

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Ордена Ленина Сибирское отделение
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. Будкера

Г.В. Карпов, А.С. Медведко

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ
ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА
В ФОРИНЖЕКТОРЕ ВЭПИ-5

ИЯФ 2006-35

Новосибирск
2006

Система измерения положения пучка в форинжекторе ВЭПП-5

Г.В. Карпов, А.С. Медведко

Институт ядерной физики
630090 Новосибирск, Россия

Аннотация

Описан новый вариант Системы измерения положения пучка в форинжекторе ВЭПП-5. Система позволяет для каждого цикла инжекции измерять положение пучков электронов и позитронов с количеством частиц в каждом пучке от 10^8 до 5×10^{10} . Описана структура Системы измерения положения пучка, представлены функциональные схемы и особенности построения различных функциональных узлов. Приведены основные параметры, характеризующие точность измерения положения пучка.

Beam position measurement System in VEPP-5 preinjector.

G.V. Karpov, A.S. Medvedko

Abstract

The new variant of the Beam position measurement System in VEPP-5 preinjector is described. The System allows the measurements of electron and positron beams position with $10^8 \div 5 \times 10^{10}$ particles per bunch for each machine pulse. The structure of the Beam position measurement System is described. Functional schemes, the System building features are presented. The main System accuracy parameters are given.

1. Введение

Система измерения положения пучка в форинжекторе инжекционного комплекса ВЭПП-5 позволяет для каждого цикла инъекции проводить измерения вертикального и горизонтального положения центра тяжести пучка в 14 различных точках вдоль траектории движения пучка.

Форинжектор предназначен для генерации пучков электронов и позитронов с выходной энергией 510 МэВ [1]. Его основными компонентами являются (см. Рис.1): электронная пушка, линейный ускоритель на энергию 300 МэВ (300 МэВ Линак), система изохронного поворота пучка на 180°, система конверсии электронов в позитроны и линейный ускоритель на 510 МэВ (510 МэВ Линак).

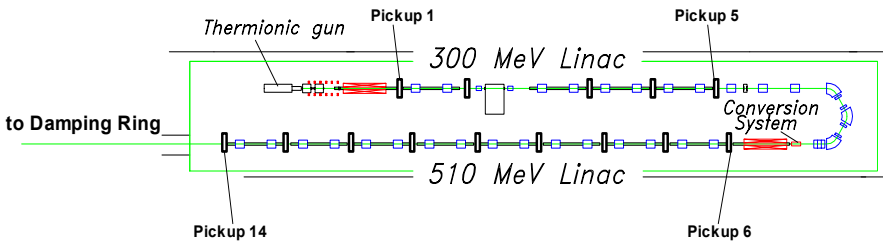


Рис. 1. Структура форинжектора ВЭПП-5.

Форинжектор имеет два основных режима работы [1]. В первом режиме инжектированные пушкой пучки электронов с количеством частиц в пучке $(1\div 3)\times 10^{10}$, ускоряясь в первом линейном ускорителе до энергии 300 МэВ, попадают на конверсионную систему. Полученные в результате конверсии пучки позитронов с количеством частиц в пучке $(1\div 3)\times 10^8$ ускоряются во втором линейном ускорителе до энергии 510 МэВ и затем попадают в накопитель-охладитель. Во втором режиме пучки электронов минуя конверсионную систему попадают во второй линейный ускоритель, и далее – в накопитель-охладитель. Рабочая частота инъекции составляет 50 Гц для первого режима и 1 Гц для второго режима. Частота ускоряющего напряжения – 2856 МГц, длительность сгустков – около 20 пикосекунд.

Система измерения положения пучка в форинжекторе разрабатывалась в течение достаточно длительного времени по мере строительства и ввода в

строй отдельных частей форинжектора. Первый вариант Системы в стандарте КАМАК был разработан в 1997-1998гг. Н.И. Зиневичем, Г.В. Карповым и А. Филипповым. Часть Системы, состоящей из четырех пикапов и соответствующей электроники, была введена в эксплуатацию в 1998г. после ввода в строй первой части форинжектора, включающей пушку и линейный ускоритель на 300 МэВ. За несколько лет работы данная Система продемонстрировала неплохие метрологические качества, но была слишком громоздка и не отличалась высокой надежностью. Кроме того, она не годилась для измерения положения пучков позитронов из-за недостаточной чувствительности. В результате, в 2004-2005гг. было принято решение разработать новую, более чувствительную электронику, полностью удовлетворяющую требованиям задачи.

В 2005-2006гг. новая электроника в стандарте КАМАК была разработана и изготовлена, а в апреле 2006г. часть ее успешно введена в строй на форинжекторе. Эта электроника позволяет в обоих режимах работы форинжектора измерять положение, как пучков электронов, так и пучков позитронов.

2. Структура системы

Измерение положения пучка осуществляется с помощью 14 пикапов полоскового типа. Схема расположения пикапов показана на Рис.1. Все пикапы условно можно разделить на две группы. Первая группа из пяти пикапов (Pickup1 – Pickup5 на Рис.1) установлена в 300 МэВ Линаке, вторая группа из девяти пикапов (Pickup6 – Pickup14) – в 510 МэВ Линаке. Каждый из пикапов установлен на выходе соответствующей ускоряющей секции.

Каждый пикап состоит из корпуса цилиндрической формы с внутренним диаметром 25 мм и четырех сигнальных пластин, расположенных под углом $\pi/2$ друг относительно друга (см. Рис.2). Каждая пластина имеет длину 150 мм и представляет собой полосковую линию с волновым сопротивлением 50 Ом, один конец которой выведен на разъем, а другой закорочен.

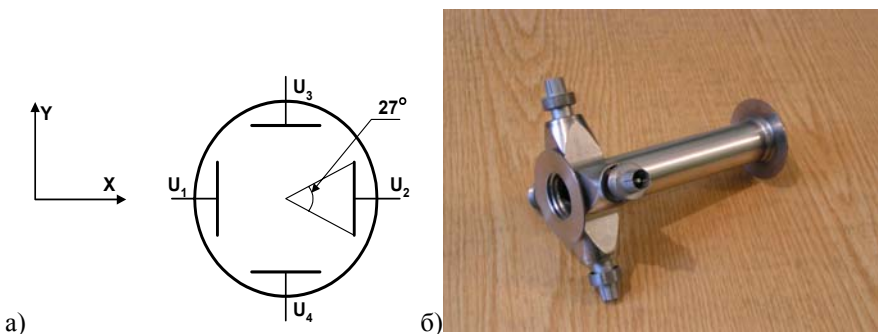


Рис. 2. Пикап Системы измерения положения пучка: а – схема, б – фото.

Вся электроника системы выполнена в стандарте КАМАК и размещена вне защищенного зала. Размещение хотя бы части электроники рядом с пикапами было невозможно из-за высокой радиации в туннеле форинжектора. Сигналы с пластин пикапов поступают на электронику системы по 50-омным коаксиальным кабелям длиной от 20 до 40 м. Кабели, идущие от одного пикапа выполнены одинаковой длины, разброс длин кабелей не превышает нескольких сантиметров.

Структура электроники Системы показана на Рис.3. Всю электронику Системы можно условно разбить на три основные части:

- * электронику аналоговой обработки сигналов, состоящей из набора одинаковых каналов (по одному для каждой пластины пикапа),
- * набор АЦП (по одному АЦП для каждой пластины пикапа),
- * схему таймирования.

Измерение координат пучка в месте расположения пикапа основано на одновременном измерении с помощью АЦП амплитуд сигналов, поступающих с пластин данного пикапа.

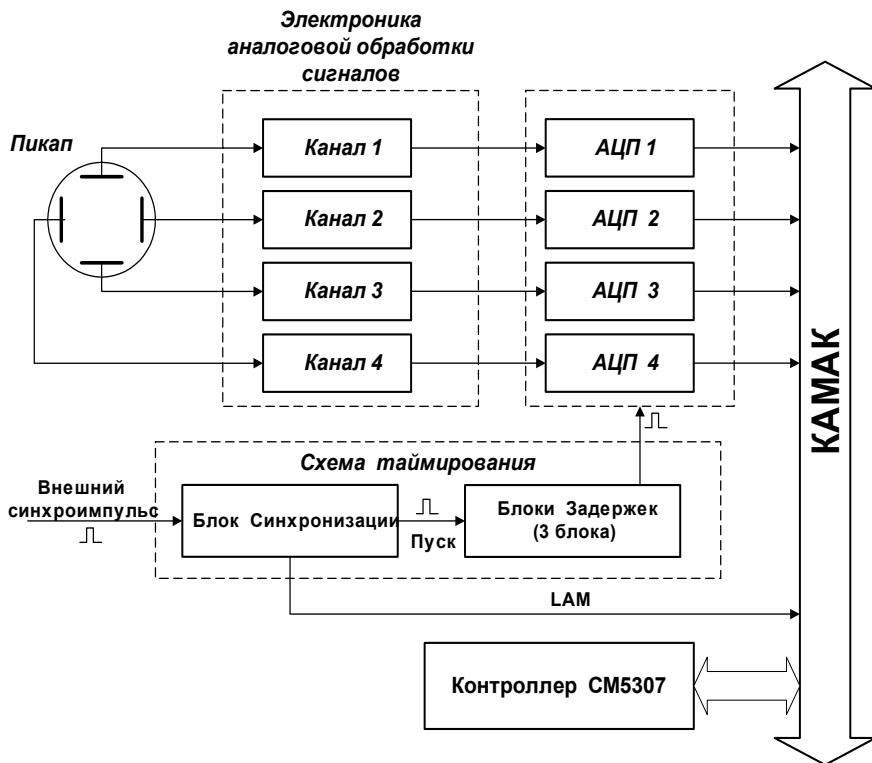


Рис. 3. Структура Системы измерения положения пучка.

В первом варианте Системы сигнал от каждой пластины пикапа перед преобразованием в АЦП вначале запоминался в устройстве выборки-хранения (УВХ), выполненном на дискретных элементах. Это позволило использовать для оцифровки сигналов относительно медленные 12-разрядные АЦП (с временем преобразования 2 мкс), причем один АЦП обслуживал все пикапы, по очереди через аналоговый Коммутатор подключаясь к выходу соответствующего канала аналоговой обработки.

С появлением относительно недорогих АЦП конвейерного типа, сочетающих высокое быстродействие с достаточным количеством разрядов, появилась возможность использовать АЦП со встроенными УВХ. Был выбран 12-разрядный конвейерный АЦП типа ADS807E фирмы Texas Instrument [2], который уже был ранее успешно применен в ИЯФ в других системах измерения положения пучка [3]. Время выборки встроенного УВХ данного АЦП составляет около 2 нс, максимальная частота выборок – около 53 МГц. Основной проблемой, возникшей при применении АЦП конвейерного типа в данной системе, являлась невозможность работы данного типа АЦП с низкой частотой выборок. Так, для АЦП ADS807E частота выборок

должна быть не ниже 10 кГц [2], в то время как частота инъекции в форинжекторе составляет от 1 до 50 Гц. Данная проблема была решена за счет усложнения алгоритма работы схемы таймирования, которая формирует импульсы запуска АЦП, обеспечивая их временную привязку к сигналам с пикапов (см. п.4).

3. Аналоговая обработка сигналов

Сигналы, идущие с пластин пикапов, проходят аналоговую обработку в каналах Блоков Фильтров, преобразуясь к виду, удобному для последующего преобразования в АЦП. Каждый Блок Фильтров имеет 4 одинаковых канала и обслуживает один пикап. Сигналы на выходе каналов Блоков Фильтров имеют амплитуду около 1 В (что примерно соответствует максимуму шкалы АЦП) и характерную длительность ~10 нс. Коэффициенты передачи каналов программируются 4-разрядным кодом, что позволяет поддерживать примерное постоянство амплитуды сигналов на выходах каналов в широком диапазоне заряда пучка.

В Системе применены Блоки Фильтров двух типов с двумя разными способами обработки сигналов. Блоки Фильтров первого типа используются для обработки сигналов группы пикапов, установленных в 300 МэВ Линаке. Блоки Фильтров второго типа используются для обработки сигналов группы пикапов, установленных в 510 МэВ Линаке. Использование двух разных способов обработки сигналов вызвано разными уровнями сигналов этих двух групп пикапов. Амплитуда сигналов пикапов 510 МэВ Линака от пучков позитронов примерно в 30 раз меньше амплитуды сигналов пикапов 300 МэВ Линака от пучков электронов. Поэтому наиболее приоритетным параметром для электроники пикапов 510 МэВ Линака является чувствительность, в то время как для электроники пикапов 300 МэВ Линака более важны такие параметры, как температурная стабильность результатов измерений и некоторые другие.

Функциональная схема Блока Фильтров для пикапов 300 МэВ Линака представлена на Рис.4.

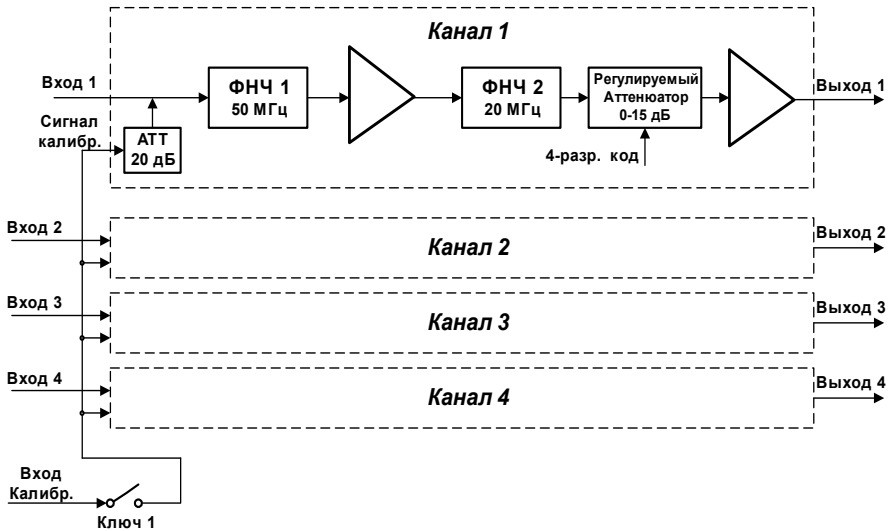


Рис. 4. Функциональная схема Блока Фильтров для пикапов 300 МэВ Линака.

Способ аналоговой обработки сигналов в данных Блоках Фильтров предполагает использование низкочастотной части спектра сигнала, лежащей в полосе частот 0 – 20 МГц (см. Рис.6). Исходный спектр сигналов на выходе пикапа имеет ширину более 10 ГГц, что определяется малой длиной сгустков (~20 пикосекунд). Для более качественного подавления высокочастотных составляющих спектра сигнала и помех (лежащих в полосе частот выше 100 МГц) в каждом канале, помимо основного ФНЧ, формирующего рабочую полосу частот (ФНЧ 2), на входе установлен дополнительный ФНЧ с частотой среза 50 МГц (ФНЧ 1). Данный ФНЧ состоит из 10 последовательно соединенных неотражающих фильтров 2-го порядка, частоты среза соседних фильтров разнесены друг относительно друга примерно в 1.5 раза. Такой фильтр позволил обеспечить подавление составляющих сигнала и помех в диапазоне частот от 200 МГц до 3 ГГц на уровне более –50 дБ, обезопасив тем самым последующий усилитель от возмущающего воздействия высокочастотных компонент. Вид сигнала пучка на выходе одного из каналов показан на Рис.5.

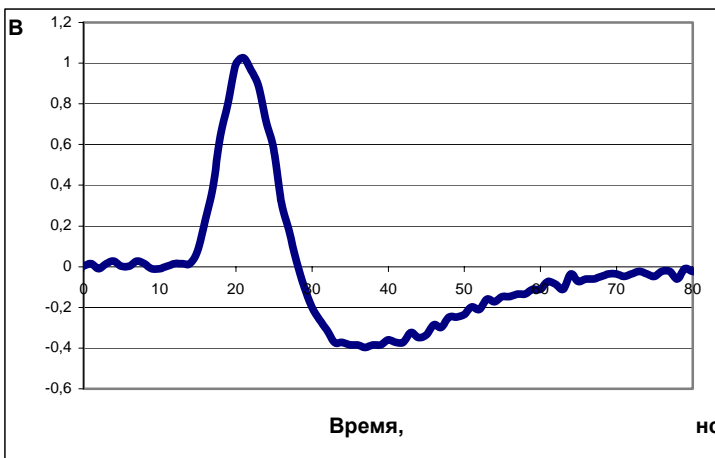


Рис. 5. Осциллограмма сигнала пучка электронов на выходе одного из каналов Блока Фильтров для пикапов 300 МэВ Линака.

Диапазон регулировки коэффициентов передачи каналов, обеспечиваемый программируемым аттенуатором типа AA117 (фирмы Alpha Industries) составляет 15 дБ, шаг регулировки – 1 дБ.

Для компенсации неодинаковости коэффициентов передачи каналов в блоке предусмотрен режим калибровки. В этом режиме через специальный вход и через специальный Ключ 1 на все 4 канала подается тестовый сигнал из Калибратора (отдельного КАМАК блока).

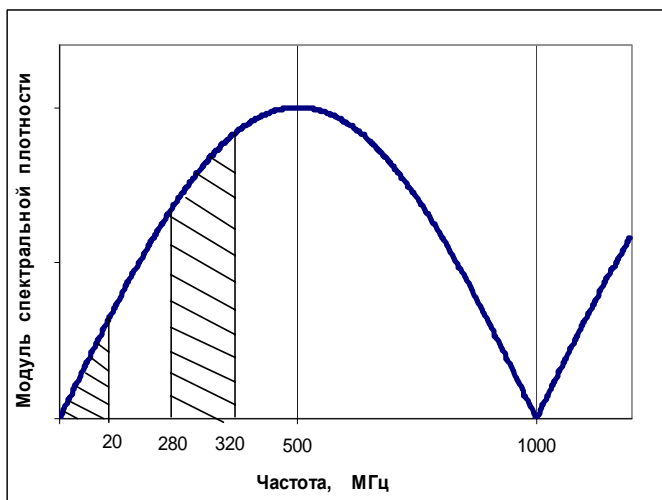


Рис. 6. Вид спектра сигнала на выходе пластины пикапа.

В Блоках Фильтров для пикапов 510 МэВ Линака используется более высокочастотная часть спектра сигнала, лежащая в полосе 280 – 320 МГц. Схема обработки сигнала, использованная в данном Блоке, ранее была успешно применена Е.А.Бехтеновым и Н.И.Зиневичем в Системе измерения положения пучка в Линейном Ускорителе электронов ИЛУ-10 [4]. Спектральная плотность сигнала на выходе пикапа (Рис.6) имеет максимум в районе частоты 500 МГц, что определяется длиной полосковых линий пикапа (~150 мм).

В нашем случае, для сигналов на входах Блоков Фильтров из-за затухания в кабелях этот максимум смещается в область частот 300 – 350 МГц. Таким образом, используя в качестве рабочей полосы частот в районе 300 МГц, мы при заданной ширине полосы достигаем максимальной амплитуды сигнала.

Выигрыш по амплитуде сигнала по сравнению с выше рассмотренным способом обработки составляет около 10 раз (с учетом затухания в кабелях). Другим важным аргументом в пользу выбора данной рабочей полосы является значительно меньший уровень помех в ней по сравнению с областью низких частот.

Данный способ обработки сигнала существенно сложнее ранее рассмотренного способа и обладает худшей температурной стабильностью результатов измерения. Поэтому этот способ обработки применен только там, где сигналы с пикапов достаточно слабые, и требуется повышенная чувствительность.

Функциональная схема Блока Фильтров для пикапов 510 МэВ Линака представлена на Рис.7.

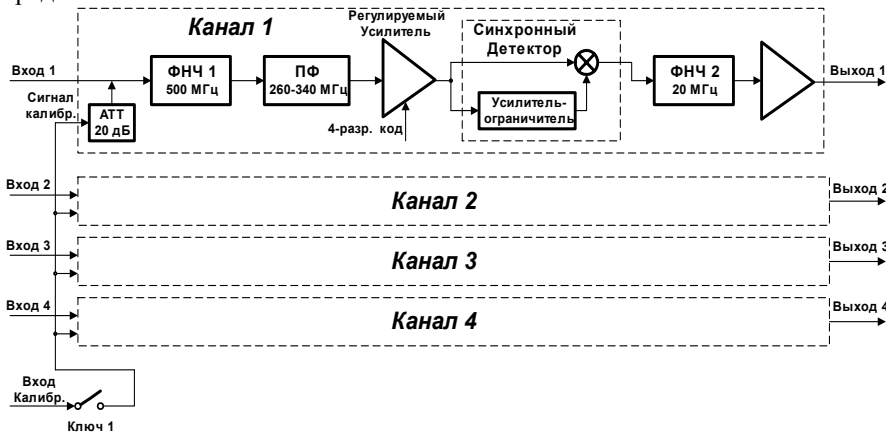


Рис. 7. Функциональная схема Блока Фильтров для пикапов 510 МэВ Линака.

Входной ФНЧ (ФНЧ 1) с частотой среза ~ 500 МГц предназначен для подавления высокочастотных составляющих спектра сигнала и помех. Проходя затем через полосовой фильтр ПФ с полосой 260-340 МГц, сигнал поступает на регулируемый усилитель типа AD8369 (фирмы Analog Devices), имеющий полосу около 600 МГц, диапазон регулировки усиления 45 дБ и шаг регулировки 3 дБ. Такой диапазон регулировки усиления позволяет, как для электронов, так и для позитронов, поддерживать примерно постоянную амплитуду сигнала на выходе усилителя на уровне ~ 300 мВ.

С выхода регулируемого усилителя сигнал поступает на Синхронный детектор, в качестве которого используется широкополосный перемножитель типа AD8343 (фирмы Analog Devices) с полосой до 2.5 ГГц. опорное напряжение формируется из сигнала Усилителем-ограничителем, встроенным внутри данного перемножителя. Диапазон уровня входного сигнала, при котором Усилитель-ограничитель обеспечивает постоянство амплитуды опорного напряжения, составляет около 30 дБ [5], чего вполне достаточно для обеспечения необходимой линейности амплитудной характеристики Синхронного детектора. ФНЧ с частотой среза ~ 20 МГц на выходе Синхронного детектора выделяет разностную частоту и формирует окончательную форму сигнала. Осциллограммы сигналов от пучка электронов на выходе полосового фильтра и на выходе канала показаны на Рис.8,9.

Схема обработки сигнала, использованная в данных Блоках Фильтров, дает выигрыш в отношении сигнала к шуму (с учетом помех) по сравнению со схемой обработки сигнала в Блоках Фильтров, разработанных для пикапов 300 МэВ Линака, примерно в 20 раз и позволяет работать с пучками, количество частиц в которых составляет величину порядка 10^8 .

В Блоках Фильтров для пикапов 510 МэВ Линака также предусмотрен режим калибровки путем подачи сигнала Калибратора на специальный вход.

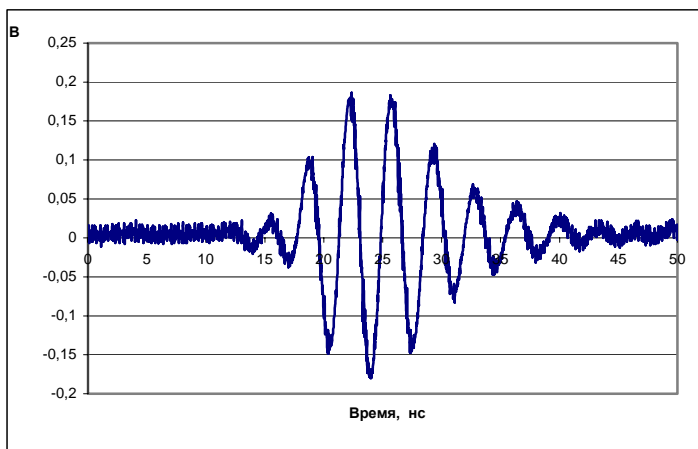


Рис. 8. Осциллограмма сигнала пучка электронов на выходе полосового фильтра Блока Фильтров для пикапов 510 МэВ Линака.

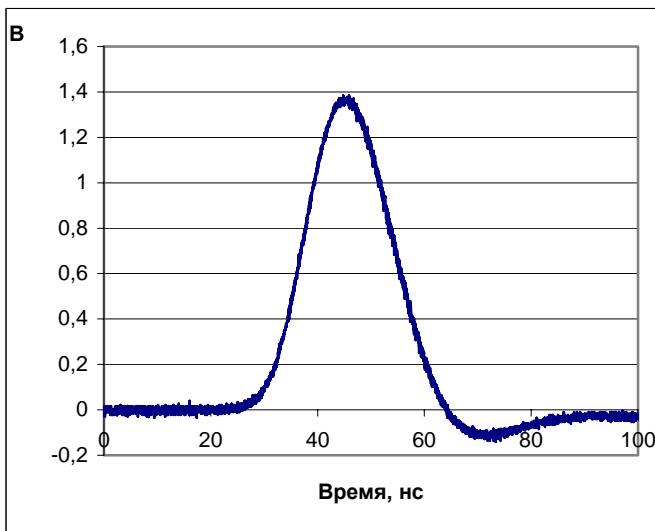


Рис. 9. Осциллограмма сигнала пучка электронов на выходе одного из каналов Блока Фильтров для пикапов 510 МэВ Линака.

4. АЦП и схема таймирования

Каждый блок АЦП-4 содержит четыре одинаковых канала (четыре АЦП) с общим тактовым входом и обслуживает 1 пикап. Полученные в результате преобразования сигналов цифровые коды переписываются из всех АЦП в регистры данных, откуда затем могут прочитываться с помощью соответствующих КАМАК команд.

Для обеспечения правильной работы АЦП конвейерного типа при низких частотах инжекции пучка схема таймирования в каждом цикле инжекции формирует не один импульс запуска АЦП, а пачку из девяти импульсов (см. Рис.10).

Из этих девяти импульсов первые два импульса, идущие с интервалом около 30 нс, служат для подготовки АЦП к работе. По фронту третьего импульса осуществляется запоминание сигнала с пикапа в УВХ. Последние шесть импульсов, идущие через несколько микросекунд после третьего импульса, предназначены для завершения цикла преобразования сигнала в конвейерном АЦП (это следует из принципа работы АЦП [2]). Таким образом, после прохождения данной пачки импульсов в выходных регистрах всех АЦП будут находиться результаты преобразования сигналов,

полученных в данном цикле инъекции, которые затем прочитываются и обрабатываются КАМАК контроллером.

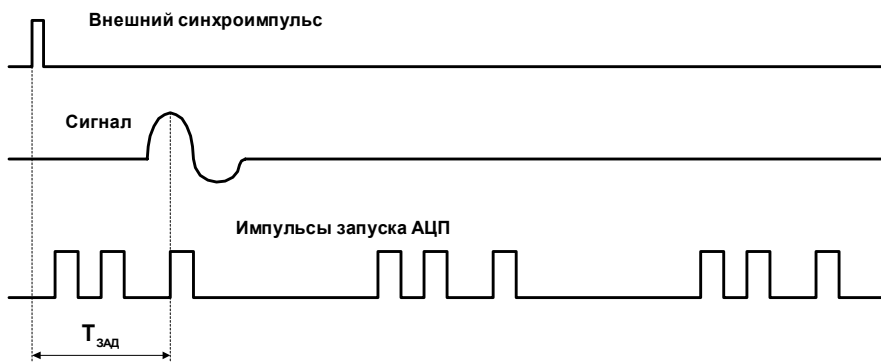


Рис. 10. Таймирование АЦП.

Для оптимальной регистрации сигнала передний фронт третьего импульса пачки (Рис.10) должен совпадать с максимумом сигнала с точностью порядка 0.5 нс. Функцию обеспечения этой временной привязки в системе выполняет Блок Задержек, функциональная схема которого приведена на Рис.11.

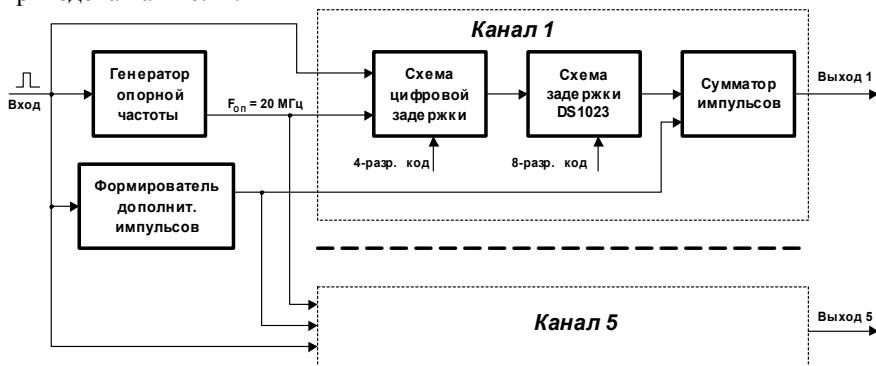


Рис. 11. Функциональная схема Блока Задержек.

На вход блока приходит внешний синхроимпульс, жестко привязанный к моменту инъекции пучка. Этот импульс поступает одновременно на формирователь первых двух импульсов пачки и собственно схему задержки, формирующую третий импульс пачки. Задержка задается программно 12-разрядным кодом и формируется двумя последовательно соединенными схемами задержки – цифровой задержки и задержки, выполненной на микросхеме DS1023 фирмы Texas Instrument. Цифровая задержка

представляет собой программируемый счетчик на основе PLD Altera, отсчитывающий заданное число периодов опорной частоты 20 МГц. Генератор опорной частоты запускается по приходу внешнего синхроимпульса на период времени около 2 мкс, в результате чего фаза опорной частоты оказывается жестко привязанной к переднему фронту этого импульса. Микросхема DS1023 обеспечивает диапазон задержки 63 нс при шаге 0.25 нс. Конечный диапазон величины задержки составляет 60÷800 нс. Такое построение Блока Задержек обеспечивает сочетание достаточно большого диапазона регулировки задержки с малым шагом при малых временных шумах. Один Блок Задержек содержит пять независимых каналов и позволяет обслуживать пять пикапов.

В качестве КАМАК контроллера в системе используется интеллектуальный Контроллер CM5307 [6]. Управление модулями КАМАК и обработка информации осуществляются Контроллером в реальном времени. Синхронизацию работы Контроллера с циклами инъекции обеспечивает Блок Синхронизации, генерирующий LAM запрос по окончании процесса регистрации сигналов.

5. Точность измерения положения пучка

Основными компонентами погрешности измерений положения пучка, определяющей воспроизводимость результатов измерений, являются:

- 1) погрешность, связанная с зависимостью результата измерения от температуры окружающей среды;
- 2) случайная погрешность, вызванная шумами;
- 3) погрешность, связанная с зависимостью результата измерения от заряда пучка;
- 4) погрешность, связанная с изменениями результатов измерения при смене блоков электроники.

Рассмотрим эти параметры более подробно.

5.1. Погрешность, связанная с зависимостью результата измерения от температуры окружающей среды

Основной причиной данной погрешности является наличие температурной зависимости коэффициентов передачи каналов Блоков Фильтров и АЦП, а также временных задержек, формируемых Блоками Задержек. Температурные изменения величины задержки приводит к изменениям результата измерения положения пучка, главным образом из-за неодинаковости длин кабелей, соединяющих противоположные пластины пикапа с каналами электроники, а также неодинаковости АЧХ каналов Блоков Фильтров.

Результаты экспериментального исследования данного типа погрешности приведены в Таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Название параметра	Ед. изм.	Величина параметра	
		Для электроники пикапов 300 МэВ Линака	Для электроники пикапов 510 МэВ Линака
Погрешность из-за нестабильности коэффициентов передач каналов	мкм/° С	не более 0.3	не более 1
Температурная нестабильность задержки	нс/°С	не более 0.03	
Зависимость результата измерения от величины задержки	мкм/нс	не более 20	не более 80
Погрешность из-за нестабильности задержки	мкм/° С	не более 0.6	не более 2.4
Суммарная погрешность, связанная с температурной нестабильностью	мкм/° С	не более 1	не более 3.5

5.2. Погрешность, вызванная шумами

Основными видами шумов, определяющими данную погрешность, являются:

- 1) амплитудные шумы и помехи в каналах обрабатывающей электроники;
- 2) шумы квантования АЦП;
- 3) шумы во времени импульсов запуска АЦП относительно сигналов с пикапов.

Экспериментальные исследования, проведенные с реальным пучком, показали, что определяющий вклад в величину рассматриваемой погрешности измерения вносят помехи на входах каналов обрабатывающей электроники. Отношение амплитуды сигнала к напряжению помех составило около 200 для пикапов 300 МэВ Линака при количестве частиц в пучке 1.5×10^{10} и около 40 для пикапов 510 МэВ Линака при количестве частиц в пучке 1.3×10^8 , что много меньше соответствующих значений отношения

сигнала к шуму. При этих же параметрах пучков измеренные среднеквадратичные величины погрешности измерения положения пучка (по разбросу результатов измерений, выполненных в течение определенного промежутка времени) составили ~20 мкм для пикапов 300 МэВ Линака и ~100 мкм для пикапов 510 МэВ Линака.

Аналогичные измерения среднеквадратичной погрешности измерения положения пучка были проведены с использованием сигналов Калибратора. При использовании сигнала Калибратора с амплитудой, эквивалентной амплитуде сигнала от пучка с 1.5×10^{10} частиц измеренная величина погрешности составила около 4 мкм.

5.3. Погрешность, связанная с зависимостью результата измерения от заряда пучка

Основной причиной зависимости результата измерения от заряда пучка являются нелинейности амплитудных характеристик регулируемых усилителей, аттенюаторов и перемножителей, используемых в Блоках Фильтров. Для изучения данного эффекта были проведены специальные измерения с реальным пучком. Регулировка величины сигналов, подаваемых на входы Блоков Фильтров, осуществлялась при помощи специальных аттенюаторов в диапазоне 30 дБ. Проведенные тесты показали, что разброс измеренных координат пучка не превысил 12 – 15 мкм для пикапов 300 МэВ Линака и 30 – 35 мкм для пикапов 510 МэВ Линака.

5.4. Изменения результатов измерения при смене блоков электроники

Разброс коэффициентов передачи каналов обрабатывающей электроники является причиной изменения результатов измерения при смене блоков электроники. Этот разброс составляет порядка $0.5 \div 1\%$ для Блоков Фильтров, разработанных для пикапов 300 МэВ Линака, $2 \div 3\%$ для Блоков Фильтров для пикапов 510 МэВ Линака и не более 0.5% для блоков АЦП. Для уменьшения влияния этого разброса на точность измерений были проведены калибровки всех Блоков Фильтров и АЦП и составлены специальные калибровочные таблицы. Для идентификации блоков каждому из них присвоен собственный номер, который запрограммирован в PLD ALTERA и может быть прочитан с помощью специальной КАМАК команды. В итоге разброс результатов измерения при смене блоков электроники не превышает $10 \div 12$ мкм для Блоков Фильтров для пикапов 300 МэВ Линака и $30 \div 35$ мкм для Блоков Фильтров для пикапов 510 МэВ Линака.

5.5. Использование Калибратора для повышения точности измерений

Погрешности измерений, описанные в пп.5.1, 5.3, 5.4, можно заметно уменьшить, периодически проводя процедуры калибровок с помощью

Калибратора. В режиме калибровки в каждом Блоке Фильтров с помощью специальной КАМАК команды открывается ключ, через который на все каналы подается одинаковый тестовый сигнал. На основе измеренных амплитуд сигналов вычисляются поправочные коэффициенты для всех каналов. В настоящее время на программном уровне режим калибровки в системе не реализован, так как в этом нет особой необходимости. Но возможность реализации этого режима является тем резервом повышения точности измерений, который в случае необходимости всегда можно использовать.

6. Заключение

В апреле 2006г. новая электроника Системы измерения положения пучка была введена в эксплуатацию для работы с шестью пикапами форинжектора. Система позволяет проводить измерения положения, как пучков электронов, так и пучков позитронов, в диапазоне количества частиц в пучке $10^8 \div 5 \times 10^{10}$. Результаты измерения положения пучка используются для настройки системы коррекций траектории пучка в форинжекторе. Полностью всю Систему измерения положения пучка планируется ввести в эксплуатацию летом-осенью 2006г после установки в форинжекторе последних ускоряющих секций.

Литература

- [1] *М.С. Авилов, А.В. Акимов, А.В. Антошин и др.* Инжекционный комплекс ВЭПП-5, состояние работ // Труды XX российской ускорительной конференции RuPAC 2004, октябрь 4-9, 2004, Дубна, Россия.
- [2] 12-bit, 53 MHz sampling, analog-to-digital converter ADS807E.
<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ads807.pdf>
- [3] *Дементьев Е.Н., Зиневич Н.И., Шубин Е.И.* Система измерения положения пучка в разрезном микротроне-рекуператоре // Атомная энергия, т.93, вып.6, Москва, 2002, с.453-455.
- [4] *Бехтенов Е.А., Зиневич Н.И.* Измерение положения пучка в выпускной системе линейного ускорителя электронов ИЛУ-10 // Атомная энергия, т.93, вып.6, Москва, 2002, с.451-453.
- [5] DC-to-2.5 GHz high IP3 active mixer AD8343.
http://www.hamradioindia.com/datasheets/AD8343_a.pdf#search='AD8343'
- [6] *Мамкин В.Р.* Использование VME и САМАС контроллеров в составе EPICS, Новосибирск, 2001. - 10 с. (Препринт ИЯФ 2001-12, СО РАН).
- [7] *R. Traller, E. Medvedko, S. Smith, R. Aiello.* A two-bunch beam position monitor performance evaluation. // AIP Conference Proceedings, 1998, p.451.

Г.В. Карпов, А.С. Медведко

**Система измерения положения пучка
в форинжекторе ВЭПП-5**

G.V. Karpov, A.S. Medvedko

**Beam position measurement System
in VEPP-5 preinjector**

ИЯФ 2006-35

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев

Работа поступила 23.06. 2006 г.

Сдано в набор 23.06. 2006 г.

Подписано в печать 23.06.2006 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 1.0 печ.л., 0.8 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 35

Обработано на IBM PC и отпечатано
на ротапринтере “ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН”,
Новосибирск., 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11