

3.12. Принципы технологий на основе ПЛИС

✓ ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы).

- Исходный специальный чип не является завершенным устройством, не задает конкретные логические преобразования над входными цифровыми сигналами.
 - Для получения требуемого устройства требуется процедура "программирования", устанавливающая проводящие/непроводящие связи в системе проводников внутри чипа.
- ! *Иначе:* основная часть ИС унифицирована (массовая), уникальной (под конкретную задачу) делается часть системы соединений элементов.

! Развитие ПЛИС тесно связано с развитием технологий ПЗУ (программируемых и перепрограммируемых).

! При рассмотрении ПЛИС подразумевается разделение создателей ЦЭУ на условные категории:

Производители

(подразумеваются производители чипов)



Пользователи

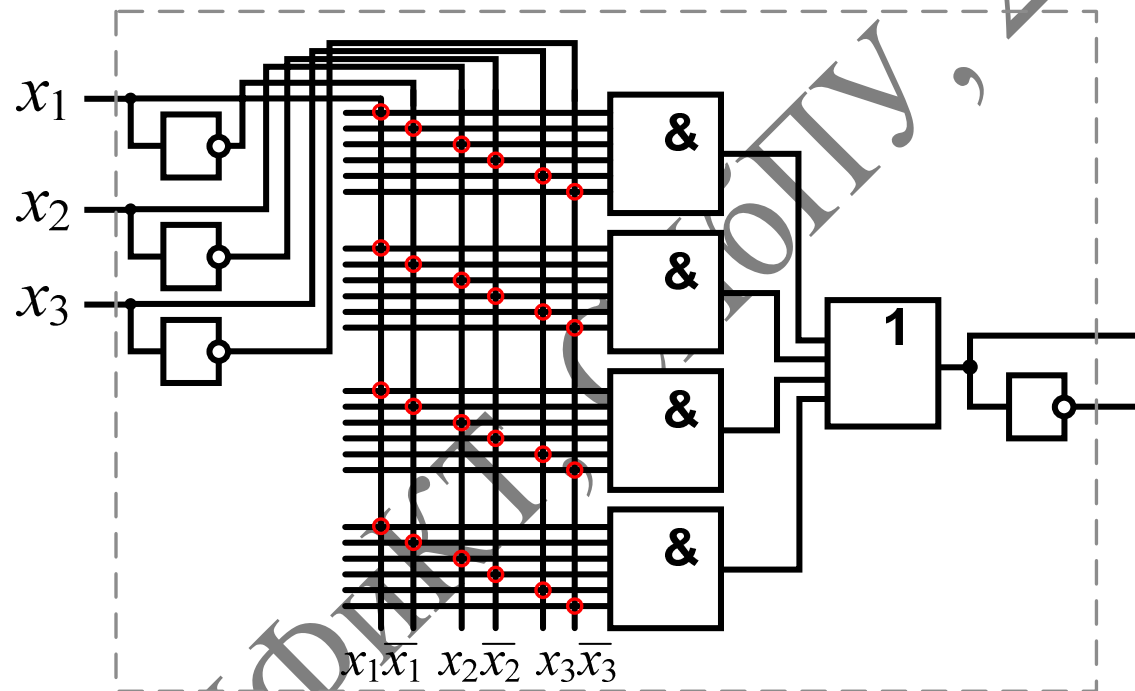
(разработчики и изготовители конечных ЦЭУ из готовых чипов, а не те, кто использует ЦЭУ)



✓ Идея технологии ПЛМ (начальный этап развития ПЛИС):

Формирование ЛФ на основе СДНФ или суммы минтермов (раздел 2, п. 2.4).

Пример: функция трех аргументов $f(x_1, x_2, x_3)$. Минтерм имеет структуру $x_1^{\sigma_1} \cdot x_2^{\sigma_2} \cdot x_3^{\sigma_3}$.



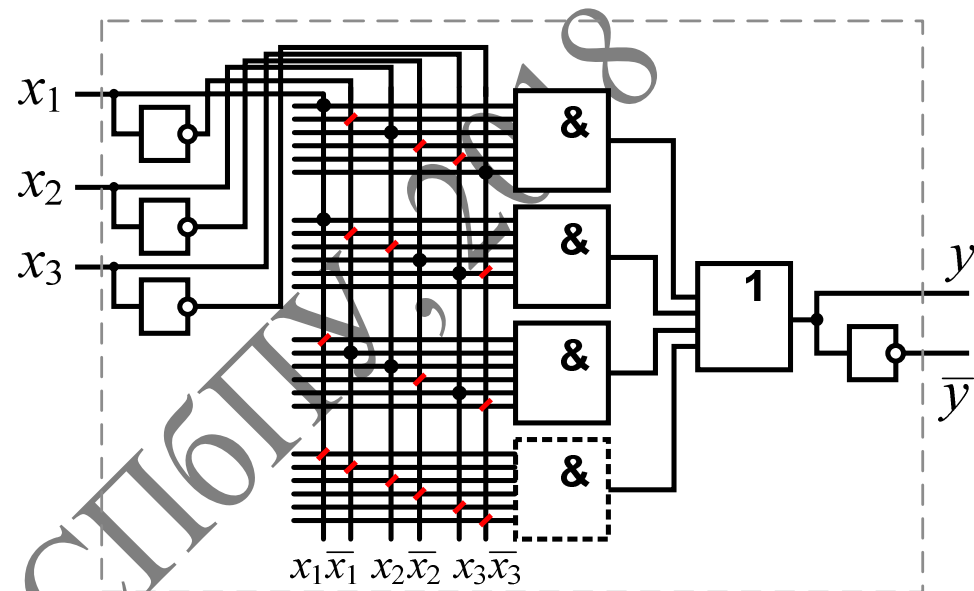
- Логическая структура схемы задается в виде суммы минтермов. Достаточно $N/2 = 2^{n-1}$ минтермов (см. раздел 2.4), здесь $n=3 \rightarrow 4$ элемента И и 1 элемент ИЛИ).
- Конкретный вид минтермов (конкретная ЛФ) определяется наличием/отсутствием контакта для прямого или инверсного проводника аргумента.

! Могут быть неиспользуемые перемножители (обычно отключаются от питания).

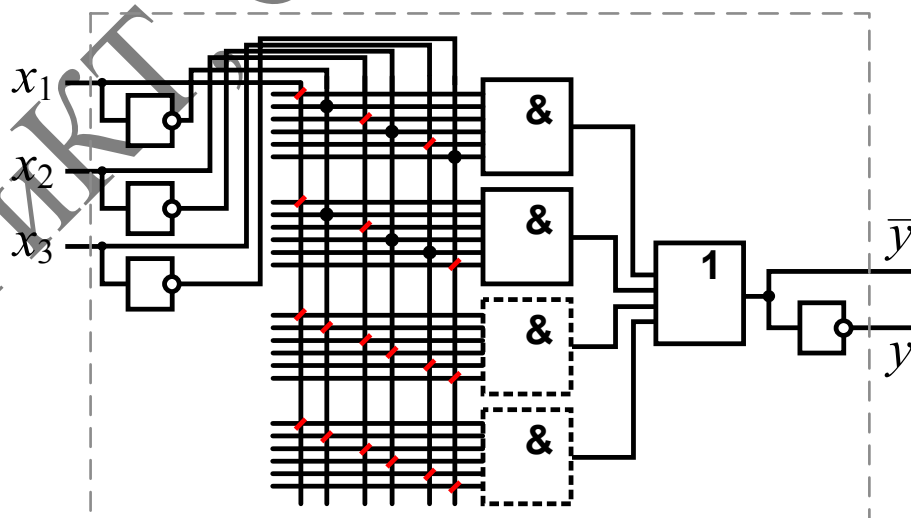
Примеры:

x_3	x_2	x_1	y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

$$f(x_1, x_2, x_3) = \overline{x_3} \cdot x_2 \cdot x_1 + x_3 \cdot \overline{x_2} \cdot x_1 + x_3 \cdot x_2 \cdot \overline{x_1}.$$

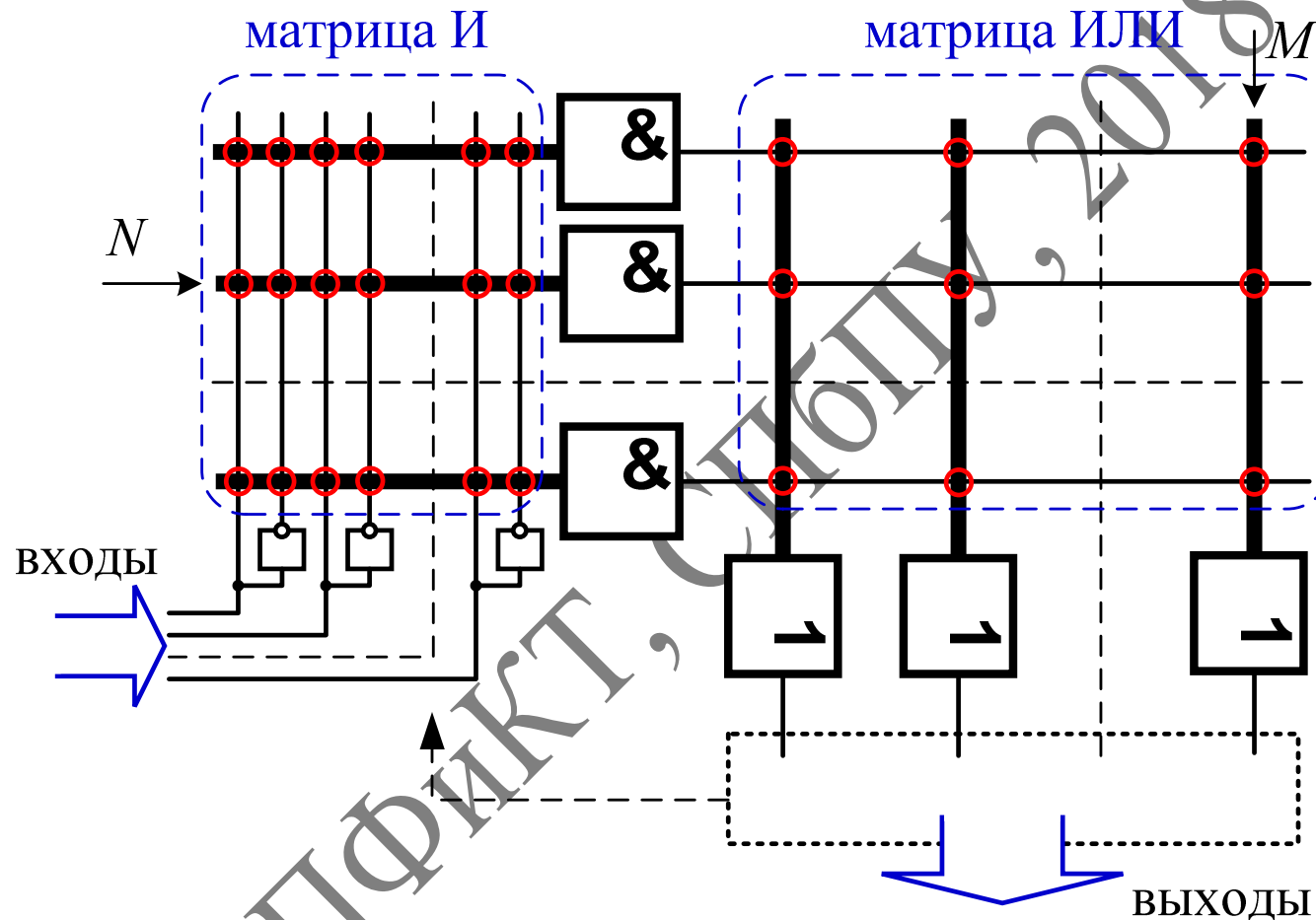


x_3	x_2	x_1	y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1



$$\overline{f(x_1, x_2, x_3)} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + x_3 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_1}; \quad f(x_1, x_2, x_3) = \overline{\overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + x_3 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_1}}.$$

✓ Сложные системы на основе программируемой матричной логики



- Система программируемых соединений по входам перемножителей – **матрица И** (И-матрица).
- Набор сумматоров и система программируемых соединений по входам сумматоров – **матрица ИЛИ** (ИЛИ-матрица).
- Полные/частичные наборы сигналов на входах элементов И.
- Полные/частичные наборы подключений к входам элементов ИЛИ.

- Дополнительные цепи преобразования выходных/входных сигналов (м.б. триггеры, регистры [элементы последовательностной схемотехники]), подачу сигналов с выхода схемы в шины матрицы И.

→ Можно дополнительно преобразовать выходные сигналы сумматоров.

→ Можно организовать последовательный ввод/вывод данных и алгоритмы автоматов с памятью.

ИТОГО:

Создание определенной системы замыканий/размыканий проводников в матрицах соединений → создание наборов сложных ЛФ над многоразрядными входными данными (+ регулирование формата ввода/вывода этих данных).

✓ Разные подходы к конфигурации ПЛИС чипов

- 1) Программируемая матрица И + программируемая матрица ИЛИ
- 2) Программируемая матрица И + фиксированная матрица ИЛИ
- 3) Фиксированная матрица И + программируемая матрица ИЛИ

! Для систем с частично программируемыми матрицами 2 и 3 иногда выделяют наименования:

– ПМЛ (программируемая матричная логика).

– ППЗУ (программируемые постоянные запоминающие устройства)

и др.

✓ Появление и развитие технологии ПЛИС

а) *Исходное формирование технологии*

Идеология ПЛМ с однократной прошивкой, ориентирована на производителя чипов для ЦЭУ – **"ПЛИС, программируемые производителем"** (под конкретный заказ).

Ниша относительно небольших серий (единицы – десятки тысяч штук) чипов для разных специфичных и относительно сложных логических преобразований (под заказ "пользователя").

<u>Пользователь:</u>	<u>Производитель ИМС:</u>
<ul style="list-style-type: none">ЦЭУ на основе типовых чипов логики – сложно (+ ↑ габариты, ↓быстродействие, ↑стоимость);микропроцессорное система – сложно и дорого, м.б. "плоха" по параметрам (прежде всего, по быстродействию). <p>! Желателен чип ЦЭУ.</p>	<p>Организация полного цикла производства единого чипа с требуемой пользователю схемой – дорого и долго (разработка не окупится).</p>

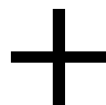


! Альтернатива (для производителей) – технологии ПЛИС.

- Базовый чип ПЛИС (на основе ПЛМ) – унифицированный полуфабрикат, производится по отработанной технологии большим тиражом (окупаемость).
- Ограниченные партии специализированных чипов под заказ: базовая ПЛИС + "финальная" стадия производства (прожиг/прошивка), задающая свойства конечного чипа для пользователя.



(массово)



(индивидуально)

- Методы программирования исходно однократные, требующие специального оборудования и производственных условий (с непосредственным доступом к кристаллу и т.п.), специальных инженерных компетенций для разработки системы внутренних коммутаций.

ИТОГО: Габариты как у единого чипа (другие параметры близки), итоговая стоимость приемлемая (вместо дорогой и долгой разработки технологии производства уникальной ИС массовое производство исходной ПЛИС + относительно дешевый и достаточно быстрый процесс программирования соединений).

б) Развитие технологии.

Совершенствование как все более сложных чипов ПЛИС, так методов программирования (с преобладанием методов многократного программирования).

- Усложнение структуры и внутреннего объема ПЛИС. Не И-матрица, ИЛИ-матрица, а сложные структуры с большим количеством различных логических блоков и сложной системой контактных проводников между этими блоками (с программируемой системой замыкания/размыкания в этих контактах)



- Развитие аппаратуры программирования, его доступности (относительно простые, доступные и максимально унифицированные аппаратные средства, работающие с ПК + ПО, выбирающего оптимальные внутренние коммутации по описанию требуемых преобразований на языках высокого уровня).

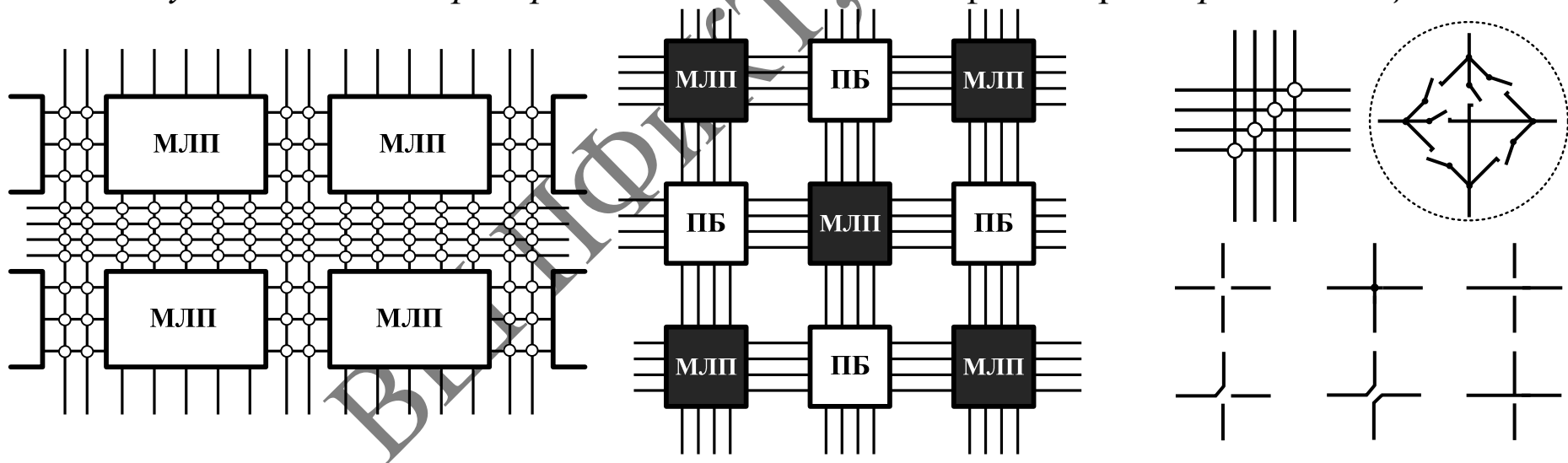


в) Трансформация направленности технологии:

тренд в направлении "ПЛИС программируемые пользователем". Производитель серийно выпускает незапрограммированные ПЛИС. Программирование и формирование конечного ЦЭУ делает пользователь.

В таком подходе ПЛИС позиционируется как разновидность типового унифицированного (базового) элемента создания ЦЭУ.

- Очень сложные архитектуры, содержащие сложные блоки/модули с определенной иерархией назначений (ввод/вывод данных, преобразования, коммутация, память).
- Внутри блоков – системы логических модулей. Иногда фиксированных (ЛВ, МUX, ПЗУ), иногда на базе ПЛИМ/ПМЛ).
- Модули логических преобразований соединены сложными системами шлейфов проводников со сложными пересечениями и системами программируемых соединений в части точек пересечения. Либо модули логических преобразований связаны шлейфами через переключающие блоки.



- Модули программируемых соединений (FPIC – Field Programmable Interconnect Circuits). Для объединения системы готовых чипов в единую плату сложного устройства.
NOT! Вместо разработки и изготовления жесткой платы с ИС (и ПЛИС).
YES ! Установка чипов в модуль + программирование связей
(+ возможность перепрограммирования).
-

✓ Современные системы ПЛИС:

- Очень высокий уровень сложности схем (в одном кристалле).
- Высокая сложность и скорость логических преобразований цифровых данных.
- Мощные возможности быстрого перепрограммирования (прямо в процессе функционирования).

! Альтернатива или мощное дополнение микропроцессорным системам.

! Проблема оценки параметров (по сложности реализуемых преобразований).
Приведение к числу эквивалентных логических вентилей (2И-НЕ). Уже сейчас до миллионов эквивалентных вентилей.

! Технологии периферийного сканирования для решения проблемы поиска сбоев.

Физические принципы программирования связей

- ✓ Начальный этап развития – *однократно* программируемые соединения (производитель).
 - На финальном этапе производства изготовление унифицированной "базовой" части дополняется операцией нанесения уникального набора перемычек в систему проводников матрицы связей (посредством специальных фотошаблонов и др. технологических приемов).
 - Распространенный способ "прожиг" (последующее изменение невозможно).
 - а) "пережигание" проводящих перемычек: исходно "замыкание", при программировании – разрушение перемычки (размыкание).
 - б) Пробой в специальной многослойной полупроводниковой структуре с образованием канала высокой проводимости: исходно канал разомкнут, при программировании – пробой и замыкание связи в узле.
 - Ключ на основе полевых транзисторов, проводимость задает заряд изолированного затвора (может сохраняться 10-ки лет). При программировании формируются заряженные/разряженные затворы.
- ! Получили распространение термины "прошивка", "прожиг".

- ✓ Последующие этапы развития – *многократно* программируемые соединения (производитель или пользователь).
- Ключ на основе полевых транзисторов, проводимость задает заряд изолированного затвора (может сохраняться 10-ки лет).
 - а) При программировании формируются заряженные/разряженные затворы. Возможно стирание за счет облучения ультрафиолетом для последующего перепрограммирования.
 - б) Системы с возможностью программирования/стирания за счет специальных электрических импульсов.

Терминология и аббревиатуры

! На возникновение, формирование, распространение терминологии и аббревиатур влияла система сложных условий:

- Этапы развития ПЛИС и направления развития ПЛМ (развивались стремительно и продолжают быстро развиваться).
- Бренды фирм разработчиков-производителей ПЛИС (+ их обобщения).
- Учет как особенностей структуры ПЛИС, так и применяемых технологий программирования.
- Неоднозначность иерархии разработанных устройств и неоднозначность возможной их классификации.
- В отечественной терминологии + дополнительная неоднозначность переводной терминологии.

! ИТОГО:

Несмотря на широкое распространение применения технологий ПЛИС в литературе и описаниях имеет место **неоднозначная, неустойчивая** и пока еще **нестабильная** система классификации и наименований в области ПЛИС.



Базовые кристаллы. Базовые матричные кристаллы. Вентильные матрицы – Gate Array (GA).
Базовые ячейки. Функциональные ячейки.

PLD (Programmable logical device) – программируемые логические устройства.

Иногда относят только к т.н. устройствам матричной логики (ПЛМ, ПМЛ, ППЗУ), иногда ко всем ПЛИС

ПЛМ программируемая логическая матрица и устройства на этой основе.

Иногда отдельно выделяется ПМЛ - программируемая матричная логика (программируемая матрица И) и ППЗУ – программируемые постоянные запоминающие устройства (программируемая матрица ИЛИ).

ПМЛ: PAL (Programmable Array Logic) – программируемые логические матрицы
GAL (Generic Array Logic) – логика на базовых матричных кристаллах

FPLA (Field Programming Logic Array) – программируемые пользователем логические матрицы

PROM (Programmable Read Only Memories) – ППЗУ.

SOC (System On Chip) // системы на кристалле

семейство CPLD (Complex Programmable Logic Devices) – Сложные программируемые логические устройства.

семейство FPGA (Field Programmable Gate Array) – программируемая пользователем вентильные матрицы

