

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



27/II-78

9 - 11095

Б-534

Т.В.Беспалова, И.А.Голутвин, Н.И.Замятин,
Ю.Т.Кирюшин, Н.М.Лустов, А.А.Мальцев,
А.А.Попов, В.П.Саранцев, В.А.Свиридов,
Д.А.Смолин, В.С.Хабаров, Ю.А.Яцуненко

982/2-78

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОННОГО КОЛЬЦА
УСКОРИТЕЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ
ПО СИНХРОТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

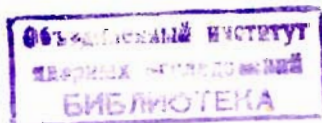
1977

9 - 11095

Т.В.Беспалова, И.А.Голутвин, Н.И.Замятин,
Ю.Т.Кирюшин, Н.М.Лустов, А.А.Мальцев,
А.А.Попов, В.П.Саранцев, В.А.Свиридов,
Д.А.Смолин, В.С.Хабаров, Ю.А.Яцуненко

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОННОГО КОЛЬЦА
УСКОРИТЕЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ
ПО СИНХРОТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

Направлено в ПТЭ



Беспалова Т.В. и др.

9 - 11095

Система измерения параметров электронного кольца ускорителя тяжелых ионов по синхротронному излучению

Представлена многоканальная система измерений размеров электронного кольца УТИ ОИЯИ по синхротронному излучению, работающая на линии с ЭВМ М-6000. В системе использован детектор из 50 фотосопротивлений инфракрасной области с размером каждого элемента 0,2x0,4 мм. Описаны основные функциональные схемы разового и многократного экспонирования малого сечения кольца в процессе его сжатия на радиусах $R_k = 4-6$ см. Приведены основные математические выражения программы обработки.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Большое место в программе работ на ускорителе тяжелых ионов ОНМУ ОИЯИ занимают вопросы диагностики кольца электронов по синхротронному излучению. Созданная в отделе система регистрации излучения позволяет измерять геометрические размеры кольца, исследовать поведение на заключительном этапе сжатия /на радиусах кольца $R_k = 4-6$ см/ и в начале вывода на ускоряющий участок ускорителя. Основные элементы системы схематично показаны на *рис. 1*.

Синхротронный свет электронного кольца выводится из компрессора УТИ через флюоритовое окно и попадает в зеркально-оптический тракт^{/1/} длиной 2,5 м. Он передает размеры электронного пучка в плоскость детектора синхротронного излучения /ДСИ/ в отношении 1:1. Поле зрения тракта - 30 мм. Детектор смонтирован на специальном столике, который может перемещаться в двух взаимно-перпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости на расстоянии 30 мм. Привод столика - электромеханический /ЭД, *рис. 1*/ и управляется дистанционно блоком управления перемещения /БУП/ с пульта управления ускорителем. Детектор преобразует излучение в электрические сигналы, которые предварительно усиливаются на предусилителях /ПУ/ и передаются по кабельной линии связи в измерительную электронную аппаратуру. Аппаратура выполнена в стандарте КАМАК^{/2,3/} и работает на линии с ЭВМ типа М-6000. Результаты измерений после обработки в ЭВМ выводятся на цифropечать и дисплей.

Интенсивность синхротронного излучения кольца на $R_k = 4$ см достигает значения $I \approx 10^{-5} - 10^{-3} \text{ Вт/см}^{2/4/}$

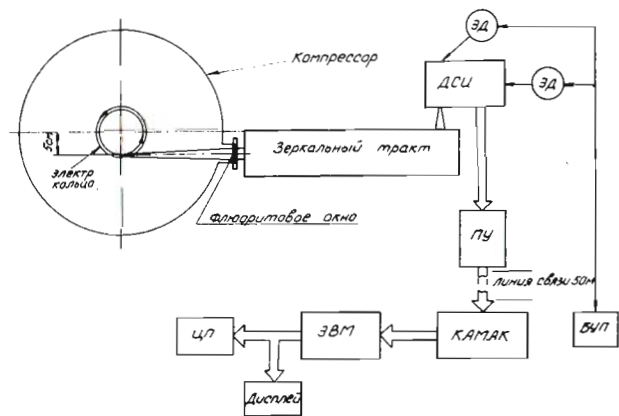


Рис. 1. Функциональная схема регистрации синхротронного излучения кольца электронов УТИ.

при числе электронов в кольце $N_e = 10^{10} - 10^{12}$ с энергией $E_e = 19 \text{ МэВ}$. Время жизни кольца на данном радиусе $\tau = 0,3 - 0,5 \text{ мс}$; размеры электронного пучка $a \leq 6 \text{ мм}$ оценивались экспериментально. При этом спектр излучения сосредоточен в основном в инфракрасной области с максимумом на длине волны $1,23 \text{ мкм}^{1/4}$. В системе использован детектор синхротронного света, состоящий из 50 фотосопротивлений с линейным расположением элементов, изготовленных из $n\text{-InSb}$. Размер каждого элемента - $0,2 \times 0,4 \text{ мм}$, а общая длина линейки - 20 мм . Детектор охлаждается до температуры жидкого азота, при которой его элементы имеют технические характеристики, приведенные в литературе [5,6].

Вся система регистрации синхротронного излучения кольца электронов УТИ содержит 12 информационных каналов; на каждый канал может работать до 5 элементов детектора, сигналы которых суммируются в схеме предусилителя. Последовательно к каждому фотосопротивлению подключен специально подобранный резистор с целью уменьшения разброса коэффициента преобразования элементов детектора. Резисторы подбирались из условия получения разброса приведенной чувствительности каждой такой схемы не более $\pm 10\%$.

Организация и состав электронной аппаратуры определяются измеряемыми параметрами электронного кольца, методом передачи и обработки информации в ЭВМ.

Измерение параметров кольца за каждый цикл сжатия осуществляется набором аппаратуры, функциональная схема которой и временные диаграммы показаны на рис. 2. В данном варианте элементы, расположенные в центральной части линейки, объединялись по три в 10 каналах, а оставшиеся крайние - в двух каналах.

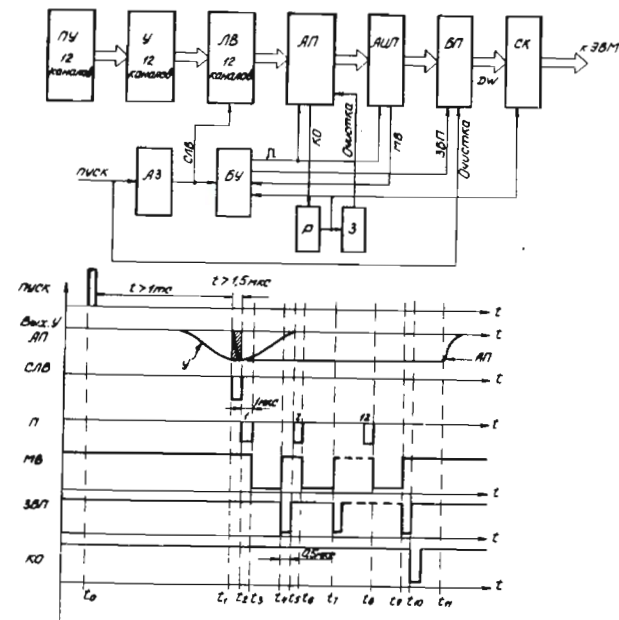


Рис. 2. Временные диаграммы и функциональная схема аппаратуры системы амплитудного анализа.

Информация с ПУ проходит блоки основных усилителей /У/ и поступает на входы линейных ворот. Коэффициенты усиления ПУ и У подобраны экспериментально для получения оптимального отношения сигнал - наводка. Аналоговая задержка /АЗ1/ задерживает на требуемое время сигнал "Пуск" и формирует из него строб линейных ворот /СЛВ/ длительностью $t_{\text{СЛВ}} \geq 1 \text{ мкс}$, по кото-

рому информация с выходов ЛВ поступает в блок аналоговой памяти /АП/. По окончании сигнала СЛВ запускается в работу блок управления /БУ/. Он подключает поочередно каждый канал АП к входу аналого-цифрового преобразователя /АЦП/ и генерирует для него команду на преобразование /П/ длительностью $t_{11} = 1$ мкс. Во время преобразования АЦП воздействует на БУ сигналом "мертвого" времени /МВ/, по заднему фронту которого БУ формирует команду ЗБП - записи преобразованной в цифровой код информации в блок буферной памяти. Данная команда завершает измерение и преобразование информации одного канала системы, после чего БУ подключает к АЦП следующий канал аналоговой памяти. После занесения в БП данных последнего канала блок АП формирует сигнал окончания опроса /КО/, который после разветвления на блоке разнотелителя /Р/ останавливает работу БУ и запускает спецконтроллер, а через задержку АЗ2 очищает аналоговую память. Спецконтроллер организует режим блочной передачи данных из БП в память ЭВМ. Буферная память очищается в начале цикла измерений по команде "Пуск".

Полное время измерений и передачи в БП определяется выражением:

$$T = t_{СЛВ} + N \cdot t_{11} + \sum_1^k t_{МВ} + N \cdot t_{ЗБП}$$

где: N - число каналов АП, k - число каналов АП, содержащих информацию.

В системе был использован 16-канальный стандартный блок АП, стробируемый АЦП с переключаемым числом каналов 256, 512, 1024 и частотой времязадающего генератора 50 МГц, а блок БП имеет емкость 64x8 бит.

Приведенная схема позволяет анализировать амплитудные значения сигналов детектора за время строба ЛВ, задержка которого и длительность зависят от условий измерений. На рис. 3 представлены временные диаграммы и функциональная схема, обеспечивающая также и временной анализ. Она содержит 8 каналов /8 блоков АЦП на 256 каналов, 2 блока буферной памяти и свой блок управления/. На каждый измерительный канал работают 3 элемента детектора.

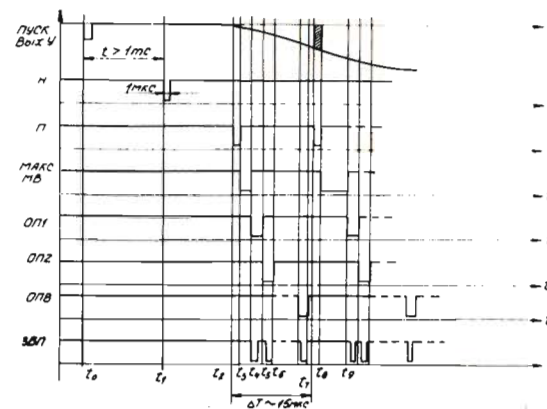
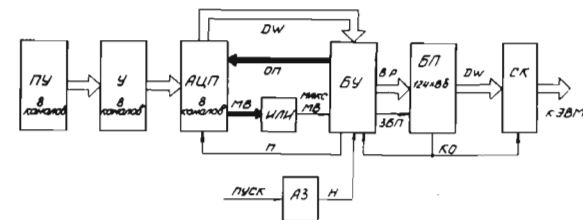


Рис. 3. Временные диаграммы и функциональная схема аппаратуры амплитудно-временного анализа сигналов детектора с блоками буферной памяти.

Сигнал "Пуск" задерживается в блоке АЗ и запускает в работу БУ. Он управляет измерениями по команде преобразования П, которая одновременно раскрывает линейные ворота во всех АЦП. Данная команда генерируется БУ через фиксированный период времени с постоянной длительностью $t_{11} = 1$ мкс. При наличии информации на выходах усилителей блока АЦП вырабатывают сигналы МВ, которые поступают на БУ через схему ИЛИ. По окончании максимального по длительности сигнала МВ блок управления организует опрос регистров АЦП и занесения информации в блок буферной памяти по командам опроса АЦП. Команда опроса /ОП/ поступает в АЦП от блока управления через разъемы на передних панелях. Содержимое счетчиков преобразователей по шинам DW крейта КАМАК проходит в

БУ, из которого через внешний разъем /ВР/ на передней панели поступает в буферную память по команде ЗПБ. Приведенный цикл измерений и передачи информации в БП занимает время:

$$T \approx t_{\Pi} + N \cdot t_{\text{ОП}} + \max t_{\text{МВ}} \geq 15 \text{ мкс},$$

при числе каналов $N = 8$.

Время измерительного цикла определяет частоту следования командных сигналов преобразования П блока управления, а для обработки данных в ЭВМ задается программой.

После заполнения регистров БП генерирует команду окончания опроса /КО/ АЦП, которая запускает спецконтроллер для передачи данных в ЭВМ и одновременно останавливает работу блока управления.

Для сравнения с приведенной схемой амплитудно-временного анализа сигналов детектора на рис. 4 показаны временные диаграммы и функциональная схема набора аппаратуры, которая использует режим блочной передачи содержимого счетчиков АЦП в канал прямого доступа в память ЭВМ. В данном варианте отсутствует необходимость в блоках буферной памяти, но требуется временной отсчет моментов измерений, который осуществляется блоком текущего времени /БТВ/. Измерения начинаются по команде "Пуск", по которой спецконтроллер устанавливает NAF(0) режима блочной передачи данных в ЭВМ и через аналоговую задержку /АЗ/ запускает БУ. Одновременно сигнал "Пуск" разрешает отсчет времени в БТВ, для чего в нем имеется кварцованный генератор, счетчик и регистр памяти для занесения временных отметок. Дальнейшие операции осуществляются по тем же командам, что и в предыдущей схеме. Отличие заключается в том, что к передаваемым данным в ЭВМ добавляется информация о моменте времени стробирования АЦП /опрос блока БТВ по сигналу ОТ/ и передача нулевой информации с регистров АЦП в ЭВМ в начале измерений. Требуемое время для одного цикла измерений можно определить из выражения:

$$T \approx t_{\Pi} + (N+1) \cdot t_{\text{ЭВМ}} + \max t_{\text{МВ}},$$

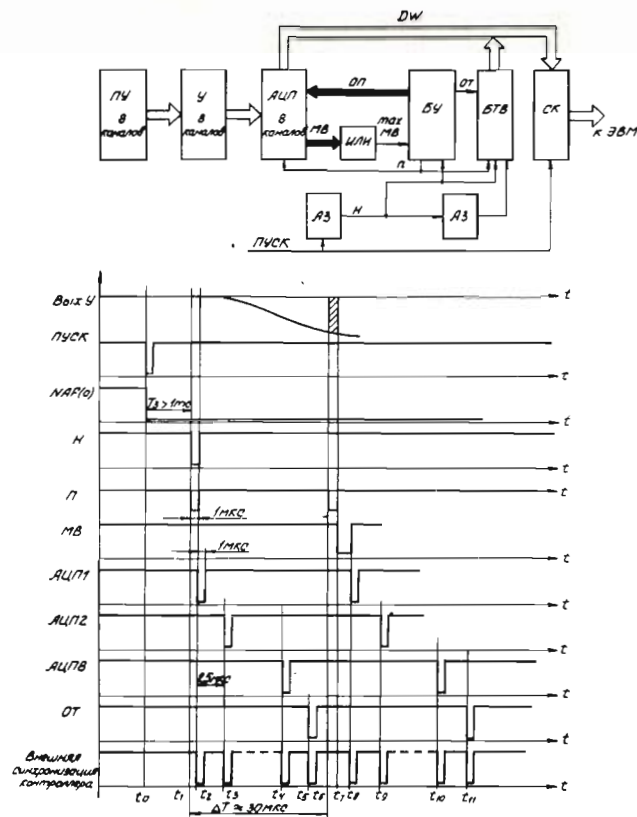


Рис. 4. Временные диаграммы и функциональная схема аппаратуры амплитудно-временного анализа сигналов детектора для режима блочной передачи данных в канал прямого доступа в память ЭВМ.

где: $t_{\text{ЭВМ}}$ - время передачи кода одного АЦП по каналу прямого доступа в память ЭВМ. При работе с ЭВМ М-6000 $N=8$, $T \geq 30$ мкс.

Все приведенные схемы электронной аппаратуры были собраны, и в процессе опытной отладки в систему регистрации синхротронного излучения окончательно вошли первые две /рис. 2 и 3/. Схема амплитудного анализа сигналов детектора обеспечивает приближенную оценку размеров кольца, позволяет визуально наблюдать процесс его сжатия на экране осциллографа с

выхода блока аналоговой памяти. На рис. 5 показаны осциллограммы сигналов детектора, снятые при $R_k = 4 \text{ см} / R_k$ - радиус электронного кольца/. Схема амплитудно-временного анализа позволяет более точно определять размеры кольца. Она необходима при исследованиях влияния различных факторов на его геометрию /магнитных полей, инжекции атомов и т.д./.

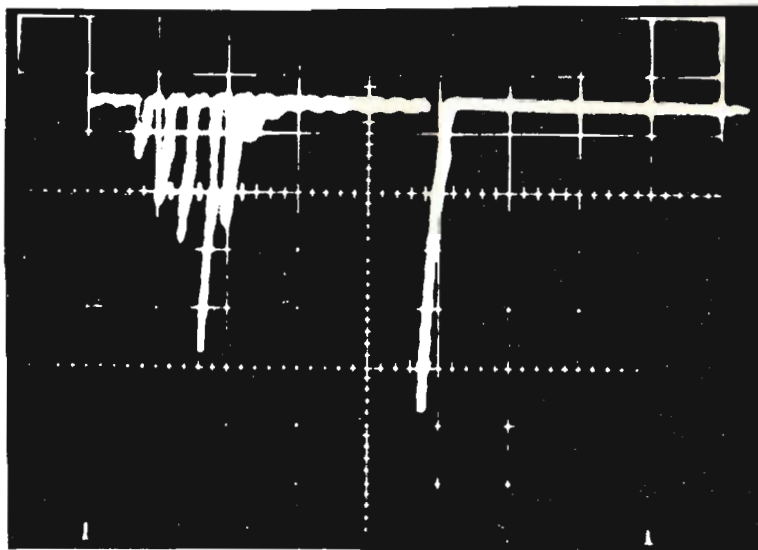


Рис. 5. Осциллограмма сигналов детектора с выхода блока аналоговой памяти на радиусе электронного кольца $R_k = 4 \text{ см}$.

Основой программы ЭВМ для обработки сигналов детектора является приближение факторизации функции распределения плотности электронов в малом сечении кольца:

$$F(z, r, t) = A(t) \cdot P_1(z, t) \cdot P_2(r, t),$$

где: $P_1(z, t)$ и $P_2(r, t)$, строго говоря, неизвестные функции распределения.

Если линейка детектора расположена параллельно оси z компрессора /электронного кольца/ на расстоя-

нии r_1 от его центра, то в момент времени t_i измеряется функция:

$$Q(z, r_1, t_i) = A(t_i) \cdot P_1(z, t_i) \cdot P_2(r_1, t_i) \Delta r \Delta t,$$

где: Δr - ширина линейки, Δt - длительность измерения. Вычисленный второй момент функции:

$$s^2(t_i) = \frac{\int P_1(z, t_i) (z - \bar{z})^2 dz}{\int P_1(z, t_i) dz}$$

совпадает с истинным размером кольца по оси z в момент времени t_i и с центром в точке \bar{z} .

Вычисленные параметры кольца ($z, s, F = A(t_i) \cdot P_2(r_1, t_i) \Delta r \Delta t$) выводились на цифропечать и дисплей в виде табличной функции, а также более расширенно - в виде гистограмм.

Созданная система измерений параметров пучка электронов УТИ по синхротронному излучению в настоящее время проходит период опытной эксплуатации одновременно с проведением экспериментальных работ с ускорителем. С ее помощью решен ряд важных вопросов, одним из которых, к примеру, является проверка динамики поведения электронного кольца УТИ на конечных радиусах сжатия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белинская Г.И. ОИЯИ, Р9-9281, Дубна, 1975.
2. EUR 4100. Revised version, 1972, Luxemburg, August, 1972.
3. EUR 4600. Revised version, 1972, Luxemburg, August, 1972.
4. Годвин Р. УФН, 1970, т.101, вып. 3.
5. Викулин И.М., Стафеев В.И. Полупроводниковые датчики. Сов. Радио, М., 1975.
6. Круз П. Основы инфракрасной техники. Воениздат, М., 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 ноября 1977 года.