

18  
М94



К.П. Мызников, И.Н. Яловой

1077

ВЫВОД ПУЧКА НА МИШЕНЬ  
В СИНХРОФАЗОТРОНЕ  
ПОСРЕДСТВОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ  
АЗИМУТАЛЬНОЙ АСИММЕТРИИ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ

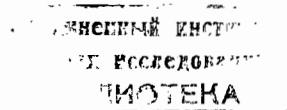
*ДТДЭ, 1963, №4, с19-21.*



К.П. Мызников, И.Н. Яловой

1077

ВЫВОД ПУЧКА НА МИШЕНЬ  
В СИНХРОФАЗОТРОНЕ  
ПОСРЕДСТВОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ  
АЗИМУТАЛЬНОЙ АСИММЕТРИИ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ



Дубна 1962 год

### А н н о т а ц и я

Описана система, примененная на синхрофазотроне Объединенного института ядерных исследований для вывода ускоренного пучка на мишень путем возбуждения первой гармоники азимутальной асимметрии магнитного поля. Возмущающее поле создается в конце цикла ускорения с помощью обмоток, намотанных на каждом из 4-х секторов кольцевого магнита. Импульс тока подается в обмотку от батареи конденсаторов, которая разряжается на нее в нужный момент цикла ускорения. Система позволяет выводить весь пучок или его часть за время  $10 \div 40$  мсек. Попадание пучка на мишень происходит на нарастающей части токового импульса, при этом максимальное значение тока в импульсе не превосходит 200 а. Указаны возможности применения метода на синхрофазотронах.

В синхрофазотроне с прямолинейными промежутками азимутальная неоднородность магнитного поля приводит к сильному возмущению движения частиц. Действие азимутальной асимметрии подробно рассмотрено в работах<sup>/1,2/</sup>. Было показано, что возбуждение азимутальной неоднородности магнитного поля как в прямолинейных промежутках, так и в секторах кольцевого магнита, приводит к искажению формы мгновенных орбит. При этом свободные радиальные колебания частиц около искаженных орбит происходят так же, как около симметричных. С помощью подобных возмущений в ускорителях с кольцевым магнитом производится вывод ускоренного пучка на мишень, помещенную внутри вакуумной камеры<sup>/3,4/</sup>. Для этого в конце цикла ускорения посредством возбуждения азимутальной асимметрии магнитного поля искусственно искажают форму орбиты таким образом, чтобы максимальное отклонение от симметричной орбиты приходилось на азимут, вблизи которого расположена мишень. Время, в течение которого происходит соударение пучка с мишенью, определяется скоростью нарастания амплитуды искажения во времени. На космотроне и бэватроне быстрый сброс пучка на мишень был осуществлен за счет создания в одном из прямолинейных промежутков сильного возмущения с помощью безжелезного магнита<sup>/5,6/</sup>. Малая индуктивность безжелезного магнита позволила получить большие скорости нарастания искажения. Однако амплитуда возмущающего поля должна быть в этом случае очень велика.

В настоящей статье описывается система, примененная для вывода ускоренного пучка на мишень в синхрофазотроне Объединенного института ядерных исследований. Азимутальная неоднородность магнитного поля создавалась здесь в секторах кольцевого магнита. Как известно<sup>/2/</sup>, при возбуждении азимутальной неоднородности вида  $h(\theta) = h_1 \sin(\theta + a)$  отклонение по радиусу искаженной орбиты от симметричной в синхрофазотроне на 10 Бэ. приближенно описывается соотношением:

$$\rho = R \frac{h_1}{0,84 - \chi^2} \sin(\theta + a) . \quad (1)$$

Здесь  $h_1$  - отношение амплитуды искажения к напряженности магнитного поля в зазоре ускорителя,  $R$  - радиус мгновенной орбиты,  $\chi^2 = 1 - n$ , где  $n$  - показатель магнитного поля,  $\theta = \frac{s}{\Pi}$ , где  $\Pi$  - периметр,  $s$  - текущая координата вдоль длины мгновенной орбиты,  $a$  - некоторая фаза искажения. На рис. 1 показан вид искажения магнитного поля, которое создавалось с помощью обмоток, намотанных вокруг полюсов каждого сектора кольцевого магнита. На этом же рисунке дано соответствующее ему искажение формы орбиты. Как видно из рисунка, обмотки на первом и четвертом секторах (номера секторов указываются по направлению движения пучка) включены навстречу обмоткам второго и третьего сектора. Такое включение секторов выбрано по следующим причинам. Во-первых, создаваемое искажение магнитного поля содержит сильно выраженную первую гармонику, которая оказывает наибольшее возмущающее действие. Во-вторых, форма искаженной орбиты в этом случае имеет максимальное отклонение в районе прямолинейных промежутков, расположенных между вторым и третьим, а также между первым и четвертым секторами. Именно на этих азимутах расположено большинство мишеней, работающих в синхрофазотроне. С другой сто-

роны, при возбуждении в секторах нарастающего во времени искажающего магнитного поля в основной обмотке электромагнита возникают импульсы перенапряжения. Поскольку основные обмотки секторов магнита подключены к источнику питания в порядке 2-1-3-4, то при указанном выше порядке включения возбуждающих обмоток (рис. 1) перенапряжения в секторах будут действовать навстречу друг другу. При этом на концах обмотки и в точке между секторами 1 и 3 (нулевая точка источника питания) величина наводимого напряжения близка к нулю, а в точках между секторами 2 и 1, а также 3 и 4, оно не превосходит по величине амплитуды импульса перенапряжения в одном секторе. Такое распределение перенапряжения в основной обмотке является благоприятным с точки зрения режима работы источника питания основной обмотки. Импульс тока в возбуждающую обмотку подавался по схеме, показанной на рис. 2. Батарея конденсаторов в промежутке между циклами ускорения заряжалась до напряжения  $V_0$ . В нужный момент цикла ускорения с помощью запускающего импульса поджигался тиратрон  $T_1$ , включенный последовательно с возбуждающей обмоткой, и в ней происходило нарастание тока по синусоиде, период которой определялся индуктивностью обмотки  $L$  и емкостью батареи конденсаторов  $C$ . Величина смещения на сетке тиратрона  $T_2$  подбиралась такой, чтобы при достижении амплитудного значения тока, он автоматически поджигался. С момента поджига тиратрона  $T_2$  ток в обмотке экспоненциально затухал. Суммарная индуктивность обмотки возбуждения, состоящей на каждом квадранте из 10 витков, равнялась 0,09 гн. Обычно рабочие мишени располагаются в камере синхрофазотрона в пределах  $\pm 25$  см по радиусу от центральной орбиты. Для того, чтобы максимальное отклонение искаженной орбиты достигло такого значения, величина амплитуды возмущающего поля в каждом секторе, как следует из выражения (1), должна составлять  $\sim 60$  эрстед. Поэтому амплитудное значение тока в обмотке составляет около 200 а. Скорость нарастания тока варьировалась путем изменения величины  $C$  и зарядного напряжения  $V_0$ . Например, при выводе пучка на мишень в течение 10 мсек, емкость батареи  $C$  составляла 2000 мкф., при  $V_0$ , равном 2 Кв. Типичная осциллограмма производной магнитного поля в секторах при включении импульса тока в возбуждающую обмотку дана на рис. 3. Для того, чтобы обеспечить вывод пучка на мишени, расположенные на радиусе, как большем, так и меньшем центрального, производилось изменение фазы искажения на  $180^\circ$ . Это достигалось путем переключения концов обмотки с помощью рубильника  $P$  (рис. 2).

Экспериментальная проверка подтвердила правильность расчетов, произведенных по формуле (1). На рис. 4 приведена осциллограмма тока частиц на мишень, расположенную на расстоянии 20 см от центральной орбиты, при включении в возбуждающую обмотку тока, нарастающего в течение 20 мсек до амплитудного значения 150а. При выводе пучка на мишень в процессе ускорения импульс, показанный на рис. 4, содержит высокочастотную структуру с периодом, равным периоду обращения частиц, и структуру пульсаций магнитного поля. Однако включение возбуждающего поля можно производить после прекращения ускорения, увеличивая или уменьшая радиальную скорость смещения пучка на мишень. В этом случае пучок за счет разброса частиц по энергиям успевает равномерно заполнить все азимуты, и высокочастотная структура будет ликвидирована. С помощью описанной схемы можно выводить на мишень как весь ускоренный пучок, так и его часть. Время спада тока в обмотке возбуждения после поджига тиратрона  $T_2$  составляет 30-40 мсек.

Амплитуду возмущения можно выбрать такой, что на мишень попадает только часть частиц, имеющих большие радиальные колебания. Оставшиеся частицы после спада тока будут продолжать нормально ускоряться и могут быть использованы для вывода на эту же, или другую мишень в последующие моменты цикла ускорения. Если две мишени расположены на разных азимутах и занимают такое положение по радиусу, что искаженная орбита одновременно касается их обоих (рис. 1), то работа с таких мишеней может производиться одновременно.

Рассмотренный метод позволяет осуществить медленный вывод пучка на мишень при значительно меньших значениях тока и напряжения, чем те, которые требуются при возбуждении азимутальной асимметрии в прямолинейном промежутке. Это упрощает техническое решение задачи. Однако он пригоден лишь для получения растянутых во времени импульсов вторичных частиц, длительностью 10-40 мсек. Другое важное применение метода заключается в выводе ускоренного пучка на мишень при высокочастотной сепарации частиц<sup>17/</sup>, Как известно, в этом случае требуется осуществить медленное смещение ускоренного пучка на мишень. Поскольку частота ускоряющего напряжения при этом постоянна, описанный метод является единственно приемлемым для этих целей.

При увеличении скорости нарастания тока величины перенапряжений, возникающих в основной обмотке магнита, превосходят предельно допустимые значения. В силу этого время соударения пучка с мишенью не может быть сделано менее 3 мсек. Однако это ограничение можно устранить, если витки возбуждающей обмотки расположить на полюсах магнита внутри вакуумной камеры по схеме, показанной на рис. 5. Здесь цифрой I обозначена возбуждающая обмотка, охватывающая рабочую область. Обмотка II помещается в нерабочей области и включается навстречу обмотке I. Эксперименты, проведенные на модели магнита синхрофазотрона показали, что при равенстве магнитных потоков, создаваемых обмотками I и II можно практически полностью устранить перенапряжения в основной обмотке.

Авторы пользуются случаем выразить глубокую благодарность Л.П. Зинovieву и Л.Н.Беляеву за полезные обсуждения, Е.В. Жильцову и М.Н. Никитаеву за помощь при проведении экспериментов на синхрофазотроне и А.И. Крюкову, принимавшему участие в изготовлении и наладке аппаратуры.

#### Л и т е р а т у р а

1. М.С. Рабинович. Труды ФИАН СССР, 1958, X, 23.
2. Н.Б. Рубин. Диссертация. 1961, Дубна.
3. J.S. Clark, I.A. Getting, T.E. Thomas, Phys. Rev. 1946. 70, 562.
4. F.K. Goward, J. Dain Nature 1947, 158, 636.
5. G.R. Lambertson, Bevatron operation and development, UCRL - 8334, 1958, Berkeley.
6. D.C. Rahm, Rev. Scient. Instr, 1961, 32, 1116.
7. В.Н. Зубарев, В.С. Кладницкий и др. Препринт ОИЯИ, Р-371, 1959, Дубна.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 августа 1962 года.

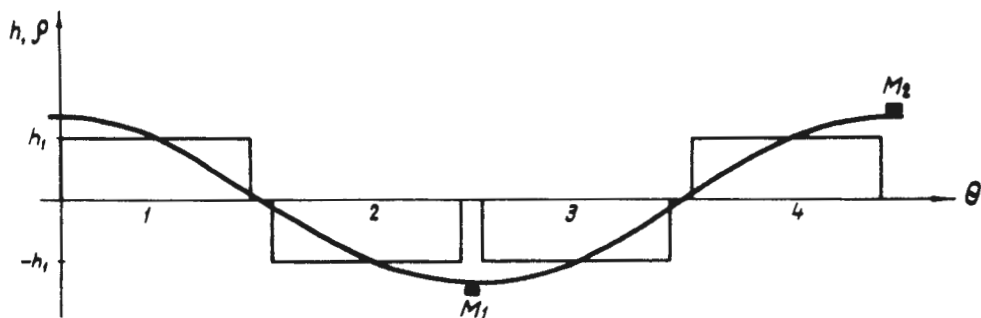


Рис. 1. Вид создаваемой азимутальной неоднородности магнитного поля и форма искаженной орбиты. Номера секторов указаны по направлению движения пучка  $M_1$  и  $M_2$  - мишени.

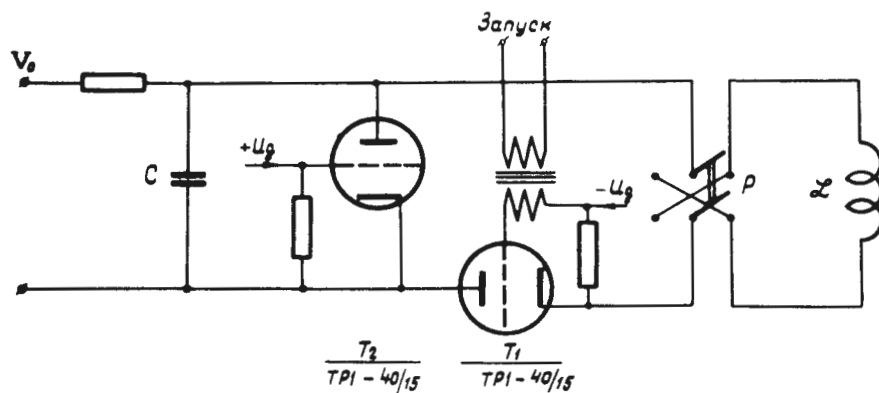


Рис. 2. Схема питания обмоток.

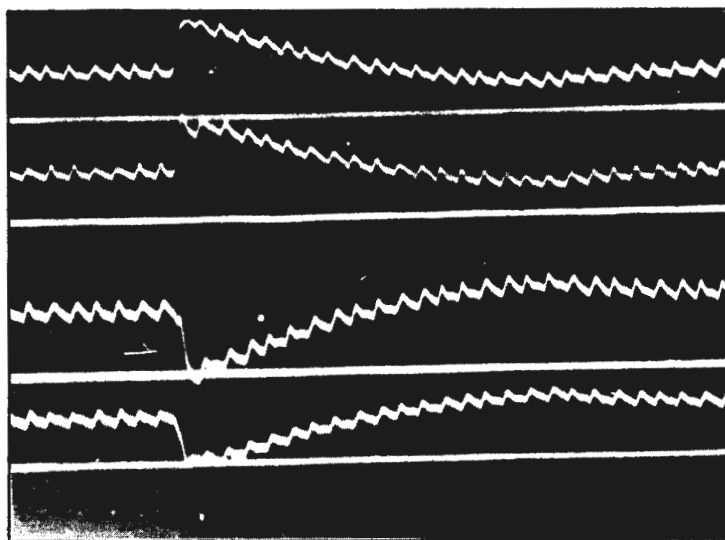


Рис. 3. Осциллограммы производной магнитного поля в секторах при включении возмущающего поля. Сверху вниз: 1 сектор, 4 сектор, 2 сектор, 3 сектор.



Рис. 4. Осциллограмма тока частиц на мишень. Длительность развертки 25 мсек.

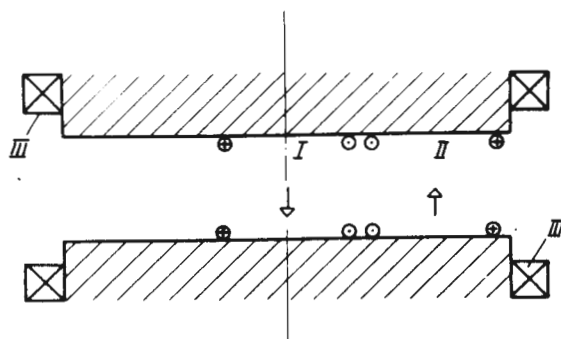


Рис. 5. Расположение обмоток на полюсах магнита, позволяющее устранить перенапряжения в его обмотке питания (III). Стрелками указаны направления магнитных потоков, создаваемых соответственно рабочей обмоткой I и компенсирующей обмоткой II.