

Использование ФЭУ в системах вывода пучков на ускорителе ИФВЭ

А.Г. Афонин, Б.А. Зеленов, В.Ф. Сухомлинов

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Введение. При оптимизации различных режимов вывода и контроле за качеством пучков на ускорителе ИФВЭ используются следующие системы на основе сцинтилляционных счетчиков с ФЭУ различных типов:

1. Система мониторов обратной связи (МОС) обеспечивает равномерный во времени сброс как вторичных пучков с внутренних мишеней, так и пучков протонов при работе медленного вывода.

2. Система мониторов потерь (МП) контролирует и оптимизирует прохождение пучка в наиболее узких местах по трассе вывода.

3. Система контроля качества пучка (СКП), состоящая из подсистем анализа низких частот, анализа высоких частот и подсистемы измерения эффективного времени ($T_{эфф}$), подробно описана ранее [1].

1. Система мониторов обратной связи. Система МОС состоит из шести мониторов, два из которых обеспечивают работу медленного вывода и четыре — работу внутренних мишеней. Мониторы медленного вывода расположены в районе электростатического дефлектора ЭД106 и первого тонкого септум-магнита ОМ18 (рис.1).

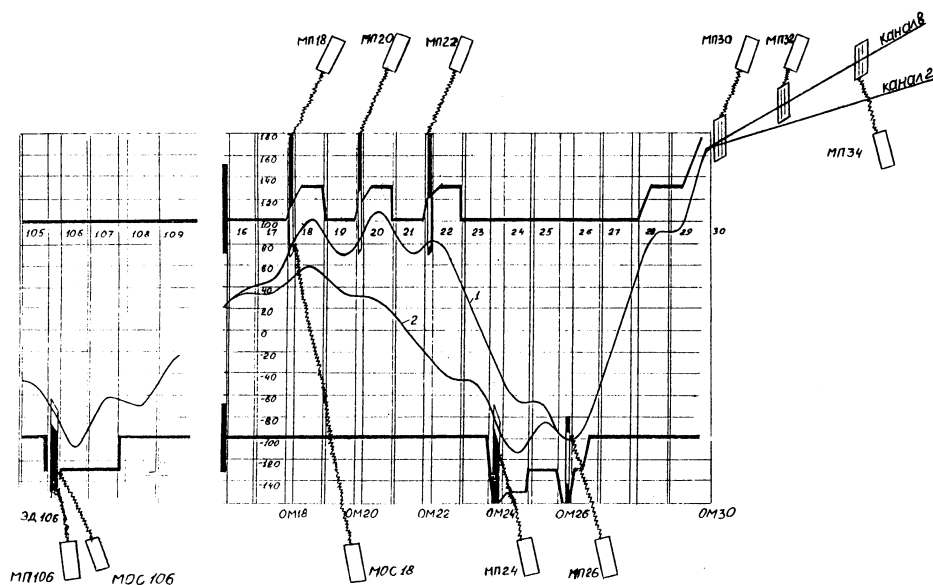


Рис. 1: Схема расположения мониторов быстрого и медленного вывода.

Мониторы внутренних мишеней расположены вблизи блоков № 24;27;35;45 ускорителя У-70 (рис.2), в которых установлены мишени.

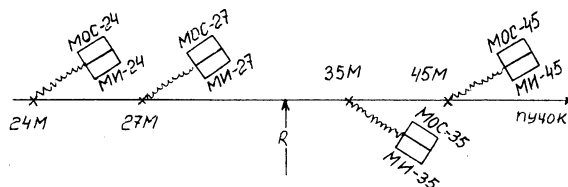


Рис. 2: Схема расположения мониторов внутренних мишеней.

На каждый канал обратной связи устанавливаются рядом два монитора — МОС и монитор для измерения относительной интенсивности (МИ). Мониторы расположены на расстоянии 10–15 м от источников излучения на уровне орбиты пучка.

Места установки мониторов выбирались из условия наименьшего влияния одного канала на другой при параллельной работе мишеней. Наименьший уровень влияния составляет 5–10% в зависимости от режима работы мишеней и уровня сброса.

Для обеспечения надежной работы обратной связи был выбран радиационно-стойкий спектрометрический ФЭУ-93 с максимальным анодным током 10 мА и малым коэффициентом усиления. Сцинтилляционный счетчик на его основе обеспечил необходимый уровень сигнала и частотно-фазовую характеристику в цепи обратной связи общей длиной кабельной трассы 1500 м. Для уменьшения влияния различных помех средний уровень сигнала выбран 20–40 В и поддерживается на уровне не более 80 В. Стабильность выходного сигнала обеспечивается током в делителе ФЭУ до 5 мА.

Оптимальный размер сцинтиллятора 15×15×15 мм. В качестве сцинтиллятора применяется П-терфенил С18Н14 с конверсионной эффективностью до 0,5. Время высвечивания не хуже 15 нс, и максимум спектра испускания расположен при $\lambda=4150$ А. Такой сцинтиллятор достаточно устойчив к радиационному разрушению. Нагрузкой ФЭУ является цепь $RC=8 \cdot 10^{-6}$ с.

Далее сигнал поступает на вход катодного повторителя, который расположен рядом с анодом ФЭУ. Катодный повторитель выполнен по каскадной схеме с нелинейностью амплитудной характеристики 1% и питается от стабилизированных источников питания постоянного тока, причем для увеличения срока службы лампы накал питания выбран на 10% ниже номинального напряжения. Частотно-фазовая характеристика обратной связи линейна вплоть до частоты 10 кГц, а фазовая — до 1 кГц. Такая схема ОС позволяет осуществлять сброс пучка на внутреннюю мишень в течение 1 секунды с неравномерностью потока вторичных частиц во времени до 10%.

Мониторы МИ аналогичны мониторам обратной связи. Сигнал с МИ поступает по кабелю на интегратор, далее обрабатывается и в цифровом виде поступает оператору для контроля за величиной относительной интенсивности вторичных частиц.

2. Система мониторов потерь. Мониторы потерь (МП) располагаются в прямолинейных промежутках, где размещается оборудование вывода, и в головных частях каналов в местах наибольших потерь пучка (рис.1). В системе МП используется ФЭУ-85.

Нагрузочное сопротивление в аноде ФЭУ в системе МП выбиралось так, чтобы

$$t_{ax} = R_n \times (C_m + C_{kab}) = (100 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}) \times (3 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}) = 3 \cdot 10^{-3} \text{ сек},$$

что позволяет контролировать сигналы с частотой модуляции пучка только ниже 50 Гц. Спектр более высоких частот интегрируется и представляется в виде сигнала интегральных потерь с достаточно большой (до нескольких десятков вольт) амплитудой выходного сигнала.

Измерения потерь проводятся в широком диапазоне интенсивности выводимых пучков (от 10^{11} до 10^{13} ppp) при длительности вывода от единиц микросекунд до 2 секунд.

Для измерения интегральных потерь при быстром выводе используется пассивный интегратор на элементах RC и пиковый детектор с запоминающей емкостью. Для измерения сигнала потерь, возникающего при наведении пучка бампом быстрого вывода, или в процессе медленного вывода пучка (диапазон от десятков миллисекунд до 2 секунд) используются активные интеграторы.

Результаты измерения интегральных потерь обрабатываются и запоминаются на местной панели измерения системы МП и параллельно поступают в систему контроля и управления параметрами пучка.

Одна из прикладных программ обеспечивает возможность проводить в полуавтоматическом режиме оптимизацию трассы вывода пучка на основе показаний мониторов потерь. Оператор задает: номер монитора, по показаниям которого идет оптимизация, используемый для оптимизации источник питания, диапазон изменения тока, число циклов ускорителя для набора статистики в каждой точке. Далее программа в соответствии с заданными параметрами производит измерение зависимости показаний монитора от величины тока в выбранном элементе и определяет рекомендуемое значение тока. Установку тока в элементе обеспечивает оператор [2].

Напряжение питания каждого монитора независимое, что позволяет измерять и нормировать потери каждого монитора во всем диапазоне выводимых интенсивностей. При настроенном выводе величина нормированных потерь составляет не более 1 В.

3. Система контроля качества пучка. Задача исследования характера и величины потерь пучка в режимах быстрого вывода (длительность вывода до 5 мкс), быстрого резонансного вывода (длительность вывода несколько десятков микросекунд) и спектра частот в пучке медленного вывода привела к необходимости использовать другие типы ФЭУ и иные схемные решения.

Так, для мониторов, которые предназначены для контроля и исследований структуры пучка при медленном выводе, используются ФЭУ-30. Такие мониторы установлены в прямолинейном промежутке пп30 (рис.1). Нагрузочное сопротивление для этих ФЭУ выбиралось из следующих условий:

$$t_{ax} = 100 \text{ Ом} \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 10^{-9} \text{ сек.}$$

Такое решение позволило контролировать и исследовать спектральный состав вплоть до частоты ускорения, равной 6,06 МГц.

Заключение

Опыт эксплуатации мониторов показал следующее:

- Мониторы потерь стали необходимым инструментом при настройке режима вывода на минимум потерь частиц и контроля за потерями в процессе вывода как от цикла к циклу, так и в цикле (для медленного вывода).

Характерная зависимость потерь при быстром выводе на выходе пучка из ускорителя в пп30 от изменения тока в отклоняющем магните ОМ26 представлена на рис.3. Она имеет выраженный минимум, что и позволяет оптимизировать режим работы вывода.

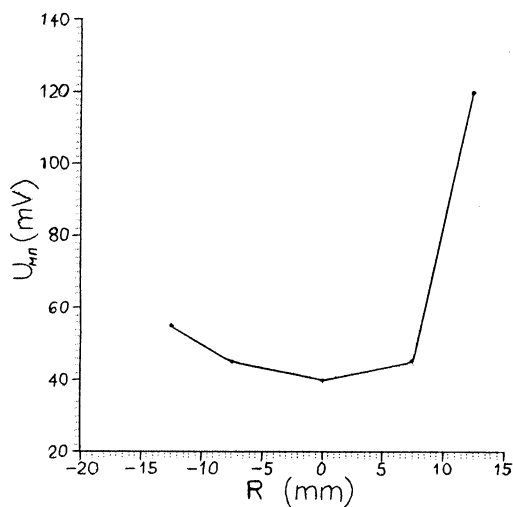


Рис. 3: Зависимость показаний мониторов потерь от смещения пучка.

- Работа датчиков в радиационных условиях показала, что наиболее чувствительными к облучению оказались кабельные коммуникации в местах подключения к ФЭУ, а также сцинтилляторы. Их замена проводилась один раз в 5 лет для мониторов в пп18, пп30 и один раз в 3 года для МОС в пп24, пп27.

- Работоспособность ФЭУ сохранялась в течение 5 лет. Элементы делителя и катодный повторитель в системе монитора ОС работали до 8 лет при ежегодной работе ускорителя до 3,5 тыс. часов в год.

Созданная система доказала свою надежность и гибкость при оптимизации различных режимов вывода и обеспечила многолетнюю работу потребителей при сравнительно небольших затратах на ее создание и эксплуатацию.

Список литературы

- [1] А.Г. Афонин, Н.С. Бамбуров, Б.А. Зеленев и др. – В сб.: Труды XIII Совецания по ускорителям, т.2, с.281, Дубна, 1993.
- [2] А.Г. Афонин, С.Г. Присяжных, С.В. Соколов. – Препринт ИФВЭ 91-151, Протвино, 1991.