

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

**О Т Ч Е Т**  
О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ № 2  
**«СИНТЕЗ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ»**

--

**Выполнил**

студент группы Б22-В71

Мамлеев А. А.

Логин: B22\_V71\_05

Пароль: KQ7tI21v

**Преподаватели:**

Новиков Г. Г.

Ядыкин И. М.

Москва 2024

**Цель:** изучить методы синтеза комбинационных схем на логических элементах; получить навыки проектирования комбинационных схем на VHDL; овладеть инструментальными средствами проектирования схем на ПЛИС; приобрести опыт экспериментального исследования синтезируемых схем.

## 1 Синтез комбинационной схемы

В соответствии с вариантом дана следующая система ФАЛ:

$$\begin{cases} F_1(x_3, x_2, x_1, x_0) = \sum(1, 3, 5, 7, 8, 10, 12, 14), \\ F_2(x_3, x_2, x_1, x_0) = \sum(1, 2, 3, 5, 7, 9, 15), \\ F_3(x_3, x_2, x_1, x_0) = \sum(1, 3, 5, 7, 8, 9). \end{cases} \quad (1)$$

Для данных функций составим таблицу истинности (табл. 1).

Таблица 1. Таблица истинности для системы ФАЛ (1)

№	$x_3$	$x_2$	$x_1$	$x_0$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	1
2	0	0	1	0	0	1	1
3	0	0	1	1	1	1	1
4	0	1	0	0	0	0	0
5	0	1	0	1	1	1	1
6	0	1	1	0	0	0	0
7	0	1	1	1	1	1	1
8	1	0	0	0	1	0	1
9	1	0	0	1	0	1	1
10	1	0	1	0	1	0	0
11	1	0	1	1	0	0	0
12	1	1	0	0	1	0	0
13	1	1	0	1	0	0	0
14	1	1	1	0	1	0	0
15	1	1	1	1	0	1	0

## 1.1 Минимизация

Произведем минимизацию функций методом диаграмм Вейча; на рис. 1 представлена эталонная диаграмма, которой далее будем пользоваться.

$x_2$				
$x_3$	12	13	9	8
	14	15	11	10
	6	7	3	2
	4	5	1	0
$x_0$				$x_1$

Рис. 1. Эталонная диаграмма Вейча

				$x_2$																							
$x_3$				<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> </table>				1			1	1			1		1	1			1	1		$x_1$			
				1			1																				
				1			1																				
					1	1																					
	1	1																									
				$x_0$																							

(а) Для функции  $F_1$

				$x_2$																							
$x_3$				<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;">1</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> </table>						1			1				1	1	1		1	1		$x_1$			
						1																					
					1																						
					1	1	1																				
	1	1																									
				$x_0$																							

(б) Для функции  $F_2$

				$x_2$																							
$x_3$				<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;">1</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;">1</td><td style="padding: 5px;"></td></tr> </table>						1	1						1	1			1	1		$x_1$			
						1	1																				
					1	1																					
	1	1																									
				$x_0$																							

(в) Для функции  $F_3$

Рис. 2. Диаграммы Вейча для заданных функций

Произведя минимизацию при помощи диаграмм Вейча (рис. 2), запишем заданные функции в форме МДНФ:

$$\begin{cases} F_1(x_3, x_2, x_1, x_0) = x_0\bar{x}_3 \vee \bar{x}_0x_3, \\ F_2(x_3, x_2, x_1, x_0) = x_0\bar{x}_3 \vee x_0x_1x_2 \vee x_0\bar{x}_1\bar{x}_2 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3, \\ F_3(x_3, x_2, x_1, x_0) = x_0\bar{x}_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3. \end{cases} \quad (2)$$

Таблица 2. Импликантная матрица системы логических функций

Импликанта	Конституента														
	1			2			3			5			7		
	$\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1x_0$ $F_1$	$\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1x_0$ $F_2$	$\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1x_0$ $F_3$	$\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1\bar{x}_0$ $F_2$	$\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1\bar{x}_0$ $F_1$	$\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1\bar{x}_0$ $F_3$	$\bar{x}_3\bar{x}_2x_1x_0$ $F_1$	$\bar{x}_3\bar{x}_2x_1x_0$ $F_2$	$\bar{x}_3\bar{x}_2x_1x_0$ $F_3$	$\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1x_0$ $F_1$	$\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1x_0$ $F_2$	$\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1x_0$ $F_3$	$x_3\bar{x}_2x_1\bar{x}_0$ $F_1$	$x_3\bar{x}_2x_1\bar{x}_0$ $F_2$	$x_3\bar{x}_2x_1\bar{x}_0$ $F_3$
$\bar{x}_3x_0$ $F_1F_2F_3$															
$x_3\bar{x}_0$ $F_1$															
$x_2x_1x_0$ $F_2$															
$\bar{x}_2\bar{x}_1x_0$ $F_2$															
$\bar{x}_3\bar{x}_2x_1$ $F_2$															
$x_3\bar{x}_2\bar{x}_1$ $F_3$															
$x_3\bar{x}_2\bar{x}_1\bar{x}_0$ $F_1F_2$															
$x_3\bar{x}_2\bar{x}_1x_0$ $F_2F_3$															

Найдем все простые импликанты системы логических функций (1), включая и функции  $F_1 \cdot F_2, F_1 \cdot F_3, F_2 \cdot F_3, F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$ . Из диаграмм (рис. 2) нетрудно видеть, что:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1 \cdot F_2 = x_0 \bar{x}_3, \\ F_1 \cdot F_3 = x_0 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3, \\ F_2 \cdot F_3 = x_0 \bar{x}_3 \vee x_0 \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3, \\ F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 = x_0 \bar{x}_3. \end{array} \right. \quad (3)$$

Теперь при помощи импликантной матрицы системы функций (табл. 2) определим минимальное представление системы логических функций (2)–(3). Анализ заполненной матрицы показывает, что минимальная совокупность переключательных функций останется в виде (2).

## 1.2 Комбинационная схема, временная диаграмма

Перейдем в базис штриха Шеффера:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1(x_3, x_2, x_1, x_0) = (x_0 | \bar{x}_3) | (\bar{x}_0 | x_3), \\ F_2(x_3, x_2, x_1, x_0) = (x_0 | \bar{x}_3) | (x_0 | x_1 | x_2) | (x_0 | \bar{x}_1 | \bar{x}_2) | (x_1 | \bar{x}_2 | \bar{x}_3), \\ F_3(x_3, x_2, x_1, x_0) = (x_0 | \bar{x}_3) | (\bar{x}_1 | \bar{x}_2 | x_3). \end{array} \right. \quad (4)$$

В соответствии с (4) построим логическую схему (рис. 3).

Произведем ранжирование элементов схемы (рис. 3):

$$\begin{array}{ll} 0\text{-й ранг:} & x_3, x_2, x_1, x_0 \\ 1\text{-й ранг:} & \bar{x}_3, \bar{x}_2, \bar{x}_1, \bar{x}_0, D_3 \\ 2\text{-й ранг:} & D_1, D_2, D_4, D_5, D_6 \\ 3\text{-й ранг:} & F_1, F_2, F_3 \end{array}$$

В соответствии с рангами построим временную диаграмму (рис. 4).

Оценим максимальные задержки переключения сигналов для каждой из функций.

- Функция  $F_1$ : Вычисления производились на 10-м наборе. Схема прохождения сигнала:  $x_0 \rightarrow \bar{x}_0 \rightarrow D_2 \rightarrow F_1$ . Максимальные величины задержек переключения:  $t_{01} = 8$  нс,  $t_{10} = 7$  нс.

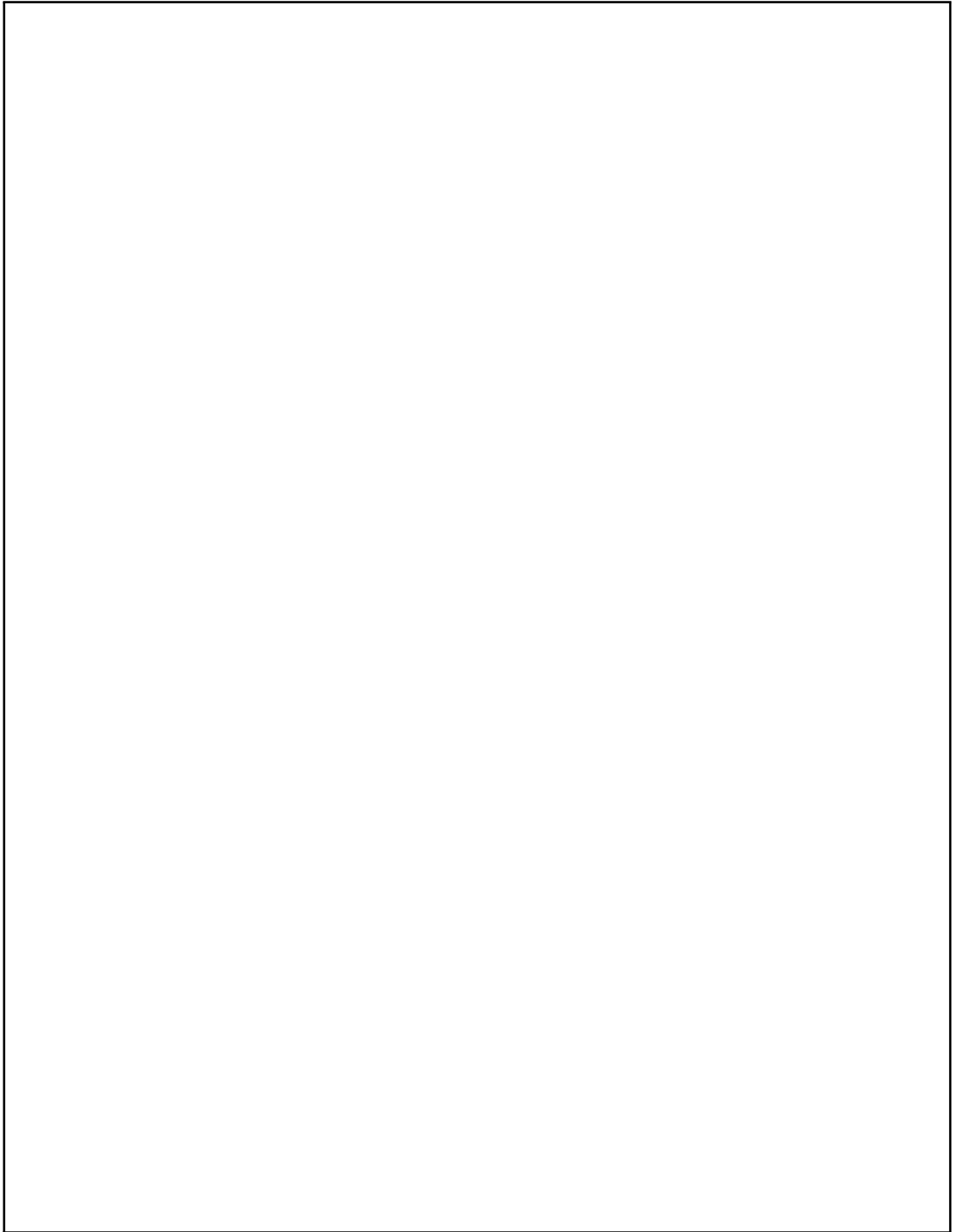


Рис. 3. Реализация многовыходной комбинационной схемы

- Функция  $F_2$ : Вычисления производились на 5-м наборе. Схема прохождения сигнала:  $x_0 \rightarrow D_1 \rightarrow F_2$ . Максимальные величины задержек переключения:  $t_{01} = 6$  нс,  $t_{10} = 5$  нс.
- Функция  $F_2$ : Вычисления производились на 8-м и 9-м наборах. Схемы прохождения сигнала:  $x_2 \rightarrow \bar{x}_2 \rightarrow D_6 \rightarrow F_3$ ,  $x_1 \rightarrow \bar{x}_1 \rightarrow D_6 \rightarrow F_3$ . Максимальные величины задержек переключения:  $t_{01} = 8$  нс,  $t_{10} = 7$  нс.



Рис. 4. Временная диаграмма работы комбинационной схемы

## 2 Описание комбинационной схемы на VHDL

Описать комбинационную схему на языке VHDL можно различными способами. Воспользуемся одним из предложенных в лабораторном практикуме, а именно — с использованием *параллельного сигнального оператора присваивания*, при этом функции будем описывать в виде *булевых уравнений* (листинг 1). Удобнее всего при этом воспользоваться ранее полученным представлением функций в форме МДНФ (2).

Листинг 1. Описание комбинационной схемы на языке VHDL

```
entity LAB2_KS is
    port (
        x3, x2, x1, x0: in BIT;
        F1, F2, F3: out BIT
    );
end LAB2_KS;

architecture LAB2_KS_arch of LAB2_KS is
begin
    F1 <= (not x3 and x0) or (x3 and not x0);
    F2 <= (not x3 and x0)
        or (x2 and x1 and x0)
        or (not x2 and not x1 and x0)
        or (not x3 and not x2 and x1);
    F3 <= (not x3 and x0)
        or (x3 and not x2 and not x1);
end LAB2_KS_arch;
```