

Магнитометрическая и светотехническая диагностика пучка нуклотрона

М.А.Воеводин, Ю.В.Гусаков, А.А.Ларин, Е.А.Матюшевский, А.В.Шабунов
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Среди большого набора диагностической аппаратуры, используемого на современных ускорителях заряженных частиц синхротронного типа, для измерения основных параметров пучка помимо пикапэлектродов часто используется магнитометрическая и светотехническая аппаратура [1]. Она позволяет измерять такие параметры пучка как:

- продольный и поперечный профиль пучка и его положение относительно камеры ускорителя,
- интенсивность и плотность пучка,
- величину импульсного и среднего тока пучка.

Магнитометрическая аппаратура, используемая на нуклотроне, состоит из импульсного магнито-индукционного датчика (МИД) и магнитомодуляционного датчика (ММД). Они имеют ряд существенных преимуществ:

- прозрачность для исследуемого пучка,
- полная защищенность от воздействия частиц ионизации остаточного газа,
- способность работы в изоляционном вакуумном пространстве, что особенно важно для сверхпроводящих ускорителей,
- обеспечивают работу в широком интервале частот (0...10 МГц),
- обладают возможностью оперативной калибровки, что повышает точность измерения.

Конструкция датчиков приведена на рис. 1. Они расположены в едином корпусе, изготовленном из магнитомягкой стали. Между датчиками имеется магнитный экран.

Магнито-индукционный датчик включает в себя магнитный сердечник (1), измерительную обмотку из 30 витков, виток для калибровки (3), электромагнитные экраны (6, 7) и каркас (8).

Низкочастотный датчик (ММД) состоит из двух тороидальных сердечников (2), двух обмоток возбуждения (4), измерительной обмотки (5) и витка для калибровки. Датчик имеет дополнительную защиту от внешних магнитных полей, выполненную в виде двух цилиндров, с внутренней и внешней стороны (9). Они изготовлены из ленты аморфного сплава. Датчик крепится на каркасе (10).

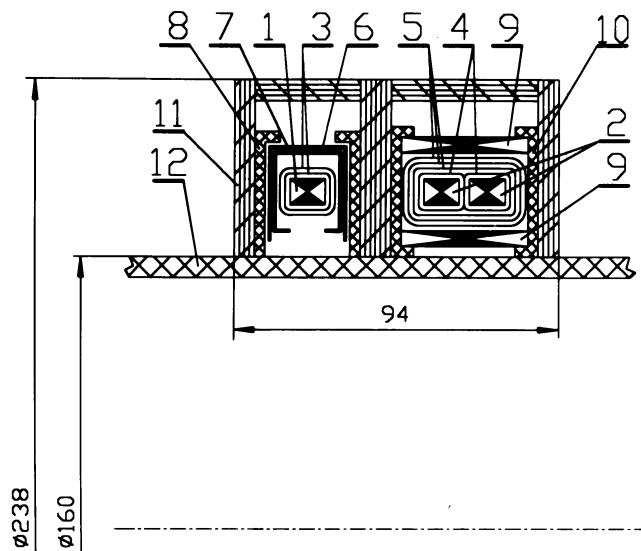


Рис. 1:

Оба датчика имеют дополнительную экранировку из нескольких слоев ленты электро-технической стали Э-330. Внутри датчиков проходит высоковакуумная камера нуклотрона, изготовленная на этом отрезке из керамической трубы. Витые тороидальные сердечники датчиков изготовлены из 20 мкм ленты аморфного сплава 71КНСР.

Измерительная обмотка МИД нагружена на низкое (менее 5 Ом) входное сопротивление транзисторного усилителя, собранного по схеме общей базы с использованием отрицательной обратной связи [2]. Обмотка не имеет гальванической связи с корпусом предусилителя. При сопротивлении нагрузки датчика ($R_H \ll p$), где $p = \sqrt{L/C_H}$ его эквивалентная схема представляет генератор тока, нагруженный на индуктивность обмотки датчика L , сопротивление нагрузки R_H , емкость нагрузки C_H . Для минимальных искажений формы импульсного тока необходимо иметь малое значение R_H .

При этом, несмотря на некоторое уменьшение коэффициента передачи преобразователя, возрастает помехоустойчивость датчика и уменьшается влияние емкостной составляющей эквивалентной схемы. В схеме усилительного тракта имеется устройство, позволяющее эффективно (более 30 дБ) уменьшить наводки сигналов промышленной частоты.

Рабочий диапазон измеряемых токов 0,1...10 мА. Полоса частот (50 кГц...10 МГц). На кольце нуклотрона установлены два датчика.

Магнито-дуляционный датчик измеряет среднее значение тока пучка, циркулирующего в камере ускорителя как в режиме ускорителя, так и в режиме медленного вывода частиц из нуклотрона, время которого может достигать 10 сек. Режим работы ММД, состоящего из двух сердечников, характеризуется величиной поля возбуждений [3].

В нашем случае перемагничивание происходит по предельной петле гистерезиса, что обеспечивает такие преимущества, как: полная восстанавливаемость после кратковременного наложения постоянного магнитного поля и однозначность преобразования. Кроме того, обеспечивается высокая устойчивость “нуля” выходного напряжения в отсутствие измеряемого поля. Возбуждение обмоток осуществляется на частоте 25 кГц, стабилизированной кварцем. Для равномерного намагничивания сердечника преобразователя выбрано соотношение $l \ll L$, где l — толщина, а L — диаметр сердечника. Выделение 2-ой гармоники частоты возбуждения, несущей информацию о величине магнитного поля пучка, происходит с помощью полосовых фильтров, а преобразование полезной информации в постоянное напряжение — с использованием синхронного детектора и интегратора.

Чувствительность измерительной системы 200 В/А, полоса частот 0...60 кГц. Порог чувствительности ограничен магнитными шумами сердечника (шумы Баркгаузена) и составляет 20 мкА.

Измерение поперечного профиля пучка на первом обороте и его положение в камере нуклотрона осуществляется с помощью 4 станций наблюдения рис.2 и электронной аппаратуры, состоящей из видиконных телевизионных камер и камер на пзс-матрицах. Информация о профиле пучка выводится на телевизионный монитор и мониторы ЭВМ. В последнем случае используются интерфейсные платы (frame grabber) и специальные программы обработки сигналов с телевизионных камер. При этом на мониторах ЭВМ выводятся профили в различных сечениях с яркостной градацией плотности пучка и трехмерное изображение пучка в месте установки люминесцентного экрана.

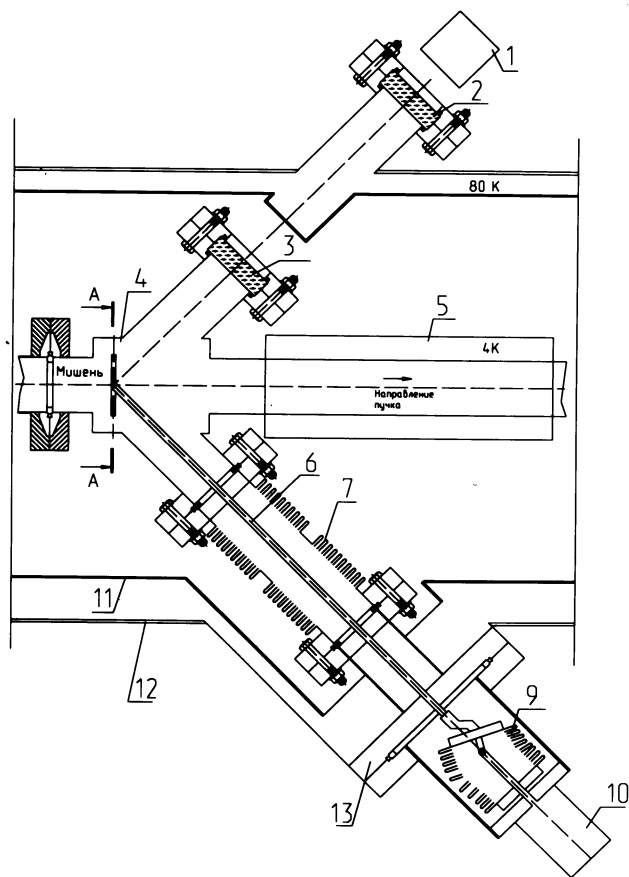


Рис. 2:

На нуклотроне используются два вида люминесцентных экранов: экран (мишень) с полным поглощением пучка и экран с частичным поглощением (прозрачность составляет 95%). Первый вид экрана изготовлен из метилметакрилата с тонким слоем вплавленного люминофора $ZnS(Ag)$ [4].

Для уменьшения погрешности в определении профиля пучка и его плотности тонкий слой люминофора нанесен равномерным слоем толщиной 0,2 мм. Такие экраны при энергии исследуемых частиц 5 МэВ/нук. обеспечивают большой световыход с поверхности мишени. Полупрозрачная мишень изготовлена из тонкой вольфрамовой проволоки диаметром 0,1 мм в виде сетки с шагом 5 мм.

В узлы сетки нанесен раствор люминофора. Такие мишени установлены на канале инжекции и на входе линзы 1Ф2 магнитной структуры нуклотрона. С помощью этой мишени и непрозрачного экрана, установленного перед аналогичной линзой второго суперпериода 2Ф2, наблюдая за двумя профилями одновременно, определяют в первом приближении оптимальные токи магнитов и линз нуклотрона.

Станции наблюдения, в которых установлены полупрозрачные мишени, дополнительно имеют усилители яркости изображения, оптические разветвители и фотоумножители. Они позволяют наблюдать пучок низкой интенсивности порядка 10^4 эл.зар.

в канале инжекции и на нескольких начальных оборотах в кольце нуклотрона. Станция наблюдения состоит из механизма поворота мишени, устройства подсветки мишени, окон наблюдения и телекамеры. Мишень представляет собой сборку из овальной алюминиевой подложки с отверстиями, равномерно расположенными по поверхности подложки и люминисцентного экрана. Мишень крепится на штанге (6). Штанга для уменьшения теплопроводности, изготовлена из тонкостенной нержавеющей трубки. Подложка электрически развязана от вакуумной камеры и служит коллектором для измерения числа частиц. В рабочем положении мишень становится перпендикулярно пучку и полностью перекрывает апертуру камеры. Поворот штанги производится электродвигателем (10). Вращение на штангу передается вакуумным вводом вращательного движения (9), выполненном на основе тонкостенного сильфона из пружинной нержавеющей стали. Мишенная камера (4) располагается в свободном пространстве между регулярными магнитными элементами ускорителя (5). К ней с обеих сторон под углом 45 градусов привариваются патрубки с фланцами. “Холодный” патрубок отделен от “теплого” кожуха парой тонкостенных сильфонов (7) для тепловой развязки. Для уменьшения теплопритока регулярный азотный экран (11) также имеет патрубков. Со смотровой стороны “холодный” патрубок уплотняется стеклянным окном (3) с помощью прокладок специальной формы. Наблюдение за мишенью производится с помощью телекамеры (1). Во фланце (13) имеется окно для подсветки мишени и электрические разъемы для снятия сигнала с коллекторной пластины.

Исследования люминесцентных веществ, проведенные на пучках протонов и альфа-частиц с энергиями 3,5...5,0 МэВ, показывают [5], что люминофор $ZnS(Ag)$ сохраняет линейную зависимость величины световыхода при увеличении интенсивности исследуемого пучка до 100^{-8} А/см.

Иттрий алюминиевый кристалл активированный церием ($Y_3Al_5O_{12} : Ce$) начинает насыщаться при плотности пучка более 10^{-5} А/см. Видиконы и ПЗС матрицы, используемые нами, имеют область линейной зависимости выходного сигнала от светового потока, попадающего на вход этих устройств. Профиль пучка измеренный с помощью станции наблюдения нуклотрона имеет небольшую погрешность измерения и представлен в работе [6] данного сборника.

В заключение авторы выражают благодарность В.Н. Кузнецову и А.А. Анашину за большую работу по изготовлению и наладке отдельных узлов измерительных систем и помощь при введении их в эксплуатацию.

Список литературы

- [1] Proceed. of the First European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators, May 3-5, 1993, Geneva.
- [2] Feist H. et al. Nucl. Instr. and Meth., 97, 1971, p. 219.
- [3] Афанасьев Ю.В. Феррозондовые приборы. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.
- [4] Жильцова Л.Я. и др. ОИЯИ, 13-7010. – Дубна, 1973.
- [5] Tuszewski M., Zweben S.J. // Rev. Sciein. Ins. 1993, vol. 64, №9, p. 2459.
- [6] Волков В.И. и др. Краткие сообщения ОИЯИ. – Дубна, 1995, 81-95 с.