

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035318**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.05.27

(51) Int. Cl. **G01T 1/20** (2006.01)

(21) Номер заявки
201650024

(22) Дата подачи заявки
2016.09.12

(54) **СПОСОБ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВОГО
ФОТОЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ
И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(31) **a20160021**

(56) RU-C1-2365943
RU-C2-2158938
US-B2-7642516
US-B2-7081626

(32) **2016.01.26**

(33) **BY**

(43) **2017.10.31**

(96) **2016/EA/0068 (BY) 2016.09.12**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"РАДАТЕХ" (BY)**

(72) Изобретатель:
**Интяков Алексей Николаевич,
Кольцов Игорь Вячеславович (BY)**

(74) Представитель:
Трофимов В.В. (BY)

(57) Изобретение относится к ядерной физике, а именно к способам и устройствам корректировки и стабилизации коэффициента передачи сцинтилляционного детектора ионизирующих излучений, и может найти применение для построения контрольно-измерительных приборов и систем для радиационного контроля, использующих взаимодействие кристаллического сцинтиллятора с ионизирующим излучением в качестве первичного преобразования. Технической задачей заявляемого изобретения является повышение стабильности и качества коррекции выходного сигнала детектора, повышение точности стабилизации спектрометрической шкалы детектора в широком диапазоне температур, повышение мобильности устройства и расширение сферы его применения. В предлагаемом способе температурной стабилизации параметров сцинтилляционного детектора на основе кремниевого фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) (2) при регистрации гамма-излучения в течение всего процесса регистрации гамма-излучения получают независимые последовательности данных с двух прецизионных датчиков температуры (3,4), пространственно раздельно характеризующих температуру сцинтилляционного кристалла (1) и кремниевого ФЭУ, на основе анализа двух массивов независимых последовательностей вырабатывают общий сигнал управления, противодействующий отклонению регулируемой величины от истинного значения, воздействуют им на объект управления, изменяют и корректируют его коэффициент передачи через изменение напряжения питания кремниевого ФЭУ.

035318
B1

035318
B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к ядерной физике, а именно к способам и устройствам корректировки и стабилизации коэффициента передачи сцинтилляционного детектора ионизирующих излучений, и может найти применение для построения контрольно-измерительных приборов и систем для радиационного контроля, использующих взаимодействие кристаллического сцинтиллятора с ионизирующим излучением, в качестве первичного преобразования. Более конкретно настоящее изобретение относится к сцинтилляционным детекторам на основе кремниевого фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), преобразующим световое излучение сцинтиллятора в последовательность электрических импульсов, усиленных и сформированных электронным трактом для их последующего кодирования с учетом коррекции напряжения смещения кремниевого ФЭУ в зависимости от температуры детектора.

Уровень техники

Известен способ пассивной компенсации температурного коэффициента усиления в кремниевых фотоэлектронных умножителях (далее ФЭУ) и аналогичных устройствах [1].

Предлагаемый способ может быть использован в схеме, включающей терморезистор с отрицательным температурным коэффициентом, который устанавливается с возможностью обеспечения термального контакта с кремниевым фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Делитель напряжения, одним из элементов которого является терморезистор, задает надлежащее напряжение смещения кремниевого ФЭУ при определенной температуре, которое может корректироваться при изменении угла наклона температурной характеристики терморезистора. Таким образом, схема будет поддерживать усиление на выбранном значении.

Такая схема в основном применяется при множественном (матричном) включении кремниевых ФЭУ, в основном в устройствах построения изображений, например в ПЭТ-томографах, и предполагает корректировку линейного температурного смещения кремниевых ФЭУ. Схема не учитывает нелинейность температурной зависимости кремниевых ФЭУ, нелинейность температурной зависимости собственно кристалла сцинтиллятора, хотя представляет собой наиболее бюджетное решение при матричном применении кремниевых ФЭУ.

Известен также способ коррекции зависящих от температуры сигналов, генерируемых сцинтилляционным детектором, включающий поглощение ионизирующего излучения на сцинтилляторе, преобразование светового излучения в последовательность электрических импульсов, измерение аппаратного значения их амплитуды, пропорциональной энергии поглощаемого излучения, одновременное измерение температуры внутри детектора, вычисление ее среднего значения за время измерения, определение калибровочного коэффициента с учетом средней температуры по заданной математической функции, представляющей собой полином, с предварительно определенными параметрами, определение истинного значения энергии поглощенного излучения с учетом полученного калибровочного коэффициента, генерирование на его основе выходного сигнала детектора [2].

Предложенный способ реализован в детекторах, которые наряду с типовыми узлами, такими как сцинтиллятор, фотоэлектронный умножитель и средства преобразования и обработки данных, содержат термодатчик, устанавливаемый непосредственно после ФЭУ. Рассматриваемое устройство реализовано на основе вакуумного ФЭУ, который имеет достаточно протяженные габариты, а в сочетании со сцинтилляционным кристаллом размеры детектора увеличиваются до десятка сантиметров, что при различной плотности материалов, из которых состоят собственно ФЭУ и сцинтиллятор, обуславливает значительный градиент температуры в объеме детектора в целом. При использовании же кремниевого ФЭУ температурный градиент еще более оказывает влияние на температурную стабилизацию системы, т.к. нелинейность в температурной зависимости у кремниевого ФЭУ значительно выше, чем у вакуумного, имеющего почти линейную характеристику.

Качественно различные графики зависимости передаточных характеристик кристаллического сцинтиллятора и кремниевого ФЭУ при одинаковой температуре требуют их отдельной корректировки (по совершенно различным математическим алгоритмам), что в рассматриваемом устройстве не реализовано.

Известны аналитический способ и устройство для компенсации температурной зависимости сцинтиллятора [3].

Система устройства включает в себя сцинтиллятор, фотодатчик, оптически соединенный со сцинтилляционным кристаллом, и устройство анализатора, электрически соединенного с фотодатчиком. Устройство анализатора может включать в себя ряд схем, обеспечивающих возможность приема импульсов от фотодатчика, и анализа формы зарегистрированного импульса. Устройство анализатора может определить время нарастания импульса, интегральную интенсивность по времени, высоту амплитуды импульса. В другом варианте своего исполнения устройство может генерировать коэффициент компенсации на основе анализа времени нарастания импульса для регулировки высоты импульса.

Таким образом, в устройстве с достаточной точностью реализована компенсация температурной зависимости сцинтилляционного кристалла. Но такое техническое решение может быть применено в случае, когда система сцинтиллятор-ФЭУ термостатирована, или используется фоторегистрирующий элемент, не имеющий температурной зависимости, например PIN-диод, что влечет серьезные метрологиче-

ские ограничения, а используемая электронная схема на основе ПЛИС или FPGA и сверхбыстродействующей логики значительно повышает энергопотребление, стоимость, что соответственно сужает области применения детектора. Недостатком способа является также отсутствие стабильности качества коррекции, поскольку за счет естественного процесса старения кристалла происходит изменение параметров формы импульса. К такому же эффекту приводит эксплуатация кристалла в условиях повышенной радиационной нагрузки. Кроме того, при длительной эксплуатации устройства происходит изменение параметров электронного тракта. Поэтому использование в течение длительного времени в процессе коррекции выходного сигнала детектора первоначально измеренных параметров формы импульса приводит к снижению качества самой коррекции.

Наиболее близкими к заявляемому техническому решению являются устройство обнаружения излучения на основе кремниевых фотоэлектронных умножителей и способ обнаружения излучения в окружающей среде [4].

Устройство обнаружения излучения на основе кремниевого ФЭУ включает в себя ряд детекторных узлов, каждый из которых включает по меньшей мере один сцинтиллятор, обеспечивающий трансформацию излучения в световую вспышку, поступающую на соответствующий кремниевый ФЭУ в ответ на ионизирующее излучение, попадающее на сцинтиллятор. Система обнаружения излучения включает в себя логическое устройство и ряд других электронных модулей для визуализации, калибровки и других процессов. Логическое устройство выполнено с возможностью обработки сигналов кремниевого ФЭУ и реализации различных типов процедур обнаружения излучения. В предлагаемых вариантах применения кремниевого ФЭУ с различными сцинтилляторами, как объемной кристаллической формы, так и в виде плоских протяженных пластин, используется печатная плата, содержащая кремниевый ФЭУ, каскад преусилителя, микроконтроллер, датчик температуры, управляемый блок питания кремниевого ФЭУ. Поскольку сцинтиллятор может быть реализован на основе различных материалов, в зависимости от вида детектируемого излучения, то соответственно он обладает разными объемом, формой, плотностью материала и вариантом стыковки с кремниевым ФЭУ.

Однако подход к стабилизации во всех рассмотренных в прототипе вариантах применения кремниевого ФЭУ одинаков - активное измерение и контроль температуры на поверхности кремниевого ФЭУ с последующей регулировкой напряжения смещения либо усиление и измерение выходного сигнала кремниевого ФЭУ с его последующей корректировкой с помощью таблицы после оцифровки.

Недостатком указанного технического решения является то, что в предложенных системах не учитываются конструктивные особенности и протяженность собственно сцинтилляционного кристалла, хотя в разных вариантах исполнения, предложенных в прототипе, температурный градиент в этих деталях будет значителен и отличаться от измеряемой температуры на поверхности кремниевого ФЭУ, что обуславливает в конечном итоге невысокую точность измерения.

Технической задачей заявляемого изобретения являются повышение стабильности и качества коррекции выходного сигнала детектора, повышение точности стабилизации спектрометрической шкалы детектора в широком диапазоне температур, повышение мобильности устройства и расширение сферы его применения.

Сущность изобретения

Поставленная техническая задача решается тем, что в предлагаемом способе температурной стабилизации параметров сцинтилляционного детектора на основе кремниевого фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) при регистрации гамма-излучения, включающем измерение температуры сцинтилляционного детектора, выполненного в виде кремниевого ФЭУ и сцинтиллятора, определение калибровочного коэффициента с учетом измеренной температуры сцинтилляционного детектора и соответствующей коррекции напряжения смещения кремниевого ФЭУ для формирования выходного сигнала, соответствующего истинному значению энергии поглощенных квантов, согласно изобретения в течение всего процесса регистрации гамма-излучения получают независимые последовательности данных с двух прецизионных датчиков температуры, пространственно раздельно характеризующих температуру сцинтилляционного кристалла и кремниевого ФЭУ, на основе анализа двух массивов независимых последовательностей вырабатывают общий сигнал управления, противодействующий отклонению регулируемой величины от истинного значения, воздействуют им на объект управления в виде сцинтилляционного детектора, изменяют и корректируют его коэффициент передачи через изменение напряжения питания кремниевого ФЭУ.

Отличительной особенностью способа является также получение независимых последовательностей данных о температуре сцинтилляционного кристалла и кремниевого ФЭУ в течение всего процесса измерения и формирование на их основе единого напряжения смещения кремниевого ФЭУ - $U_{см}(T1, T2, t)$ с использованием разных алгоритмов, каждый из которых соответствует своей форме кардинально различных графиков температурной зависимости.

Таким образом, общий сигнал управления вырабатывают на основе анализа двух массивов данных по различным алгоритмам по форме графика температурной зависимости согласно следующей формулы:

$$U_{см}(T1, T2, t) = \left[U1(T1) + \frac{\Delta U1(t)}{\Delta t} * \tau1 \right] + \left[U2(T2) + \frac{\Delta U2(t)}{\Delta t} * \tau2 \right]$$

где

$U_1(T_1)$ - табличное значение напряжения управления для сцинтилляционного кристалла, зависящее от температуры T_1 , определяемое на этапе температурной калибровки;

$U_2(T_2)$ - табличное значение напряжения управления для кремниевого ФЭУ, зависящее от температуры T_2 , определяемое на этапе температурной калибровки;

τ_1 - постоянная времени управления для сцинтилляционного кристалла, зависящая от объема кристалла и определяемая на этапе температурной калибровки;

τ_2 - постоянная времени управления для кремниевого ФЭУ, зависящая от конструкции детектора и определяемая на этапе температурной калибровки;

$\Delta U_1(t)$ - изменение напряжения управления U_1 за время Δt ;

$\Delta U_2(t)$ - изменение напряжения управления U_2 за время Δt .

Поставленная техническая задача решается также тем, что предлагаемое устройство, включающее сцинтилляционный детектор, содержащий по меньшей мере один кремниевый ФЭУ и один сцинтиллятор, обеспечивающий трансформацию излучения в световую вспышку, поступающую на соответствующий кремниевый ФЭУ в ответ на ионизирующее излучение, попадающее на сцинтиллятор, каскад предусилителя, усилитель, аналого-цифровой преобразователь, микропроцессор, датчик температуры, управляемый блок питания кремниевого ФЭУ, согласно изобретению снабжено сумматором, дискриминатором и дополнительным датчиком температуры, при этом управляемый блок питания кремниевого ФЭУ выполнен в виде двух управляемых источников напряжения, выходы обоих датчиков температуры подключены к управляемым источникам напряжения, анализирующим данные от датчиков температуры и формирующим под контролем микропроцессорного устройства аналоговые сигналы, подаваемые на входы сумматора, выход которого подключен ко входу напряжения питания кремниевого ФЭУ.

Предпочтительно что в устройстве, реализующем предложенный способ, два прецизионных датчика температуры размещены у поверхностей кристалла сцинтиллятора и кремниевого ФЭУ с возможностью отдельной регистрации температуры кристаллического сцинтиллятора и кремниевого ФЭУ с максимальной достоверностью.

Перечень фигур графических материалов

Заявляемые способ и устройство поясняются графическими материалами, на которых на фиг. 1 показан график температурной зависимости для сцинтилляционного кристалла; на фиг. 2 - график температурной зависимости для кремниевого ФЭУ; на фиг. 3 – блок-схема предлагаемого устройства.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Предлагаемое устройство включает в себя сцинтилляционный детектор, выполненный в виде неорганического кристаллического сцинтиллятора 1 и кремниевого ФЭУ 2, прецизионные датчики температуры 3 и 4, предусилитель 5, усилитель-формователь 6, аналого-цифровой преобразователь (далее АЦП) 7, дискриминатор 8, микропроцессор 9, два управляемых источника напряжения 10 и 11, сумматор 12, интерфейс 13.

Устройство, реализующее предлагаемый способ, работает следующим образом. Поток измеряемого ионизирующего излучения регистрируют и преобразуют сцинтилляционным детектором (позицией не обозначен), выполненным в виде неорганического кристаллического сцинтиллятора 1 и кремниевого ФЭУ 2, и предусилителем 5 в последовательность импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии, потерянной частью ионизирующего излучения в неорганическом кристаллическом сцинтилляторе 1. Сформированные усилителем-формователем 6 в оптимальную для кодирования форму импульсы поступают на вход аналого-цифрового преобразователя 7. Одновременно дискриминатором 8 вырабатывается сигнал запуска АЦП 7 в момент времени, соответствующий пиковому значению амплитуды измеряемого импульса. Данные с выхода АЦП 7 передаются в микропроцессор 9, где обрабатываются согласно программного алгоритма, "зашифрованного" в ПЗУ микропроцессора 9. Обработанный результат измерения передается далее пользователю посредством модуля интерфейса 13, преобразующего итоговые данные соответственно одному из протоколов последовательной передачи - RS, CAN, USB.

Размещенные у поверхностей кристалла сцинтиллятора 1 и кремниевого ФЭУ 2 прецизионные датчики температуры 3 и 4 измеряют температуру кристаллического сцинтиллятора 1 и кремниевого ФЭУ 2 с точностью до $0,01^\circ\text{C}$ и передают результаты на входы двух управляемых источников напряжения (УИН) 10 и 11 соответственно. УИН 10 и 11 формируют две алгоритмически различные составляющие опорного напряжения и напряжения смещения кремниевого ФЭУ, программно управляемые микропроцессором 9, затем результирующие аналоговые значения напряжения U_1 и U_2 поступают на входы сумматора 12, которым формируется итоговое напряжение смещения $U_{\text{см}}$ кремниевого ФЭУ 2.

Пример осуществления способа.

С учетом изложенного предлагаемый способ осуществляют следующим образом.

Производят регистрацию потока измеряемого ионизирующего излучения путем приема сигналов гамма-излучения с помощью сцинтилляционного детектора на основе кремниевого ФЭУ 2. При этом квант ионизирующего излучения (гамма-квант) попадает на сцинтилляционный кристалл сцинтиллятора

1, вызывая свечение кристалла. Образованный в результате этого взаимодействия фотон (поток фотонов) регистрируется и усиливается твердотельным кремниевым ФЭУ 2.

Усиленный предусилителем 5 сигнал дополнительно формируют с помощью усилителя-формирователя 6 в оптимальную для кодирования форму и подают на вход АЦП 7. Одновременно с помощью дискриминатора 8 вырабатывают сигнал запуска АЦП 7 в момент времени, соответствующий пиковому значению амплитуды измеряемого импульса. Данные с выхода АЦП 7 передают в микропроцессор 9, где они обрабатываются согласно программному алгоритму, "зашитого" в ПЗУ микропроцессора 9. Обработанный результат измерения передают далее пользователю через модуль интерфейса 13, преобразующего итоговые данные соответственно одному из протоколов последовательной передачи - RS, CAN, USB.

Во время регистрации гамма-излучения получают независимые последовательности данных с двух размещенных у поверхностей кристалла сцинтиллятора 1 и кремниевого ФЭУ 2 прецизионных датчиков 3 и 4 температуры, пространственно раздельно характеризующих температуру сцинтилляционного кристалла 1 и кремниевого ФЭУ 2. С помощью прецизионных датчиков температуры 3 и 4 измеряют температуру кристаллического сцинтиллятора 1 и кремниевого ФЭУ 2 и передают результаты на входы двух УИИ 10 и 11 соответственно.

На основе анализа двух массивов данных вырабатывают общий сигнал управления, противодействующий отклонению регистрируемой величины от истинного значения. Это осуществляют с помощью УИИ 10 и 11, посредством которых формируют две алгоритмически различные составляющие напряжения смещения кремниевого ФЭУ 2, программно управляемые микропроцессором 9. Затем подают результирующие аналоговые значения напряжения U_1 и U_2 на входы сумматора 12, с помощью которого формируют итоговое напряжение смещения U_{CM} кремниевого ФЭУ 2. Тем самым, общим сигналом U_{CM} воздействуют на объект управления в виде сцинтилляционного детектора, изменяют и корректируют его коэффициент передачи через изменение напряжения смещения кремниевого ФЭУ 2.

Предложенный способ и устройство позволяют

осуществлять активное измерение и контроль температуры на поверхности сцинтиллятора и кремниевого ФЭУ с последующей регулировкой напряжения смещения;

применить любой алгоритм обработки спектров с высокой точностью (выше, чем в случае с применением температурных коэффициентов для корректировки уже предварительно сформированного спектра);

расширить диапазон регистрируемых энергий гамма-квантов и возможность регистрации низкоэнергетических гамма-квантов;

расширить возможность создания приборов нового типа для детектирования вспышек света слабой интенсивности (на уровне одиночных фотонов) и с малой длительностью (порядка наносекунд) в сочетании с низким эксплуатационным напряжением при работе в широкой области изменения температур окружающей среды, в частности при работе в полевых условиях.

Дополнительными преимуществами предлагаемого изобретения является то, что работа устройства не зависит от внешнего электромагнитного излучения даже без применения специальных мер по экранизации или другой защите.

Предлагаемое изобретение позволяет значительно уменьшить габариты и массу прибора по сравнению с другими спектральными детекторами.

Предлагаемое изобретение позволяет снизить потребляемую мощность прибора в сравнении с другими спектральными детекторами.

Прибор прошел предварительные испытания и намечен к изготовлению на предприятии заявителя.

Источники информации.

1. Патент США US 9123611 B1, МПК G01J 1/44, публ. 01.09.2015 г.
2. Патент RU 2418306, МПК G01T 1/40, публ. 10 мая 2011 г.
3. Заявка WO 2015047935 A1, МПК G01T 1/20, публ. 2 апреля 2015 г.
4. Заявка WO 2015081134 A2, МПК G01T 1/208, публ. 4 июня 2015 г.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ температурной стабилизации параметров сцинтилляционного детектора на основе кремниевого фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) при регистрации гамма-излучения, включающий измерение температуры сцинтилляционного детектора, выполненного в виде кремниевого ФЭУ и сцинтиллятора, определение калибровочного коэффициента с учетом измеренной температуры сцинтилляционного детектора и соответствующую коррекцию напряжения смещения кремниевого ФЭУ для формирования выходного сигнала, соответствующего истинному значению энергии поглощенных квантов, отличающийся тем, что в течение всего процесса регистрации гамма-излучения получают независимые последовательности данных с двух прецизионных датчиков температуры, пространственно раздельно характеризующих температуру сцинтилляционного кристалла и кремниевого ФЭУ, на основе анализа двух массивов независимых последовательностей данных вырабатывают общий сигнал управления, противодейст-

вующий отклонению регулируемой величины от истинного значения, воздействуют им на объект управления в виде сцинтилляционного детектора, изменяют и корректируют его коэффициент передачи через изменение напряжения питания кремниевого ФЭУ.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что общий сигнал управления вырабатывают на основе анализа двух массивов данных по различным алгоритмам по форме графика температурной зависимости согласно следующей зависимости:

$$U_{\text{см}}(T1, T2, t) = [U1(T1) + \frac{\Delta U1(t)}{\Delta t} * \tau1] + [U2(T2) + \frac{\Delta U2(t)}{\Delta t} * \tau2],$$

где

$U1(T1)$ - табличное значение напряжения управления для сцинтилляционного кристалла, зависящее от температуры $T1$, определяемое на этапе температурной калибровки;

$U2(T2)$ - табличное значение напряжения управления для кремниевого ФЭУ, зависящее от температуры $T2$, определяемое на этапе температурной калибровки;

$\tau1$ - постоянная времени управления для сцинтилляционного кристалла, зависящая от объема кристалла и определяемая на этапе температурной калибровки;

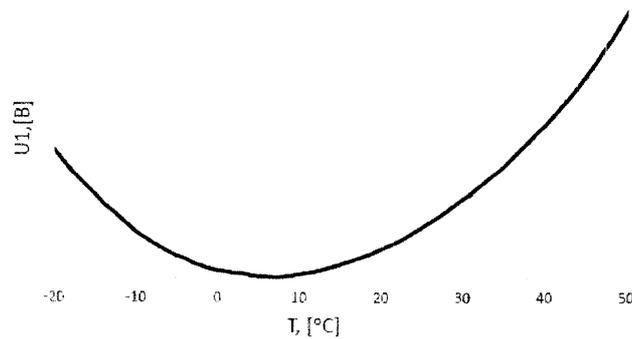
$\tau2$ - постоянная времени управления для кремниевого ФЭУ, зависящая от конструкции детектора и определяемая на этапе температурной калибровки;

$\Delta U1(t)$ - изменение напряжения управления $U1$ за время Δt ;

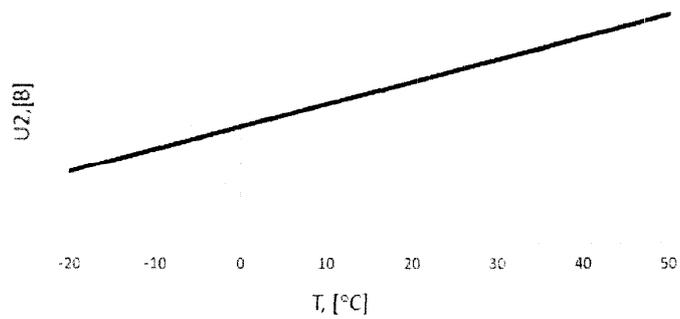
$\Delta U2(t)$ - изменение напряжения управления $U2$ за время Δt .

3. Устройство температурной стабилизации параметров сцинтилляционного детектора на основе кремниевого фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) при регистрации гамма-излучения для осуществления способа по пп.1 и 2, включающее сцинтилляционный детектор, содержащий по меньшей мере один кремниевый ФЭУ и один сцинтиллятор, обеспечивающий трансформацию излучения в световую вспышку, поступающую на соответствующий кремниевый ФЭУ в ответ на ионизирующее излучение, попадающее на сцинтиллятор, каскад предусилителя, усилитель, аналого-цифровой преобразователь, микропроцессор, датчик температуры, управляемый блок питания кремниевого ФЭУ, отличающееся тем, что снабжено сумматором, дискриминатором и расположенным непосредственно у поверхности кристалла сцинтиллятора вне непосредственного контакта с кремниевым ФЭУ дополнительным датчиком температуры, обеспечивающим совместно с другим датчиком температуры возможность отдельного определения температуры в сцинтилляционном кристалле и в кремниевом фотоэлектронном умножителе, при этом управляемый блок питания кремниевого ФЭУ выполнен в виде двух управляемых источников напряжения, выходы обоих датчиков температуры подключены к управляемым источникам напряжения, анализирующим данные от датчиков температуры и формирующим под контролем микропроцессорного устройства аналоговые сигналы, подаваемые на входы сумматора, выход которого подключен ко входу напряжения питания кремниевого ФЭУ.

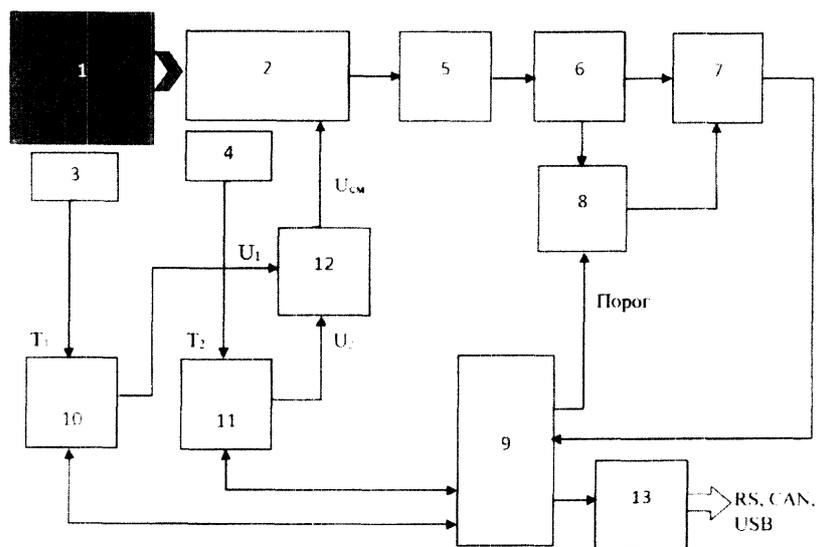
4. Устройство по п.3, отличающееся тем, что два прецизионных датчика температуры размещены у поверхности кристалла сцинтиллятора и кремниевого ФЭУ с возможностью отдельной регистрации температуры кристаллического сцинтиллятора и кремниевого ФЭУ с максимальной достоверностью.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

