

SU7605249

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э
ПРИ/ОВ/ОП 75-135

В.Е.Бородин, А.С.Гаврилов, А.А.Гусак,
В.В.Комаров, В.С.Кузнецов, В.Н.Лебедев,
В.Ф.Сухомлинов

E16

СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ
И БЛОКИРОВКИ
ДЛЯ ТРАКТОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Серпухов 1975

**В.Е.Бородин, А.С.Гаврилов, А.А.Гусак,
В.В.Комаров, В.С.Кузнецов, В.Н.Лебедев,
В.Ф.Сухомлинов**

**СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ
И БЛОКИРОВКИ
ДЛЯ ТРАКТОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

Аннотация

Бородин В.Е., Гаврилов А.С., Гусак А.А., Комаров В.В., Кузнецов В.С., Лебедев В.Н., Сухомлинов В.Ф.

Система радиационного контроля и блокировки для трактов транспортировки пучков заряженных частиц. Серпухов, 1975.

15 стр. с рис. (ИФВЭ ЛРИ/ОВ/ОП 75-135).

Библиогр. 4.

ref
В работе представлена разработанная в ИФВЭ для нейтринного канала протонного синхротрона на 70 ГэВ система радиационного контроля и блокировки, обеспечивающая при сбоях на тракте канала минимальный радиационный риск. В основу системы заложены принципы дифференциального контроля по независимым каналам.

Abstract *метрами. В качестве первой ступени выбора*
Borodin V.E., Gavrilov A.S., Gusak A.A., Komarov V.V., Kuznetsov V.S., Lebedev V.N., Sukhomlinov V.F.

System for Radiation Control and Blocking for Charged Particle Beam Transport Tracks. Serpuukhov, 1975.

p. 15. (IHEP 75-135).

Refs. 4.

A system for radiation control and blocking, that provides a minimal radiation risk at brake downs along the beam track has been worked out at IHEP for the neutrino beam of the 70 GeV proton synchrotron.

контроль по режиму магнитооптических элементов с опросом режимов непосредственно перед выходом пучка из ускорителя. В качестве второй ступени контроля используется система радиационных мониторов, в функции которой помимо общего пучка вводится пучок при сбоях вводит измерение в сильное магнитное поле радиационного распределения пучка измерение по тракту.

Уровень современной техники позволяет создавать магнитооптические тракты транспортировки выведенных из ускорителя заряженных частиц с ничтожными систематическими потерями транспортируемого пучка, не превышающими долей процента на 100 м тракта. Однако реализовать эти достижения на практике не всегда удается из-за конечной вероятности сбоев режима магнитооптических элементов, при которых может оказаться возможной потеря всего или части пучка в любом месте тракта.

Ориентировка при создании биологической защиты на достаточно редкие события случайного характера, какими являются сбои, на наш взгляд, совершенно не оправдана, поскольку стоимость защиты (без учёта занимаемых дополнительно дефицитных площадей экспериментальных залов) возрастает при этом в 6-8 раз. Экономически и технически обоснованным решением в данной ситуации может быть только создание в комплексе с тонкой биологической защитой эффективных и надежных систем контроля и блокировки пучка частиц, обеспечивающих при сбоях минимальный радиационный риск. Ниже описана хорошо зарекомендовавшая себя в эксплуатации система радиационного контроля и блокировки, разработанная в ИФВЭ для нейтринного канала протонного синхротрона на 70 ГэВ^{1/1}. Схема канала приведена на рис. 1.

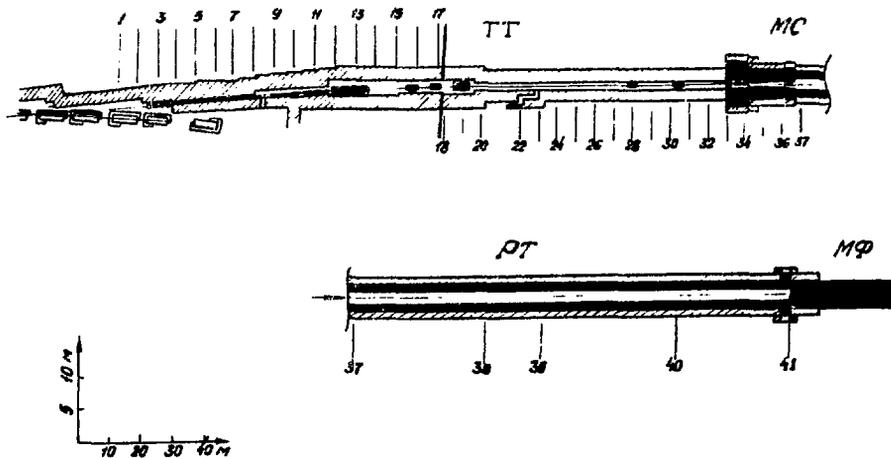


Рис. 1. Схема нейтринного канала ИФВЗ в места установки радиационных мониторов. Цифры соответствуют порядковым номерам мониторов. Магнитные элементы и стальная биологическая защита зачёрнены, бетон указан штриховкой. ТГ - тракт транспортировки протонного пучка; МС - мишенная станция; РТ - распадный туннель; МФ - многослойный фильтр.

В основу системы заложен принцип дублирования контроля по независимым параметрам. В качестве первой ступени выбран контроль по режиму магнитооптических элементов с опросом режимов непосредственно перед выводом пучка из ускорителя. В связи с использованием на канале двух типов магнитооптических элементов - с импульсным питанием и запитанных постоянным током - системы блокировки разработаны для обоих способов питания. В качестве второй, дублирующей ступени контроля, ис-

пользуется система радиационных мониторов, в функции которой помимо отключения вывода пучка при сбоях входит измерение в случае необходимости продольного распределения поля излучения по тракту.

Таким образом, система радиационной блокировки в целом состоит из трех независимых систем, воздействующих на один и тот же исполнительный элемент – кикер – магнит системы быстрого вывода. Минимизация радиационного риска в этой системе достигается набором соответствующих параметров первой ступени контроля, обеспечивающих опрос режимов всех элементов непосредственно перед выводом пучка и отключение систем вывода при непредусмотренных изменениях режимов элементов тракта до вывода в него пучка.

1. РАДИАЦИОННАЯ БЛОКИРОВКА БЫСТРОГО ВЫВОДА

Логические сигналы радиационной блокировки в разработанном комплексе аппаратуры формируются тремя источниками: системой динамической блокировки, осуществляющей автоматический контроль за током импульсных линз и корректоров канала транспортировки пучка; системой статической блокировки, выполняющей те же функции на магнитооптических элементах тракта, запитанных постоянным током; системой радиационных мониторов, определяющих радиационную обстановку вдоль тракта канала. Первые две системы выдают логическую "1", если контролируемые токи находятся в поле допусков, а последняя система – если радиационные потери не превышают заданный уровень.

Логические сигналы от трех источников перемножаются вентилями И₀ и поступают на соответствующий вход коррелятора "канал-выстрел" (рис.2).

На ускорителе ИФВЭ предусмотрена возможность тройного срабатывания быстрого вывода (три выстрела) в одном цикле ускорения по трем направлениям в каналы 7, 8 и 9^{4/}.

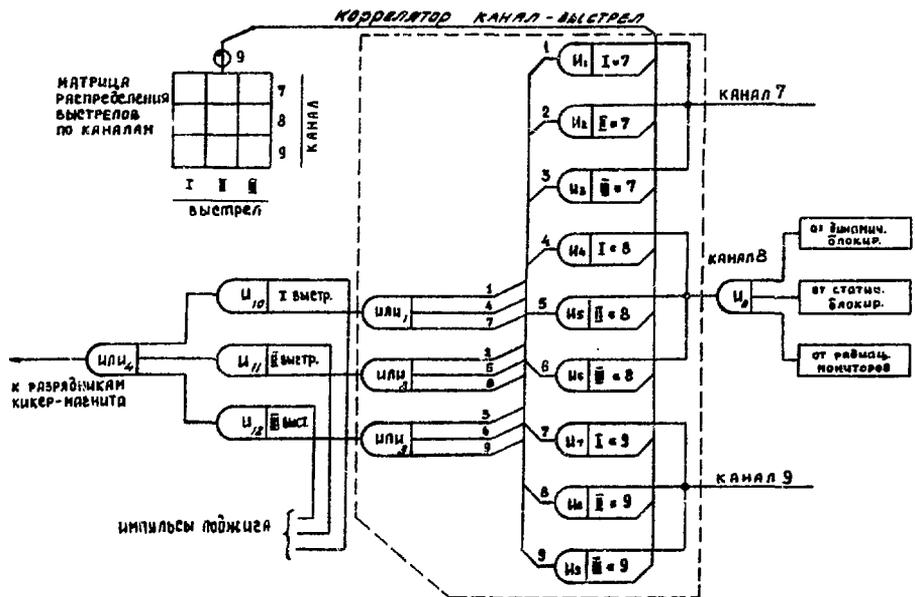


Рис. 2. Логическая схема радиационной блокировки.

Функция коррелятора "канал-выстрел" - передать сигнал блокировки от канала тому выстрелу, который обслуживает вывод в данный канал. Связь между выстрелом и каналом задается оператором путем фиксации определенной программы на кнопочной матрице. Логические потенциалы с матрицы (равные "1", если соответствующая кнопка нажата) управляют вентилями $I_1 \div I_9$. Выходы вентилях группируются по выстрелам схемами ИЛИ₁ \div ИЛИ₃. Если i -ый выстрел запрограммирован на k -ый канал, то логическое состояние i -ой схемы ИЛИ на выходе коррелятора будет определяться логическим сигналом блокировки с k -ого канала.

В качестве исполнительного органа, который блокирует вывод протонов в случае опасности возникновения недопустимых радиационных потерь,

используется кикер-магнит. Кикер-магнит запитывается от накопительной линии при подаче на разрядник поджигающего импульса^{/4/}. Импульсы поджига формируются для каждого выстрела и пропускаются соответственно через вентили I_{10} , I_{11} , I_{12} , которые управляются логическими сигналами от коррелятора "канал-выстрел". Импульсы с выхода вентилей суммируются схемой ИЛИ₄ и по общему кабелю поступают на поджиг разрядников кикер-магнита.

Таким образом, если в канале режим магнитной оптики вышел за установленный допуск или радиационные потери превысили допустимый уровень, то быстрый вывод в данный канал будет заблокирован.

2. СИСТЕМА БЛОКИРОВКИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ПИТАНИЯ МАГНИТООПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАКТА

В устройстве использован метод многоканального параллельного аналогового контроля, заключающийся в параллельном сравнении контролируемых напряжений (U_k), снимаемых с шунта и пропорциональных току через магнитооптические элементы, с опорным высокостабилизированным напряжением ($U_{оп}$) и в генерировании определенного логического сигнала Y_2 при выходе U_k за определенные пределы. Применение этого метода вызвано требованиями необходимого быстродействия при достаточной точности сравнения.

Принципиальная схема устройства приведена на рис. 3, функционально она состоит из семи (по числу контролируемых магнитооптических элементов) идентичных схем, каждая из которых имеет стабилизатор опорного напряжения, схему сравнения и схему гальванической развязки входа и выхода, а также общую для всех схему индикации и блокировки.

Стабилизатор опорного напряжения построен на операционных усилителях Y_1 , Y_2 и имеет следующие технические параметры: температурный коэффициент напряжения $K_U = 0,1 \text{ мВ}^{\circ}\text{С}$, временной дрейф за 8 ч $\delta = 0,003\%$.

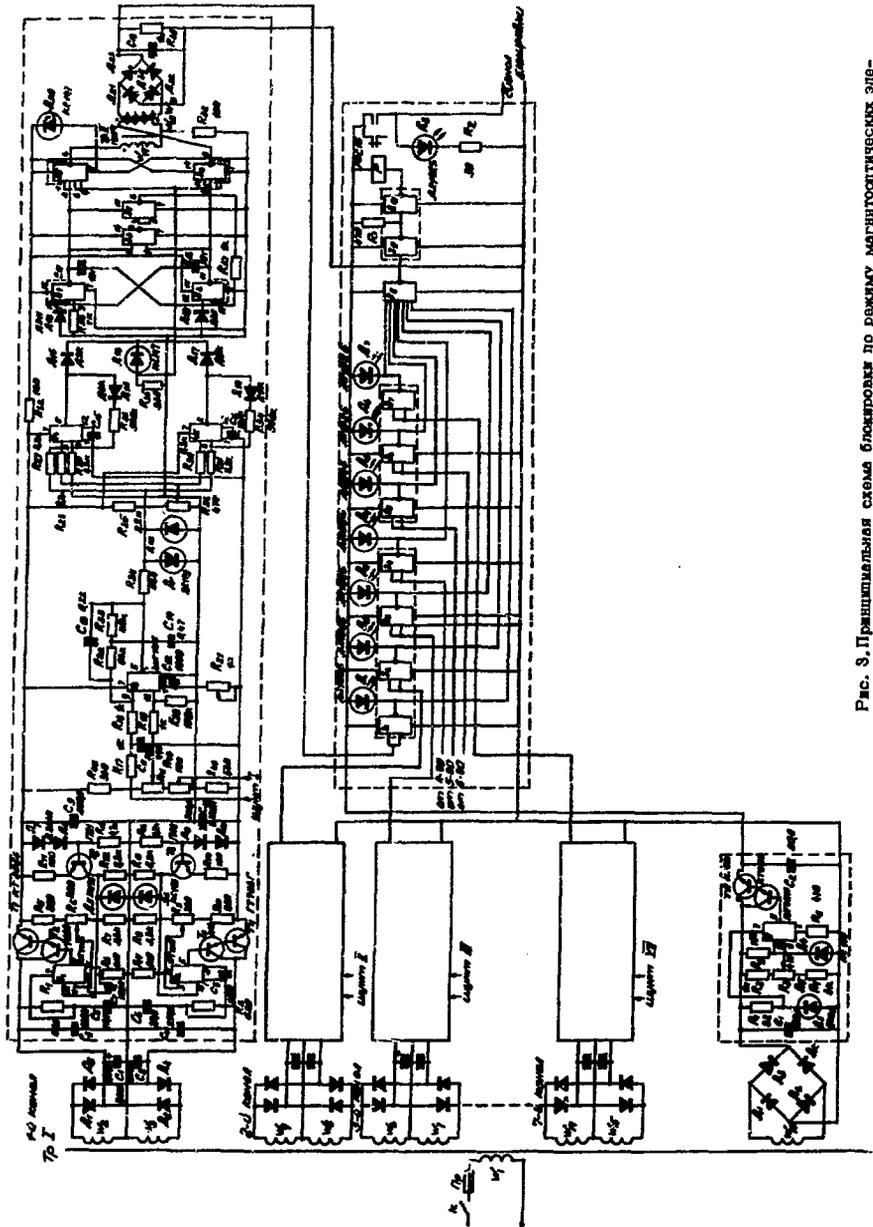


Рис. 3. Принципиальная схема блока по рожку магнитостатических элементов, работающих в статическом режиме питания.

Схема сравнения собрана на трех операционных усилителях ($Y_3 - Y_5$). Усилитель Y_3 сравнивает U_k и $U_{оп}$, усиливает разность ($U_k - U_{оп}$) и одновременно является активным фильтром для подавления пульсаций основной частоты питающего тока магнитооптических элементов. Усилители Y_4 и Y_5 работают в режиме положительной обратной связи и являются пороговыми устройствами для разных знаков разности ($U_k - U_{оп}$). Порог срабатывания задается потенциометром R 41. Применение схемы гальванической развязки вызвано специфическими условиями работы источников тока магнитооптических элементов. Эта схема состоит из мультивибратора ($\Pi_1 - \Pi_4$), логики ($\Pi_5 - \Pi_6$), импульсного трансформатора (МИТ-4) и выпрямителя (Д21 - Д24).

Схема индикации предназначена для указания элемента, режим которого вышел за пределы поля допусков. Она построена на логических элементах $I_1 - I_7$, в открытых коллекторах которых включены светодиоды. Схема блокировки собрана на логических элементах I_8, I_9, I_{10} . В открытом коллекторе I_{10} включено реле Р, через контакты которого подается напряжение +5 В (логический сигнал блокировки Y_2).

Устройство в целом обладает следующими техническими параметрами: максимальное контролируемое напряжение ± 3 В, поле допуска $\pm 0,5 \div \pm 40$ мВ. Время запаздывания срабатывания - 12 мкс.

3. СИСТЕМА РАДИАЦИОННЫХ МОНИТОРОВ

Основным требованием, предъявляемым к радиационному монитору помимо простоты и надежности в работе, является перекрытие широкого временного диапазона длительностей импульсов излучения, изменяющихся от десятков нс до нескольких секунд. Из этих соображений в качестве радиационного монитора выбран широко применяющийся в ИФВЭ детектор быстрых нейтронов. Он представляет собой шаровой замедлитель из полиэтилена диаметром 260 мм с помещенным внутрь счётчиком типа СТС-5

или СТС-6, окруженным родиевым конвертером толщиной $0,1 \text{ мм}^{1/2}$. Выбор родиевого конвертера не случаен. Сечение родия на тепловых нейтронах порядка 180 барн. Образовавшийся радиоактивный изотоп ${}_{45}^{\text{Rh}}104$ распадается с периодом полураспада 41 с по следующим каналам $^{1/3}$:

$$\begin{aligned} E_{\beta_1} &= 2,44 \text{ МэВ (98\%),} \\ E_{\beta_2} &= 1,88 \text{ МэВ (1,85\%),} \\ E_{\beta_3} &= 0,64 \text{ МэВ (0,15\%).} \end{aligned}$$

Большое сечение захвата и высокая энергия бета-частиц обуславливает высокую чувствительность детектора в целом к быстрым нейтронам: до $5,0 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ для конвертера площадью $5,8 \text{ см}^2$. Удобный период полураспада, в несколько раз превышающий длительность цикла ускорения, позволяет усреднить радиационную обстановку за время порядка нескольких минут и тем самым исключить нежелательное срабатывание блокировки при незначительных, от цикла к циклу, флуктуациях поля излучения на разных участках тракта. Одновременно период полураспада оказывается достаточно малым для того, чтобы при значительных отклонениях поля излучения от нормы срабатывание блокирующего устройства произошло после первого же импульса излучения. Недостатком детектора является его чувствительность к излучению других каналов частиц и невозможность проведения временного анализа излучения. Этот недостаток не является принципиальным, но с ним необходимо считаться. Опыт длительной эксплуатации показал, что путем разумного размещения мониторов на защите это влияние можно значительно уменьшить. Так, на нейтринном канале влияние посторонних источников излучения сказывается лишь на нескольких первых мониторах, расположенных непосредственно над залом ускорителя (рис. 1). На остальных оно меньше 10% по сравнению с эффектом от систематических потерь пучка на тракте нейтринного канала.

Энергетическая характеристика монитора в области энергий нейтронов менее 20 МэВ близка к энергетической зависимости тканевой дозы, что позволяет по показаниям монитора непосредственно контролировать радиационную обстановку по тракту. Радиационные мониторы установлены на верхней, более тонкой по сравнению с боковой, защите нейтринного ка-

нала вдоль его оси - через 6 м на участке тракта транспортировки и в районе мишенной станции и через 12-40 м на защите распадного туннеля. Выбор именно такой расстановки мониторов продиктован тем, что при примененных магнитооптических системах участок взаимодействия пучка с ионопроводом при сбоях достаточно протяжен и при указанной расстановке детекторов захватывает не менее 3-4 мониторов. Этот факт является дополнительной гарантией отключения вывода пучка при выводе из строя одного или, что совсем маловероятно, двух последовательно расположенных мониторов. Схема размещения мониторов показана на рис. 1. На рис. 4 приведено для иллюстрации работы системы радиационных мониторов продольное распределение поля излучения у наружной поверхности верхней защиты нейтринного канала для двух тиличных режимов работы канала - нейтринного и антинейтринного.

При разработке регистрирующей части системы в качестве способа регистрации информации выбран метод цифрового измерителя скорости счёта, т.е. счёта числа импульсов от радиационных мониторов в заданный интервал времени. Опрос радиационных мониторов производится в конце цикла ускорения после окончания стола магнитного поля. Для сокращения счётного оборудования выбран последовательно параллельный метод опроса мониторов с разбивкой их на группы по 10 каналов. Мониторы в группе опрашиваются в каждом цикле последовательно, все группы работают параллельно.

На рис. 5 показана структурная схема установки. Установка состоит из схемы управления, шести 10-канальных сигнализационно-измерительных блоков, блока внешней индикации и схемы выдачи логического сигнала Y_3 . Каждый из 60 сигнализационных каналов работает по принципу цифрового интенсиметра и включает: радиационный монитор РМ, выносимый с помощью коаксиального кабеля на место контроля, усилитель-формирователь УФ, ключи: входной Кв, сигнализационный Кс, измерительный Ки и триггер сигнализации Тс. Счётчик интенсиметра, общий для 10 каналов, состоит из двух декад СТ10 и дешифратора ДС.

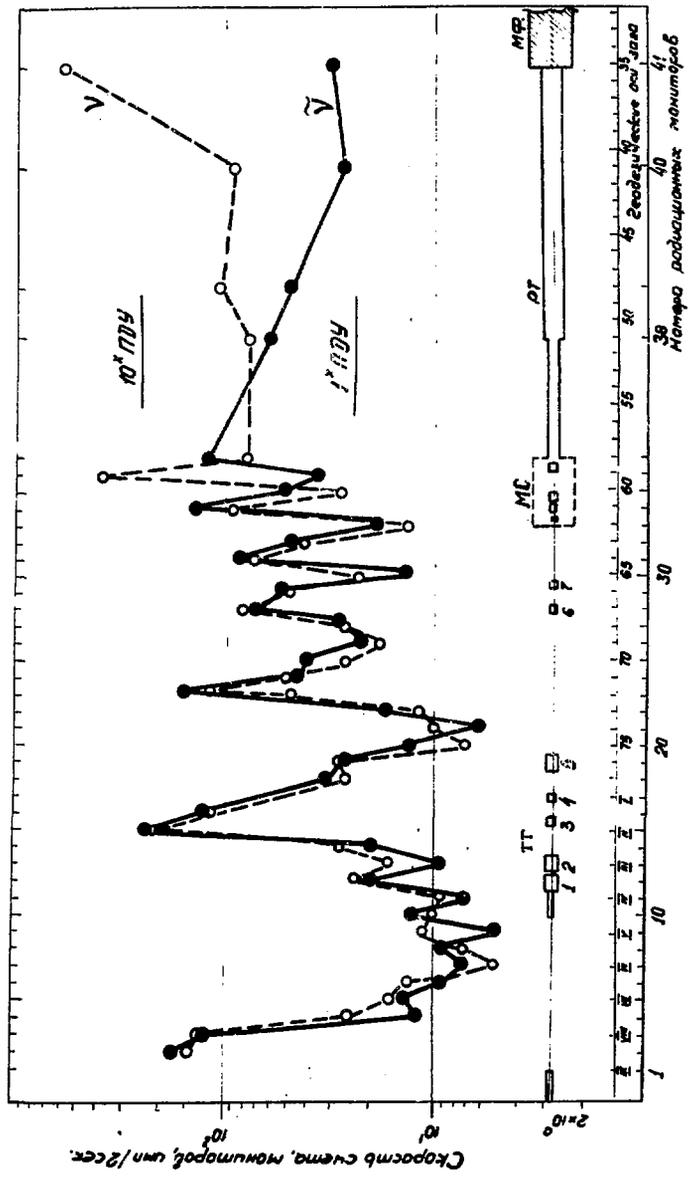


Рис. 4. Радиационная обстановка на верхней защите нейтринного канала при фокусировке нейтринного и антинейтринного пучка в апрельском сеансе 1975 г. Сплошная линия - фокусировка антинейтрино, пунктир - нейтрино.

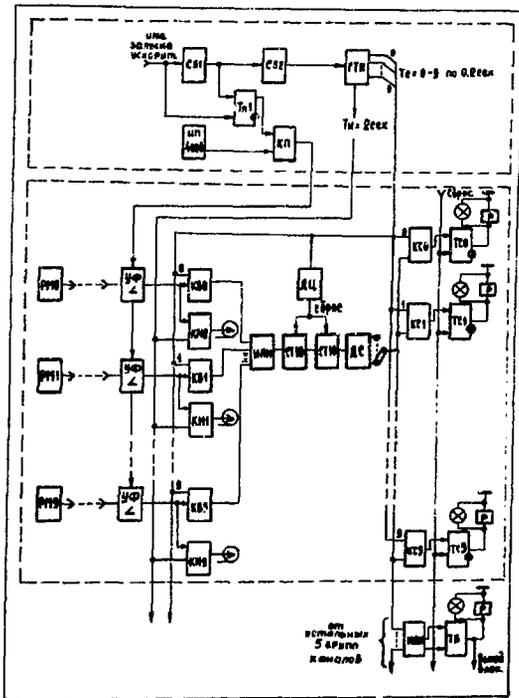


Рис. 5. Структурная схема системы радиационных мониторов "Сигнал".

Импульсы с радиационного монитора после усиления в УФ поступают на входы соответствующих ключей Кв и Ки. Все ключи Ки коммутируются одним временным интервалом, в данном случае $T_{и} = 2$ с, вырабатываемым генератором таймирующих интервалов (ГТИ). Через разъемы на передних панелях входных блоков импульсы с выхода этих ключей могут быть поданы на дополнительные пересчетные блоки, входящие в состав установки, но не отраженные в структурной схеме. Эти цепи предназначены для измерительных целей.

Ключи Кв и Кс коммутируются десятью равными временными интервалами $T_{с}$, следующими один за другим в пределах измерительного интервала $T_{и}$. Выходы всех ключей Кв группы через сборку "ИЛИ" подключены к счетчику интегратора. Коэффициент пересчета счетчика может меняться

в пределах от 10 до 100 путём съёма выходного импульса с десяти выходов дешифратора ДС. Сам счётчик через дифференцирующую цепь ДЦ устанавливается в нуль с каждой сменой таймирующего интервала T_c . Импульс с выхода ДС поступает одновременно на входы ключей K_c (0-9), на вторых входах которых разрешающий потенциал имеет только ключ обсчитываемого канала. Превышение количества поступивших за время T_c импульсов с монитора РМ сверх установленного коэффициента пересчёта счётчика вызывает переборс триггера сигнализации соответствующего канала. Это состояние триггера индицируется сигнальной лампочкой и срабатыванием релейного каскада, управляющего схемами внешней сигнализации.

Параллельно импульсы с выбранных выходов дешифраторов всех шести сигнализационных блоков через сборку "ИЛИ" подаются на установочный вход триггера блокировки, вызывая его срабатывание при превышении установленного порога любого из шестидесяти каналов. Потенциал с этого триггера посылается для блокировки вывода пучка в последующие циклы (Y_3 на рис. 2). Блокировка действует до тех пор, пока триггеры T_c и T_b не будут возвращены в исходное состояние.

Схема управления (обведенная пунктиром в верхней части рис. 5) предназначена для выработки потенциальных и импульсных сигналов, обеспечивающих последовательность работы установки. На вход схемы задержки $Cz1$ подается импульс запуска от таймерной системы ускорителя. Этот импульс одновременно поступает на вход установки нуля триггера питания $Tп1$, управляющего ключом питания $Kп$, блокируя подачу напряжения питания на счётчики радиационных мониторов. Деблокировка питания производится после окончания стопа магнитного поля и обеспечивается схемой задержки $Cz1$. Задержка $Cz2$ задерживает запуск генератора таймирующих интервалов ГТИ на время, необходимое для установления напряжения на счётчиках РМ.

ГТИ состоит из триггера управления, 50 Гц генератора импульсов, двух стандартных декад типа Я2-12 и схемы согласования выходов дешиф-

ратора декады с управляемыми входами ключей. Пусковой импульс с выхода Сз2 устанавливает триггер управления ГТИ в единицу, открывая входной ключ пересчётных декад. Импульсы с частотой 50 Гц, проходя через двухдекадный счётчик, возвращают триггер ГТИ в исходное состояние, обеспечивая на нем потенциальный сигнал длительностью 2 с. С выходов дешифратора второй декады последовательно снимаются потенциальные сигналы длительностью по 200 мс, которые используются для управления ключами Кв и Кс.

Электронные схемы всех трех систем выполнены на транзисторах. При снятии напряжения питания с любой из систем логический сигнал становится равным нулю и вывод пучка в нейтринный канал блокируется. Система в целом обладает достаточным быстродействием, она проста, надежна и удобна в эксплуатации. Независимость каждой из трех систем позволяет легко комбинировать их в зависимости от используемого способа питания магнитооптических элементов и их количества на тракте.

Сравнительная простота, надежность и эффективность работы всей системы в целом, проверенные в течение длительной эксплуатации, позволяют рекомендовать её в качестве типового элемента любого тракта, работающего на выведенном из ускорителя пучке частиц.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Н.Болотов и др. Препринт ИФВЭ 68-56-К, Серпухов, 1968.
2. В.Е.Бородин, А.С.Гаврилов, Г.И.Крупный и др. Препринт ИФВЭ 74-131, Серпухов, 1974.
3. Атлас нейтронных сечений. М., Атомиздат, 1959.
4. В.В.Комаров, О.В.Курнаев, Э.А.Меркер и др. Препринт ИФВЭ 72-98, Серпухов, 1972.

Рукопись поступила в издательскую группу

20 октября 1975 года.



Цена 7 коп.

© - Институт физики высоких энергий, 1975 г.
Издательская группа И Ф В Э
Заказ 985. Тираж 250, 0,6 уч.-изд.л. Т-19121.
Ноябрь 1975. Редактор Н.Л. Ямба.