

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Б-179

P10-87-871

Н.П.Базылева, Л.Г.Ефимов, К.Пасевич,
Г.М.Сусова, Д.Энхболд

**ОРГАНИЗАЦИЯ
НА ОСНОВЕ МИКРОЭВМ МERA-60
(ЭЛЕКТРОНИКА-60)
ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЦИКЛОМ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СИНХРОТРОНА**

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

1987

В настоящее время в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ осуществляется опытная эксплуатация в режиме криогенных испытаний 1,5 ГэВ модельного синхротрона со сверхпроводящей магнитной системой — установки СПИН, исследования на которой проводятся в рамках реализации проекта ускорителя релятивистских ядер с широким спектром масс ^{1/1}.

Неотъемлемой частью комплекса средств автоматизации синхротрона ^{2/2} является подсистема управления циклом ускорителя. Первый вариант этой подсистемы, применявшийся на этапе предварительной наладки узлов ускорителя в теплом режиме работы его магнитной системы, подробно описан в ^{3/3}. В данной работе рассматривается организация второго, основного варианта подсистемы, предназначенного для управления циклом синхротрона СПИН в криогенном режиме.

Функциональное назначение подсистемы (АС1) показано на рис.1, где в общем виде представлены ее связи с контролируруемыми узлами ускорителя. Как в теплом, так и в криогенном режимах работы синхротрона в подсистеме АС1 используется в качестве источника программного управления микроЭВМ МERA-60 ("Электроника-60") и решаются следующие основные задачи:

- 1) выработка по заданному алгоритму последовательности сигналов управления тремя независимыми источниками питания магнитов и линз кольцевой структуры синхротрона (ИПК);
- 2) программная генерация основных синхросигналов цикла, необходимых для временной привязки работы различных узлов ускорителя к циклу ИПК;
- 3) формирование сигналов запуска элементов инжекционного комплекса ускорителя, источников питания элементов магнитной оптики канала ввода пучка инжектора (ИПИ), источника питания инфлектора;
- 4) контроль работоспособности ИПК и ИПИ по результатам измерения сигналов с их датчиков.

При реализации второго варианта подсистемы АС1 основной проблемой, связанной с работой кольцевых магнитов и линз в криостате с жидким гелием, является обеспечение высокой надежности средств управления их источниками питания. При этом в качестве ИПК используются удаленные от ЭВМ мощные промышленные источники тока типа ИСТР-2500, для дистанционного привода которых в различных режимах эксплуатации установки потребовалось создать соответствующие аппаратные средства и гибкое программное обеспечение.

Жесткие требования к надежности аппаратно-программных средств конкретно выражаются в необходимости обеспечивать:

Федеральный институт ядерных исследований

- а) исключение возможности полной остановки процесса управления ИПК при отказах микроЭВМ, способной привести к возникновению аварийной ситуации в случае неработоспособности автоматической защиты в самих ИПК;
- б) генерацию сигналов сброса ИПК для вывода их из возбужденного состояния в тех циклах ускорителя, где происходит сбой программного управления;
- в) документирование параметров выполняемой программы на запоминающем устройстве с неразрушаемой при выключении микроЭВМ информацией, позволяющее легко возобновлять прерванную работу установки и проверять режим ее эксплуатации в любое время.

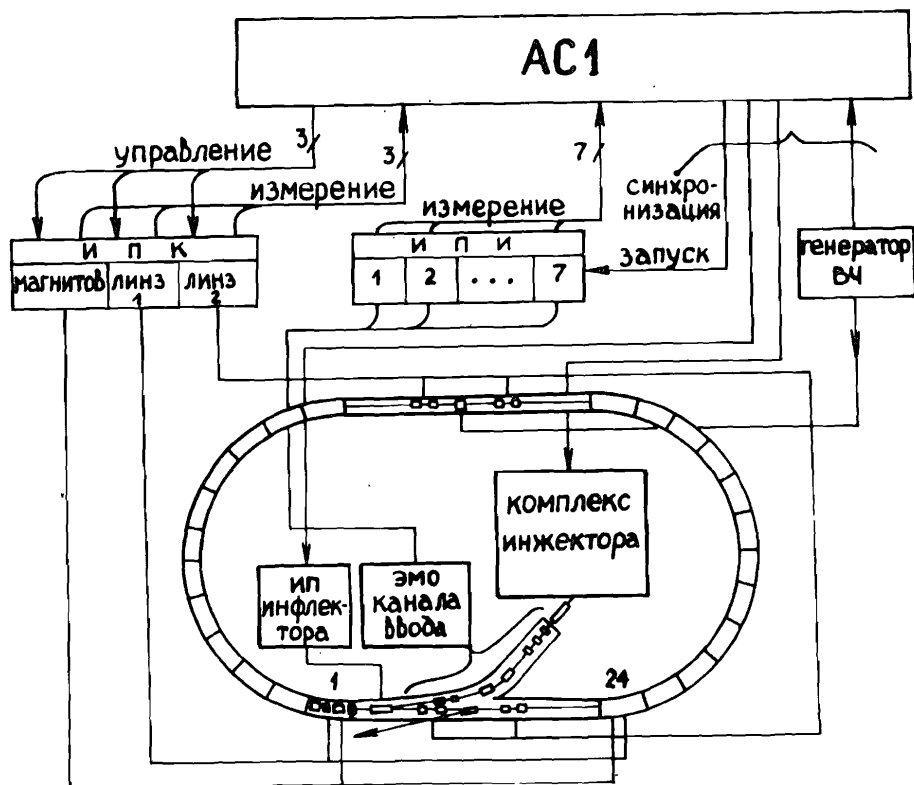


Рис. 1. Функциональные связи подсистемы управления циклом с узлами ускорителя.

УПРАВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ И СИНХРОНИЗАЦИЯ УЗЛОВ УСКОРИТЕЛЯ

Установка СПИН является ускорителем с разделенными функциями управления магнитной системой, в которой осуществляется прог-

рамное задание токов в трех группах магнитных элементов — магнитах регулярных периодов, линзах регулярных периодов и линзах согласованных промежутков.

Функциональная зависимость тока от времени в одной из групп магнитных элементов, работающих в сверхпроводящем режиме, показана на рис. 2. Соответствующее управление источниками питания ИСТР-2500 в цикле ускорителя производится на основании задаваемой оператором установки временной структуры цикла (интервалов времени линейного роста токов, "стола" токов, плавных переходов по параболической кривой), а также максимальных и минимальных значений токов в цикле.

При этом для i -го ИПК ($i = 1, 2, 3$) оператором индивидуально задаются интервалы $\delta_{i1} = T_{i2} - T_1 = T_8 - T_{i7}$, $\delta_{i2} = T_{i3} - T_{i2} = T_{i7} - T_{i6}$, $\delta_{i3} = T_4 - T_{i3} = T_{i6} - T_5$, а также значения I_{i1} и I_{i2} . Начало и конец возбуждения ИПК в моменты T_1 и T_8 , а также работа ИПК на

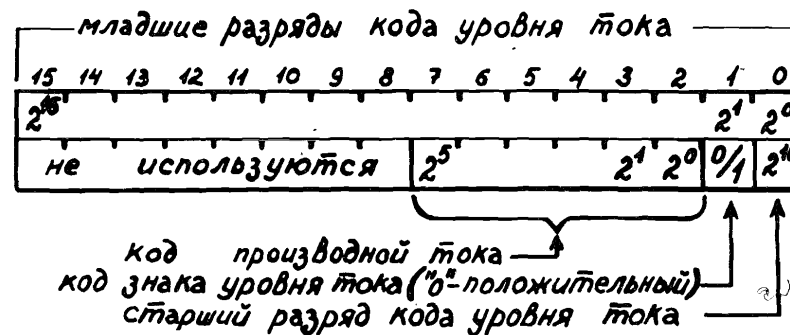
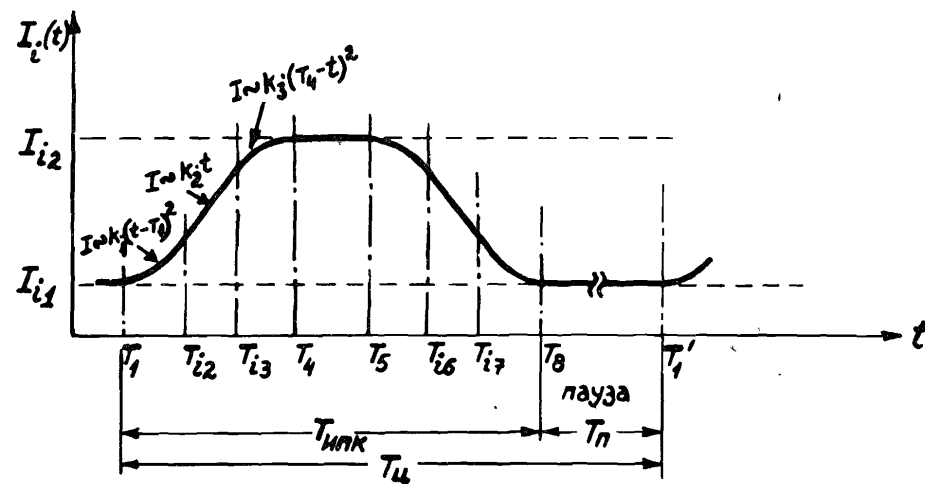


Рис. 2. Зависимость тока от времени в одной из групп магнитных элементов кольца синхротрона и формат цифрового кода управления источниками питания ИСТР-2500.

"столе" токов (интервал от T_4 до T_5) осуществляются синхронно для всех трех источников. Ограничениями на вводимые оператором параметры цикла являются максимально допустимые в источнике ИСТР-2500 значения тока $I_{i2max} = 2500$ А и его производной на участке подъема $I_{1max} = 600$ А/с, а также минимальная длительность любого из задаваемых интервалов (20 мс) и максимальная длительность интервала $T_5 - T_1 = 6$ с, обусловленная размером резервируемой под таблицы управляющих кодов и результатов измерения областью памяти (ОЗУ) микроЭВМ МЕРА-60.

После ввода указанных параметров ЭВМ производит расчет таблиц управляющих 24-разрядных кодов уровней токов и их производных, подаваемых на входы параллельных интерфейсов ИПК. Формат размещения управляющего кода источника ИСТР-2500 в двух ячейках ОЗУ микроЭВМ также показан на рис. 2.

Таким образом, управление работой сверхпроводящей магнитной системы сводится к генерации индивидуальных для каждого ИПК последовательностей кодов $I_i(n)$ и $\dot{I}_i(n)$, при этом

$$n = \text{Int} \left[\frac{t - T_1}{\ell \sigma} \right],$$

где t — текущее время цикла; n — номер временного шага задания кодов; σ — минимальное значение шага (20 мс); $\ell = 1, 2, 3, \dots$ (задается в аппаратуре и программах).

Нетрудно показать, что расчет таблицы кодов для i -го ИПК связан с определением коэффициентов K_{i1}, K_{i2}, K_{i3} соответствующих функций тока в интервалах $\delta_{i1}, \delta_{i2}, \delta_{i3}$, при этом

$$K_{i2} = \frac{2(I_{i2} - I_{i1})}{\delta_{i1} + 2\delta_{i2} + \delta_{i3}}, \quad K_{i1} = \frac{K_{i2}}{2\delta_{i1}}, \quad K_{i3} = \frac{K_{i2}}{2\delta_{i3}}.$$

Для размещения трех таблиц управляющих кодов ИПК в ОЗУ микроЭВМ отводится 4Кбайт.

Для синхронизации работы различных узлов ускорителя в подсистеме АС1 формируются реперные синхросигналы, соответствующие началу цикла, началу и концу возбуждения ИПК в моменты T_1 и T_8 , началу и концу "стола" токов ИПК в моменты T_4 и T_5 . Подготовка элементов инжекционного комплекса и запуск инфлектора также производятся по синхросигналам АС1, вырабатываемым с регулируемыми задержками от указанных реперных синхросигналов.

В момент инжекции пучка производятся одновременные измерения амплитудных значений сигналов с датчиков всех источников питания магнитов и линз канала ввода пучка в кольцо (ИПИ). Контроль работоспособности ИПК осуществляется либо по результатам многократных измерений сигналов с их датчиков в интервале от T_1 до T_5 , либо по результатам измерений этих сигналов, производимых один раз в цикле в момент инжекции пучка.

Запуск циклов может инициироваться как внешним синхросигналом, поступающим в АС1, так и программой микроЭВМ. В последнем случае длительность паузы между циклами T_n задается оператором установки при вводе параметров.

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ПОДСИСТЕМЫ

Общая структура аппаратных средств подсистемы АС1 показана на рис. 3.

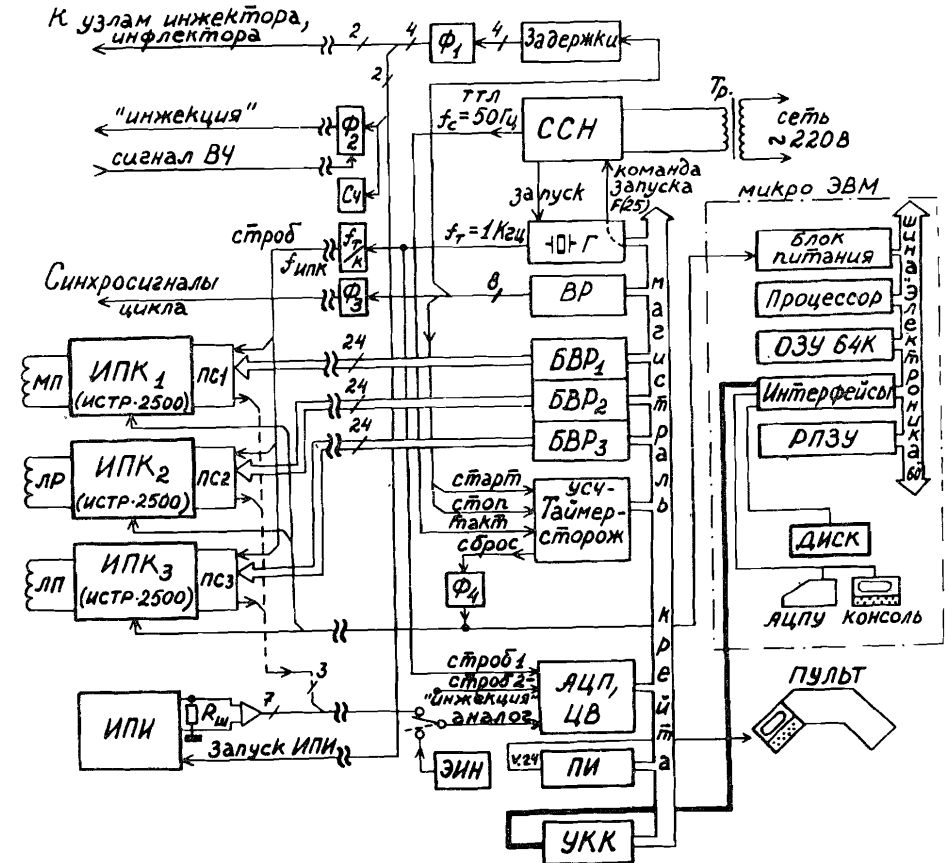


Рис. 3. Структура аппаратных средств подсистемы.

Управляющая и регистрирующая аппаратура, а также модули формирования сигналов выполнены в стандарте КАМАК.

Основным времязадающим элементом подсистемы является модуль часов реального времени со встроенным кварцевым генератором Г. Программный запуск часов осуществляется в начале каждого цикла ускорителя, при этом начало работы генератора с помощью блока регу-

лируемой задержки ССН привязывается к определенной фазе переменного напряжения сети 50 Гц, питающего установку. От модуля часов через магистраль и универсальный контроллер крейта УКК^{4,5/} в микроЭВМ с тактовой частотой $f_T = 1$ кГц поступают прерывания. При получении прерываний в количестве N , кратном $K = (T_{ИПК} / T_T)$ ($T_T = 1$ мс, $T_{ИПК} = \ell \sigma$ мс), производится периодическая запись управляющих кодов ИПК из таблиц ОЗУ микроЭВМ в модули выходных 24-разрядных регистров с мощными выходами $BVP_1 - BVP_3$. Эти модули связаны с ИПК многожильными телефонными кабелями со скрученными парами длиной 50 м. Для электрического согласования линии связи и формирования необходимой полярности кодовых ТТЛ-сигналов на входах интерфейсных узлов ИПК в них встраиваются специально разработанные приемно-согласующие устройства $ПС_1 - ПС_3$. Управляющие коды заносятся в интерфейсы ИПК с частотой их обновления $f_{ИПК} = (f_T / K)$ сигналом "СТРОБ", формируемым в регулируемом делителе частоты.

Рассмотренные аппаратные средства обеспечивают воспроизведение требуемых зависимостей токов от времени в источниках питания магнитов (МП) и линз (ЛР, ЛП) синхротрона. Вместе с тем средствами подсистемы обеспечивается и оперативный контроль работоспособности источников питания. Для измерений сигналов с датчиков ИПК применяются 12-разрядные аналого-цифровые преобразователи (АЦП) с инструментальными входами^{6/}. При многократных измерениях формы тока ИПК в качестве сигнала "СТРОБ 1" АЦП используется тактовый сигнал часов. В этом режиме контроля ИПК в указанном временном интервале по каждому прерыванию микроЭВМ с шагом 1 мс производится чтение данных АЦП в резервируемую область ОЗУ микроЭВМ.

Измерения сигналов в шунтах семи ИПИ осуществляются с помощью 8-канального модуля 10-разрядных АЦП, входы которых стробируются в момент инъекции пучка соответствующим синхросигналом "СТРОБ 2". Этим же синхросигналом стробируется еще один 12-разрядный АЦП с инструментальным входом, на вход которого подается аналоговый сигнал с любого из датчиков ИПК. Таблица измерений сигналов ИПК и ИПИ, производимых один раз в цикле при инъекции пучка, выводится в паузе между циклами на алфавитно-цифровой монитор пульта управления через модуль последовательного интерфейса ПИ. По этой таблице оператор может настраивать эксплуатационный режим всех источников питания и оценивать стабильность их работы от цикла к циклу.

Для калибровки АЦП, производимой методом линейной регрессии по одной из подпрограмм, применяются регулируемый эталонный источник напряжения ЭИН и 4-значный цифровой вольтметр ЦВ. Подсчет количества циклов работы подсистемы производится в модуле десятичного счетчика с индикацией СЧ.

Реперные синхросигналы подсистемы вырабатываются в модуле выходного регистра ВР. Все необходимые сигналы запуска различных

узлов ускорителя формируются в блоках регулируемых временных задержек и формирователей $\Phi_1 - \Phi_3$. Запуск инжектора осуществляется в выбираемой фазе сигнала генератора поля высокой частоты (ВЧ).

В состав базового комплекта микроЭВМ МERA-60 входят процессор "Электроника-60", ОЗУ с доступной пользователю емкостью памяти 56Кбайт, интерфейсы внешних устройств, в том числе интерфейс накопителя на дисковом запоминающем устройстве и дуплексный регистр связи с контроллером крейта КАМАК.

ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ

Повышение надежности управляющих систем на основе микроЭВМ МERA-60 ("Электроника-60"), работающих рядом с источниками сильных электромагнитных наводок и помех по питанию, является актуальной задачей всех разработчиков подобных систем^{7/}. Ее решение связано с комплексной и поэтапной реализацией средств, обеспечивающих:

- а) максимально возможное подавление сбоев микроЭВМ — отказов в ее работе, не связанных с выходом из строя аппаратуры микроЭВМ (пассивную защиту);
- б) в случае невозможности полного подавления сбоев — автоматическую ликвидацию их последствий с восстановлением прерванной программы (активную защиту).

На ускорителе СПИН, как и на других электрофизических установках, основными источниками наводок и помех являются высоковольтные разрядные устройства, работа которых в импульсном режиме создает неблагоприятные условия эксплуатации микроЭВМ. Например, при отсутствии средств защиты наблюдаются отказы микроЭВМ в тех циклах ускорителя, в которых пробивается воздушный промежуток на высоковольтной (750 кВ) колонне инжектора, работающего в непосредственной близости от подсистемы АС1.

На первом этапе создания описываемой подсистемы были выполнены такие мероприятия по ее пассивной защите, как монтаж интерфейсных кабелей микроЭВМ скрученными парами проводов с экранированием, установка LC-фильтров питающего микроЭВМ напряжения и т.д. Это позволило приблизительно на 90% сократить количество отказов, но не исключить их полностью. С целью полной ликвидации последствий редких остаточных сбоев микроЭВМ во втором варианте подсистемы были созданы аппаратно-программные средства ее активной защиты, позволившие обеспечить безостановочную работу установки в циклическом режиме.

В литературе^{7/} указывается, что для успешной борьбы с остановами циклической работы микроЭВМ "Электроника-60" необходимо ее оснащение памятью с неразрушаемой при выключении питания информацией, а также аппаратными средствами активизации (рестарта) программы при отрицательном результате проверки выхода системы

в контрольную точку цикла. Соответственно, рекомендуется использовать следующие известные технические решения:

- 1) энергонезависимое ОЗУ микроЭВМ с питанием от аккумулятора или батареи;
- 2) встроенное в микросхемные постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) программное обеспечение ("Silicon Software");
- 3) подключаемые к шине микроЭВМ устройства "охранного таймера" на мультивибраторе с заданной выдержкой и рестарт-загрузчика программы, выполняемого на ПЗУ.

Общим недостатком применения перечисленных вспомогательных устройств является необходимость резервирования места в микроЭВМ для их подключения к разъемам шины (исключение составляет устройство рестарт-загрузчика, которое может размещаться только на стандартной плате в конструктиве микроЭВМ). Кроме того, использование "защитного" в ПЗУ программного обеспечения сопряжено с трудностями гибкой перестройки режимов работы установки (смены управляющих программ) и целесообразно для одного, выбранного и окончательно настроенного режима.

В отличие от приведенных решений в подсистеме АС1 в качестве устройства хранения информации используется стандартное дисковое запоминающее устройство микроЭВМ MERA-60. Особенностью нашей методики его применения является то, что на диске одновременно размещается набор различных программ управления циклом ускорителя с соответствующими служебными файлами, в которые заносятся текущие временные и амплитудные параметры цикла. Рестарт программ организован так, что после сбоя микроЭВМ производится автоматичес-

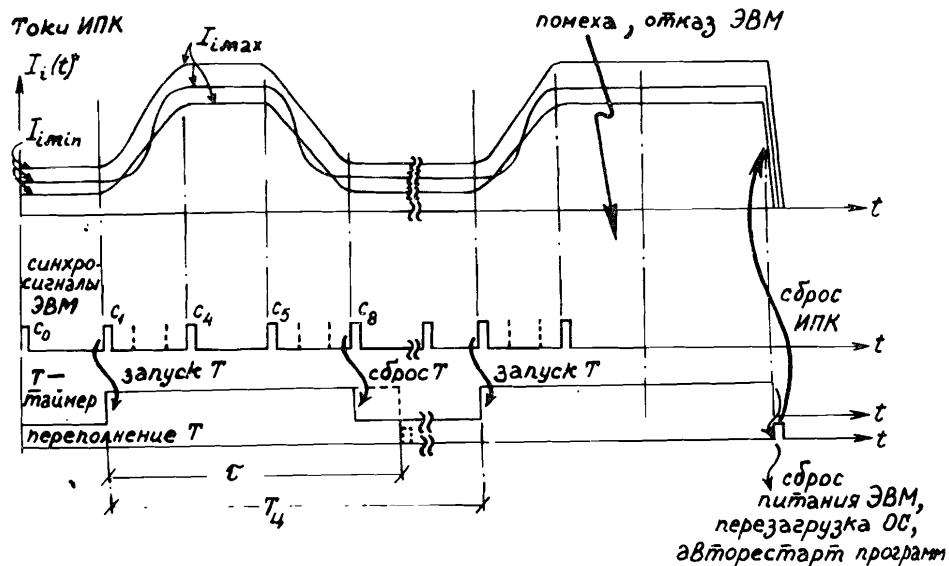


Рис. 4. Диаграмма работы таймера "временной сторож".

кий вызов с диска той программы, которая находилась в ОЗУ в момент сбоя, а также автоматическое восстановление ее параметров.

Аналогичным образом восстанавливается и программируемая выдержка таймера "временной сторож", в качестве которого нами используется модуль КАМАК — 24-разрядный установочный счетчик УСЧ (рис. 3). Заполнение УСЧ осуществляется выходным сигналом блока ССН с частотой сети 50 Гц, что является дополнительным фактором обеспечения надежности описываемых средств и позволяет добиться диапазона регулировки выдержки таймера в пределах от $T_c = 20$ мс до $(2^{24} - 1) \cdot T_c$ мс. Временная диаграмма, поясняющая принцип действия таймера, приведена на рис. 4. В начале каждого цикла ускорителя в модуль УСЧ по программе заносится цифровой код выдержки τ , превышающей длительность контролируемого временного интервала, в котором вероятен сбой микроЭВМ, но не превышающей длительности цикла T_c . В "нормальных" циклах ускорителя УСЧ устанавливается в "0" в конце контролируемого интервала, а в циклах со сбоем отсут-

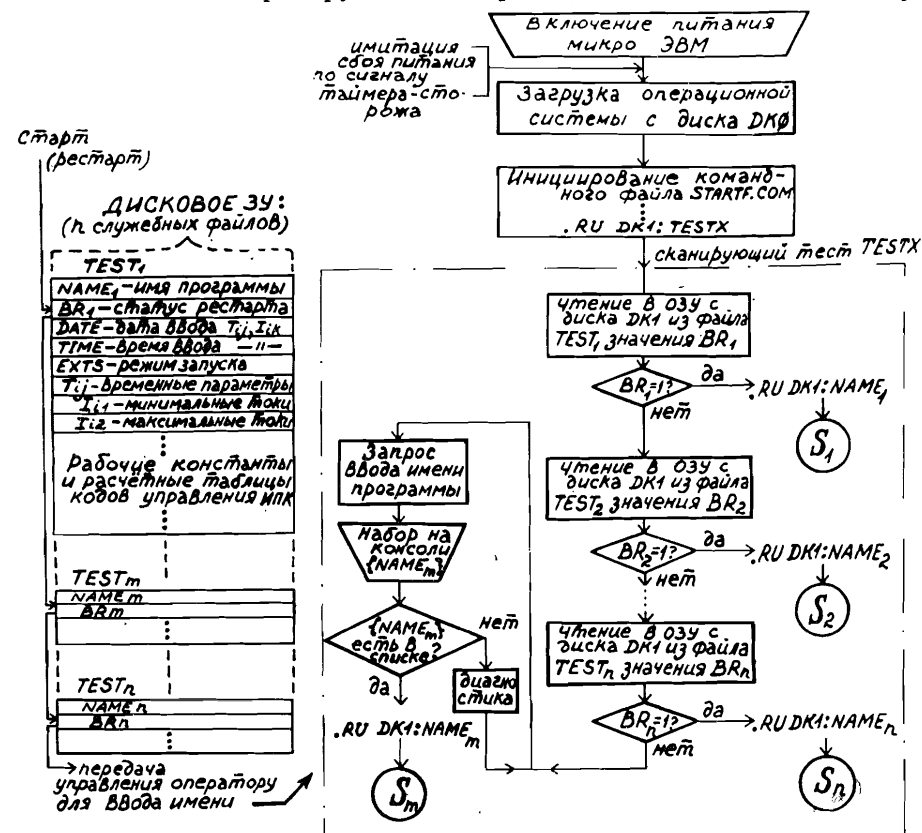


Рис. 5. Алгоритм инициализации программ управления циклом синхротрона и формат соответствующих им служебных файлов на диске.

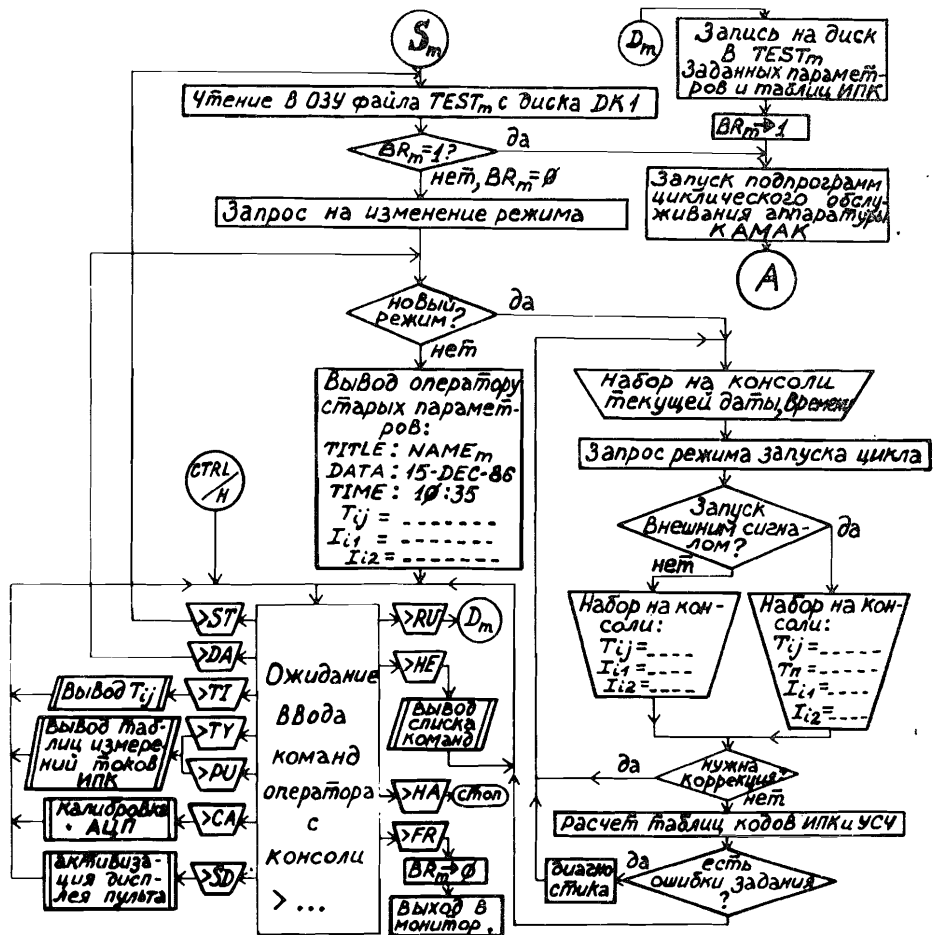


Рис. 6. Алгоритм инициализации и работы подпрограммы диалогового диспетчера.

ствие синхросигнала С8 приводит к переполнению УСЧ и выработке в формирователе Ф4 сигнала "СБРОС", вызывающего аварийный вывод из возбужденного состояния источников питания. Кроме того, сигнал "СБРОС" подается в логическую часть блока питания микроЭВМ МЕРА-60, чем имитируется отключение ее питания на 0,5 мс и иницируется работа ПЗУ рестарт-загрузчика программ (платы РПЗУ, рис. 3).

Алгоритм дальнейшей работы микроЭВМ в процессе вызова с диска программ управления и формат размещения таблиц их параметров в соответствующих служебных файлах на диске приведены на рис. 5. После загрузки в ОЗУ микроЭВМ операционной системы реального времени РАФОС (RT-11) в конце выполнения модифицированного командного файла производится вызов сканирующего теста TESTX, последовательно проверяющего значение разрядов BR_i (статуса ре-

старта) в таблицах дисковых служебных файлов ($i = 1, 2, \dots, m$, где m - количество используемых программ управления циклом ускорителя). При первом же обнаружении $BR_i = 1$ автоматически производится запуск соответствующей управляющей программы $NAME_i$, загрузка в ОЗУ всех параметров этой программы с диска и переход к подпрограммам циклического обслуживания аппаратуры КАМАК (рис. 6).

Если во всех служебных файлах $BR = 0$, то сканирующий тест передает управление оператору подсистемы, который вызывает требуемую программу набором ее имени на консоли микроЭВМ и после автоматической загрузки в ОЗУ ее параметров продолжает работу в режиме диалога с микроЭВМ. При помощи подпрограммы диалогового диспетчера, алгоритм которой приведен на рис. 6, оператором задаются временная структура цикла, амплитудные значения токов в ИПК, а также организуется ввод в микроЭВМ специальных управляющих команд, по которым осуществляется переход к выполнению различных процессов. В частности, для предотвращения автоматического запуска программы $NAME_i$ при включении питания микроЭВМ необходимо в конце сеанса работы на установке обнулить соответствующий разряд BR_i на диске командой > FR ("Finish Run").

Алгоритм подпрограмм обслуживания аппаратуры КАМАК, которые являются унифицированным ядром всех программ управления циклом ускорителя, приведены на рис. 7. Все программное обеспечение подсистемы выполнено на языке МАКРОАССЕМБЛЕР.

Следует отметить, что при использовании в качестве дискового запоминающего устройства накопителя на гибких 8-дюймовых дисках, имеющих емкость 480 блоков по 512 байт, описанная организация программного обеспечения подсистемы позволяет осуществлять выбор любого из 8 режимов работы установки, поскольку каждая из соответствующих программ управления вместе со своим служебным файлом занимает 59 блоков на диске, а сканирующий тест — 5 блоков. Суммарный объем, занимаемый в ОЗУ микроЭВМ одной управляющей программой, диалоговым диспетчером, рабочими константами, таблицами кодов управления и результатами измерений, — 40Кбайт.

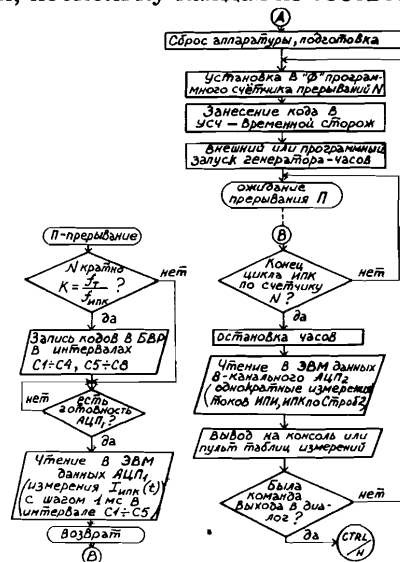


Рис. 7. Алгоритмы подпрограмм обслуживания аппаратуры КАМАК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты рассмотренной работы заключаются в следующем:

- 1) На основе распространенной микроЭВМ МЕРА-60 ("Электроника-60") создан комплекс аппаратно-программных средств дистанционного циклического управления промышленными источниками питания магнитной системы сверхпроводящего синхротрона, обеспечивший также требуемую синхронизацию его узлов и контроль работоспособности его элементов.
- 2) Предложена и испытана методика обеспечения надежности многопрограммного (многорежимного) управления циклом сверхпроводящего ускорителя на основе микроЭВМ, позволившая реализовать:
 - а) защиту от аварий по вине автоматизированной системы управления;
 - б) документирование параметров текущего режима эксплуатации установки;
 - в) гибкую перестройку режимов работы ускорителя в период исследования и наладки его систем, а также его дальнейшую эксплуатацию в оптимальном режиме;
 - г) минимум действий оператора ускорителя при запуске и перестройке режима его работы.

Авторы выражают благодарность И.А.Шелаеву — за постановку задачи, И.Ф.Колпакову — за поддержку работы, В.А.Смирнову, А.С.Никифорову, П.К.Маньякову, В.С.Королеву, А.Н.Парфенову — за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелаев И.А. и др. ОИЯИ, Р9-83-582, Дубна, 1983.
2. Ефимов Л.Г. и др. ОИЯИ, 10-83-592, Дубна, 1983.
3. Ефимов Л.Г. и др. — В сб.: Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т. 1, ОИЯИ, Дубна, 1987, с.96.
4. Ан Сен Гук, Турзо И. ОИЯИ, 10-81-170, Дубна, 1981.
5. Дмитриева Е.А. и др. ОИЯИ, 10-83-382, Дубна, 1983.
6. Басиладзе С.Г., Маньяков П.К. ОИЯИ, 13-11680, Дубна, 1978.
7. Кормин Е.Г. — Микропроцессорные средства и системы, 1986, №3, с.40.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 декабря 1987 года.

Базылева Н.П. и др.

P10-87-871

Организация на основе микроЭВМ МЕРА-60 (Электроника-60)
отказоустойчивого управления циклом сверхпроводящего синхротрона

Рассматривается организация подсистемы управления циклом сверхпроводящего синхротрона СПИН в режиме его криогенных испытаний. Дается описание комплекса аппаратно-программных средств подсистемы, работающей под управлением микроЭВМ МЕРА-60. Комплекс обеспечивает дистанционное циклическое управление промышленными источниками питания магнитной системы синхротрона в соответствии с задаваемыми оператором амплитудно-временными параметрами, а также синхронизацию узлов ускорителя и контроль работоспособности его элементов. Рассмотрена предложенная авторами методика обеспечения надежности многопрограммного (многорежимного) управления циклом ускорителя, основанная на использовании широкодиапазонного таймера "временной сторож", возможностей дистанционного управления питанием микроЭВМ и рестартируемости ее программ, а также оригинальной организации обмена программами между оперативной памятью микроЭВМ и стандартным дисковым запоминающим устройством. Данная методика позволила обеспечить исключение возможности аварии на сверхпроводящем ускорителе по вине системы автоматизации, документирование параметров и гибкую перестройку режима работы синхротрона, а также минимум действий оператора при запуске подсистемы и ее текущей эксплуатации.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Basyleva N.P. et al.

P10-87-871

The Organization of Superconducting Synchrotron Cycle Fault-Tolerant Control Based on a MERA-60 (Electronica-60) Microcomputer

The organization of work of a cycle control subsystem of the SPIN model superconducting accelerator in the mode of cryogenic synchrotron testing is presented. This subsystem is based on a MERA-60 (Electronica-60) microcomputer. Hardware and software of the system based on the MERA-60 microcomputer are described. This complex provides the remote cyclic control of industrial power supplies of the synchrotron magnet system in accordance with amplitude — time parameters given by the operator, as well as the synchronization of accelerator units and control of its element efficiency. The methods for providing the reliability of multiprogram (multimode) accelerator cycle control based on using a wide-range timer "Time Guard", means for remote control of microcomputer supply and its program restart, as well as unique organization of program exchange between operative memory of microcomputer and standard disk memory device are considered. The given methods permitted to avoid accidents on a superconducting accelerator caused by automation system, provide parameter registering and flexible readjusting of synchrotron mode of operation, as well as minimal operator action at subsystem start-up and its current operation.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1987 •