

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

СЗУСТ
Б-907

23/iv-79
9 - 12149

1572/2-79

В.Н.Булдаковский, В.И.Волков, Л.Г.Ефимов,
И.И.Куликов

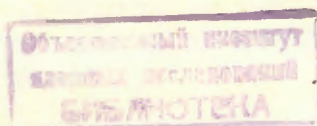
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ
СИСТЕМЫ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА ПУЧКА
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА НА ЛИНИИ С ЭВМ ЕС-1010

1979

9 - 12149

В.Н.Булдаковский, В.И.Волков, Л.Г.Ефимов,
И.И.Куликов

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ
СИСТЕМЫ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА ПУЧКА
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА НА ЛИНИИ С ЭВМ ЕС-1010



Булдаковский В.Н. и др.

9 - 12149

Измерение параметров элементов системы медленного вывода пучка из синхрофазотрона на линии с ЭВМ ЕС-1010

Рассмотрена реализация измерений и контроля параметров элементов системы медленного вывода пучка из синхрофазотрона ОИЯИ в комплексе устройств контроля и управления на линии с ЭВМ ЕС-1010.

Измеряемыми и контролируемыми параметрами являются токи в резонансных обмотках, магнитах, линзах и временные характеристики работы системы. Описываемая электронная аппаратура представляет собой часть ветви КАМАК, подключенной к ЭВМ через универсальный драйвер ветви. Математическое обеспечение состоит из программных модулей на языке ассемблер, работающих на двух уровнях прерывания ЭВМ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Buldakowsky V.N. et al.

9 - 12149

Measurement of Parameters of a Beam Slow Extraction System for the Synchrotron On-Line with the US-1010 Computer

Measurement and control of JINR proton synchrotron beam slow extraction system elements parameters on-line with the US-1010 computer is considered. Currents in resonance windings, magnets, lenses and time characteristics of the slow extraction system operation are measured and controlled. Electronic apparatus described is a part of CAMAC branch connected with the computer via an universal branch driver. The software consists of Assembler programs operating on two computer interrupt levels.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

В данной работе рассматривается реализация измерений и контроля параметров элементов системы медленного вывода /МВ/^{1/} пучка из синхрофазотрона ОИЯИ в комплексе устройств контроля и управления МВ на линии с ЭВМ ЕС-1010^{2/}. Измеряемыми и контролируемыми параметрами являются токи в резонансных обмотках, магнитах, линзах и временные характеристики работы системы. Описываемая электронная аппаратура является частью ветви КАМАК, подключенной к ЭВМ через универсальный драйвер ветви /УДВ/^{3/}. Математическое обеспечение состоит из программных модулей на языке ассемблер, работающих на двух уровнях прерывания под управлением программы-диспетчера^{4/}.

Организация мультипрограммного режима измерений

Задача автоматизации системы вывода пучка связана с обработкой большого потока информации от датчиков различного типа, которая поступает в ЭВМ, в основном, в районе стола главного магнитного поля ускорителя. В связи с этим к временной привязке производимых измерений по прерываниям ЭВМ в цикле ускорителя предъявляются определенные требования, важнейшими из которых являются:

1/ возможность одновременного решения нескольких задач по измерению, контролю различных параметров МВ и управлению ими в одном цикле ускорителя с учетом приоритетности, то есть многоуровневой работы обслуживающих программ;

2/ минимальное время реакции ЭВМ при определении источника запроса прерывания;

3/ возможность расширения круга решаемых задач на той же основе.

Выполнение всех указанных требований для многокрейтных установок КАМАК на линии с ЭВМ зависит от двух взаимосвязанных факторов - структуры системы ввода-вывода ЭВМ и организации интерфейса периферии КАМАК.

Для систем КАМАК, работающих на незначительном удалении от ЭВМ, применяется организация параллельного интерфейса трех типов:

а/ непосредственное сопряжение крейтов с магистралью ввода-вывода ЭВМ, например, для унифицированной магистрали UNIBUS через специализированные контроллеры типа U /ЭВМ PDP, NOVA^{5/}, TPA-70^{6/}/;

б/ подключение стандартной ветви КАМАК с контроллерами крейта типа A-1^{7/} к системе ввода-вывода через специализированный драйвер ветви^{5,6,8-10/};

в/ сопряжение стандартной ветви с ЭВМ, основанное на использовании концепции системного крейта КАМАК^{8,11,12/}.

Обработка запросов прерывания на приоритетной основе и сокращение времени определения источника запроса (T_p) достигается, например, в случае использования ЭВМ с векторной организацией прерывания путем выработки в драйвере ветви^{10/} или в специальном модуле системного крейта /генератор векторов IVG фирмы GEC-Elliot^{12/} / векторов прерывания, соответствующих источникам запроса.

В нашей установке интерфейсом КАМАК является универсальный драйвер ветви, построенный по принципу системного крейта и управляемый от ЭВМ ЕС-1010.

Для данного сопряжения нет возможности мультипрограммного обслуживания запросов прерывания, возникающих в периферии КАМАК. Причиной выработки сигнала прерывания в ЭВМ из УДВ может являться не только появление запроса LAM /максимальное количество которых в стандартной ветви равно 168/, но и обращение к несуществующему адресу в ветви КАМАК, завершение режимов блочной передачи и т.д. Поэтому в общем

случае время реакции ЭВМ можно оценить следующим образом:

$$T_p = T_{пр} + T_{ср} + T_N^* + n \cdot T_{GL},$$

где $T_{пр}$ - время выхода на соответствующий уровень прерывания / $T_{пр} \approx 50 \text{ мкс}/^{13/}$; $T_{ср}$ - время чтения статусного регистра драйвера и определения причины прерывания / $T_{ср} \approx 50 \text{ мкс}/^{14/}$; T_N^* - время чтения регистра выборки драйвера для определения ветви КАМАК, вызвавшей запрос / $T_N^* = 0$ для одной ветви, в остальных случаях $T_N^* \approx 65 \text{ мкс}/$; T_{GL} - время чтения слова GL / $T_{GL} \approx 65 \text{ мкс}/$; n - количество программных циклов для определения крейта, из которого идет запрос ($n_{\max} = 7$).

Следовательно, время T_p может достигать величины порядка 600 мкс, что неприемлемо для решения наших задач. Нами был реализован способ, позволяющий при сохранении структуры подключения стандартной ветви через УДВ обойти указанные трудности и реализовать мультипрограммный режим обслуживания аппаратуры КАМАК. Он основан на использовании модулей КАМАК - регистров прерывания /CAM.2.09, ЦИФИ, ВНР/ и многоуровневых карт прерывания в системе ввода-вывода ЭВМ (EP-18)^{14/}. При этом сигналы от различных источников прерывания фиксируются в модуле CAM.2.09, сигнал с выхода которого, в свою очередь, вызывает активизацию одного из уровней в карте EP-18 /см. рис. 1/.

Очевидно, что такая организация дает возможность расширения круга решаемых задач на приоритетной основе и значительное сокращение времени реакции ЭВМ, которое оценивается как

$$T_p = T_{пр} + T_{рп},$$

где $T_{рп}$ - время чтения регистра прерывания / $\approx 50 \text{ мкс}/$, т.е. T_p составляет величину порядка 100 мкс.

Использование модулей CAM.2.09, содержащих регистр маски, представляет большие удобства для первичной обработки и анализа поступающих из системы запросов прерывания. Существенным преимуществом применения регистров CAM.2.09 по сравнению с использованием для подобных целей модулей обработки сигналов LAM (LAM Grader)^{7/} является возможность осуществле-

ния выхода на подпрограмму соответствующего уровня прерывания не только по сигналам LAM, но и по любым сигналам внешней синхронизации.

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для настройки и поддержания режимов работы МВ необходимо контролировать токи в резонансных обмотках /P1 и P2/, элементах внутренней транспортировки пучка /магнитах ФМ и ВМ и линзах ФМ и ВЛ/ и четырех линзах канала внешней транспортировки пучка, информация о которых поступает с измерительных шунтов, включенных в цепи питания перечисленных устройств /15/.

При организации аппаратуры для измерения токов учитывался ряд моментов, связанных с особенностями сигналов, подлежащих обработке, и погрешностями измерений. Рабочие значения токов P1 для различных режимов МВ лежат в диапазоне $2 \div 70 \text{ А}$ /соответствующие значения аналоговых сигналов $0,2 \div 7 \text{ В}$ /; ФМ и ВМ - $5 \div 10 \text{ кА}$ / $0,5 \div 1 \text{ В}$ /; значения токов остальных устройств находятся в области от нескольких сотен ампер /P2, ФМ, ВЛ/ до 3 кА /линзы внешней транспортировки/. Токи P1 и ФМ увеличиваются по линейному закону в процессе вывода пучка / $\Delta I_{P1} = 4 \div 10 \text{ А}$, $\Delta I_{\Phi M} = 0,5 \div 1 \text{ кА}$ /, значения токов остальных устройств постоянны во время вывода. Погрешности измерений токов во всем диапазоне их значений не должны превышать $0,2\%$ для ФМ и ВМ и $0,5\%$ для остальных элементов.

Структура аппаратурной части комплекса, предназначенной для измерения токов, приведена на рис. 1. Аналоговые сигналы с датчиков поступают в комплекс, расположенный на пульте управления ускорителем по линии связи длиной 500 м. Это создает значительные трудности в обеспечении требуемой точности измерений /16/ из-за наличия в канале связи сигнала помехи. Уровень помехи, вызываемой, например, неэквипотенциальностью точек заземления источников и приемников сигнала, достигает сотен милливольт, что приводит при измерении токов ФМ и ВМ к абсолютной погрешности в несколько килоампер. Для подавления возникающих в канале переда-

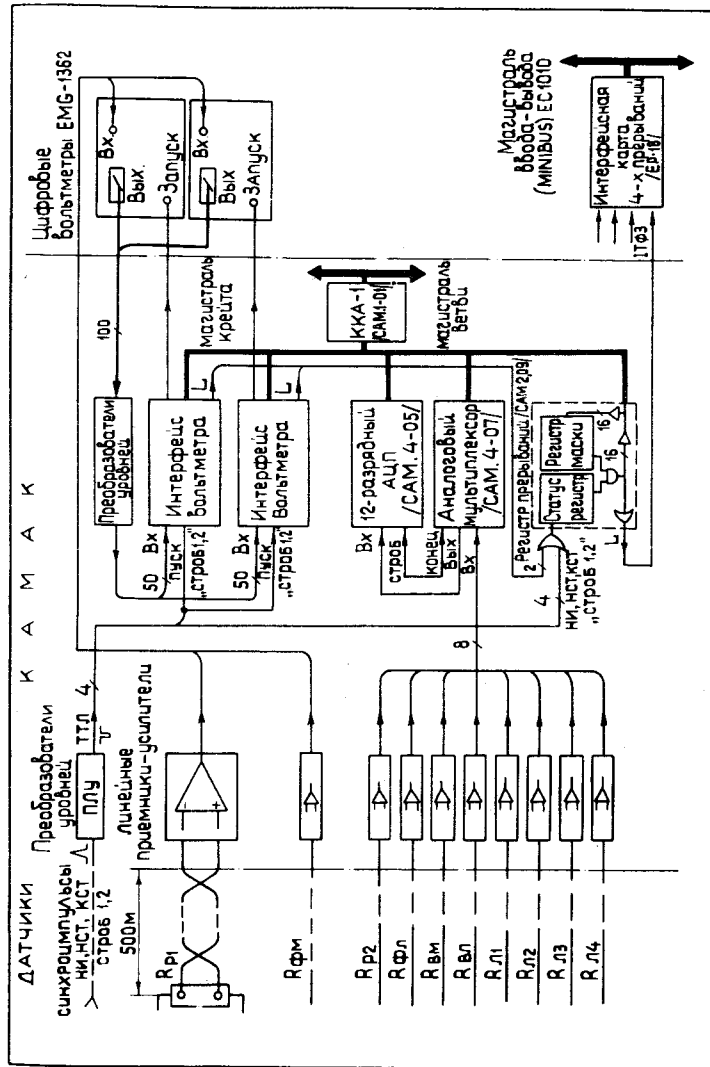


Рис. 1. Блок-схема аппаратуры для измерения токов магнитных элементов.

чи помех применены методы симметрирования измерительных цепей /с использованием дифференциальных линейных приемников-усилителей^{17/} / и гармонического отбора сигналов^{18/}/ для дополнительного подавления сигнала помехи с частотой 50 Гц, что обеспечивает снижение уровня помех до величины ≈ 40 мкВ.

Для измерения меняющих свои значения в течение вывода токов ФМ и Р1 в качестве измерительных приборов были выбраны цифровые 4,5-значные вольтметры EMG-1362 с временем преобразования 20 мс. Запуск вольтметров и их сопряжение с магистралью КАМАК осуществляются при помощи специализированных интерфейсов^{19/}. Для измерения токов остальных элементов применяется импульсный 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь /АЦП САМ.4.05, ЦИФИ, ВНР/, на вход которого сигналы с датчиков коммутируются аналоговым мультиплексором /САМ.4.07, ЦИФИ, ВНР/.

Программное обслуживание данной части комплекса ведется программой раздела переднего плана ИТОЗ, работающей на третьем уровне прерывания ЭВМ. Рассмотреть алгоритм ее работы и функционирования перечисленных устройств можно при помощи диаграммы, представленной на рис. 2б, в, г, е, з.

Активизация третьего уровня прерывания производится по синхронимпульсам "Начало инъекции" /НИ/, "Начало стола главного тока" /НСТ/, "Строб 1" /S1/, "Конец стола главного тока" /КСТ/, а также по сигналам L из интерфейсов вольтметров. По сигналам НИ и НСТ производится анализ команд, поданных оператором с пульта управления МВ, и выполняются подготовительные операции в регистре прерывания /общий или селективный сброс статусного регистра, маскировка соответствующих разрядов/. Измерения токов ФМ и Р1 производятся дважды на столе главного тока ускорителя и инициируются служебными строб-импульсами S1 и S2, запускающими вольтметры. Считывание и запоминание показаний вольтметров производятся в конце преобразования аналоговых сигналов в цифровой код по сигналам L. Токи магнитных элементов, не изменяющие своего значения на столе главного тока, измеряются по поступлению синхронимпульса S1. По прерыванию, вызываемому этим сигналом, программа совершает 8 циклов, каждый из которых включает в себя пере-

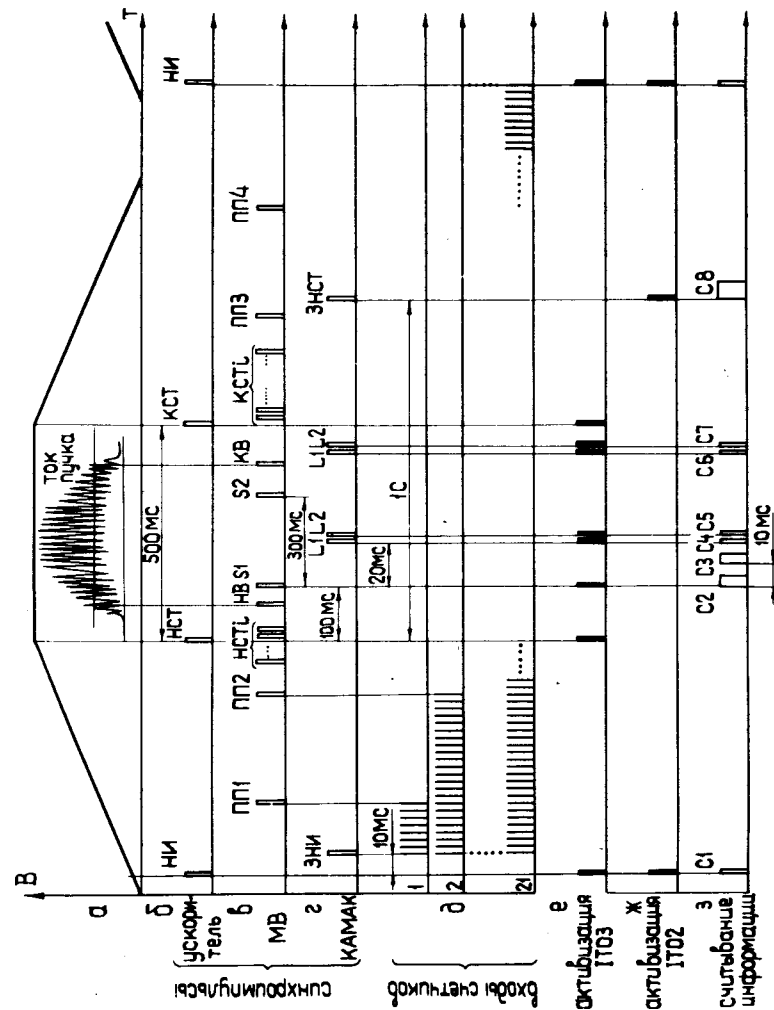


Рис. 2. Диаграмма измерений в цикле работы ускорителя.

ключение аналогового коммутатора по команде ЭВМ /60 мкс/, ожидание сигнала L из модуля АЦП /50 мкс/, считывание информации из АЦП /50 мкс/. Таким образом, последовательное измерение токов восьми элементов происходит за время $\approx 1,3$ мс. Аналогичное измерение производится повторно спустя 10 мс. Окончательный результат получается в итоге усреднения данных двух измерений, что, как отмечалось выше, способствует эффективному подавлению сигналов помех. Выдача обработанной информации на пульт управления производится по прерыванию в конце стола главного тока. Результаты измерения токов вместе с их номинальными значениями и величинами допустимых отклонений от последних представляются оператору на экране алфавитно-цифрового дисплея /рис. 3/.

	SLOW	EXTRACTION	ELEMENTS	CURRENTS (A)	DELTA	10
	11	12	101	102		
P1	35.40	40.22	35.00	40.00	0.40	
P2	210		210		2	
FM	11370	11743	11400	11700	100	
FL	908		900		30	
BM	9760		9750		50	
BL	1620		1600		30	
1K200	807					
2K200	810					
1K100	3210					
2K100	3530					

Рис. 3. Форма представления информации о токах магнитных элементов.

Оперативное измерение токов кроме текущего контроля позволяет получать данные о временной стабильности источников питания магнитных элементов и обеспечивает возможность проведения экспериментов по исследованию влияния параметров различных элементов на характеристики выводимого пучка. На рис. 4, представляющем собой снимок с экрана графического дисплея /20/, дана, например, информация об отклонениях токов P2, FM и FL /сверху вниз/ от номинальных значений и их влиянии на положение пучка на входе в ВМ /21/ /нижняя часть рисунка/ для 450 циклов ускорителя в одном из сеансов его работы /сплошными линиями показаны уровни номинальных значений токов, пунктирными линиями обозначены области допустимых отклонений и точками - отклонения токов в следующих друг за другом циклах ускорителя/.

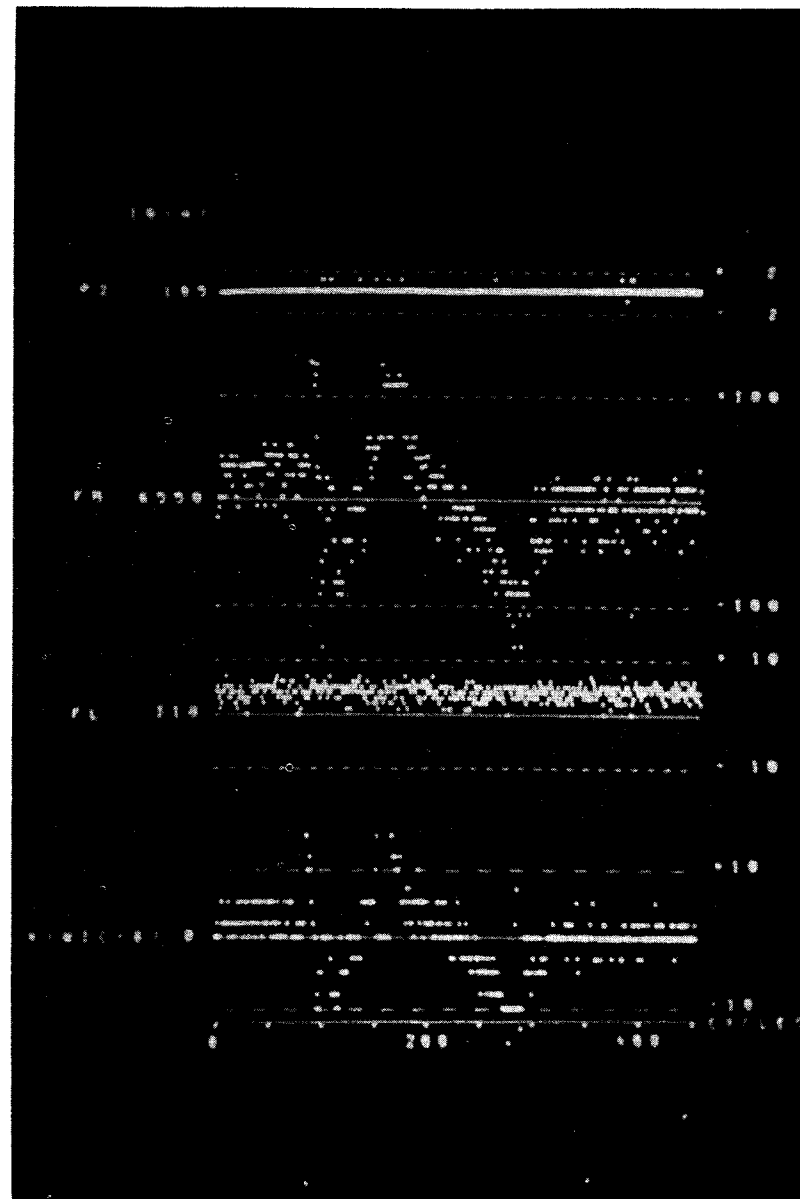


Рис. 4. Информация об отклонениях токов в 450 циклах ускорителя и их влиянии на положение пучка.

Измерение временных характеристик элементов системы МВ

Для настройки и оперативного контроля режимов МВ необходимо иметь информацию о временных характеристиках работы ускорителя и системы МВ, к важнейшим из которых относятся:

- 1/ длительность цикла ускорителя и стола главного тока;
- 2/ длительность вывода частиц и положение во времени импульса тока выведенного пучка;
- 3/ длительности столов токов магнитных элементов и их положение по отношению к столу главного тока;
- 4/ характеристики цикла работы пневмопривода /ПП/ ФМ и ФЛ /момент начала хода в рабочее положение, время прихода и длительность стоянки в рабочем положении, время прихода в нерабочее состояние/.

Задача измерения указанных параметров решается при помощи аппаратной части комплекса, структурная схема которой приведена на рис. 5.

К пассивным элементам, выполняющим вспомогательные функции, здесь относятся: компараторы, формирующие по задаваемому порогу импульсы начала и конца стола для тока каждого из магнитных элементов; формирователь импульсов начала и конца вывода /НВ и КВ/ пучка; преобразователи, формирующие сигналы логики ТТЛ.

Метод измерения временных параметров основан на заполнении постоянно открытых по входу двоичных счетчиков частотой кварцевого генератора / 1 кГц/ в течение интервалов между общим началом отсчета в цикле ускорителя и моментами прихода синхроимпульсов, общее количество которых составляет 21. Поскольку для каждого из магнитных элементов импульсы "Начало стола" и "Конец стола" поступают с выхода формирователя по одному и тому же каналу, как и сигналы с датчика перемещения ПП, необходимо их разделение. Эту задачу и выработку указанных временных интервалов решает выполненный на регистрах сдвига специализированный модуль КАМАК, который может быть применен и в других подобных системах. В этом модуле управления заложены такие дополнительные возможности, как чтение содержимого регист-

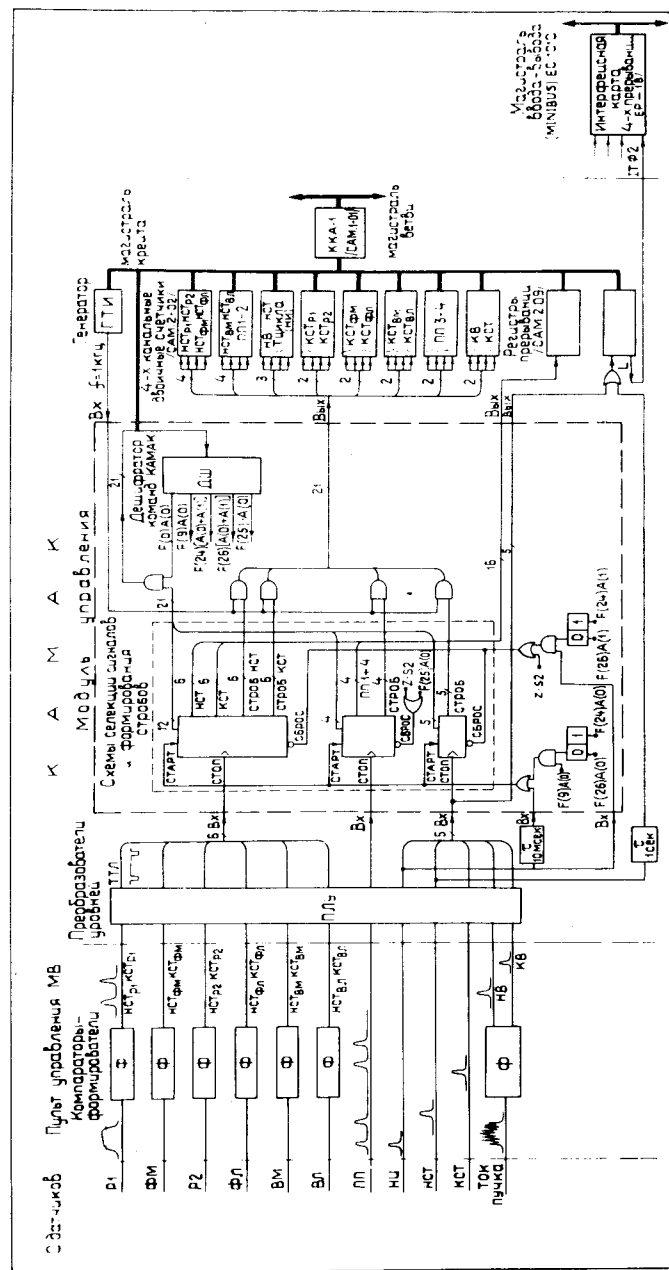


Рис. 5. Блок-схема аппаратуры для измерения временных параметров.

ров сдвига на магистраль КАМАК, а также управление ими по установочным входам командами КАМАК или внешними сигналами. Для счета импульсов опорной частоты применяются модули 4-канальных 12-разрядных двоичных счетчиков /САМ.2.02, ЦИФИ, ВНР/. Фиксация синхроимпульсов, регистрация концов временных интервалов, выработанных модулем управления, и генерация запросов прерывания в системе ввода-вывода ЭВМ осуществляются с помощью регистров прерывания САМ.2.09 аналогично уже рассмотренному их применению.

Программное обслуживание измерений временных характеристик производится программой второго уровня прерывания ИТО2. Диаграмма работы перечисленных устройств и организация временной привязки измерений к циклу ускорителя представлены на *рис. 2а, б, в, г, д, ж*.

Активизация второго уровня прерывания производится два раза в цикле ускорителя: по синхроимпульсу НИ в начале цикла и после стола главного тока по задержанному импульсу НСТ /ЗНСТ/. Поступление НИ в модуль управления /см. *рис. 5*/ вызывает аппаратный сброс всех схем формирования временных интервалов, кроме формирователей стробов для счетчиков ПП. Программа ИТО2 по НИ совершает следующие шаги:

- чтение регистров прерываний и анализ разрядов, соответствующих сигналам хода ПП;
- чтение счетчиков ПП в случае завершения всех фаз работы привода в предыдущем цикле ускорителя;
- считывание информации о длительности цикла ускорителя;
- сброс всех счетчиков, регистров прерывания и схем ПП в модуле управления;
- подготовка регистров прерываний для работы в начавшемся цикле ускорителя;
- обработка и вывод на алфавитно-цифровой дисплей пульта управления информации о длительности цикла ускорителя и работе ПП.

Началом отсчета времени в цикле работы ускорителя принят момент поступления импульса, задержанного на 10 мс относительно НИ /ЗНИ/, по которому в модуле управления аппаратно открываются все схемы пропуска частоты генератора на входы счетчиков. По логике

функционирования устройств МВ до момента выработки импульса ЗНСТ в модуль управления должны придти и закрыть соответствующие ворота все синхроимпульсы начала и конца столов токов, характеризующие работу магнитных элементов. Поэтому по прерыванию ЗНСТ программа ИТО2, считывая и анализируя содержимое регистров САМ.2.09, проверяет приход синхроимпульсов. Затем производится считывание в ЭВМ содержимого счетчиков, соответствующих отработавшим элементам, обработка данных и их вывод на дисплей в удобной для оператора форме /*рис. 6*/. Для устройств, синхроимпульсы работы которых не поступили до момента ЗНСТ, ситуация считается неопределенной, и информация не выводится.

	INJ. START		FLAT-TOP START		FLAT-TOP END		DURATION	
	() <-----2930 MS-----> ()		() <-----510 MS-----> ()					
FS	363 ()	1953	124*	()	()	*	518	1152
EX	()		*	()	135	85 ()	*	287
P1	()		*	()	61	()	*	127
P2	()		*	3 ()		()	40*	552
FM	()		107*	()		()	*	73
FL	()		128*	()		()	*	90
BM	()		112*	()		()	*	85
BL	()		130*	()		()	*	261
CYCLE DURATION: 8975								901

Рис. 6. Форма представления информации о временных характеристиках.

Следует отметить неприемлемость в нашем случае решения задачи временных измерений более легким в аппаратном отношении способом выработки в ЭВМ прерываний по каждому синхроимпульсу и чтения по ним одного счетчика "на ходу". При таком решении на столе главного тока, где одновременно выполняются задачи более высокого приоритета, запросы на чтение содержимого счетчика обрабатывались бы с большой задержкой.

Рассмотренные в данной работе аппаратура и программное обеспечение успешно используются на синхрофазотроне для настройки и контроля режимов работы системы медленного вывода.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность И.Б.Иссинскому, В.А.Смирнову и Е.В.Черных за поддержку и содействие данной работе, В.П.Старикову

за монтаж и наладку отдельных блоков установки, коллективу группы питания магнитов и линз электротехнического отдела за помощь в организации линий связи с датчиками и настройке аппаратуры. Авторы также признательны Л.С.Русаковой за помощь в подготовке материалов к публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Issinsky I.B. et al. Particle Accelerators, 1973, 5, pp.215-226.
2. Chernykh E.V. et al. IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. Ns-24, No.6, p.2561 (December 1977).
3. Нгуен Фук и др. ОИЯИ, 10-8712, Дубна, 1975.
4. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 10-11238, Дубна, 1978.
5. Каталог фирмы EC & G/ORTEC, 1976.
6. Каталог ЦИФИ, Будапешт, 1975.
7. Euratom Report EUR-4600e, 1972.
8. Каталог фирмы Kinetic Systems, 1975.
9. Каталог фирмы Borer, 1975.
10. Каталог фирмы Schlumberger, 1975.
11. Каталог фирмы Nuclear Enterprises, 1973.
12. Проспект фирмы GEC-Elliott, 1973.
13. Видеотон ЕС-1010. Общее описание 270.100.206.2, Будапешт, 1973.
14. Блок четырех независимых входов для сигналов прерывания логического уровня типа 72880. Техническое описание 270.72880.02 О/А, Видеотон, Будапешт, 1974.
15. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 9-8910, Дубна, 1975.
16. Силаев Е.А. ОИЯИ, 13-10065, Дубна, 1976.
17. Силаев Е.А. ОИЯИ, 13-10956, Дубна, 1977.
18. Каган Б.М. и др. Системы связи УВМ с объектами управления в АСУ ТП, "Советское радио", М., 1978.
19. Ефимов Л.Г. ОИЯИ, 10-9062, Дубна, 1975.
20. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 11-10024, Дубна, 1976.
21. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 9-10104, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1978 года.