

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P10-86-751

В.Г.Дудников

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, СБОРА И ОБРАБОТКИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ "МИКРО"**

Направлено в журнал "Микропроцессорные
средства и системы"

1986

Введение

Среди различных направлений массового внедрения микропроцессорной техники созданию гибких автоматизированных систем управления и обработки данных отводится особое место. Именно на основе таких систем могут быть решены задачи по качественному улучшению управления технологическими процессами (безлюдная технология, робототехника), транспортом (отказоустойчивые АСУ), созданию автоматизированных систем проектирования (АРМ), способных сократить до минимума время от постановки задачи до практической реализации проекта.

В данной работе представлена автоматизированная модульная система (МС) управления, сбора и обработки экспериментальных данных "Микро". МС "Микро" предназначена для развития электронно-лучевого метода ионизации, создания и модернизации криогенных ионизаторов типа "Крион".

Общие положения

Создание и эксплуатация криогенных ионизаторов типа "Крион" протекает по двум основным направлениям.

С одной стороны, такие установки могут быть частью более крупных, например, входить в состав ускорительного комплекса в качестве источника ядер ^{5/}, с другой - могут служить средством для фундаментальных физических исследований ^{6+3/}.

Опыт развития электронно-лучевого метода ионизации и эксплуатации криогенных ионизаторов типа "Крион" предъявляет вполне определенные требования к средствам автоматизации, такие как :

- высокая надежность, компактность и малое энергопотребление (часть системы находится на высоковольтном терминале форинжктора ^{5/}), диктуемые многослучными сеансами в составе ускорительного комплекса ЛВЭ ОИЯИ, когда ионизатор "Крион" используется как источник ядер ;
- работа ионизатора в реальном времени ;
- мобильность в модификации МС, связанной с постановкой различных

экспериментов и динамикой развития собственно ионизатора "Крион", необходимого для исследований электронно-лучевого метода ионизации и получения все более тяжелых ионов, являющихся исходным материалом в экспериментах в области релятивистской ядерной физики.

Очевидно, что подобные требования к средствам автоматизации носят достаточно общий характер.

Архитектура МС "Микро"

Модульная система "Микро" выполнена в конструктиве КАМАК и кроме стандартной магистрали крейта, функциональное назначение которой оставлено без изменений, содержит два типа дополнительных магистралей: общую (глобальную) и локальные для каждой микро-ЭВМ, расположенных в крейте (рис.1).

Общая шина "Multimaster Bus" выполнена плоским кабелем и проложена над магистралью КАМАК. Локальные шины CP (рис.1,4) проходят по лицевой части крейта и связывают конкретную микро-ЭВМ с ее периферией.

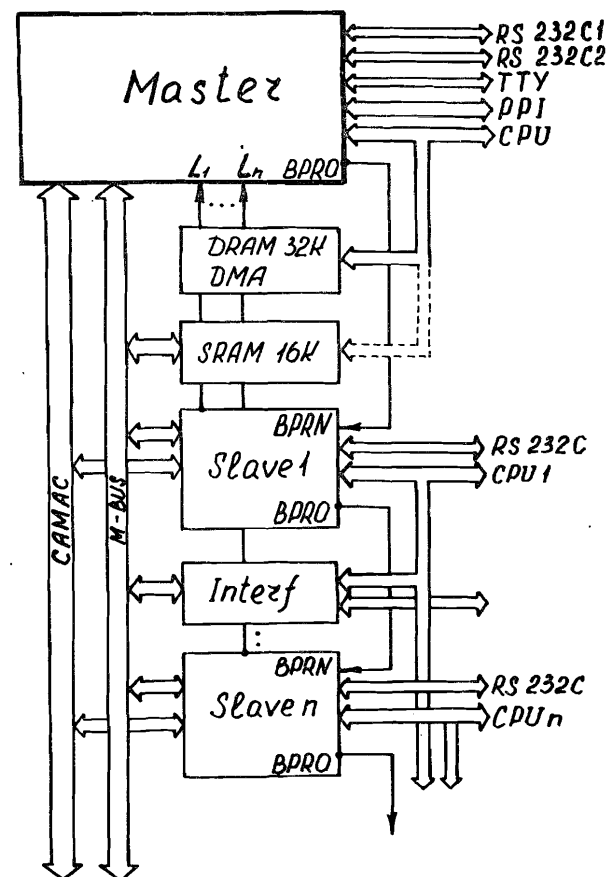
Такая архитектура МС делает ее "открытой" для значительного наращивания программно-аппаратных средств без разрушения ядра системы [2,4], позволяет наиболее полно использовать достижения интегральной схемотехники [3], допускает возможность использования многопортовых интерфейсов для связи с периферией, лежащих в основе МС с высокой отказоустойчивостью - то или иное периферийное устройство может быть доступно всем микро-ЭВМ системы.

Пропускная способность МС "Микро" возрастает в 5-10 раз по сравнению с аналогичной по составу МС, функционирующей в стандарте КАМАК, что можно проиллюстрировать на простом примере передачи байта данных из аккумулятора процессора в периферийное устройство (такт процессора равен 0,32 мкс).

1. КАМАК:

- *OUT Port* ; пересылка байта в один из трех портов - шины КАМАК.
- *PUSH H* ; спасение H-пары.
- *LXI H, NA* ; запись в H-пару адресной части команды КАМАК.
- *MVI M, F(16)* ; запись байта данных по адресу $N + A$.
- *POP H* ; восстановление H-пары.

H-пара в микропроцессорах 8080/85 используется многими командами с косвенной регистровой адресацией, поэтому в общем случае на время исполнения цикла КАМАК содержимое H-пары отправляется в стек, а затем восстанавливается.



Р и с . 1.

Общая архитектура системы "Микро".

2. *M-Bus* ; (использование команд *IN/OUT Port*).
- *OUT Port* ; пересылка байта в периферию с адресом
3. *M-Bus* ; (*Memory Map*).
- *MOV M, A* ; пересылка байта по адресу в H-паре.

В первом случае время исполнения составляет 16 мкс и требует 9 ячеек памяти, во втором 3,2 мкс и 2 ячейки памяти, в третьем 2,24 мкс и требуется всего одна ячейка памяти.

Состав микро-ЭВМ

МС "Микро"

Ведущая микро-ЭВМ (основной модуль) :

- центральный процессор I8085A (фирма *Intel*) ;
- системное ОЗУ статического типа 4К байт ;
- перепрограммируемая память (*EPROM*) 10К байт ;
- число уровней прерывания 26 (4 аппаратных) ;
- системный таймер ;
- арифметический процессор *Am 9511 /1,2/* ;
- контроллер *M-Bus* с логикой восстановления нереализованной команды ;
- параллельный интерфейс общего назначения *PPI* ;
- последовательные интерфейсы *RS 232C1* , *RS 232C2* и ТТУ для, соответственно, операторской консоли, стандартной периферии, удаленного терминала ;
- интерфейс КАМАК, реализующий контроллерные функции и обмен данными по 24-разрядным *R/W* шинам.

Дополнительный модуль ведущей микро-ЭВМ.

- ОЗУ динамического типа 32К байт ;
- канал прямого доступа ;
- скоростная пересылка в операциях "память-память" ;
- аппаратный поиск по пяти отношениям : меньше, меньше-равно, равно, равно-больше, больше.

Ведомая микро-ЭВМ:

- центральный процессор I8085A ;
- ОЗУ статического типа 4К байт ;
- перепрограммируемая память (*EPROM*) 2К байт ;
- число уровней прерывания 12 (4 аппаратных) ;
- системный таймер с блоком управления ;
- порт управления адресной шиной (порт приписок) ;
- контроллер *M-Bus* с логикой восстановления нереализованной команды ;
- последовательный интерфейс *RS 232C* ;
- вывод на лицевую панель процессорной шины *CPU* ;
- интерфейс для обмена данными с *R/W* -шинами магистрали КАМАК.

Функции КАМАК ведомой микро-ЭВМ :

- *C-S1* общий сброс системы (инициализация всех ведомых микро-ЭВМ) ;
- *Z-S1* общий пуск системы (все микро-ЭВМ одновременно начинают выполнение своих программ по прерыванию *TRAP*) ;
- *F(0)·A(0)* выдача данных на шину *R* ;

- *F(16)·A(0)* запись данных в порт *W* -шины ;
- *F(24)·A(0)* индивидуальная инициализация микро-ЭВМ ;
- *F(26)·A(0)* индивидуальный стартовый пуск микро-ЭВМ ;
- *F(26)·A(1÷4)* векторы *IR4 ÷ IR7* контроллера обработки прерываний для контекстного переключения при выполнении задания.

В состав МС входит двухпортовый блок оперативной памяти статического типа *SRAM* 16К байт. Установка ключей микрорегистра на плате *SRAM* определяет, во-первых, через какую магистраль *M-Bus* или *M-Bus*, *SRAM* связан с микро-ЭВМ, во-вторых, в какой из четырех возможных областей адресного пространства блок активен.

Магистраль *M-Bus* выполнена 34-жильным плоским кабелем и состоит из :

1. 16-разрядной адресной шины ;
2. 8-разрядной шины данных ;
3. Управляющей шины, содержащей :
 - BUSY* - *M-Bus* занята ;
 - READY* - периферия готова ;
 - MWTC* - запись в память ;
 - MRDC* - считывание из памяти ;
 - IORC* - считывание периферии ;
 - IOWC* - запись в периферию ;
 - DRQ* - запрос *DMA* ;
 - DACK* - подтверждение *DMA* -цикла ;
 - TC* - конец *DMA* -циклов ;
 - CLK* - выходная частота *CPU* ведущей микро-ЭВМ.

Магистраль *CPU* выполнена 40-жильным плоским кабелем и состоит

из :

1. 16-разрядной адресной шины ;
2. 8-разрядной шины данных ;
3. управляющей шины, содержащей :
 - HOLD* - блокировка процессора ;
 - HLDA* - подтверждение блокировки ;
 - RES* - сброс ;
 - CLK* - выходная частота *CPU* ;
 - ALE* - строб разрешения младшей части адреса ;
 - READY* - периферия/память готовы ;
 - MEMW* - запись в память ;
 - MEMR* - считывание из памяти ;
 - IOW* - запись в периферию ;
 - IOR* - считывание периферии ;
 - IO/M* - периферия или память ;

IR3 - вектор *IR3* контроллера обработки прерываний.
DEC - вывод дешифратора адреса периферии.

Сигналы арбитража *M-Bus* *BPRO* и *BPRN* у ведомых микро-ЭВМ выведены на лицевую панель для соединения в "дейзи-цепь" в соответствии с заданным приоритетом. Ведущая микро-ЭВМ, за которой закреплен высший приоритет, имеет вывод *BPRO*. Шина *BPRN* контроллера *M-Bus* в этой микро-ЭВМ заземлена.

Адресное распределение ведущей микро-ЭВМ :

0000 + *07FFH* - монитор
0800 + *0FFFH* - *EPROM*
1000 + *1FFFH* - системное ОЗУ
2000 + *37FFH* - *EPROM*
3800 + *3BFFH* - *Memory Map*
3C00 + *3FFFH* - КАМАК
4000 + *7FFFH* - память-обменник
8000 + *FFFFH* - динамическое ОЗУ

Адресное распределение ведомой микро-ЭВМ при работе с оперативной системой ДЭС 1800.

Основное :

0000 + *2FFFH* - операционная система ДЭС 1800
3000 + *F7FFFH* - программы
F800 + *FFFFH* - монитор ДЭС 1800

Дополнительное, за счет управления портом приписок :

0000 + *07FFFH* - монитор-отладчик "*MON/D*"
0800 + *0BFFFH* - системное ОЗУ
3800 + *3BFFFH* - *Memory Map*
4000 + *7BFFFH* - память-обменник

При активизации любого из дополнительных адресных полей аналогичное по размеру адресное поле выключается из основного распределения.

Взаимодействие ведущей и ведомых микро-ЭВМ

Управление взаимодействием задач в МС "Микро" ориентировано на использование операционной системы МОС РВ 1800 (операционная система ДЭС 1800 предполагается как инструментальная), включающей :

- 1) ядро системы ;
- 2) терминальный *HANDLER* ;
- 3) *MANAGER* свободного пространства в памяти ;
- 4) дисковую файловую систему ;
- 5) интерактивный отладчик и некоторые другие компоненты.

МОС РВ 1800 поддерживает три списка задач :

- 1) *READY* - готовые задачи (текущая задача входит в этот список) ;

- 2) *WAIT* - ждущие задачи, т.е. те, время ожидания которых не истекло ;
- 3) *SUSPEND* - отложенные задачи - вспомогательные задачи, не участвующие в борьбе за ресурсы системы ;

Организация продвижения задач *FIFO* - "первым пришел - первым обслужен". МОС РВ 1800 может одновременно поддерживать 256 задач, из них 240 пользовательских, 16 системных задач.

В список *SUSPEND*, как правило, входят задачи-инициализаторы, задачи-тесты, задачи-вычислители и т.д. Эти задачи никогда не попадают в список *WAIT*. Из состояния "отложенная" такая задача сразу переходит в состояние "готовая" и может быть выдворена из списка *READY* по результату предыдущих задач.

Обмен информацией между микро-ЭВМ и МС "Микро" может происходить одновременно по двум магистралям - КАМАК и *M-Bus* (рис.2).

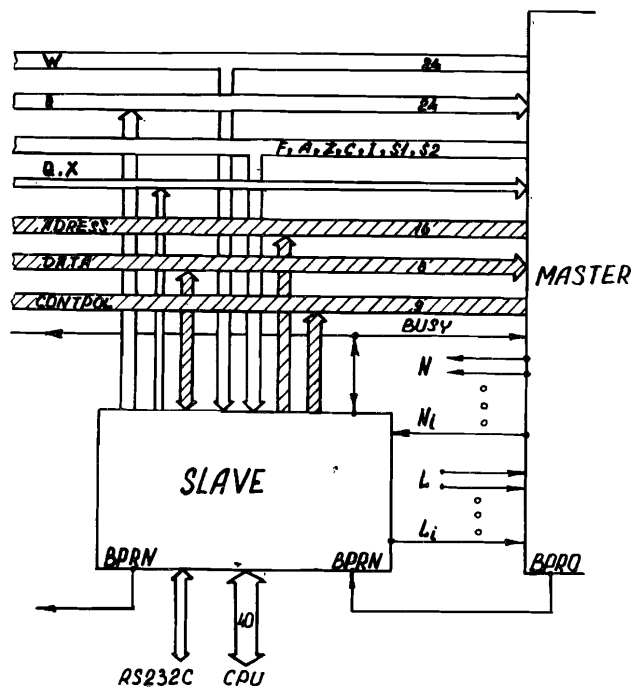
По магистрали КАМАК ведущая микро-ЭВМ обменивается данными с ведомыми микро-ЭВМ через *R/W* -порты, которые могут рассматриваться операционной системой как статические "почтовые ящики" /4/. В 24-разрядном слове обмена младший байт трактуется как задание *) или команда процессора, второй и третий байты содержат адресную часть. Таким образом при данном формате возможна реализация 256 заданий или команд. Ведущая машина командой *F* (16) посылает сообщение в *W* -порт ведомой микро-ЭВМ, затем, выполняя *F* (26), инициирует запрос на обработку прерывания по одному из четырех векторов.

В свою очередь, ведомая микро-ЭВМ посылает сообщение в *R* -порт, и далее, активизируя шину *LAM*, посылает запрос на обработку прерывания ведущей микро-ЭВМ. Ведущая микро-ЭВМ, выполняя команду *F* (0), получает это сообщение.

Учитывая невысокую скорость обмена по *R/W* шинам, магистраль КАМАК рассматривается как вспомогательная, позволяющая ведущей микро-ЭВМ контекстно изменять направления процессов в МС в реальном времени без непосредственного захвата *M-Bus*.

Основным средством взаимодействия микро-ЭВМ в МС "Микро", реализующего возможность создания отказоустойчивых систем, является совокупность общей шины *M-Bus*, локальных шин *CPU* и многопортовых интерфейсов.

*) Имеется в виду, что задание - совокупность задач /4/, которые с точки зрения операционной системы есть элементарное, неделимое действие.



Р и с. 2

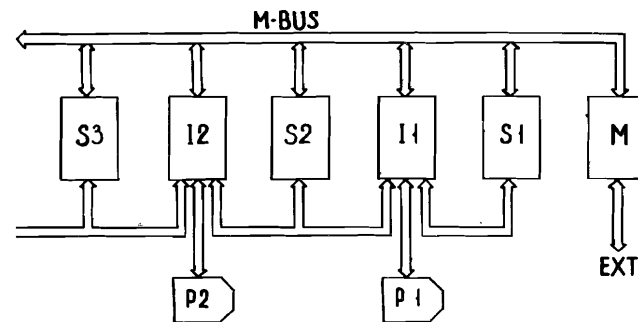
Магистраль KAMAK и M-BUS в системе "Микро".

Обмен блоками данных, образование динамических почтовых ящиков для передачи сообщений, синхронизация процессов (например, с помощью семафоров) и т.д. осуществляется через подключенную к M-BUS память-обменник. Размер адресного поля обмена в зависимости от задач, выполняемых конкретной микро-ЭВМ, может быть равен от 1 К до 16 К байт по адресам $4000 + 7FFFH$. Адресные поля могут быть непересекающимися, с полным или частичным перекрытием. Ведущая микро-ЭВМ имеет доступ ко всем полям обмена.

Реализация некоторых типов отказоустойчивых систем /10,11/.

На рис.3 показана блок-схема части возможной конфигурации МС "Микро", которая состоит из:

- ведущей микро-ЭВМ M;
- ведомых микро-ЭВМ S1, S2, S3;
- трехпортовых интерфейсов I1, I2;
- периферийных устройств P1, P2.



Р и с. 3.

Управление периферией (P1, P2) через трехпортовые интерфейсы I1, I2.

Ведущая микро-ЭВМ имеет также внешнюю шину управления EXT.

Очевидно, что при такой организации МС любая из микро-ЭВМ может взаимодействовать с периферией P1, P2.

При реализации стратегии "M из N", где

N - стартовое число микро-ЭВМ;

M - оставшееся число

работоспособных микро-ЭВМ

(стратегия с потерей качества или допустимая деградация), при выходе из строя одной микро-ЭВМ ее задача передается другой полностью или частично перераспределением заданий. Например, если в стартовом варианте периферия P1 была приписана к S1, а P2 к S2, то при выходе из строя S1 ее функции может взять на себя S2 за счет уменьшения "внимания" к собственной периферии P2, т.е. за счет снижения качества. При выходе из строя S2 управление P2 может быть передано S3 или S1. Если управление P2 ведомая S1 осуществляет по локальной шине S2, т.е. без захвата M-BUS, то ведущая M активирует на локальной шине S2 сигнал HOLD, переводя все драйверы этой магистрали в S2 в третье состояние.

В ситуациях, когда потеря качества недопустима, используется стратегия "N из N", т.е. МС считается работоспособной при N работоспособных микро-ЭВМ.

В этом случае МС содержит дополнительные микро-ЭВМ, находящиеся в "теплом" или "горячем" резерве, готовые немедленно заменить отказавшую микро-ЭВМ.

Для приведенного выше состава МС (рис.3) стратегия "N из N" может быть реализована так: периферия P1 закреплена за S1, P2 за S3. Ведомая S2 находится в "теплом" или "горячем" резерве.

В приведенных выше стратегиях каждой из микро-ЭВМ МС предостав-

лена определенная самостоятельность. Ведущая микро-ЭВМ определяет работоспособность системы по сообщениям, изменению семафоров и т.д., поступающим от ведомых микро-ЭВМ через установленные интервалы времени. Очевидно, что в некоторый момент времени ведущая может "не знать", что в системе произошел отказ, и узнает об этом лишь через некоторый интервал времени по отсутствию сообщения от данной ведомой микро-ЭВМ или же по сообщениям других микро-ЭВМ, задачи которых связаны с задачами отказавшей.

В МС, где реакция на отказ должна быть немедленной и глубина распространения ошибки сведена к минимуму, используется "стратегия голосования". Чаще всего в таких МС используется симметричная схема, состоящая из трех микро-ЭВМ (или мини-ЭВМ), при этом две из них полностью синхронизованы и работают в режиме дублирования, третья находится в резерве. Вся входная и выходная информация проходит "процедуру голосования" - проверку на идентичность.

В случае рассогласования обе микро-ЭВМ могут, например, при наличии элементов временной избыточности сделать "шаг назад", т.е. повторить команду, при которой произошел сбой. При повторном сбое ведущая микро-ЭВМ выявляет отказавшую ведомую и заменяет ее резервной микро-ЭВМ, которая начинает работу с точки сбоя или же обе машины перезапускаются с некоторой контрольной точки.

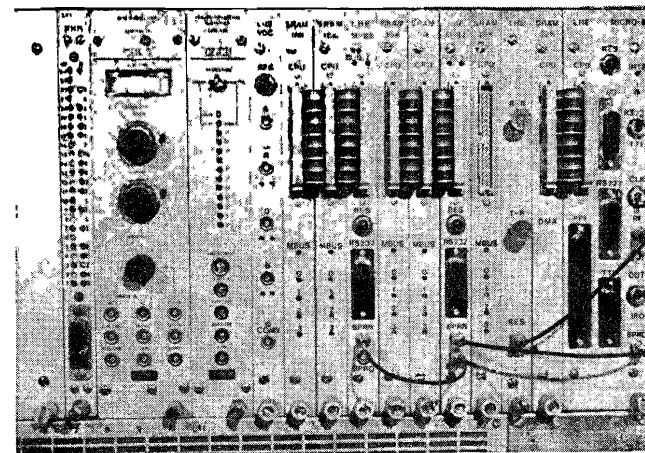
Реализация данной стратегии (рис.3) :

- периферия P2 - объект управления ;
- интерфейс I2 содержит элементы синхронизации (например, по шинам READY) и идентификации данных ;
- микро-ЭВМ S2, S3 работают в дублирующем режиме, S2 в резерве ;
- магистраль, связывающая I1 с P1, подключена к аналогичному интерфейсу I3 (на схеме не показан), образуя замкнутый контур.

При таком включении каждая из микро-ЭВМ может заменить любую другую, образуя полностью симметричную схему.

Заключение

Первые эксперименты по изучению рентгеновского излучения на ионизаторе "Крион-2" показали целесообразность наличия нескольких магистралей в МС "Микро". Наличие в МС устройств в стандарте КАМАК и устройств, ориентированных на M-Bus [9], показало полное преимущество последних. В таких устройствах практически отсутствует аппаратная избыточность, наиболее полно используются достижения схемотехники, программы для таких устройств значительно короче и "естественнее" по сравнению с программами, написанными для аналогичных устройств в стандарте КАМАК.



Р и с.4.

Внешний вид системы "Микро". Справа - налево : ведущая микро-ЭВМ, ОЗУ 32К, опто-волоконный приемопередатчик, ОЗУ - обменник 16К, 1-ая ведомая микро-ЭВМ с двумя блоками ОЗУ 16К, 2-ая ведомая микро-ЭВМ с двумя блоками ОЗУ 16К, контроллер цветного телемонитора, серийные АЦП.

Автор считает своим приятным долгом поблагодарить И.Н.Семенюшкина за постоянный интерес и поддержку на всех стадиях разработки системы, Е.Д.Донца и С.В.Карташова за многолетнее сотрудничество. Автор благодарит сотрудников ЛЯП ОИЯИ В.Н.Аносова и В.А.Саенко за многочисленные дискуссии и помощь.

Л и т е р а т у р а

1. Прангшвили И.В. Микропроцессоры и микро-ЭВМ. Энергия, Москва, 1979.
2. K.L. Short. "Microprocessors and Programmed Logic", Prentice-Hall, INC, NJ-07632, 1981.
3. L.Durieu, M. Vignes. CERN, 82-07, Geneva, 1982.
4. Цикритзис Д., Бернштейн Ф. Операционные системы. Мир, Москва, 1977.

5. Вадеев В.П. и др. ОИЯИ, Р7-10823, Дубна, 1977.
6. Донец Е.Д. и др. ОИЯИ, Р7-12905, Дубна, 1979.
7. E.D.Donetz. Physica Scripta, v.Т3, 1983.
8. E.D.Donetz. NIM, В9, 1985.
9. Дудников В.Г., ОИЯИ, Р10-85-81, Дубна, 1985.
10. Фритч В. Применение микропроцессоров в системах управления. Мир, Москва, 1984.
11. Головкин Б.А. Параллельные вычислительные системы. Наука. Москва, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 ноября 1986 года.

Дудников В.Г.

P10-86-751

Система управления, сбора и обработки
экспериментальных данных "Микро"

Описана многофункциональная система "Микро", предназначенная для развития электронно-лучевого метода ионизации. Система выполнена в конструктиве КАМАК. Наличие двух дополнительных магистралей значительно повысило пропускную способность в системе, позволило эффективно использовать достижения схемотехники БИС. Результаты работы могут быть использованы при создании систем с высокой отказоустойчивостью.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод автора

Dudnikov V.G.

P10-86-751

"Micro" System for Control, Acquisition
and Processing of Experimental Data

A multifunctional system "Micro" used to develop the electron-beam ionization method is described. The system is made in the CAMAC crate. The presence of two additional buses significantly increased the throughput of the system and allowed one to make best use of the advances in LSI. The results can be used for the construction of steady-by systems.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986