

МОДЕРНИЗАЦИЯ КАНАЛА РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛА КРИВОЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВЫСВЕЧИВАНИЯ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ПУЛЬТА ИКС-А

Б. П. Миронычев, В. М. Мартынов, Д. П. Спирин, В. В. Турутин

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время в Институте ядерной и радиационной физики РФЯЦ-ВНИИЭФ введен в опытную эксплуатацию сильноточный ускоритель электронов «Гамма-1». Измерение его выходной дозы тормозного излучения осуществляется методом индивидуального контроля стекол (ИКС). Метод ИКС – это радиотермолюминесцентный метод, основанный на использовании алюмофосфатных стекол. При воздействии ионизирующего излучения на алюмофосфатные стеклянные детекторы ими поглощается и на длительное время аккумулируется энергия в виде запасенной светосуммы. В дальнейшем, при нагревании облученных детекторов до определенной температуры светосумма высвечивается и по измерению интенсивности высвечивания определяют соответствующую величину дозы, облучившей детекторы.

Одним из основных средств измерения запасенной светосуммы облученных стеклянных детекторов ИС-7 является дозиметрический пульт ИКС-А. Он обладает необходимыми возможностями измерения поглощенных доз благодаря большой чувствительности и широкому диапазону измерений по дозе. Это относительно простой с точки зрения схемотехники и эксплуатации прибор.

На рис. 1 изображена структурная схема канала регистрации и обработки сигнала кривой температурного высвечивания прибора ИКС-А.

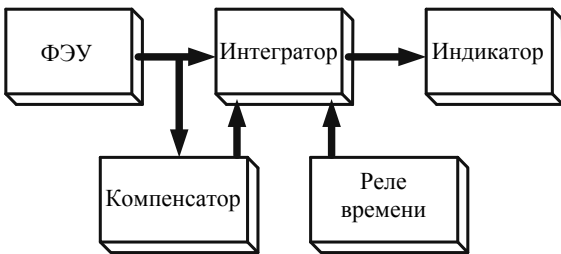


Рис. 1. Структурная схема канала регистрации и обработки сигнала кривой температурного высвечивания ИКС-А

ФЭУ – отечественный фотоэлектронный умножитель типа ФЭУ-35 – регистрирует радиотермолюминесценцию (РТЛ) нагреваемого детектора ИС-7, преобразуя излучение в электрический ток, который поступает на вход интегратора. Для поддержания постоянного коэффициента преобразования ФЭУ запитан от стабилизированного высоковольтного источника питания. Постоянство анодной чувствительности про-

веряется встроенным контрольным источником света со спектром, близким к спектру РТЛ стекла. Для настройки чувствительности источник приводят в положение, при котором он освещает фотокатод ФЭУ. Регулируя напряжения питания ФЭУ, устанавливают коэффициент усиления, при котором показания индикатора соответствуют значению калибровки, указанному в паспорте прибора.

Интегратор осуществляет суммирование мгновенных значений тока за время его измерения. Элементом интегрирования служит конденсатор, включенный в цепь сетки электронной лампы 6НЗП, работающей в режиме катодного повторителя. Лампа работает в режиме пониженного напряжения накала (5,4–5,7 В), что позволяет избежать самовозбуждения каскада и уменьшить сеточные токи. Интегратор имеет три поддиапазона кратностью 1:10:100.

Реле времени в ИКС-А состоит из двух электромагнитных реле и лампового одновибратора. Оно устанавливает интервал времени работы интегратора, разряжая его конденсатор и подключая интегратор к фотоэлектронному преобразователю спустя 2 с от начала запуска. Затем, по истечении следующего определенного промежутка времени, реле отключает ФЭУ от интегратора. Диаграмма зависимости интенсивности высвечивания РТЛ от времени нагревания детектора называется кривой температурного (термического) высвечивания (КТВ). Осциллограмма КТВ прибора ИКС-А, представленная в виде кривой анодного тока ФЭУ, пропорционального световому потоку люминесценции облученного детектора, приведена на рис. 2.

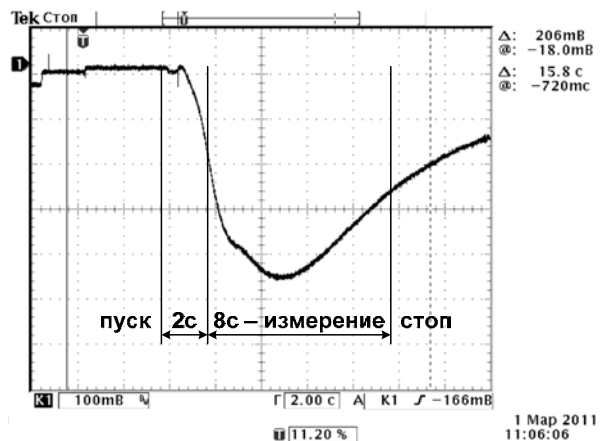


Рис. 2. Осциллограмма КТВ ИКС-А

Исключив из процесса измерения тока начальную нестабильную часть КТВ и высокотемпературное затухание, удастся повысить скорость и точность измерений, снижая влияние спада показаний и фонового тока. Нестабильность начального участка КТВ связана с наличием низкотемпературной (при $t < 200$ °С) люминесценции детекторов, интенсивность которой не характеризует величину измеряемой поглощенной дозы и сильно уменьшается со временем, прошедшим между облучением детектора и измерением РТЛ. Начальный и конечный участки КТВ не учитываются потому, что уровень полезного сигнала на них соизмерим с уровнем фонового тока. Фоновый ток складывается из сеточного тока лампы интегратора, темного тока ФЭУ, токов утечки монтажа, тепловых и дробовых флуктуаций. Фоновый ток резко возрастает в высокотемпературной части КТВ за счет фототока теплового свечения нагревателя, нагретого детектора и сгорания веществ, случайно занесенных на нагреватель и детектор.

Компенсатор снижает влияние фонового тока на результат измерения. Перед каждым измерением фоновый ток запоминается RC-цепью с большой постоянной времени и вычитается в процессе измерения. Качество схемы компенсации определяется коэффициентом усиления катодного повторителя и, в наилучшем случае, можно уменьшить роль фонового тока в сто раз. Возможности компенсатора ограничены флуктуациями темного тока ФЭУ и разрывом во времени между моментом запоминания компенсирующего тока и окончанием измерения. Схема не может компенсировать уменьшение теплового свечения нагревателя из-за его охлаждения при попадании детектора и свечения от сгорания грязи, попавшей на детектор. Также, на результате измерения сказывается то, что детектор частично экранирует свечение нагревателя.

Индикатор в ИКС-А представляет собой стрелочный микроамперметр, включенный в диагональ балансного моста. Линейная шкала стрелочного измерительного прибора имеет дополнительную неодинаковую относительную погрешность по шкале, поэтому приходится мириться с большой дополнительной погрешностью начальной части шкалы.

Электрическая схема и конструкция пульта ИКС-А были разработаны в конце 60-х годов и к настоящему времени морально и физически устарели. Из-за отсутствия устаревших радиодеталей прибор практически неремонтопригоден. Несмотря на большой, по сравнению с полупроводниками, температурный и радиационный диапазон условий эксплуатации, применение электровакуумных ламп снижает надежность и стабильность измерений. Использование режима пониженного накала продлевает срок службы ламп, но в процессе эксплуатации они меняют свои параметры – их катоды теряют эмиссионную способность. Лампы требуют предварительного прогрева, дополнительных затрат мощности на накал, высокого напряжения питания. Прибору необходима частая настройка или применение дополнительных схемотехнических решений для компенсации недостатков.

Для повышения точности измерений канал регистрации и обработки сигнала кривой термовысвечивания был модернизирован.

В настоящий момент известны два основных способа измерения РТЛ стекол – пиковый и интегральный. По первому методу измерение КТВ проводится в момент времени, соответствующий максимальной интенсивности РТЛ. В этот момент уровень полезного сигнала значительно превышает уровень фоновых помех и улучшается характеристика сигнал/шум. Это выгодно при измерении малых доз, но требует очень высокой стабильности скорости и равномерности прогрева детектора, влияющих на амплитуду КТВ и сохранение положения максимума во времени. В приборе ИКС-А применен второй – интегральный способ измерения. По нему сигнал измеряется в течение длительного времени термолюминесценции и регистрируется площадь, ограниченная КТВ и осью времени. Эта площадь пропорциональна количеству энергии, запасенной детектором в процессе облучения, и поэтому интегральный метод обладает меньшей погрешностью. Однако использование этого метода связано с практической невозможностью отделения полезного сигнала от помех на всем протяжении процесса измерения КТВ. Поскольку уровень помех и величину темного тока можно существенно снизить путем охлаждения катода ФЭУ, то, усовершенствовав схему и элементную базу прибора, удастся повысить качество дозиметрии.

Электронная схема канала регистрации и обработки сигнала кривой температурного высвечивания обеспечивает регистрацию РТЛ детектора и измерение анодного тока ФЭУ. В качестве метода обработки сигнала КТВ был выбран способ частотно-импульсной модуляции. Он заключается в преобразовании анодного тока ФЭУ в последовательность импульсов, частота следования которых пропорциональна величине измеряемого тока. Принцип работы модернизированной схемы показан на рис. 3.

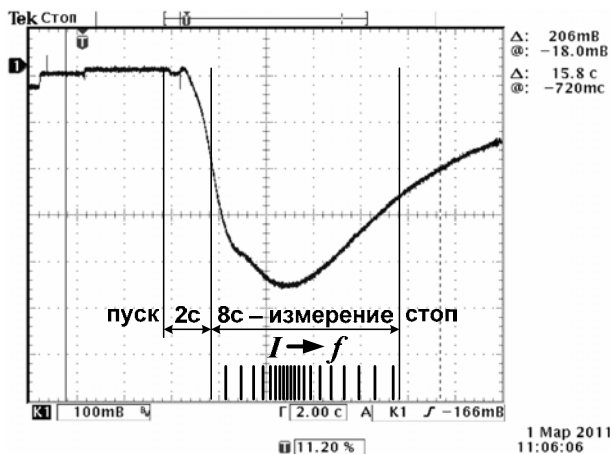


Рис. 3. Оциллограмма КТВ и преобразование тока в частоту модернизированным каналом регистрации и обработки КТВ

Полученное количество импульсов, пропорциональное интегралу от входного тока, индицируется на цифровом табло в единицах количества импульсов за время измерения.

Модернизированный канал обрабатывает КТВ интегральным методом, обладающим меньшей погрешностью измерения по сравнению с пиковым. Частотно-импульсный способ обработки сигнала компенсирует погрешность изменения формы КТВ и положения пика высвечивания относительно оси абсцисс, случайно возникающую из-за неравномерной скорости прогрева детектора. Реле времени исключает из измерения нестабильные участки КТВ и интервал интегрирования составляет 8 с.

В процессе измерения тока необходимо учитывать величину фонового сигнала. Для этого, проводя измерение партии необлученных детекторов ИС-7, определяется среднее количество полученных импульсов фонового счета, соответствующее фоновому сигналу. После каждого измерения РТЛ облученного детектора необходимо вычитать число импульсов фонового счета из количества импульсов, высветившихся на индикаторе. Полученное таким образом количество импульсов, пропорциональное высвечиваемой детектором запасенной светосумме, является результатом измерения. С помощью периодического контроля фонового счета определяется исправность прибора. Постоянство анодной чувствительности ФЭУ проверяется и настраивается перед каждым измерением с помощью встроенного контрольного источника света. Структурная схема модернизированного канала регистрации и обработки сигнала КТВ представлена на рис. 4.

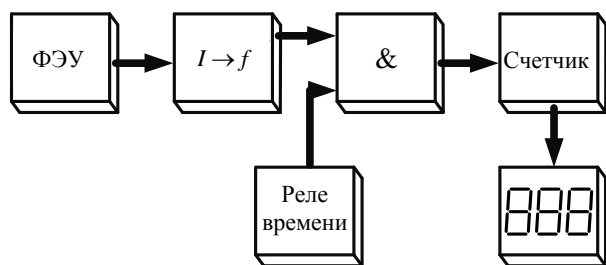


Рис. 4. Структурная схема модернизированного канала регистрации и обработки сигнала КТВ

Преобразователь ток-частота включает в себя буферный усилитель, согласующий высокое сопротивление ФЭУ со схемой преобразователя напряже-

ние-частота. С преобразователя импульсы поступают на вход логического элемента И.

Элемент И формирует «ворота», через которые осуществляется заполнение зоны оцифровки импульсами переменной частоты и постоянной амплитуды.

Реле времени устанавливает интервал работы счетчика, подключая его к преобразователю ток-частота спустя 2 с после нажатия кнопки ПУСК. По истечении 8 с работы реле отключает счетчик от преобразователя посредством элемента И. Реле времени представляет собой одновибратор.

Счетчик импульсов состоит из последовательно включенных двоично-десятичных счетчиков. С выхода $f/10$ каждого предыдущего счетчика сигнал поступает на последующий, и таким образом осуществляется подсчет единиц, десятков, сотен и т. д. импульсов. Сбрасывание показаний счетчика осуществляется кнопкой ПУСК перед началом каждого измерения.

Индикатор собран из семисегментных светодиодных индикаторов, отображающих результаты измерений в цифровом виде.

Замена устаревшей элементной базы на современную повышает надежность и ремонтпригодность прибора. Применение частотно-импульсного метода обработки КТВ позволяет исключить из схемы прибора стрелочный индикатор и некачественный компенсатор паразитного тока и таким образом снизить погрешность измерения дозы. Учитывая большую потребность в качественной дозиметрии, схема модернизированного канала регистрации и обработки сигнала КТВ может быть применена в составе измерительного пульта ИКС-А. В настоящее время модернизированный канал находится на этапе действующего макета.

Литература

1. Бочвар И. А., Гимадова Т. И., Кеирим-Мааркус И. Б. и др. Метод дозиметрии ИКС. М.: Атомиздат, 1977.
2. Дозиметр гамма-излучения ИКС-А. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ИКС-0-00-03 ТО. М.: Институт биофизики Минздрава СССР, 1979.
3. Установка дозиметрическая термолюминесцентная ДВГ-02Г. Руководство по эксплуатации. ПИГУ.4362-002-08627804-98 РЭ. М.: НПП «Доза», 2000.
4. Франк М., Штольц В. Твердотельная дозиметрия ионизирующего излучения / Под ред. И. Б. Кеирим-Маркуса. М.: Атомиздат, 1973.