

КАЛИБРОВКА СВЧ-ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЛИНАК-200

С. В. Слесарев^{a, 1}, В. В. Кобец^a, А. Е. Бруква^a, А. Н. Трифонов^a

^a Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

В настоящее время в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ идут работы по вводу в эксплуатацию линейного ускорителя электронов Линак-200. Этот ускоритель позволит проводить методические исследования создаваемых в ЛЯП и соседних лабораториях детекторов элементарных частиц на тестовых пучках электронов с энергией от 20 до 200 МэВ в широком диапазоне интенсивности пучка. На ускорителе применяются высокочастотные датчики-мониторы на бегущей волне, которые обеспечивают позиционирование пучка с точностью до 0,1 мм, что позволяет уменьшить потери пучка в ускорительном тракте и упростить процесс настройки ускорителя. Для обеспечения данной точности необходима калибровка этих мониторов. Представлены методика и результаты калибровки мониторов.

Currently, the JINR Laboratory of Nuclear Problems is working on commissioning the Linac-200 linear electron accelerator. This accelerator will allow conducting methodological studies of the elementary particle detectors being developed at the Laboratory of Nuclear Problems and neighboring laboratories on test electron beams with energies from 20 to 200 MeV in a wide range of beam intensities. The accelerator uses high-frequency traveling-wave monitors that provide beam positioning with an accuracy of up to 0.1 mm, which reduces beam losses in the accelerating path and simplifies the accelerator setup process. Calibration is necessary to ensure this accuracy. The paper presents the methodology and results of sensor calibration.

PACS: 29.20.Ej

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с перспективным планом развития ОИЯИ и его экспериментальной базы в Лаборатории ядерных проблем (ЛЯП) ОИЯИ осуществляется проект по созданию уникального ускорителя электронов Линак-200, способного генерировать электронные пучки различной энергии (в диапазоне от 20 до 200 МэВ) с возможным дальнейшим увеличением энергии электронов до 800 МэВ.

Основные задачи проектируемой базовой установки в ЛЯП ОИЯИ — линейного ускорителя электронов — связаны с обеспечением пучками электронов: научно-методических работ по созданию детекторов элементарных частиц в ЛЯП, прикладных работ в области радиационного материаловедения, радиобиологии и радиохимии, научно-методических работ по поиску новых методов и созданию аппаратуры для диагностики электронного пучка, а также в образовательных целях, включая международные практики студентов и сотрудников.

Во время работы ускорителя важно контролировать ток и положение пучка. Монитор пучка на бегущей волне — один из инструментов диагностики пучка. Такие мониторы позволяют следить за током и положением пучка в ускорительной камере.

¹E-mail: svslsarev@jinr.ru

1. МОНИТОРЫ ПУЧКА НА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЕ

Мониторы пучка на бегущей волне позволяют контролировать положение, форму и амплитуду импульса тока ускоряемого пучка.

Принцип действия мониторов положения (рис. 1) основан на измерении разности фаз СВЧ-сигналов, возбуждаемых в двух антенных, размещенных внутри прямоугольного (72×34 мм) волновода симметрично относительно пучка электронов, пересекающего волновод нормально к плоскости широкой стенки волновода.

Пучок проходит через отрезок волновода, который нагружен через согласованные коаксиально-волноводные переходы на две коаксиальные линии. Переходы расположены симметрично относительно пучка. Этот отрезок волновода не является резонатором, он согласован с коаксиальными линиями, и стоячей волны в нем нет. Два сигнала сравниваются по фазе между собой, их амплитуды не важны, но желательно, чтобы они были одинаковыми.

При отклонении пучка от оси симметрии волновода фазы сигналов, полученных от антенн, будут разными в зависимости от того, к какой антенне приблизился или удалился пучок, смещаясь от оси. СВЧ-сигналы с антенн (левой и правой) порознь подаются на миксеры, куда подается опорный сигнал 2866 МГц. Миксеры выделяют на выходе радиочастотный сигнал 10 МГц, который подается на детектор фаз.

Две коаксиальные линии подключаются к фазовому мосту (гибридному кольцу). Фазовращатель S настраивается таким образом, что, когда пучок в центре, $\theta = \pi/2$ и разность амплитуд сигналов, снимаемых с кольца, равна нулю. Когда пучок смещается на расстояние x от центра, между входными сигналами возникает дополнительная разность фаз, пропорциональная смещению и обратно пропорциональная длине волны в волноводе. Тогда разность амплитуд выходных сигналов пропорциональна току и этому дополнительному сдвигу фазы. От зависимости по току избавляются путем пропуска сигналов через усилители-ограничители перед подачей их на входы фазового моста.

Монитор имеет на выходе три сигнальных канала, отражающих соответственное положение пучка по двум координатам и третий сигнал, повторяющий импульс тока. Аналоговый сигнал, амплитуда которого зависит от разности фаз первичного

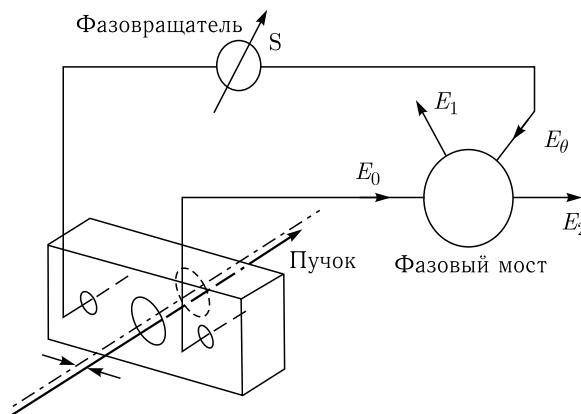


Рис. 1. Принципиальная схема монитора пучка на бегущей волне

СВЧ-сигнала, полученного с антенн, анализируется на осциллографе. При совпадении пучка с осью симметрии волновода сигнал отсутствует.

Настройка положения пучка с помощью монитора бегущей волны сводится к получению минимального сигнала координатных каналов (или его полному отсутствию).

2. КАЛИБРОВКА СВЧ-ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА НА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЕ НА СТЕНДЕ

Собранный стенд (рис. 2) используется для проверки работоспособности монитора на бегущей волне и высокочастотного модуля, с помощью которых проводится калибровка мониторов.

Основной целью калибровки монитора является определение его чувствительности в рабочем диапазоне частот и амплитуд.

Для проведения калибровки генератор сигнала СВЧ настраивается на частоту 2856 МГц, значения генератора импульсов выставляются на частоту посылок 100 Гц и длительность импульсов 4 мкс.

Обработка сигнала проводится после микширования до более низкой частоты (10 МГц). Конечное выходное напряжение является мерой смещения пучка и может быть отображено на осциллографе. Операция калибровки обеспечивает высокую точность определения прохождения пучка через центр монитора ($+0,1$ мм). Сигналы с мониторов снимаются специальными коаксиальными кабелями с низким затуханием 0,1 дБ/м на частоте 2856 МГц.

Измерения показали, что в диапазоне, соответствующем току пучка от 10 мкА до 10 мА, разность фаз не меняется.

Монитор не имеет абсолютной калибровки, но вследствие значительной нелинейности разности фаз от величины смещения обладает чувствительностью 100 мВ/мм для вертикального и горизонтального смещений.

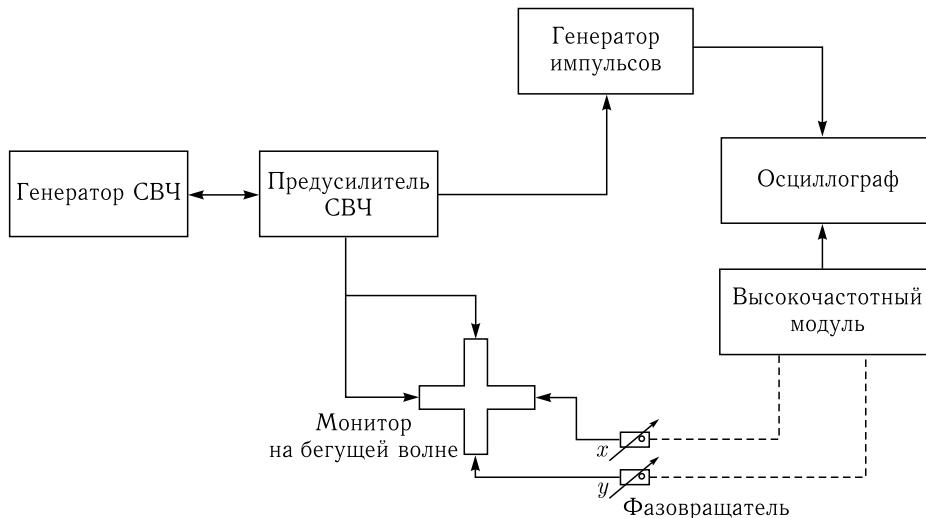


Рис. 2. Функциональная схема калибровочного стенда



Рис. 3. Осциллографмма сигналов монитора тока на бегущей волне: верхний луч — горизонтальное смещение пучка; средний луч — вертикальное смещение пучка; нижний луч — ток пучка



Рис. 4. Осциллографмма сигналов монитора тока на бегущей волне после калибровки переключателей: верхний луч — горизонтальное смещение пучка; средний луч — вертикальное смещение пучка; нижний луч — ток пучка

С монитора сигнал подается на осциллограф, где напряжение является мерой отклонения пучка. Величина отклонения составляет приблизительно 0,25 В/мм. Так как линейный ускоритель Линак-200 работает в импульсном режиме, сигнал будет присутствовать только во время импульса (длительность импульса тока составляет 1–3 мкс).

Калибровка монитора проводится с помощью фазовращателей по осям X и Y (рис. 3). Фазовращатель компенсирует разность фаз, возникшую из-за неточного согласования кабелей. Если необходимо определить центр оси X , то нужно подать опорный сигнал на ось Y после переключения. Этот сигнал просачивается по оси X на мониторе. Когда оси расположены правильно (это происходит с точностью до сотых долей миллиметра), этот сигнал оказывается таким же, как сигнал пучка, который проходит точно через центр оси X . Затем можно отнести положение пучка к этому центру (рис. 4).

3. КАЛИБРОВКА СВЧ-ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА НА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЕ НА ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ

Описанная процедура для начала проводится на мониторе бегущей волны без возбуждения пучка, что позволяет нам удостовериться в работоспособности всей системы, после чего все этапы повторяются непосредственно на линейном ускорителе.

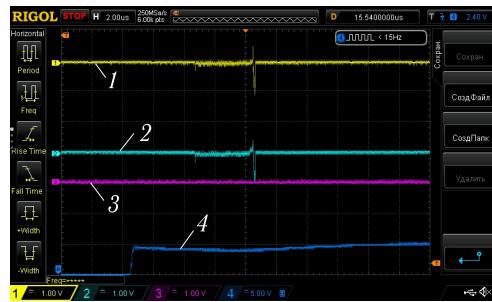


Рис. 5. Осциллографмма сигнала монитора на бегущей волне после калибровки: верхний луч 1 — горизонтальное смещение пучка; средний луч 2 — вертикальное смещение пучка; луч 3 — ток пучка; нижний луч 4 — синхроимпульс

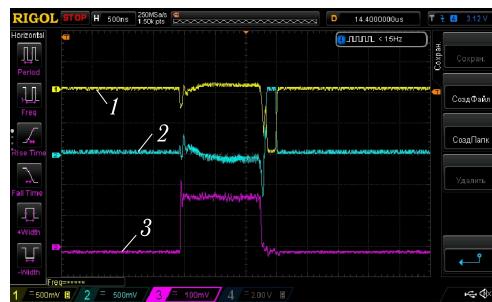


Рис. 6. Осциллографмма сигнала монитора на бегущей волне при прохождении пучка: верхний луч 1 — горизонтальное смещение пучка; средний луч 2 — вертикальное смещение пучка; нижний луч 3 — ток пучка

Для проведения калибровки с волноводной линии возбуждения раздачи клистрона берется опорный сигнал, который в дальнейшем с помощью аттенюаторов уменьшается до диапазона мощности, допустимой для калибровки. При этом мощность клистрона изначально составляет 4 МВт, поэтому ее необходимо уменьшить.

После калибровки от монитора на бегущей волне, подключенного к линейному ускорителю, отсоединяется коаксиальный кабель. Это делается для того, чтобы зафиксировать оси в статическом положении. После этого монитор можно использовать для дальнейшей калибровки положения пучка.

На рис. 5 и 6 представлены осциллографммы сигнала монитора, прошедшего калибровку, без пучка и во время прохождения пучка через ускоритель.

На осциллографмме (см. рис. 6) видно, что пучок смещен по оси X на 0,4 мм и по оси Y на 0,4 мм. Далее пучок корректорами нужно сместить на ось ускорителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы был собран калибровочный стенд, проведена проверка его работоспособности. После калибровки монитора положения пучка было измерено смещение пучка от оси ускорителя на дрейфовом промежутке после ускоряющей станции А02.

Результаты данной работы позволяют использовать мониторы пучка на бегущей волне для точного определения положения пучка относительно оси ускорителя, что, в свою очередь, позволит уменьшить потери пучка в ускорительном тракте и упростить процесс настройки ускорителя. Тот факт, что сигналы с монитора на бегущей волне анализируются на осциллографах, упрощает их интеграцию в общую систему управления ускорителем, поскольку на стадии разработки и тестирования находится программное обеспечение для считывания, визуализации и архивирования данных с осциллографов Rigol серии DS1000Z и MSO/DS4000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диденко А. Н., Фурман Э. Г., Васильев В. В., Канаев Г. Г. Линейные индукционные ускорители для релятивистской электроники // Релятивистская высокочастотная электроника. Горький, 1981.
2. Heus H., Heutenik B., Kroes F., Maaskant A., Sluyk T. De Traveling Wave-Monitor. LINO 72. NIKHEF Afdelingsrapport. Amsterdam. 1978.
3. Sluyk T. Traveling Wave-Monitor 2. Uitbreidingen En Modificaties. LINO 96. NIKHEF Afdelingsrapport. Amsterdam. 1984.

Получено 28 октября 2024 г.