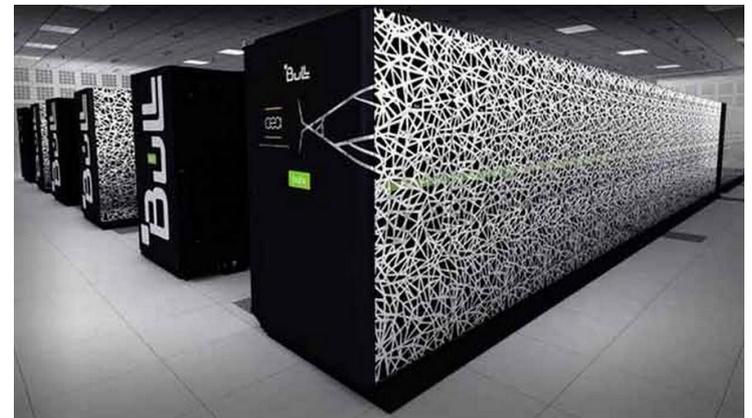


ЭВМ И ПЕРИФЕРИЙНЫЕ УСТРОЙСТВА

Лекция 3

Организация шин

Тогузов С.А.

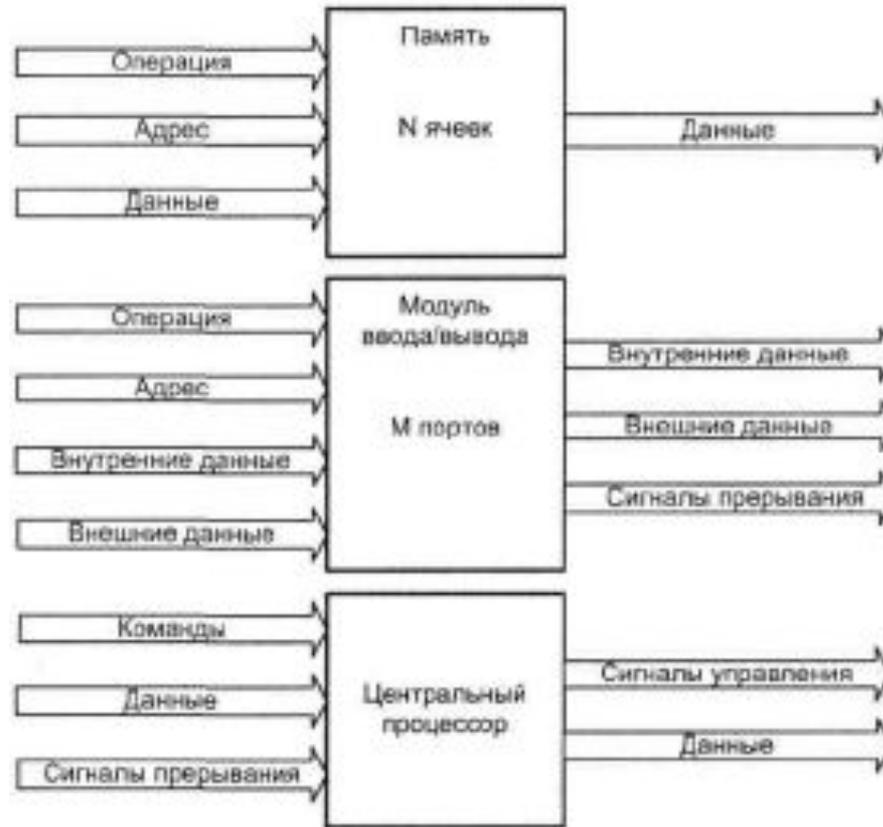


Чебоксары 2019

Совокупность трактов, объединяющих между собой основные устройства вычислительной машины (центральный процессор, память и модули ввода/вывода), образует структуру взаимосвязей вычислительной машины. Структура взаимосвязей должна обеспечивать обмен информацией между:

- центральным процессором и памятью;
- центральным процессором и модулями ввода/вывода;
- памятью и модулями ввода/вывода.

Информационные потоки, характерные для основных устройств вычислительной машины



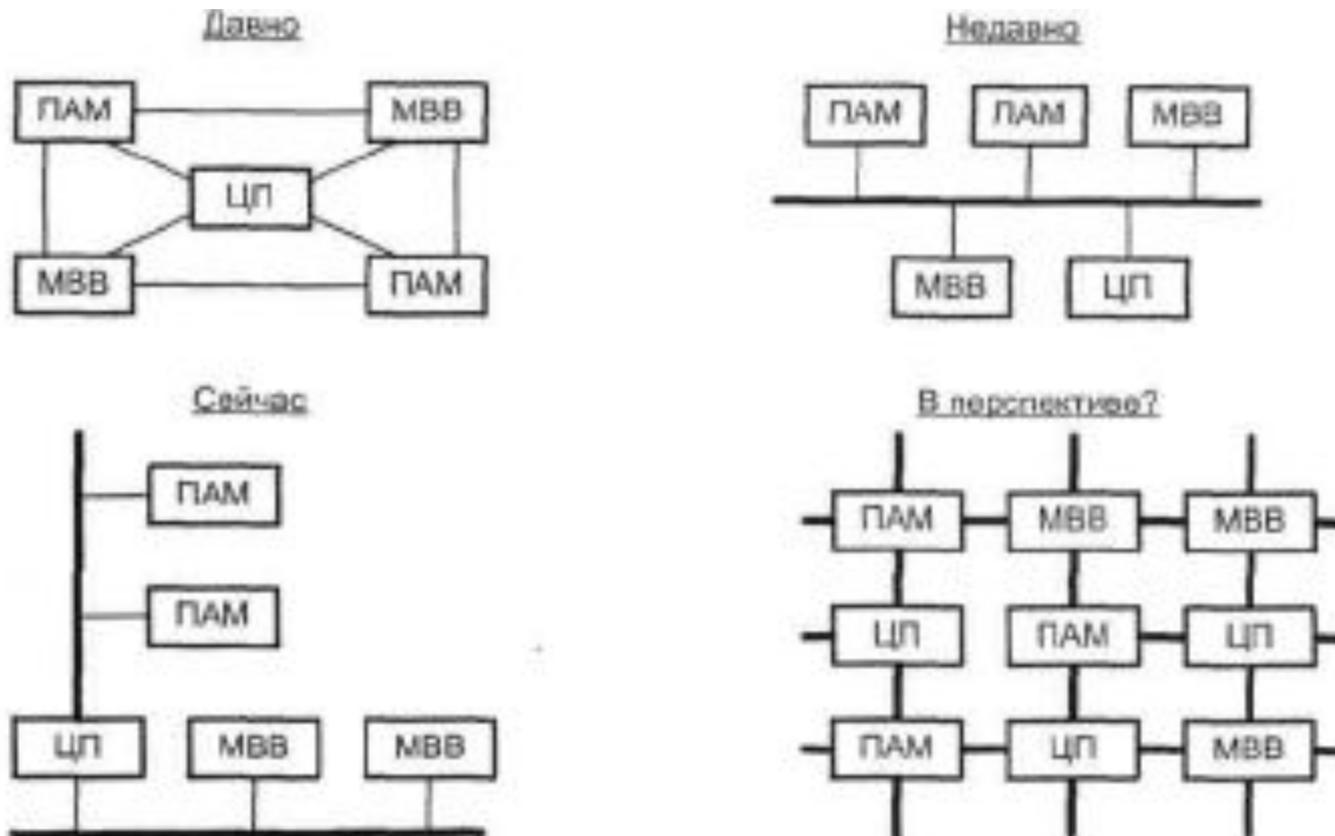
Информационные потоки в вычислительной машине

С развитием вычислительной техники менялась и структура взаимосвязей устройств ВМ. На начальной стадии преобладали непосредственные связи между взаимодействующими устройствами ВМ. С появлением мини-ЭВМ, и особенно первых микроЭВМ, все более популярной становится схема с одной общей шиной.

Последовавший за этим быстрый рост производительности практически всех устройств ВМ привел к неспособности единственной шины справиться с возросшим трафиком, и ей на смену приходят структуры взаимосвязей на базе нескольких шин.

Рассмотрим вопросы, связанные с организацией взаимосвязей на базе шин.

Эволюция структур взаимосвязей



(ЦП – центральный процессор, ПАМ – модуль основной памяти, МВВ – модуль ввода/вывода)

Взаимосвязь частей ВМ и ее «общение» с внешним миром обеспечиваются системой шин. Большинство машин содержат несколько различных шин, каждая из которых оптимизирована под определенный вид коммуникаций. Часть шин скрыта внутри интегральных микросхем или доступна только в пределах печатной платы. Некоторые шины имеют доступные извне точки, с тем чтобы к ним легко можно было подключить дополнительные устройства, причем большинство таких шин не просто доступны, но и отвечают определенным стандартам, что позволяет подсоединять к шине устройства различных производителей.

Шину образует набор коммуникационных линий, каждая из которых способна передавать сигналы, представляющие двоичные цифры 1 и 0. По линии может пересылаться развернутая во времени последовательность таких сигналов. При совместном использовании несколько линий могут обеспечить одновременную (параллельную) передачу двоичных чисел. Физически линии шины реализуются в виде отдельных проводников, как полоски проводящего материала на монтажной плате либо как алюминиевые или медные проводящие дорожки на кристалле микросхемы.

Параметры, характеризующие шину

- совокупность сигнальных линий;
- физические, механические и электрические характеристики шины;
- используемые сигналы арбитража, состояния, управления и синхронизации;
- правила взаимодействия подключенных к шине устройств (протокол шины).



Транзакции

Операции на шине называют транзакциями. Основные виды транзакций – транзакции чтения и транзакции записи. Если в обмене участвует устройство ввода/вывода, можно говорить о транзакциях ввода и вывода, по сути эквивалентных транзакциям чтения и записи соответственно. Шинная транзакция включает в себя две части: посылку адреса и прием (или посылку) данных.

Английский эквивалент термина «шина» – «bus» – восходит к латинскому слову *omnibus*, означающему «для всего». Этим стремятся подчеркнуть, что шина ведет себя как магистраль, способная обеспечить всевозможные виды трафика.

Типы шин

Важным критерием, определяющим характеристики шины, может служить ее целевое назначение. По этому критерию можно выделить:

- шины «процессор-память»;
- шины ввода/вывода;
- системные шины.

Шина «процессор-память»

Обеспечивает непосредственную связь между центральным процессором (ЦП) вычислительной машины и основной памятью (ОП). В современных микропроцессорах такую шину часто называют шиной переднего плана и обозначают аббревиатурой FSB (Front-Side Bus). Интенсивный трафик между процессором и памятью требует, чтобы полоса пропускания шины, то есть количество информации, проходящей по шине в единицу времени, была наибольшей. Роль этой шины иногда выполняет системная шина (см. ниже), однако в плане эффективности значительно выгоднее, если обмен между ЦП и ОП ведется по отдельной шине.

К рассматриваемому виду можно отнести также шину, связывающую процессор с кэш-памятью второго уровня, известную как шина заднего плана – BSB (Back-Side Bus). BSB позволяет вести обмен с большей скоростью, чем FSB, и полностью реализовать возможности более скоростной кэш-памяти.

Поскольку в фон-неймановских машинах именно обмен между процессором и памятью во многом определяет быстродействие ВМ, разработчики уделяют связи ЦП с памятью особое внимание. Для обеспечения максимальной пропускной способности шины «процессор-память» всегда проектируются с учетом особенностей организации системы памяти, а длина шины делается по возможности минимальной.

Шина ввода/вывода

Шина ввода/вывода служит для соединения процессора (памяти) с устройствами ввода/вывода (УВВ). Учитывая разнообразие таких устройств, шины ввода/вывода унифицируются и стандартизируются. Связи с большинством УВВ (но не с видеосистемами) не требуют от шины высокой пропускной способности. При проектировании шин ввода/вывода в учет берутся стоимость конструктива и соединительных разъемов. Такие шины содержат меньше линий по сравнению с вариантом «процессор-память», но длина линий может быть весьма большой. Типичными примерами подобных шин могут служить шины PCI и SCSI.

Системная шина

С целью снижения стоимости некоторые ВМ имеют общую шину для памяти и устройств ввода/вывода. Такая шина часто называется системной. Системная шина служит для физического и логического объединения всех устройств ВМ. Поскольку основные устройства машины, как правило, размещаются на общей монтажной плате, системную шину часто называют объединительной шиной (backplane bus).

Системная шина в состоянии содержать несколько сотен линий. Совокупность линий шины можно подразделить на три функциональные группы: шину данных, шину адреса и шину управления. К последней обычно относят также линии для подачи питающего напряжения на подключаемые к системной шине модули.

Структура системной шины



Физически системная шина представляет собой совокупность параллельных электрических проводников. Шина подводится ко всем модулям, и каждый из них подсоединяется ко всем или некоторым ее линиям. Если ВМ конструктивно выполнена на нескольких платах, то все линии шины выводятся на разъемы, которые затем объединяются проводниками на общем шасси.

Иерархия шин

Если к шине подключено большое число устройств, ее пропускная способность падает, поскольку слишком частая передача прав управления шиной от одного устройства к другому приводит к ощутимым задержкам. По этой причине во многих ВМ предпочтение отдается использованию нескольких шин, образующих определенную иерархию. Сначала рассмотрим ВМ с одной шиной.

Вычислительная машина с одной шиной

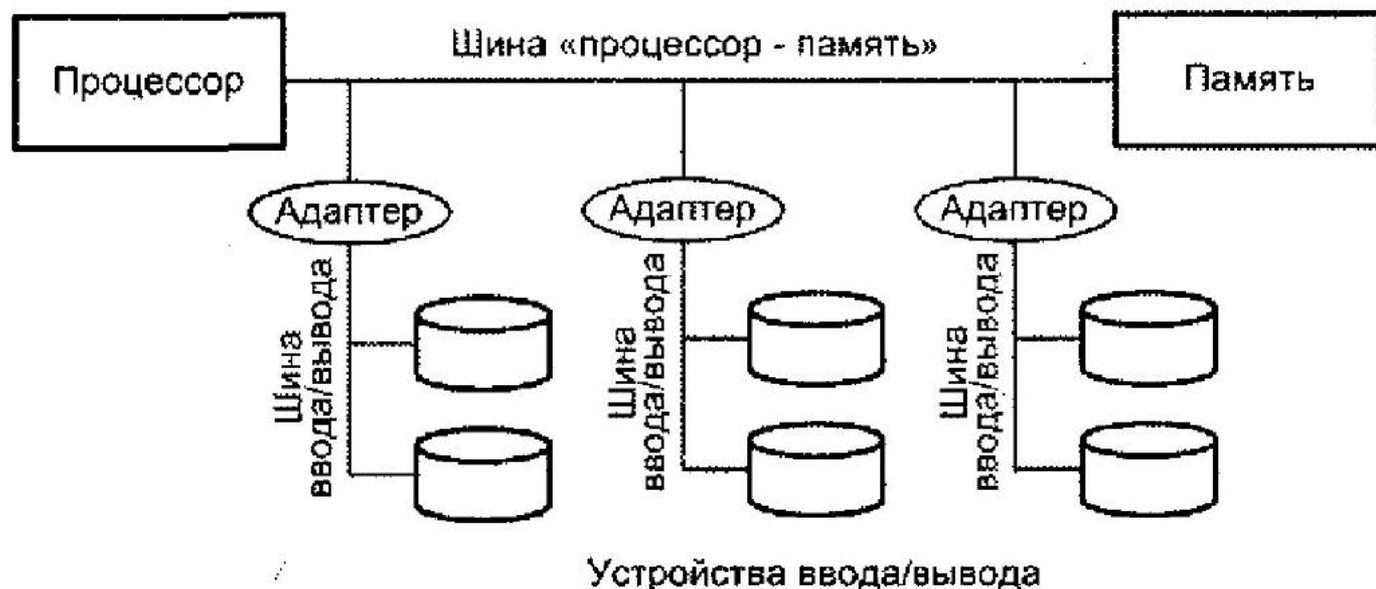
В структурах взаимосвязей с одной шиной имеется одна системная шина, обеспечивающая обмен информацией между процессором и памятью, а также между УВВ, с одной стороны, и процессором либо памятью – с другой



Для такого подхода характерны простота и низкая стоимость. Однако одношинная организация не в состоянии обеспечить высокие интенсивность и скорость транзакций, причем «узким местом» становится именно шина.

Вычислительная машина с двумя видами шин

Хотя контроллеры устройств ввода/вывода (УВВ) могут быть подсоединены непосредственно к системной шине, больший эффект достигается применением одной или нескольких шин ввода/вывода.

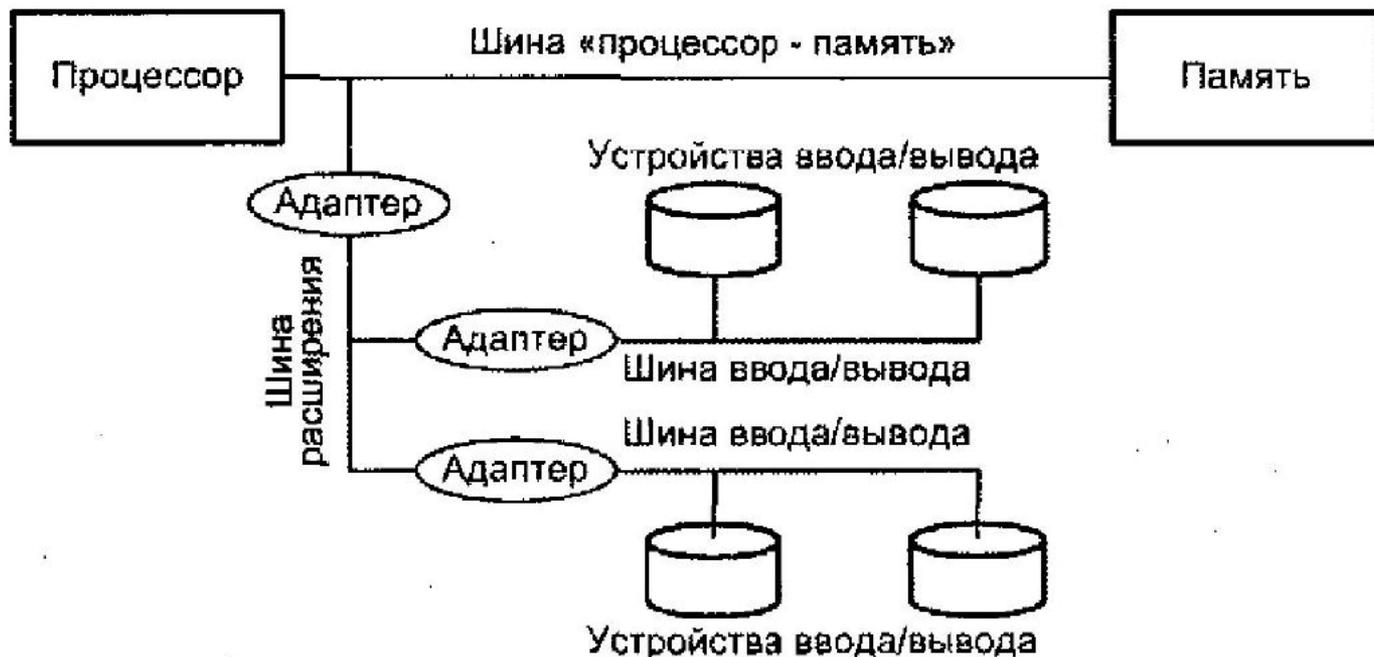


УВВ подключаются к шинам ввода/вывода, которые берут на себя основной трафик, не связанный с выходом на процессор или память. Адаптеры шин обеспечивают буферизацию данных при их пересылке между системной шиной и контроллерами УВВ. Это позволяет ВМ поддерживать работу множества устройств ввода/вывода и одновременно «развязать» обмен информацией по тракту процессор-память и обмен информацией с УВВ.

Подобная схема существенно снижает нагрузку на скоростную шину «процессор-память» и способствует повышению общей производительности ВМ.

Вычислительная машина с тремя видами шин

Для подключения быстродействующих периферийных устройств в систему шин может быть добавлена высокоскоростная шина расширения.



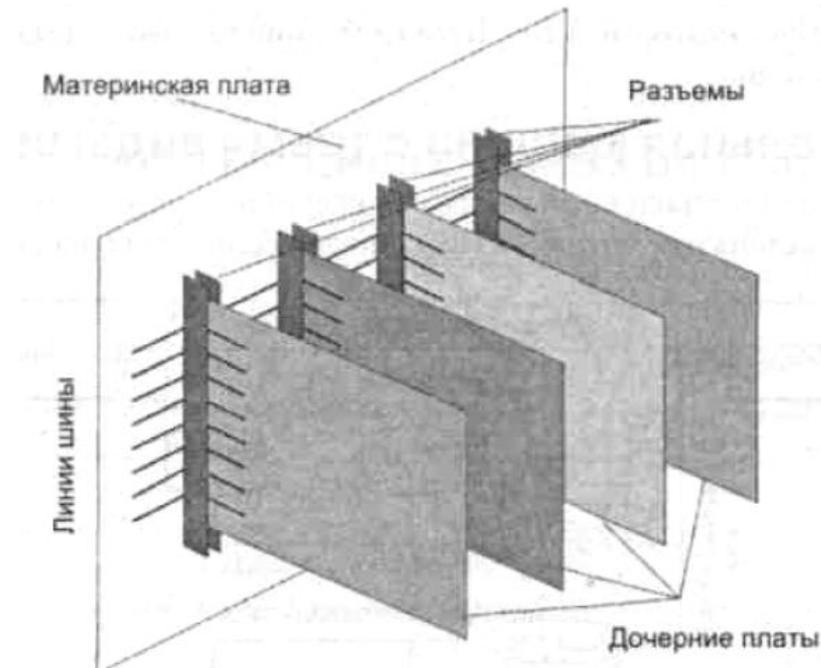
Шины ввода/вывода подключаются к шине расширения, а уже с нее через адаптер к шине «процессор-память». Схема еще более снижает нагрузку на шину «процессор-память». Такую организацию шин называют архитектурой с «пристройкой» (mezzanine architecture).

Физическая реализация шин. Механические аспекты

Основная шина, объединяющая устройства вычислительной машины, обычно размещается на так называемой объединительной или материнской плате. Шину образуют тонкие параллельные медные полоски, поперек которых через небольшие интервалы установлены разъемы для подсоединения устройств ВМ. Подключаемые к шине устройства обычно также выполняются в виде печатных плат, часто называемых дочерними платами или модулями. Дочерние платы вставляются в разъемы на материнской плате. В дополнение к тонким сигнальным линиям на материнской плате имеются также и более широкие проводящие линии, по которым к дочерним платам подводится питающее напряжение.

Организация объединительной шины

«Механические» спецификации шины обычно включают такие детали, как размеры плат, размеры и размещение направляющих для установки платы, разрешенное место для установки кабельного разъема, максимальная высота элементов на плате и т. д.



Физическая реализация шин. Электрические аспекты

Все устройства, использующие шину, электрически подсоединены к ее сигнальным линиям, представляющим собой электрические проводники. Меняя уровни напряжения на сигнальных линиях, ведущее устройство формирует на них информационные или управляющие сигналы. Когда ведущее устройство выставляет на сигнальной шине какой-то уровень напряжения, этот уровень может быть воспринят приемниками в любой точке линии. Такое описание дает лишь идеализированную картину происходящих на шине процессов – реальные процессы значительно сложнее.

Рассматривая процесс распространения сигнала по сигнальной линии, необходимо учитывать четыре основных фактора:

- скорость распространения;
- отражение;
- перекос;
- эффекты перекрестного влияния.

Теоретическая граница скорости распространения сигнала – скорость света в свободном пространстве, то есть около 300 м/нс. Реальная скорость, определяемая физическими характеристиками сигнальных линий и нагрузкой, реально не может превысить 70% от скорости света.

Арбитраж шин

В реальных системах на роль ведущего вправе одновременно претендовать сразу несколько из подключенных к шине устройств, однако управлять шиной в каждый момент времени может только одно из них. Чтобы исключить конфликты, шина должна предусматривать определенные механизмы арбитража запросов и правила предоставления шины одному из запросивших устройств. Решение обычно принимается на основе приоритетов претендентов.

Схемы приоритетов

Каждому потенциальному ведущему присваивается определенный уровень приоритета, который может оставаться неизменным (статический или фиксированный приоритет) либо изменяться по какому-либо алгоритму (динамический приоритет).

Основной недостаток статических приоритетов в том, что устройства, имеющие высокий приоритет, в состоянии полностью блокировать доступ к шине устройств с низким уровнем приоритета. Системы с динамическими приоритетами дают шанс каждому из запросивших устройств рано или поздно получить право на управление шиной, то есть в таких системах реализуется принцип равнодоступности.

Алгоритмы динамического изменения приоритетов:

- простая циклическая смена приоритетов;
- циклическая смена приоритетов с учетом последнего запроса;
- смена приоритетов по случайному закону;
- схема равных приоритетов;
- алгоритм наиболее давнего использования.

В алгоритме простой циклической смены приоритетов после каждого цикла арбитража все приоритеты понижаются на один уровень, при этом устройство, имевшее ранее низший уровень приоритета, получает наивысший приоритет.

В схеме циклической смены приоритетов с учетом последнего запроса все возможные запросы упорядочиваются в виде циклического списка. После обработки очередного запроса обслуженному ведущему назначается низший уровень приоритета. Следующее в списке устройство получает наивысший приоритет, а остальным устройствам приоритеты назначаются в убывающем порядке, согласно их следованию в циклическом списке.

При смене приоритетов по случайному закону после очередного цикла арбитража с помощью генератора псевдослучайных чисел каждому ведущему присваивается случайное значение уровня приоритета.

В схеме равных приоритетов при поступлении к арбитру нескольких запросов каждый из них имеет равные шансы на обслуживание. Возможный конфликт разрешается арбитром. Такая схема принята в асинхронных системах.

В алгоритме наиболее давнего использования (LRU, Least Recently Used) после каждого цикла арбитража наивысший приоритет присваивается ведущему, который дольше чем другие не использовал шину.

Протокол шины

Выставляя на шину адрес, ведущее устройство все его биты выдает на линии параллельно, что совсем не гарантирует их одновременного поступления к ведомому устройству. Отдельные биты адреса могут преодолевать более длинный путь, другие – предварительно должны пройти через аппаратуру преобразования адресов процессора в адреса шины. Кроме того, отличия есть и в характеристиках отдельных сигнальных линий, драйверов и приемников. Рассмотренная ситуация, как уже отмечалось, называется перекосом сигналов. Прежде чем реагировать на поступивший адрес, все ведомые должны знать, с какого момента его можно считать достоверным.

Ситуация с передачей данных еще сложнее, так как данные могут пересылаться в обоих направлениях. В транзакции чтения имеет место задержка на время, пока ведомое устройство ищет затребованные данные, и ведомый должен каким-то образом известить о моменте, когда данные можно считать достоверными. Система должна предусматривать возможный перекоп данных.

Метод, выбираемый проектировщиками шин для информирования о достоверности адреса, данных, управляющей информации и информации состояния, называется протоколом шины.

Используются два основных класса протоколов – синхронный и асинхронный. В синхронном протоколе все сигналы «привязаны» к импульсам единого генератора тактовых импульсов (ГТИ). В асинхронном протоколе для каждой группы линий шины формируется свой сигнал подтверждения достоверности. Хотя в каждом из протоколов можно найти как синхронные, так и асинхронные аспекты, различия все же весьма существенны.

Синхронный протокол

В синхронных шинах имеется центральный генератор тактовых импульсов (ГТИ), к импульсам которого «привязаны» все события на шине. Тактовые импульсы (ТИ) распространяются по специальной сигнальной линии и представляют собой регулярную последовательность чередующихся единиц и нулей. Один период такой последовательности называется тактовым периодом шины. Именно он определяет минимальный квант времени на шине (временной слот). Все подключенные к шине устройства могут считывать состояние тактовой линии, и все события на шине отсчитываются от начала тактового периода. Момент смены состояния на синхронной шине известен заранее и определяется тактовыми импульсами.

Синхронные протоколы требуют меньше сигнальных линий, проще для понимания, реализации и тестирования. Поскольку для реализации синхронного протокола практически не требуется дополнительной логики, эти шины могут быть быстрыми и дешевыми. С другой стороны, они менее гибки, поскольку привязаны к конкретной максимальной тактовой частоте и, следовательно, к конкретному уровню технологии. По этой причине существующие шины часто не в состоянии реализовать потенциал производительности подключаемых к себе новых устройств. Кроме того, из-за проблемы перекоса синхросигналов синхронные шины не могут быть длинными.

По синхронному протоколу обычно работают шины «процессор-память».

Асинхронный протокол

В асинхронном протоколе начало очередного события на шине определяется не тактовым импульсом, а предшествующим событием и следует непосредственно за этим событием. Каждая совокупность сигналов, помещаемых на шину, сопровождается соответствующим синхронизирующим сигналом, называемым стробом. Синхросигналы, формируемые ведомым, часто называют квитирующими сигналами (handshakes) или подтверждениями сообщения (acknowledges).

Шины ввода/вывода обычно реализуются как асинхронные.