Организация ЭВМ и вычислительных систем

Лекции 3–5. Архитектура вычислительных машин

П. А. Макаров





29 сентября, 13 и 27 октября 2026 г.

Содержание

1. Многоуровневая организация

2. Классы вычислительных машин

3. Базовые представления о структуре и архитектуре ВМ

4. Структурная организация ВМ

5. Вычислительные системы и суперкомпьютеры

6. Контрольные вопросы и задания

Многоуровневая организация

Уровни организации компьютерной архитектуры

5. Язык высокого уровня.
4. Уровень языка ассемблера.
3. Уровень операционной системы.
2. Уровень архитектуры системы команд.
1. Микроархитектурный уровень.
0. Цифровой логический уровень.
-1. Уровень физических устройств.

Рис. 1: Многоуровневая организация компьютерной архитектуры

Многоуровневая организация

Цифровой логический уровень

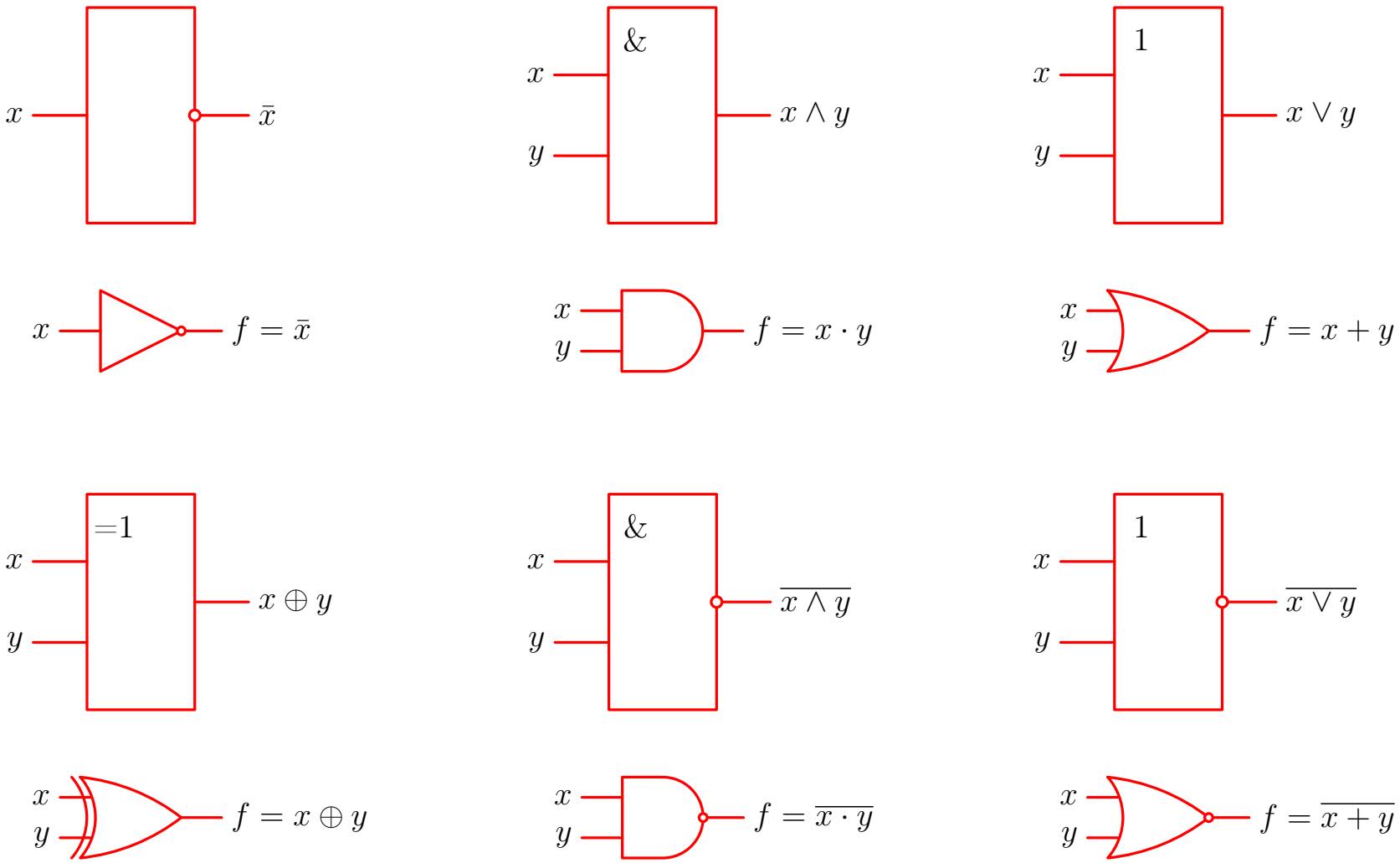


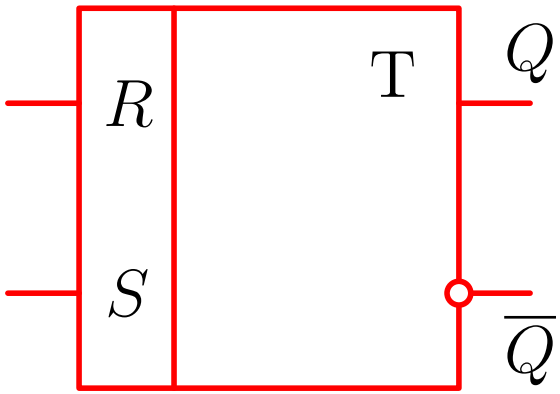
Рис. 2: Схемные обозначения некоторых вентилей

x	$\bar{x}$
0	1
1	0

Таблица 1: Таблица истинности вентиля NOT

x	y	Конъюнкция $x \wedge y, \&, \cdot$ `AND x, y`	Дизъюнкция $x \vee y, \|, +$ `OR x, y`	Исключение $x \oplus y$ `XOR x, y`	Импликация $x \to y$
0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	1
1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	0	1

Таблица 2: Основные бинарные логические операции



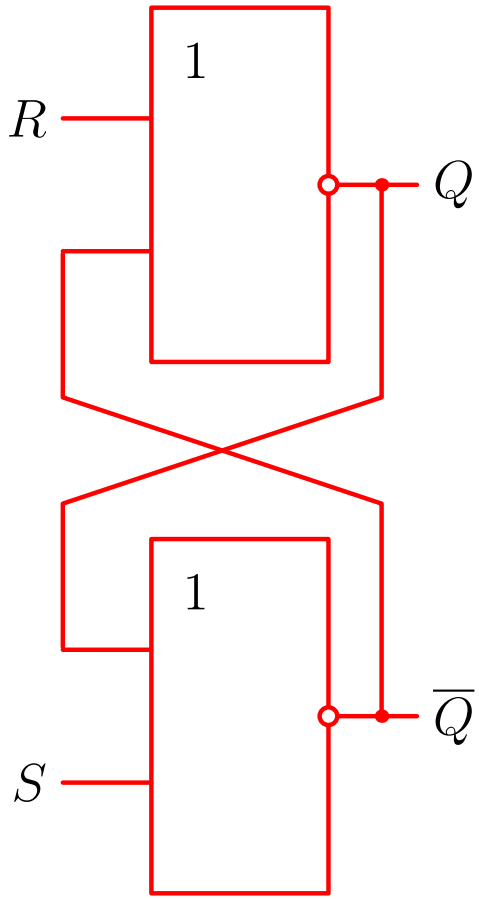


Рис. 3: Обозначение RS-триггера и его реализация в базисе ИЛИ-НЕ

$$\boxed{\text{ВМ} = \text{регистровая память} + \text{АЛУ}}$$

Регистры и АЛУ формируют **тракт данных,** работа которого может контролироваться как аппаратно (т. е. непосредственно самим устройством), так и программно (при помощи т. н. микропрограмм).

Многоуровневая организация

Микроархитектурный уровень

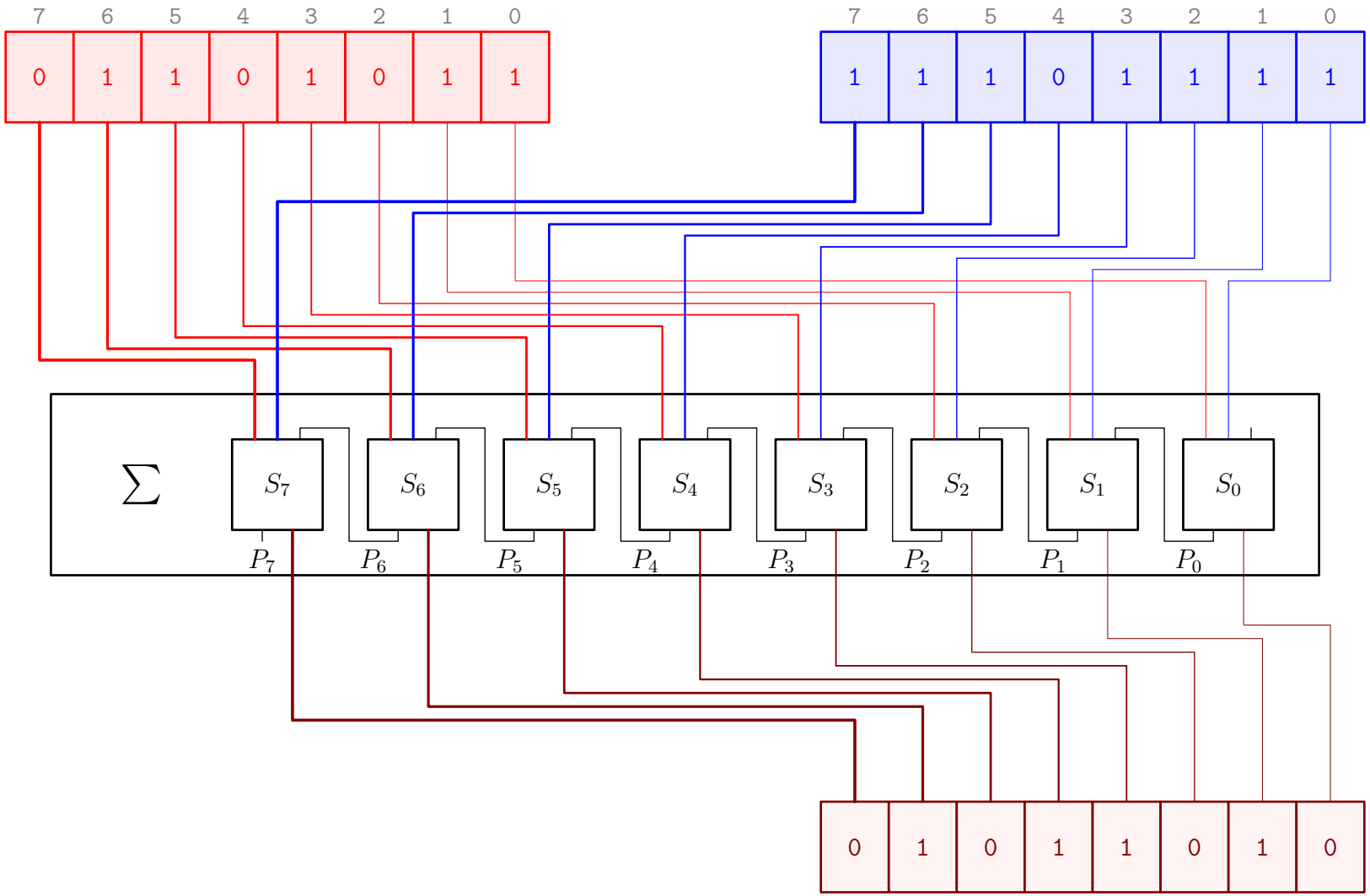


Рис. 4: Тракт данных из трёх регистров и сумматора

Многоуровневая организация

Уровни архитектуры команд, ОС и языков программирования

- ВМ — целостная система, организованная определённым образом и полноценно доступная программисту. Одна из самых распространённых архитектур ВМ в настоящее время является развитием архитектуры IBM PC, но существуют и другие.

Многоуровневая организация

Уровни архитектуры команд, ОС и языков программирования

- ВМ — целостная система, организованная определённым образом и полноценно доступная программисту. Одна из самых распространённых архитектур ВМ в настоящее время является развитием архитектуры IBM PC, но существуют и другие.
- Уровень ОС является гибридным, т. к. для него характерны как команды, исполняемые аппаратным обеспечением, так и интерпретируемые ОС.

Многоуровневая организация

Уровни архитектуры команд, ОС и языков программирования

- ВМ — целостная система, организованная определённым образом и полноценно доступная программисту. Одна из самых распространённых архитектур ВМ в настоящее время является развитием архитектуры IBM PC, но существуют и другие.
- Уровень ОС является гибридным, т. к. для него характерны как команды, исполняемые аппаратным обеспечением, так и интерпретируемые ОС.
- Уровень 4 представляет собой символическую форму одного из языков более низкого уровня. Программа, написанная на этом уровне транслируется в более низкоуровневую при помощи ассемблера.

Многоуровневая организация

Уровни архитектуры команд, ОС и языков программирования

- ВМ — целостная система, организованная определённым образом и полноценно доступная программисту. Одна из самых распространённых архитектур ВМ в настоящее время является развитием архитектуры IBM PC, но существуют и другие.
- Уровень ОС является гибридным, т. к. для него характерны как команды, исполняемые аппаратным обеспечением, так и интерпретируемые ОС.
- Уровень 4 представляет собой символическую форму одного из языков более низкого уровня. Программа, написанная на этом уровне транслируется в более низкоуровневую при помощи ассемблера.
- Уровень 5 представлен языками, разработанными для прикладных программистов.

Классы вычислительных машин

Подходы к классификации ВМ

- Физический способ представления информации.
- Поколение ВМ.
- Назначение ВМ.
  - Вычислительные системы.
  - Системы обработки данных.
  - Управляющие компьютеры.
- Способ организации вычислительного процесса.
- Область применения.

Классы вычислительных машин

Характеристики ВМ

- Быстродействие.
- Производительность.
- Разрядность машинного слова.
- Максимально возможный размер адресного пространства.
- Система команд.
- Типы адресации.
- Тип интерфейса связи ядра ВМ с периферией.
- Надёжность.
- Стоимость.
- Потребляемая мощность.

Классы вычислительных машин

Поколения вычислительных машин

Параметр	Поколение I	II	III	IV	V
Цель	научно-технические расчёты	технические и экономические расчёты	управление и экономические расчёты	управление и доступ к информации	телекоммуникации, информационное обслуживание
Режим работы	одно-программный	пакетная обработка	разделение времени	персональная работа	сетевая обработка
Интеграция данных	низкая	средняя	высокая	очень высокая	сверх-высокая
Тип пользователя	инженеры-программисты	профессиональные программисты	программисты	пользователи с общей подготовкой	малообученные пользователи
Расположение пользователя	машинный зал	отдельное помещение	терминальный зал	рабочий стол	произвольное мобильное

Таблица 3: Этапы развития компьютеров

Классы вычислительных машин

I поколение



Рис. 5: Примеры электровакуумных ламп производства СССР

Классы вычислительных машин

I поколение

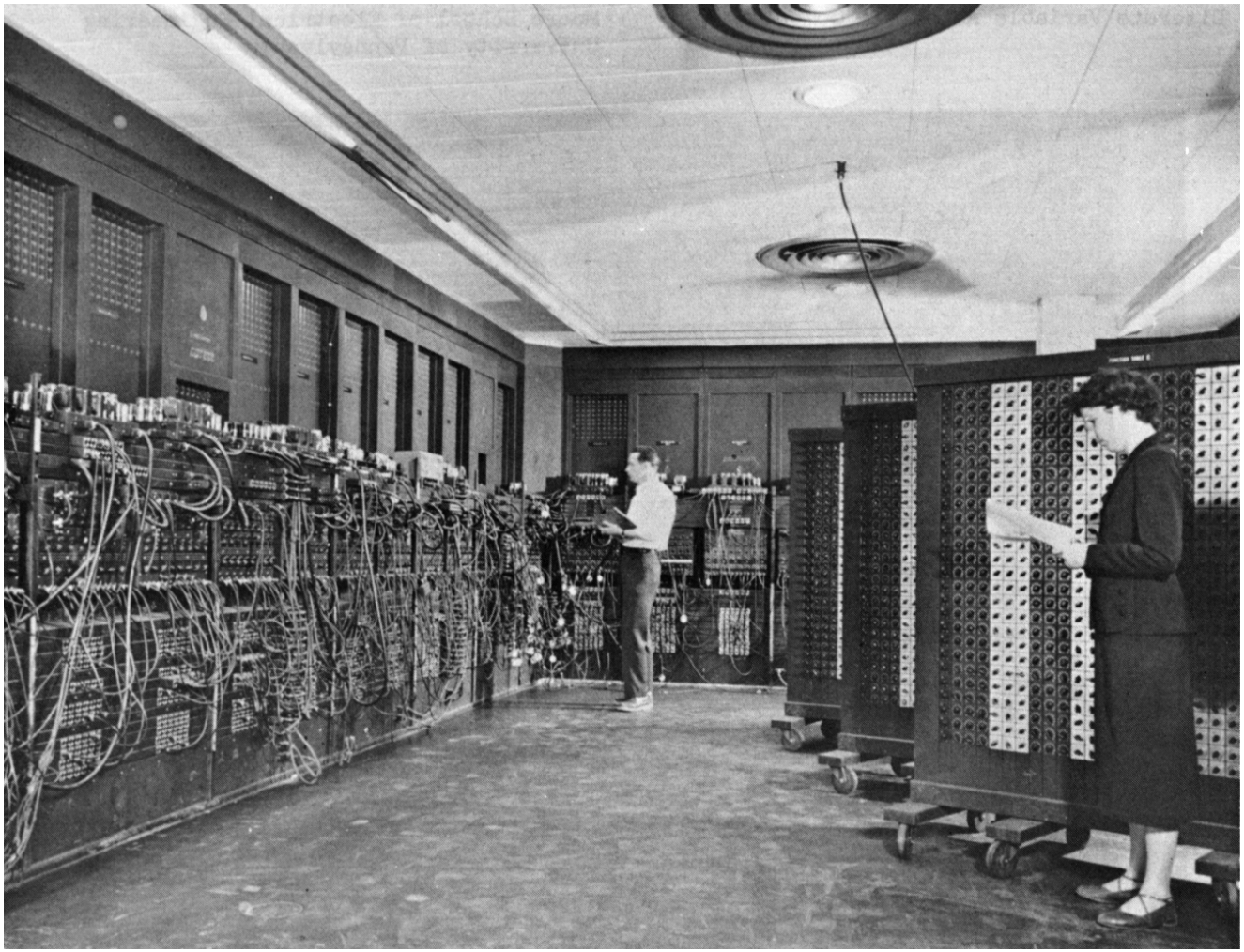
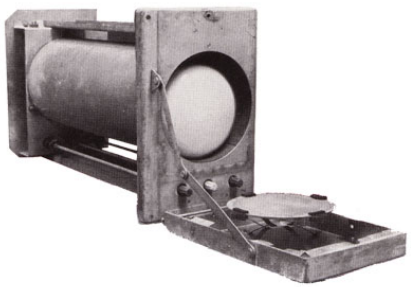
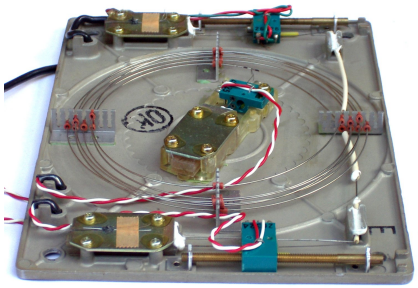


Рис. 6: Глен Бэк и Бэтти Снайдер программируют машину ENIAC — Electronic Numerical Integrator and Computer

Классы вычислительных машин

I поколение





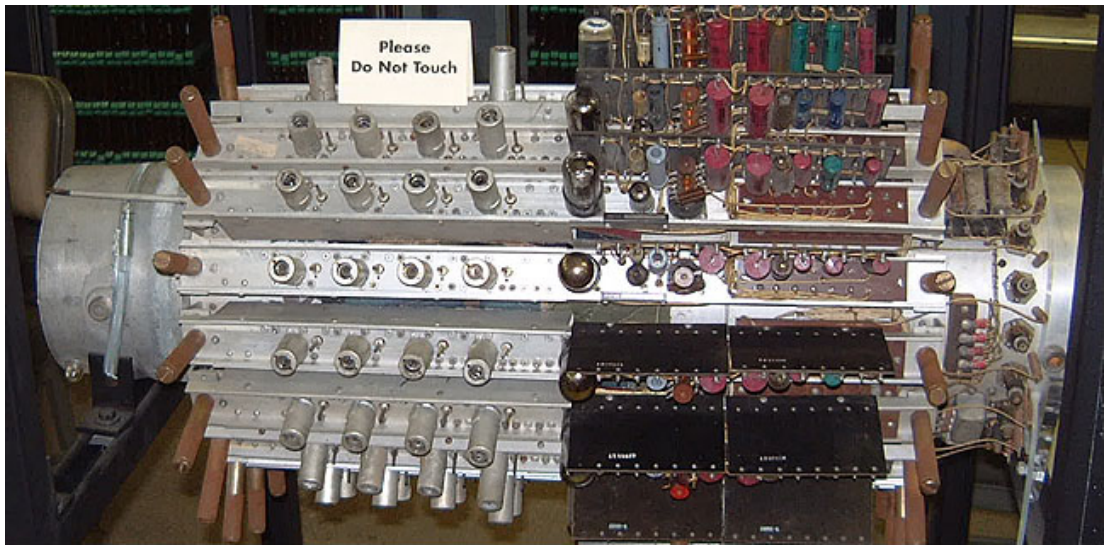


Рис. 7: Некоторые ранние виды памяти: запоминающая электронно-лучевая трубка (трубка Уильямса); запоминающее устройство на ртутных акустических линиях задержки (UNIVAC I, 1951 г.); проволочная линия задержки со сдвиговой волной

Классы вычислительных машин

II поколение

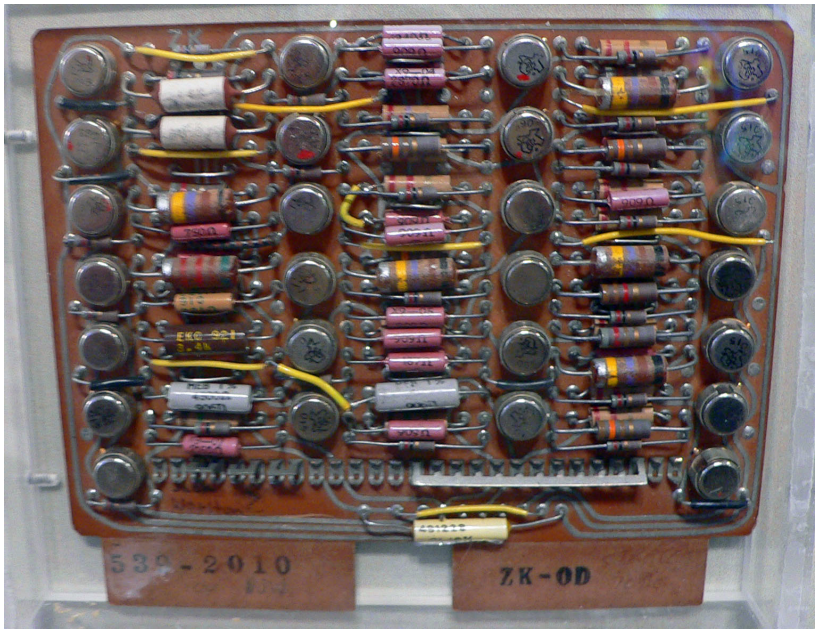




Рис. 8: Транзисторы и компьютер IBM 7030

Классы вычислительных машин

II поколение

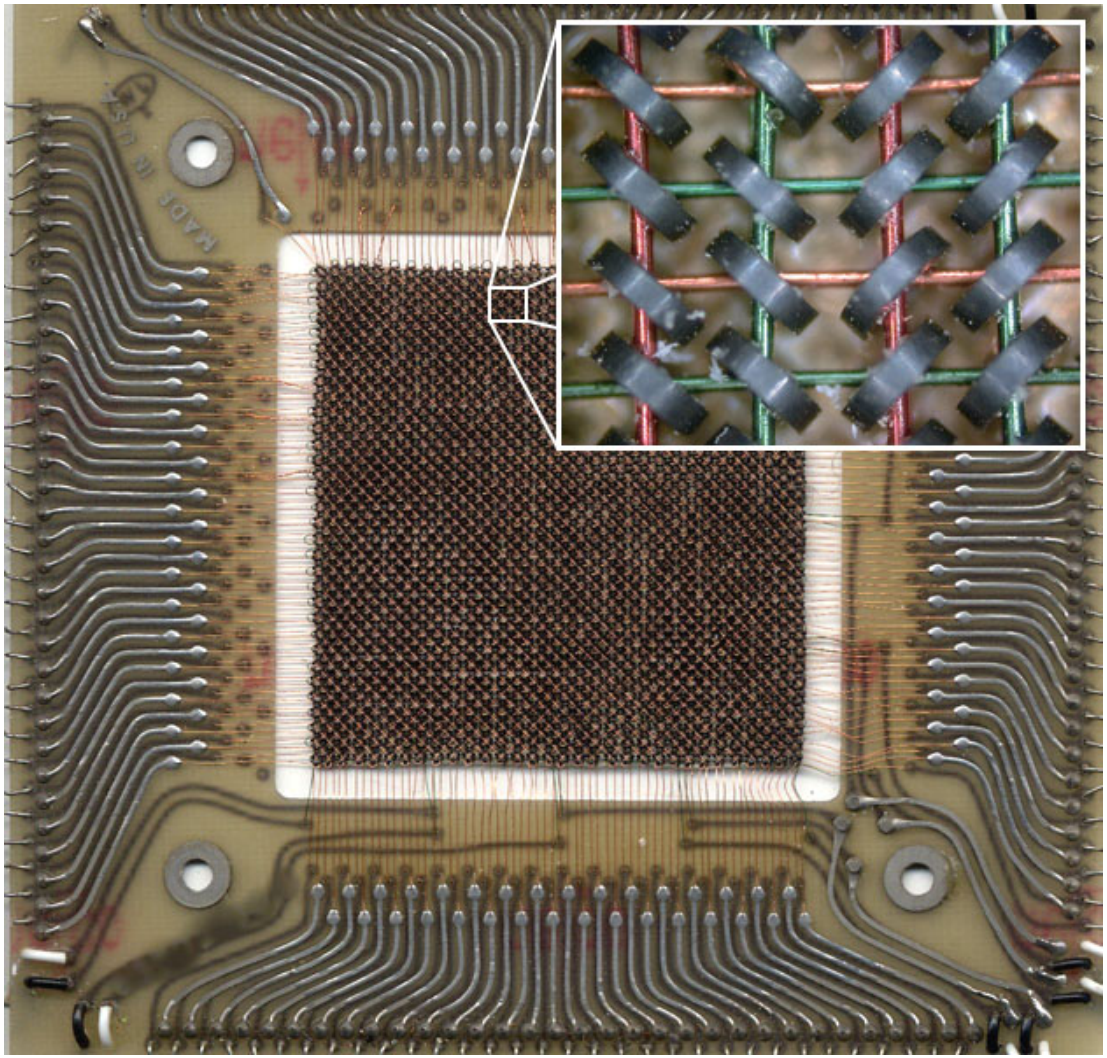


Рис. 9: Память на магнитных сердечниках

Классы вычислительных машин

III поколение



Рис. 10: Мейнфрейм IBM System/360 Model 20

Классы вычислительных машин

III поколение



Рис. 11: ЕС-1035

Классы вычислительных машин

III поколение



Рис. 12: Миникомпьютер DEC PDP-11/40

Классы вычислительных машин

IV поколение

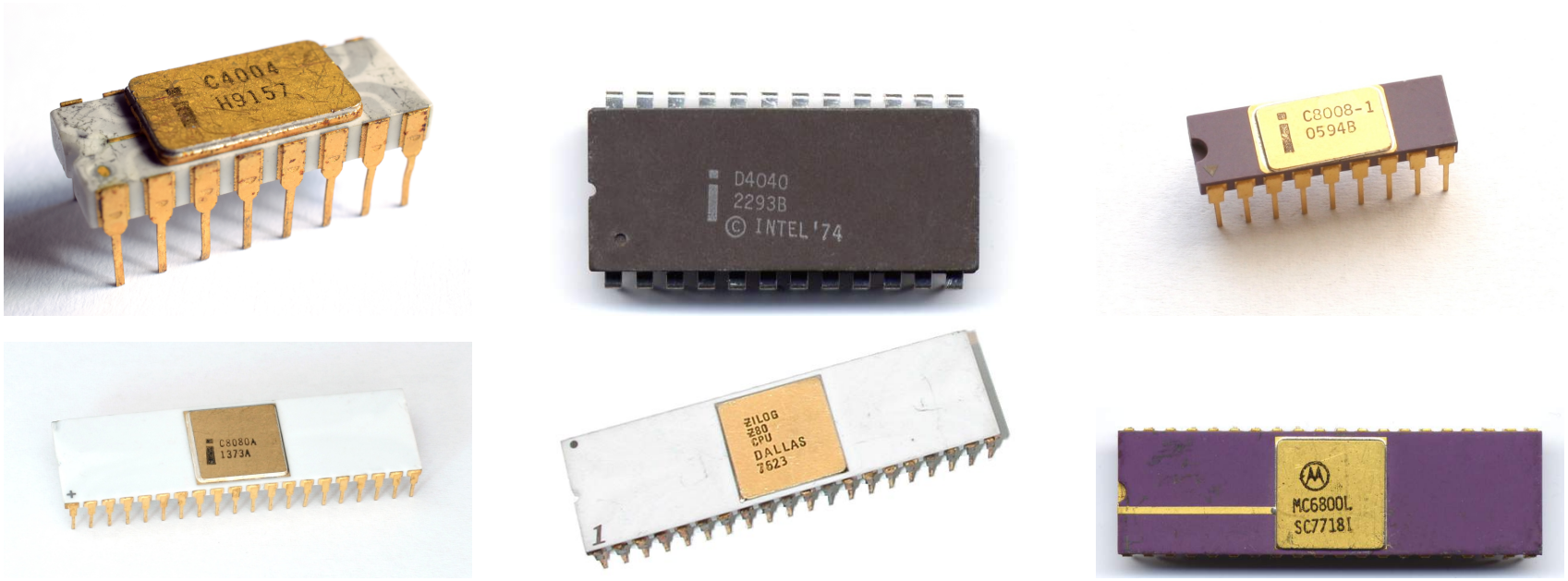


Рис. 13: Одни из первых процессоров, выполненных по интегральной технологии

Классы вычислительных машин

IV поколение



Рис. 14: IBM PC — один из первых успешных массовых персональных компьютеров

Определение 1

Структура компьютера *— это совокупность его функциональных элементов и связей между ними.*

Определение 2

Архитектурой компьютера *называется его представление на некотором общем уровне, включающее описание пользовательских возможностей программирования, системы команд, системы адресации, организации памяти и т. д.*

1. Принцип двоичного кодирования.
2. Принцип жёсткости архитектуры.
3. Принцип адресуемости памяти.
4. Принцип однородности памяти.
5. Принцип последовательного программного управления.

Замечание 1

Существуют ВМ, построенные и не на архитектуре фон Неймана (часто встречаются, например, представители гарвардской, потоковой, суперскалярной и т. п. архитектур).

Пример 1

В ассоциативных компьютерах может не выполняться принцип программного управления, поскольку каждая команда здесь содержит адрес следующей (т. е. они могут работать без счётчика команд, указывающего на выполняемую команду программы).

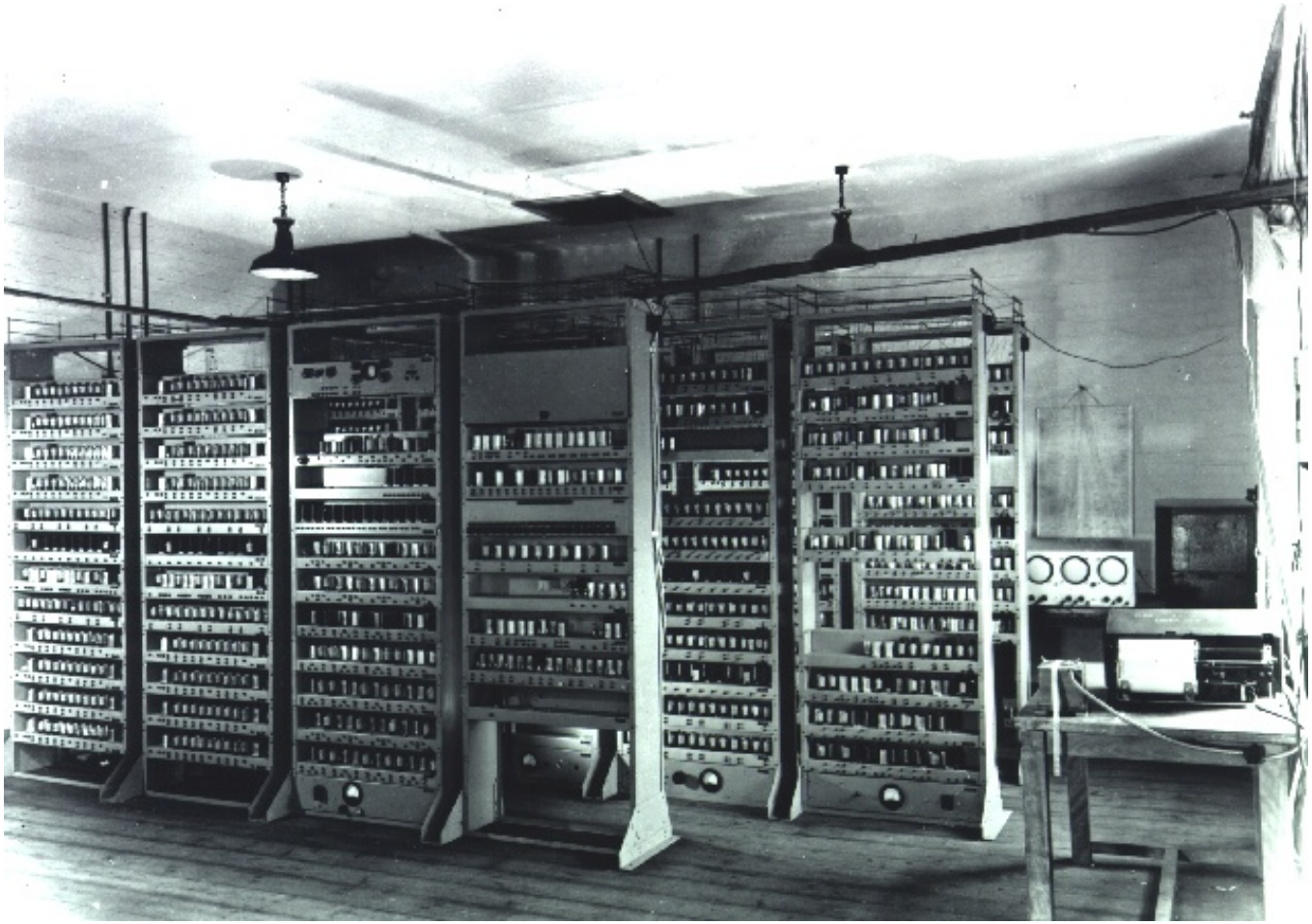


Рис. 15: Машина EDSAC — пример одной из первых реализаций архитектуры фон Неймана

Базовые представления о структуре и архитектуре ВМ

Основные функциональные блоки ВМ

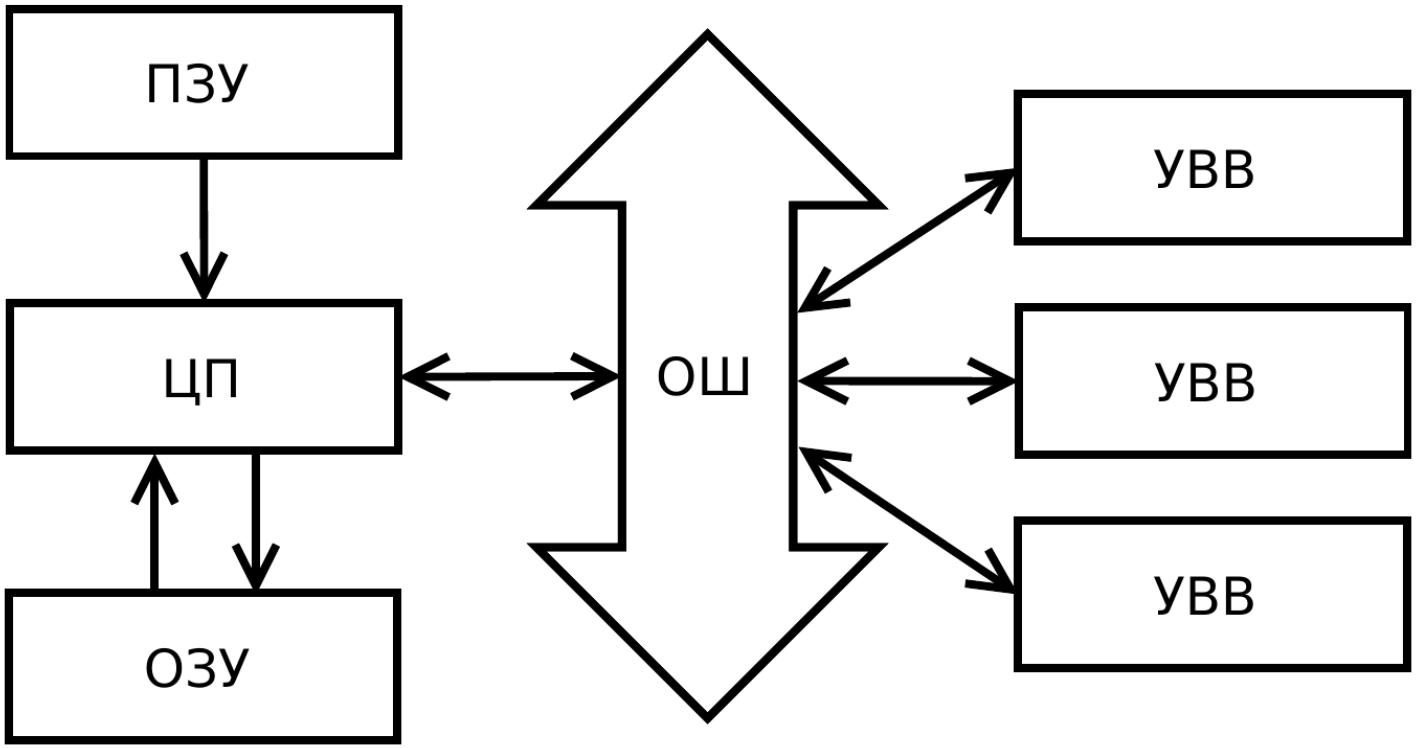


Рис. 16: Функциональное устройство компьютера

Определение 3

Центральное устройство *— это основная часть ЭВМ, включающая два функциональных блока: ЦП и ОП.*



Рис. 17: Структура простейшего центрального устройства ВМ

Машинная команда/инструкция (instruction) — это машинное слово, кодирующее одну из операций, выполняемых центральным устройством. Типичная инструкция содержит содержит следующие элементы:

- код операции (КОП), характеризующий тип выполняемого действия;
- адресную часть, которая в общем случае включает:
  - номера (адреса) индексного (ИР) и базисного (БР) регистров;
  - адреса операндов — A1, A2 и т. д.

Инструкции достаточно сложны, поэтому их представляют в виде последовательности элементарных действий — **микроопераций** или **микрокоманд (μOps, micro-actions).**

К таким командам относятся инструкции арифметики с фиксированной точкой или логические операции.

Каждая из них занимает как минимум пять тактов, в течение которых реализуются следующие микрооперации:

1. Выборка команды (Fetch);
2. Расшифровка кода операции/декодирование (Instruction Decode);
3. Вычисление адреса и выборка данных из памяти (Address Generate, Load)
4. Выполнение операции (Execute);
5. Запись результата в память (Write Back, Store).

Структурная организация ВМ

Классическая архитектура фон Неймана (звезда)

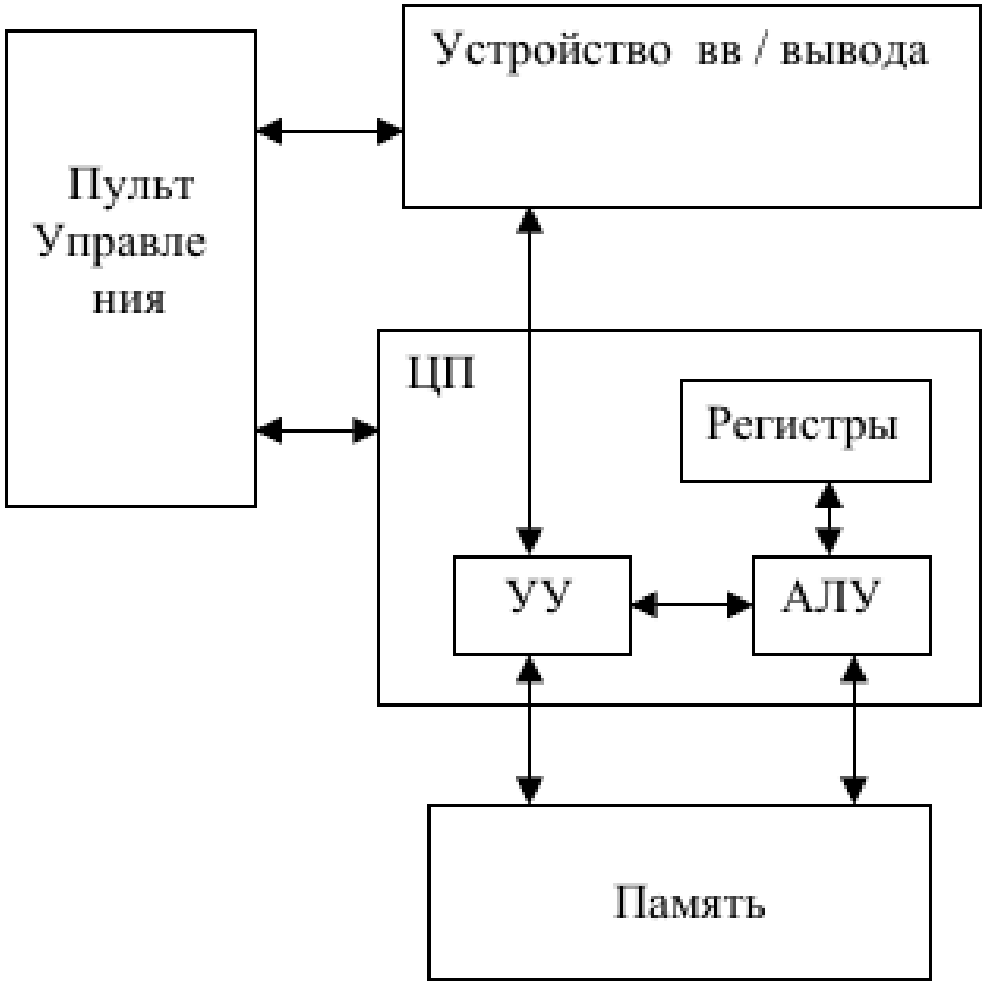


Рис. 18: Компьютер архитектуры фон Неймана

Структурная организация ВМ

Иерархическая архитектура

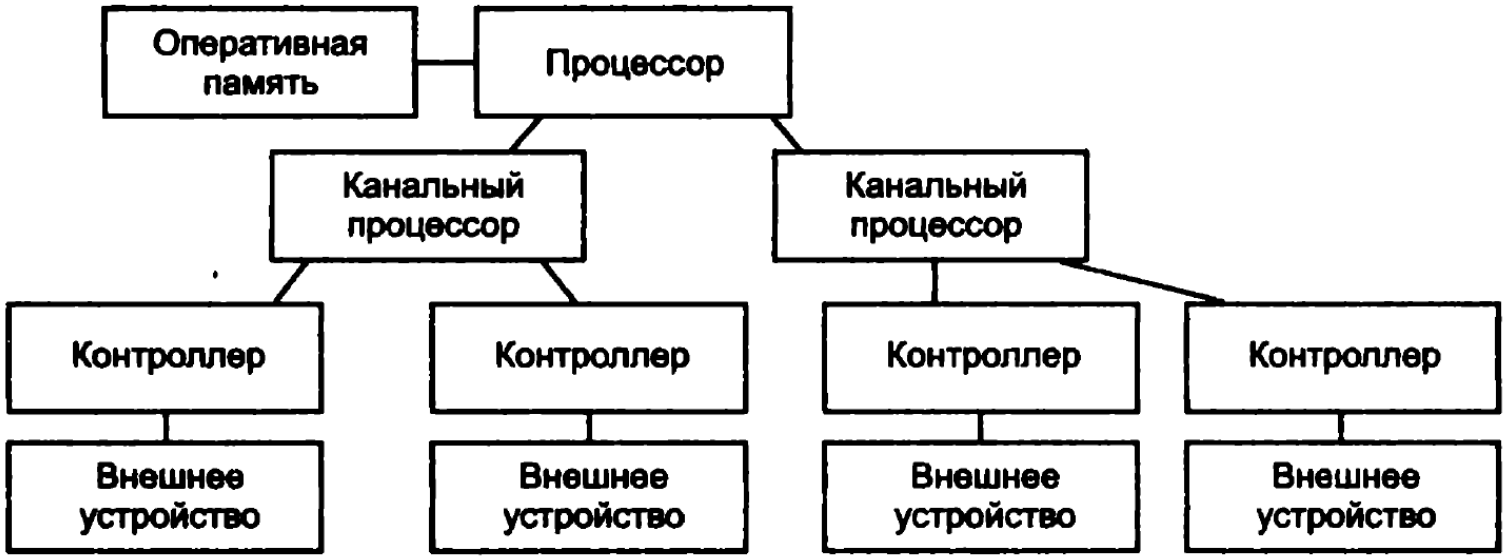


Рис. 19: Иерархическая архитектура

Структурная организация ВМ

Магистральная структура

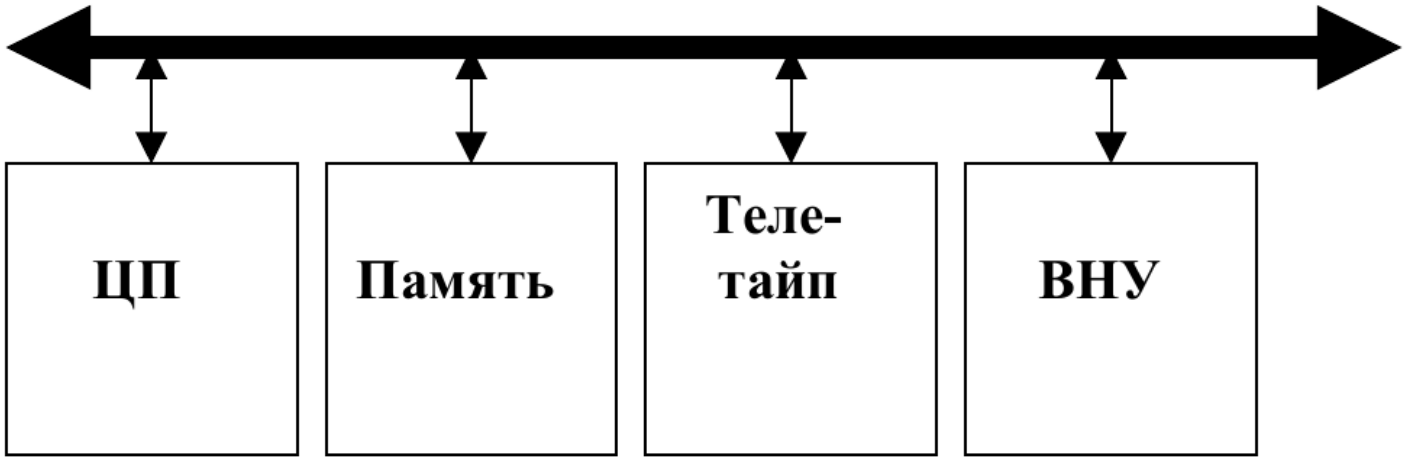


Рис. 20: Магистральная архитектрура на примере DEC PDP-11

Структурная организация ВМ

Мостовая архитектура

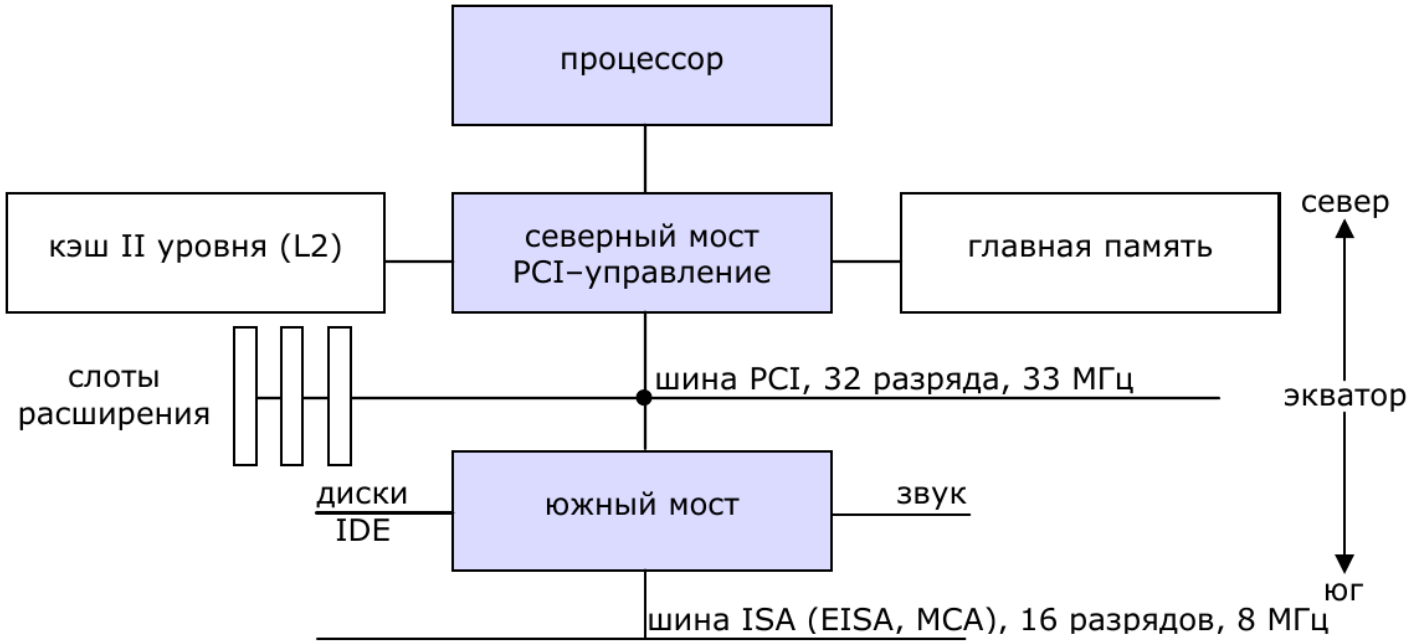


Рис. 21: Мостовая архитектрура

Структурная организация ВМ

Хабовая архитектура

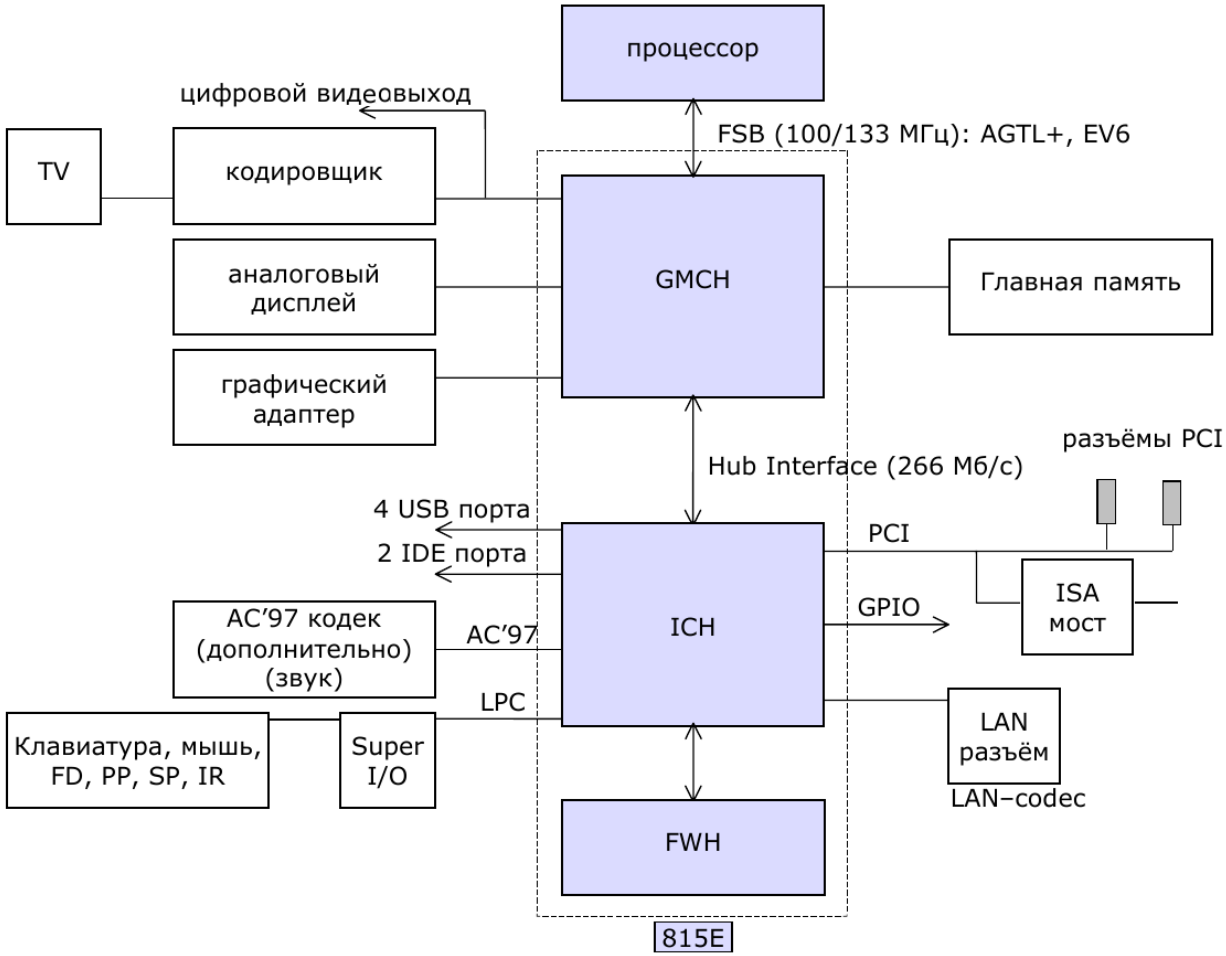


Рис. 22: Хабовая архитектура ВМ на примере чипсета i815E

Определение 4

Вычислительная система или суперкомпьютер *— это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих процессоров или ЭВМ, периферийного оборудования и программного обеспечения, предназначенная для сбора, хранения, обработки и распределения информации.*

Цели создания вычислительных систем

- повышение производительности системы за счёт ускорения процессов обработки данных;
- повышение надёжности и достоверности вычислений;
- предоставление пользователям дополнительных сервисных услуг и т. п.

В 1966 г. Флинном (M.J. Flynn) была предложена классификация архитектур ЭВМ и вычислительных систем, в основу которой положено понятие потока, или последовательности элементов (команд или данных), обрабатываемых процессором.

1. SISD: Single Instruction stream — Single Data stream.
2. SIMD: Single Instruction stream — Multiple Data stream.
3. MISD: Multiple Instruction stream — Single Data stream.
4. MIMD: Multiple Instruction stream — Multiple Data stream.

Вычислительные системы и суперкомпьютеры

SIMD

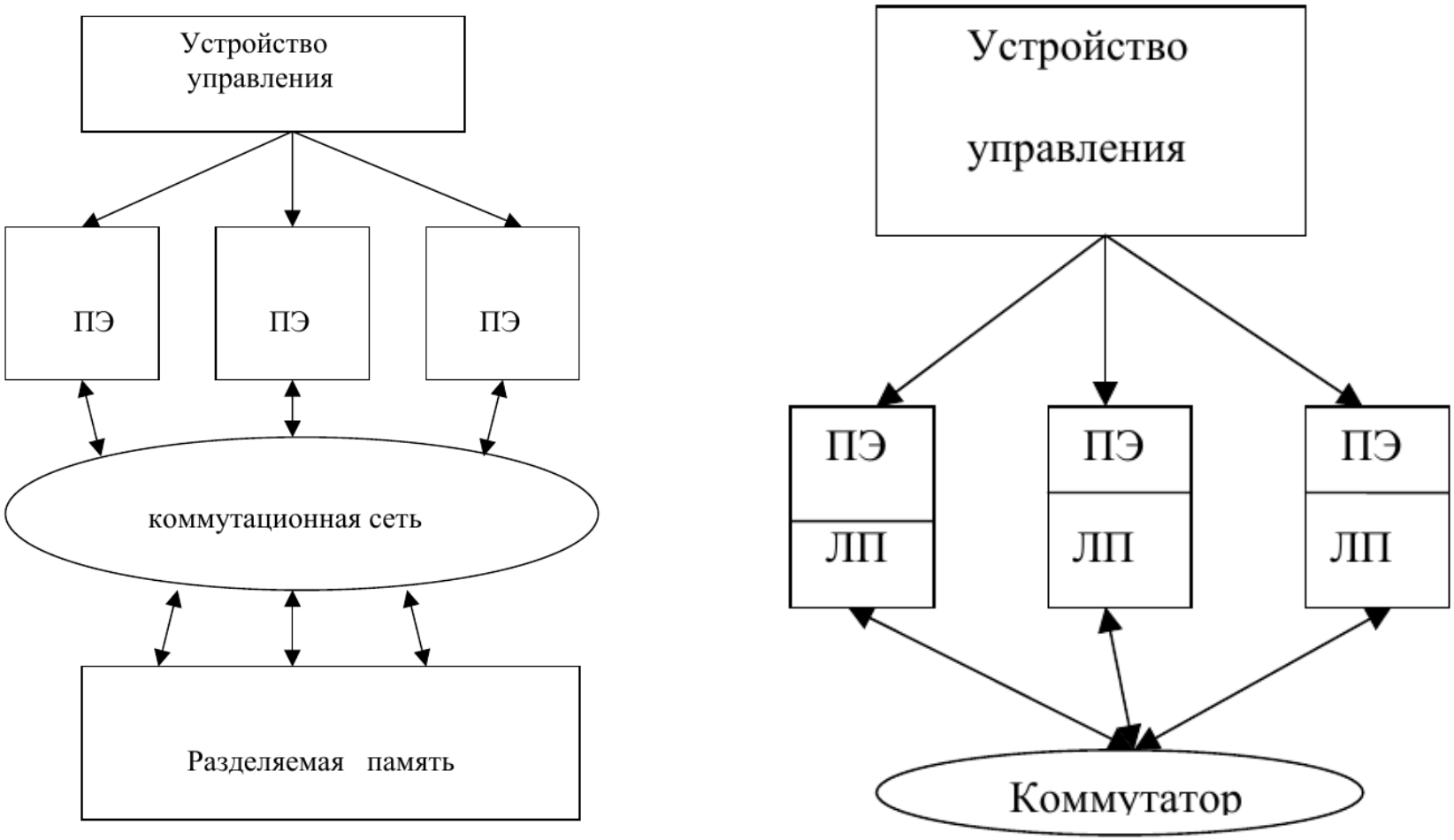


Рис. 23: SIMD-компьютеры с разделяемой и распределённой памятью

Вычислительные системы и суперкомпьютеры

MISD

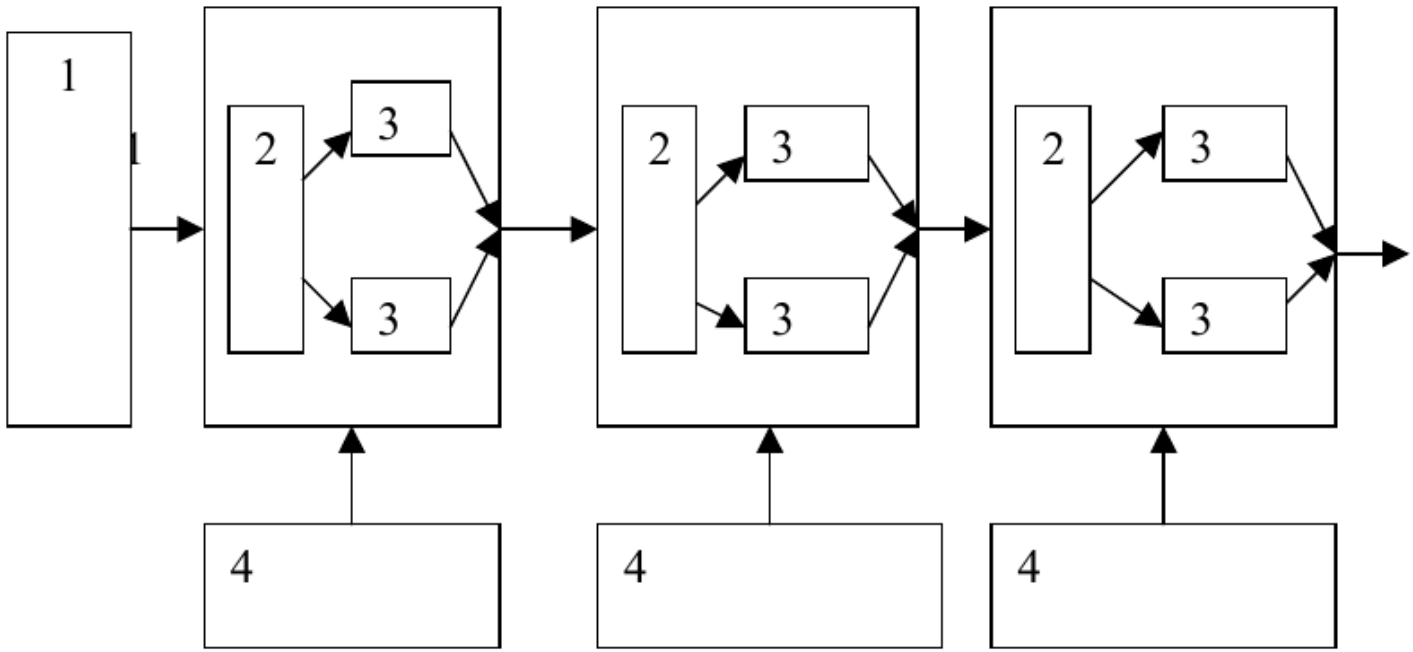


Рис. 24: Схема MISD-компьютера: 1 — данные, 2 — буфер, 3 — процессор, 4 — память

Вычислительные системы и суперкомпьютеры

MIMD

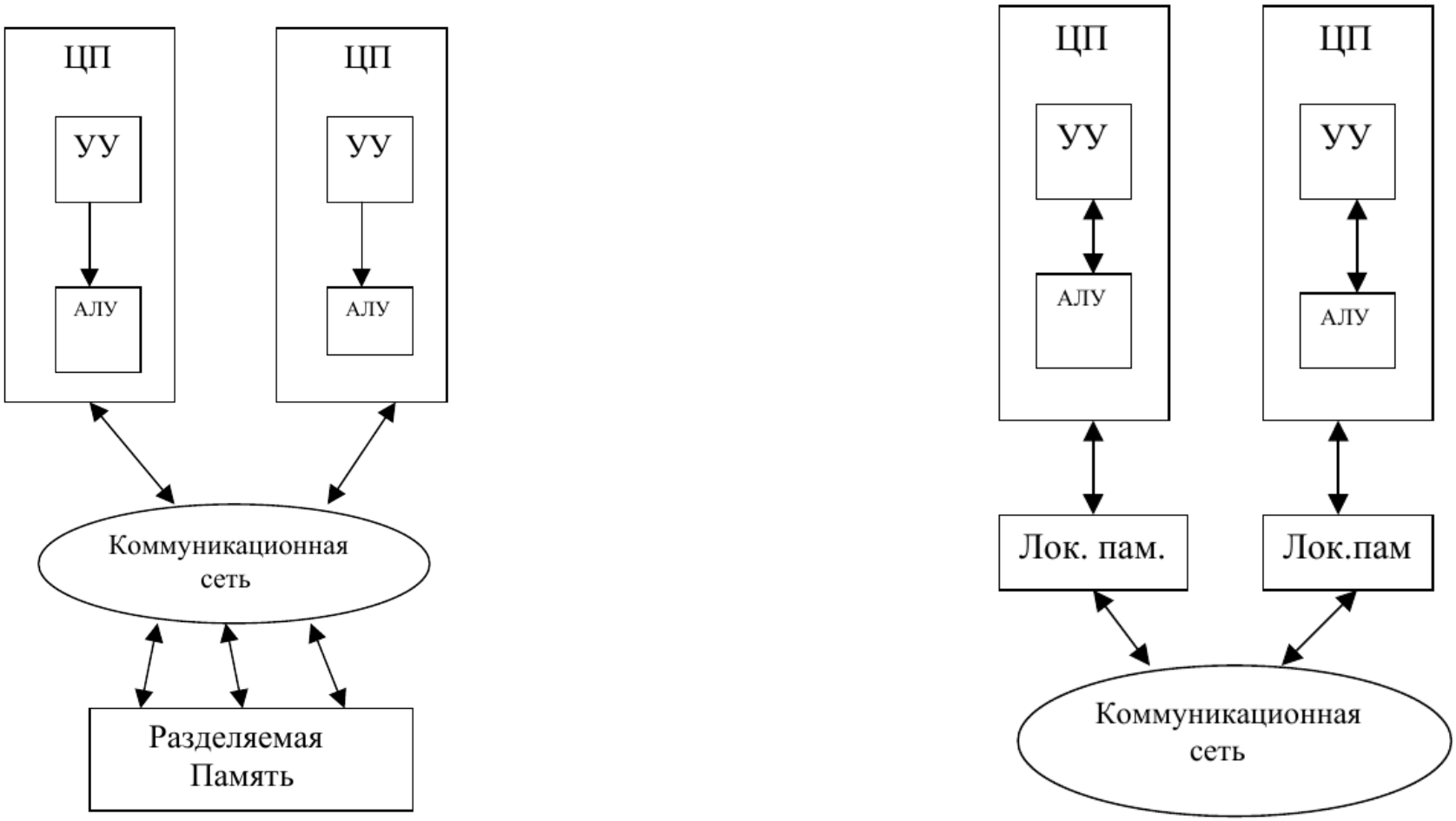


Рис. 25: MIMD-компьютеры с разделяемой и распределённой памятью

Контрольные вопросы и задания

1. Сколько всего возможно двухвходовых логических вентилей? Что такое штрих Шеффера и стрелка Пирса? Расширьте таблицу истинности 2, добавив в неё информацию о всех возможных двухвходовых гейтах.

2. Составьте таблицу истинности RS-триггера. Какие ещё бывают триггеры?

3. Известны ли вам примеры цифровых компьютеров, построенных на небинарной логике? Каковы их преимущества и недостатки?

4. Что такое квантовый компьютер? Являются ли кубиты (qubit) элементами, реализующими небинарную логику? Что вы знаете о кудитах (qudit)?