УДК 574: 539.1.04

ГАММА-СПЕКТРОМЕТР С ДВУХКРИСТАЛЬНЫМ ДАТЧИКОМ

Г.Ф. Батраков, Д.А. Кременчуцкий, В.В. Мязин, В.В. Семёнов

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: batrakovgf@gmail.com

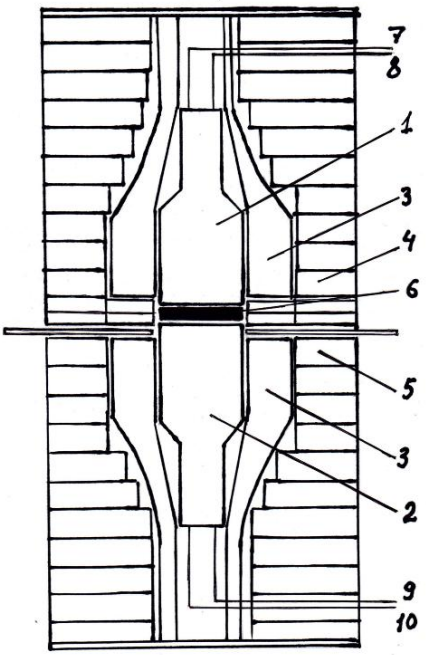
В статье описывается разработанный и изготовленный гамма-спектрометр с двухкристальным датчиком. Датчик состоит из двух сцинтиблоков с кристаллами NaJ(Tl) размером 70x70 мм, расположенных вертикально на одной оси. Защита датчика от внешнего излучения изготовлена из свинца толщиной 15 см. Импульсы с каждого сцинтиблока поступает на сумматор, дискриминаторы, схемы совпадений и антисовпадений, а затем на многоканальный амплитудный анализатор.

Введение. В настоящее время проводятся измерения концентрации более 40 радиоактивных изотопов [1] в атмосферных аэрозолях и осадках. Концентрации большей части изотопов очень низки. В связи с этим измерения проводятся обычно по следующей схеме: отбор пробы, концентрирование изотопа из отобранной пробы и измерение активности. Для гамма-активных изотопов измерения активности проводятся на гамма-спектрометре с полупроводниковым или сцинтилляционным детектором. Для повышения чувствительности гамма-спектрометра необходимо уменьшать фон и повышать эффективность регистрации. Один из способов решения этих задач заключается в использовании спектрометров с двухкристальным датчиком.

Двухкристальный датчик также позволяет использовать при регистрации схему распада некоторых изотопов. Например, одним из таких изотопов является натрий-22 – космогенный изотоп. Мониторинг этого изотопа проводится в атмосферных осадках и поверхностных водах некоторых регионов [2]. Натрий-22 имеет период полураспада 2,6 года и при распаде испускает β^+-частицы (позитроны) и гамма-кванты с энергией 1,275 Мэв. Таким образом, при распаде ядра образуются два гамма-кванта с энергией 0,511 Мэв от аннигиляции позитрона и один гамма-квант с энергией 1,275 Мэв. На гамма-спектрометре с двухкристальным датчиком для измерения активности проб натрия-22 можно выбрать следующие режимы: 1) совпадение гамма-квантов с энергией 0,511 Мэв; 2) совпадение гамма-квантов с энергией 1,275 Мэв и 0,511 Мэв; 3) совпадение 1,786 Мэв (1,275 Мэв + 0,511 Мэв) и 0,511 Мэв; 4) суммирование сигналов с двух сцинтиблоков. Выбор необходимого режима определяется активностью пробы и эффективностью защиты.

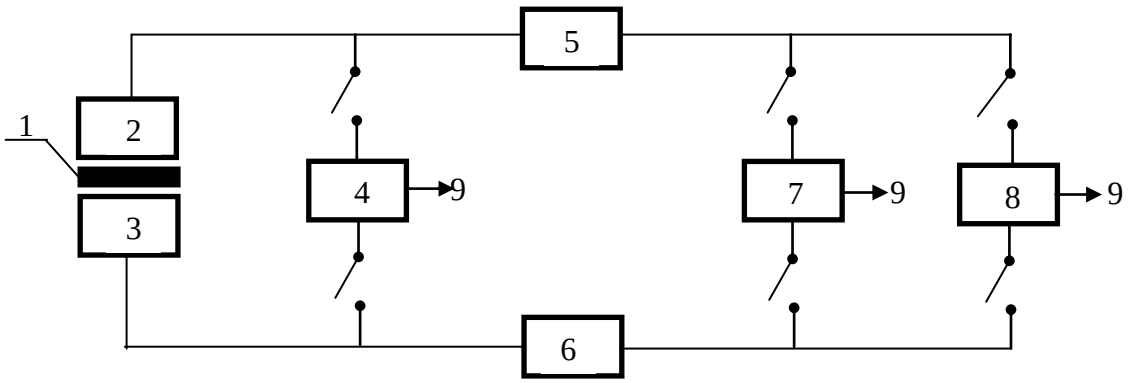
Цель этой работы разработать и изготовить гамма-спектрометр, позволяющий измерять активность радионуклидов в пробах атмосферных аэрозолей как традиционным способом по отдельным гамма-линиям, так и используя схему распада.

Конструкция датчика. В датчике используются два сцинтиблока с кристаллами NaJ(TL) размером 70x70 мм (рис. 1), которые располагаются вертикально на одной оси с регулируемым зазором между кристаллами. Сцинтиблоки окружены свинцовой защитой толщиной 150 мм. Для размещения проб между кристаллами имеется закрывающееся окно.



Р и с. 1. Схема датчика. 1, 2 – сцинтиблоки; 3 – 5 – свинцовая защита; 6 – проба; 7 – 10 – питание и сигнал

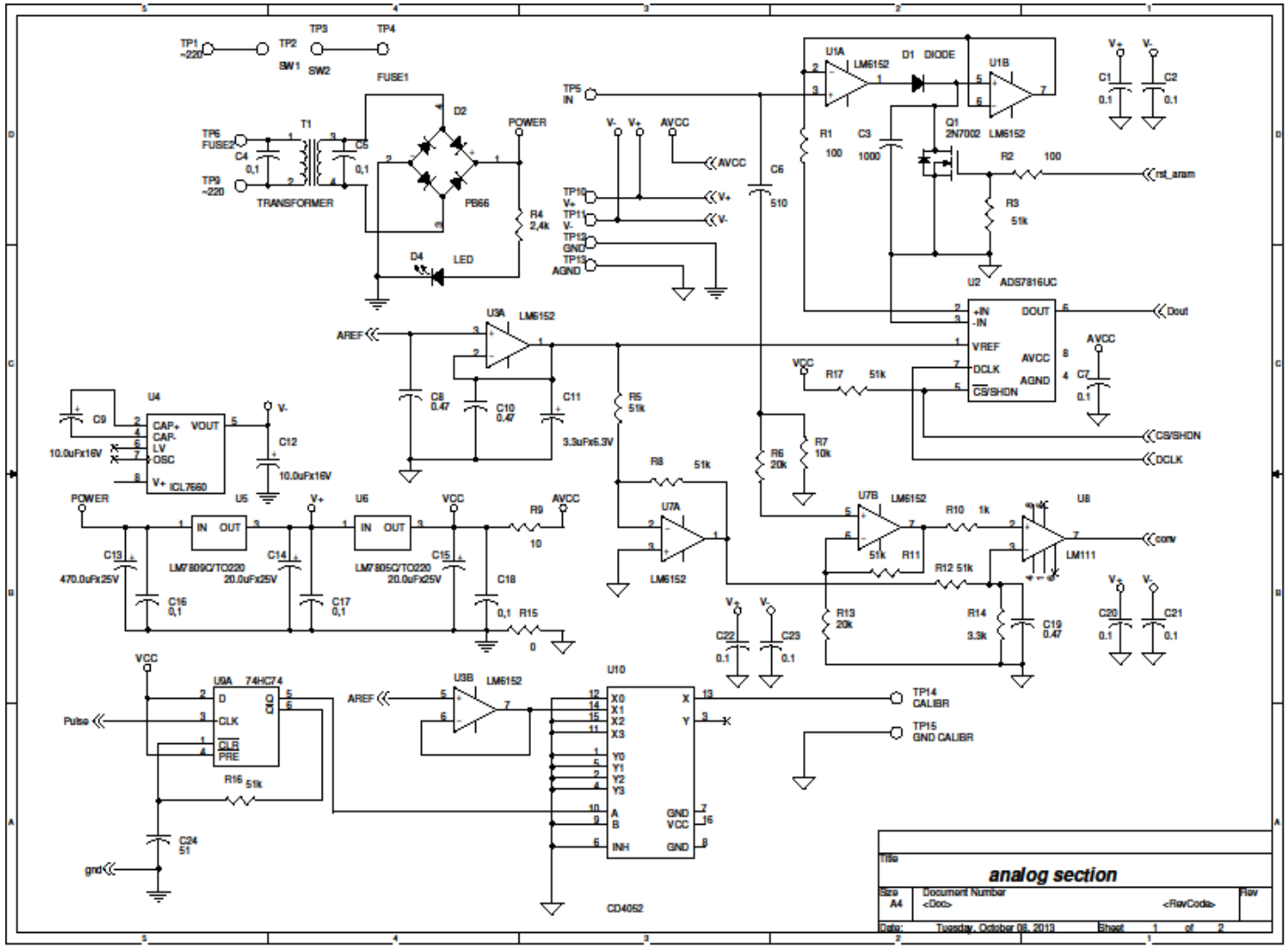
Электронная схема. Импульсы с обоих сцинтиблоков поступают, в зависимости от поставленной задачи, на сумматор или на дискриминаторы и схемы совпадений или антисовпадений (рис. 2). Затем импульсы поступают на многоканальный амплитудный анализатор, на котором происходит набор гамма-спектра или набор количества импульсов в определенном диапазоне энергий. Высоковольтное и низковольтное питание сцинтиблоков осуществляется от РУБ-01 П6.



Р и с. 2. Блок-схема электронной части гамма-спектрометра. 1 – проба; 2, 3 – сцинтиблоки; 4 – сумматор; 5, 6 – дискриминаторы; 7 – схема совпадений; 8 – схема антисовпадений; 9 – многоканальный амплитудный анализатор импульсов

Суммирующая схема. Схема состоит из двух операционных усилителей, соединенных последовательно. Задачей первого усилителя является суммирование импульсов, поданных на его вход. Просуммированные импульсы передаются на вход второго усилителя с инвертированием полярности. Второй усилитель с усилением 1 линейно передает импульсы на выход системы и устанавливает их полярность. Каждый операционный усилитель имеет на входе пару транзисторов. Импульсы с коллекторов транзисторов усиливаются симметричным усилителем и поступают на вход симметричного повторителя, а затем через резисторы подаются обратно на базу первого транзистора операционного усилителя. Такая схема обеспечивает высокую стабильность и линейность операционных усилителей при сигналах с обеими полярностями в диапазоне от 0 до 10 В.

Схема совпадений и антисовпадений. Мы использовали схему, которая содержит четыре канала совпадений и один канал антисовпадений. Каждый из каналов можно включить и выключить при помощи переключателей, расположенных на передней панели. Импульсы, подаваемые на вход, поступают к схеме дискриминации, обеспечивающей взаимодействие, как со схемами, формирующими импульсы с уровнями характерными для интегральных схем, так и со схемами, генерирующими цифровые сигналы. Полученные импульсы подаются к схемам стандартизации формы (ширины). Затем импульсы, подаваемые к входам совпадений, поступают на триггеры, срабатывание (в случае включения данного канала) которых осуществляется входным импульсом, а сброс – после истечения времени, равному установленному разрешающему времени совпадений. В случае работы в схеме совпадений четырёх каналов, первый из импульсов (в любом канале) вызывает генерирование импульса, определяющего разрешающее время совпадений (посредством схемы установки разрешающего времени совпадений), генерируя одновременно в данном канале импульс совпадений. Поступление к отдельным каналам импульсов продолжительностью выше указанного сигнала, определяющего разрешающее время совпадений, вызывает генерирование соответствующими триггерами импульсов совпадений, которые, после поступления к воротам совпадений, вызывают генерацию импульса, информирующего о совершенном совпадении входных импульсов. В случае отключения данного канала, соответствующий триггер устанавливается в такое положение, при котором на входе ворот совпадений (соответствующих для данного канала)



Р и с.3. Принципиальная схема многоканального амплитудного анализатора импульсов

имеется высокий уровень, обеспечивающий совпадение на остальных входах ворот совпадений. Импульс, получаемый на выходе ворот совпадений, поступает к схеме стандартизации формы выходного импульса, который одновременно обеспечивает антисовпадение с импульсом, подаваемым к входу антисовпадений. Это осуществляется таким образом, что импульс антисовпадений после дискриминации поступает к схеме установки разрешающего времени антисовпадений, которая генерирует импульс соответствующей ширины. Этот импульс блокирует схему стандартизации формы выходного импульса и предотвращает генерирование в течение этого времени выходного импульса. Выходной сигнал обеспечивается стандартными транзисторными схемами.

Многоканальный амплитудный анализатор. Для гамма-спектрометра был разработан и изготовлен многоканальный амплитудный анализатор (рис. 3). Разработка производилась на основе ранее разработанного нами анализатора [3]. Анализатор конструктивно выполнен в виде моноприбора размером 150x150x100 мм и массой 0,4 кг, объединяющего в своём кожухе три блока: блок питания, блок обработки информации, блок связи с ПЭВМ. На лицевой панели расположены регулятор усиления и индикаторы работы, а на задней панели расположены выходные и присоединительные разъёмы. Организация работы осуществляется ПЭВМ через блок связи. ПЭВМ организует работу анализатора в режимах измерения и вывода данных с помощью соответствующей программы. В режиме измерения задаётся время измерения в диапазоне 5 с – 5 сут. В режиме вывода данных информация выводится в таблицу Excel, где проводится дальнейшая обработка. Анализатор имеет следующие основные технические характеристики:

1. Число каналов – 1024, в том числе один служебный.

2. Ёмкость канала – 2^{16}.

3. Параметры входных импульсных сигналов: полярность – положительная и отрицательная; минимальное время нарастания – не менее 500 нс; максимальное время спада – 5 мкс; максимальная допустимая амплитуда – не более 15 В.

4. Входное сопротивление – не менее 2 кОм.

5. Входная ёмкость – не более 50 пФ.

6. Ширина канала – 2 мВ.

7. Основная погрешность ширины канала – не более 10%.

8. Нестабильность ширины канала – не более 1% за 8 часов непрерывной работы.

9 Интегральная нелинейность – не более 0,2%.

10. Среднее время регистрации одного импульса – 15 мкс.

11. Максимальная загрузка – не менее 50000 имп/с.

12. Время установления рабочего режима – не более 5 мин.

Заключение. Разработанный и изготовленный гамма-спектрометр с двухкристальным датчиком имеет ряд преимуществ: эффективность регистрации в два раза выше по сравнению с однокристальным гамма-спектрометром, при измерениях по одному фотопику фон может быть уменьшен за счёт вычитания совпадающщих импульсов, возможность проводить измерения некоторых изотопов, используя схему распада.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Батраков Г.Ф.* Радиоактивность атмосферы. – Saarbrucken,Deutschland: LMBERT Academic Publishing, 2013. – 77 с.
2. *Невинский И.О., Цветкова Т.В., Железняк Г.С.* Низкофоновые измерения натрия-22 в водах Краснодарского края // Атомная энергия. – 2003. – Т 95. – Вып. 6. – С. 64–69.
3. *Анализатор* импульсов на микроконтролере для измерения концентрации гамма-излучающих изотопов в объектах внешней среды / Батраков Г.Ф., Копытина Н.В., Мязин В.В. [и др.] // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2007. – С. 291–297.