



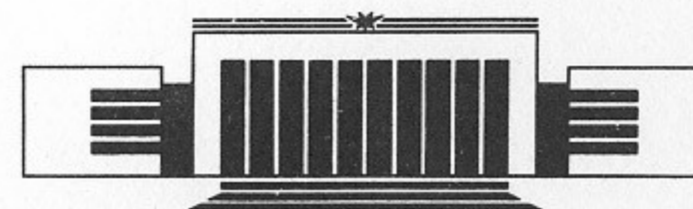
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

2

В.В. Каргальцев, А.В. Репков.

ИНТЕРФЕЙС ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ (Б0612)

ПРЕПРИНТ 88-104



НОВОСИБИРСК

Интерфейс локальной сети (Б0612)

В.В. Каргальцев, А.В. Репков.

Институт ядерной физики
630090, Новосибирск 90, СССР

АННОТАЦИЯ

В работе описан интерфейс, позволяющий организовать между двумя процессорами скоростной дуплексный канал связи с последовательной передачей информации. Приведены формат сообщений и протокол обмена в линии связи. Кратко описаны устройство интерфейса и некоторые особенности конструкции, позволяющие автоматизировать его наладку и тестирование.

Интерфейс выполнен в виде КАМАК-модуля и предназначен для работы с процессорами, имеющими сопряжение с КАМАК-магистралью.

Предложен вариант локальной вычислительной сети для управления крупными электрофизическими установками. Топология сети — звездообразная. В центре — коммуникационный процессор, соединенный с каждым участником сети персональным каналом связи.

Существующим в ИЯФ многопроцессорным системам автоматизированного управления свойственно такое разделение задач между управляющими процессорами, при котором общая задача управления разбивается на практически независимые части, соответствующие по объему возможностям одного управляющего процессора. Выделение круга задач для одного процессора осуществляется по различным признакам: по территориальному — например, управление автономной частью установки; по функциональному — например, контроль траектории пучка в каналах транспортировки. В соответствии с задачами каждый процессор оснащается необходимой измерительной и управляющей аппаратурой и внешними устройствами.

Общий процесс управления электрофизической установкой включает в себя как работу программ с аппаратурой (управляющие воздействия, таймирование, измерение и индикация параметров установки), так и действия оператора (анализ физических результатов или оценка технического состояния установки, принятие решений о коррекции или изменении режима работы, формирование набора программ и исходных данных для обеспечения требуемого режима работы).

Разделение задач приводит, фактически, к разбиению общего процесса управления на ряд частных автономных процессов, обычно по числу управляющих процессоров. При этом каждый процесс решает какую-либо локальную задачу. Логика такого подхода вполне понятна, и, более того, на практике происходило не разбиение уже готового общего процесса управления на части, а его синтез из частных, конкретных и более понятных процессов.

Опыт работы на ускорителях института выявил неоптималь-

ность реализованных процессов управления, обусловленную такой структурой систем автоматизации.

Во-первых, не удается разделить задачу управления установкой на абсолютно автономные части. Автономность достигается только в некотором приближении и всегда остается необходимость связи между частными процессами (синхронизация процессов, обмен информацией о режиме работы и т. д.). Сейчас такая связь осуществляется через оператора или с помощью неспецифичных простейших средств связи.

Во-вторых, разделение задач производится один раз при создании системы автоматизации, жестко фиксируется аппаратными связями и далее практически не поддается изменениям. Разделение производится однопланово: в плане решения главной задачи — обеспечения работы всей установки в основном режиме. При этом, даже в основном режиме, существуют неудобства, связанные с автономизацией процессов. Например, каждый процессор требует своего терминала для общения с оператором, которому приходится переходить от одного терминала к другому или переключать свой терминал. Участие оператора одновременно в нескольких процессах невозможно и это затрудняет качественную реализацию процессов.

Каждому процессору приходится работать с большой номенклатурой разнотипной аппаратуры, обладающей различной спецификой. Это усложняет управляющие программы и их взаимодействие. С другой стороны, однотипная аппаратура, обслуживающая разные части установки, подключается к разным процессорам, что часто приводит к избыточности аппаратуры и неэффективному ее использованию. Особенно это заметно по составу пультовой аппаратуры — в главной пультовой установке каждый процессор представлен своим комплектом устройств ввода/вывода (терминалы, меню, принтеры, графические дисплеи и т. д.). Крайне затруднительно эффективное использование этих устройств, например, совместное их использование несколькими процессорами или оперативное изменение назначения (и принадлежности) конкретного устройства в соответствии с текущим контекстом работы установки.

В реальной жизни крупная установка значительное время (около 30%) находится в других режимах работы, например, в режиме отладки отдельных систем. К таким системам, применительно к ускорителям, относятся система питания магнитных элементов постоянным током, система импульсного питания, система

контроля параметров пучков и т. д. Каждая система содержит однотипную аппаратуру, обычно сосредоточенную в одном месте и обслуживающую различные автономные части установки. Вмешательство оператора в работу систем производится с главного пульта установки.

В режиме отладки и при контроле технического состояния было бы удобно сосредоточить управление всей отдельной системой в одном процессоре и осуществлять его с отдельного технического пульта системы (местного пульта), оборудованного, кроме внешних устройств ЭВМ, дополнительной диагностической аппаратурой.

Для реализации такого режима работы необходима возможность динамической реконфигурации системы автоматизации установки при изменении режима ее работы. Структура существующих в ИЯФ систем автоматизации определяется аппаратными связями, что исключает такую возможность.

Для разрешения возникших проблем необходимо создание систем управления, у которых логическая структура не привязана жестко к аппаратной структуре. Построение таких систем возможно, например, на основе магистрально-модульных систем, управляющих сетями реального времени или их композиции.

Основной особенностью таких систем является обеспечение всех участвующих в управлении процессоров средствами связи, позволяющими им оперативно, в реальном масштабе времени производить интенсивный обмен информацией между собой. Аппаратная структура такой системы (распределение аппаратуры и внешних устройств между процессорами) консервативна и формируется при создании системы. Логическая структура, описывающая разделение общего процесса управления на относительно автономные частные процессы и выделяющая набор аппаратуры и процессоров, участвующих в каждом конкретном частном процессе, определяется в значительной мере матобеспечением — текущим набором программ, работающих одновременно во всех процессорах системы.

Оперативная информационная связь позволяет легко изменять комплект одновременно работающих программ, реализуя тем самым динамичность логической структуры. Кроме того, информационная связь позволяет распараллеливать процессы (одновременное участие в процессе нескольких процессоров), совмещать их (участие процессора в нескольких процессах одновременно) и осуществлять их синхронизацию.

Кроме уже знакомых частных процессов, таких, например, как процесс обмена в реальном времени информацией между аппаратурой и текущей базой данных установки, в таких системах управления ожидается появление процессов с непривычной специализацией. Предполагается появление служебных процессов, координирующих другие, управляющие процессы. Возможно выделение в отдельный процесс всей процедуры взаимодействия системы управления с операторами. Для этого все устройства взаимодействия с оператором (графические дисплеи, АЦПУ, терминалы, клавишные панели и другие органы управления) подключаются к одному или нескольким специально для этого выделенным процессорам, что позволяет логически изменять назначение конкретного устройства ввода-вывода (виртуальные терминалы) и допускает совместное использование устройств вывода несколькими процессорами (графические дисплеи, АЦПУ).

Наиболее реальной сейчас основой для создания многопроцессорных систем управления с сильной информационной связью является управляющая локальная сеть. Управляющая сеть ориентирована на работу в реальном масштабе времени, что предъявляет к ней некоторые дополнительные требования.

Кроме обычного для локальных сетей желания иметь высокую скорость обмена и низкую, порядка 10^{-12} на бит, вероятность ошибок, управляющая сеть должна обеспечивать гарантированное время доступа в сеть и гарантированное время доставки сообщения. Под временем доступа понимается интервал от момента, когда пользовательская программа сформировала сообщение и приняла решение о его отправке, до начала отправки этого сообщения в линию связи. Этот интервал состоит из двух частей. Сначала производится обработка запроса на отправку сообщения сетевым матобеспечением, реализующим высшие уровни протокола обмена в процессоре-отправителе. Данное сообщение может оказаться не единственным, требующим отправки, и в этом случае ему придется дожидаться своей очереди. Затем необходимо дождаться освобождения необходимых для передачи сообщения ресурсов сети и разрешения на выход в линию связи.

Время доставки кроме времени доступа включает в себя время передачи сообщения в линии (линиях) связи, время обработки сообщения в промежуточных узлах сети и анализ сообщения сетевым матобеспечением в процессоре-получателе.

Обеспечение гарантированных времен доступа и доставки возможно двумя путями. В первом случае все возможные обмены в

сети равноправны, но реальная нагрузка сети не превышает 20—50% от максимально возможной. В этом режиме очередей на обмен нет и времена определяются техническими возможностями сети. Но такой режим сложно организовать для управляющих сетей так как их нагрузка обычно имеет импульсный характер, с большим превышением пикового уровня над средним. Сеть, обеспечивающая такой режим, получается излишне избыточной и дорогой.

Во втором варианте сеть должна поддерживать разделение сообщений на классы с разными привилегиями (приоритетный обмен). Для разных классов различны и гарантированные времена, и степень их гарантированности. При этом, естественно, нагрузка сети приоритетными обменами должна быть значительно ниже максимальной. Такой подход усложняет протокол обмена, но соответствует реальным задачам управления и позволяет относительно недорого их решать.

Кроме гарантированности времен доступа и доставки, от управляющей сети требуется как можно меньшее значение этих времен. Уменьшение времен может быть достигнуто упрощением и сокращением программно-реализованной части протокола обмена. Упрощению способствуют такие факторы, как конечное и малое (обычно до 20) число процессоров в управляющей сети и согласованность задач, решаемых разными процессорами в системе автоматизации установки. Выбор простой структуры, например, одноуровневая сеть (кольцо или звезда), и минимизация числа промежуточных узлов обработки сообщений, также приводит к упрощению протокола и сокращению времен.

Задержки, связанные с занятостью ресурсов сети можно уменьшить более эффективным использованием этих ресурсов. Очевидной мерой является высокая скорость передачи в линиях связи. Протокол обмена должен исключать непроизводительные затраты: необходима ориентация на обмен сообщениями (пакетами), а не словами или байтами; предотвращение потери пакетов. Большое значение имеет правильный выбор физической структуры сети и метода доступа к передающей среде. Например, состязательный множественный доступ при шинной структуре (Ethernet, CSMA/CD) не позволяет ввести приоритетность обменов и приводит к непредсказуемым значениям времени доступа при высокой нагрузке сети.

По сегодняшним оценкам управляющая сеть должна обеспечивать обмен информацией в темпе 30—50 кбайт/сек с характерным

размером сообщений 50—500 байт, с гарантированными временем доступа до 20 мс и временем доставки до 100 мс.

Опыт работы на установках института не позволяет сейчас четко сформулировать требования к управляющей сети и полные спецификации протокола обмена, подлежащие аппаратной реализации. Поэтому для ближайшего применения предлагается звездообразная конфигурация сети, в которой все управляющие процессоры размещены на периферии и равноправны. Аппаратно обеспечивается связь типа «точка—точка», позволяющая связать между собой два процессора и служащая для подключения периферийных процессоров к центру. Центр является диспетчером сети, организующим обмен информацией между периферийными процессорами. В состав центра также входит процессор, и значительная часть протокола реализуется программно. Такое решение обеспечивает гибкость структуры и универсальность сети, возможность относительно простой модификации протокола обмена, позволяет унифицировать связную аппаратуру в центре и на периферии, а также упростить ее.

В системах управления установками института основным типом управляющего процессора является микроЭВМ «Одренок» [1], выполненная в виде контроллера КАМАК-крейта и использующая для ввода-вывода КАМАК-магистраль. В связи с этим разработанный интерфейс для организации локальной сети выполнен в виде КАМАК-модуля (размер 1М) и может использоваться совместно с другими типами процессоров, имеющими сопряжение с КАМАК-магистралью.

КАНАЛ СВЯЗИ

Интерфейс позволяет организовать канал связи для обмена информацией между двумя процессорами, для чего необходимо обеспечить каждый процессор интерфейсом и связать их между собой линией связи. Линия связи представляет собой два коаксиальных кабеля, по каждому из которых информация передается в одном направлении. Обмен информацией осуществляется в дуплексном режиме—прием и передача независимы и могут производиться одновременно.

Передача информации производится блоками (кадрами) и осуществляется в три этапа:

- загрузка кадра процессором-отправителем в передающий буфер интерфейса,
- передача кадра по линии связи,
- чтение кадра процессором-получателем из приемного буфера своего интерфейса.

Размер кадра может быть произвольным, но ограничен сверху объемом буферов интерфейса—1024 24-разрядных слова. При передаче в линию отправляется столько слов, сколько было загружено. Интерфейс-получатель не подсчитывает количество принимаемых слов и поэтому размер кадра должен быть указан отправителем в заголовке кадра.

Запись информации в передающий буфер осуществляется посылкой (F16) в автоинкрементном режиме. Перед записью передающий буфер должен быть переведен в режим загрузки. Это осуществляется автоматически при благополучном окончании передачи предыдущего кадра или командой освобождения передающего буфера (F14). Адресный регистр передающего буфера программно недоступен, загрузка начинается всегда с нулевого адреса и производится по порядку.

По команде отправки кадра (F25) передающий буфер переводится в режим работы на линию связи. В этом режиме он недоступен для записи со стороны ЭВМ (на команду F16 отвечает Q=0). Получив команду отправки, интерфейс-отправитель дожидается, когда освободится приемный буфер интерфейса-получателя, и осуществляет передачу. В линии связи кадр обставляется признаками начала и конца кадра.

По признаку конца кадра приемный буфер получателя переводится в режим, в котором он доступен для чтения со стороны ЭВМ. Чтение производится в автоинкрементном режиме (F4). По окончании приема кадра чтение начнется с нулевого адреса. Независимо от размера принятого кадра для чтения доступны все 1024 ячейки приемного буфера.

Возможно многократное чтение кадра или его части, для чего необходимо перед чтением указать адрес начала интересующего фрагмента (F17).

После считывания кадра для продолжения обмена необходимо перевести приемный буфер в режим приема из линии (F12).

ЛОКАЛЬНАЯ СЕТЬ

Для создания локальной сети на основе данного интерфейса все участвующие в ней процессоры соединяются каналами связи с центральным крейтом (узлом). Узловой процессор осуществляет функции диспетчера сети.

Передача информации между двумя периферийными процессорами в такой сети осуществляется в пять этапов:

1. Загрузка кадра процессором-отправителем в передающий буфер своего интерфейса;
2. Передача кадра по линии связи в приемный буфер интерфейса узла;
3. Перекладка кадра по КАМАК-магистрале крейта узла в передающий буфер узлового интерфейса второго процессора;
4. Передача кадра по линии связи в приемный буфер периферийного интерфейса процессора-получателя;
5. Чтение кадра процессором-получателем.

Третий этап — перекладка кадра из одного интерфейса в другой, осуществляется с использованием общих для любых возможных каналов связи ресурсов (магистрала и процессора узла) и определяет скорость работы и возможную максимальную загрузку сети. Он состоит из двух частей:

— Обставление заголовками отправляемых из узла кадров, анализ заявок и ведение очередей на перекладку с учетом приоритета каждого канала связи и класса передаваемого сообщения.

Эти действия реализуются программно и их длительность определяется типом применяемого процессора и сложностью протокола обмена.

— Собственно перекладка кадра, которая может осуществляться как программно (6 мкс/слово для «Одренка»), так и аппаратно (1,5 мкс/слово).

При аппаратной перекладке оба эти процесса могут быть (частично) совмещены по времени.

Для аппаратного обмена в интерфейс заложена возможность чтения и записи информации «без N» (N.F4.A10), что позволяет реагировать на один КАМАК-цикл сразу несколькими интерфейсами. Например, один интерфейс, которому позволено (F28) чтение «без N», в этом КАМАК-цикле выставляет очередное слово кадра на шины R магистрала, а другой (другие), которому разрешена (F30) запись «без N», записывает в себя информацию с шин W.

Для генерации КАМАК-цикла (сигналы F, A, S1 и S2) и подставки на шины W информации с шин R комплект интерфейсов должен быть дополнен специальным КАМАК-модулем — контроллером обмена¹⁾, который может находиться в любой рабочей позиции крейта.

В этом случае процессор узла, определив источник и место назначения кадра, разрешает соответствующим интерфейсам одному выставлять, другому записывать информацию и стартует контроллер обмена, который генерирует заданное число КАМАК-циклов и оповещает процессор об окончании серии. Сам процессор до окончания серии не имеет права выходить на магистраль, но он может приостановить контроллер обмена сигналом INHIBIT.

Такой режим работы выходит за рамки стандарта КАМАК, но заметных противоречий не вызывает. Другие попытки ускорить межмодульный обмен, например, в пределах стандарта 6500, не привели к эффективным решениям.

Минимальное время доставки кадра размером 1К 24-разрядных слов в такой сети составляет около пятидесяти миллисекунд (3 мс — загрузка, 17 мс — передача по линии связи, 6 мс — перекладка, 17 мс — передача по второй линии связи, 3 мс — чтение). Реальное время доставки определится после создания и испытания сетевого матобеспечения, но ожидается, что оно не превысит 50 — 60 мсек.

Время доступа зависит от протокола обмена, реализованного на программном уровне, и предполагается, что для приоритетных сообщений оно не превысит 10 мс.

В предлагаемой структуре сети возможно расширение функций узлового процессора. Ему может быть поручено обслуживание общих ресурсов сети — устройств вывода, виртуальных терминалов, ведение файлового хозяйства и т. д. Однако не следует забывать, что такие «общественные нагрузки» скажутся на качестве основной работы — они могут привести к заметному увеличению времени доступа и времени доставки, что нежелательно для управляющей сети реального времени.

¹⁾Предлагаемый режим аппаратного обмена не получил поддержки программистов, занимающихся сетевым матобеспечением, и пока остается гипотетическим. Поэтому контроллер обмена серийно не выпускался.

ФОРМАТ СООБЩЕНИЙ И ПРОТОКОЛ ОБМЕНА В ЛИНИИ СВЯЗИ

Передача ведется в последовательном виде асинхронным уравновешенным кодом с побитовой синхронизацией. В линии различаются три типа элементарных посылок (рис. 1). Две из них, длительностью по три такта, кодируют один бит информации (0 и 1), а третья (SS), длительностью шесть тактов, служит разделителем слов.

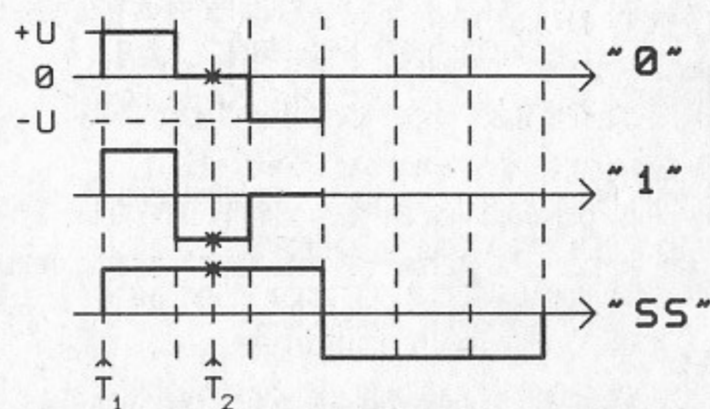


Рис. 1. Форма сигналов в линии связи.

При дешифрации элементарной посылки приемник анализирует уровень сигнала в линии в момент T_2 , через 1,5 такта после прихода переднего фронта положительного импульса (момент T_1), являющегося стартовым.

Три возможных уровня сигнала в этот момент однозначно определяют тип элементарной посылки. Длительность такта — 200 нс (600 нс/бит), амплитуда сигнала в линии 12 В.

Данный метод дешифрации допускает включение пауз между любыми элементарными посылками. Метод кодирования элементарных посылок избыточен (3 такта/бит) и принят только ввиду простоты реализации приемника.

Информация в линии передается в виде кадров, состоящих из слов. Каждое слово состоит из последовательности информационных элементарных посылок и заканчивается разделителем. Информационные элементарные посылки дешифрируются и принимаются во входной регистр сдвига, содержимое которого анализируется и используется по приходу разделителя. Слова, в зависимости от назначения, могут иметь различную длину (рис. 2) от 6 до 26 бит, и используются для передачи данных (до 24 бит в слове данных), или — служебные слова — в качестве команд.

Каждое слово состоит из трех полей: информационное (до 24 бит), идентификатор (1 или 5 бит) и четность (1 бит). Идентификатор позволяет отличить слово данных от служебных слов и раз-

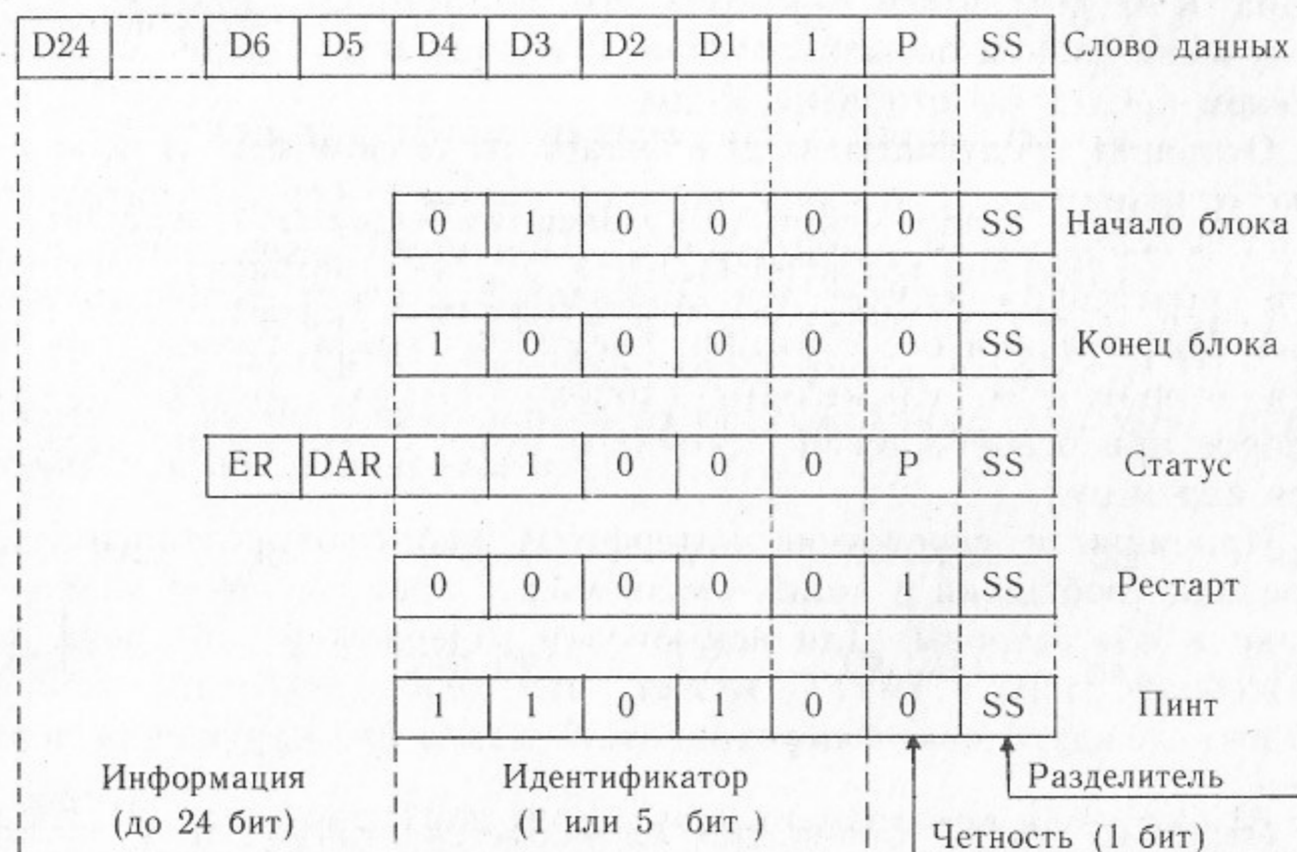


Рис. 2. Форматы слов в линии связи.

личать служебные слова между собой. Информационное поле содержит данные или служебную информацию. Контроль каждого слова в линии осуществляется дополнением числа единиц в слове до нечетного. Все слова содержат четное количество информационных элементарных посылок (6, 8 или 26), и контроль по четности позволяет выявить неисправности, при которых передатчиком генерируются только «единицы».

Кадр начинается служебным словом НАЧАЛО БЛОКА, далее следуют слова данных и, в завершение, служебное слово КОНЕЦ БЛОКА. Слова, составляющие кадр, следуют в линии без пауз.

Все слова данных принимаемого кадра контролируются по четности, независимо от результатов контроля заносятся в приемный буфер и в дальнейшем доступны для чтения. При наличии хотя бы одного неправильного слова данных в кадре, интерфейс-получатель ставит пометку об ошибке в статусном регистре.

Служебные слова с нарушением четности игнорируются.

По окончании приема кадра — по получению признака КОНЕЦ

БЛОКА, интерфейс-получатель посылает отправителю служебное слово СТАТУС, оповещающее последнего об окончании приема кадра и о результате контроля его по четности (разряд ER). Получение данной посылки отправителем является для него завершением процедуры отправки кадра.

Отправка следующего кадра аппаратно блокируется в передатчике отправителя до тех пор, пока приемный буфер получателя не будет освобожден от предыдущего. (Приемный буфер освобождается процессором-получателем командой F12 после окончания чтения.) Информация о состоянии приемного буфера, также, передается отправителю служебным словом СТАТУС (разряд DAR), которое при освобождении приемного буфера немедленно отсылается партнеру.

Приемник и передатчик интерфейса работают независимо, и передача сообщений в линии связи может производиться одновременно в обе стороны. Для исключения задержек в квитировании, служебное слово СТАТУС может, при необходимости, «вклиниваться» между словами передаваемого кадра без нарушения передачи.

Отправка кадра аппаратно блокируется, также, и в случае неработоспособности партнера или неисправности линии связи. Для диагностики такой ситуации каждый интерфейс, не занятый отправкой данных, периодически (10 мс) высылает в линию служебное слово СТАТУС, оповещающее о его работоспособности. В случае отсутствия любых сообщений от партнера дольше контрольного срока (35 мс), отмеряемого специальным таймером, интерфейс фиксирует отсутствие партнера и отмечает этот факт в статусном регистре.

По получении из линии служебного слова РЕСТАРТ интерфейс переключает свой приемный буфер в режим приема с линии («освобождает» его) и отмечает факт получения этой команды в статусном регистре. РЕСТАРТ может использоваться для инициализации протокола обмена, реализованного на программном уровне.

По получении из линии служебного слова ПИНТ интерфейс генерирует импульс, который выводится из блока через разъем на передней панели. Команду ПИНТ предполагается использовать для дистанционного запуска аппаратного загрузчика периферийного процессора.

Отправка в линию связи служебных слов РЕСТАРТ и ПИНТ

производится командами F11 и F26 соответственно. Посылка СТАТУС отправляется интерфейсом самостоятельно в соответствии с протоколом обмена.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИНТЕРФЕЙСА С ПРОЦЕССОРОМ

Текущее состояние интерфейса и линии связи отражается в статусном регистре (рис. 3), который читается командами F1.A(0) и F1.A(10). Разряды R1, R2 и R3 описывают состояние приемника, разряды R6—R10—состояние передатчика, а разряды R4 и R5 указывают на источник запроса на обслуживание (приемник, передатчик или оба одновременно).

R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1
ERC	COF	CLT	TBB	CBF	LT	LR	RST	DAR	EPD

Рис. 3. Статусный регистр

COF:²⁾ 1—связи нет. Появляется если от партнера в течение 35 мс не приходило никаких посылок.

0—появляется при получении любой посылки от партнера.

LR: 1 означает, что LAM-запрос от интерфейса выставлен по инициативе приемника. 1 сопровождает L1 (источники запросов L1, L2, L3 и L4 описаны ниже), появляется по завершению приема кадра и по получению команды РЕСТАРТ, маскируется ML1 и сбрасывается только командой чтения статусного регистра F1.A(0).

DAR: Состояние приемного буфера:

1—прием или ожидание приема данных из линии связи, чтение заблокировано. Появляется по команде сброса приемного буфера F12 и при получении из линии команды РЕСТАРТ.

0—режим чтения. Прием из линии заблокирован. Появляется

²⁾ Состояние флага COF используется и самим интерфейсом: 1 (отсутствие связи), обнаруженная перед началом передачи кадра, блокирует эту передачу, а обнаруженная в конце передачи кадра, позволяет интерфейсу не дожидаться «квитанции» от партнера, для того чтобы закончить процедуру передачи и выставить LAM-запрос процессору.

Кратковременные нарушения связи внутри интервала передачи кадра интерфейсом-отправителем не обнаруживаются, но могут диагностироваться получателем по нарушению четности или структуры принятого кадра.

по приходу признака КОНЕЦ БЛОКА, завершающего посылку данных.

- EPD: 1 — ошибка (нарушение четности) при приеме кадра. Появляется в момент прихода слова данных с ошибкой, сбрасывается при переключении приемного буфера в режим приема из линии (F12) и при получении признака НАЧАЛО БЛОКА.
- RST: Появление 1 означает получение из линии связи команды РЕСТАРТ, производящей сброс приемного буфера, и сопровождается появлением L1 и LR. Сбрасывается только командой чтения статусного регистра F1.A(0).
- LT: LAM от передатчика. 1 сопровождает любой из незамаскированных запросов — L2, L3 или L4. Сбрасывается только командой чтения статусного регистра F1.A(0).
- TBB: Состояние передающего буфера:
 0 — режим загрузки. Разрешена запись данных. Появляется после получения подтверждения о приеме партнером отправленного ему кадра. Сопровождается появлением L2 и занесением в ERC информации о завершенной передаче.
 0 появляется, также, при освобождении передающего буфера командой F14 (отказ от передачи загруженного кадра).
 1 — буфер занят. Запись данных блокирована. Появляется по заполнению буфера (после записи в него 1024-го слова данных) или по команде отправки кадра F25.
- CBF: 0 — приемный буфер партнера свободен. Появляется по получению от партнера сообщения о готовности к приему и сопровождается появлением L4. 1 появляется в момент окончания передачи кадра.
- CLT: 1 — сообщение не отправлено из-за занятости приемного буфера партнера (CBF=1) или отсутствия связи (COF=1) в течение контрольного срока 100 мс после команды F25. Появление 1 сопровождается появлением L3 и отменяет команду F25 (содержимое передающего буфера сохраняется). Сбрасывается командами F14 и F25.
- ERC: 1 — кадр передан с ошибкой. Это может быть аппаратно диагностируемый сбой в линии связи (нарушение четности) или программное сообщение от партнера. В первом случае, вместе с подтверждением о приеме кадра, партнер передает в ERC 1 из EPD своего интерфейса. (1 появляется в момент освобождения передающего буфера, одновременно с L2). Во втором случае 1 возникает, если партнер освобож-

дает свой приемный буфер командой F12.A10. (1 появляется одновременно с обнулением CBF и генерацией L4).
 0 в ERC появляется в конце передачи следующего кадра.

Ключевые благополучные комбинации, характеризующие состояние передатчика:

- TBB=0, — передатчик готов к загрузке очередного кадра,
 CBF=0, TBB=0, COF=0 — передатчик готов к загрузке и отправке очередного кадра,
 TBB=0, CLT=0, COF=0, ERC=0 — передача предыдущего кадра завершена благополучно.

Интерфейс может выставлять запросы на обслуживание (LAM-запрос), отмечаяющие окончание основных этапов обмена и тем самым позволяет не тратить время процессора на ожидание.

Сигнал L может генерироваться в следующих ситуациях:

- L1 — окончен прием кадра из линии (DAR=0, RST=0) или из линии получена команда РЕСТАРТ (DAR=1, RST=1);
 L2 — окончена передача кадра партнеру;
 L3 — просрочена и отменена отправка кадра (кадр не удалось отправить в течение контрольного срока 100 мс из-за отсутствия связи или занятости приемного буфера партнера);
 L4 — освободился и готов к приему интерфейс партнера.

Все четыре источника LAM могут быть в любой комбинации разрешены или заблокированы записью по команде F20 соответствующей маски (запись 1 разрешает L).

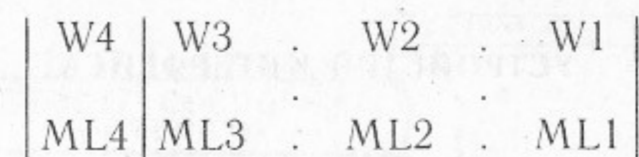


Рис. 4. Регистр маски LAM-запросов.

Ключевые ситуации, вызывающие LAM-запрос³⁾:

³⁾ Приведено содержимое статусного регистра на момент появления LAM-запроса. Если «не спешить» с чтением статусного регистра, то его содержимое может успеть измениться. В передатчике могут измениться флаги CBF и COF, т. к. они показывают текущее состояние канала связи. В приемнике вместо комбинации G может оказаться комбинация H, отражающая тот факт, что партнер успел после команды РЕСТАРТ прислать информационный кадр.

Запрос	COF	CLT	TBB	CBF	LT	Запрос	LR	RST	DAR
A) L2	0	0	0	1	1	F) L1	1	0	0
B) L4	0	0	0	0	1	G) L1	1	1	1
C) L3	0	1	1	1	1	H) L1	1	1	0
D) L3	1	1	1	0	1				
E) L2	1	0	0	1	1				

А) Закончена отправка кадра, разрешена запись следующего. Исполнение команды отправки задержится до появления готовности (CBF=0) партнера.

В) Разрешена запись и отправка очередного кадра.

С) Кадр не отправлен в течение контрольного срока (100 мс) после команды отправки (F25) из-за занятости партнера и команда отправки отменена. Информация в передающем буфере сохранена, разрешено повторение команды отправки.

Д) Кадр не отправлен в течение контрольного срока (100 мс) после команды отправки (F25) из-за отсутствия связи и команда отправки отменена. Информация в передающем буфере сохранена, разрешено повторение команды отправки.

Е) Нарушение связи обнаружено в конце передачи кадра. Информация в передающем буфере потеряна.

Ф) Принят кадр, разрешено чтение.

Г) Принята команда РЕСТАРТ, чтение приемного буфера запрещено.

УСТРОЙСТВО ИНТЕРФЕЙСА

Структурная схема интерфейса приведена на рис. 5. В состав интерфейса входят передатчик с буферным ЗУ (1024 слова по 24 разряда) для промежуточного хранения отправляемой информации, приемник со своим буферным ЗУ, дешифратор КАМАК-команд и схема управления, координирующая работу всех узлов интерфейса.

Основой схемы управления является микропрограммный автомат (рис. 6). Логическая диаграмма работы интерфейса определяется микропрограммой, размещенной в ПЗУ автомата (256 слов по 16 разрядов).

Взаимодействие автомата с процессором-хозяйном осуществля-

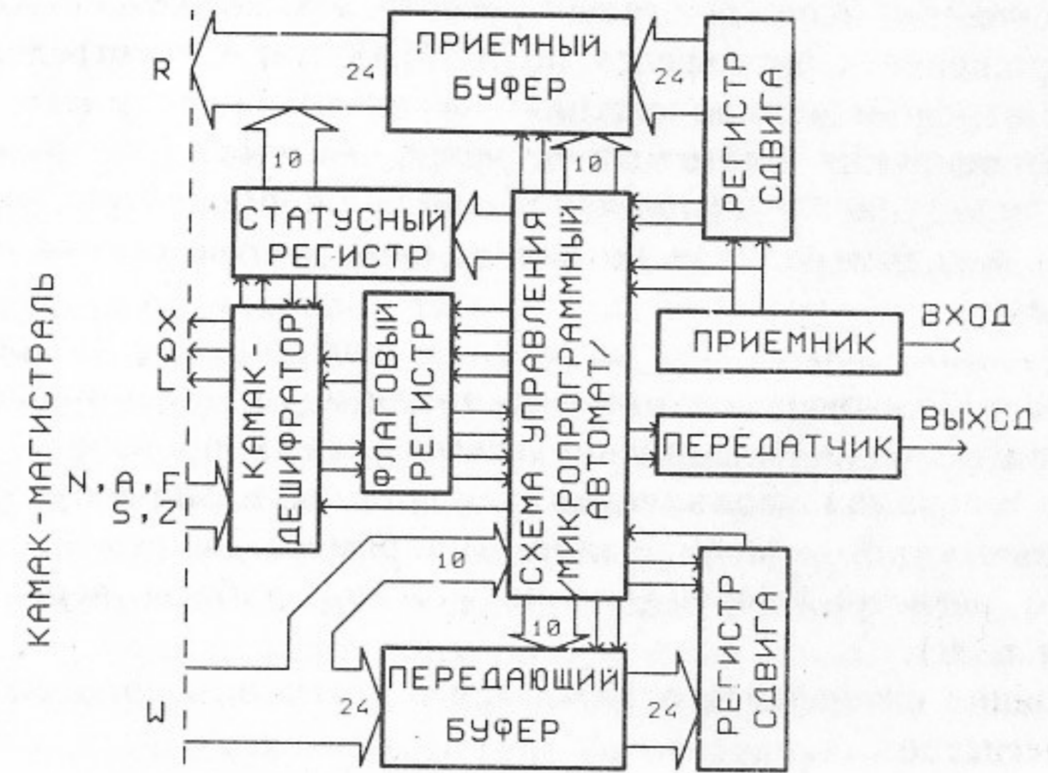


Рис. 5. Структурная схема интерфейса.

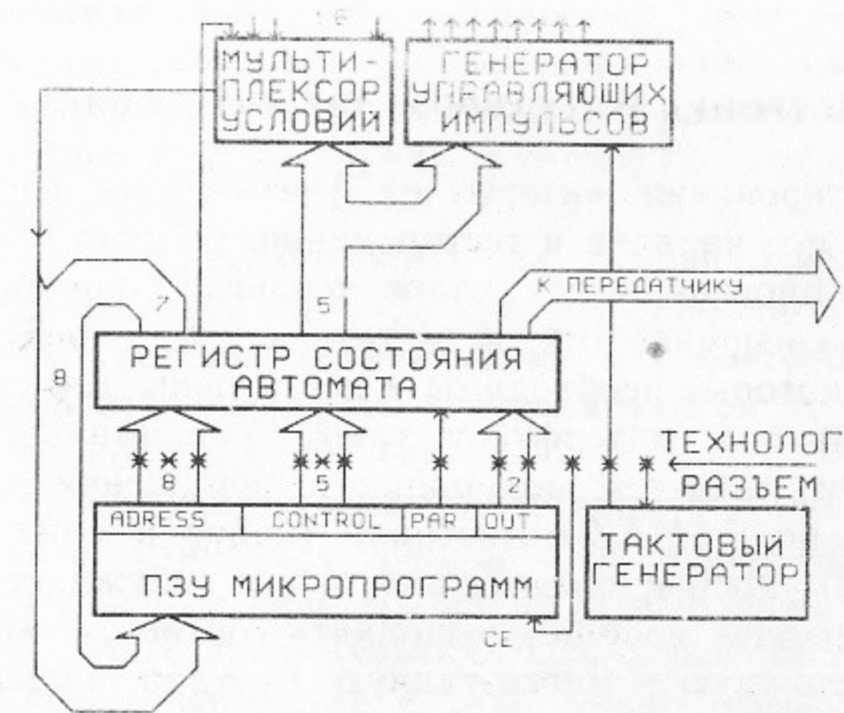


Рис. 6. Микропрограммный автомат.

ется, в основном, через флаговый регистр. Любая команда процессора (обращение к интерфейсу по КАМАК-магистрالي) дешифрируется и отмечается в одном или нескольких (для многоэтапных процедур) разрядах флагового регистра. Автомат, обнаружив эти пометки, приступает к исполнению заданной процедуры, «стирая» пометку в каждом разряде по завершению соответствующего этапа процедуры.

Содержимое флагового регистра и информацию о состоянии других частей интерфейса автомат анализирует с помощью мультиплексора условий. Управление всеми узлами производится посредством генерации управляющих импульсов, назначение каждого из которых строго фиксировано (например, инкрементирование адресного регистра, переключение режима работы передающего буфера и т. д.).

Состояние интерфейса отражается в доступном процессору статусном регистре.

Для обмена данными между процессором и интерфейсом, автомат передает процессору управление буферным ЗУ. При передаче информации в линию связи и при приеме из линии автомат сам управляет буферными ЗУ, которые в это время процессору недоступны.

НАСТРОЙКА И ТЕСТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА

При проектировании интерфейса учитывалась необходимость автоматизации его наладки и тестирования. Обычно для автоматизации полной проверки всех узлов радиоэлектронного блока и локализации неисправностей недостаточно тех средств доступа ЭВМ к блоку, которые необходимы и достаточны для работы.

Применительно к интерфейсу таким «минимально необходимым» доступом является возможность обращения к блоку по линии связи и по КАМАК-магистрале (набор команд приведен в Приложении 2). Любое воздействие извне побуждает исправный интерфейс (или блок вообще) выполнить соответствующую процедуру, иногда сложную и многоэтапную. Каждая процедура сопровождается или, по крайней мере, заканчивается выдачей наружу ответных сигналов, правильность которых подтверждает исправность блока. Если блок неисправен, то сам этот факт можно установить по ответам. Но для диагностики и локализации неисправности, когда желательно определить некорректный этап исполне-

ния заданной процедуры, этих внешних проявлений деятельности блока недостаточно.

Для восполнения этого недостатка в сложные устройства, в дополнение к набору процедур, необходимых для реализации их основного назначения, вводится возможность исполнения специальных тестовых процедур, по внешним проявлениям которых можно судить об исправности того или иного узла устройства.

Набор тестовых процедур должен быть полным, т. е. предоставлять возможность проверки всех узлов устройства, и дифференцированным, т. е. должен позволять различать неисправности разных узлов, одинаково проявляющиеся при работе устройства. Обычно составляется набор последовательно усложняющихся процедур, в котором каждая процедура отличается от предыдущей тем, что дополнительно включает в себя этап, затрагивающий работу только одного узла блока или только части этого узла. В этом случае неадекватность ответа на очередную процедуру позволяет связать ее с неисправностью именно этого узла. На практике удается локализация неисправности с точностью до 1—3-х корпусов микросхем в блоке, содержащем 60—100 микросхем средней степени интеграции.

Описанный подход применим к устройствам, обладающим заметной «интеллектуальной» мощностью, включающим в свой состав микропроцессор или микропрограммный автомат. Логика работы таких устройств определяется программой (микропрограммой), размещенной во внутренней памяти, где можно разместить и тестовые программы.

В устройствах, выполненных на основе «жесткой» логики, такой подход малопригоден. Он требует дополнительных аппаратных вложений (дополнительную схему для контроля основной) и не полон — работоспособность контролирующей части схемы тоже должна как-то контролироваться.

Для обеспечения возможности тестирования интерфейса на его печатной плате установлен специальный технологический разъем, на который выводятся (рис. 6) все выходные сигналы ПЗУ микрокоманд, выходной сигнал мультиплексора условий и шины управления тактовым генератором и ПЗУ микропрограмм автомата. В режиме наладки через этот разъем к интерфейсу подключается специальный тестер, связанный с ЭВМ автоматизированного рабочего места наладчика. При этом интерфейс сам подключен к этой ЭВМ по КАМАК-магистрале, а партнер по линии связи имитируется тем же тестером.

Такой подход позволяет, с целью тестирования, внедряться в «подкорку» интерфейса — проверять содержимое ПЗУ микрокоманд, осуществлять работу автомата в пошаговом режиме, подменять содержимое ПЗУ командами тестовой последовательности и анализировать состояние узлов интерфейса, недоступных при обращении к интерфейсу по КАМАК-магистралам. Эти возможности позволяют произвести полное тестирование интерфейса, причем программы, реализующие последовательность тестовых процедур, размещены и работают в ЭВМ рабочего места.

В качестве наладочной ЭВМ используется микроЭВМ «Одренок», тестовая программа # SWSS имеет размер 10К слов, полное время проверки около 12 с.

После наладки или ремонта каждый интерфейс, для выявления приработочных отказов и слабых мест, проходит прогон. Блок считается годным к эксплуатации, если он совершил миллион циклов обмена без ошибок и сбоев.

Программа для прогона интерфейсов # GMIL написана Симоновым Е.А. Она позволяет проверять одновременно от одного до шести интерфейсов, размещенных в одном крейте. При этом либо каждый интерфейс замыкается сам на себя (вход соединяется с выходом), либо интерфейсы разбиваются на пары и соединяются линиями связи. Программе можно указать размещение в крейте проверяемых блоков и связи между ними. Если в крейте находятся только тестируемые интерфейсы, то # GMIL сама может их найти и определить кто с кем связан.

Проверка осуществляется циклической пересылкой кадров фиксированной длины (1024 слова) и диагностикой возникающих сбоев, информация о которых выдается на терминал. При ошибках квитирования выводится содержимое статусного регистра. При искажении информации указывается номер испорченного слова в кадре, его исходное и полученное значения. Отдельно указываются двоичные разряды, в которых произошло искажение.

По некоторым типам искажения # GMIL накапливает статистику, позволяющую, например, судить о ненадежности конкретной микросхемы ЗУ.

Подбор слов в тестовых кадрах ориентирован на реальную структуру интерфейса. Например, наиболее частым типом отказов оказались сбои памяти (передающий и приемный буферы), где применяются микросхемы К541РУ2, имеющие организацию 1024×4 разряда. Причем типичными оказались «коллективные» искажения (в пределах одного корпуса ЗУ), когда, например,

записанная в одном из разрядов «единица» изменяется на «ноль» только в тех случаях, когда в остальных трех разрядах записывались «нули» (затягивание в 0). Для полноты проверки слова тестовых кадров составляются из комбинаций, провоцирующих события такого рода.

Программа # GMIL может применяться для проверки работоспособности интерфейсов на местах, где они эксплуатируются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В существующих системах автоматизации управляющие процессоры одной установки подключены к общему центру — процессору, оборудованному магнитными дисками и ведущему файловое хозяйство. Такая конфигурация, предназначенная, в основном, для начальной загрузки, позволяет для обмена информацией организовать директорию общего доступа на диске и программный файл общего доступа («почтовый ящик») в теле монитора центра [2]. Скорость и объем такого обмена перестали соответствовать возросшим требованиям и сейчас, до введения сетевой структуры, проблема решается организацией «частных» каналов связи на основе описанного интерфейса. С этой целью на установках ИЯФ уже используются около 40 интерфейсов.

В настоящее время в ИЯФ завершается подготовка сетевого матобеспечения для управляющей сети на основе описанного интерфейса и по структуре близкой к предложенной выше. Предполагается в 1988 г. перевести на эту сетевую структуру систему автоматизации комплекса ускорителей ВЭППЗ—ВЭПП4. Новая система управления комплексом ВЭПП2М, который готовится к запуску в 1988 году, также рассчитана на эту сетевую структуру.

Предлагаемая структура сети не свободна от недостатков. Одним из очевидных является ограничение на число процессоров-участников сети. Практически невозможно разместить в узловом крейте более пятнадцати интерфейсов. Это определяется и большой потребляемой мощностью и недостатком места в узловом крейте. Расширение сети путем построения многоуровневой иерархической структуры резко увеличивает времена доступа и доставки и оправдывает себя лишь при следующем разделении функций: «звезда» нижнего уровня — управляющая сеть реального времени, высшие уровни — информационная сеть с негарантированным временем доставки.

Структура сети предопределяет заметную централизацию управления сетью и необходимость промежуточного складирования информации в узле, что порождает дополнительные непроизводительные затраты времени и ресурсов.

Существенно замедляет работу сети программная реализация значительной части протокола обмена — диспетчеризация, маршрутизация и переформирование кадров, осуществляемое узловым процессором.

Интерфейс предоставляет процессору только один канал связи (один порт), что затрудняет организацию в сети разных классов сообщений, обладающих различными привилегиями, например приоритетом.

Не экономичны трехуровневая кодировка сигналов в линии и метод их дешифрации. Двухуровневая кодировка (например типа Манчестер) позволила бы сократить до двух число тактов на бит сигнала в линии связи и увеличить максимальную длину линии связи при неизменной длительности такта.

Более перспективной видится сеть с кольцевой логической структурой, с приоритетным маркерным доступом и полностью распределенным управлением. Такая сеть позволяет, например, отправителю задолго до окончания передачи понять, что получатель не способен кадр принять, и прервать передачу, освобождая сеть от бесполезной загрузки.

Для такой сети требуется более сложный, желательнее многопортовый интерфейс, самостоятельно выполняющий большую часть протокола обмена и реализация которого затруднительна без применения специализированных БИС или микросборок.

Авторы весьма признательны коллегам, принявшим участие в обсуждениях концепции управляющей сети, предшествовавших разработке интерфейса, и особенно благодарны группе системных программистов за помощь в уточнении спецификаций интерфейса и составлении тестового программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.С. Пискунов, С.В. Тарарышкин. Двадцатичетырехразрядная ЭВМ в стандарте КАМАК. — АВТОМЕТРИЯ, 1986, № 4, с.23.
2. Алешаев А.Н., Козак В.Р. Программное обеспечение ЭВМ Одренок. Центральная ЭВМ. Препринт ИЯФ СО АН СССР 88-48. Новосибирск, 1988.

ПРИМЕЧАНИЯ

● Интерфейс сети Б0612 предназначен для организации канала связи типа «точка-точка» со скоростью передачи в линии связи 1.5 Мбит/с.

● Интерфейс ориентирован на полный дуплекс и обмен кадрами (блоками данных) с размером до 1024 24-разрядных слов. Он позволяет получить скорость обмена на порядок большую, чем в используемых в институте линиях связи, реализующих пословный (побайтовый) протокол обмена, при одинаковой скорости передачи в линии.

● Линия связи состоит из двух коаксиальных 50-омных кабелей. При скорости передачи в линии 600 нсек/бит максимальная длина линии связи составляет:

для кабеля	РК50-2-11	— 250 м
	РК50-4-11	— 500 м
	РК50-7-11	— 800 м

● Передача в линии осуществляется уравновешенным кодом с побитовой синхронизацией. Амплитуда импульсов 12 В позволяет работать в условиях сильных электромагнитных наводок. Выход в линию связи гальванически не связан с землей блока (трансформаторная развязка), общий провод входной линии заземлен на корпус.

● В состоянии поставки интерфейс работает с длиной слова данных в линии связи 24 разряда и со скоростью передачи 17 мкс/слово. Для экономии времени при обслуживании шестнадцатиразрядных процессоров интерфейс можно перепайкой двух перемычек перевести в режим обмена 16-разрядными словами (12 мкс/слово).

● По команде F25 без предварительной загрузки кадра партнеру отправляется «пустой» кадр — признаки НАЧАЛО КАДРА и КОНЕЦ КАДРА.

● Если команда F11 или F26 подается во время передачи кадра, то ее исполнение задерживается до окончания передачи. Если в такой ситуации обе эти команды поданы одновременно, то исполняется только команда F26 (ПИНТ).

● Команда F14, поданная во время передачи кадра, обрывает передачу, завершая посылку признаком КОНЕЦ КАДРА; поданная после F25, но до начала отправки и до появления $CLT=1$, может привести к порче следующего кадра.

● После записи 1024-го слова данных передающий буфер блокируется (появляется $TBB=1$, дальнейшая запись невозможна), но отправка кадра начнется только после команды F25.

● После получения из линии 1024-го слова данных, приемный буфер блокируется и не реагирует на приход следующих слов данных. Если в линии кадр оказался длиннее 1К, воспримутся только первые 1024 слова.

● При чтении приемного буфера после 1024-й ячейки (адрес #7777) читается первая ячейка (адрес #0000), затем вторая и т. д.

● При использовании режима «записи без N» следует не забывать выключать его (F9) перед командой отправки кадра (F25).

● Обрыв одного — передающего — кабеля линии связи интерфейсом не обнаруживается и, если партнер готов к приему, интерфейс позволяет отправить кадр в «никуда».

● Для устранения коллизий при многопрограммной работе с интерфейсом, в его состав введен флаг TBF, который никак не влияет на его работу. Состояние $TBF=0$ означает, что передающий буфер нельзя занимать, т. к. он уже «забронирован» кем-то (например другой программой). Состояние TBF можно узнать единственным способом — на команду F27 интерфейс отвечает $Q=TBF$. При этом, если TBF был равен 1, то он сбрасывается в ноль и передающий буфер считается «забронированным». Бронь снимается командой F14 или, для рассеянных, «устаревает» сама через 300 мс.

● Потребление тока.

По шине +24 В 180 МА (только во время передачи). По шине +6 В блок потребляет от 1.0 А до 2.0 А в зависимости от режима работы. На передающий буфер (0.5 А) питание подается с момента записи в него (F16) первого слова кадра и до окончания передачи кадра. На приемный буфер (0.5 А) питание подается с момента получения из линии связи признака НАЧАЛО БЛОКА и до окончания чтения (до команды F12).

● Перед началом работы ОБЯЗАТЕЛЬНА инициализация интерфейса:

- 1) Z
- 2) F20 (# 17) — запись полной маски LAM.
- 3) F1.A0 — сброс всех L и RST.
- 4) F20 (ML) — запись рабочей маски LAM.

НАБОР КОМАНД ИНТЕРФЕЙСА СЕТИ B0612

N.F1.A00	Чтение статусного регистра, сброс L1, L2, L3, L4 и RST.	(Q=DAR)
N.F1.A10	Чтение статусного регистра.	(Q=DAR)
N.F4	Чтение приемного буфера в автоинкрементном режиме (исполнение блокируется при $\overline{DAR}=1$).	Q=DAR
$\bar{N}.F4.A10$	При включенном режиме чтения без N — чтение приемного буфера в атоинкрементном режиме (исполнение блокируется при $\overline{DAR}=1$).	X=1, Q=DAR
$\bar{N}.F4.A10$	При включенном режиме записи без N — запись в передающий буфер в автоинкрементном режиме (исполнение блокируется при $TBB=1$).	X=0, Q=0
N.F6	Чтение идентификационного кода ИЛС (R=#30).	(Q=DAR)
N.F8	Проверка L (сумма разрешенных L).	Q=L
N.F9	Сброс режима записи без N.	(Q=DAR)
N.F10	Сброс режима чтения без N.	(Q=DAR)
N.F11	Отправка спецпосылки РЕСТАРТ.	(Q=DAR)
N.F12.A0	Освобождение приемного буфера и сброс режима чтения без N.	(Q=DAR)
N.F12.A10	То же самое и отправка партнеру сообщения, уставляющего у него 1 в разряде ERC.	
N.F14	Освобождение передающего буфера и сброс CLT и режима записи без N. Уставка $TBF=1$.	(Q=L)
N.F16	Запись в передающий буфер в автоинкрементном режиме (исполнение блокируется при $TBB=1$).	Q= \overline{TBB}
N.F17	Запись начального адреса (10 бит) при чтении приемного буфера (исполнение блокируется при $DAR=1$).	Q=DAR
N.F20	Запись маски L (1 — разрешает LAM).	(Q=DAR)
N.F24	НЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ! (Перекл. ПЗУ на 2-ю стр.)	(Q=DAR)
N.F25	Отправка кадра, сброс CLT.	(Q=L)
N.F26	Отправка спецпосылки ПИНТ.	(Q=DAR)
N.F27	Проверка TBF и сброс его в 0 при $TBF=1$.	Q=TBF
N.F28	Включение режима чтения без N.	(Q=DAR)
N.F30	Включение режима записи без N.	(Q=L)

Q — Сигналы DAR и \overline{TBB} являются инверсией сигналов в разрядах \overline{DAR} и TBB статусного регистра.

Z — Сброс интерфейса в начальное состояние. По команде Z появляется LAM-запрос L2.

Содержание

Введение	3
Канал связи	8
Локальная сеть	10
Формат сообщений и протокол обмена в линии связи	12
Взаимодействие интерфейса с процессором	15
Устройство интерфейса	18
Настройка и тестирование интерфейса	20
Заключение	23
Литература	24
Приложение 1. Примечания	25
Приложение 2. Набор команд интерфейса сети B0612	27

В.В. Каргальцев, А.В. Репков.

Интерфейс локальной сети (B0612)

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

Работа поступила 11 июля 1988 г.
Подписано в печать 27.07. 1988 г. МН 09590
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 2,0 печ.л., 1,6 уч.-изд.л.
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 104

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и
отпечатано на ротапинтере Института ядерной физики
СО АН СССР,
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*