

МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ НА ВНУТРЕННИХ МИШЕНЯХ УСКОРИТЕЛЯ ИФВЭ

В. И. ГРИДАСОВ, А. А. КАРДАШ, О. В. КУРНАЕВ, Э. А. МЕРКЕР,
Л. Л. МОЙЖЕС, К. П. МЫЗНИКОВ, Н. М. ТАРАКАНОВ

Институт физики высоких энергий, Серпухов

Докладчик В. И. Гридасов

В настоящее время физические исследования на ускорителе ИФВЭ проводятся с пучками вторичных частиц, образующимися на внутренних мишенях. Для вывода частиц в определенный канал мишень в нужный момент цикла ускорения вводится в заданную точку вакуумной камеры, после чего производится наведение ускоренного пучка на нее. В зависимости от того с какой экспериментальной методикой проводятся исследования, наведение осуществляется медленно или быстро. Особенность каналов вторичных частиц ускорителя ИФВЭ состоит в том, что они работают в широком диапазоне импульсов. Чтобы обеспечить максимальную интенсивность частиц в канале при разных значениях импульсов на каждый канал работает по нескольку мишеней. При этом рабочий интервал мишеней в направлении радиуса составляет ± 5 см. Конструкции внутренних мишеней и систем наведения пучка на них разработаны с учетом этих требований.

Механизм, с помощью которого мишень вводится в вакуумную камеру, осуществляет два типа перемещений, медленное и быстрое. Узел медленного перемещения дает возможность изменять координаты мишени в вакуумной камере по радиусу в пределах ± 6 см относительно центральной орбиты, и по вертикали $\pm 1,5$ см относительно медианной плоскости. Узел быстрого перемещения осуществляет движение мишени за время 200—300 мсек из нерабочего положения, находящегося вне апертуры вакуумной камеры, в рабочее. Точность фиксации мишени в рабочем положении составляет 0,1 мм.

Получение растянутых во времени пучков вторичных частиц, необходимых для работ со счетной методикой, производится с помощью мед-

ленного наведения. Поскольку каналы вторичных частиц настраиваются на узкий интервал импульсов (менее 1%) медленное наведение ускоренного пучка на мишень осуществляется на плоской части магнитного цикла ускорителя. При длительности плоской части 1,5 сек стабильность магнитного поля на ней составляет $4 \cdot 10^{-4}$, а относительная величина амплитуд пульсаций преобладающих частот 25 гц, 50 гц и 150 гц на уровне 12 кэ не превышает $3 \cdot 10^{-5}$. Для выбора оптимального метода медленного наведения были проведены исследования характеристик ускоренного пучка при движении его на различных радиусах в течение плоской части магнитного цикла. На рис. 1 показана зависимость горизонтальных и вертикальных размеров пучка от его положения по радиусу относительно оси вакуумной камеры при поле 12 кэ. Пучок полностью теряется при смещении внутрь на три см и наружу на 2 см, что соответствует расчетному положению целого и параметрического резонансов. В промежутке между ними пучок испытывает возмущение, обусловленные действием нелинейных резонансов. Область, в которой можно производить смещение пучка по радиусу, очень узка, поэтому применение для наведения на мишень метода расширения (сжатия) орбиты исключается.

Для расширения рабочего диапазона смещений пучка по радиусу был использован метод локальных возмущений орбиты [1]. Он основан на возбуждении дополнительного поля в нескольких магнитных блоках, подобранных таким образом, чтобы создать локальное искажение орбиты протяженностью близкой к половине волны бетатронных колебаний. Форма искаженной орбиты показана на рис. 2. Кривая 1 соответствует случаю, когда искажение создается фокусирующими блоками, 2-дефокусирующими. Расчеты смещения частот бетатронных колебаний показали [2], что при искажениях, соответствующих кривой 1, сдвиг частот, обусловленные изменением градиента и действием нелинейных членов разложения магнитного поля, складываются. Однако, даже при амплитуде искажения ± 5 см, сдвиг частот не превышает $\pm 0,04$ (рис. 3 кривая 1). При возбуждении искажений с помощью дефокусирующих блоков сдвиги частот, обусловленные изменением градиента и влиянием нелинейных членов магнитного поля, компенсируют друг друга, так что суммарный сдвиг становится пренебрежимо мал (рис. 3, кривая 2). Таким образом, возбуждение локальных искажений с помощью дефокусирующих блоков позволяет расширить рабочую область мишеней по радиусу до ± 5 см без необходимости какой-либо коррекции магнитного поля.

Для создания искажений орбиты с амплитудой 5 см требуется возбуждать добавочное поле в блоках величиной $\frac{\Delta H}{H} = 3\%$. С этой целью используются существующие дополнительные обмотки. Блок-схема питания дополнительных обмоток показана на рис. 4. В качестве источников

питания используются управляемые тиристорные выпрямители. Напряжение на выпрямители подается от индукторных синхронных генераторов с частотой 1100 герц мощностью 260 ква. Система питания характеризуется высоким быстродействием и широким частотным диапазоном, верхняя граница которого равна 3300 герц. При медленном наведении токи в дополнительных обмотках регулируются по сигналу обратной связи, поступающему от датчика тока пучка на мишень. Широкий частотный диапазон системы питания позволяет обрабатывать изменения сигнала обратной связи в полосе частот до нескольких сот герц. На рис. 5 приведена осциллограмма изменения интенсивности вторичных частиц при медленном сбросе ускоренного пучка протонов на мишень. С помощью обратной связи удастся существенно ослабить влияние пульсаций магнитного поля на модуляцию плотности вторичных частиц. Продолжительность времени наведения пучка на мишень регулируется величиной опорного уровня, с которым сравнивается сигнал, поступающий с датчика интенсивности. Легко удастся получить длительность сброса пучка до 1,3 сек с глубиной модуляции плотности частиц во времени 10—20%. Времена переднего фронта и спада интенсивности составляют около 10 мсек, что позволяет эффективно использовать длительность плоской части магнитного цикла для последовательной работы нескольких близко расположенных каналов вторичных частиц, одновременная работа которых невозможна по радиационным и фоновым условиям. В настоящее время на плоской части магнитного цикла производится последовательный вывод вторичных частиц в два канала с растяжкой по 500 мсек. В ближайшем будущем планируется последовательный вывод частиц в три канала. Расширение рабочего диапазона мишеней по радиусу до ± 5 см позволило осуществить вывод вторичных частиц с различными импульсами под углами, близкими к нулевым, и обеспечить при сбросе на мишень 10^{12} протонов интенсивности π^- -мезонов в каналах с импульсом $40-60 \frac{\text{ГэВ}}{\text{с}}$ до $3 \cdot 10^5-10^4 \frac{\text{част}}{\text{имп}}$, а в интервале импульсов $20-40 \frac{\text{ГэВ}}{\text{с}}$, соответственно $7 \cdot 10^5-3 \cdot 10^5 \frac{\text{част}}{\text{имп}}$.

Для работы с пузырьковыми камерами осуществляется быстрый сброс ускоренного пучка на мишень за время порядка сотен мсек. Для этих целей используется система из двух магнитных дефлекторов, расположенных в прямолинейных промежутках, которые отстоят друг от друга приблизительно на расстоянии одной четверти длины волны бетатронных колебаний. При длине дефлекторов 1 м и поле в их зазоре до 1 кэ удастся путем изменения соотношения полей обеспечить на любом азимуте ускорителя смещения пучка по радиусу на величину, превышающую его полуширину (около 1 см). Быстрый сброс пучка осуществляется за счет разряда накопительных емкостей на обмотки магнитов. Чтобы перекрыть рабочий диапазон мишеней по радиусу ± 5 см работа системы быстрого сброса осуществляется совместно с рассмотрен-

ной выше системой медленного наведения. В этом случае с помощью системы питания дополнительных обмоток создаются трапецеидальные импульсы тока, нестабильность и пульсации плоской части которых не превышают 0,5%. Как видно из рис. 4, высота пьедестала этих импульсов регулируется с помощью магнитных датчиков тока путем изменения величин опорных ампервитков. Регулировкой уровня пьедестала осуществляется подвод ускоренного пучка к мишени, а быстрый сброс на мишень производится с помощью магнитных дефлекторов.

В заключение авторы выражают искреннюю признательность членкор. АН СССР А. А. Наумову за полезные обсуждения и содействие в работе, а также К. И. Козлову и С. В. Лобанову за большой вклад в создание системы медленного наведения пучка на мишень.

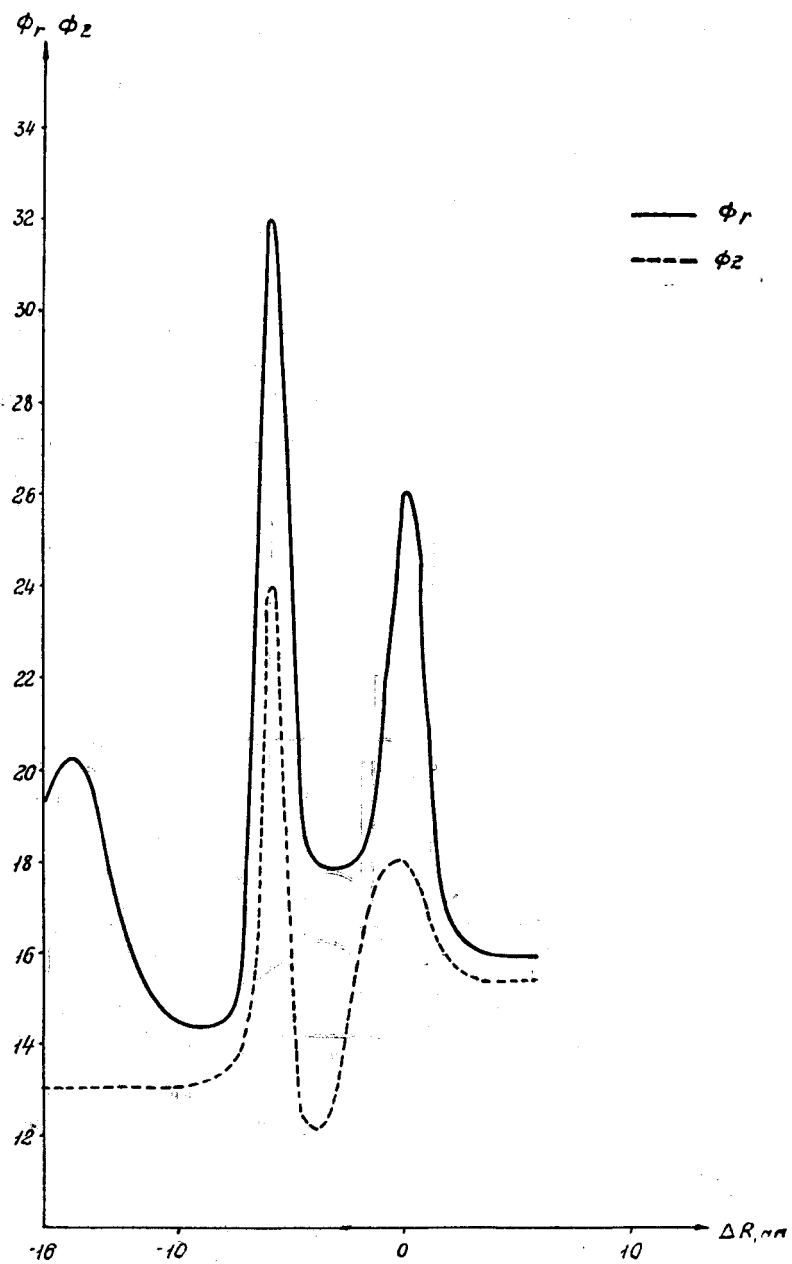


Рис. 1. Зависимость радиальных Φ_r и вертикальных Φ_z размеров пучка при его смещении по радиусу относительно оси вакуумной камеры ускорителя

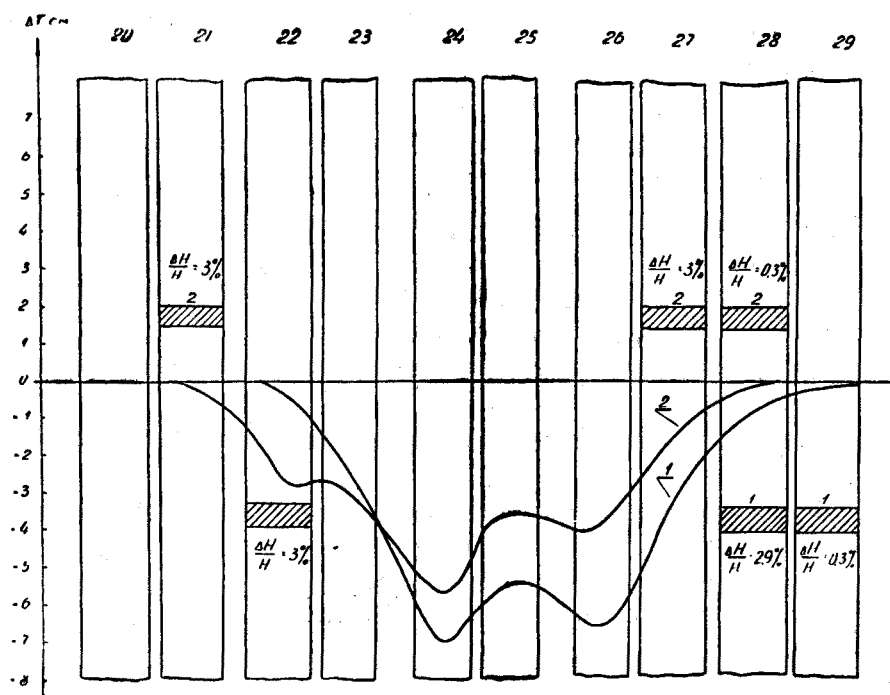


Рис. 2. Форма локального искажения равновесной орбиты. Кривая 1 соответствует возмущению поля в фокусирующих блоках. Кривая 2 — возмущению поля в дефокусирующих блоках

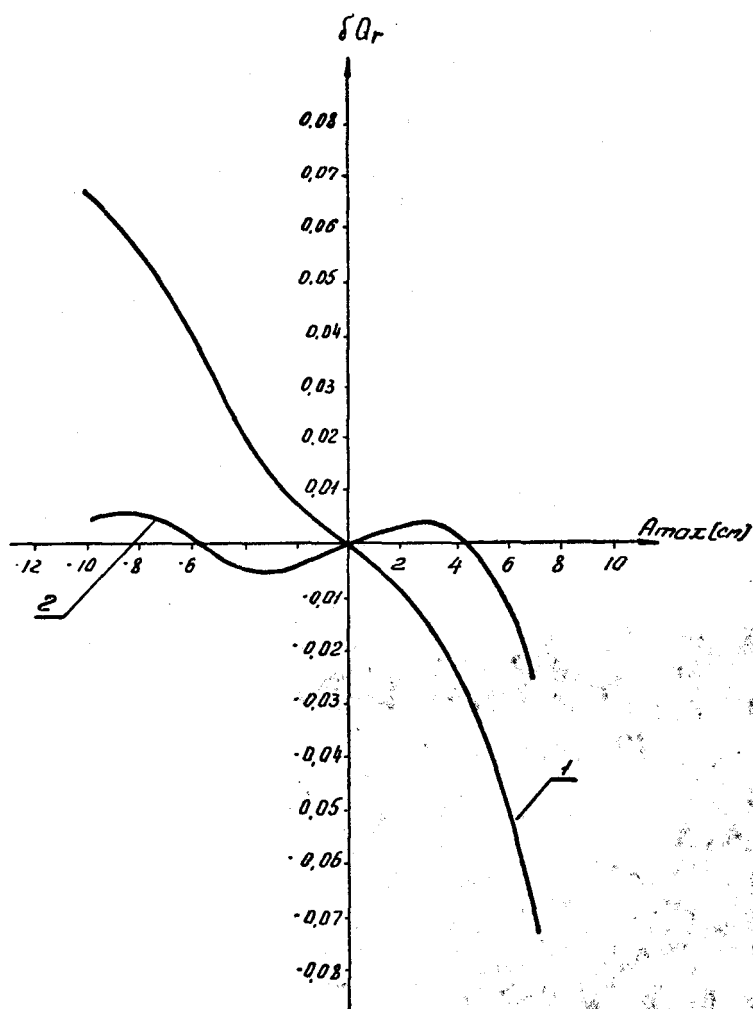


Рис. 3. Зависимость сдвига частот бетатронных радиальных колебаний при создании локального искажения равновесной орбиты. Кривая 1 соответствует возмущению поля в фокусирующих блоках, кривая 2—в дефокусирующих блоках.

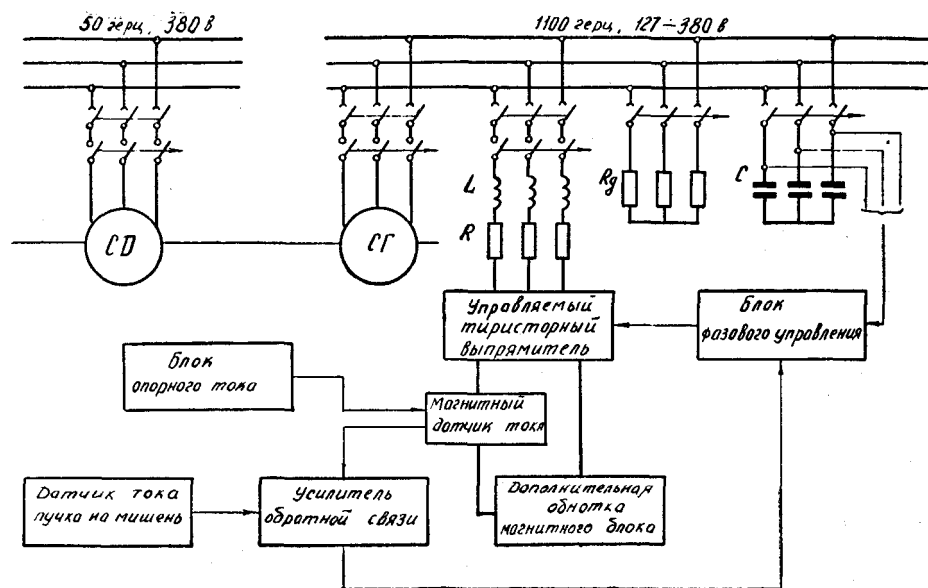


Рис. 4. Блок — схема питания дополнительных обмоток для создания локального искажения равновесной орбиты

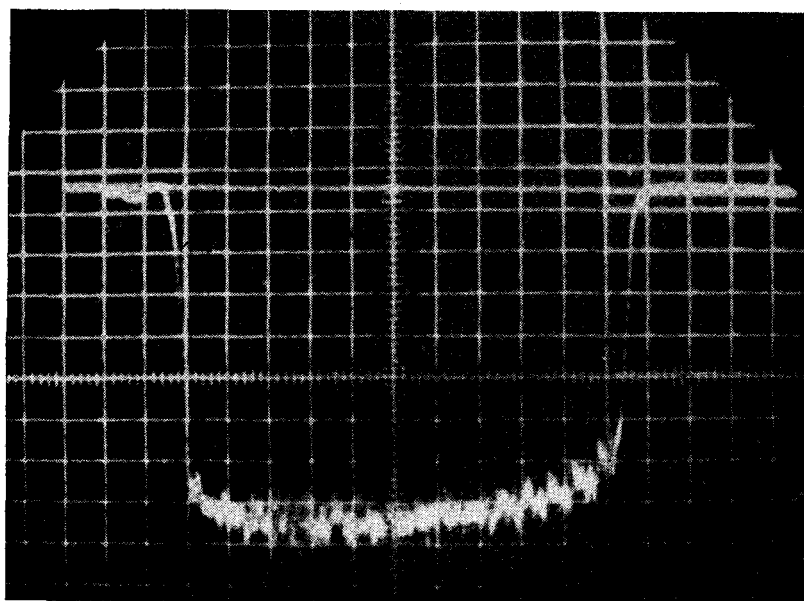


Рис. 5. Осциллограмма изменения интенсивности вторичных частиц при медленном наведении ускоренного пучка на мишень. Скорость развертки 40 мсек/деление

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. К. Н. Reich. *Progress in Nuclear Technigs and Instr.*, vol. 11, 163 1967.
2. В. И. Гридасов, К. П. Мызников. Препринт ИФВЭ 68—60 1968 г.

Д И С К У С С И Я

Казанский: Какова структура обратной связи, применяемой для обеспечения равномерности выведенного пучка?

Гридасов: Сигнал от монитора вторичных частиц поступает на вход управляемого тиристорного выпрямителя, регулируя закон изменения тока в дополнительных обмотках.

Гольдин: Я имею к докладчику два вопроса. Первый: может ли докладчик указать, какие именно резонансы приводят к увеличению поперечных размеров пучка?

Гридасов: Мы определили расчетную зависимость величин частот бетатронных колебаний от положения пучка внутри вакуумной камеры. Координаты пучка, при которых его размеры увеличиваются, соответствуют расчетным положениям линий резонансов вида

$$\begin{aligned} 2Q_z + Q_r &= 29 \\ 2Q_r + Q_z &= 29 \\ 2Q_r + 2Q_z &= 39 \end{aligned}$$

Гольдин: Второй вопрос. Названные Вами сдвиги частот определены путем измерений или расчетом?

Гридасов: Согласно расчетам сдвиг частот не превосходит 0,01 когда локальные искажения вводятся в дефокусирующие блоки. В настоящее время у нас нет прибора, с помощью которого мы могли бы измерить величины частот с точностью, лучшей 0,01.

Barbalat: Is the 1.1 kHz frequency mentioned for the power supply, the bandwidth of the generator, or do you effectively use a 1.1 kHz main supply to suppress lower frequency ripple?

Гридасов: Использование трехфазных генераторов с частотой 1100 гц для питания тиристорного выпрямителя позволяет эффективно обрабатывать пульсации на столе магнитного поля ускорителя.

Гольдин: (ко всем присутствующим). Как обстоит дело с расширением пучка при приближении к нелинейным резонансам на других ускорителях с жесткой фокусировкой?

Barton: We don't see the influence of the cubic resonance.

Plass: At CERN corresponding resonances have been observed. Brouzet (CERN Int report) has measured similar curves of beam size versus mean radial beam position at various energies.

Von Holtey: We have calculated the effect of such a quadratic coupling resonance to the beam in the CERN-PS structure.

The results were: 1). A rather distinct separation of a significant fraction of the particles of the main beam,

2). A blow-up of the emittance by a factor of two not including the particles mentioned before. Although this calculations were undertaken in the very non-linear field of current strip the results should be present more or less in the case of a normal sextupole field.

Barbalat: Yes. Similar measurements have been made by Brouzet and published in an internal CERN report.