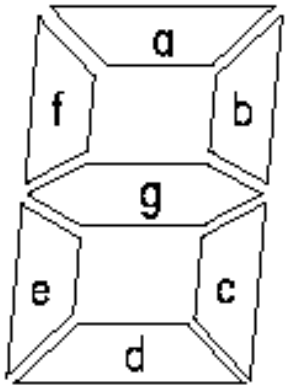


Рисунок 1.1 – Семисегментный индикатор

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:

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

$y_a^{\text{СДНФ}} = \bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3 \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1x_2x_3 \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3 \vee x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$

$y_b^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee \bar{x_1} \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee x_3)$

$y_b^{\text{СДНФ}} = \bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3 \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1x_2x_3 \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3 \vee x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$

$y_c^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3)$
$y_c^{\text{СДНФ}} = \bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3 \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1x_2x_3 \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3 \vee x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$

$y_d^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (\bar{x_0} \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3)$
$y_d^{\text{СДНФ}} = \bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3 \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3$

$y_e^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (\bar{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3})$
$y_e^{\text{СДНФ}} = \bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$

$y_f^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3})$
$y_f^{\text{СДНФ}} = \bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3 \vee x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$

$y_g^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (\bar{x_0} \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3)$
$y_g^{\text{СДНФ}} = \bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3 \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3$

1.2 Минимизация с помощью различных алгоритмов

1.2.1 Законы алгебры логики

Для начала сократим выражение с помощью законов алгебры логики:

$$y_a^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee x_2 \vee x_3) =$$
$$((x_0 \vee x_2) \vee (x_1 \vee \bar{x_3})) \cdot ((x_0 \vee x_2) \vee (\bar{x_1} \vee x_3)) =$$
$$(x_0 \vee x_2) \vee ((x_1 \vee \bar{x_3}) \cdot (\bar{x_1} \vee x_3))$$
$$y_a^{\text{СДНФ}} = \bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3}} \vee \underline{\underline{\bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3}} \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee \underline{\underline{\bar{x_0}x_1x_2x_3}} \vee \underline{\underline{\underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}}}} \vee \underline{\underline{\underline{\underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3}}}} \vee \underline{x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}} =$$
$$\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_2x_3 \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2} \vee \bar{x_1}x_2\bar{x_3}$$

Используем закон дистрибутивности

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

$$y_b^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee \bar{x_1} \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee x_3) =$$
$$\bar{x_1} \vee x_0 \vee (x_2 \vee \bar{x_3} \cdot (\bar{x_2} \vee x_3))$$
$$y_b^{\text{СДНФ}} = \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}} \vee \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}x_3} \vee \underline{\underline{\bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3}}} \vee \underline{\underline{\bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3}} \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1x_2x_3 \vee$$
$$\underline{\underline{\underline{\underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}}}}} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3 \vee \underline{\underline{\underline{\underline{x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}}}}} =$$
$$\underline{\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}} \vee \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}x_2} \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1x_2x_3 \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3 \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_3} =$$
$$\bar{x_0}\bar{x_1} \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1x_2x_3 \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3 \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_3}$$

Для $y_c^{\text{СКНФ}}$ сокращать нечего $y_c^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3)$.

$$y_c^{\text{СДНФ}} = \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}} \vee \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3 \vee \underline{\underline{\bar{x_0}x_1\bar{x_2}\bar{x_3}}} \vee \underline{\underline{\bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3}} \vee \underline{\underline{\underline{\underline{\bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3}}}}} \vee$$
$$\underline{\underline{\underline{\underline{\bar{x_0}x_1x_2x_3}}}} \vee \underline{\underline{\underline{\underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}}}}} \vee \underline{\underline{\underline{\underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3}}}} \vee x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3} =$$
$$\underline{\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3 \vee \underline{\underline{\bar{x_0}x_1\bar{x_2}}} \vee \underline{\underline{\bar{x_0}x_1x_2}} \vee \underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}} \vee x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3} =$$
$$\bar{x_1}\bar{x_2} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3 \vee \bar{x_0}x_1 \vee x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$$

$$y_d^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (\bar{x_0} \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3) =$$
$$(x_0 \vee (x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (\bar{x_1} \vee x_2 \vee x_3) \cdot (\bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3})) \cdot (\bar{x_0} \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3)$$
$$y_d^{\text{СДНФ}} = \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}} \vee \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3}} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3 \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee$$
$$\underline{\underline{\underline{\underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}}}}} \vee \underline{\underline{\underline{\underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3}}}} =$$
$$\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3 \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2}$$

$$y_e^{\text{СКНФ}} = \underline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3})} \cdot \underline{(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3})} \cdot \underline{\underline{(x_0 \vee \bar{x_1} \vee x_2 \vee x_3)}} \cdot$$
$$\underline{\underline{(x_0 \vee \bar{x_1} \vee x_2 \vee \bar{x_3})}} \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (\bar{x_0} \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3}) =$$
$$(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee x_2) \cdot ((x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2}) \cdot (\bar{x_0} \vee x_1 \vee x_2)) \vee \bar{x_3}$$
$$y_e^{\text{СДНФ}} = \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}} \vee \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3}} \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee \underline{\underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}}} \vee \underline{\underline{x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}}} =$$
$$\underline{\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_3}} \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee \underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_3}} =$$
$$\bar{x_1}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3}$$

$$y_f^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) =$$
$$(x_0 \vee x_1 \vee (x_2 \vee \bar{x_3}) \cdot (\bar{x_2} \vee x_3)) \cdot (x_0 \vee \bar{x_2}\bar{x_3})$$
$$y_f^{\text{СДНФ}} = \underline{\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}} \vee \underline{\bar{x_0}x_1\bar{x_2}\bar{x_3}} \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee \underline{\underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}}} \vee$$
$$\underline{\underline{x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3}} \vee x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3} =$$
$$\bar{x_0}\bar{x_2}\bar{x_3} \vee \bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3 \vee \bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3} \vee x_0\bar{x_1}\bar{x_2} \vee x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$$

$$y_g^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) =$$
$$(x_0 \vee x_1 \vee x_2) \cdot ((x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3) \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_3) \vee \bar{x}_2)$$
$$y_g^{\text{СДНФ}} = \underline{\bar{x}_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3} \vee \underline{\bar{x}_0\bar{x}_1x_2x_3} \vee \underline{\underline{\bar{x}_0x_1\bar{x}_2\bar{x}_3}} \vee \underline{\underline{\bar{x}_0x_1\bar{x}_2x_3}} \vee \bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3 \vee \underline{\underline{\underline{x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3}}} \vee$$
$$\underline{\underline{\underline{x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3}}} =$$
$$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2 \vee \bar{x}_0x_1\bar{x}_2 \vee \bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$$

1.2.2 Карты Карно

$a^{\text{СДНФ}}$

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

$a^{\text{СКНФ}}$

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

$$y_a^{\text{СДНФ}} = x_2\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2 \vee \bar{x}_0x_1x_3$$
$$y_a^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3)$$

$b^{\text{СДНФ}}$

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

$b^{\text{СКНФ}}$

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

$$y_b^{\text{СДНФ}} = \bar{x}_1x_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_2x_3 \vee \bar{x}_0\bar{x}_1x_3 \vee \bar{x}_0\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$$
$$y_b^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$$

$c^{\text{СДНФ}}$

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

$c^{\text{СКНФ}}$

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

$$y_c^{\text{СДНФ}} = \bar{x}_0\bar{x}_2 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_2x_3 \vee \bar{x}_0x_1x_2$$
$$y_c^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)$$

$d^{\text{СДНФ}}$

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

$d^{\text{СКНФ}}$

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

$$y_d^{\text{СДНФ}} = x_0\bar{x}_1\bar{x}_2 \vee \bar{x}_0\bar{x}_1x_2 \vee \bar{x}_0x_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_1\bar{x}_2x_3$$

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

$e^{\text{СДНФ}}$

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

$e^{\text{СКНФ}}$

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

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

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

$f^{\text{СДНФ}}$

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

$f^{\text{СКНФ}}$

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

$$y_f^{\text{СДНФ}} = x_0\bar{x}_1\bar{x}_3 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2 \vee \bar{x}_0\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_1x_3 \vee \bar{x}_0x_1\bar{x}_2$$

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

$g^{\text{СДНФ}}$

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

$g^{\text{СКНФ}}$

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

$$y_g^{\text{СДНФ}} = x_0\bar{x}_1\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0\bar{x}_1x_2 \vee \bar{x}_0x_1\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_1\bar{x}_2$$

$$y_g^{\text{СКНФ}} = (x_0 \vee x_1 \vee x_2) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (\bar{x_0} \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3)$$

1.2.3 Метод Квайна

СДНФ

$\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}$ 0	0 + 1 = $\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_3}$ 0'	0' + 9' = $\bar{x_1}\bar{x_3}$ 0"	$\bar{x_0}x_1x_3$
$\bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$ 1	0 + 6 = $\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}$ 1'	1' + 4' = $\bar{x_1}\bar{x_3}$ 1"	$\bar{x_0}x_2$
$\bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3$ 2	1 + 2 = $\bar{x_0}\bar{x_1}x_2$ 2'	2' + 7' = $\bar{x_0}x_2$ 2"	$\bar{x_1}\bar{x_3}$
$\bar{x_0}x_1\bar{x_2}x_3$ 3	1 + 4 = $\bar{x_0}x_2\bar{x_3}$ 3'	3' + 5' = $\bar{x_0}x_2$ 3"	$x_0\bar{x_1}\bar{x_2}$
$\bar{x_0}x_1x_2\bar{x_3}$ 4	1 + 8 = $\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$ 4'		
$\bar{x_0}x_1x_2x_3$ 5	2 + 5 = $\bar{x_0}x_2x_3$ 5'		
$x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}$ 6	3 + 5 = $\bar{x_0}x_1x_3$ 6'		
$x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3$ 7	4 + 5 = $\bar{x_0}x_1x_2$ 7'		
$x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$ 8	6 + 7 = $x_0\bar{x_1}\bar{x_2}$ 8'		
	6 + 8 = $x_0\bar{x_1}\bar{x_3}$ 9'		

$$y_a = \bar{x_0}x_1x_3 + \bar{x_0}x_2 + \bar{x_1}\bar{x_3} + x_0\bar{x_1}\bar{x_2}$$

$\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}$ 0	0 + 1 = $\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}$ 0'	0' + 6' = $\bar{x_0}\bar{x_1}$ 0"	$\bar{x_0}\bar{x_1}$
$\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_2}x_3$ 1	0 + 2 = $\bar{x_0}\bar{x_1}\bar{x_3}$ 1'	0' + 9' = $\bar{x_1}\bar{x_2}$ 1"	$\bar{x_0}\bar{x_2}\bar{x_3}$
$\bar{x_0}\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$ 2	0 + 4 = $\bar{x_0}\bar{x_2}\bar{x_3}$ 2'	1' + 4' = $\bar{x_0}\bar{x_1}$ 2"	$\bar{x_0}x_2x_3$
$\bar{x_0}\bar{x_1}x_2x_3$ 3	0 + 6 = $\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}$ 3'	1' + 10' = $\bar{x_1}\bar{x_3}$ 3"	$\bar{x_1}\bar{x_2}$
$\bar{x_0}x_1\bar{x_2}\bar{x_3}$ 4	1 + 3 = $\bar{x_0}\bar{x_1}x_3$ 4'	3' + 5' = $\bar{x_1}\bar{x_2}$ 4"	$\bar{x_1}\bar{x_3}$
$\bar{x_0}x_1x_2x_3$ 5	1 + 7 = $\bar{x_1}\bar{x_2}x_3$ 5'	3' + 7' = $\bar{x_1}\bar{x_3}$ 5"	
$x_0\bar{x_1}\bar{x_2}\bar{x_3}$ 6	2 + 3 = $\bar{x_0}\bar{x_1}x_2$ 6'		
$x_0\bar{x_1}\bar{x_2}x_3$ 7	2 + 8 = $\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$ 7'		
$x_0\bar{x_1}x_2\bar{x_3}$ 8	3 + 5 = $\bar{x_0}x_2x_3$ 8'		
	6 + 7 = $x_0\bar{x_1}\bar{x_2}$ 9'		
	6 + 8 = $x_0\bar{x_1}\bar{x_3}$ 10'		

$$y_b = \bar{x_0}\bar{x_1} + \bar{x_0}\bar{x_2}\bar{x_3} + \bar{x_0}x_2x_3 + \bar{x_1}\bar{x_2} + \bar{x_1}\bar{x_3}$$

$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 0	0 + 1 = $\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2$ 0'	0' + 7' = $\bar{x}_0\bar{x}_2$ 0"	$\bar{x}_0\bar{x}_2$
$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 1	0 + 3 = $\bar{x}_0\bar{x}_2\bar{x}_3$ 1'	0' + 11' = $\bar{x}_1\bar{x}_2$ 1"	$\bar{x}_0x_1$
$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2x_3$ 2	0 + 7 = $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 2'	1' + 4' = $\bar{x}_0\bar{x}_2$ 2"	$\bar{x}_0x_3$
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 3	1 + 2 = $\bar{x}_0\bar{x}_1x_3$ 3'	2' + 5' = $\bar{x}_1\bar{x}_2$ 3"	$\bar{x}_1\bar{x}_2$
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2x_3$ 4	1 + 4 = $\bar{x}_0\bar{x}_2x_3$ 4'	3' + 9' = $\bar{x}_0x_3$ 4"	$x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3$ 5	1 + 8 = $\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 5'	4' + 6' = $\bar{x}_0x_3$ 5"	
$\bar{x}_0x_1x_2x_3$ 6	2 + 6 = $\bar{x}_0x_2x_3$ 6'	7' + 10' = $\bar{x}_0x_1$ 6"	
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 7	3 + 4 = $\bar{x}_0x_1\bar{x}_2$ 7'	8' + 9' = $\bar{x}_0x_1$ 7"	
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 8	3 + 5 = $\bar{x}_0x_1\bar{x}_3$ 8'		
$x_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 9	4 + 6 = $\bar{x}_0x_1x_3$ 9'		
	5 + 6 = $\bar{x}_0x_1x_2$ 10'		
	7 + 8 = $x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$ 11'		
	7 + 9 = $x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$ 12'		

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

$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 0	0 + 1 = $\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_3$ 0'	$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_3$
$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 1	0 + 5 = $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 1'	$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2$
$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2x_3$ 2	1 + 2 = $\bar{x}_0\bar{x}_1x_2$ 2'	$\bar{x}_0x_2\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2x_3$ 3	1 + 4 = $\bar{x}_0x_2\bar{x}_3$ 3'	$\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3$ 4	5 + 6 = $x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$ 4'	$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 5		
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 6		

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

$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 0	0 + 1 = $\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_3$ 0'	0' + 4' = $\bar{x}_1\bar{x}_3$ 0"	$\bar{x}_0x_2\bar{x}_3$
$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 1	0 + 3 = $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 1'	1' + 3' = $\bar{x}_1\bar{x}_3$ 1"	$\bar{x}_1\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3$ 2	1 + 2 = $\bar{x}_0x_2\bar{x}_3$ 2'		
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 3	1 + 4 = $\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 3'		
$x_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 4	3 + 4 = $x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$ 4'		

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

$\bar{x}_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 0	$0 + 1 = \bar{x}_0\bar{x}_2\bar{x}_3$ 0'	$\bar{x}_0\bar{x}_2\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 1	$0 + 4 = \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 1'	$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2$
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2x_3$ 2	$1 + 2 = \bar{x}_0x_1\bar{x}_2$ 2'	$\bar{x}_0x_1\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3$ 3	$1 + 3 = \bar{x}_0x_1\bar{x}_3$ 3'	$\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 4	$4 + 5 = x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$ 4'	$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 5	$4 + 6 = x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$ 5'	$x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$
$x_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 6		

$$y_f = \bar{x}_0\bar{x}_2\bar{x}_3 + \bar{x}_0x_1\bar{x}_2 + \bar{x}_0x_1\bar{x}_3 + \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 + x_0\bar{x}_1\bar{x}_2 + x_0\bar{x}_1\bar{x}_3$$

$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$ 0	$0 + 1 = \bar{x}_0\bar{x}_1x_2$ 0'	$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2$
$\bar{x}_0\bar{x}_1x_2x_3$ 1	$0 + 4 = \bar{x}_0x_2\bar{x}_3$ 1'	$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2$
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 2	$2 + 3 = \bar{x}_0x_1\bar{x}_2$ 2'	$\bar{x}_0x_1\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1\bar{x}_2x_3$ 3	$2 + 4 = \bar{x}_0x_1\bar{x}_3$ 3'	$\bar{x}_0x_2\bar{x}_3$
$\bar{x}_0x_1x_2\bar{x}_3$ 4	$5 + 6 = x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$ 4'	$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 5		
$x_0\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ 6		

$$y_g = \bar{x}_0\bar{x}_1x_2 + \bar{x}_0x_1\bar{x}_2 + \bar{x}_0x_1\bar{x}_3 + \bar{x}_0x_2\bar{x}_3 + x_0\bar{x}_1\bar{x}_2$$

СКНФ

Корректно сократить возможно только СКНФ для e, f и g.

$(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$ 0	0+1=$(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_3)$ 0'	0'+5'=$(x_0 \vee \bar{x}_3)$ 0"	$(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2)$
$(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)$ 1	0+3=$(x_0 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$ 1'	1'+3'=$(x_0 \vee \bar{x}_3)$ 1"	$(x_0 \vee \bar{x}_3)$
$(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3)$ 2	0+5=$(x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$ 2'		$(x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$
$(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$ 3	1+4=$(x_0 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)$ 3'		
$(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)$ 4	2+3=$(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2)$ 4'		
$(\bar{x}_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)$ 5	3+4=$(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3)$ 5'		

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

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

$$y_f = (x_0 \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_2}) \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x_3})$$

$(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3)$ 0	0+1=$(x_0 \vee x_1 \vee x_2)$ 0'	$(x_0 \vee x_1 \vee x_2)$
$(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x_3})$ 1		$(x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3})$
$(x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3})$ 2		$(\bar{x_0} \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3)$
$(\bar{x_0} \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3)$ 3		

$$y_g = (x_0 \vee x_1 \vee x_2) \cdot (x_0 \vee \bar{x_1} \vee \bar{x_2} \vee \bar{x_3}) \cdot (\bar{x_0} \vee x_1 \vee \bar{x_2} \vee x_3)$$

1.3 Перевод полученных выражений к базису 2И-НЕ/2ИЛИ-НЕ

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

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

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

$$\overline{\overline{A \vee B \vee C \vee D}} = \overline{\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}}$$
$$A \vee B \vee C \vee D = \overline{\overline{\overline{\overline{A \vee B}} \vee \overline{\overline{C \vee D}}}}$$

1.3.1 2И-НЕ

$$y_a^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\bar{x}_0 x_2 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2}} =$$
$$= \overline{\overline{\bar{x}_0 x_2} \cdot \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_3} \cdot \overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 x_2}}$$
$$y_a^{\text{КНФ}} = \overline{\overline{\overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3)}}} =$$
$$= \overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot \overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3)}} =$$
$$= \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}$$
$$y_b^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 x_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3}} =$$
$$= \overline{\overline{\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_2 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \cdot \overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3}}$$
$$y_b^{\text{КНФ}} = \overline{\overline{\overline{\overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \bar{x}_3)} \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)}}} =$$
$$= \overline{\overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \bar{x}_3)} \cdot \overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)}} =$$
$$= \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 x_2 \bar{x}_3}$$
$$y_c^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\bar{x}_0 \bar{x}_2 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 x_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2}} =$$
$$= \overline{\overline{\bar{x}_0 \bar{x}_2} \cdot \overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2} \cdot \overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_2 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 x_2}}$$
$$y_c^{\text{КНФ}} = \overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)}} = \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3}$$
$$y_d^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3}} =$$
$$\overline{\overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2} \cdot \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 x_3}}$$
$$y_d^{\text{КНФ}} =$$
$$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)}}}}}$$
$$= \overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot \overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3)} \cdot \overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot \overline{(\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)}}$$
$$= \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 x_2 x_3} \cdot \overline{x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3}$$
$$y_e^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3}} = \overline{\overline{\bar{x}_1 \bar{x}_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3}}$$
$$y_e^{\text{КНФ}} = \overline{\overline{\overline{\overline{(x_0 \vee \bar{x}_3) \vee (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2)} \cdot (x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)}}} =$$
$$= \overline{\overline{(x_0 \vee \bar{x}_3)} \cdot \overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2)} \cdot \overline{(x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3)}} =$$
$$= \overline{\bar{x}_0 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2} \cdot \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3}$$
$$y_f^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 x_2 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2}} =$$
$$= \overline{\overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3} \cdot \overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2} \cdot \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2}}$$
$$y_f^{\text{КНФ}} = \overline{\overline{\overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot (x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_3)}}} =$$
$$= \overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2)} \cdot \overline{(x_0 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot \overline{(x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_3)}} = \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_2 x_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_3}$$
$$y_g^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2}} = \overline{\overline{x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 x_2} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_3} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 \bar{x}_2}}$$
$$y_g^{\text{КНФ}} = \overline{\overline{\overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2) \cdot (x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot (\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)}}} =$$
$$= \overline{\overline{(x_0 \vee x_1 \vee x_2)} \cdot \overline{(x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)} \cdot \overline{(\bar{x}_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3)}} =$$
$$= \overline{\bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2} \cdot \overline{\bar{x}_0 x_1 x_2 x_3} \cdot \overline{x_0 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3}$$

1.3.2 2ИЛИ-НЕ

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

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

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

$$= \overline{\overline{x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3} \vee \overline{x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3}}$$

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

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

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

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

$$= \overline{\overline{x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3} \vee \overline{x_0 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3}}$$

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

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

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

$$y_c^{\text{КНФ}} = \overline{\overline{x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3}}$$

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

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

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

$$y_d^{\text{КНФ}} =$$

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

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

$$y_e^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\bar{x}_1 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3}} = \overline{\overline{\bar{x}_1 \bar{x}_3}} \vee \overline{\overline{\bar{x}_0 x_2 \bar{x}_3}} = \overline{x_1 \vee x_3} \vee \overline{x_0 \vee \bar{x}_2 \vee x_3}$$

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

$$= \overline{\overline{x_0 \vee \bar{x}_3} \vee \overline{x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2} \vee \overline{x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3}}$$

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

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

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

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

$$= \overline{\overline{x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2} \vee \overline{x_0 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3} \vee \overline{x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_3}}$$

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

$$= \overline{x_0 \vee x_1 \vee x_3} \vee \overline{x_0 \vee x_1 \vee \bar{x}_2} \vee \overline{x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_3} \vee \overline{x_0 \vee \bar{x}_1 \vee x_2}$$

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

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

1.4 Цифровая схема

Все схемы строились через КНФ.

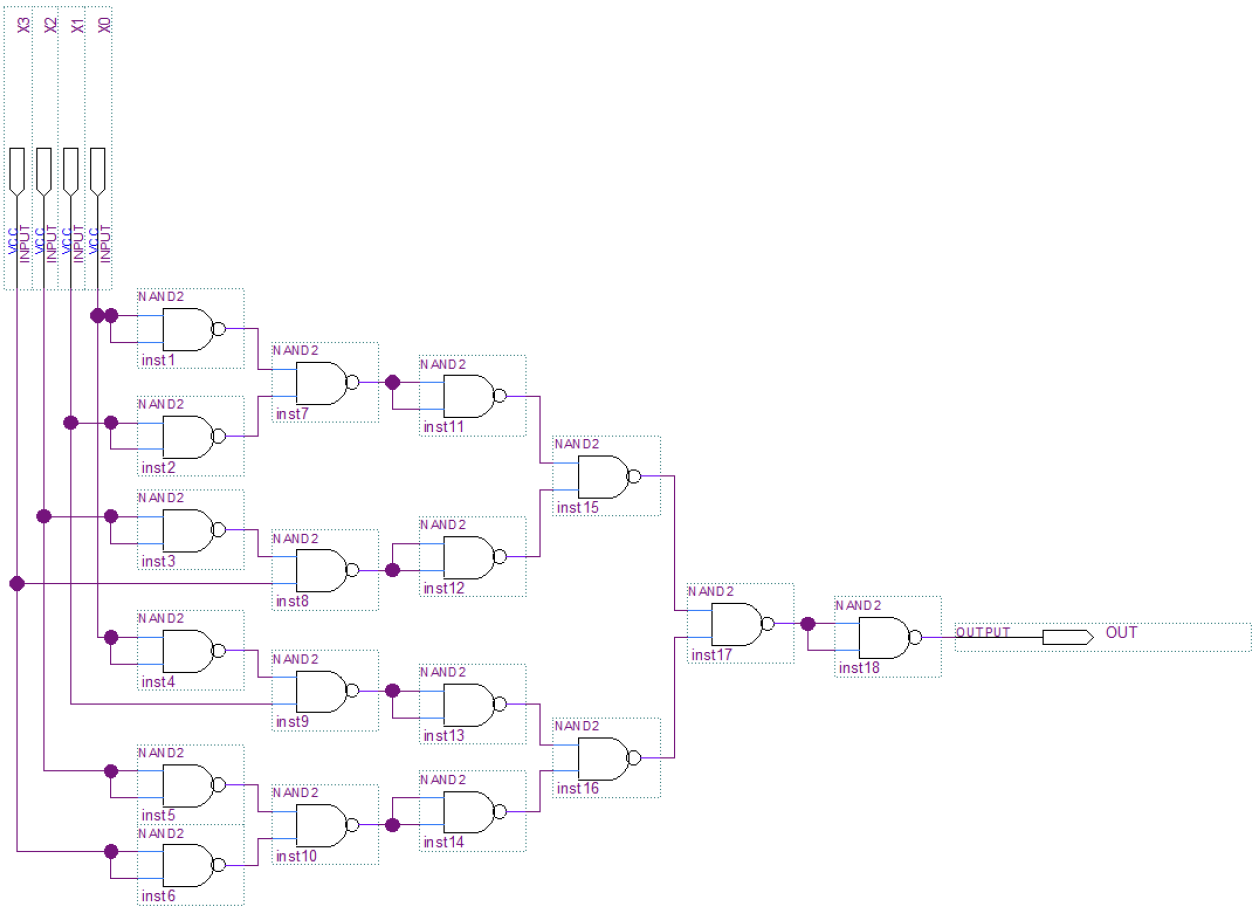


Рисунок 1.2 – Схема для светодиода A.

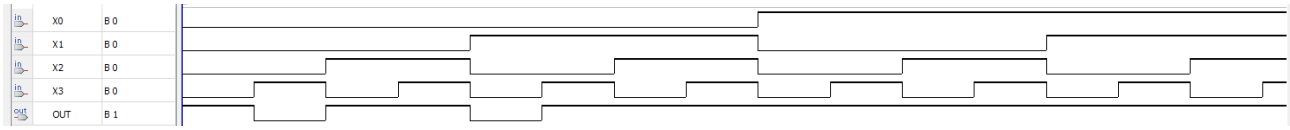


Рисунок 1.3 – Сигнал на светодиоде A.

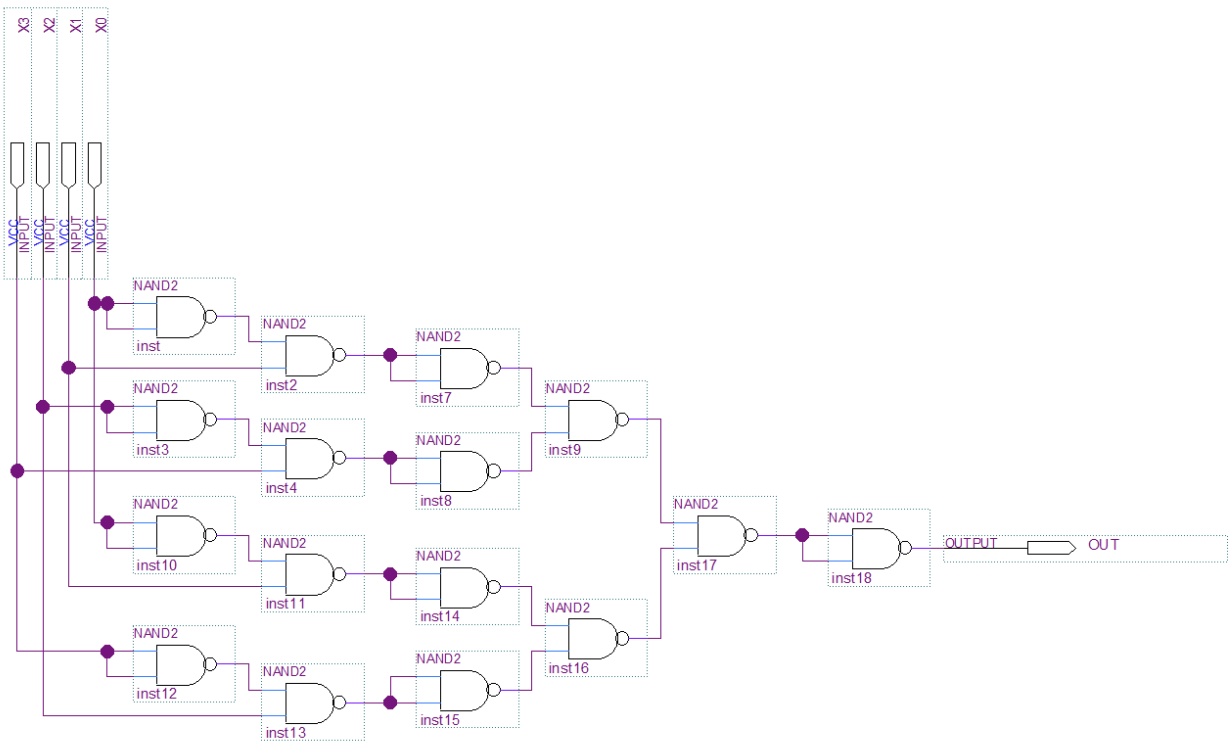


Рисунок 1.4 – Схема для светодиода B.

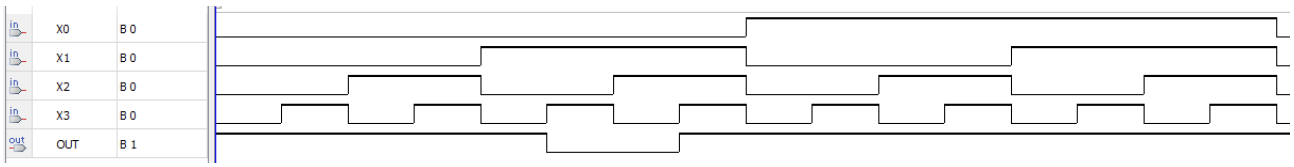


Рисунок 1.5 – Сигнал на светодиоде B.

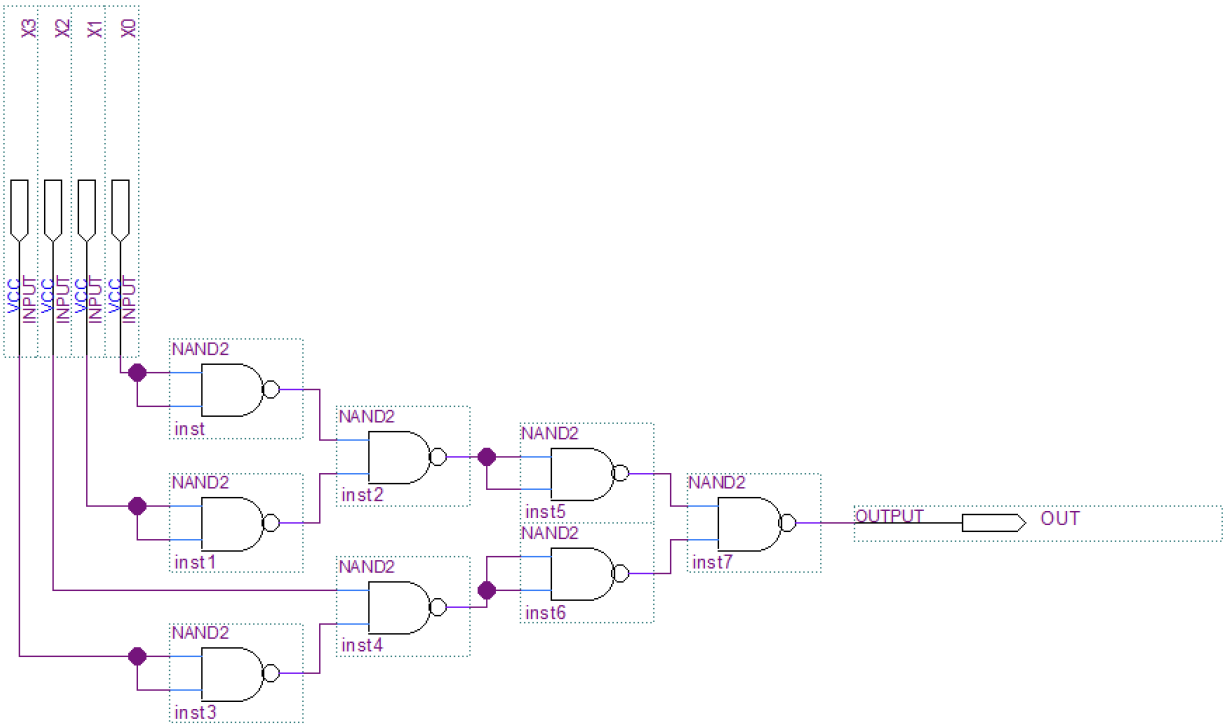


Рисунок 1.6 – Схема для светодиода C.

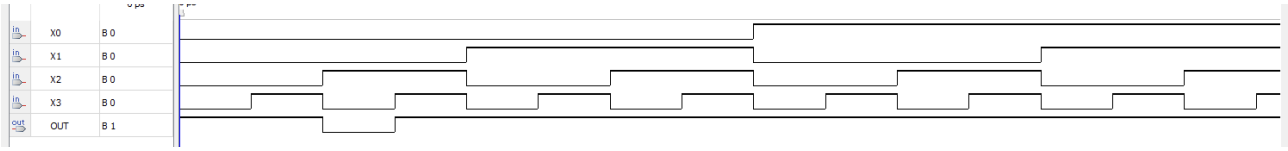


Рисунок 1.7 – Сигнал на светодиоде C.

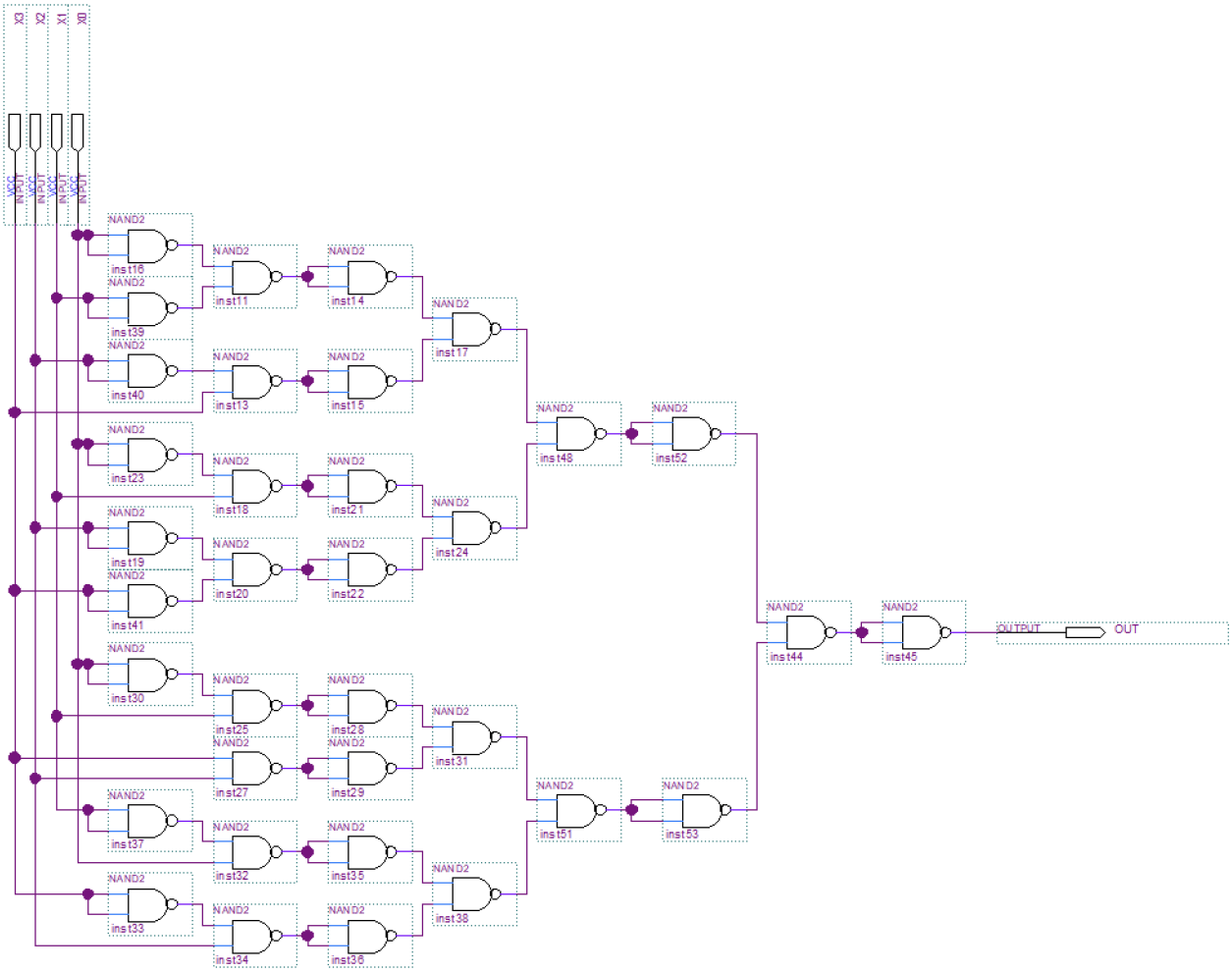


Рисунок 1.8 – Схема для светодиода D.

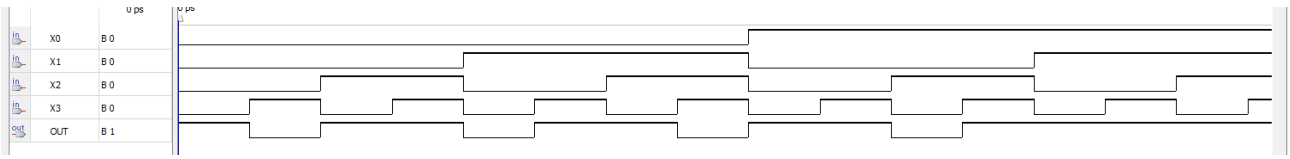


Рисунок 1.9 – Сигнал на светодиоде D.

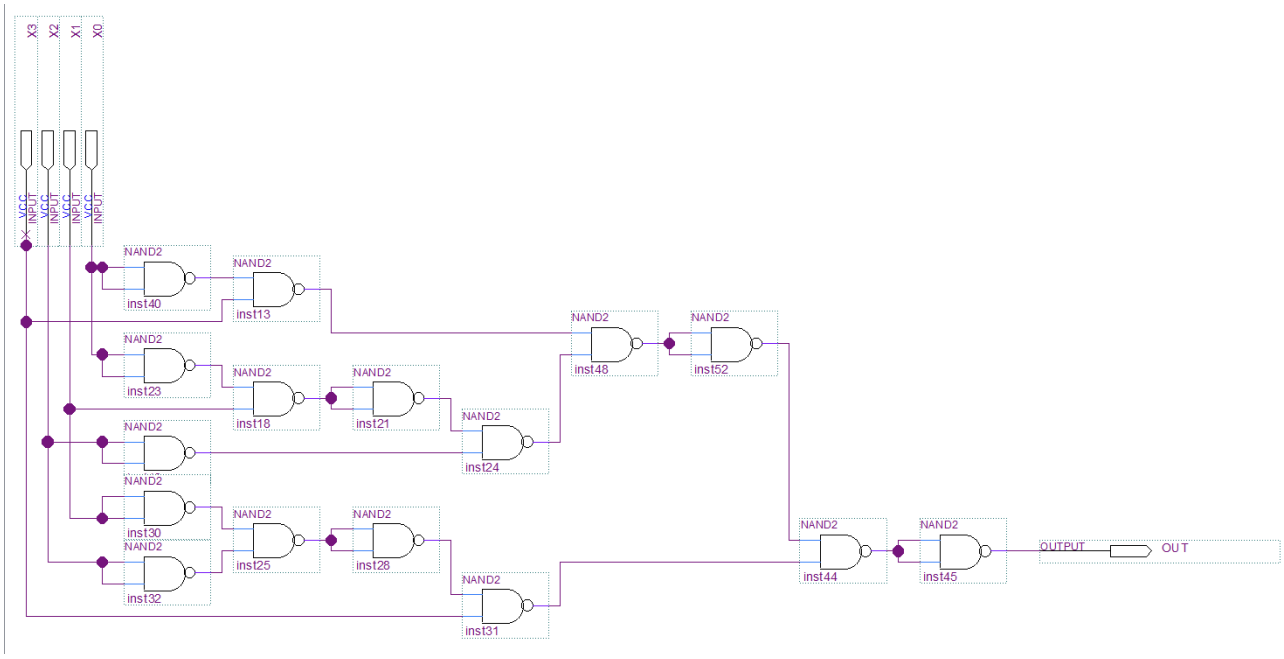


Рисунок 1.10 – Схема для светодиода E.

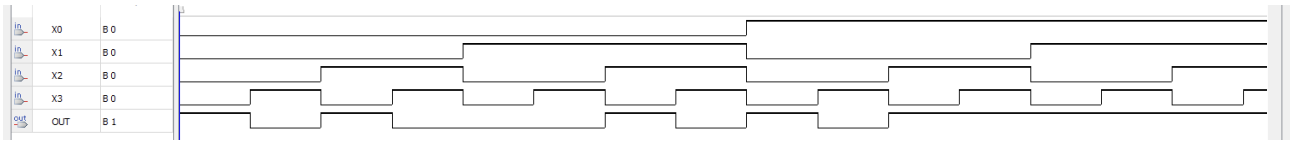


Рисунок 1.11 – Сигнал на светодиоде E.

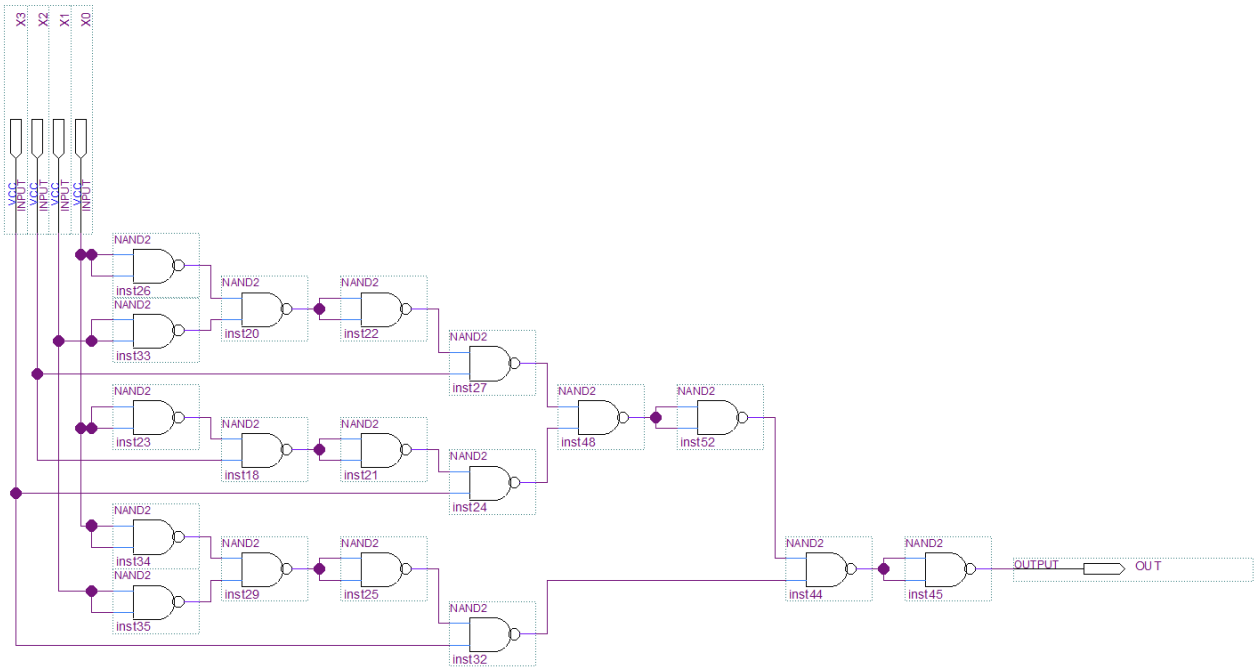


Рисунок 1.12 – Схема для светодиода F.

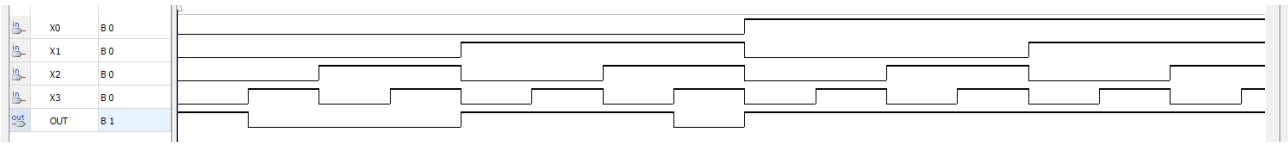


Рисунок 1.13 – Сигнал на светодиоде F.

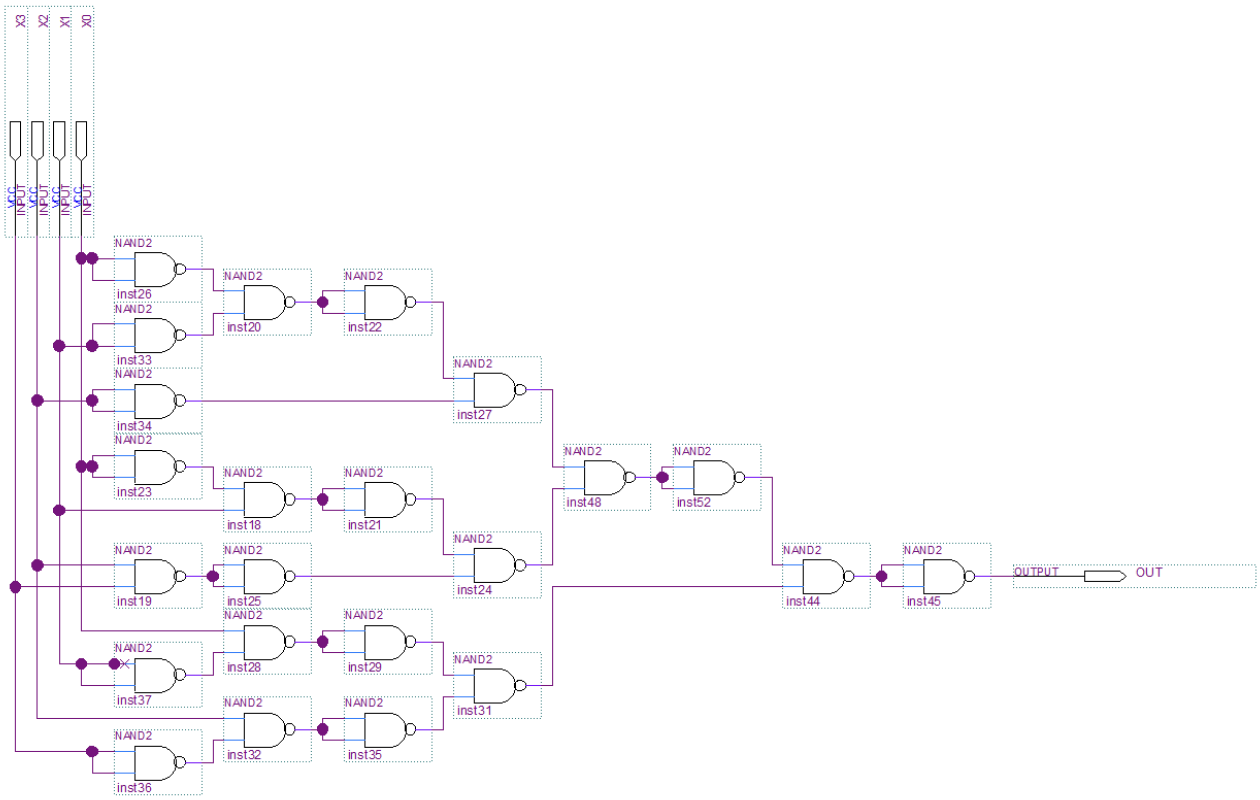


Рисунок 1.14 – Схема для светодиода G.

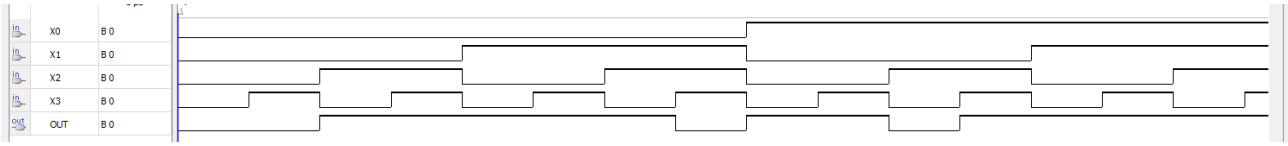


Рисунок 1.15 – Сигнал на светодиоде G.

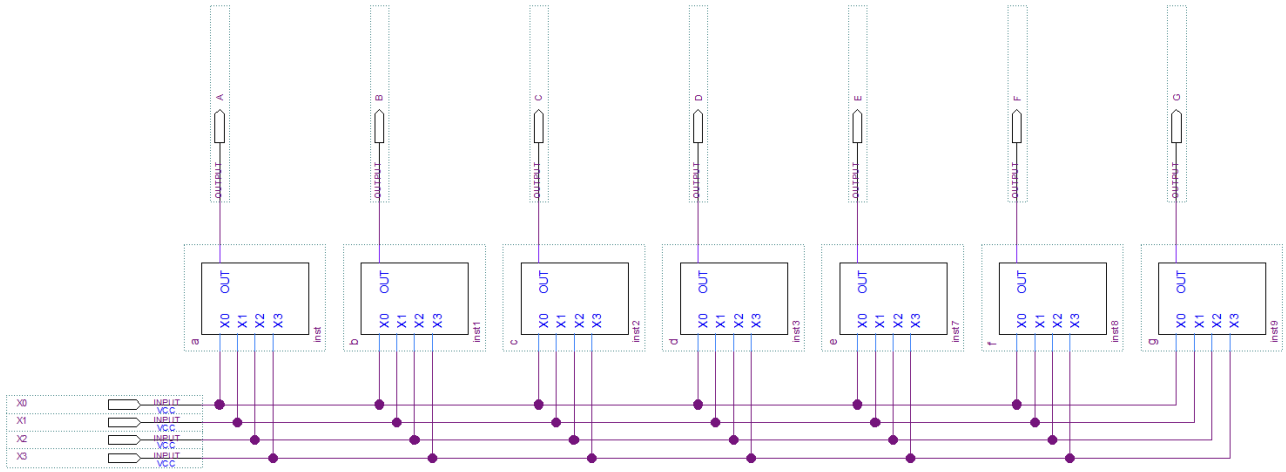


Рисунок 1.16 – Схема для светодиода BSD.

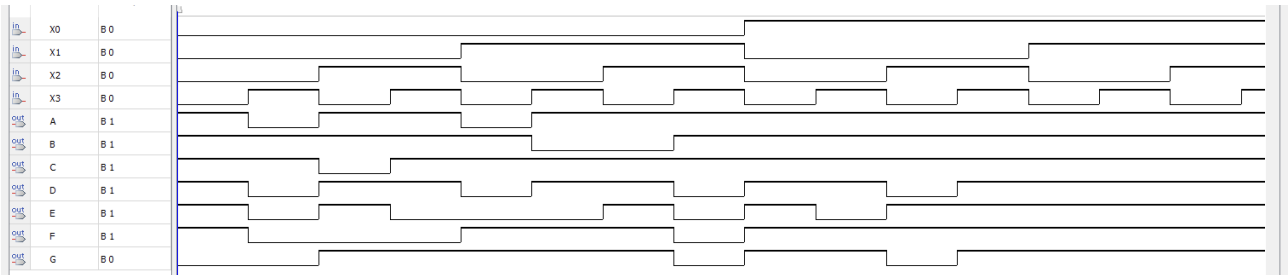


Рисунок 1.17 – Сигнал на BSD.

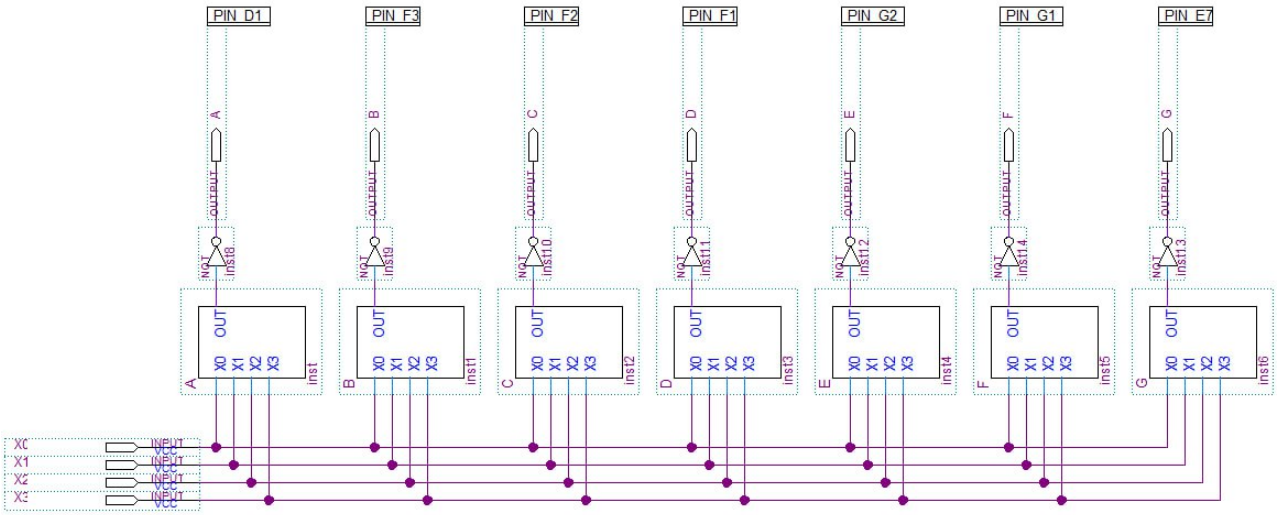


Рисунок 1.18 – Схема для светодиода BSD(С отрицанием, так как в ПЛИС светодиоды на анодах).

2 Счётчик с коэффициентом счёта 6.

2.1 Счётчик для 6 знаков.

Построим счётчик для 6 знаков.

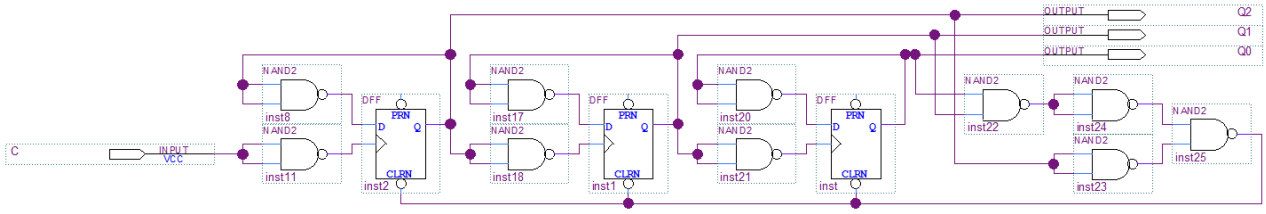


Рисунок 2.1 – Схема счётчика на D-триггерах для 6 знаков.

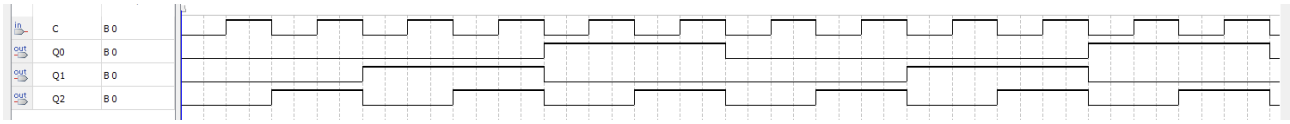


Рисунок 2.2 – Вывод счётчика на D-триггерах для 6 знаков.

2.2 Делитель частоты.

Так как на вход будет подан сигнал с частотой 50 МГц, то мы ничего не увидим, так как переключение бует слишком быстрым. Необходимо собрать делитель напряжения сигнала до частоты в 50 Гц. Важно будет уточнить, что чтобы проверить схему в Quartus II, сделаем сквозной выход [0], потому что в противном случае сигнал будет нельзя проверить внутри электронной системы так как он будет слишком растянут, в то время перед тем как добавить его в ПЛИС надо будет переключить на [15].

```
module VD2(clk, out_pos);
   input clk;
   output reg [19:0]out_pos;

   always @(posedge clk)
   begin
      out_pos <= out_pos + 1'd1;
   end
endmodule
```

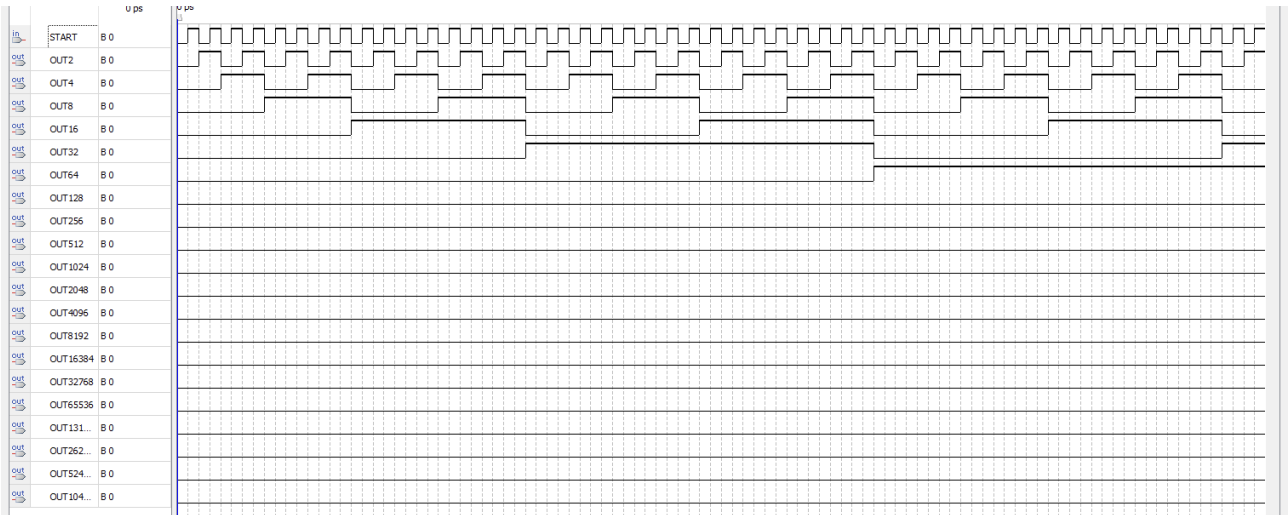


Рисунок 2.3 – Результат деления.

3 Преобразователь кода, на выходе которого формируется последовательность бинарных чисел соответствующая цифрам студенческого билета.

3.1 Декодер номера билета.

Для начала построим декодер для билет под номером 20L274.

Символ	a_0	a_1	a_2	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
2	0	1	1	0	0	1	0
7	1	0	0	0	1	1	1
4	1	0	1	0	1	0	0

$$x_0^{\text{СДНФ}} = \bar{a}_0 a_1 \bar{a}_2$$
$$x_1^{\text{СДНФ}} = a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2 \vee a_0 \bar{a}_1 a_2$$
$$x_2^{\text{СДНФ}} = \bar{a}_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2 \vee \bar{a}_0 a_1 \bar{a}_2 \vee \bar{a}_0 a_1 a_2 \vee a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2$$
$$x_3^{\text{СДНФ}} = a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2$$

Переведем в 2И-НЕ:

$$x_0^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\bar{a}_0 a_1 \bar{a}_2}}$$
$$x_1^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2 \vee a_0 \bar{a}_1 a_2}} = \overline{\overline{a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2} \cdot \overline{a_0 \bar{a}_1 a_2}}$$
$$x_2^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{\bar{a}_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2 \vee \bar{a}_0 a_1 \bar{a}_2 \vee \bar{a}_0 a_1 a_2 \vee a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2}} = \overline{\overline{\bar{a}_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2} \cdot \overline{\bar{a}_0 a_1 \bar{a}_2} \cdot \overline{\bar{a}_0 a_1 a_2} \cdot \overline{a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2}}$$
$$x_0^{\text{ДНФ}} = \overline{\overline{a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2}}$$

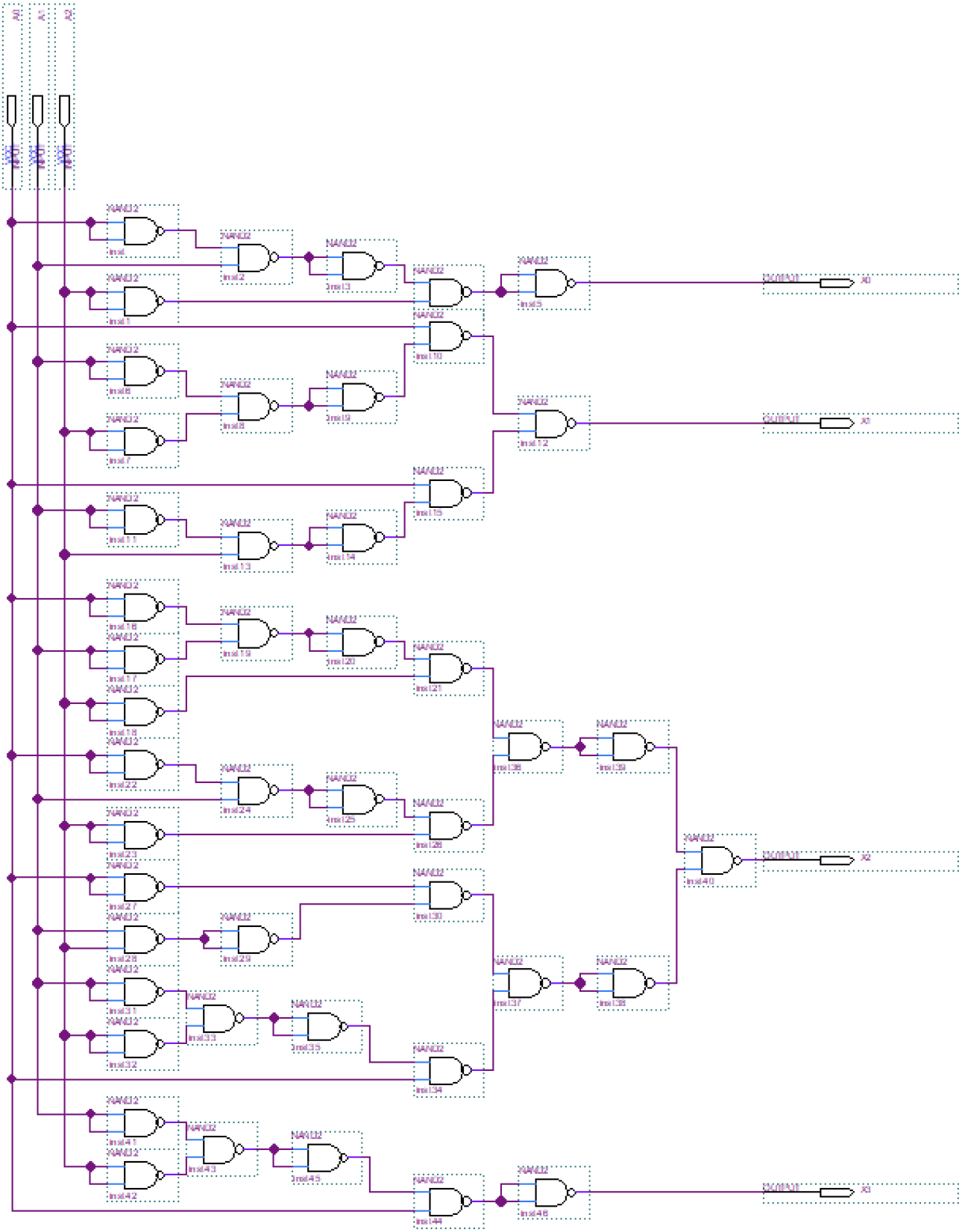


Рисунок 3.1 – Схема декодера для студенческого билета 20L274.

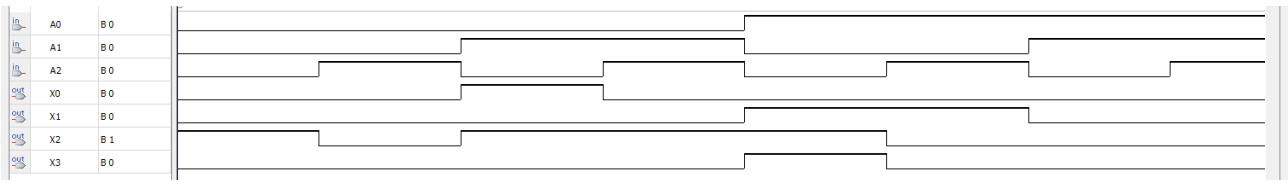


Рисунок 3.2 – Вывод декодера для студенческого билета 20L274.

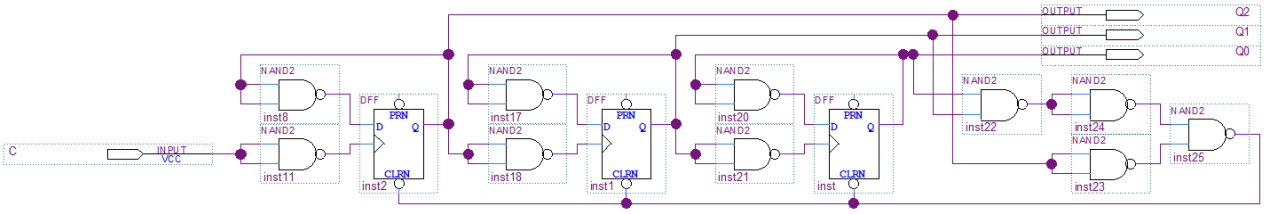


Рисунок 3.3 – Схема счётчика на D-триггерах для 6 знаков.

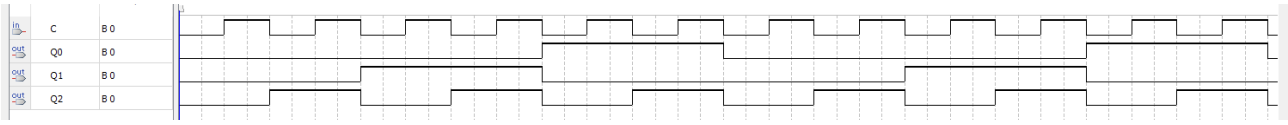


Рисунок 3.4 – Вывод счётчика на D-триггерах для 6 знаков.

Как видно из графика 3.4, как только значение доходит до 1 1 0 происходит сброс значений. Построим финальную схему для вывода номера билета.

3.2 Общая схема.

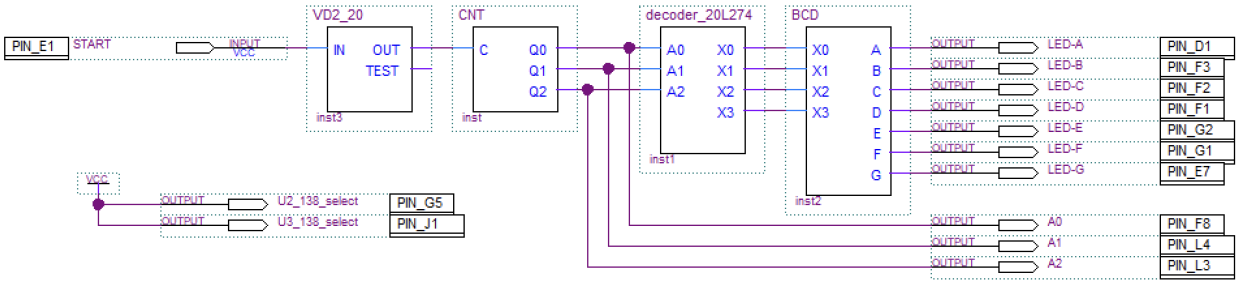


Рисунок 3.5 – Схема вывода билета.

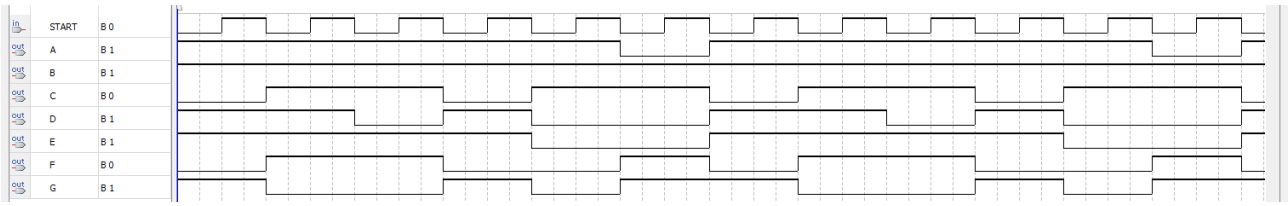
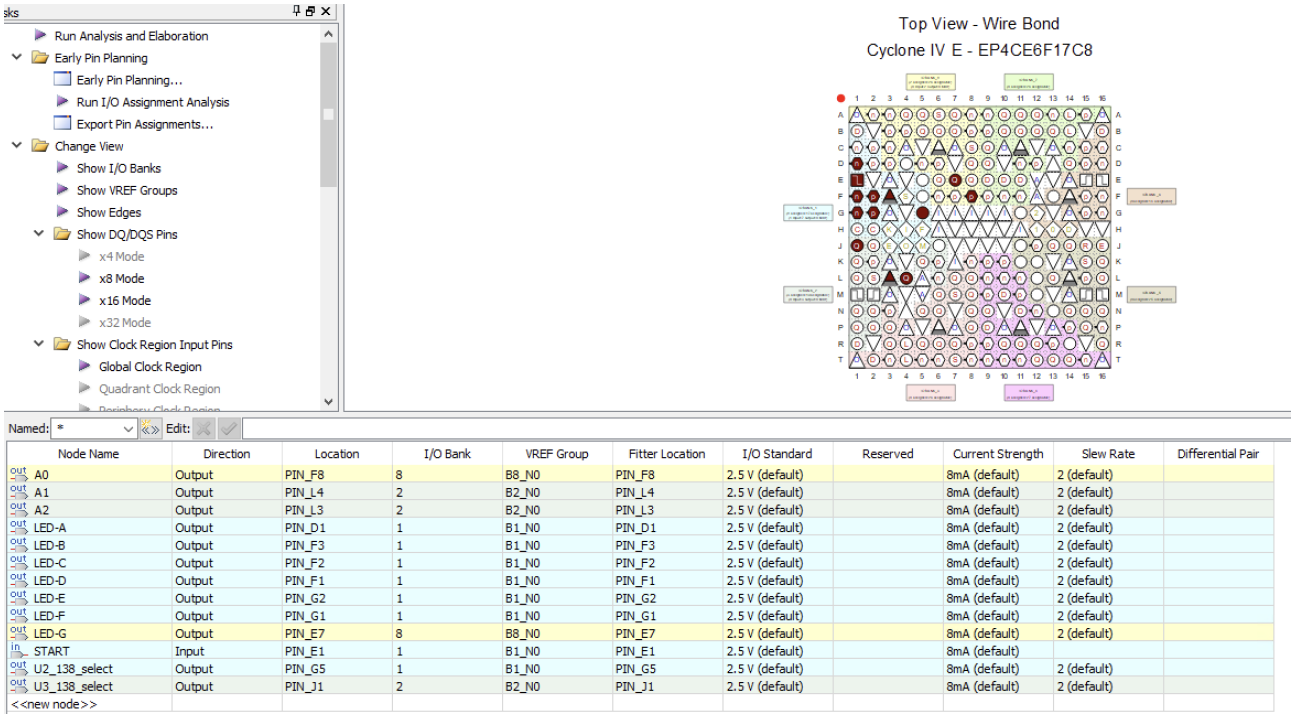


Рисунок 3.6 – Вывод вывода билета.

На временных диаграммах 3.6, значения на элементе CNT приходят с вывода TEST элемента VD2_20, чтобы показать корректность работы счетчика.



Node Name	Direction	Location	I/O Bank	VREF Group	Fitter Location	I/O Standard	Reserved	Current Strength	Slew Rate	Differential Pair
A0	Output	PIN_F8	8	B8_N0	PIN_F8	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
A1	Output	PIN_L4	2	B2_N0	PIN_L4	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
A2	Output	PIN_L3	2	B2_N0	PIN_L3	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
LED-A	Output	PIN_D1	1	B1_N0	PIN_D1	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
LED-B	Output	PIN_F3	1	B1_N0	PIN_F3	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
LED-C	Output	PIN_F2	1	B1_N0	PIN_F2	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
LED-D	Output	PIN_F1	1	B1_N0	PIN_F1	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
LED-E	Output	PIN_G2	1	B1_N0	PIN_G2	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
LED-F	Output	PIN_G1	1	B1_N0	PIN_G1	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
LED-G	Output	PIN_E7	8	B8_N0	PIN_E7	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
START	Input	PIN_E1	1	B1_N0	PIN_E1	2.5 V (default)		8mA (default)		
U2_138_select	Output	PIN_G5	1	B1_N0	PIN_G5	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
U3_138_select	Output	PIN_J1	2	B2_N0	PIN_J1	2.5 V (default)		8mA (default)	2 (default)	
<<new node>>										

Рисунок 3.7 – Подключения пинов на ПЛИС Cyclone IV E - EP4CE6F17C8.

Произошла проблема с запуском на ПЛИС, все не корретно отображается. Исправляем ошибки.

3.3 Исправление ошибок.

Вывод билета на экран был не корректный, символы были в перемешку, было решено добавить дополнительный элемент SUB, который выставляет символы в правильном порядке.

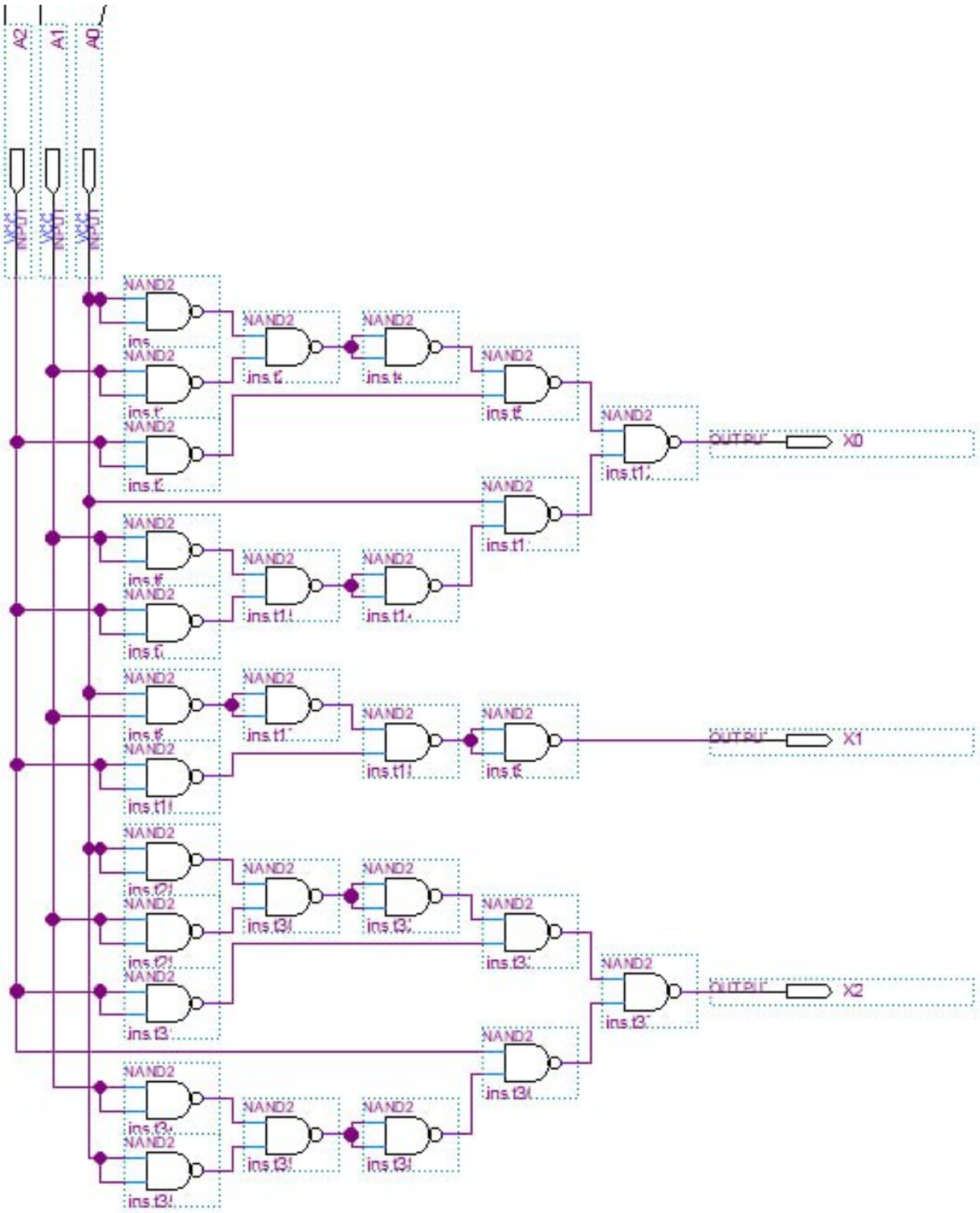


Рисунок 3.8 – Преобразователь.

Подставим элемент в схему:

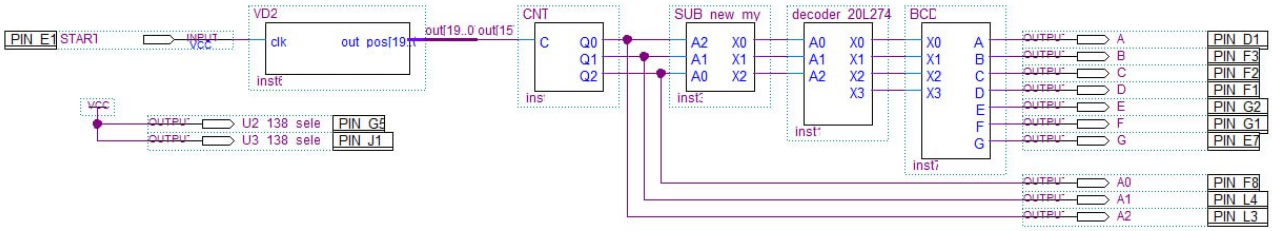


Рисунок 3.9 – Обновленная схема.

Вывод:

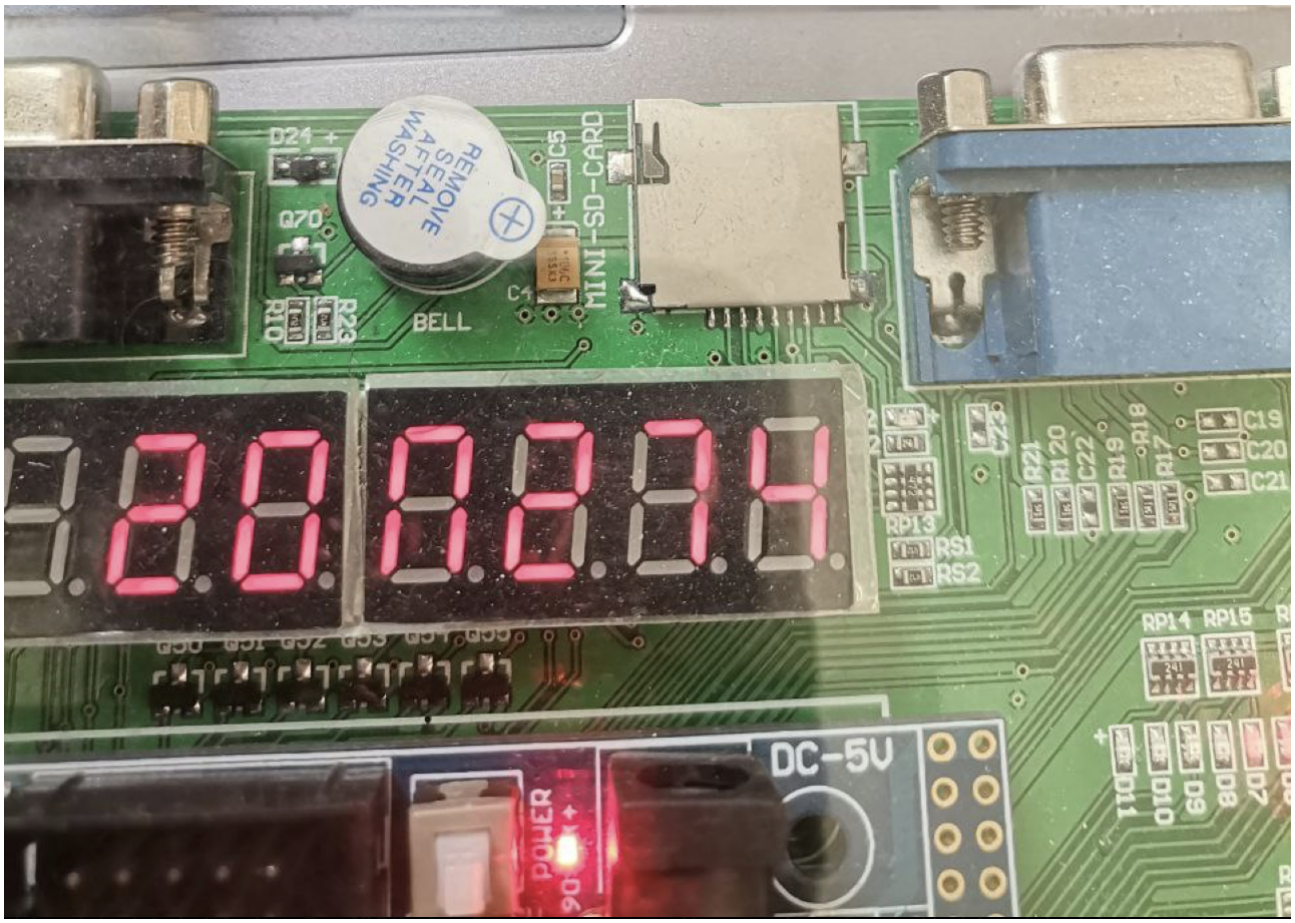


Рисунок 3.10 – Вывод моего билета 20Л274.

P. s. П = Л = L