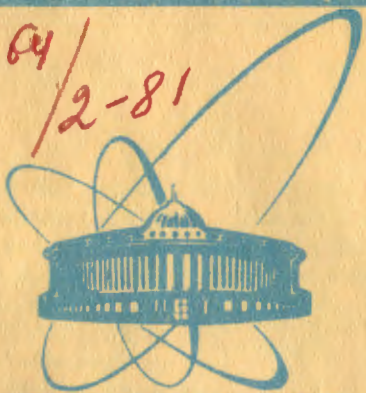


5504 / 2-81



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

+

9/4-81

10-81-571

Л.Г.Ефимов

МОДУЛЬ СВЯЗИ МАГИСТРАЛЕЙ КАМАК  
И СРІВ (IEEE 488)  
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ  
ТЕКТРОНИХ-4051

1981

В настоящей работе описывается модуль сопряжения магистрали крейта КАМАК с приборной магистралью GPIB (General Purpose Interface Bus). На магистрали GPIB модуль выполняет интерфейсные функции прибора-источника и прибора-приемника, тем самым обеспечивая возможность двухстороннего обмена информацией между контроллером КАМАК и приборами, оснащенными устройством ввода-вывода на GPIB.

Модуль применяется в составе аппаратуры КАМАК спектрометра БИС-2<sup>1/1</sup> как устройство связи с микропроцессорной графической системой ТЕКТРОНИХ-4051, используемой для обработки и представления данных экспериментатору.

## ИНТЕРФЕЙС GPIB

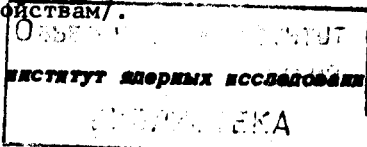
Разработка универсальной магистрали измерительных приборов различного назначения началась в 1972 году фирмой Hewlett-Packard (США). Впоследствии концепция интерфейса была принята международным комитетом IEC (МЭК) и утверждена в 1976 г. как международный стандарт IEC 625 Bus.

В США аналогичная работа была проделана институтом IEEE, в результате чего в 1975 году был опубликован документ "Цифровой интерфейс программируемых приборов" (IEEE Standard 488-1975)<sup>2/2</sup>. В литературе используются фирменное обозначение данного интерфейса - HPIB (Hewlett-Packard Interface Bus), а также стандарт ANSI Standard MC 1.1.

Конфигурация интерфейса показана на рис.1. Кабель, содержащий 16 сигнальных шин, выполняет пассивную функцию связи выходящих на магистраль приборов таким образом, что любой из них может являться источником данных для остальных. При этом в соответствии со своими интерфейсными функциями любое устройство, принимающее участие в обмене данными по магистрали GPIB, может выступать как:

- 1/ прибор - источник информации (TALKER),
- 2/ прибор - приемник информации (LISTENER),
- 3/ прибор - источник и прибор - приемник (TALKER-LISTENER),
- 4/ прибор - контроллер магистрали (CONTROLLER).

Минимальная конфигурация систем на основе GPIB может не включать в себя контроллер магистрали, однако в этом случае направление передачи данных в системе жестко определено /на-пример, от одного измерительного прибора к одному или нескольким печатающим устройствам/.



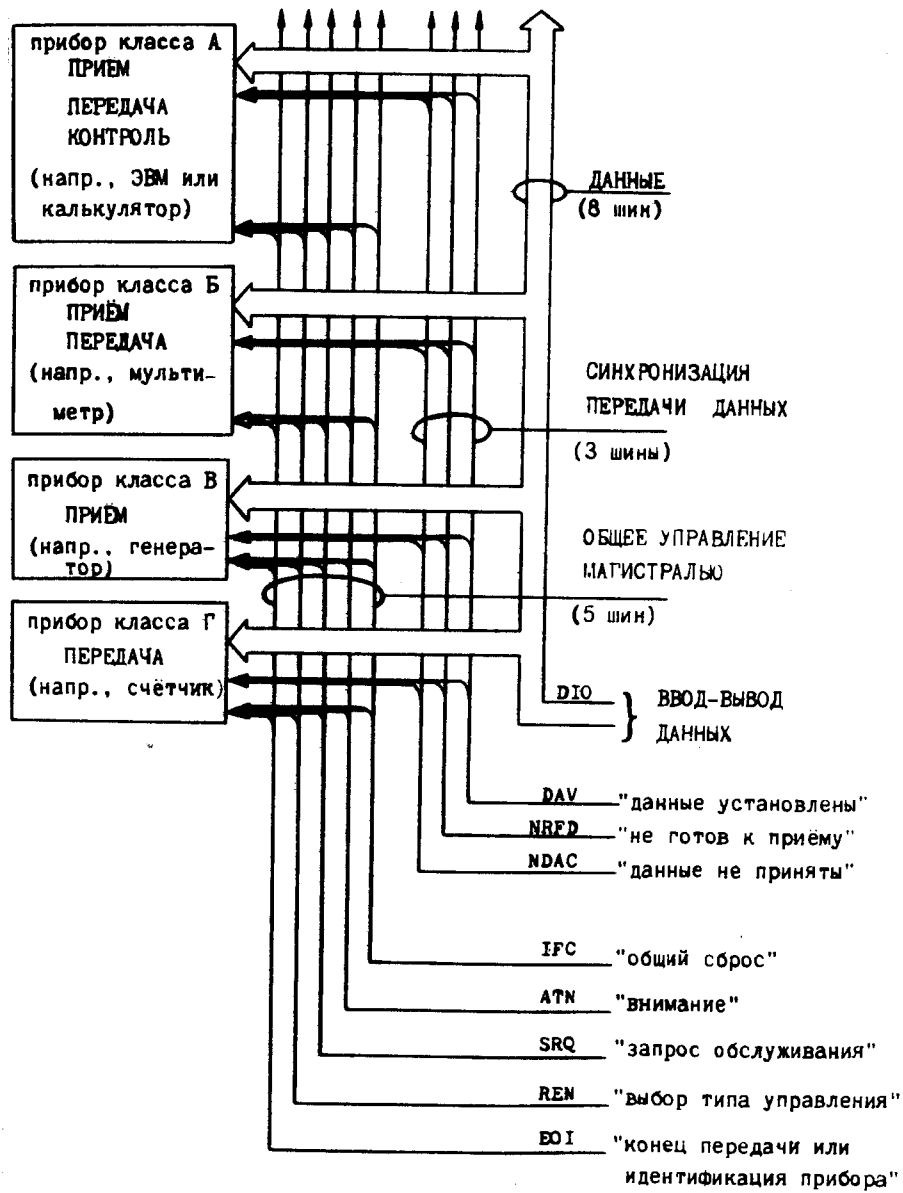


Рис.1. Структура интерфейса GPIB.

Полностью возможности интерфейса GPIB реализуются при наличии прибора-контроллера /например, калькулятора или ЭВМ/, способного программно задавать конфигурацию измерительной системы и управлять процессом измерений и представления результатов в реальном времени.

По функциональному назначению сигнальные шины интерфейса можно разделить на три группы.

Первая группа, состоящая из восьми шин (DIO1...DIO8), используется для передачи адресов, данных, команд универсального назначения и байтов состояния между приборами, подключенными к магистрали. Идентификация типа сообщения производится по состоянию сигнала на шине ATN /"Внимание"/: активное состояние этого сигнала свидетельствует о передаче адресов или команд, пассивное - о передаче данных между устройствами, ранее определенными как прибор-источник и прибор-приемник.

Вторая группа /из трех шин/ предназначена для задания временной последовательности передачи информации любого типа, поступающей на шины DIO. Сигнал DAV /"Данные установлены"/ генерирует прибор-источник данных, в то время как сигнал NRFDP /"Не готов к приему данных"/ и NDAC /"Данные не приняты"/ вырабатываются в приборах-приемниках. Временная диаграмма, приведенная на рис.2, поясняет последовательность выработки этих сигналов при передаче информации от одного передающего устройства к нескольким принимающим. Передача данных осуществляется по протоколу "запрос-ответ" асинхронным образом со скоростью наименее быстрого из принимающих участие в "разговоре" приборов-приемников.

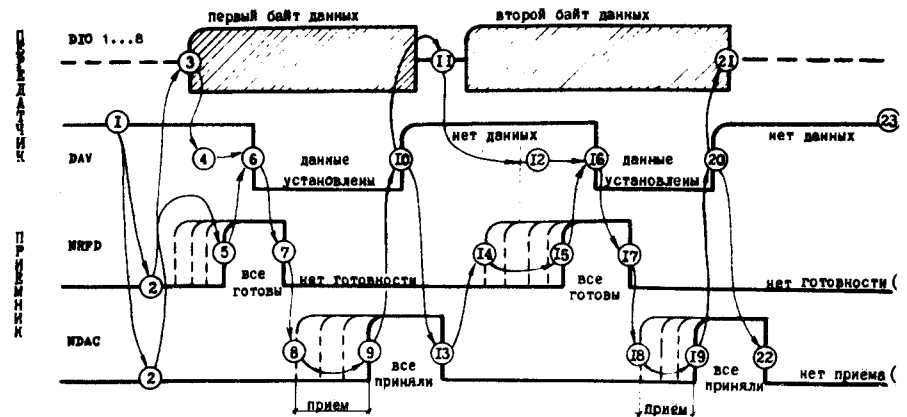


Рис.2. Временная диаграмма передачи данных по магистрали GPIB.

Остальные шины GPIB используются для общего управления: сброса в исходное состояние всех устройств (IFC); передачи сигнала запроса обслуживания (SRQ), вырабатываемого в каком-либо приборе при определенных условиях; установки режима контроля над работой приборов только со стороны магистрали (REN); обозначения конца массива данных или инициации процедуры поиска запрашивающего прерывание устройства (EOI).

Кратко характеристики интерфейса можно сформулировать следующим образом:

- количество подключаемых в магистрали приборов - до 15;
- конфигурация связи приборов - линейная или радиальная типа "звезда";
- длина магистрали определяется из расчета 2 м на одно устройство, но не более 20 м в целом;
- скорость передачи - до 1 Мбайт/с на ограниченное расстояние, типичная скорость на магистрали максимальной длины - 250-500 Кбайт/с /зависит от прибора/;
- возможности адресации - 31 адрес для приборов-источников и 31 адрес для приборов-приемников при первичной /однобайтовой/ адресации; расширение количества адресов до 961 для источников и приемников соответственно при расширенной /двухбайтовой/ адресации;
- уровни сигналов на магистрали - TTL.

#### СОПРЯЖЕНИЕ МАГИСТРАЛЕЙ КАМАК И GPIB

В некоторых работах<sup>/4,5/</sup> отмечается, что интерфейс GPIB, разработанный в первую очередь для промышленных применений, среди распространенных интерфейсов занимает по своим характеристикам промежуточное положение между структурно наиболее простыми интерфейсами (RS232C или CCITT V24, BS 4421) и наиболее сложными (КАМАК, FASTBUS и пр.).

По сравнению с первыми GPIB обладает такими преимуществами, как гибкая перестраиваемость логических связей, более высокие скоростные характеристики, возможность адресации многих источников информации. Второй группе интерфейсов GPIB уступает по таким параметрам, как максимальное количество одновременно функционирующих на магистрали устройств, размер полей адресации и данных, возможности блочной передачи данных и обработки запросов прерывания и т.д. Однако доступность технологии изготовления при массовом производстве, низкая стоимость и возможность объединения приборов самого различного назначения при довольно высоких эксплуатационных характеристиках являются такими достоинствами данного интерфейса, которые привлекают фирмы, производящие электронное оборудование. Это подтверждается

постоянным ростом номенклатуры устройств, имеющих выход на GPIB: мультиметров, счетчиков, печатающих устройств, калькуляторов, дисплейных терминалов и т.д.

Их внедрение в состав оборудования экспериментальных физических установок, оснащенных контрольно-измерительной аппаратурой в стандарте КАМАК, вызвало необходимость создания устройств связи магистралей КАМАК и GPIB. Проведение подобных разработок значительно упростилось с появлением в 1978 году специализированных микросхем большой степени интеграции, выполняющих функции контроллера магистрали GPIB.

Так, например, если для создания интерфейсного узла в модуле КАМАК, способного работать как прибор-источник и прибор-контроллер, требуется 70 микросхем малой и средней степени интеграции, то применение специализированной микросхемы-контроллера и 8-разрядных магистральных формирователей-буферов для тех же целей сокращает количество микросхем до 5<sup>/5/</sup>.

Тем не менее известные по публикациям<sup>/6,7/</sup> модули КАМАК-контроллеры GPIB представляют собой довольно дорогие и громоздкие устройства с микропроцессорным управлением и памятью для реализации программируемой логики интерфейса. Применение подобных модулей для подключения "интеллектуальных" приборов нового поколения, в которых уже имеющийся встроенный контроллер GPIB обладает монопольным правом управления этой магистралью, является неоправданным из-за аппаратной избыточности. К разряду таких приборов принадлежит, в частности, и графическая система TEKTRONIX-4051. Поэтому целью описываемой здесь разработки являлось создание простого по конструкции модуля КАМАК с функциями прибора-приемника и прибора-источника, а также подпрограмм процессора графической системы, обеспечивающих ввод-вывод данных и обработку прерывания со стороны магистрали КАМАК. В то же время данная разработка позволяет использовать процессор графической системы как часть сети ЭВМ, сопрягаемых через аппаратуру КАМАК.

Структурная схема модуля, имеющего по спецификации ЛВЭ ОИЯИ<sup>/8/</sup> шифр ИПМ-552, представлена на рис.3. В логике работы модуля, подключаемого через переднюю панель к магистрали GPIB, участвуют все ее сигналы за исключением сигнала REN.

В исходном состоянии после включения питания или программного сброса, в магистральных шинных формирователях выбирается направление ввода информации в описываемое устройство, чтобы контроллер GPIB мог программно устанавливать любой из двух режимов работы посредством выдачи необходимого адреса на шины DIO и активизации сигнала ATN. Сравнение программно задаваемых и набираемых внутри модуля на переключателях адресов, соответствующих номеру устройства  $0 \leq \# \leq 30$ , производится в селекторах адреса.

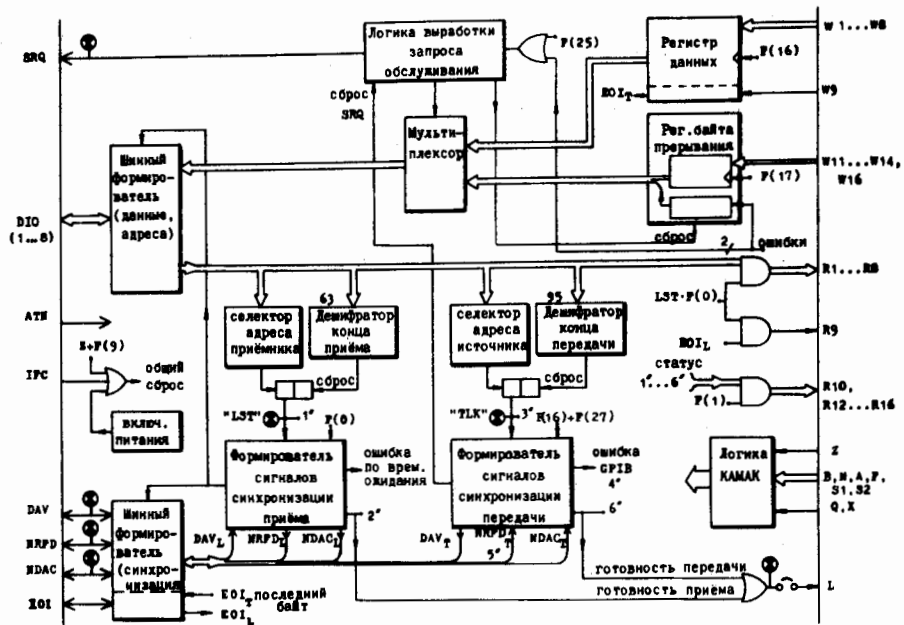


Рис.3. Структурная схема модуля связи магистралей.

Направление вывода информации выбирается после перевода модуля в режим "прибор-источник", осуществляемого контроллером GPIB в двух случаях:

- 1/ для приема данных, заносимых с магистрали КАМАК в 8-разрядный регистр данных /по программе/;
- 2/ для чтения по сигналу SRQ служебного байта прерывания из другого 8-разрядного регистра с целью определения номера устройства, вызвавшего выработку SRQ и ее причину.

Основными элементами модуля являются формирователи трех сигналов синхронизации GPIB, управляющие передачей по протоколу "запрос-ответ" данных, адресов, байта прерывания и команд сброса режима при вводе ("acceptor handshake") и выводе ("source handshake") информации. В этих же формирователях вырабатываются сигналы, необходимые для синхронизации чтения-записи данных со стороны магистрали КАМАК, а также сигналы ошибки. Ошибка при выводе информации из модуля в режиме "прибор-источник" указывает на состояние одновременного возбуждения шин NRFD и NDAC. Ошибка при вводе информации в режиме "прибор-источник" формируется в том случае, если время ожидания команды чтения с магистрали КАМАК, необходимой для завершения цикла GPIB, превышает величину регулируемой потенциометром задержки (т.н. "watch dog").

Выдача из модуля на шину SRQ запроса обслуживания производится либо автоматически при появлении любой из ошибок, либо программно по команде КАМАК. Программная генерация SRQ предполагает предварительную запись с магистрали КАМАК 5-разрядного кода причины запроса в соответствующий регистр\*.

В целом управление работой устройства с магистрали КАМАК осуществляется на основании программного анализа его статуса, порядок чтения которого на шины данных следующий:

- режим приема данных (LISTENER)..... R10,
- готовность приема данных (DAV=1)..... R12,
- режим передачи данных (TALKER)..... R13,
- ошибка GPIB в режиме передачи данных..... R14,
- состояние шины NRFD в режиме передачи данных..... R15,
- переданные данные приняты каким-либо прибором-приемником..... R16.

В модуле используются следующие команды КАМАК:

- N.A(0).F(0) - чтение данных:
  - на шины R1...R8 - байта данных;
  - на шину R9 - признака последнего байта данных в режиме приема; Q=1, X=1.
- N.A(0).F(1) - чтение статуса; Q=1, X=1.
- N.A(0).F(9) - сброс в исходное состояние, X=1.
- N.A(0).F(16) - запись в регистр данных:
  - с шин W1...W8 - байта данных;
  - с шин W9 - признака последнего байта данных в режиме передачи; Q=1, X=1.
- N.A(0).F(17) - запись в регистр байта прерывания с шин W11...W14, W16; Q=1, X=1.
- N.A(0).F(25) - генерация SRQ, X=1.
- N.A(0).F(27) - установка активного значения сигнала DAV в режиме передачи данных, X=1.
- Z - сброс в исходное состояние.

Предусмотрена также возможность использования сигнала L магистрали КАМАК для синхронизации чтения-записи данных /рис.3/.

Модуль ИШМ-552 выполнен на микросхемах серий K155, K531, K589 и конструктивно оформлен в ячейке единичной ширины КАМАК /17,2 мм/. Потребление тока с шины +6 В - 1,3 А.

\* Для правильной идентификации устройства, требующего обслуживания, в 7-й разряд байта прерывания автоматически заносится "1".

## УПРАВЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ TEKTRONIX-4051

Система 4051, входящая в семейство приборов серии 4050 фирмы TEKTRONIX /США/, является компактным настольным вычислительным комплексом, обладающим широкими возможностями оперативной обработки данных с графическим представлением результатов вычислений /8/.

Основным элементом системы является ее процессор. К внутренней процессорной магистрали непосредственно подключаются постоянное запоминающее устройство /ПЗУ/ и оперативное запоминающее устройство /ОЗУ/ с рабочей областью 8 Кбайт, расширяемой до 32 Кбайт, а также собственные периферийные устройства: клавиатура, дисплей на запоминающей трубке, накопитель информации кассетного типа на магнитной ленте с емкостью до 300 Кбайт.

Связь системы с внешними периферийными устройствами обеспечивает ее оснащение магистральными адаптерами интерфейса GPIB и последовательного интерфейса RS232C.

Характерной особенностью системы является наличие аппаратно записанной в ПЗУ программы - интерпретатора ("firmware") языка высокого уровня BASIC, используемой процессором для выполнения любых операций в системе, в том числе и для ввода-вывода. Это обеспечивает предельную простоту процесса подготовки программного обеспечения комплекса и удобство общения с ним человека.

В частности, программирование ввода-вывода данных через магистраль GPIB для нестандартных внешних устройств, осуществляющих передачу данных не в формате кода ASCII, сводится к использованию двух инструкций прямого доступа: WBYTE ("Write Byte") и RBYTE ("Read Byte"). Подобная "интеллектуальность" прибора наряду с очевидными достоинствами имеет недостаток: отсутствие альтернативной возможности программирования ввода-вывода без обращения к интерпретатору BASIC не позволяет полностью использовать скоростные характеристики интерфейса GPIB.

Ниже приводятся варианты тестовых программ процессора графической системы, выполняющего функции контроллера GPIB, и алгоритмы управления модулем ИМП-552 с магистрали КАМАК для каждого режима работы модуля на линии с системой TEKTRONIX-4051.

### Работа модуля связи в режиме "прибор-приемник"

Простейшая тестовая программа вывода последовательности чисел из памяти графической системы в модуль связи имеет следующий вид:

```
100 INIT
110 REM Send a primary listen address for device, e.g.No.6
120 WBYTE @ 38:
130 REM Write data bytes
140 WBYTE 17,51,85,119,170
150 REM Assert the EOI line
160 WBYTE -255
170 REM Issue the "UNLISTEN" command
180 WBYTE @ 63:
190 GO TO 110
200 END
```

Вариант алгоритма управления модулем ИМП-552 с магистрали КАМАК в режиме чтения данных приведен на рис.4.

Скорость поступления информации в данном режиме можно определить экспериментально по циклу активизации сигнала DAV контроллером GPIB в процессе выполнения оператора 140. При непрерывной генерации команды чтения F(0) с максимально возможной частотой /без проверки состояния модуля/ длительность цикла DAV равна 1 мс.

Очевидно, что это время должно увеличиваться при функционировании аппаратуры КАМАК по полному приведенному алгоритму, однако длительность программного анализа в существующих контроллерах КАМАК на 1-2 порядка меньше длительности указанного цикла GPIB. Поэтому скорость приема данных в режиме "прибор-приемник" следует считать примерно равной 1 Кбайт/с.

### Работа модуля связи в режиме "прибор-источник"

Тестовая программа ввода данных в память графической системы может быть построена следующим образом:

```
100 INIT
110 REM Activate interrupt facility on the last byte
120 ON EOI THEN 190
130 REM Send a primary talk address for device, e.g. No.6
140 WBYTE @ 70:
150 REM Read data bytes
160 RBYTE X,Y,Z
170 PRINT X,Y,Z
180 GO TO 160
190 REM Issue the "UNTALK" command
200 WBYTE @ 95:
210 GO TO 130
220 END
```

При выполнении оператора 160 переменным X,Y,Z присваиваются числовые значения, соответствующие десятичным кодам последова-

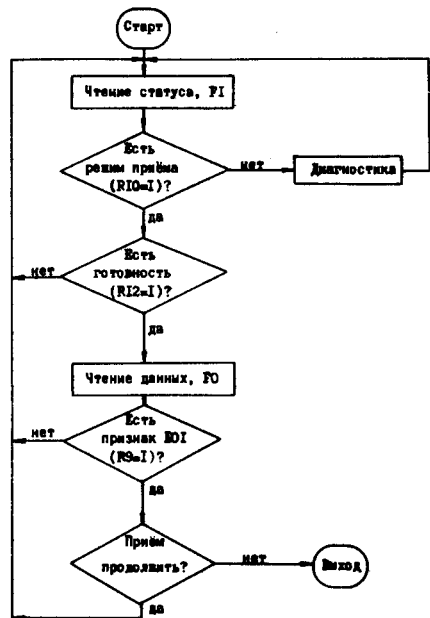


Рис.4. Алгоритм чтения данных в режиме "прибор-приемник".

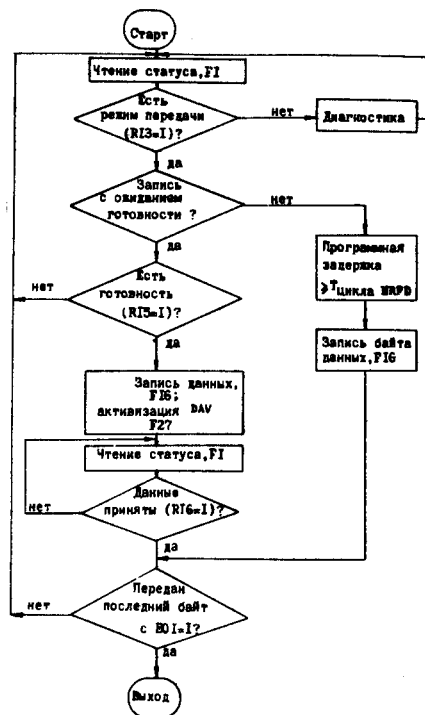


Рис.5. Алгоритм записи данных в режиме "прибор-источник".

тельно поступающих из модуля связи байтов данных. Для контроля передачи эти значения выводятся на экран дисплея.

Максимально возможная скорость записи определяется по циклу активизации сигнала NFRFD контроллером GPIB. Длительность цикла NFRFD при непрерывной генерации команды записи F(16) контроллером КАМАК равна 1,7 мс, что соответствует скорости 0,59 Кбайт/с.

Алгоритм управления модулем ИМП-552 с магистральной КАМАК в режиме "прибор-источник" приведен на рис.5. Возможны асинхронный и синхронный варианты записи. В первом случае активизация сигнала DAV производится программно на основании анализа статуса модуля. Во втором варианте в программу вводится задержка, заведомо превышающая длительность цикла NFRFD, а генерация DAV осуществляется в модуле автоматически в момент готовности графической системы к приему данных.

### Обработка запроса прерывания, вырабатываемого модулем связи

Структура тестовой программы обработки запроса прерывания SRQ имеет следующий вид:

```
100 INIT
110 REM Activate interrupt facility on SRQ
120 ON SRQ THEN 1980
```

#### MAIN PROGRAM

```
1980 REM Serial Poll device requesting service
1990 POLL M,W; 6
2000 GO TO M OF 3000
```

```
3000 REM Service routine for device No.6
3010 PRINT M,W
3020 RETURN
```

```
4000 END
```

При появлении SRQ производится программный переход к оператору, осуществляющему поиск по задаваемому списку адресов устройства, вызвавшего запрос /в данном случае в списке однозначно указано устройство №6/. Подпрограмма обслуживания прерывания состоит из оператора, осуществляющего вывод номера устройства и десятичного кода байта прерывания на экран дисплея. Экспериментально измеренное время реакции процессора графической системы на прерывание составляет величину порядка 1 мс.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Актуальность разработки модуля связи двух стандартных магистралей определяется тем, что интерфейс для приборов с "бит-параллельной, байт-последовательной" передачей данных в настоящее время начинает получать распространение в СССР /10/.

Автор считает своим долгом выразить благодарность А.Н.Морозову, Д.А.Кириллову и В.А.Смирнову за поддержку работы и полезные консультации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, 1-80-644, Дубна, 1980.
2. IEEE-488-1975. Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation. Inst. of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, 1975.
3. Ricci D.W., Nelson G.E. Electronics, 1974, Nov.14, p.95.
4. Zacharov V. In: Proc. of the 1978 CERN School of Computing. Geneva, 1978, p.8.
5. Müller K.D. In: Proc. of the First European Symp. on Real-Time Data Handling and Process Control. Brussels and Luxembourg, 1980, p.569.
6. Kinetic Systems 1980-1981 Catalog. USA, 1980, p.119.
7. Салаи Ш. и др. В кн.: Труды первого симпозиума "Микромашины, микропроцессоры и их применение". Будапешт, 1979, с.697.
8. Ефимов Л.Г. и др. ОИЯИ, 13-12170, Дубна, 1979.
9. 4050 Series Graphic System, reference manual. TEKTRONIX, Inc., USA, 1979.
10. Система интерфейса для измерительных устройств с байт-последовательным, бит-параллельным обменом информацией. Требования к совместимости. ГОСТ 26.003-80, Стандартгиз, М., 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 августа 1981 года.