

## Система мониторинга пучков заряженных частиц в каналах транспортировки

В.А. Киселев, В.Р. Козак, Э.А. Купер, А.И. Науменков, В.В. Репков  
*Институт ядерной физики им Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия*

Для повышения эффективности работы сложных протяженных систем транспортировки пучков частиц требуется знание положения центра тяжести и распределения плотности пучка во многих сечениях вдоль его траектории. Для этого используются несколько типов однопролетных датчиков. Многообразие используемых в системах транспортировки датчиков пучка объясняется отсутствием некоторого идеального, обладающего следующими свойствами:

- минимальное воздействие на пучок (прозрачность);
- максимальное количество измеряемых параметров пучка, его пространственно-угловых характеристик и заряда в широком диапазоне изменения тока пучка;
- возможность простого включения этого датчика в систему автоматизированного измерения и управления с использованием ЭВМ.

Для решения траекторных задач, требующих расположения трех и более датчиков на половине волны бетатронных колебаний, предпочтительно использование прозрачных датчиков тока изображения [1].

Мониторы вторичной эмиссии (МВЭ), ввиду своей универсальности, получили наибольшее распространение в ускорительной технике. Их различные модификации, созданные за последние 20 лет, успешно используются для измерения тока, положения центра тяжести и профиля пучка заряженных частиц. Такие датчики просты и надежны, но они обладают низкой чувствительностью. Повысить чувствительность МВЭ можно с помощью микроканальной пластины, что влечет за собой заметное усложнение конструкции датчика.

В докладе рассматриваются электронные приборы для обработки сигналов, поступающих от МВЭ или от других, упомянутых выше, датчиков, выходными сигналами которых является заряд.

Измерители положения пучка (ИПП) устанавливаются недалеко от датчиков (2-5 м) вдоль каналов транспортировки пучка. Эти приборы осуществляют запоминание, оцифровку, хранение информации. Все преобразователи связаны одним кабелем, который подключается к специализированному интерфейсному модулю, расположенному в крейте КАМАК. По данному кабелю осуществляются обмен информацией между измерителями и ЭВМ, синхронизация (запуск) и питание приборов. Интерфейсный модуль может быть реализован в любом другом стандарте: VME, MULTIBUS и т.д. К одному интерфейсному модулю можно подключить до 15 измерителей.

### Технические характеристики измерителя:

- количество каналов измерения - 32
- разрешающая способность (по заряду) - 1 фК
- разрядность АЦП - 14
- динамический диапазон измерителя - 1 фК – 0,5 нК
- диапазоны чувствительности - 1, 4, 16, 64
- размеры преобразователя - 200 \* 200 \* 50 мм
- мощность, потребляемая преобразователем - 2.5 Вт.

### Основные характеристики системы сбора информации:

- датчики используются в основном в каналах транспортировки пучков заряженных частиц, поэтому частота повторения относительно невелика (не более 50 Гц);
- разрешающую способность (по заряду) измерителя желательно иметь предельно высокой, что позволяет увеличить прозрачность МВЭ и решать с их помощью траекторные задачи.
- датчики устанавливаются, как правило, вдоль канала транспортировки пучков, поэтому имеет смысл использовать для подключения регистрирующей аппаратуры один кабель.

## Методы измерения

Наиболее простым и естественным способом регистрации зарядов является запоминание их на емкостях с последующей коммутацией ко входу усилителя и далее к АЦП. Этот метод обладает столь же естественным ограничением. Дело в том, что при коммутации ключей происходит "наброс заряда" и, соответственно, флуктуации этого наброса, которые и определяют предельное разрешение данного метода.

Величина остаточного заряда при коммутации ключа определяется главным образом амплитудой управляющего напряжения на затворе коммутирующего транзистора и емкостью затвор-канал. Если мы оценим емкость 10 пФ и амплитуду управляющего сигнала 10 В, то наведенный заряд составит 0.1 нК.

Во всех электронных коммутаторах используется компенсация данного "наброса", и поэтому в качественных электронных коммутаторах остаточный заряд может составлять 0.1 пК. Обычно в справочных параметрах приводится эта цифра. Важно отметить, что при компенсации наведенного заряда не происходит уменьшения флуктуации (шумов) коммутации, напротив, шумы могут возрасти.

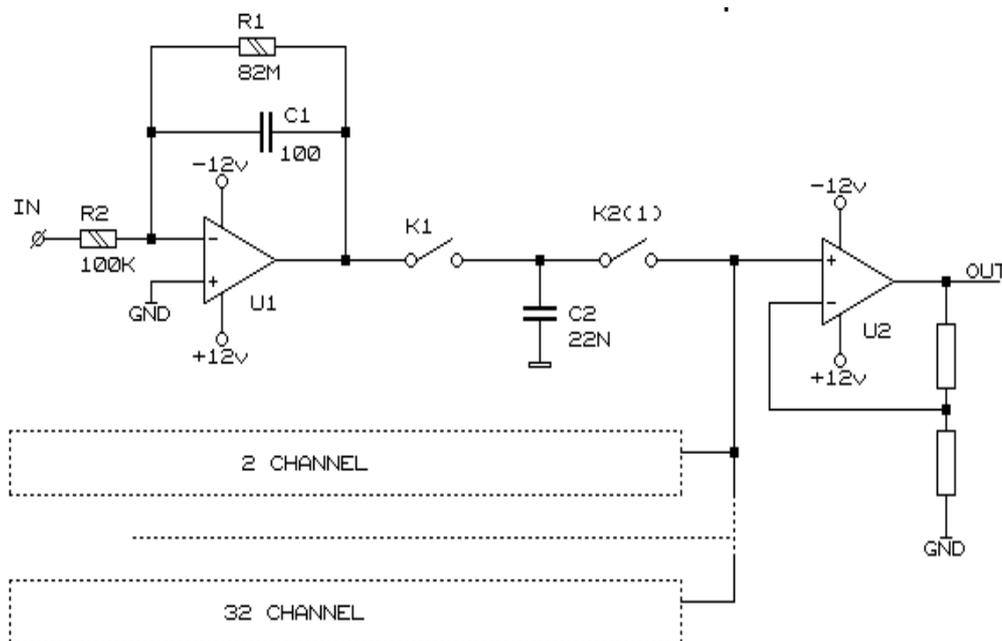


Рис. 1.

Шумы можно оценить как корень из количества носителей в наведенном заряде. В нашем случае шумы коммутации составят 30 - 60 фК, что с хорошей точностью соответствует измеренным значениям. Для того чтобы уменьшить влияние шумов коммутации, перед запоминающей емкостью установлен зарядочувствительный усилитель (рис.1). Усилитель охвачен интегрирующей обратной связью, поэтому в первом приближении величина емкости сигнальных проволочек датчика и соединяющих проводников не сказывается на чувствительности.

Схема работает следующим образом.

Заряд через резистор R2 поступает на вход интегратора и запоминается на емкости интегратора C1. Напряжение на выходе усилителя U1 становится равным  $U=C1*Q$ , после этого емкость разряжается через резистор R1. Постоянная времени разряда составляет несколько миллисекунд, что значительно меньше минимального периода запускающих импульсов, поэтому к следующему запуску емкость интегратора разрядится до пренебрежимо малого напряжения.

Посредством ключа K1 напряжение U запоминается на емкости C2, после чего посредством ключей K2(I) происходит последовательный опрос запомненных напряжений, усиление сигналов масштабным усилителем, оцифровка с помощью АЦП и запись полученной информации в ЗУ. Масштабный усилитель имеет 4 дистанционно-изменяемых коэффициента усиления – 1; 4; 16; 64.

Время запоминания сигнала сравнительно велико (100 мкс). Поэтому емкость C2 можно выбрать достаточно большой, чтобы шумы зарядов при коммутации ключей K1 и K2 приводили к пренебрежимо малым шумам запомненного напряжения.

## Система связи

Было принято решение ограничиться простой системой связи, ориентированной только на работу с данными ИПП.

Код в линии уравновешенный, длительность кодового импульса 800 нс. Каждая посылка начинается с "1", которая представляет собой положительный импульс длительностью 800 нс и амплитудой 5 В. Далее, "0" представляет собой отсутствие импульса, а каждая следующая "1" передается импульсом обратной полярности по отношению к предыдущему. Завершается посылка битом четности.

Обмен информацией между ИПП и контроллером осуществляется следующим образом.

Контроллер генерирует в линию посылку, состоящую из 14 битов, в которой определяется номер ИПП (4 бит), адрес ЗУ ИПП (6 битов), бит запуска и бит запись/чтение.

После этого, если генерируется команда записи (W/R=1), то контроллер без перерыва посылает одно информационное слово, если посылается команда чтения (W/R=0), то контроллер переходит в режим приема информации, а ответное слово генерирует выбранный ИПП. При наличии стартового бита (SB) происходит запуск всех или выбранного ИПП.

Таким образом, обмен информацией инициализирует только контроллер, что в данном случае не является ограничением, и позволяет обойтись без механизма анализа конфликтов в линии.

Помехозащищенность линии обеспечивается за счет контроля четности и проверки выполнения чередования полярности импульсов (после положительного импульса должен следовать отрицательный и наоборот).

Четыре бита (N1-N4) позволяют адресовать 16 модулей, но позиция с номером 15 обозначает групповую команду (каждый блок реагирует на свой номер и на номер 15), таким образом, к одному кабелю может быть подключено до 15 ИПП (номера 0-14).

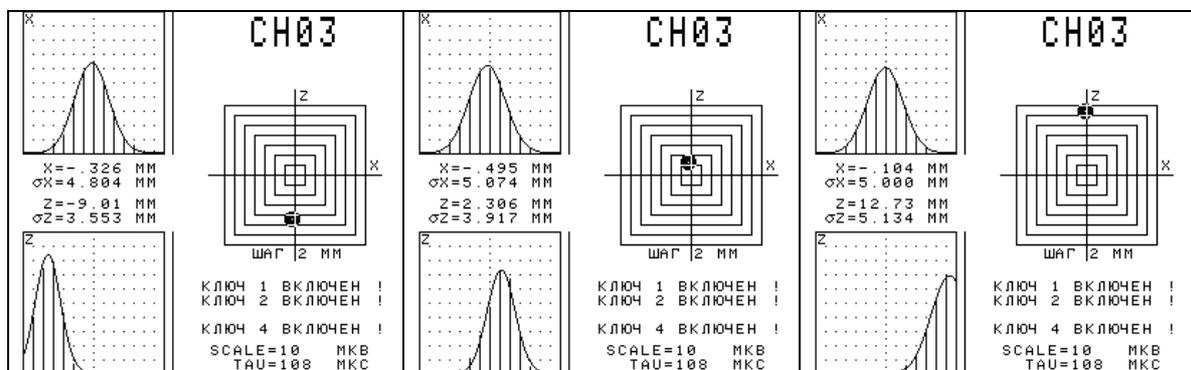
Адресное пространство ЗУ составляет 64 ячейки из которых в младших 32 ячейках хранится измеренная информация, из следующих 32 задействована одна ячейка, в которой размещен статусный регистр ИПП. В статусном регистре размещаются информация о задержке измерения относительно запуска (5 битов) и масштабный коэффициент усилителя (2 бита).

По этому же кабелю осуществляется питание измерителей. Среднее напряжение в линии составляет 18 -30 В. Каждый ИПП снабжен преобразователем, который вырабатывает необходимые напряжения.

## Контроллер

Как уже упоминалось, контроллер выполнен в стандарте КАМАК, хотя он легко может быть сделан в любом другом стандарте. Контроллер состоит из программируемой матрицы MACH210 в которой реализован протокол системы связи, и нескольких микросхем для организации КАМАК интерфейса. К контроллеру можно подключить две независимые ветви измерителей. Запуск всех ИПП может осуществляться от ЭВМ через КАМАК, либо по внешнему импульсу через разъем на передней панели контроллера. По сигналу внешнего запуска контроллер генерирует в линию соответствующую команду.

На рис. 2 представлены результаты измерений положения электронного пучка в канале ВЭПП-3 - ВЭПП-4. Величина перепускаемого тока 20 мА.



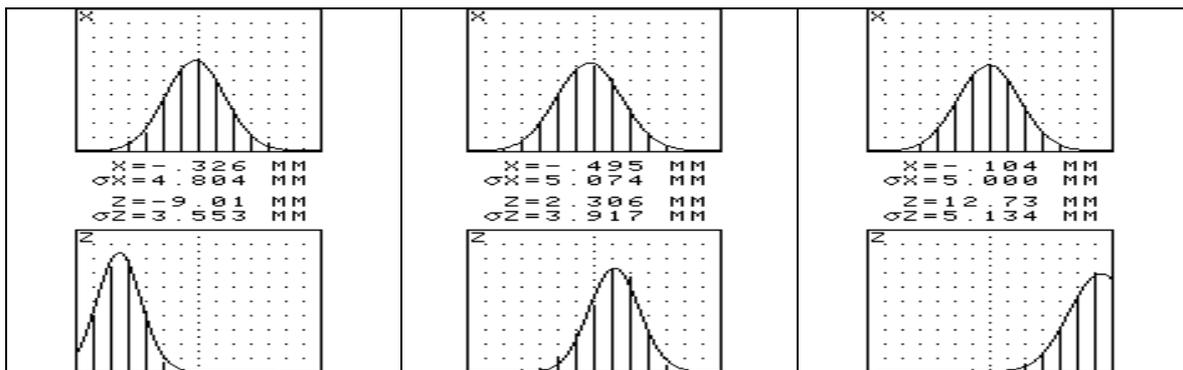


Рис. 2.

### Список литературы

- [1] Киселев В.А. и др. Автоматизированная система измерения и коррекции траектории пучка в канале ВЭПП-3 – ВЭПП-4М на основе датчиков тока изображения. - Труды XIV совещания по ускорителям заряженных частиц, т.2. Протвино, 1994, с.74-79.