

Система измерения замкнутой орбиты пучка протонного синхротрона ИФВЭ на 70 ГэВ

Н.А.Игнашин, И.Г.Морозов, В.И.Серебряков, Г.И.Столяров,
С.Э.Сытов, В.Г.Тишин, Е.Ф.Троянов

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

В 1992 году были начаты работы по созданию новой системы измерения замкнутой орбиты ускорителя У-70, включающие в себя изготовление пикап-электродов для новой вакуумной камеры и создание обрабатывающей электроники, обладающей большим динамическим диапазоном и точностью. Функциональная схема системы представлена на рис.1.

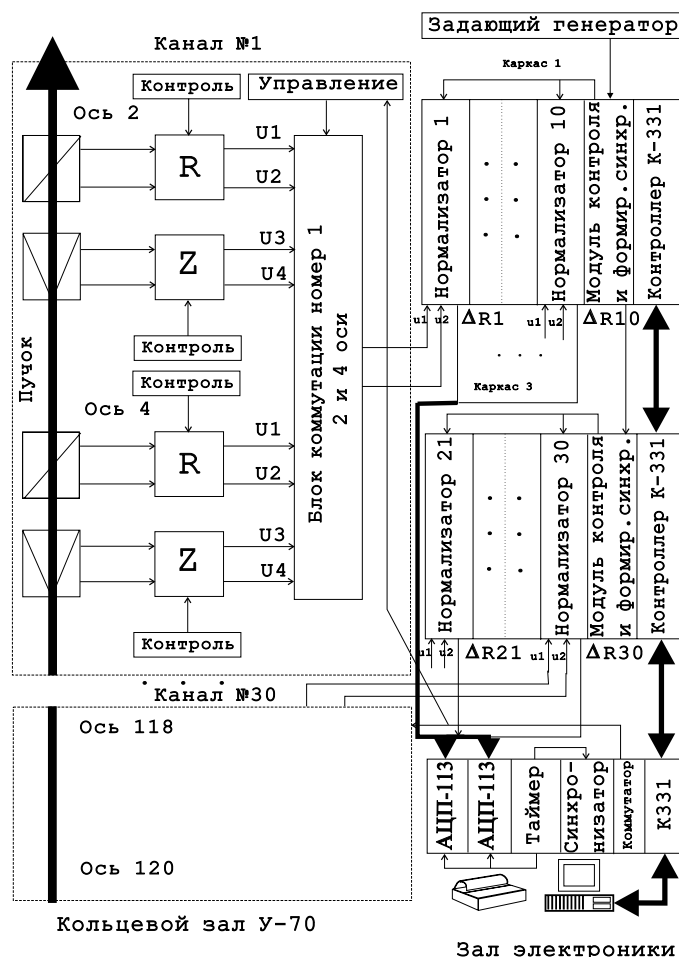


Рис. 1: Функциональная схема системы измерения орбиты.

В качестве датчиков положения пучка используются обычные разрезные пикап-электроды, конструктивно объединенные в блоки R/Z-электродов. Предусмотрено 60 точек измерения, равномерно распределенных по азимуту ускорителя (6 точек на длину волны бетатронных колебаний). Сигналы с каждой половины электродов двух соседних датчиков положения пучка, проходя повторители, поступают в один из 30 блоков коммутации, каждый из которых связан двумя магистральными кабелями с обрабатывающей аппаратурой, расположенной в зале электроники У-70. В блоке коммутации осуществляется выбор R/Z-направления и одного из двух датчиков. Переключение производится в паузе между циклами, и таким образом измерение орбиты в одном направлении осуществляется за два цикла работы ускорителя. Пришедшие из кольца сигналы с половинок пикап-электродов преобразуются в сигнал, пропорциональный положению пучка, с помощью 30 нормализаторов.

Схема нормализатора (рис.2) разработана в сотрудничестве с ЦЕРН на основе подобного модуля бустера PS [1].

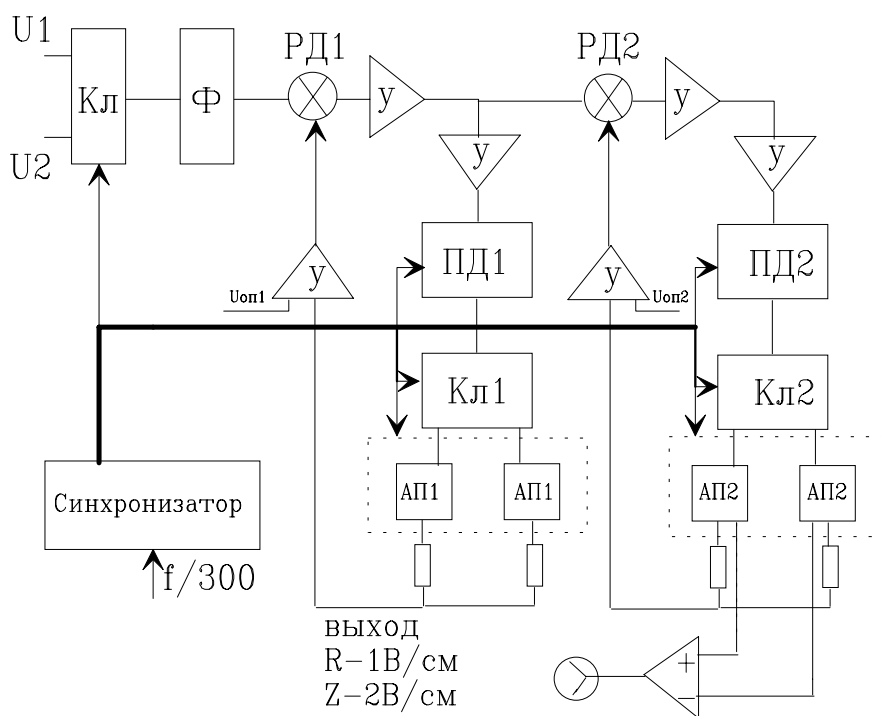


Рис. 2: Функциональная схема нормализатора.

В нормализаторе использован принцип поочередного пикового детектирования сигналов с пластин пикап-электродов при ограничении полосы сигналов пучка на входе устройства корректирующим фильтром. Сигналы с половинок пикап-электрода подаются на ключ (Кл), который осуществляет коммутацию между ними с $f = f_{RF}/300$. Далее сигнал проходит корректирующий фильтр Φ с полосой пропускания 5 – 6,5 МГц. Затем после промежуточных усилителей $У$ и пикового детектирования в блоке ПД1 сигнал поступает на ключ Кл1, который синхронизован с мо-

ментами переключения ключа Кл, и далее запоминается на двух аналоговых памятьх АП1. На одной из них запоминается пиковое значение сигнала с одной половинки пикап-электрода, а на другой памяти – с другой половинки. Эти сигналы складываются и через усилитель подаются на управляющий вход регулируемого делителя РД1, который стремится обеспечить такой коэффициент передачи, при котором сумма этих сигналов будет равна U_{on1} . Таким образом, сигнал на выходе РД1 оказывается нормализованным на интенсивность. Использование двух последовательно включенных каскадов нормализации позволило обеспечить большой динамический диапазон – 50 дБ. Частотная характеристика нормализатора имеет срез при $f = 1$ кГц. Нормализованная разность получается после вычитания сигналов с двух аналоговых памяти второго каскада. Имеется возможность контроля нормализаторов.

Конструктивно модуль выполнен в виде ячейки СУММА двойной ширины. Аппаратура занимает одну стойку, в которой установлены четыре корзины СУММА, в трех из которых находятся по десять ячеек нормализаторов и одна ячейка с модулем контроля работы нормализатора и множителем сигнала синхронизации от задающего генератора У-70. В четвертой корзине размещены системы таймирования (8 временных точек), синхронизации, коммутации, а также два АЦП. В системе применены 10-разрядные 16-канальные АЦП-113 [2], на которые приходят сигналы ΔR с нормализаторов. Один из входов АЦП используется для контроля интенсивности (в отсутствие интенсивности измерения прерываются). Цифровой сигнал поступает в ЭВМ IBM PC, которая обрабатывает данные, выводит их на дисплей или принтер, управляет процессом измерения, проводит контроль аппаратуры и поддерживает диалог с пользователем. В системе измерения для связи ЭВМ с каркасом СУММА применен контроллер крейта Камак/Вектор К-331 и адаптер персонального компьютера РС-03, разработанные в ИФВЭ [3].

Программа управления системой измерения замкнутой орбиты пучка написана на языке Паскаль с использованием Ассемблера для программирования аппаратуры каркасов и для оптимального выполнения наиболее критичных по времени исполнения операций, связанных с управлением системой. Операционная система, в которой была написана программа, MS-DOS. Как в большинстве современных программных продуктов, здесь реализован многооконный интерфейс, используются текстовый и графический режимы видеоадаптера, используется манипулятор “мышь”, организована интерактивная среда пользователя с контекстной справочной системой.

Программа выполняет следующие основные функции. *Ввод исходных данных:* организует ввод времен измерения, направления и статистики. *Измерения:* проводит измерения в установленном направлении и выбранных восьми временных точках с заданной статистикой в двух модах измерений: одиночной и многократной. В режиме измерений также реализован контроль нормализатора и входного блока. При контроле нормализатора в нем дистанционно с помощью встроенного генератора и точного делителя организуется режим, соответствующий изменениям ΔR на ± 40 мм. Контроль входного блока заключается в подаче на него контрольного сигнала, соответствующего нулевому смещению радиуса, и измерению сигнала разбалансировки (геодезические поправки здесь не учитываются). Полученные ошибки, обусловленные неидентичностью элементов системы, заносятся в специальный файл динамических поправок и учитываются при последующих орбитных измерениях.

ях. Как показала практика, временная стабильность этих поправок не хуже 1 мм. *Обработка результатов измерения*: проводит расчет орбиты по результатам измерения и формуле (1), а также расчет среднего радиуса и 9-, 10- и 11-й гармоник орбиты.

$$\Delta R = k_{ADC} \cdot k_{PE} \cdot \Delta R_{ADC} - \delta_D + \delta_G, \quad (1)$$

где k_{ADC} – коэффициент преобразования АЦП; k_{PE} – коэффициент, учитывающий тип электрода (R, Z, укороченный, нормальный и т.д.); ΔR_{ADC} – код АЦП, соответствующий положению пучка в этой азимутальной точке; δ_D – динамическая поправка; δ_G – геодезическая поправка, куда включена поправка электрического нуля электрода, погрешность его установки в боксе и отклонение в установке бокса от равновесной орбиты. *Вывод результатов*: производится в виде таблицы или в форме графика на дисплей. Имеется возможность вывода этой информации на принтер. *Сохранение результатов измерения*: на диске в виде файлов, используемых программой архивации. *Математика*: позволяет проводить простейшие математические операции над запомненными орбитами. Имеется набор сервисных утилит: программа, поддерживающая архив измеренных орбит, и программа установки и настройки оборудования системы.

Заключение

Создана и испытана на пучке новая система измерения орбиты. Достигнутая точность $\pm 1,5$ мм уже сейчас достаточна для ряда задач, связанных с настройкой ускорителя. Тем не менее, работы по повышению точности измерений и повышению надежности и быстродействия системы продолжают. Изготавливаются новые входные блоки на базе полевых транзисторов, взамен существующих ламповых, и новая система коммутации, которая позволит проводить измерения орбиты в одном направлении за один цикл работы ускорителя.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ЦЕРН Х. Козиолу (H. Koziol) и Д. Вильямсу (D. Williams) за плодотворное сотрудничество и помощь в разработке аппаратуры, а также сотрудникам ИФВЭ, принимавшим участие в создании и запуске этой системы.

Список литературы

- [1] Gelato G., Magnani L. "Improved radial pick-up electronics for use over a wide dynamic range". CERN MPS/INT.BR/75-8 16.6.1975.
- [2] Брук В.Л., Воробьев В.К., Тишин В.Г. – Препринт ИФВЭ 83-137, Серпухов, 1983.
- [3] Аввакумов И.А., Мамаков П.В., Матвеев М.Ю. – Препринт ИФВЭ 93-135, Протвино, 1993.