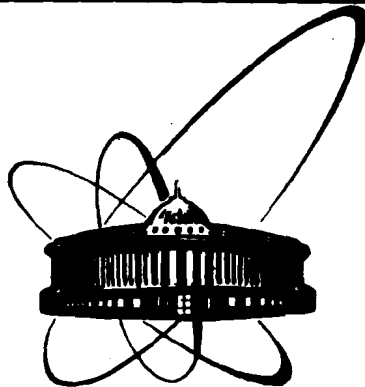


89-133



сообщения
Объединенного
Института
Ядерных
Исследований
Дубна

13-89-133

В. А. Вагов, Д. Георгиев, В. Н. Замрий, В. В. Нитц,
А. Б. Роганов, Б. Н. Соловьев, А. П. Сиротин,
В. К. Широков, А. Н. Яковлев

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ
ИМПУЛЬСНОЙ МАГНИТНОЙ УСТАНОВКИ ИМУ-2
СПЕКТРОМЕТРА СНИМ-2

1989

1. ВВЕДЕНИЕ

В течение ряда лет на реакторе ИБР-30, а в настоящее время на реакторе ИБР-2 проводятся исследования магнитных фазовых переходов, вызванных мощным внешним магнитным полем /1/. В данной работе рассмотрены пути автоматизации физических исследований на установке ИМУ-2, расположенной на реакторе ИБР-2.

Традиционным является путь создания системы автоматизации экспериментальной установки /ЭУ/ на базе мини- или микроЭВМ, контроллера крейта КАМАК и стандартных блоков КАМАК, выпускаемых серийно. Затраты времени на разработку и реализацию системы автоматизации ЭУ в этом случае минимальны. Однако такое решение, как правило, громоздко и может рассматриваться как временное решение проблемы.

При увеличении числа параметров контроля и управления ЭУ использование традиционных путей автоматизации существенно ограничено тем, что управляющая мини- или микроЭВМ может быть одновременно элементом обратной связи для ограниченного числа подсистем контроля и управления. Увеличение числа ЭВМ на одной ЭУ не всегда эффективно. Более перспективным является путь включения микропроцессоров в состав подсистем контроля и управления ЭУ.

Система автоматизации ЭУ делится на подсистемы управления и контроля по "географическому", функциональному и другим принципам. Подсистемы аппаратно реализуются на базе микропроцессоров, БИС, строго ориентированных на выполнение необходимых функций. Способы объединения подсистем управления и контроля в систему автоматизации ЭУ многообразны:

- локальная сеть ЭУ, построенная на монокабеле или по "кольцу" при распределенном характере ЭУ;
- подключение подсистем контроля и управления через магистраль КАМАК, крейт-контроллер непосредственно к управляющей мини- или микроЭВМ;
- объединение подсистем управления и контроля в рамках стандартов на мультимикропроцессорные системы /MULTIBUS 2, VME и др./.

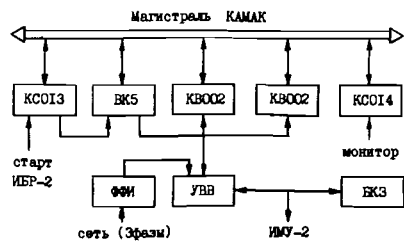
Обоснованием выбора того или иного способа является топология ЭУ, необходимое быстродействие, минимизация затрат на аппаратную и программную реализацию.

Импульсная магнитная установка /ИМУ-2/^{1/} расположена компактно и не является распределенной системой. Подсистема управления и контроля ИМУ-2 на первом этапе развивалась по традиционному пути, что позволило провести физический пуск установки. Однако включить ее как подсистему совместно с разработанной ранее подсистемой ориентации монокристалла^{2/} в состав спектрометра СНИМ-2 оказалось невозможно, так как микроЭВМ "MERA-60" не обеспечивает достаточное быстродействие для управления и контроля ИМУ-2. Поэтому на первом этапе подсистема управления и контроля ИМУ-2 работала автономно, используя все ресурсы микроЭВМ. Она получила название полуавтоматической системы /ПАС/ управления и контроля ИМУ-2. На втором этапе подсистема автоматического управления и контроля /ПАУК/ ИМУ-2 была реализована на базе разработанного в стандарте КАМАК блока со встроенным микропроцессором, что позволило существенно снизить требования к микроЭВМ. В настоящей работе будут рассмотрены оба этапа развития ИМУ-2.

2. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА /ПАС/ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ИМУ-2

Блок-схема ПАС представлена на рис.1. Формирователь фазовых импульсов /ФФИ/ синхронизирует время открывания тиристоров высоковольтного выпрямителя /ВВ/ с частотой сети. Делитель стартовых импульсов реактора КС013 обеспечивает синхронный запуск цикла работы ИМУ-2. Поделенные старты реактора запускают временной кодировщик ВК-5, по началу временного окна которого запускается разряд, а по окончании - заряд ИМУ-2. Регистры КВ002 служат для хранения заданных микроЭВМ величин: числа циклов ИМУ-2, величины зарядного импульса и ограничения напряжения на конденсаторной батарее ИМУ-2. Эти задания непосредственно реализуются в блоке управления ВВ /УВВ/. Блок контроля и защиты /БКЗ/ ИМУ-2 контролирует перенапряжение на конденсаторной батарее, величину зарядных токов конденсаторной батареи, величину разрядного тока магнита, а также положение различных переключателей пульта управления ИМУ-2. Мощность реактора, положение шибера пучка контролируется с помощью счетчика импульсов КС014.

Рис.1. Блок-схема ПАС.



Таким образом, ПАС состоит из 8 блоков, из которых 5 се-

рийно выпускаются в ОП ОИАИ. Общее количество занятых позиций в крейте КАМАК составило 16. Был проведен физический пуск ИМУ-2 и ряд интересных исследований на установке СНИМ-2^{1,2/}. Однако данное техническое решение ПАС громоздко, поглощает все ресурсы ЭВМ при использовании ее в цепи обратной связи. Отмеченные ограничения практически закрыли пути дальнейшего развития спектрометра, поэтому на втором этапе блоки КС013, ВК5, КВ002, КВ002, КС014, ФФИ и УВВ были функционально объединены в блок управления магнитной установкой /БУИМУ/ со встроенным микропроцессором К1801ВМ15.

3. ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ /ПАУК/ ИМУ-2

Блок-схема ПАУК совместно с подсистемой накопления спектрометрической информации представлена на рис.2. Подсистема накопления спектрометрической информации состоит из временного кодировщика ВКП4^{5/} и буферного ОЗУ /16К, 16 бит, тип 7232/^{6/}. Подсистема ПАУК состоит из блоков БУИМУ, БКЗ и блока снятия формы импульса тока /АЦПМ/^{7/} в обмотке магнита.

3.1. Блок управления и контроля ИМУ-2

БУИМУ разработан на основе блока управления и контроля в стандарте КАМАК на базе микропроцессора К1801ВМ15^{3/}. БУИМУ продолжает ряд блоков, основанных на сопряжении шины КАМАК и шины Q^{3,4/}. Блок-схема БУИМУ представлена на рис.3.

Формирователь фазовых импульсов выделяет из трехфазового напряжения /12 В/ шесть фазовых импульсов для синхронизации работы высоковольтного выпрямителя /ВВ/. Через регистр контроля фаз микропроцессор проверяет последовательность фазовых импульсов и разрешает открывание только определенных тиристоров в ВВ. Точное время открывания тиристоров задается от микропроцессора через таймер управления тиристорами, выполненный на базе БИС К580ВН53. В случае поступления запрета из БКЗ заряд прекращается. Формирователь запуска тиристоров ВВ формирует импульсы напряжения /+20 В, 25 мкс/.

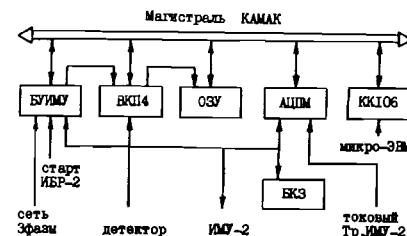


Рис.2. Блок-схема ПАУК и подсистемы накопления спектрометрической информации.

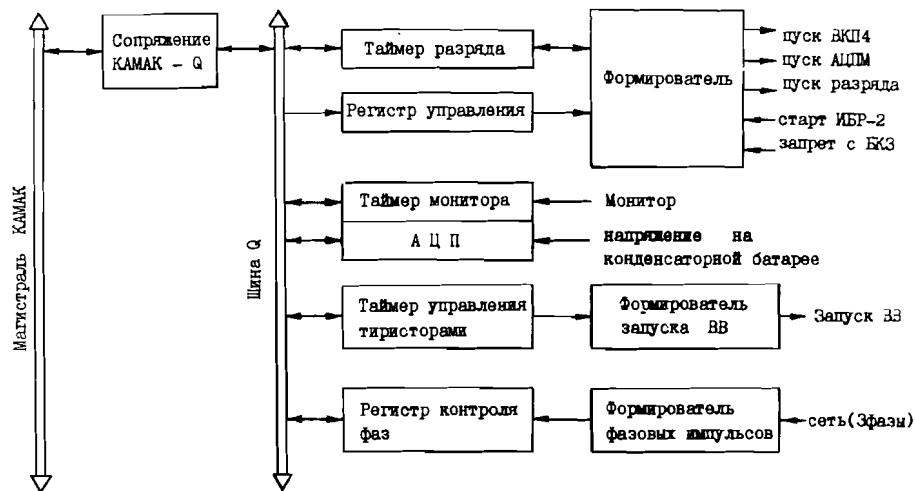


Рис.3. Блок-схема БУИМУ.

Напряжение с конденсаторной батареи подается на АЦП /БИС К1113ПВ1А, 10 бит/, дополненный управляемым нормализатором величины напряжения /4 диапазона измерения/, с подавлением синфазных помех. Это позволило получить напряжение на конденсаторной батарее от 200 В до 10 кВ с точностью не хуже 1%. Регистр управления содержит 8 бит:

1,2,3 - задают одновременно и номер включаемой тиристорной пары ВВ, и номер диапазона измерения напряжения на конденсаторной батарее;

4 - разрешение работы ВВ;

5 - разрешение запуска ВКП4 от старта реактора;

6 - разрешение запуска таймера разрядного импульса от старта реактора;

7 - разрешение запуска АЦПМ;

8 - разрешение разряда.

Таймер разрядов позволяет задавать задержку разрядов от стартов реактора от 100 мкс до 130 мс с шагом 4 мкс. Таймер управления тиристорами задает время отпирания тиристоров ВВ от фазовых импульсов с задержкой от 1 мс до 3,3 мс с шагом 1 мкс. Это позволяет в широком диапазоне регулировать величину единичной дозы заряда конденсаторной батареи. Таймер монитора считает импульсы мониторингового детектора, контролируя мощность реактора в заданном диапазоне, а также состояние шибера на пучке. Максимальная частота счета - 2 МГц, количество импульсов между стартами реактора - не более 65535. Регистр контроля фаз содержит 8 бит:

1-6 - позиционный код фаз СА, СВ, АВ, АС, ВС, ВА;

7 - запрет с БКЗ;

8 - запрос от микроЭВМ при поступлении новой команды.

3.2. Программирование микропроцессорного БУИМУ

Система команд БУИМУ ранее описана в^{/3/}. Программа микроЭВМ останавливает БУИМУ командой F24A0 и заносит в ОЗУ микропроцессора блок управляющей информации с определенного адреса:

1004 - задержка разряда от старта реактора /50-65535/*2 мкс;

1006 - максимальная величина приращения напряжения на конденсаторной батарее /1 доза от 1 до 70 В/;

1010 - заданное напряжение /10 - 10000/В;

1012 - младшее слово величины экспозиции по числу стартов реактора /0-65535/;

1014 - старшее слово величины экспозиции по числу стартов реактора /0 - 65535/;

1016 - делитель разрядных импульсов для запуска АЦПМ /1-100/;

1020 - нижняя граница диапазона мониторингового счета /0-65535/ между стартами реактора;

1022 - верхняя граница диапазона мониторингового счета /0-65535/ между стартами реактора;

1024 - делитель стартов реактора для запуска ИМУ-2 и подсистемы накопления спектрометрической информации.

По окончании экспозиции можно остановить микропроцессор в БУИМУ и воспользоваться дополнительной информацией о завершенном цикле работы по адресам ОЗУ микропроцессора:

1102 - младшее слово интегрального счета монитора;

1104 - старшее слово интегрального счета монитора;

1152 - количество точек графика процесса заряда до заданного напряжения;

7600 - начальный адрес названного графика.

Полная информация о текущем состоянии блока содержится в ОЗУ микропроцессора в адресах 1004-1170 и доступна для анализа. Командное слово /12 бит/ для управления БУИМУ записывается командой F16A2 и имеет следующий формат:

1 - включить ИМУ-2;

2 - установить экспозицию по стартам на начало;

3 - разрешить накопление спектрометрической информации;

4 - разрешить интегральный счет и контроль монитора в заданном диапазоне;

5 - разрешить снятие таблицы соответствия задержек отпирания тиристоров ВВ от фазовых импульсов и полученных приращений напряжения;

- 6 - запретить разряд после снятия таблицы;
- 7 - зарядить конденсаторную батарею до заданного напряжения и ожидать команду;
- 8 - включить проверочный режим имитации стартов реактора и фазовых импульсов;
- 9 - остановить работу БУИМУ синхронно с очередным стартом реактора;
- 10 - продолжить работу программы в БУИМУ с прерванного места;
- 11 - повторить последнюю команду, обращенную к блоку;
- 12 - включить специальный режим заряда определенным количеством доз с фиксированной величиной, без контроля за достижением заданного напряжения.

На перечисленные выше команды БУИМУ реагирует статусным словом /13 бит/:

- 1 - ИМУ-2 в режиме, то есть прошел нормально хотя бы один цикл заряд/разряд;
- 2 - ИМУ-2 не в режиме по причинам, о которых сообщается в 9, 10, 11, 12 разрядах статусного слова;
- 3 - экспозиция по стартам реактора закончена;
- 4 - допущена ошибка в исходных данных;
- 5 - пропали старты реактора /работа будет продолжена при возобновлении стартов/;
- 6 - мониторный счет вышел из заданного диапазона /работа будет продолжена при восстановлении мониторного счета/;
- 7 - снятие таблицы закончено;
- 8 - одиночный заряд закончен, блок ожидает команду;
- 9 - сработал блок БКЗ;
- 10 - заданное напряжение не достигнуто /после 6000 доз/;
- 11 - отсутствуют импульсы фаз;
- 12 - единичная доза превысила 200 В;
- 13 - команда останова БУИМУ синхронно со стартом реактора выполнена, блок ожидает команду.

Использование в качестве основы блока БУИМУ сопряжения шин КАМАК и шины Q^{3/} позволило существенно упростить и повысить надежность управления и контроля ИМУ-2. Программный контроль последовательности появления фазовых импульсов помогает предотвратить пробой ВВ. Контроль за единичным приращением напряжения на конденсаторной батарее позволяет при подходе к заданному напряжению уменьшить величину следующей дозы и тем самым обеспечить требуемую точность достижения заданного напряжения.

3.3. Программное обеспечение для "полуавтоматического" подключения БУИМУ к существующему программному обеспечению

Опыт создания функционально насыщенной электроники на основе микропроцессоров^{/3,4,8/} показал, что одновременно с блоком необходимо создавать минимальное программное обеспечение (п/о), позволяющее включить блок как аппаратно, так и программно в существующий измерительный модуль.

Разработанное п/о подсистемы управления и контроля ИМУ-2 позволяет в диалоге заказать следующие режимы работы:

- D - ввод параметров работы ИМУ-2;
- F - запись на системный носитель загрузочного модуля программы микропроцессора БУИМУ;
- T - распечатка графика напряжения заряда конденсаторной батареи на терминале микроЭВМ;
- Q - распечатка данных диагностики о работе БУИМУ на терминале микроЭВМ;
- S - остановка ИМУ-2 синхронно со стартом реактора;
- C - продолжение работы ИМУ-2 с места останова;
- R - повтор предыдущей команды с прежними параметрами.

В процессе работы ИМУ-2 программа микроЭВМ следит за текущими сообщениями от БУИМУ и выводит их на терминал микроЭВМ. При сообщении, требующем останова БУИМУ, программа выводит на терминал все необходимые данные диагностики о работе ИМУ-2. Созданное п/о БУИМУ позволяет в диалоге выбирать различные режимы работы, формируя слово управления и блок управляющей информации.

3.4. Блок снятия формы импульса тока /АЦПМ/ в обмотке ИМУ-2

Этот блок, построенный по схеме многоканального аналого-цифрового преобразователя АЦПМ^{/7/}, является программно управляемым регистром, обеспечивающим выборку M значений импульсного сигнала /в M временных интервалах/ при установленном значении периода выборки T. Последовательность /M = 1-1024/ синхронизируемых периодов выборки, кодирования и запоминания полученных данных запускается внешним импульсом периодически или однократно. В блоке программно устанавливается режим периодического или однократного запуска, внешней либо внутренней синхронизации выборки, разрешение запуска, разрешение запросов вывода, число периодов выборки M и одно из восьми значений периода выборки T. В промежутках между режимом регистрации и режимом вывода включается режим периодической индикации /с установленным периодом T/ на контрольном аналоговом выходе зарегистриро-

ванных величин М. Блок АЦПМ используется в режиме запуска с передней панели импульсом разряда ИМУ-2, поступающим с БУИМУ. Блок обеспечивает снятие формы импульса тока в обмотке ИМУ-2, длительность которого не превышает 10 мс, с минимальным шагом $T = 10 \text{ мкс}$ при максимальном числе регистрируемых точек $M = 1024$.

3.5. Блок контроля и защиты /БКЗ/ ИМУ-2

БКЗ предназначен для защиты элементов высоковольтного выпрямителя /ВВ/ и генератора синусоидальных импульсов /ГСИ/ в аварийных режимах.

Сигнал запрета для БУИМУ выдается БКЗ в следующих случаях:

- амплитуда зарядного тока больше пороговой величины /2 кА/;
- напряжение на одной из 12 конденсаторных секций больше установленного ограничения /1 кВ - 10 кВ/;
- отсутствует разрядный ток одной из 12 конденсаторных секций;
- отсутствуют разрядные импульсы в одной из 12 конденсаторных секций;
- отсутствует напряжение на одной из 12 конденсаторных секций при поступлении зарядных импульсов.

С целью обеспечения помехоустойчивости в блоке все контролируемые сигналы изолированы от общей шины /с помощью оптронов либо токовых трансформаторов/.

Таким образом, БКЗ контролирует величину тока заряда, напряжение каждой конденсаторной батареи, а также величину тока обмотки ИМУ-2 в момент разряда. С его помощью удается избежать аварийных режимов и грубых ошибок оператора, например при включении ИМУ-2. В случае срабатывания БКЗ в БУИМУ прекращаются все процессы заряда/разряда и подается сообщение к старшей ЭВМ. Работа ИМУ-2 может быть возобновлена только после вмешательства оператора.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Блок БУИМУ, являющийся одним из первых примеров^{/3,4/} использования сопряжения шины КАМАК и шины Q, наглядно демонстрирует преимущества принципа "полной прозрачности" для создания надежных микропроцессорных подсистем управления и контроля физической установки. Основные преимущества использования БУИМУ:

- все задачи текущего управления и контроля ИМУ-2 решены без обращения к микроЭВМ, что существенно разгрузило микроЭВМ, сняв с нее функции элемента обратной связи цепи управления ИМУ-2;

- сохранены ресурсы микроЭВМ для аппаратного и программно-подключения новых подсистем класса БУИМУ^{/2,3/} на основе микропроцессора;

- сокращены аппаратные затраты на управление и контроль ИМУ-2 /заменены семь блоков КАМАК, занимавших в крейте КАМАК тринадцать позиций/;

- использование унифицированного сопряжения шин КАМАК и Q позволило сократить время на разработку;

- существенно расширена возможность контроля ИМУ-2 в процессе работы: снятие графика заряда конденсаторной батареи, контроль величины текущих приращений напряжения, корректировка таблицы соответствия времени отпирания тиристоров ВВ и приращения напряжения и др.;

- опыт эксплуатации в течение длительного времени подтвердил высокую надежность системы.

Кроме того, необходимо отметить, что высокая надежность системы управления и контроля ИМУ-2 в течение длительного времени была достигнута в условиях импульсных помех промышленной частоты, обусловленных работой ВВ /10 кВ/, а также в условиях больших электромагнитных помех, вызванных импульсом тока /до 250 кА/ магнита ИМУ-2.

В заключение авторы выражают благодарность И.М.Саламатину, Е.А.Махалдиани за полезные обсуждения программного интерфейса БУИМУ, А.А.Богдзелю за консультации по аналоговой части БУИМУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андросов А.В. и др. - ОИЯИ, Р13-11559, Дубна, 1976.
2. Нитц В.А. и др. - ОИЯИ, Р10-86-270, Дубна, 1986.
3. Вагов В.А. и др. - ОИЯИ, 13-86-742, Дубна, 1986.
4. Вагов В.А., Сиротин А.П. - ОИЯИ, 13-87-316, Дубна, 1987.
5. Барабаш И.П. и др. - ОИЯИ, 10-84-158, Дубна, 1984.
6. Ермаков В.А., Зимин Г.Н. - ОИЯИ, 10-83-194, Дубна, 1983.
7. Замрий В.Н. - ОИЯИ, 13-86-538, Дубна, 1986.
8. Вагов В.А. и др. - ОИЯИ, Р10-86-562, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 февраля 1989 года.