

**объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна**

**К 289**

**P9-87-307**

**А.А.Касьянов\*, В.Б.Кутнер, В.М.Рыбин\*,  
В.Г.Субботин, А.М.Сухов, Ю.П.Третьяков,  
Б.В.Фефилов**

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ПОДСИСТЕМА  
УПРАВЛЕНИЯ ДУГОВЫМ ИСТОЧНИКОМ  
МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ ЦИКЛОТРОНА У-400**

Направлено в журнал "Приборы и техника  
эксперимента"

---

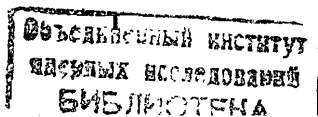
\*Московский инженерно-физический институт

**1987**

В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ создается автоматизированная система контроля и управления изохронного циклотрона У-400 (АСКУ У-400) /1,2/ на базе микропроцессоров и аппаратуры КАМАК. Одним из основных узлов циклотрона, наиболее сложным в управлении, является дуговой источник многозарядных ионов с подогревным катодом и катодным распылением рабочего вещества /3,4/, представляющий, с точки зрения автоматизации управления, нелинейный многосвязный стохастический объект с дрейфующими во времени характеристиками. Источник многозарядных ионов (ИМЗИ) определяет продолжительность непрерывного облучения физических мишеней и максимальную интенсивность пучка ускоренных ионов. С целью получения заданной интенсивности тока пучка тяжелых ионов и ее стабилизации при максимальном сроке службы ИМЗИ разработана микропроцессорная подсистема контроля параметров и автоматического управления режимом работы источника (АСКУ ИМЗИ), входящая в состав системы АСКУ У-400 (рис. 1).

Объект управления, ИМЗИ и система его электропитания схематически представлены на рис. 2. Разрядная камера источника (3) размещена в центре зазора электромагнита циклотрона. Катод (2) ИМЗИ подогревается потоком электронов с нити (1), представляющей собой вспомогательный катод прямого накала, питающийся от выпрямителя (9). Электроны ускорены напряжением выпрямителя подогрева (10). При подаче в разрядную камеру балластного газа и включения выпрямителя дуги (11) зажигается разряд. Напуск газа регулируется игольчатым вентилем дистанционно. С катодом (2) электрически соединен отражатель (6). В районе эмиссионной цели (5) ИМЗИ размещен распыляемый электрод (4), содержащий рабочее вещество. Подача на электрод (4) отрицательного потенциала от выпрямителя (7) приводит к катодному распылению материала электрода; распыленные частицы ионизируются в разряде. Регулировкой напряжения выпрямителя (7) и положения электрода осуществляется оптимальная подача ионизируемого рабочего вещества. Работа ИМЗИ в импульсном режиме синхронно с высокочастотным генератором циклотрона осуществляется с помощью ключа (8), управляемого блоком (12).

Выходной параметр ИМЗИ (ток многозарядных ионов) определяется режимом работы источника, зависящим от таких основных параметров, как ток накала нити, ток и напряжение подогрева катода, расход балластного газа, ток и напряжение дуги, ток и



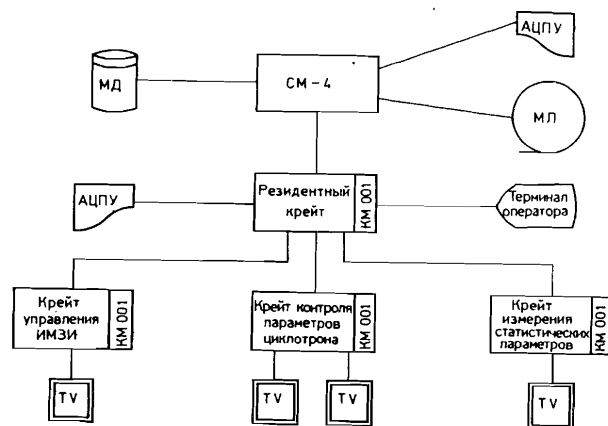


Рис. 1. Структура автоматизированной системы контроля и управления циклотрона У-400 (АСКУ У-400).

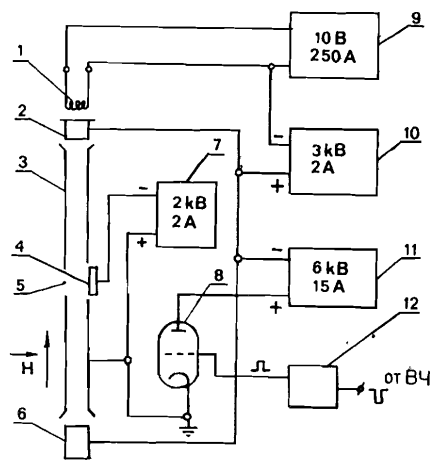


Рис. 2. Схема источника многозарядных ионов и система его электропитания.

напряжение распыляемого электрода. Как отмечалось выше, ИМЗИ отличается стохастичностью и дрейфом характеристик во времени. Стохастичность определяется присутствием разного рода помех и случайных факторов в силу физико-технических условий работы ИМЗИ: неустойчивость дугового разряда, случайные нарушения вакуума, пробой между нитью накала и катодом и т.д. Дрейф характеристик определяется, например, утолщением нити накала за счет осаждения испаренного материала катода, распылением катода и рабочего электрода, а также присутствием нестационарных флуктуаций.

Регулировка режима ИМЗИ производится варьированием шести параметров: напряжений источников питания нити накала, подогрева катода, дуги, распыляемого электрода, положения иглы вентиля напуска газа и положения распыляемого электрода. Помимо сложности ручного вывода ИМЗИ в заданный режим, положение усугубляется неповторяемостью характеристик после переборки источника. Кроме того, необходимо учитывать род балластного газа и свойства материала распыляемого электрода.

При создании АСКУ ИМЗИ последовательно решаются две задачи:

1. Автоматическое управление параметрами источника при вводе его в рабочий режим и стабилизация характеристик в этом режиме.
2. Оптимальное управление интенсивностью пучка ионов.

В настоящее время реализована первая задача.

Микропроцессорная подсистема АСКУ ИМЗИ отображена на рис.1 в виде крейта управления ИМЗИ, состоящего из микро-ЭВМ КМ-001 на базе микропроцессорного набора серии К580 /5/, ОЗУ 16К байт, ППЗУ 32К байт и комплекта блоков КАМАК. Программное обеспечение подсистемы занесено в ППЗУ. Управление работой АСКУ ИМЗИ осуществляется оператором с помощью терминала, связанного с резидентным крейтом АСКУ У-400, функции которого: организация диалогового взаимодействия оператора с системой, связь с ЭВМ верхнего уровня для решения задач оптимизации и вывод информации о параметрах системы на мозаичную печать.

Основные функции подсистемы АСКУ ИМЗИ:

- измерение параметров режима ИМЗИ;
- отображение результатов измерений на экране телевизионного дисплея;
- автоматическое зажигание дуги и настройка режима ИМЗИ на заданные оператором значения параметров;

- автоматическая подстройка режима ИМЗИ по заданию оператора;
- контроль выхода параметров за допустимые пределы;
- диагностика аварийных ситуаций и их предотвращение;
- формирование библиотеки режимов работы ИМЗИ;
- организация интерактивного взаимодействия оператора с подсистемой.

Крейт АСКУ ИМЗИ состоит из четырех функциональных подсистем (рис. 3):

- управления аппаратурой крейта (КМ-001);
- измерения параметров ИМЗИ;
- формирования и выдачи управляющих воздействий на регулирующие органы;
- отображения информации.

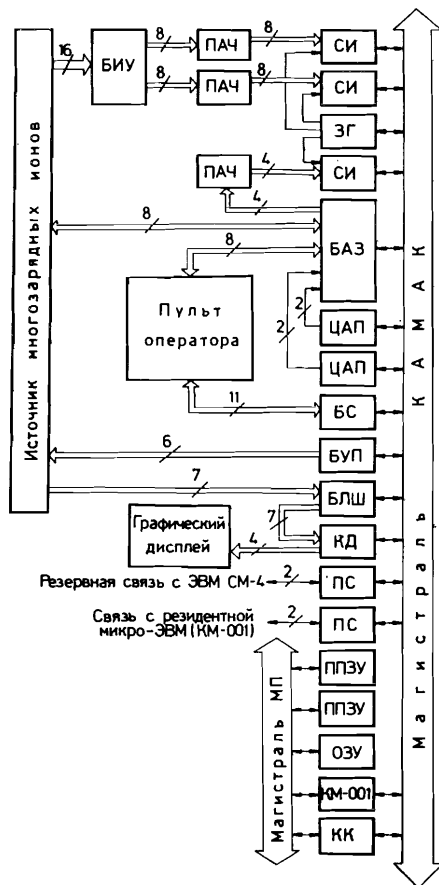


Рис. 3. Блок-схема подсистемы контроля параметров и автоматического управления режимом работы источника (АСКУ ИМЗИ).

Измерение параметров. Управление работой ИМЗИ базируется на измерении 16 параметров, представляющих собой квазипостоянные или импульсные сигналы, за время 80 мс. Для обеспечения необходимой точности в условиях значительных электромагнитных помех в измерительных трактах используются преобразователи напряжение-частота; измеряемые параметры преобразованы и нормализованы к одному виду - квазипостоянному напряжению с динамическим диапазоном 0-5 В. Измерительный узел содержит блок измерительных усилителей (БИУ) на 16 входов, два преобразователя напряжение-частота (ПАЧ) на 8 входов, два блока двоичных счетчиков 8x16 разрядов (СИ), задающий генератор (ЗГ), управляемый микро-ЭВМ КМ-001. Информация с СИ заносится в ОЗУ по магистрали КАМАК. Приведенная погрешность измерений параметров не хуже 0,1%.

Выдача управляющих воздействий. Подсистема включает в себя:

- пульт оператора,
- блок связи пульта оператора с магистралью КАМАК (БС),
- два двойных 10-разрядных ЦАП (ЦАП),
- блок управления перемещением распыляемого электрода и иглы вентиля напуска газа (БУП),
- блок аварийной защиты ИМЗИ (БАЗ).

Управление режимом работы ИМЗИ производится регулировкой тока накала нити, напряжения подогрева катода, напряжения дуги, напряжения на распыляемом электроде, положения распыляемого электрода, положения иглы вентиля напуска газа. Первые четыре параметра регулируются изменением опорных напряжений на входах соответствующих тиристорных преобразователей. В аварийной ситуации БАЗ блокирует соответствующее опорное напряжение. БАЗ контролирует:

- состояние вакуума в камере циклотрона;
  - наличие магнитного поля циклотрона;
  - наличие напряжения смещения на модуляторной лампе в цепи подачи напряжения дуги на катод источника;
  - наличие пробоев в промежутке нить накала - катод ИМЗИ;
  - превышение допустимых значений тока распыляемого электрода.
- Первые три параметра используются для предупреждения аварийных ситуаций при поджоге дуги источника путем блокировки источника питания дуги. Четвертый параметр используется для блокировки источника питания подогрева катода в случае недопустимых пробоев, а пятый - для блокировки источника питания распыляемого электрода.

Управление приводами перемещения распыляемого электрода и вентиля напуска газа осуществляется БУП также по командам КМ-001 с указанием направления и времени работы привода. Через БС оператор может выдавать запросы на переход с ручного управления на автоматический и наоборот.

Отображение информации осуществляется на экране телевизионного дисплея с помощью специального контроллера с внутренней памятью 3x256x256 бит и встроенным генератором символов (КД). На экран выводится таблица цифровых значений контролируемых параметров и мнемосхема подсистемы АСКУ ИМЗИ, отображающая работоспособность ее в динамике. В случае неисправности или аварии какого-либо узла меняется цвет отображения этого узла или осуществляется мигание символа.

Для удобства наблюдения динамики изменения основных семи измеряемых параметров на экран дисплея с помощью блока линейных шкал (БЛШ) выводятся семь линейных шкал, на которых в аналоговом виде индицируются значения тока накала нити, тока и напряжения подогрева катода, тока и напряжения дуги, тока на распыляемый электрод и мощности распыления.

Режимы работы. Подсистема АСКУ ИМЗИ обеспечивает работу в следующих режимах:

- сканирование (КМ-001 производит только последовательный опрос измерительных трактов и отображение их значений на дисплее);
- автоматический вывод источника на заданный режим (КМ-001 автоматически настраивает параметры ИМЗИ с точностью не хуже 1% за время ~5мин. Алгоритм настройки разработан на основе анализа физических закономерностей работы ИМЗИ и функциональных зависимостей между его параметрами);
- контроль (по команде оператора КМ-001 запоминает текущие значения параметров ИМЗИ в качестве уставок и отслеживает их выход за допустимые пределы);
- автоматическое выключение подсистемы АСКУ ИМЗИ;
- ручное управление (КМ-001 производит опрос измерительных трактов, а управление режимом работы ИМЗИ осуществляет оператор с пульта с помощью многооборотных потенциометров. В этом режиме необходимо было обеспечить переход с автоматического управления на ручное без срыва режимов ИМЗИ и циклотрона в целом, для чего был реализован следующий алгоритм: управляющие воздействия на регуляторы в ручном режиме и в автоматическом подаются с выходов ЦАП, КМ-001 производит

измерение напряжений с потенциометров и записывает пропорциональный этому напряжению код в ЦАП. В момент перехода с автоматического режима на ручной сравниваются значения текущего кода ЦАП и напряжения соответствующего потенциометра до тех пор, пока оператор вращением ручки потенциометра не выравняет их, после чего КМ-001 разрешает изменение сигнала на выходе ЦАП. Направление вращения ручки потенциометра указывается соответствующим знаком на экране дисплея. В момент исчезновения знака параметр становится управляемым. Такой алгоритм обеспечивает переключение в ручной режим управления без срыва работы ИМЗИ и циклотрона, а отклонения параметров отклоняются не более 5%).

Программное обеспечение реализовано на языке Ассемблер и занимает 8К байт ППЗУ резидентной КМ-001 и 22К байт ППЗУ в крейте управления ИМЗИ.

В заключение авторы считают приятным долгом поблагодарить академика Г.Н.Флерова за постановку задачи, А.Н.Синаева, В.Т.Сидорова и И.Н.Чурина за помощь в освоении и настройке микро-ЭВМ КМ-001, Ю.Д.Малухина, Л.М.Мельникову и Н.М.Широкова за помощь в отладке системы.

#### Литература

1. Фефилов Б.В., Субботин В.Г., Сухов А.М. и др. В сб.: XI Международный симпозиум по ядерной электронике, Братислава, 6-12.09.1983, ОИЯИ, Д-13-84-53, Дубна, 1984, с.376.
2. Фефилов Б.В., Малухин Ю.Д., Мельникова Л.М. и др. В сб.: Физика тяжелых ионов - 1985. ОИЯИ, Р7-86-322, Дубна, 1986, с.74.
3. Третьяков Ю.П., Кутнер В.Б., Пасяк А.С. Препринт ОИЯИ, Р7-84-578, Р7-84-774, Дубна, 1984.
4. Третьяков Ю.П., Кулькина Л.П., Кузнецов В.И., Пасяк А.С. ИТЭ, 1970, № 5, с.40.
5. Антюхов В.А., Вьонг Дао Ви, З.Динель и др. Сообщение ОИЯИ, IO-80-650, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 мая 1987 года.