

# Дисциплина «Схемотехника»

ТЕМА: «Цифровые микроэлектронные  
устройства комбинационного типа»

Сицко Александр Леонидович,  
доцент кафедры ИСиТ, кандидат технических наук

## Содержание

- Основные положения.
- Логические элементы: инвертор (логический элемент НЕ), конъюнктор (логический элемент И), дизъюнктор (логический элемент ИЛИ), логический элемент Шеффера (элемент И-НЕ), логический элемент Пирса (элемент ИЛИ-НЕ), логический элемент «исключающее ИЛИ».
- Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

К цифровым микроэлектронным устройствам комбинационного типа также относятся:

- Шифраторы и дешифраторы.
- Мультиплексоры и демультимплексоры.
- Сумматоры и вычитатели.
- Программируемые логические матрицы конъюнкций и дизъюнкций.

## Основные положения.

В общем случае комбинационное цифровое устройство (КЦУ) может иметь  $n \geq 1$  входов и  $m \geq 1$  выходов. Если информационные значения входных сигналов обозначить как  $x_i (i = \overline{1, n})$ , а выходных сигналов –  $y_j (j = \overline{1, m})$ , то на каждом выходе КЦУ формируется некоторая булева функция

$$y_j = f_j(x_1, x_2, \dots, x_n), j = \overline{1, m}.$$

*Указанная запись говорит о том, что любому набору значений входных*

*переменных  $x_i (i = \overline{1, n})$  такого устройства, поданному в произвольный*

*момент времени, **однозначно** соответствует набор значений*

*переменных  $y_j (j = \overline{1, m})$  на его выходах.*

*Исходными данными для проектирования цифрового устройства комбинационного типа являются его функциональное описание и требования к основным электрическим параметрам. Функциональное описание комбинационного устройства обычно дается в виде таблицы истинности или алгебраического выражения.*

## Основные положения.

На основе функционального описания *синтезируют структурную схему минимальной сложности*, после чего разрабатывают схему электрическую принципиальную на заданной или выбранной элементной базе.

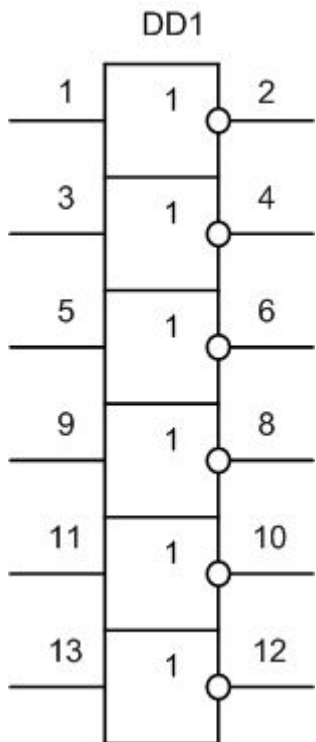
При выборе оптимального варианта цифрового устройства (например, по критерию сложности), в том числе и комбинационного, *необходимо учитывать ограничения, которые накладываются характеристиками реальных логических элементов:*

- *к выходу всякого реального логического элемента можно подключить лишь ограниченное число входов других элементов;*
- *общее число входов логического элемента ограничено;*
- *конечное время распространения сигнала в логических элементах может в отдельных случаях привести к нарушению работоспособности цифрового устройства.*

## Логические элементы.

Логические элементы являются *простейшими комбинационными цифровыми устройствами* и выполняют элементарные логические операции над двоичными переменными.

**Инвертор** (логический элемент НЕ) содержит один вход и один выход и реализует логическую функцию “инверсия” (логическое отрицание)  $y = \bar{x}$ .



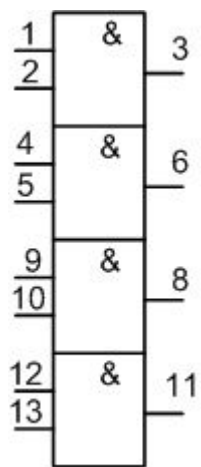
DD1: К555ЛН1, 533ЛН1, 530ЛН1, КР531ЛН1, КР1531ЛН1, КР1533ЛН1

Таблица – Подключение выводов, не несущих логическую информацию

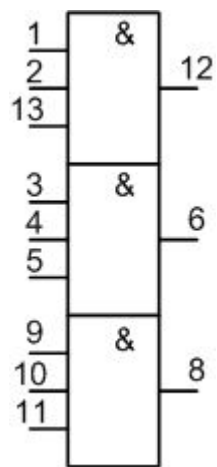
| Обозначение микросхемы  | Номер выводов |       |
|---|---------------|-------|
|   | Питание       | Общий |
| К555, 533, 530, КР531, КР1531, КР1533:<br>ЛА1, ЛА2, ЛА3, ЛА4, ЛА9, ЛА10, ЛА12, ЛА13, ЛИ1, ЛИ2, ЛИ3,<br>ЛИ4, ЛИ6, ЛН1, ЛН2, ЛЛ1, ЛЕ1, ЛЕ4, ЛП3, ЛП5, ЛП12, ЛР4,<br>ЛР11, ЛР13, ТЛ2, ТМ2, ТВ6, ИР8, ИМ5 | 14            | 7     |

## Логические элементы.

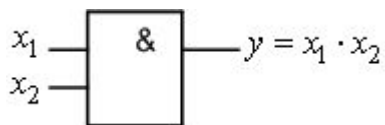
**Конъюнктор** (логический элемент И) содержит  $n \geq 2$  входов и один выход и реализует булеву функцию “конъюнкция”  $y = \prod_{i=1}^n x_i = x_1 x_2 \dots x_n$ . Выходной сигнал конъюнктора принимает значение  $y = 1$  тогда и только тогда, когда на все его входы одновременно поданы сигналы  $x_i = 1 (i = \overline{1, n})$ , а если хотя бы на один из входов подан сигнал  $x_i = 0$ , то на выходе также будет сигнал  $y = 0$ .



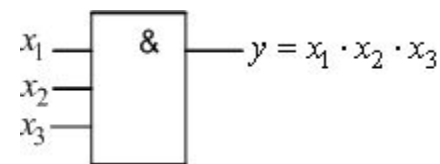
**K555ЛИ1**



**K555ЛИ3**



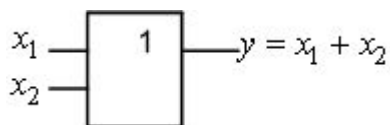
| № | $x_1$ | $x_2$ | $y$ |
|---|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 0   |
| 1 | 0     | 1     | 0   |
| 2 | 1     | 0     | 0   |
| 3 | 1     | 1     | 1   |



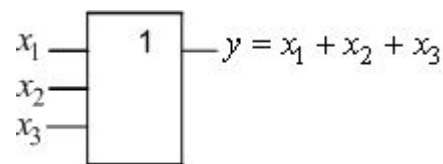
| № | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $y$ |
|---|-------|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1 | 0     | 0     | 1     | 0   |
| 2 | 0     | 1     | 0     | 0   |
| 3 | 0     | 1     | 1     | 0   |
| 4 | 1     | 0     | 0     | 0   |
| 5 | 1     | 0     | 1     | 0   |
| 6 | 1     | 1     | 0     | 0   |
| 7 | 1     | 1     | 1     | 1   |

## Логические элементы.

**Дизъюнктор** (логический элемент ИЛИ) содержит  $n \geq 2$  входов и один выход и реализует булеву функцию “дизъюнкция”  $y = \sum_{i=1}^n x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_n$ .  
 Выходной сигнал дизъюнктора принимает значение  $y = 1$  тогда, когда хотя бы на один из его входов подан сигнал  $x_i = 1$ , и значение  $y = 0$ , когда одновременно на все входе поданы сигналы  $x_i = 0 (i = \overline{1, n})$ .



| № | $x_1$ | $x_2$ | $y$ |
|---|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 0   |
| 1 | 0     | 1     | 1   |
| 2 | 1     | 0     | 1   |
| 3 | 1     | 1     | 1   |



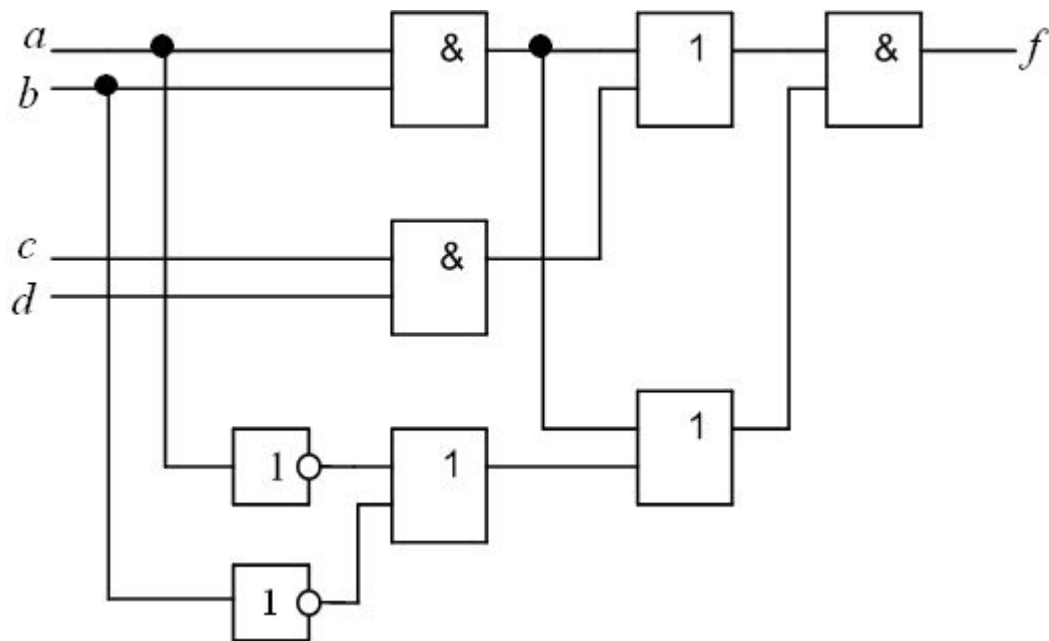
| № | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $y$ |
|---|-------|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1 | 0     | 0     | 1     | 1   |
| 2 | 0     | 1     | 0     | 1   |
| 3 | 0     | 1     | 1     | 1   |
| 4 | 1     | 0     | 0     | 1   |
| 5 | 1     | 0     | 1     | 1   |
| 6 | 1     | 1     | 0     | 1   |
| 7 | 1     | 1     | 1     | 1   |



*Логические элементы И, ИЛИ, НЕ образуют булевый базис.*

## Логические элементы.

*Задание 1: Найдите булеву функцию  $f$ , реализуемую комбинационной схемой.*



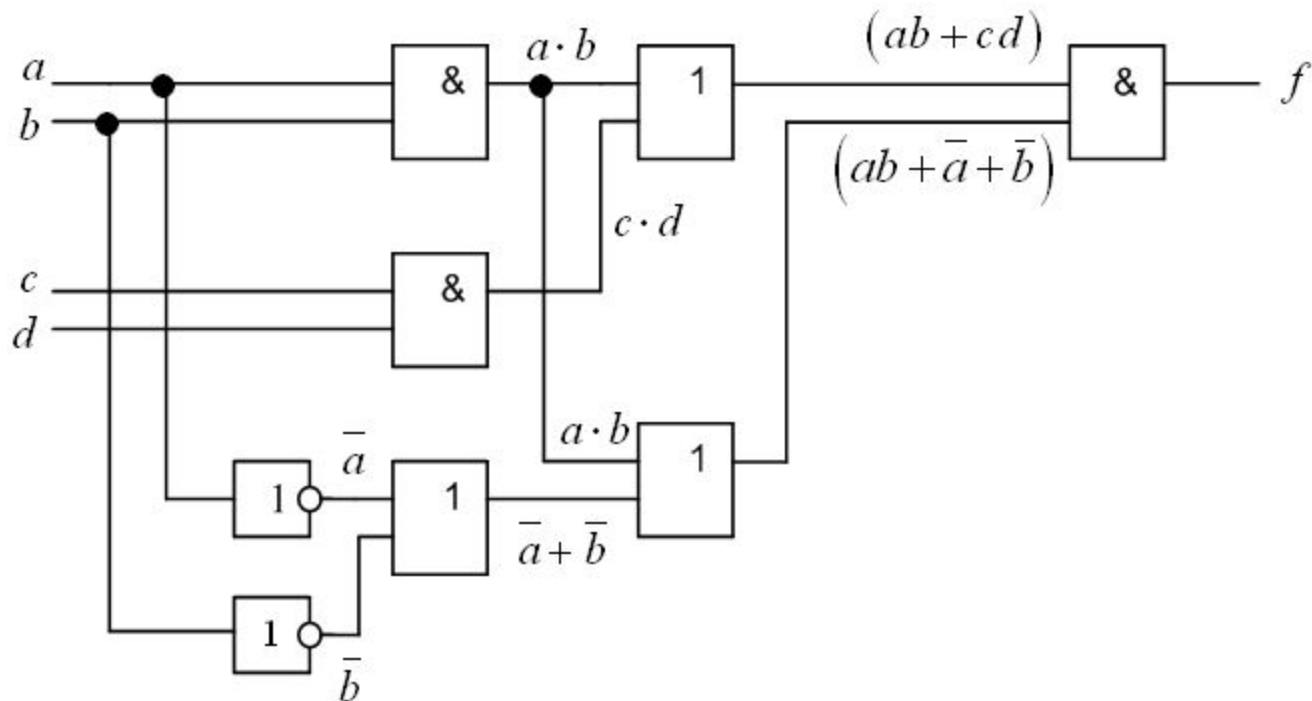
*Ответы для задания 1:* 1.  $f = (ab + cd)(cd + \bar{a} + \bar{b})$ .

2.  $f = (ab + cd)(ab + \bar{a} + \bar{b})$ . 3.  $f = (cb + cd)(ab + \bar{a} + \bar{b})$ .



## Логические элементы.

*Решение задания 1: Найдите булеву функцию  $f$ , реализуемую комбинационной схемой.*



*Правильный ответ на задание 1: 2.  $f = (ab + cd)(ab + \bar{a} + \bar{b})$ .*

## Логические элементы.

**Логический элемент Шеффера** (логический элемент И-НЕ) содержит  $n \geq 2$  входов и один выход и реализует булеву функцию “штрих Шеффера” (логическую

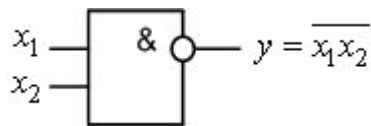
функцию И-НЕ) 
$$y = \overline{\prod_{i=1}^n x_i} = \overline{x_1 x_2 \dots x_n} = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i = \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_n.$$

Когда на все входы элемента Шеффера одновременно поданы сигналы

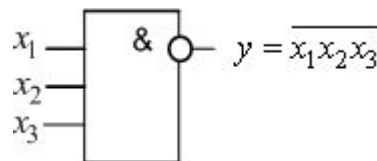
$x_i = 1 (i = \overline{1, n})$ , на его выходе формируется сигнал  $y = 0$ ; если же хотя бы на один из входов подан сигнал  $x_i = 0$ , то на выходе формируется сигнал  $y = 1$



*Логический элемент И-НЕ обладает функциональной полнотой.*



| № | $x_1$ | $x_2$ | $y$ |
|---|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 1   |
| 1 | 0     | 1     | 0   |
| 2 | 1     | 0     | 0   |
| 3 | 1     | 1     | 0   |



| № | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $y$ |
|---|-------|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 0     | 1   |
| 1 | 0     | 0     | 1     | 0   |
| 2 | 0     | 1     | 0     | 0   |
| 3 | 0     | 1     | 1     | 0   |
| 4 | 1     | 0     | 0     | 0   |
| 5 | 1     | 0     | 1     | 0   |
| 6 | 1     | 1     | 0     | 0   |
| 7 | 1     | 1     | 1     | 0   |

## Логические элементы.

**Логический элемент Пирса** (логический элемент ИЛИ-НЕ) содержит  $n \geq 2$  входов и один выход и реализует булеву функцию “стрелка Пирса” (логическую

функцию ИЛИ-НЕ)  $y = \sum_{i=1}^n x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_n = \overline{\prod_{i=1}^n \bar{x}_i} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \dots \cdot \bar{x}_n$ .

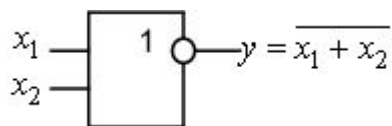
Когда на все входы элемента ИЛИ-НЕ одновременно поданы сигналы

$x_i = 0$  ( $i = \overline{1, n}$ ), на его выходе формируется сигнал  $y = 1$ ; если же хотя бы на

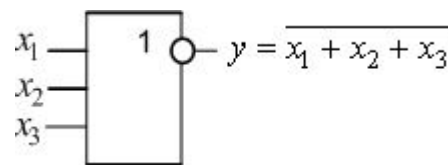
один из входов подан сигнал  $x_i = 1$ , то на выходе формируется сигнал  $y = 0$ .



*Логический элемент ИЛИ-НЕ обладает функциональной полнотой.*



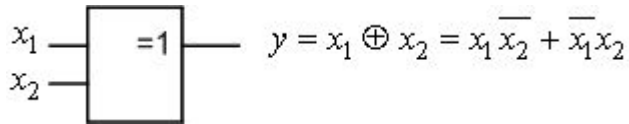
| № | $x_1$ | $x_2$ | $y$ |
|---|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 1   |
| 1 | 0     | 1     | 0   |
| 2 | 1     | 0     | 0   |
| 3 | 1     | 1     | 0   |



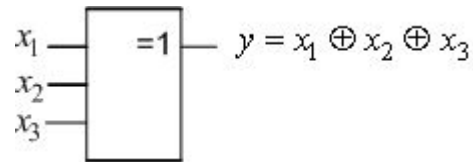
| № | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $y$ |
|---|-------|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 0     | 1   |
| 1 | 0     | 0     | 1     | 0   |
| 2 | 0     | 1     | 0     | 0   |
| 3 | 0     | 1     | 1     | 0   |
| 4 | 1     | 0     | 0     | 0   |
| 5 | 1     | 0     | 1     | 0   |
| 6 | 1     | 1     | 0     | 0   |
| 7 | 1     | 1     | 1     | 0   |

## Логические элементы.

**Логический элемент “исключающее ИЛИ”** содержит  $n \geq 2$  входов и один выход и реализует булеву функцию “исключающее ИЛИ” (сложение по модулю 2)  $y = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_n$ . Выходной сигнал элемента “исключающее ИЛИ” принимает значение  $y = 1$  тогда, когда сигналы  $x_i = 1$  поданы на *нечетное количество входов*.



| № | $x_1$ | $x_2$ | $y$ |
|---|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 0   |
| 1 | 0     | 1     | 1   |
| 2 | 1     | 0     | 1   |
| 3 | 1     | 1     | 0   |



$$\begin{aligned}
 y &= x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 = \\
 &= \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 + \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} + \\
 &+ \overline{x_1} x_2 x_3 + x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} + x_1 \overline{x_2} x_3 + x_1 x_2 \overline{x_3} + x_1 x_2 x_3.
 \end{aligned}$$

| № | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $y$ |
|---|-------|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1 | 0     | 0     | 1     | 1   |
| 2 | 0     | 1     | 0     | 1   |
| 3 | 0     | 1     | 1     | 0   |
| 4 | 1     | 0     | 0     | 1   |
| 5 | 1     | 0     | 1     | 0   |
| 6 | 1     | 1     | 0     | 0   |
| 7 | 1     | 1     | 1     | 1   |

## Логические элементы.

Таблица соответствия и аналитическое выражение булевой функции  
“исключающее ИЛИ” трех переменных:

| № | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $y$ |
|---|-------|-------|-------|-----|
| 0 | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1 | 0     | 0     | 1     | 1   |
| 2 | 0     | 1     | 0     | 1   |
| 3 | 0     | 1     | 1     | 0   |
| 4 | 1     | 0     | 0     | 1   |
| 5 | 1     | 0     | 1     | 0   |
| 6 | 1     | 1     | 0     | 0   |
| 7 | 1     | 1     | 1     | 1   |

$$\begin{aligned}
 y &= x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 = x_1 (\overline{x_2 \oplus x_3}) + \overline{x_1} (x_2 \oplus x_3) = \\
 &= x_1 (\overline{x_2 x_3 + x_2 \overline{x_3}}) + \overline{x_1} (x_2 \overline{x_3} + \overline{x_2} x_3) = \\
 &= x_1 (\overline{x_2 x_3} \cdot \overline{x_2 \overline{x_3}}) + \overline{x_1} (x_2 \overline{x_3} + \overline{x_2} x_3) = \\
 &= x_1 (\overline{x_2} + x_3) (\overline{x_2} + \overline{x_3}) + \overline{x_1} (x_2 \overline{x_3} + \overline{x_2} x_3) = \\
 &= \overline{x_1} \overline{x_2} x_2 + \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} + x_1 \overline{x_2} x_3 + x_1 x_3 \overline{x_3} + \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} + \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 = \\
 &= \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} + x_1 \overline{x_2} x_3 + \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} + \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 = f(1, 2, 4, 7).
 \end{aligned}$$

## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

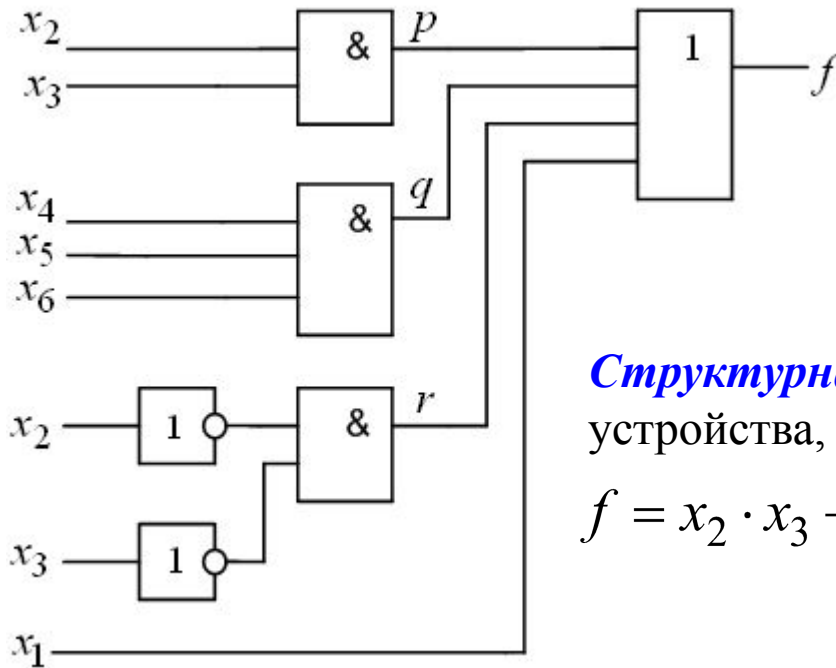
Синтез комбинационного устройства предполагает построение схемы минимальной сложности на основе логических элементов выбранного или заданного базиса по заданному алгоритму его функционирования. Процесс синтеза комбинационных устройств *состоит из двух этапов*:

- *этап структурного (абстрактного) синтеза* заключается в формализованном описании устройства с помощью аппарата булевых функций, их минимизации и построении структурной схемы устройства;
- *схемный синтез* сводится к выбору элементной базы и построению схемы электрической принципиальной.

## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

**Пример 1:** Проектирование комбинационной схемы, реализующей булеву функцию  $f = x_2 \cdot x_3 + x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 + \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + x_1$ .

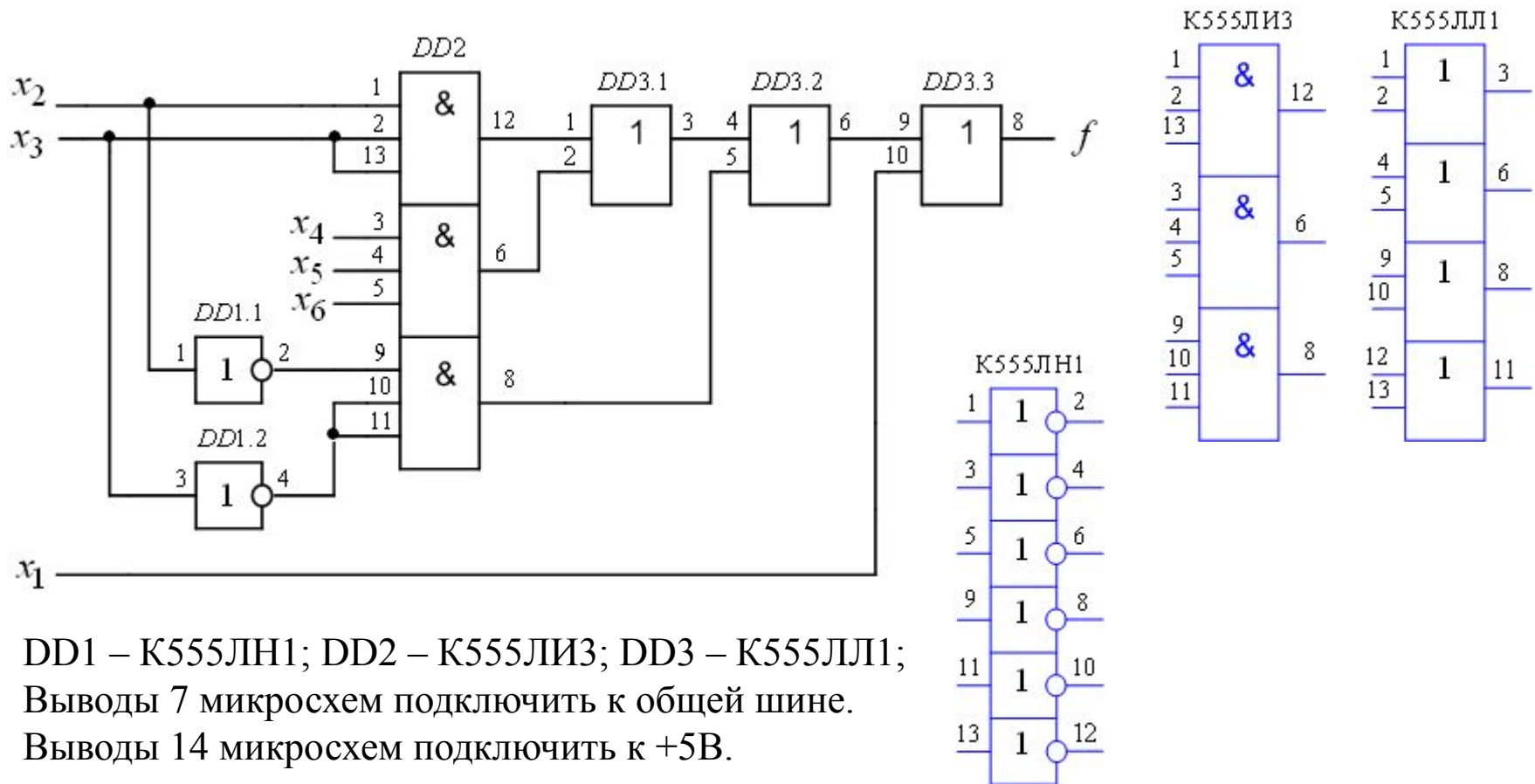
Ход проектирования:  $f = p + q + r + x_1$ , где  $p = x_2 \cdot x_3$ ;  $q = x_4 \cdot x_5 \cdot x_6$ ;  $r = \overline{x_2} \cdot \overline{x_3}$ .



**Структурная схема** комбинационного цифрового устройства, реализующего булеву функцию  $f = x_2 \cdot x_3 + x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 + \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + x_1$ .

## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

*Схема электрическая принципиальная* комбинационного цифрового устройства, реализующего булеву функцию  $f = x_2 \cdot x_3 + x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 + \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + x_1$ .



DD1 – K555ЛН1; DD2 – K555ЛИЗ; DD3 – K555ЛЛ1;

Выводы 7 микросхем подключить к общей шине.

Выводы 14 микросхем подключить к +5В.



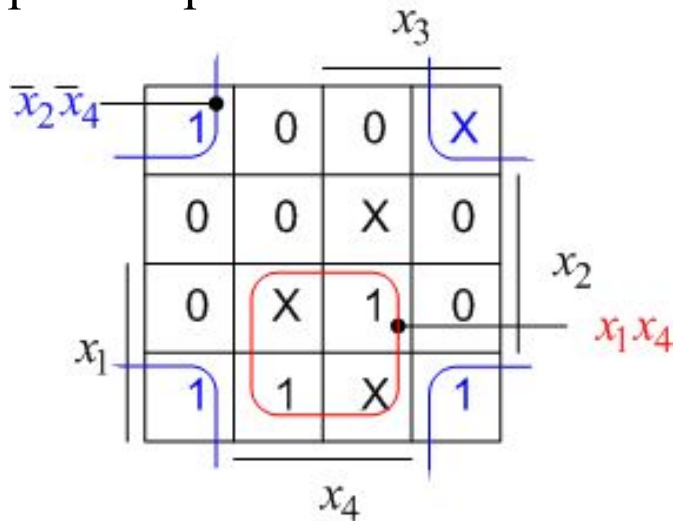
## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

*Для записи булевой функции в минимальной ДНФ используются следующие правила (правила минимизации булевых функций):*

- 1. Выделяются блоки, заполненные единицами.
- 2. Блок должен быть прямоугольным и содержать 1,2,4,8 и т.д. клеток.
- 3. Блоки должны быть возможно большими, а их количество наименьшим.
- 4. Левая и правая, а также верхняя и нижняя строки карты Карно считаются соседними.
- 5. Одна и та же клетка может входить в несколько блоков.
- 6. Функция может доопределяться произвольно, чтобы получить наиболее крупные блоки.
- 7. Функция записывается в виде логической суммы логических произведений описывающих выделенные блоки;
- 7.1. Переменная не включается в логическое произведение, если блок областью ее прямых значений делится пополам.
- 7.2. Переменная включается в логическое произведение с инверсией или без инверсии в зависимости от того, в какой области (инверсных или прямых значений) лежит рассматриваемый блок.
- 8. Группировка в блоки клеток, заполненных нулями, и использование пунктов 1 ÷ 7 правил дает инверсное значение функции.

## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

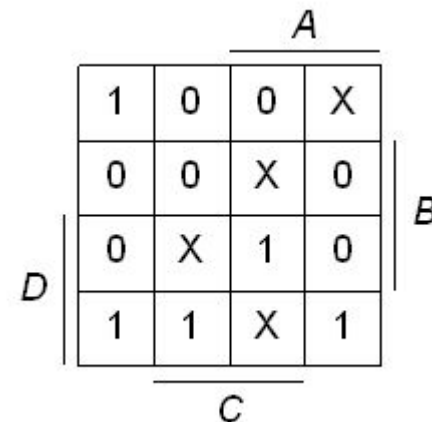
**Пример 2:** Минимизация булевой функции  $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ , заданной картой Карно:



Минимизированное выражение булевой функции, заданной картой Карно:

$$f = \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_4 + x_1 \cdot x_4.$$

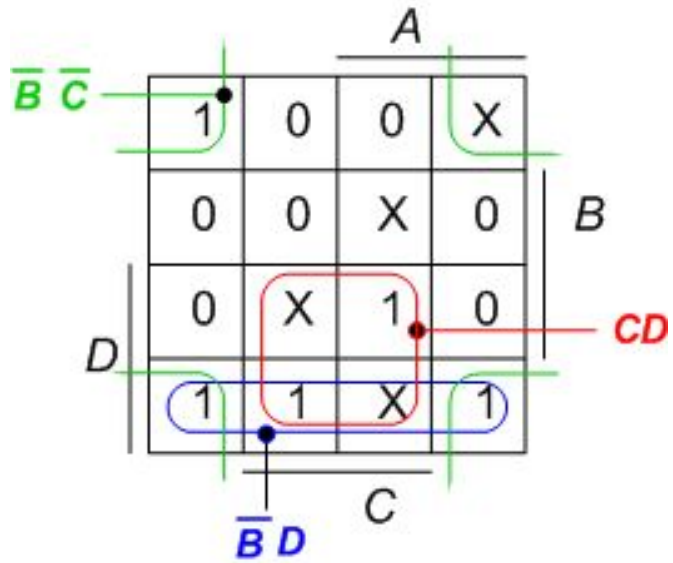
**Пример 3:** Минимизация булевой функции по карте Карно .



## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

Решение примера 3:

Минимизация прямого значения булевой функции по карте Карно:



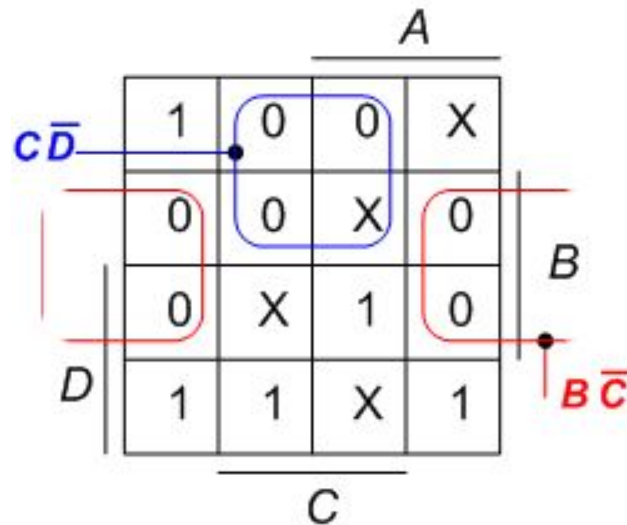
Минимизированное выражение прямого значения булевой функции:

$$f = \overline{B} \overline{C} + \overline{B} D + CD$$

## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

Решение примера 3 (продолжение):

Минимизация **инверсного значения** булевой функции по карте Карно:



Минимизированное выражение инверсного значения булевой функции:

$$f = \overline{B\bar{C}} + \overline{C\bar{D}}$$

## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

*Решение примера 3 (продолжение):* Анализ прямого и инверсного значений булевой функции с целью реализации:

$f = \bar{B}\bar{C} + \bar{B}D + CD$ : Для реализации прямого значения булевой функции требуется **два** логических элемента НЕ, **три** логических элемента И с двумя входами, а также **один** логический элемент ИЛИ с тремя входами. Итого **шесть** логических элементов.

$f = \overline{BC + CD}$ : Для реализации инверсного значения булевой функции требуется **два** логических элемента НЕ, **два** логически элемента И с двумя входами, а также **один** логический элемент ИЛИ-НЕ с двумя входами. Итого **пять** логических элементов.

## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

**Пример 4:** Синтез преобразователя двоичного числа в код «2 из 5».

В названии выходного кода отражена его структура: код состоит из пяти разрядов, причем, в каждом пятизначном числе содержится две единицы и три нуля. Например, 11000, 10010, 00110 и другие. Всего существует 10 таких кодов, следовательно,  $N < 10$ , где  $N$  – входное четырехразрядное двоичное число.



## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

*Синтез преобразователя двоичного числа в код «2 из 5» (продолжение).*

| $N_2$ | $a$ | $b$ | $c$ | $d$ | $f_1$ | $f_2$ | $f_3$ | $f_4$ | $f_5$ |    |
|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 0     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 3  |
| 1     | 0   | 0   | 0   | 1   | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 5  |
| 2     | 0   | 0   | 1   | 0   | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 6  |
| 3     | 0   | 0   | 1   | 1   | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 9  |
| 4     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 10 |
| 5     | 0   | 1   | 0   | 1   | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 12 |
| 6     | 0   | 1   | 1   | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 17 |
| 7     | 0   | 1   | 1   | 1   | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 18 |
| 8     | 1   | 0   | 0   | 0   | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 20 |
| 9     | 1   | 0   | 0   | 1   | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 24 |

*Таблица соответствия преобразователя двоичного числа в код «2 из 5»*

В левой части таблицы соответствия перечислены 10 входных двоичных чисел.

В правой части указаны коды «2 из 5», расположенные в порядке возрастания, если их рассматривать как обычные двоичные числа (*В общем случае между входными двоичными числами и выходными кодами «2 из 5» может быть установлено любое соответствие.*

*В таблице указано одно из них).*

Поскольку кодов «2 из 5» всего 10, то шесть входных двоичных чисел являются неиспользуемыми. При минимизации состояния 10,11,12,13,14,15 можно рассматривать как неопределенные.

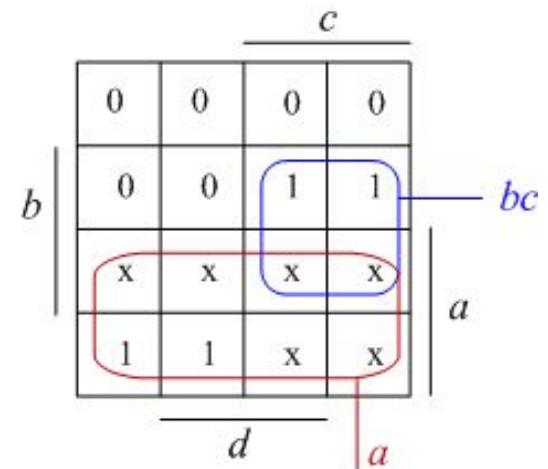
## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

Синтез преобразователя двоичного числа в код «2 из 5» (продолжение).

Минимизация функции  $f_1$  :

|     |    |    |    |     |     |   |   |  |  |
|-----|----|----|----|-----|-----|---|---|--|--|
|     |    |    |    | $c$ |     |   |   |  |  |
|     |    |    |    | 0   | 1   | 3 | 2 |  |  |
| $b$ | 4  | 5  | 7  | 6   |     |   |   |  |  |
|     | 12 | 13 | 15 | 14  |     |   |   |  |  |
|     | 8  | 9  | 11 | 10  |     |   |   |  |  |
|     |    |    |    |     | $d$ |   |   |  |  |

| № | a | b | c | d | f <sub>1</sub> |
|---|---|---|---|---|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0              |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0              |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0              |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0              |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0              |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0              |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1              |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1              |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1              |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1              |



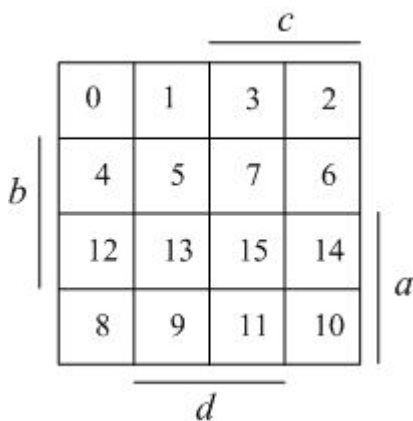
Минимизированное выражение булевой функции  $f_1 = a + bc$ .



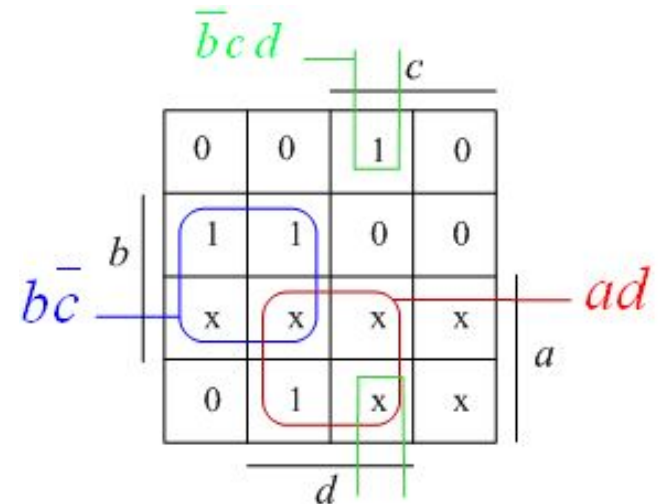
## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

Синтез преобразователя двоичного числа в код «2 из 5» (продолжение).

Минимизация функции  $f_2$ :



| $\text{№}$ | $a$ | $b$ | $c$ | $d$ | $f_2$ |
|------------|-----|-----|-----|-----|-------|
| 0          | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     |
| 1          | 0   | 0   | 0   | 1   | 0     |
| 2          | 0   | 0   | 1   | 0   | 0     |
| 3          | 0   | 0   | 1   | 1   | 1     |
| 4          | 0   | 1   | 0   | 0   | 1     |
| 5          | 0   | 1   | 0   | 1   | 1     |
| 6          | 0   | 1   | 1   | 0   | 0     |
| 7          | 0   | 1   | 1   | 1   | 0     |
| 8          | 1   | 0   | 0   | 0   | 0     |
| 9          | 1   | 0   | 0   | 1   | 1     |



Минимизированное выражение булевой функции

$$f_2 = ad + b\bar{c} + \bar{b}cd.$$

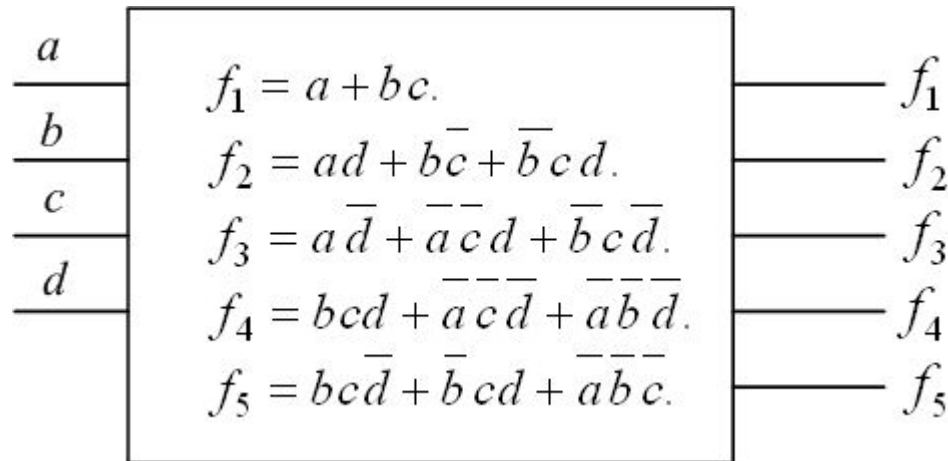
## Методика синтеза комбинационных цифровых устройств.

*Синтез преобразователя двоичного числа в код «2 из 5» (продолжение).*

Минимизированное выражение булевой функции  $f_3 = a\bar{d} + \bar{a}\bar{c}d + \bar{b}c\bar{d}$ .

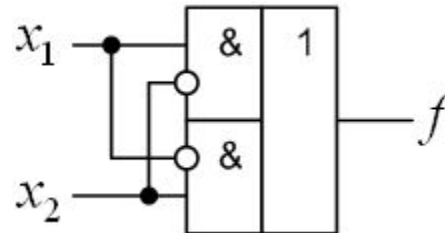
Минимизированное выражение булевой функции  $f_4 = bcd + \bar{a}\bar{c}\bar{d} + \bar{a}\bar{b}\bar{d}$ .

Минимизированное выражение булевой функции  $f_5 = bc\bar{d} + \bar{b}cd + \bar{a}\bar{b}\bar{c}$ .

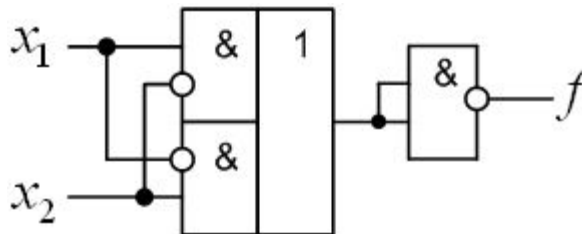


## Вопросы для самоконтроля

1. Определить булеву функцию, реализуемую цифровой комбинационной схемой.



2. Определить булеву функцию, реализуемую цифровой комбинационной схемой.

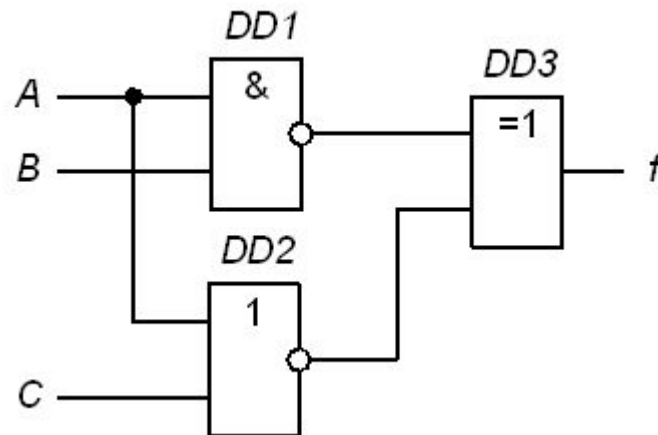


## Вопросы для самоконтроля

3. Минимизировать булеву функцию по карте Карно.

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
|   | A |   |   |   |   |
|   | 0 | 1 | 0 | 0 |   |
|   | 0 | 0 | 0 | 0 | B |
| D | 1 | 1 | 1 | 0 |   |
|   | 1 | 1 | 0 | 0 |   |
|   | C |   |   |   |   |

4. Определите минимизированное выражение булевой функции, реализуемой комбинационной схемой



## Вопросы для самоконтроля

5. Определите комбинационное цифровое устройство, на выходе которого формируется сигнал, соответствующий заданной временной диаграмме.

