

Координаты пучка определяются после каждого импульса. Погрешности определения положения пучка 0,5 мм, его координат — ~5% апертуры пикапа. Несимметричность каналов пикап-станции 2—3%. Потеря электронов в пучке не мешает определению его положения.

Авторы выражают благодарность В.Л. Ауслендеру за постановку задачи, А.А. Брызгину и Б.Л. Факторовичу за помощь в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ауслендер В.Л., Баженов О.Ю., Брызгин А.А. и др. Новые разработки ускорителей ИЛУ с энергией 5 МэВ и более. — Труды X Межд. сов. по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине. М.: ЦНИИатоминформ. 2001. с.51—55.
2. Брызгин А.А., Факторович Б.Л. Система автоматизированного управления ускорителем ИЛУ-10 в составе комплекса для пастеризации пищевых полуфабрикатов. — Там же, с. 357—360.

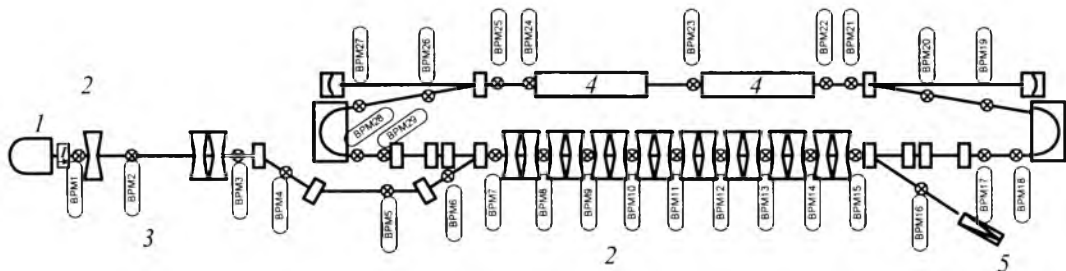
УДК 621.384.633.8

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА
В РАЗРЕЗНОМ МИКРОТРОНЕ-РЕКУПЕРАТОРЕ

Дементьев Е.Н., Зиневич Н.И., Шубин Е.И. (ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН)

В Сибирском центре фотохимических исследований введена в строй первая очередь лазера на свободных электронах. В отличие от полномасштабного проекта микротрона-рекуператора с восемью дорожками первая очередь имеет только одну, при этом ВЧ-система соответствует полномасштабному проекту [1]. Электронный пучок в инжекционный канал микротрона-рекуператора поступает из инжектора, введенного в строй ранее. Частота инжекции частиц может варьировать в пределах от 20 кГц до 22,5 МГц при длительности сгустка около 1 нс на выходе электронной пушки. Система измерения положения пучка построена по тем же принципам, что и описанная ранее система измерения для инжектора [2]. В отличие от последней она имеет большее число каналов и позволяет измерять присутствующий в резонаторном промежутке как ускоряемый, так и замедляемый пучок.

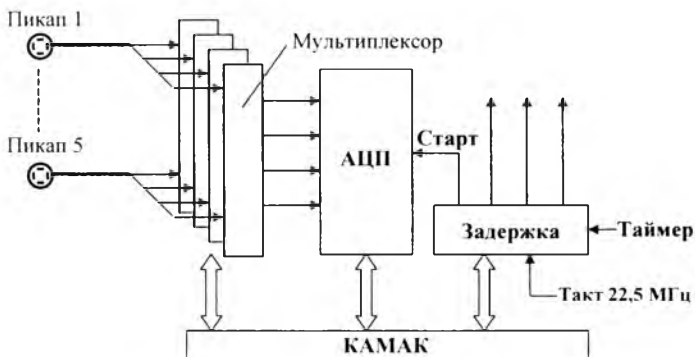
Структура системы. Для измерения поперечного положения пучка вдоль траектории его движения расположены 29 пикапов электростатического типа (рис. 1). Каждый пикап имеет четыре пластины с апертурой около 80 мм. Сигналы с плас-



Р и с. 1. Схема расположения пикапов системы измерения положения пучка в микротроне-рекуператоре: 1 — электронная пушка; 2 — ВЧ-резонаторы; 3 — инжектор; 4 — ондулятор; 5 — поглотитель пучка; ⊗ — пикап

тин всех датчиков выведены кабелями за пределы защищенного зала к месту расположения измерительной электронной аппаратуры.

Поперечная координата пучка в месте расположения каждого пикапа определяется путем одновременного измерения амплитуды импульсных сигналов с четырех пластин. Минимальный набор модулей, необходимый для измерений, представлен на рис. 2. Он содержит четыре блока мультиплексоров, 4-канальный АЦП



Р и с. 2. Блок-схема системы измерения положения пучка

и блок регулируемой задержки. Каждый мультиплексор имеет пять входных каналов, позволяя таким образом обслуживать до пяти пикапов. АЦП тактируется сигналом «старт», поступающим с блока задержки, по которому измеряются выходные сигналы мультиплексоров. Блок задержек сдвигает таймирующий сигнал, привязанный к сигналу управления модулятором пушки, на заданную задержку, позволяя настроить момент измерения на вершину импульса. С этой целью задержка сигналов в каналах измерения, а также электрическая длина кабелей от пластин данного пикапа выполнены одинаковыми. Диапазон регулирования задержки достаточен для компенсации задержек от пролета пучка, а также в кабельных трассах. Блок регулируемой задержки имеет четыре независимо регулируемых канала, что позволяет управлять работой четырех блоков АЦП.

В резонаторном промежутке присутствуют как ускоренный, так и замедленный пучок. Выбором соответствующей задержки можно настраиваться на измерение координат одного или другого пучка.

Процедура настройки измерений с каждого пикапа сводится к сканированию по времени задержки синхроимпульса, таким образом, фактически реализуется режим стробоскопического осциллографирования. Пример такой осциллограммы для одной из пластин первого пикапа приведен на рис. 3. Код задержки, соответствующий максимуму сигнала, заносится в базу данных и используется далее при выборе пикапа.

Элементы системы. В отличие от системы измерения положения пучка в инжекторе микротрона [2] описываемая система для однопорожечного микротрона-рекуператора имеет существенно большее число пикапов и соответственно каналов измерения. В связи с этим электронная аппаратура системы претерпела некоторые изменения.

Мультиплексор имеет пять одинаковых входов, через которые подключается выбранный пикап. Входные сигналы поступают на ключи из GaAs через одинаковые аттенюаторы с фиксированным ослаблением и фильтры нижних частот. Аттенюатор на входе введен для уменьшения отражений. Каждый вход гальванически развязан для уменьшения помех. Фильтр, с одной стороны, служит для растяжения коротких (< 1 нс) импульсов с пикапа до длительности в несколько наносекунд, которая может измеряться быстрым АЦП, с другой, он подавляет помехи от

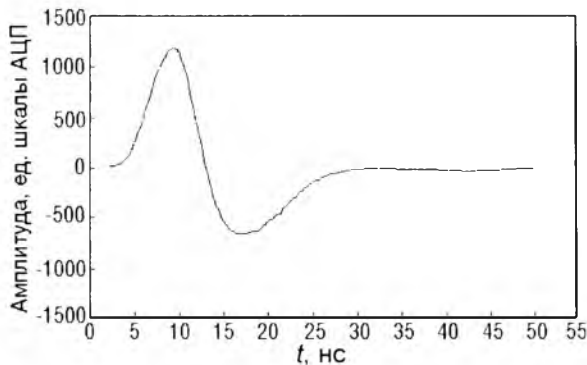
ВЧ-сигнала 180 МГц, которые могут поступать на вход с резонаторов, что особенно вероятно для пикапов, расположенных вблизи резонаторов. После ключей сигнал усиливается общим трактом, коэффициент передачи которого может изменяться с помощью ступенчатого аттенюатора на 30 дБ с шагом 2 дБ.

Аналогово-цифровой преобразователь представляет собой четырехканальный цифровой осциллограф с общим для всех каналов тактовым сигналом. На входе каждого канала — буферные усилители, сигнал с них поступает на входы АЦП. Параметры АЦП позволяют оцифровывать входные сигналы с временной дискретностью до 50 МГц и разрядностью 12 бит. Схема выборки и хранения АЦП обеспечивает полосу сигнала до 250 МГц в стробоскопическом режиме. Результаты измерений заносятся в ОЗУ, объем которого 32 К 12-битовых слов на канал.

Блок регулируемой задержки осуществляет синхронизацию работы АЦП с сигналом от электронного пучка. Сигнал таймера, синхронный с пуском инжектора, задерживается сдвиговым регистром на заданное число тактов внешнего генератора 22,5 МГц, далее он поступает на аналоговую схему задержки, позволяющую перекрыть временной диапазон 50 нс с дискретностью 0,2 нс. Таким образом линия задержки перекрывает временной диапазон 0,8 мкс с дискретностью в 200 пс в каждом из четырех независимых каналов.

Результаты. Система используется при наладке микротрона-рекуператора. Испытания показали, что шумы электронной аппаратуры дают возможность измерять координаты пучка с разрешением 50 мкм. Точность измерений, определяемая разбросом коэффициентов усиления каналов (1% после калибровки), сдвигами электрических центров пикапов, составляет 0,5—0,7 мм.

Конфигурация системы позволяет гибко программным путем варьировать режим ее работы. Для наблюдения динамики положения пучка АЦП используется в режиме цифрового осциллографа. В этом случае в его памяти содержится осциллограмма колебаний центра тяжести электронного сгустка. Спектральный анализ процесса позволяет локализовать дестабилизирующие факторы в ВЧ-системе, магнитной структуре или системе синхронизации. Для измерения равновесной траектории в ОЗУ АЦП накапливаются данные за длительное время, затем вычисляется среднее положение пучка.



Р и с. 3. Оциллограмма сигнала в одном из каналов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баклаков Б.А. и др. Первая очередь лазера на свободных электронах для Сибирского центра фотохимических исследований. — В сб.: Докл. 17-го сов. по ускорителям заряженных частиц, Протвино. 2000, т. 2, с. 298—301.
2. Batrakov A.M., Shilo V.V., Shubin E.I., Zinevich N.I. Beam position measuring system of the microtron injector. — In: Proc. XVII Intern. Conf. on High Energy Accelerators HEACC'98. Dubna, 1998. p. 135—137.