

# Структурная и функциональная организация ЭВМ (Computer Organization and Design)

БГУИР  
кафедра ЭВМ

Лекции 16-17  
«Организация шин»

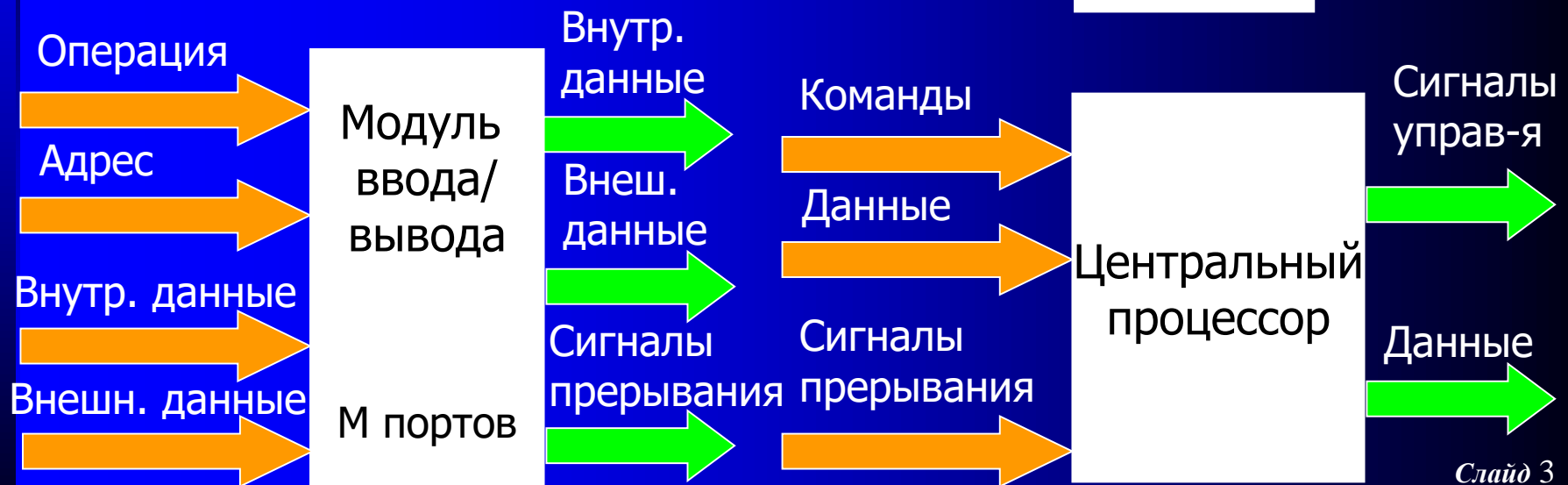
# План лекции

1. Типы шин
2. Иерархия шин
3. Физическая реализация шин
4. Арбитраж шин

# Организация шин

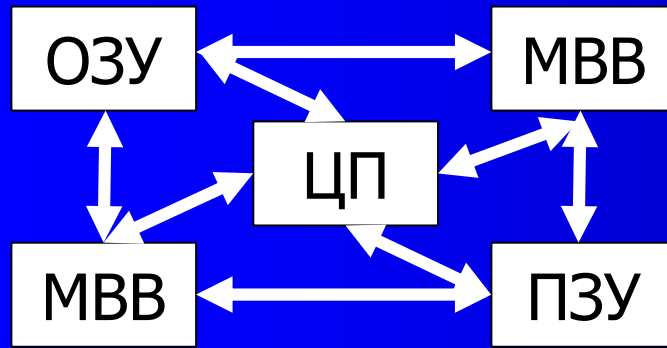
Совокупность трактов, объединяющих между собой основные устройства ВМ должна обеспечивать обмен информацией между:

- ЦП и памятью
- ЦП и модулями в/в
- памятью и модулями в/в

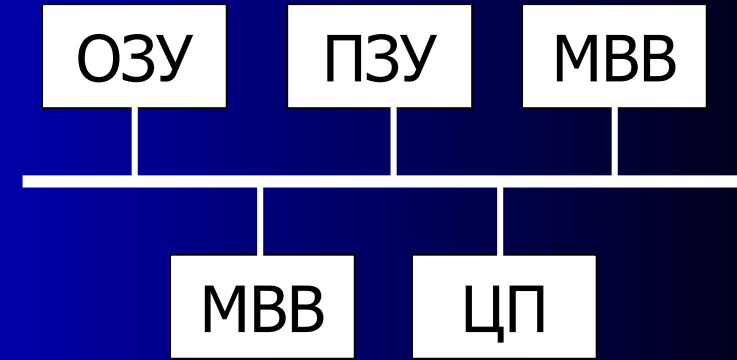


# Эволюция структур взаимосвязей

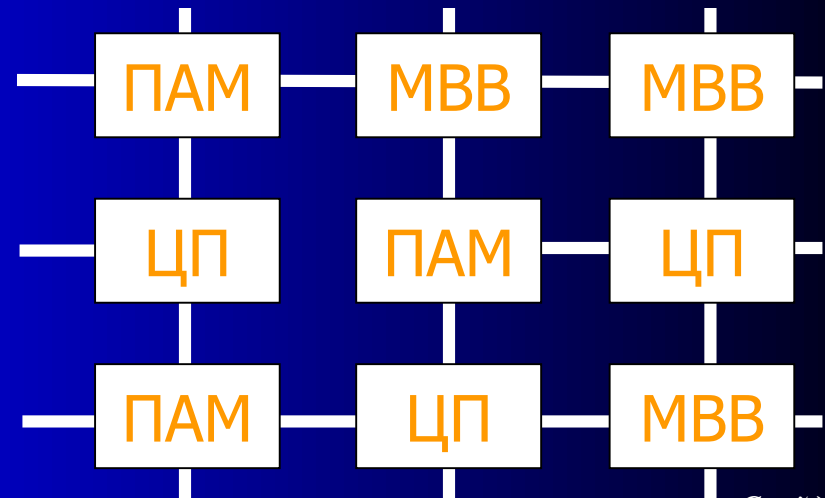
Давно:



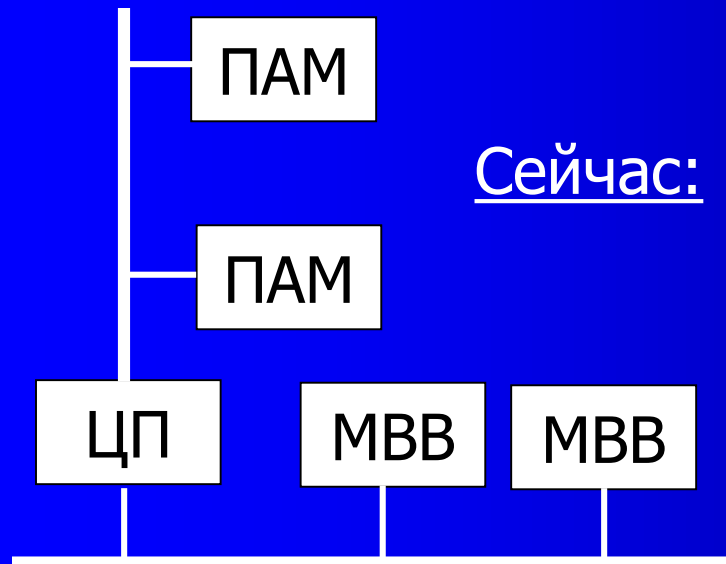
Недавно:



В перспективе?



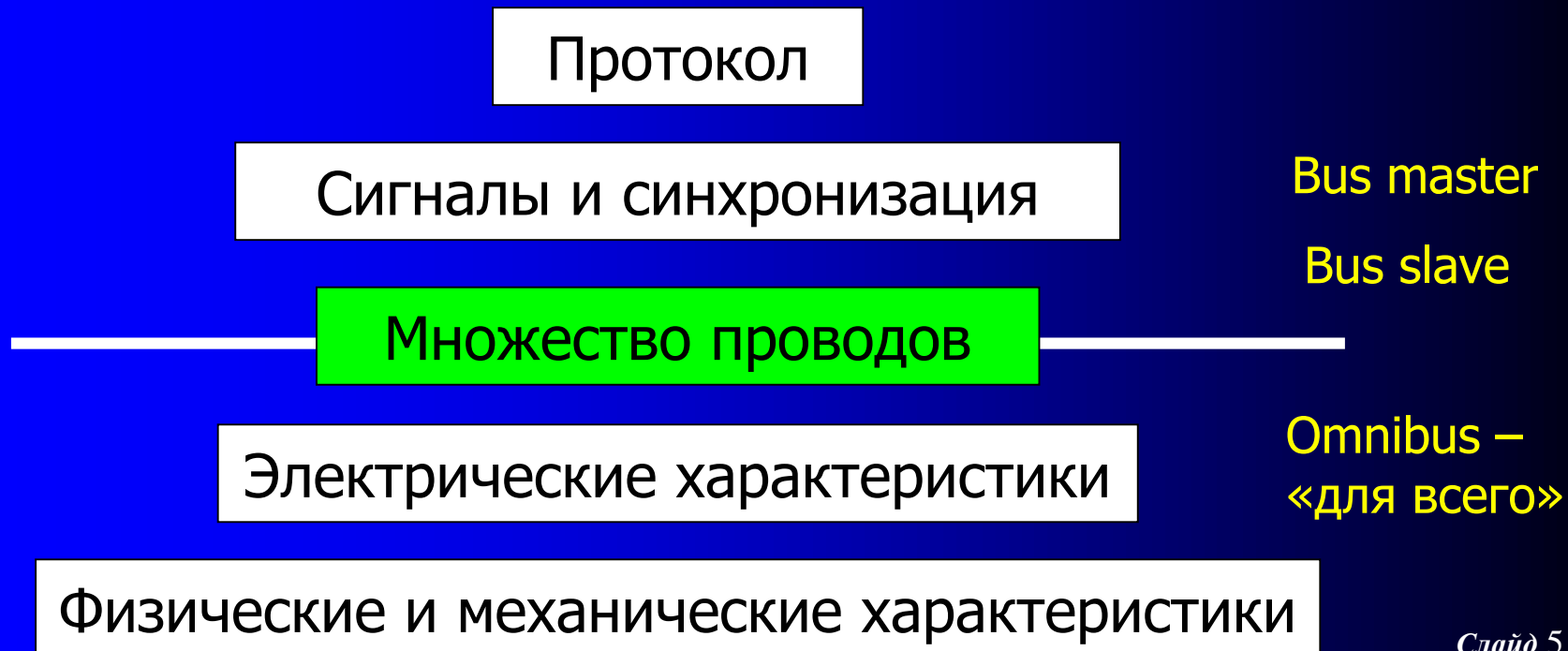
Сейчас:



# Организация шин

Шина характеризуется:

- совокупностью сигнальных линий,
- физическими, механическими и электрическими характеристиками шины,
- сигналами арбитража, состояния, управления и синхронизации, правилами взаимодействия подключённых к шине устройств.



# Типы шин

Транзакция – чтения и записи (ввода и вывода). Две части – посылка адреса и посылка (приём) данных.

Целевое назначение шин:

- Шины «процессор-память»
- Шины ввода/вывода
- Системные шины

Шина «процессор-память» - связь между ЦП и ОП (основной памятью)- **Front-Side Bus (FSB)**.

**Шина для связи процессора с кэш-памятью второго уровня – Back Side Bus (BSB).**

**Максимизация пропускной способности и минимизация длины шины.**

# Типы шин

## Шины ввода/вывода -

соединение между ЦП и устройствами В/В-да.

Многообразие устройств -> стандартизация и унификация шин.

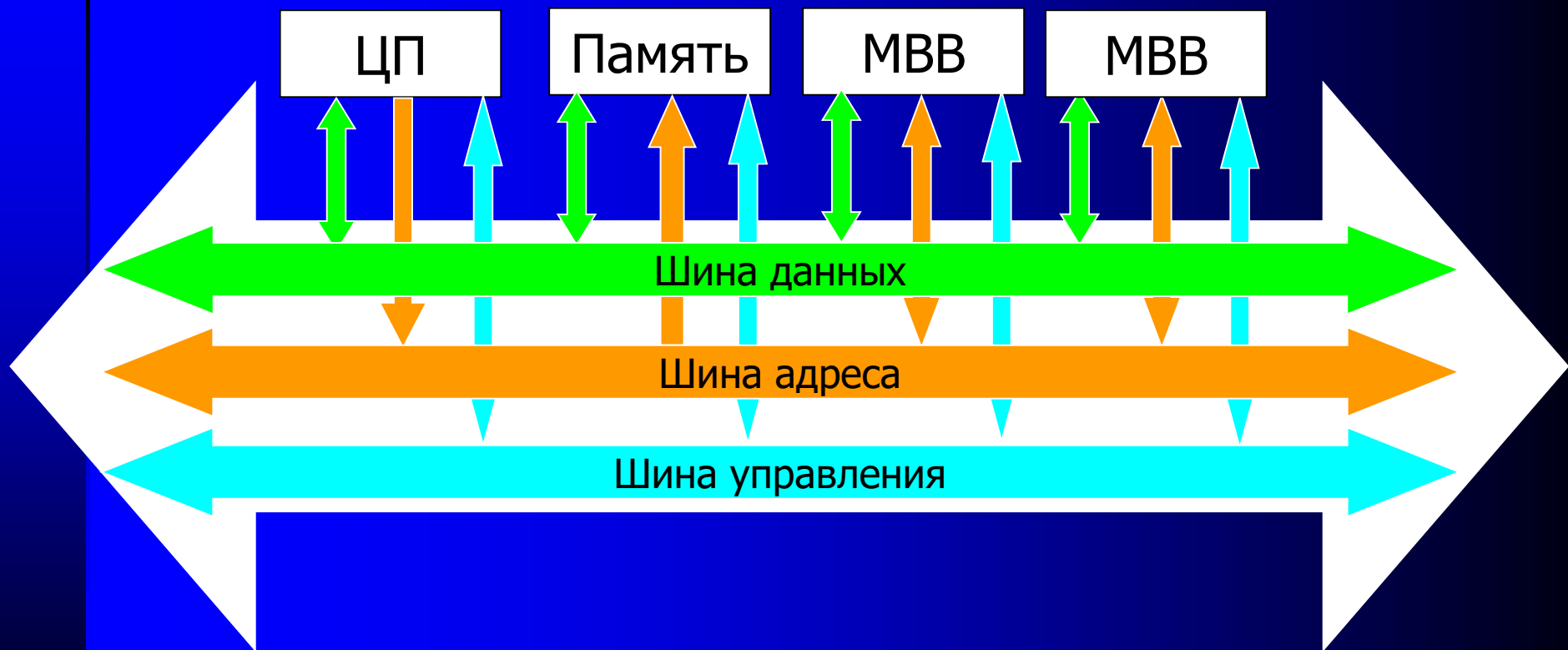
За исключением видеосистем – шины в/в не особо быстры.

Минимизация конструктива шины (разъёмов и т.п.).

Меньше линий, но больше длина (SCSI).

# Типы шин

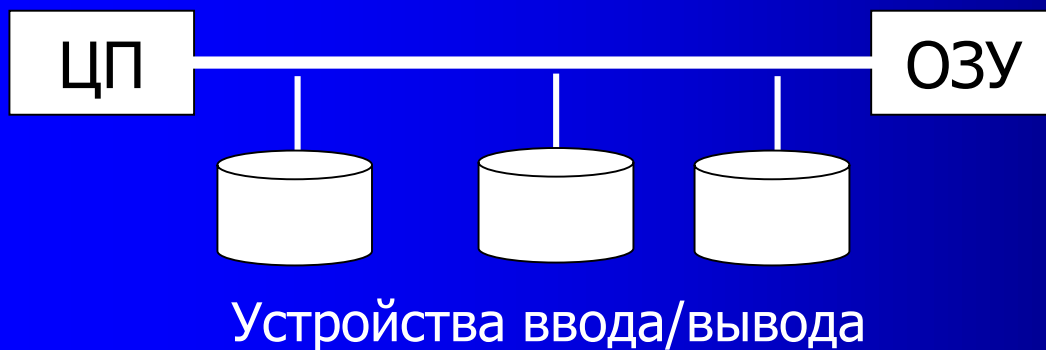
Системная шина – физ. и лог. объединение всех устр-в  
ВМ (backplane bus). Обычно несколько сот линий.  
(Unibus, FastBus, VME, ISA, ESA, MCA)





# Иерархия шин

ВМ с одной шиной:

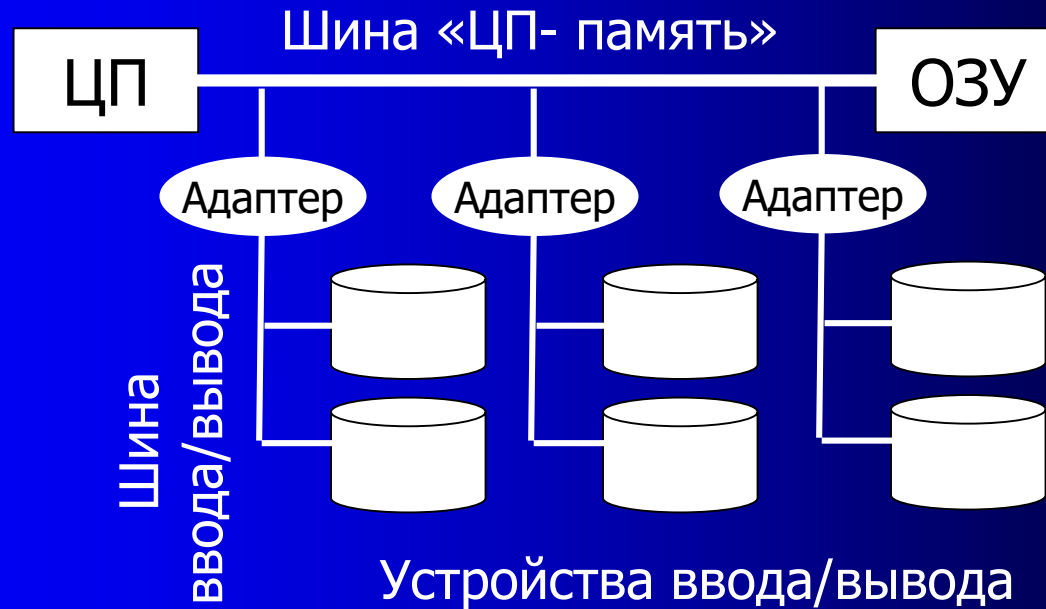


Плюсы: простота, низкая стоимость

Минусы: скорость транзакций

# Иерархия шин

ВМ с двумя видами шин:



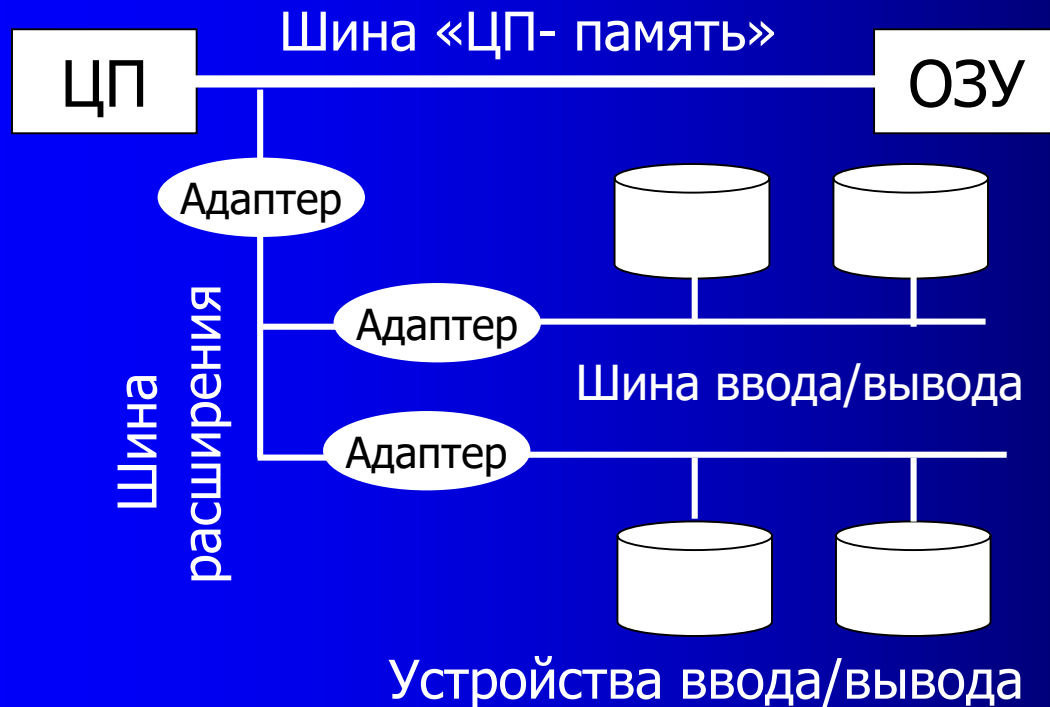
Адаптеры – буферизация данных.

Плюсы: снижает нагрузку на шину «ЦП-ПАМ»

Минусы: относительная стоимость

# Иерархия шин

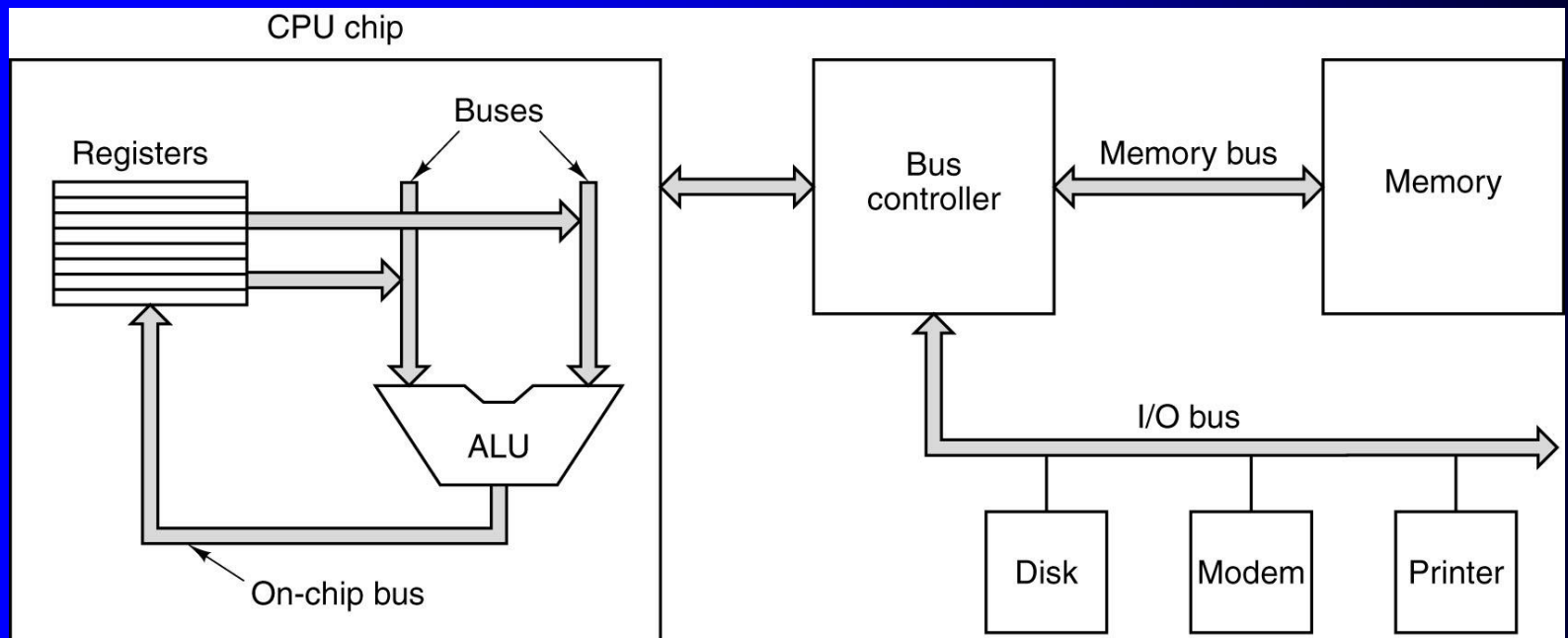
ВМ с тремя видами шин:



Плюсы: снижение нагрузки на «ЦП-память» -  
улучшение характеристик шины «ЦП-память»

Минусы: стоимость

# Computer Buses (1)



A computer system with multiple buses.

# Computer Buses (2)

Master	Slave	Example
CPU	Memory	Fetching instructions and data
CPU	I/O device	Initiating data transfer
CPU	Coprocessor	CPU handing instruction off to coprocessor
I/O	Memory	DMA (Direct Memory Access)
Coprocessor	CPU	Coprocessor fetching operands from CPU

Examples of bus masters and slaves.

# Физическая реализация шин

Механические аспекты: - медные полосы на плате, тонкие – сигнальные, широкие – проводящие напряжение.

Разъёмы – проблема надёжного контакта.

Механические спецификации – размеры плат, размеры и размещение направляющих, максимальная высота элементов на плате и т.п.

Электрические аспекты: Схема меняющая напряжение на плате – драйвер или «возбудитель» шины.

Необходимо уметь отключать драйвер от сигнальной линии, когда он не использует плату -> цифр. схемы с тремя уровнями – high, low, off. Отключение драйвера – через спец. вход драйвера.

# Физическая реализация шин

## Электрические аспекты:

Линия шины -> к выходу драйвера через резистор от источника питания. Схемы с открытым коллектором (ТТЛ), стоком (МОП) или эмиттером (ЭСЛ). Способ позволяет реализовывать – «монтажное ИЛИ» (или «монтажное И») - сигнал на линии – результат сложения (ИЛИ) всех поступивших на линию сигналов.

## Распространение сигнала:

- Скорость распространения
- Отражение
- Перекося
- Эффекты перекрестного влияния.

# Физическая реализация шин

- Скорость распространения – теоретически 300м/с, в реале – не более 70% от указанной.

Отражение – эффекты возникающие при перемене сигнала в линии.

Перекас сигнала – при параллельной передаче данные поступают не одновременно ко всем соотв. приёмникам.

Наводки электростатического и магнитного полей на соседние линии – перекрёстная или переходная помеха.

Все вышеперечисленное приводит к **изменению фронтов сигналов -> минимальное значение ширины импульса, при котором его ещё можно распознать -> ограничения на число импульсов в ед. времени.**



# Распределение линий шины

Любая транзакция начинается с выставления ведущим устройством адресной информации -> часть сигнальных линий – Шина Адреса (ША).

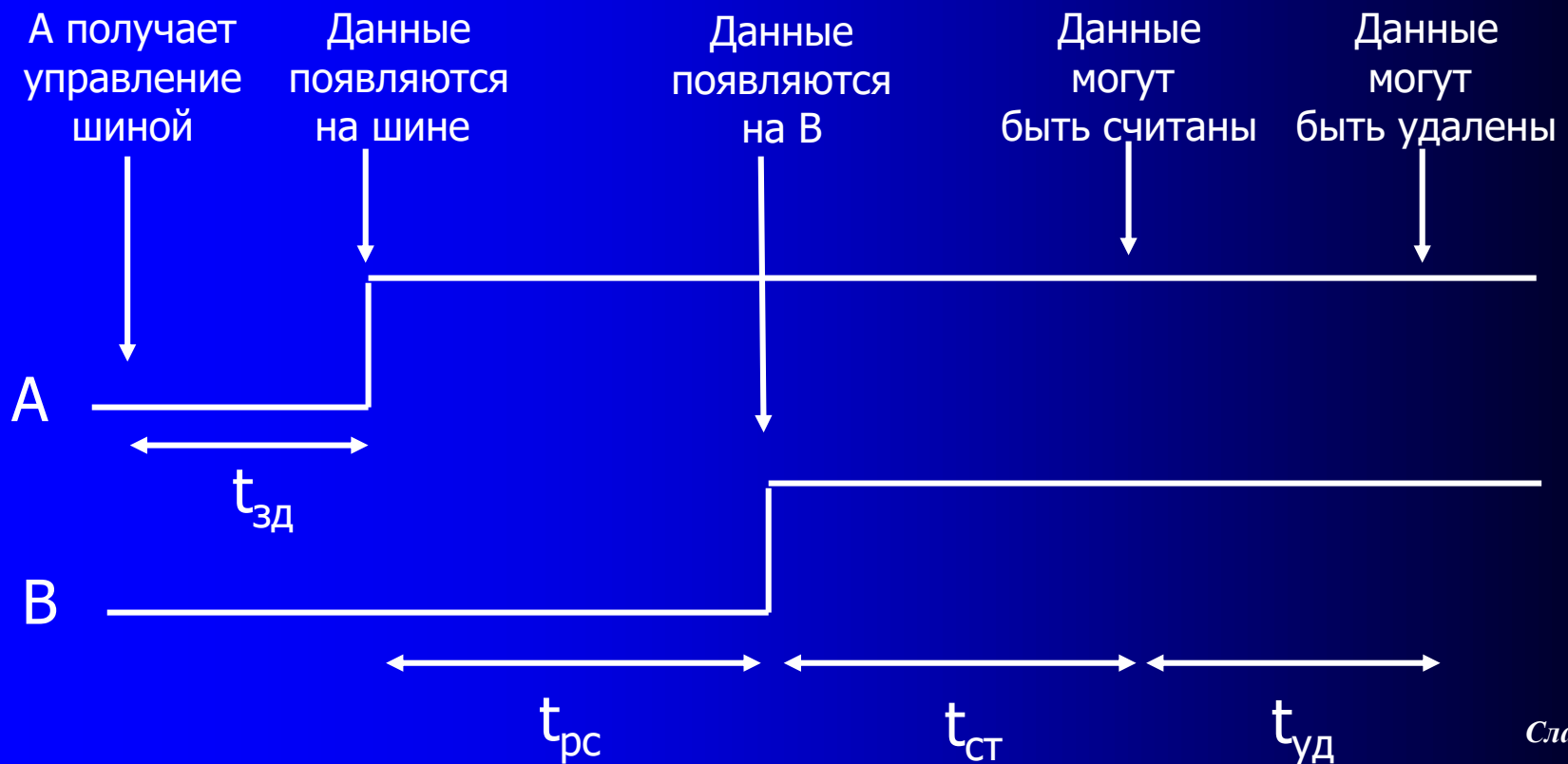
ША может передавать – адреса яч. памяти, номера портов ЦП, адреса портов в/в... -> доп. информация, определяющая вид транзакции (обычно с помощью спец. управляющих линий шины).

Число линий ША – максимально возможный размер адресного пространства.

Шина данных, характеризуется шириной и пропускной способностью. **Ширина -> количество бит информации, передаваемой за один цикл шины. Цикл может занимать несколько тактовых периодов. Обычно элемент данных задействующий всю шину – «слово».**

# Распределение линий шины

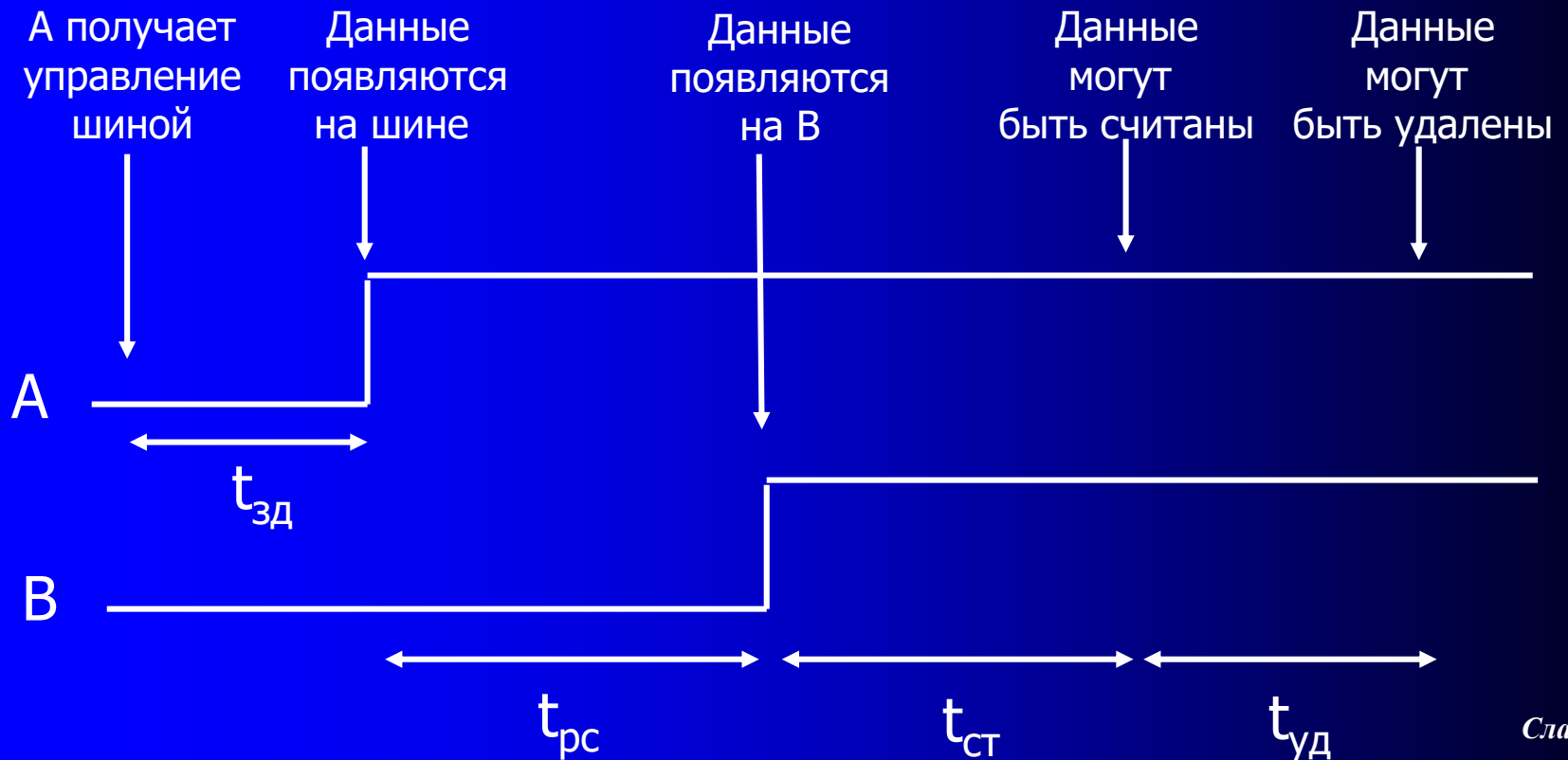
Пропускная способность шины – количество единиц информации, передаваемых за единицу времени (определяется физическим построением шины и конструктивом подключаемых устройств).



# Распределение линий шины

$t_{зд}$  – задержка между выставлением данных А и их появлением на шине (1-4 нс).

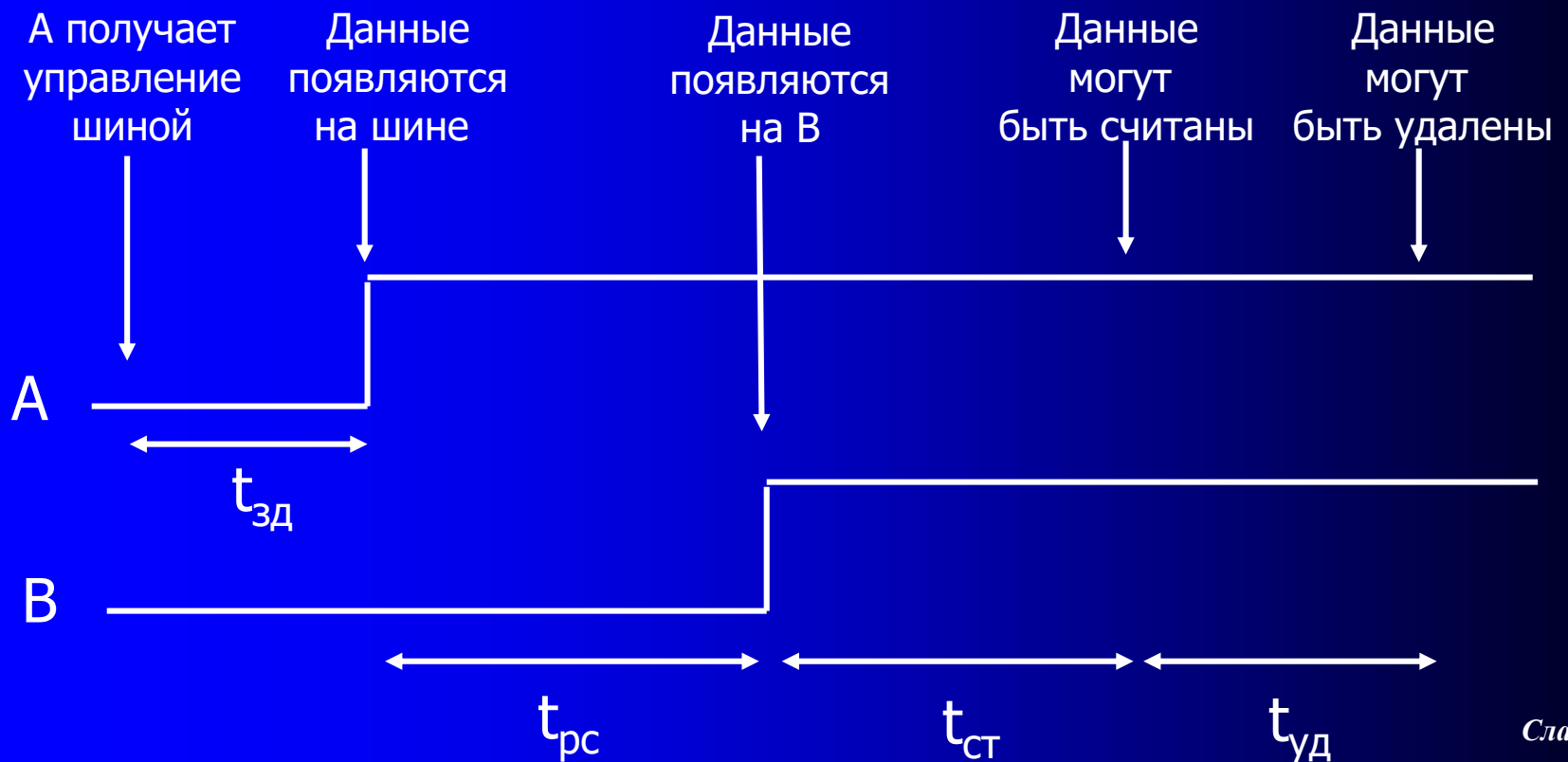
$t_{рс}$  – задержка распространения (для min – уменьшать длину шины).



# Распределение линий шины

$t_{\text{ст}}$  – время стабилизации.

$t_{\text{уд}}$  – время удержания – данные должны быть на шине, после фиксации их устройством В.



# Распределение линий шины

Общее время передачи  $t_{\text{п}} = t_{\text{зд}} + t_{\text{рс}} + t_{\text{ст}} + t_{\text{уд}}$ . Типовые значения параметров –  $4 + 1,5 + 2 + 0 = 7,5$  нс – частота шины  $100/7,5 = 133,3$  МГц.

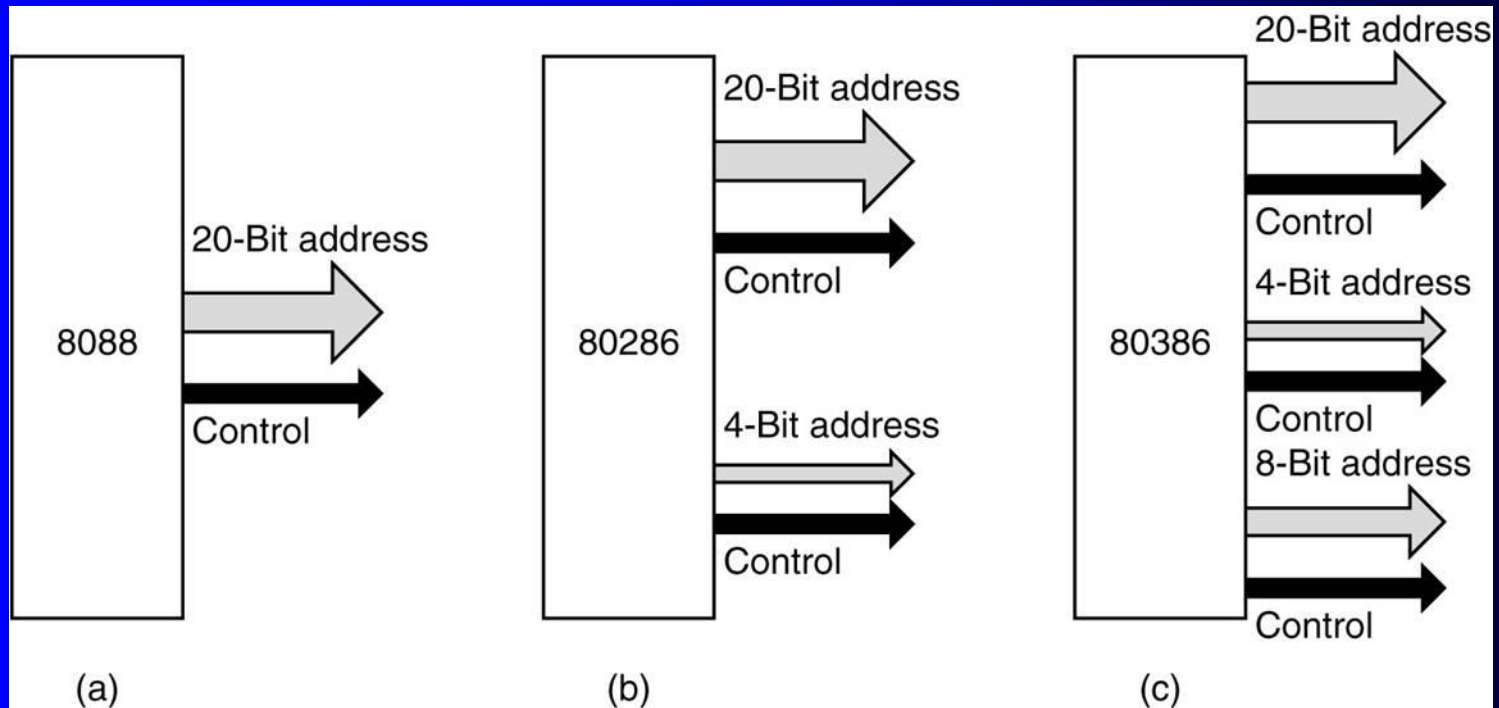
Если адрес и данные – по независимым сигнальным линиям, то ширина ША и ШД – независимы. 16-8, 16-16, 20-8, 20-16, 24-32, 32-32.

Если передача – по одним линиям – временное мультиплексирование. Ширина ША и ШД – взаимосвязана.

Совокупность линий для передачи управляющих сигналов и инф. о состоянии – шина управления (ШУ).

# Bus Width

Growth of an Address bus over time.



# Распределение линий шины

Шина управления (ШУ):

*Линии сигналов управления транзакциями–*

- тип выполняемой транзакции (чит. или запись),
- количество байтов, передаваемых по ШД, если часть слова – то какие байты.
- какой тип адреса на ША
- какой протокол передачи должен использоваться

Всего на данную группу - от 2 до 8 линий.

*Линии информации состояния (статуса) –*

от одной до четырёх линий для передачи ведомым информации ведущему.

*Линии арбитража –* от 3-х до 11 линий.

# Распределение линий шины

Шина управления (ШУ):

*Линии прерывания* – запросы от ведомых к ведущему на обслуживание (обычно одна две-линии) + доп. Арбитраж (если не используются линии пред. группы).

*Линии для организации последовательных локальных сетей* – обычно от 1 до 4 линий (последовательная передача значительно медленнее параллельной – выгоднее добавить пару линий чем загружать основные), иногда могут заменить ША и ШД, служить для реализации спец. функций – обработка прерываний или сортировка приоритетов задач.

*Линии позиционного кода* – (от 4 до 5 линий) – для передачи уникального позиционного кода дочерних плат.



# Распределение линий шины

Шина управления (ШУ):

*Линии тактирования и синхронизации* – от 2 до 6 линий – в зависимости от протокола (асинхронный, синхронный).

*Линии питания и заземления* – от 2 до 20.

# Распределение линий шины

## Выделенные и мультиплексируемые линии



# Арбитраж шин

Несколько ведущих на одной шине → конфликт интересов -> присвоение приоритетов.

Статический приоритет – устройства с выс. приоритетом могут полностью блокировать шину.

Динамический приоритет – есть шанс у каждого.

Смена приоритетов по алгоритмам:

- Простая циклическая смена приоритетов,
- Циклическая смена приоритетов с учётом последнего запроса
- Смена приоритетов по случайному закону,
- Схема равных приоритетов
- Алгоритм наиболее давнего использования

# Арбитраж шин

## Смена приоритетов по алгоритмам:

- Простая циклическая смена приоритетов – после каждого цикла – изменение приоритета на единицу по кругу.
- Циклическая смена приоритетов с учётом последнего запроса – последний обслуженный – получает самый низкий приоритет, остальные за ним сдвигаются по кругу (более распространена).
- Смена приоритетов по случайному закону – генератор СЧ назначает новые значения приоритетов.
- Схема равных приоритетов – при поступлении нескольких запросов – каждый из них имеет шансы на обслуживание, конфликт решается арбитром (обычно асинхронные схемы).
- Алгоритм наиболее давнего использования

# Арбитраж шин

- Алгоритм наиболее давнего использования – LRU (Last Recently Used) – после каждого цикла – наивысший приоритет – кто дольше всех не использовал шину.

Доп. алгоритмы (не чисто динамические – не после каждого цикла):

Очередь - FIFO (сложная аппаратура – редко используется)

Фиксированный квант времени – каждому ведущему фиксированный промежуток для захвата. Метод хорошо подходит для шин с синхронным протоколом.

# Схемы арбитража шин

Централизованная и децентрализованная схема:

Централизованная – имеется *центральный* арбитр либо центральный контроллер шины (может быть самостоятельным либо частью ЦП).

Единственный арбитр – единственная точка отказа.

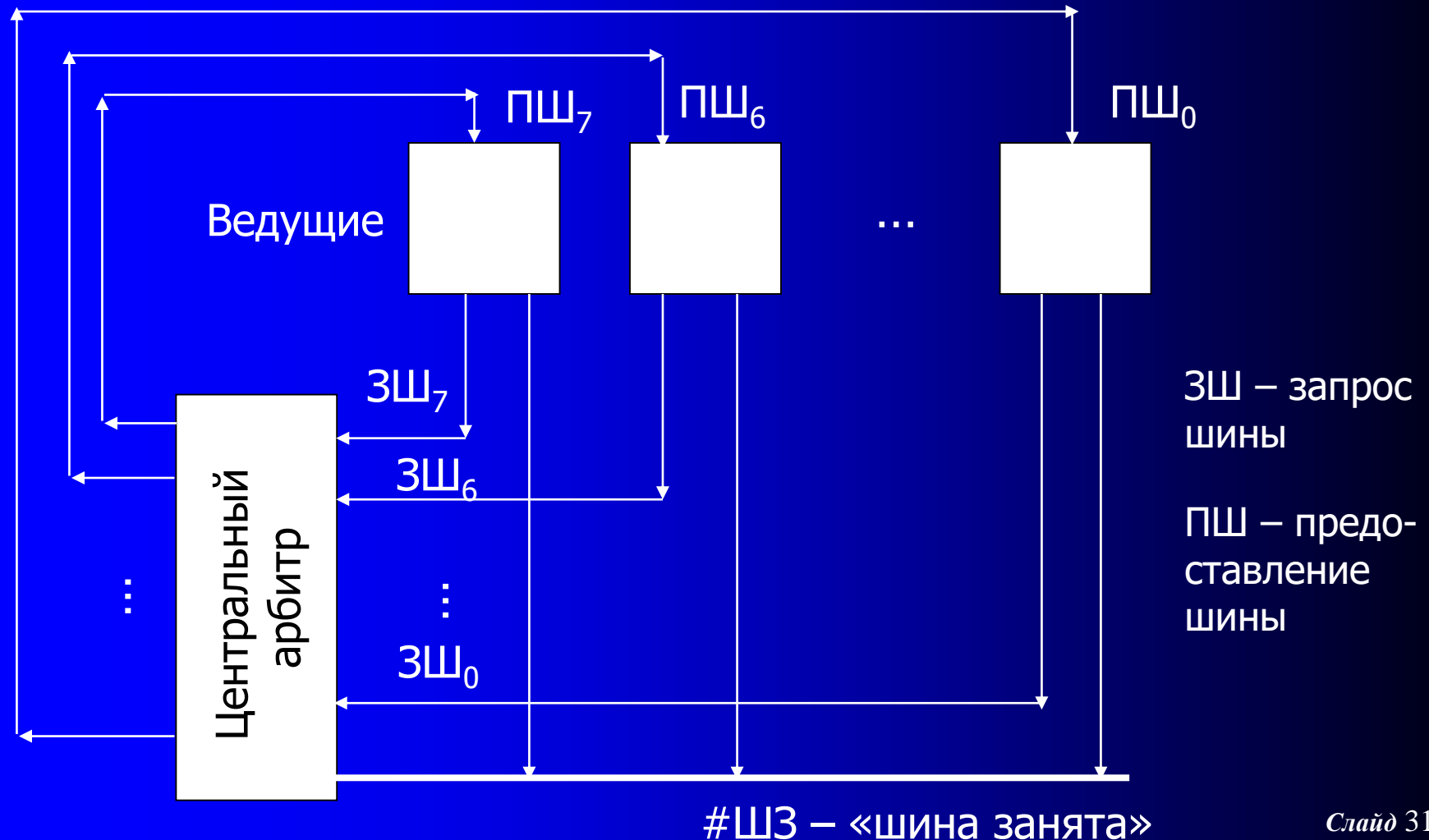
Централизованные схемы – параллельный или последовательный.

При параллельном подключении – ЦА связан с каждым потенциальным ведущим индивидуальными двухпроводными трактами -> запросы могут поступать параллельно и независимо.

Такой арбитраж называется «**централизованным параллельным арбитражем**» или «**централизованным арбитражем независимых запросов**».

# Схемы арбитража шин

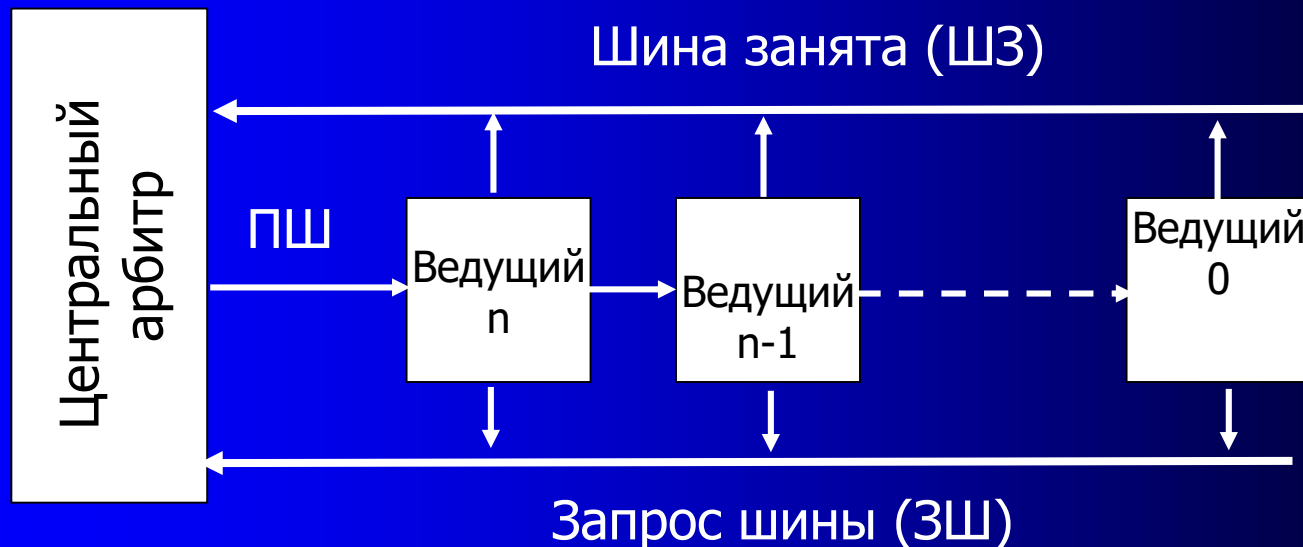
+ быстроедействие; – цена, сложность подкл. доп. устр-в, диаг-ки.



# Схемы арбитража шин

Централизованный последовательный арбитраж (цепочечный или гирляндный).

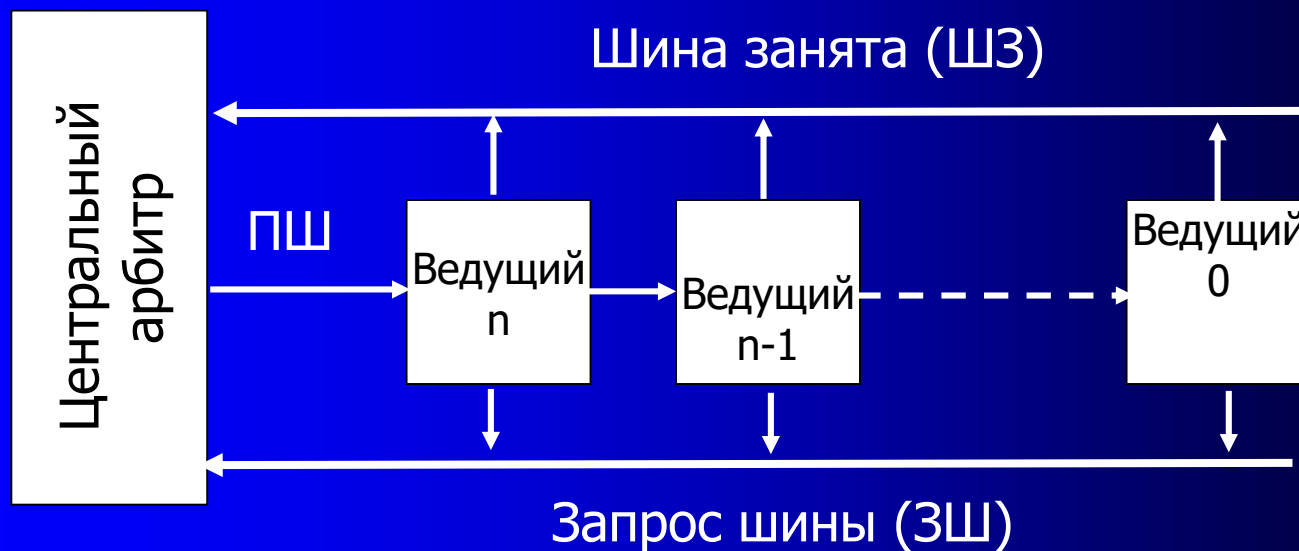
Три вида – с цепочкой сигнала ЗШ, доп сигнала разрешения (РШ) и сигнала предоставления шины (ПШ) – наиболее распространённый вариант.



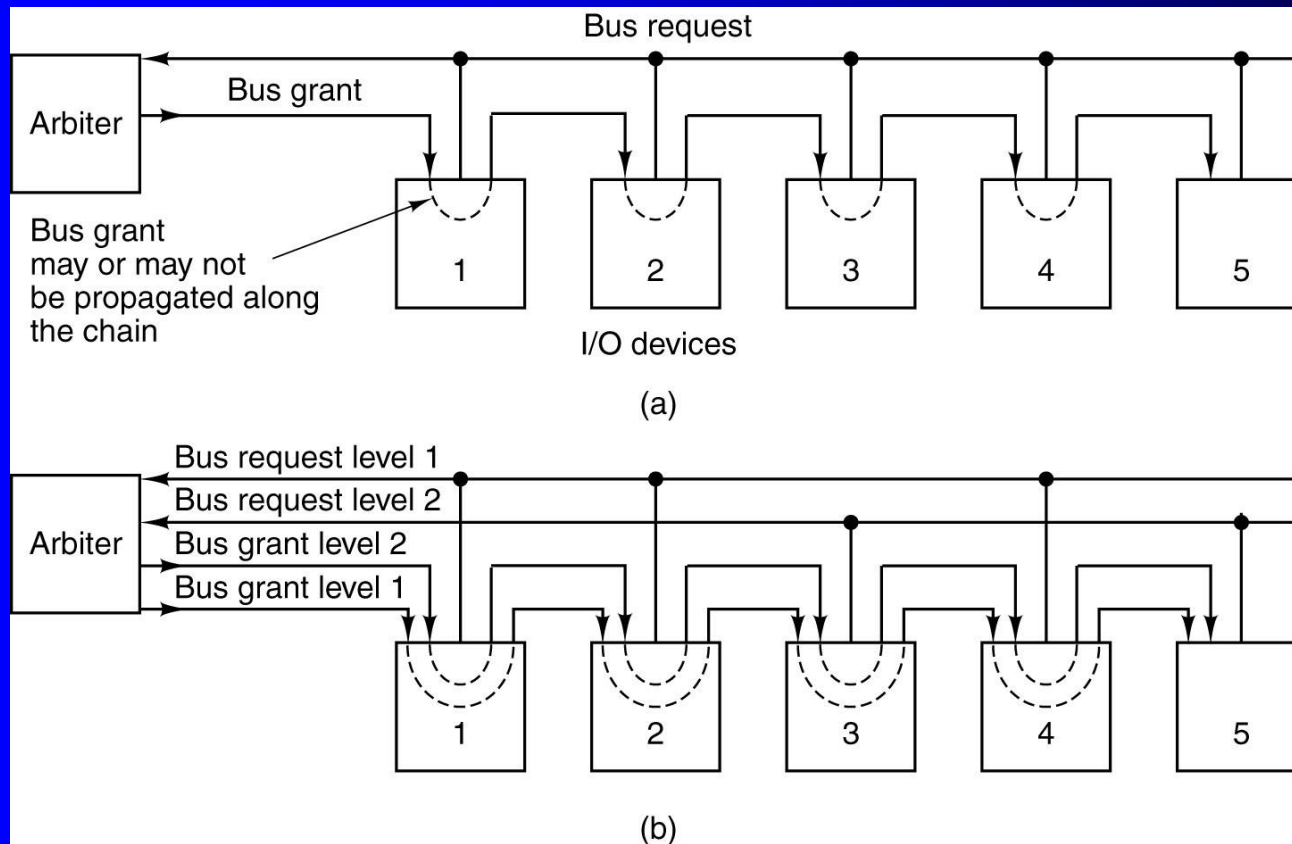


# Схемы арбитража шин

ЗШ и ШЗ – по схеме «монтажное ИЛИ». До момента освобождения шины текущим ведомым арбитр не может выдать ПШ. Статическое распределение приоритетов. Плюсы – простота реализации, лёгкость наращивания. Минусы – скорость (время арбитража пропорционально длине цепочки), возможна полная блокировка, сложная диагностика.



# Bus Arbitration (1)

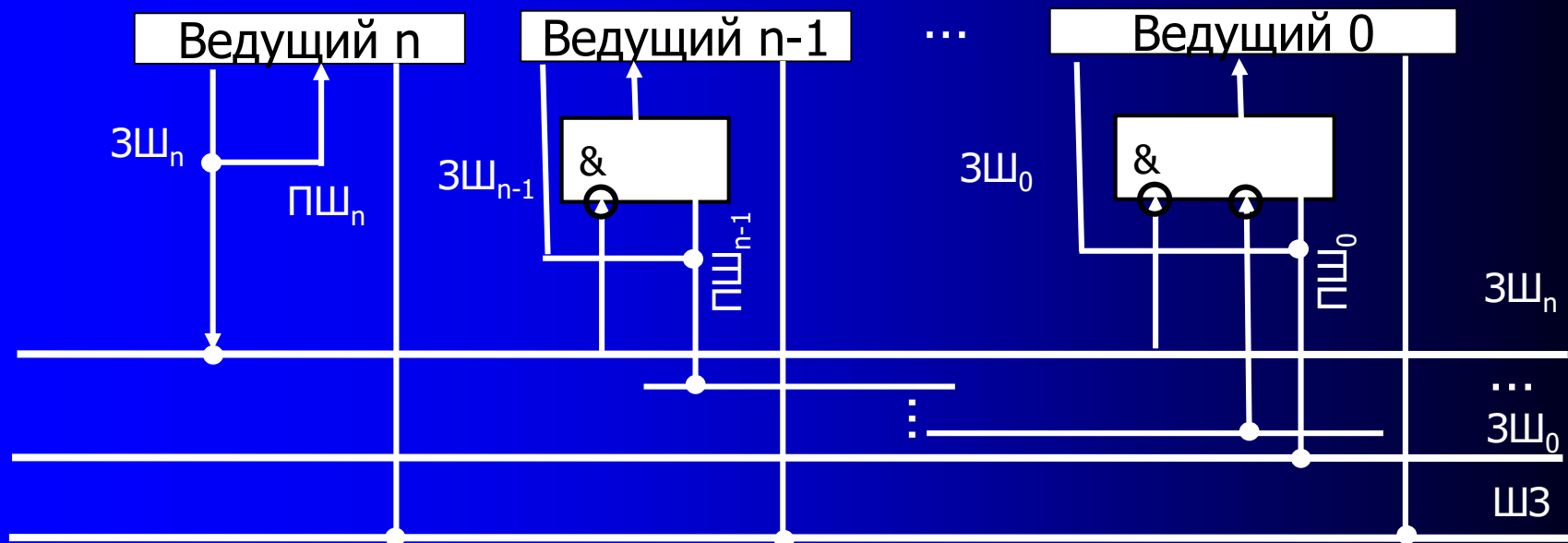


- (a) A centralized one-level bus arbiter using daisy (ромашка) chaining.
- (b) The same arbiter, but with two levels.

# Схемы арбитража шин

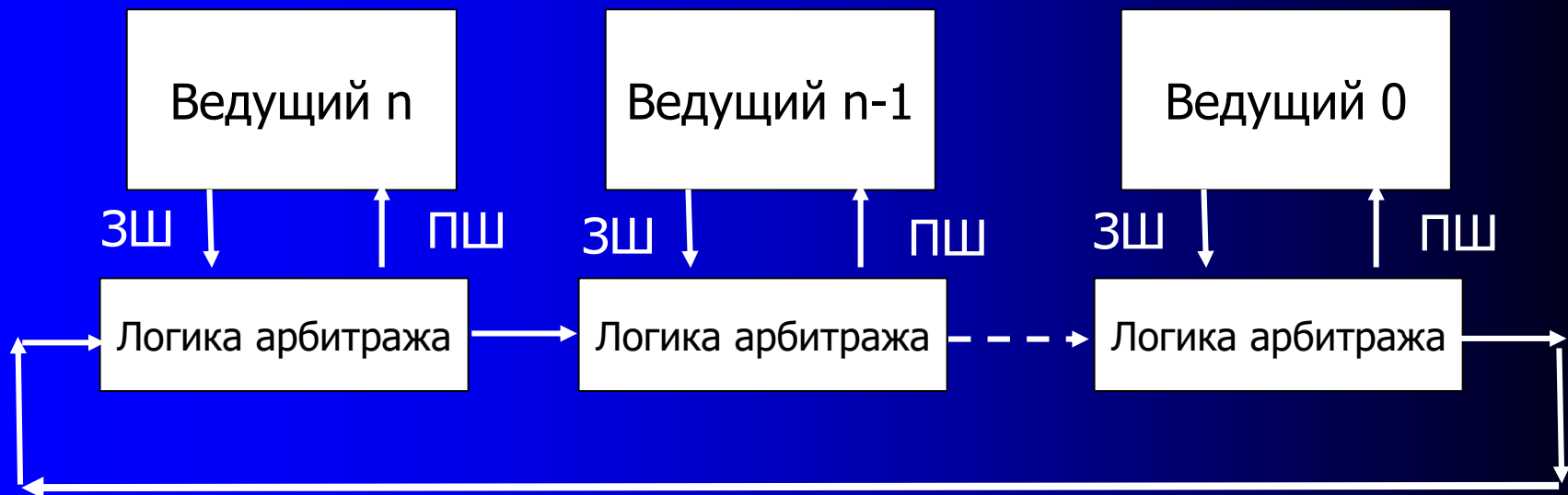
Децентрализованный (распределённый) арбитраж – каждый ведущий содержит блок управления доступом к шине. Блоки взаимодействуют между собой.

Параллельный арбитраж.



# Схемы арбитража шин

Кольцевая схема с циклической сменой приоритетов. Переход к следующему ведущему – со сменой приоритетов. Текущий ведущий в след. цикле – наименьший приоритет, его сосед справа – наивысший, остальные – на 1 меньше, чем у соседа слева. Циклическая смена с учётом последнего запроса.



# Схемы арбитража шин

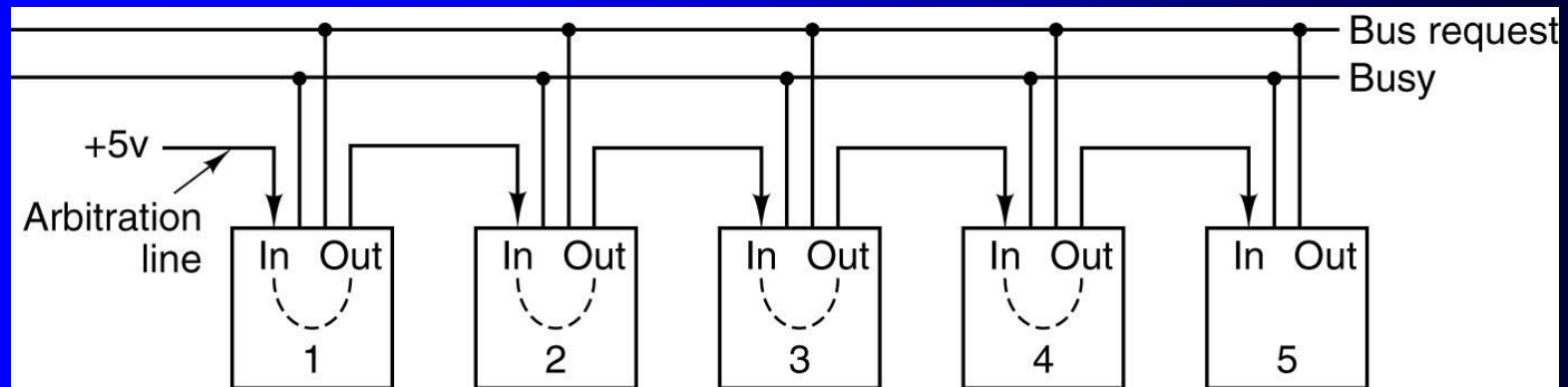
Текущий ведущий генерирует ПШ, который проходит через все схемы ЛА. Если имеется ещё один ведущий, который просит шину (ЗШ), то его ЛА не пропускает ПШ к другим устройствам. Текущий ведущий, «потеряв» ПШ на своём входе, должен при первой возможности освободить шину. Запрашивающий – её займет.



# Схемы арбитража шин

Чаще встречается иная схема децентр-го арбитража. Арбитражные линии и устройства по схеме «монтажное ИЛИ». Каждому ведущему – уникальный номер (уровень приоритета). Запрашивающие шину выставляют на арб. линии свой номер. Каждый из запрашивающих, обнаружив на линиях номер с более высоким приоритетом снимает младшие биты своего номера. В итоге (может понадобится несколько итераций) на линии остаётся только номер с наиболее высоким приоритетом. Ведущий, распознавший на линиях свой номер – захватывает шину. Способ называется – *распределённый арбитраж с самостоятельным выбором*. Модуль равнодоступности – последний ведущий не может участвовать в след. цикле арбитража. Шины – FutureBus, NuBus, MMultiBus, FastBus.

# Bus Arbitration (2)



## Decentralized bus arbitration.

В целом, децентрализованный арбитраж – более надёжен – выход из строя одного из ведущих не нарушает работу остальных. Но требуются схемы детекции неполадок (например, с пом. тайм-аута). Основной недостаток схем децентрализованного арбитража – относительная сложность логики аппаратуры каждого ведущего.

# Протокол шины

Сигналы на шине – перекод – прежде чем реагировать, все ведомые должны знать с какого момента поступивший адрес можно считать достоверным.

С данными ещё сложнее – могут передаваться в двух направлениях. При чтении – доп. задержка на выдачу ведомым необходимых ведущему данных на шину.

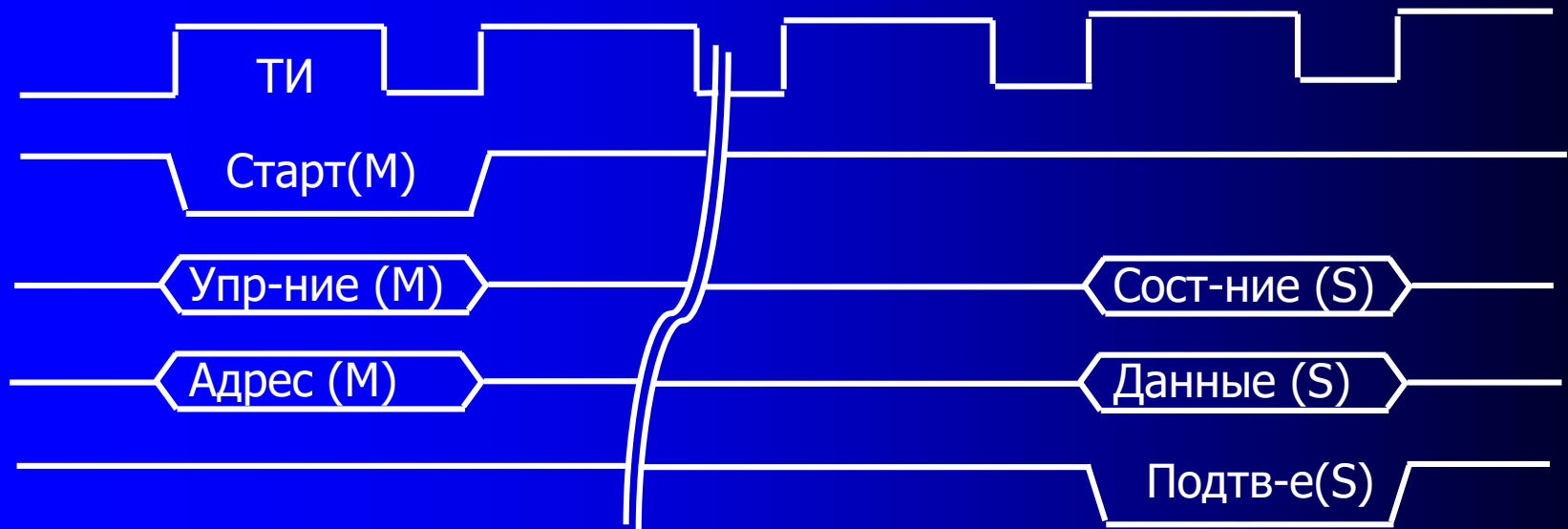
Метод информирования о достоверности адреса, данных, управляющей информации и информации состояния – протокол шины.

Два класса протоколов – **синхронный** (все сигналы привязаны к импульсам ГТИ) и **асинхронный** – для каждой группы сигналов свой сигнал подтверждения достоверности.



# Синхронные шины

**Синхронный** протокол (все сигналы привязаны к импульсам ГТИ). Период изменения тактового сигнала – **тактовый период шины** – определяет минимальный квант времени на шине. Изменение управляющих сигналов обычно совпадает с передним или задним фронтом ТИ.



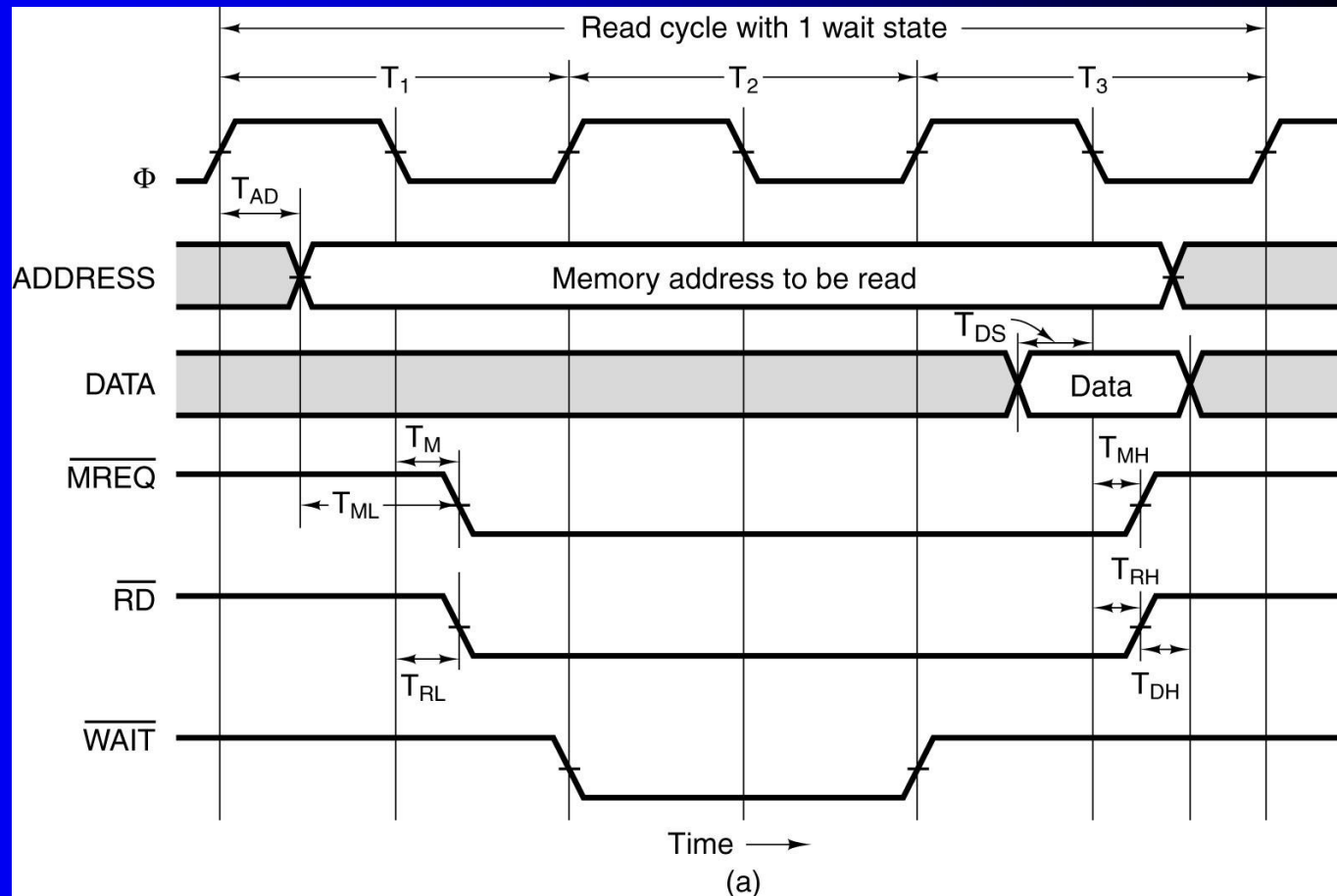
Протокол NuBus (Macintosh)

# Bus Clocking (1)

Цикл  
шины —  
25 нс  
(40 МГц)

MREQ —  
доступ к  
памяти, а  
не к В/В.

Пусть чтение  
- 40 нс, с момента  
стабилизации  
адреса.



Read timing on a synchronous bus.

# Bus Clocking (2)

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
$T_{AD}$	Address output delay		4	nsec
$T_{ML}$	Address stable prior to $\overline{MREQ}$	2		nsec
$T_M$	$\overline{MREQ}$ delay from falling edge of $\Phi$ in $T_1$		3	nsec
$T_{RL}$	RD delay from falling edge of $\Phi$ in $T_1$		3	nsec
$T_{DS}$	Data setup time prior to falling edge of $\Phi$	2		nsec
$T_{MH}$	$\overline{MREQ}$ delay from falling edge of $\Phi$ in $T_3$		3	nsec
$T_{RH}$	$\overline{RD}$ delay from falling edge of $\Phi$ in $T_3$		3	nsec
$T_{DH}$	Data hold time from negation of $\overline{RD}$	0		nsec

(b)

Specification of some critical times.

# Синхронные шины

**Синхронные шины:** следует добиваться, чтобы ТИ доставлялись к каждому разъёму шины практически одновременно.

ТИ должен выбираться так, чтобы любой сигнал на шине мог быть доставлен в любую её точку до завершения тактового периода -> чем короче шина, тем м.б. выше частота ТИ.

Синхронные протоколы – проще, требуют меньше сигн. линий, но менее гибки – привязаны к конкретной тактовой частоте (уровню технологий). Из-за проблемы перекоса синхросигналов синхронные шины не могут быть длинными.

Обычно синхр. шины – «процессор-память».

# Протокол шины

**Синхронные шины:** (доп. неудобства) ведущий не знает, что ответил ведомый, ведущий должен работать со скоростью самого медленного из устр-в, участвующих в пересылке данных.

**Асинхронные шины:** позволяют избегать указанных выше недостатков.

Начало очередного события определяется не ТИ, а окончанием предыдущего. Каждая совокупность сигналов, помещаемых на шину, сопровождается синхронизирующим сигналом (стробом).

Синхросигналы от ведомого – *квитирующие сигналы* (handshakes) или *подтверждения сообщений* (acknowledges).

# Асинхронные шины

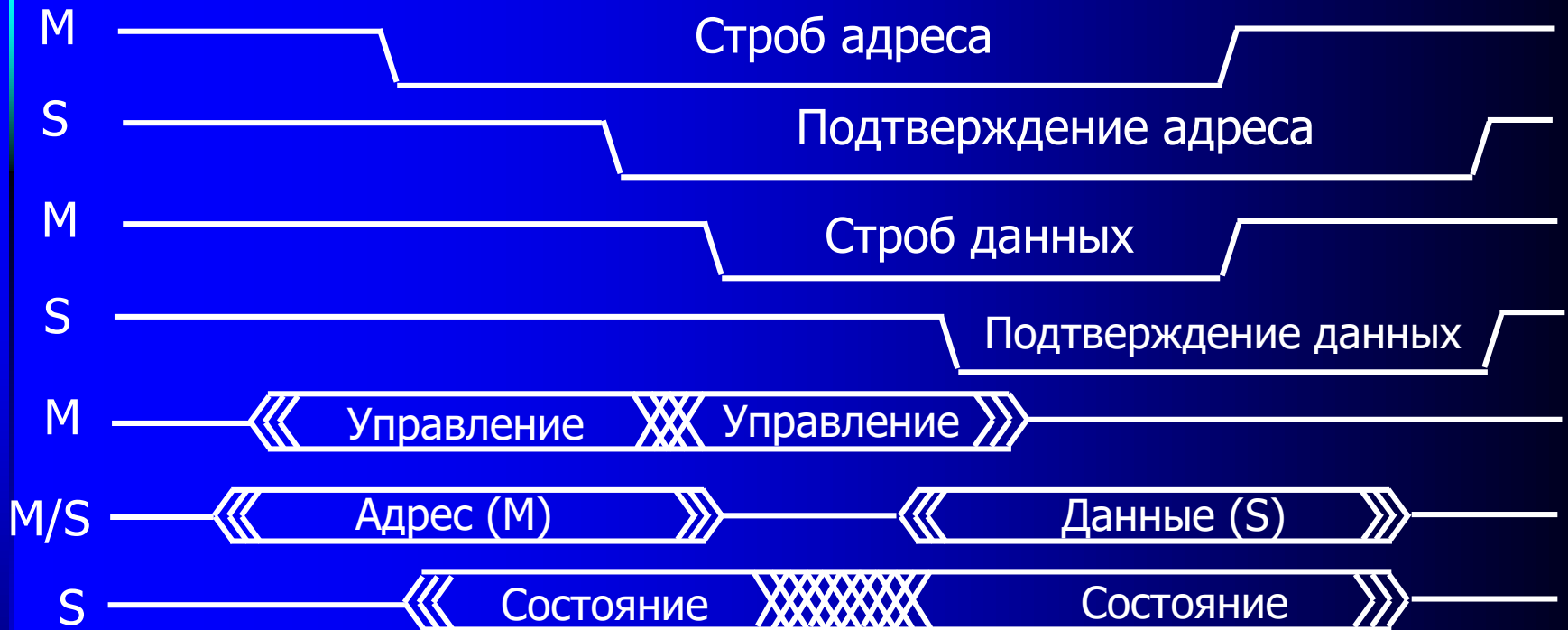
## Протокол FastBus



Когда ведущий видит сигнал подтверждения данных, он считывает данные и снимает строб данных (а здесь и строб адреса), чтобы показать, что действия с данными завершены. В более сложных вариантах – строб адреса может оставаться несколько циклов.

# Асинхронные шины

## Протокол FastBus



В асинхронных шинах подтверждение успешности транзакции обеспечивается двунаправленным обменом сигналами управления. Такая процедура называется **квитированием установления связи** или "рукопожатием" (**handshake**).

# Асинхронные шины

Скорость асинхронной пересылки определяется ведомым -> шины самосинхронизирующиеся, поэтому успешно могут применяться и новые и старые устройства. Плата – некоторое увеличение сложности аппаратуры.

Квитирование не всегда производится в полном объёме. Иногда транзакция не может быть завершена стандартным образом (например обращение по несуществующему адресу памяти) – ведомое не ответит подтверждающим сигналом. Выход из ситуации – схема тайм-аута.

Тайм-ауты из-за отказа оборудования – редки, но тайм-ауты по адресу – часты (например, проверка присутствия устройств на шине) -> малые значения тайм-аута и очень быстрые схемы декод-я адреса.

Асинхронные обычно шины ввода/вывода.



# Синхронные vs асинхронные

Ранее в ВМ преобладали асинхронные шины, в последних разработках – всё чаще синхронные.

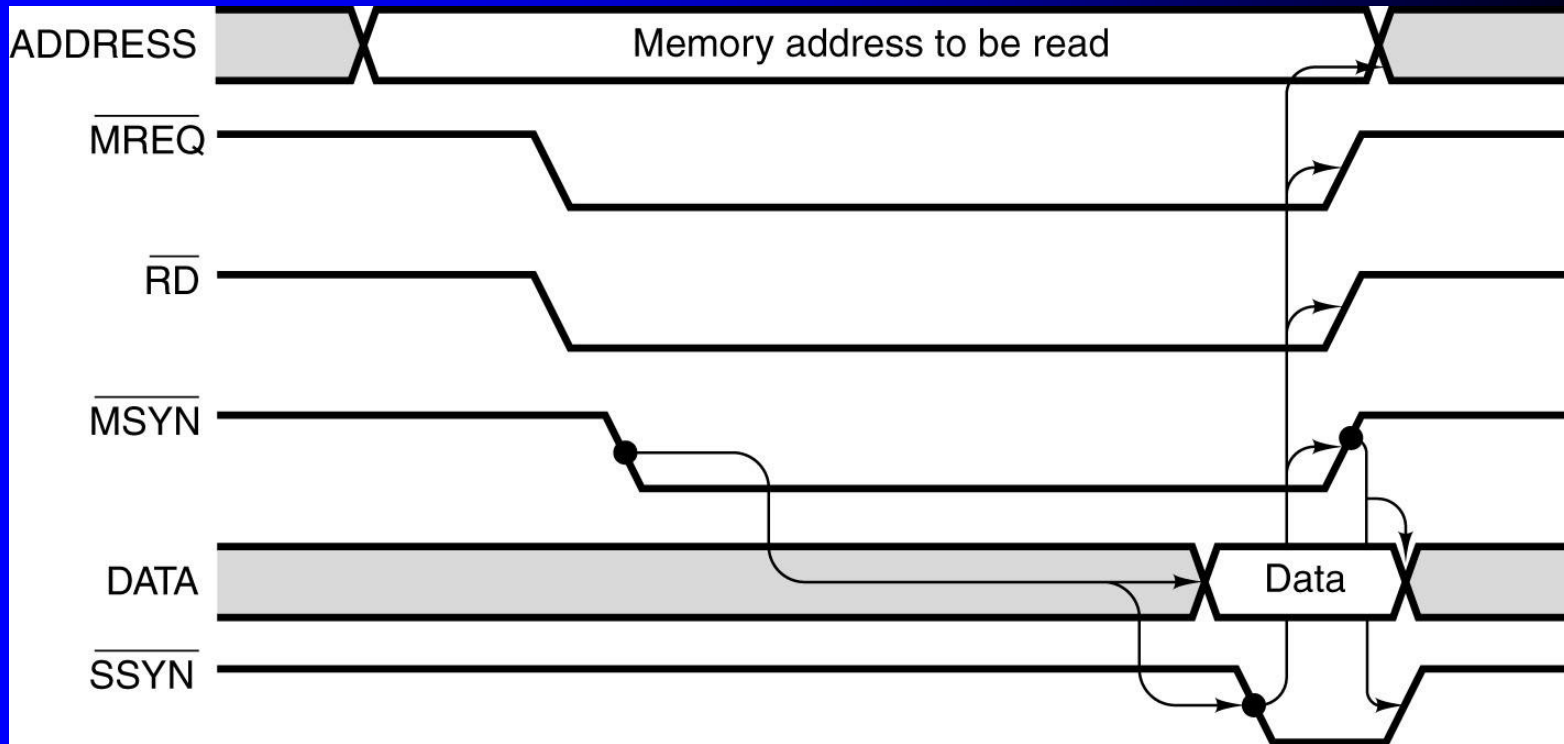
В настоящее время синхронные чуть быстрее асинхронных и близки к макс. значениям распространения сигналов. Возможное ускорение асинхронных даст лишь незначительный выигрыш по сравн. с синхр-ми.

Перекося сигналов – в синхронных уже заложен в такт. частоту, в асинхронных должен учитываться в каждой транзакции и каждым устр-вом.

Проблема *метастабильного состояния* триггеров ведомых в асинхронных решается легче – спец. Схемы определяют подобные ситуации и асинхр. система ожидает пока состояние не станет стабильным. В синхронном протоколе – синхронизация триггеров ТИ и/или двухтактные триггеры.

# Asynchronous Buses

Operation of an asynchronous bus.



MSYN – Master SYNchronization – после установки адреса и управляющих сигналов. SSYN – Slave SYNchronization – сигнал от ведомого, что данные уже на шине.