

УДК 621-31

Н.Г. Мороз

АНАЛОГОВЫЙ ПРОЦЕССОР ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Анотація. У роботі представлений варіант реалізації аналогового процесора для спектрометра іонізуючих випромінювань. Проведене моделювання роботи його основних вузлів за допомогою програмного симулятора Spice.

Введение

Все возрастающее применение ядерной энергии в различных отраслях народного хозяйства привело к быстрому развитию ядерного приборостроения. Одним из основных методов исследования свойств ионизирующих излучений является метод спектрометрии. Спектрометры ионизирующих излучений применяют для решения двух основных задач – идентификации радионуклидов и измерения их количественных характеристик.

Появление аналоговых процессоров (АП) – центральных устройств электронных трактов спектрометров ионизирующих излучений, выполняющих заданный комплекс преобразований аналоговой информации об энергетическом составе и интенсивности измеряемого излучения, которая поступает в виде электрических импульсов от блока детектирования – закономерный этап в развитии спектрометрической аппаратуры.

Состояние вопроса и постановка задачи исследования

Первый аналоговый процессор был разработан К. Кандиа и др. [1]. Процессоры этого класса так же называют харуэллскими – по наименованию местности, где расположен центр ядерных исследований Великобритании – организации-разработчика прибора. Его структурная схема и временные диаграммы работы спектрометрического формирователя, центрального органа процессора, приведены на рис. 1. В основе этого процессора лежит спектрометрический времявариантный формирователь, имеющий весовую функцию, подобную так называемой ограниченной CUSP-форме.

© Мороз Н.Г., 2010

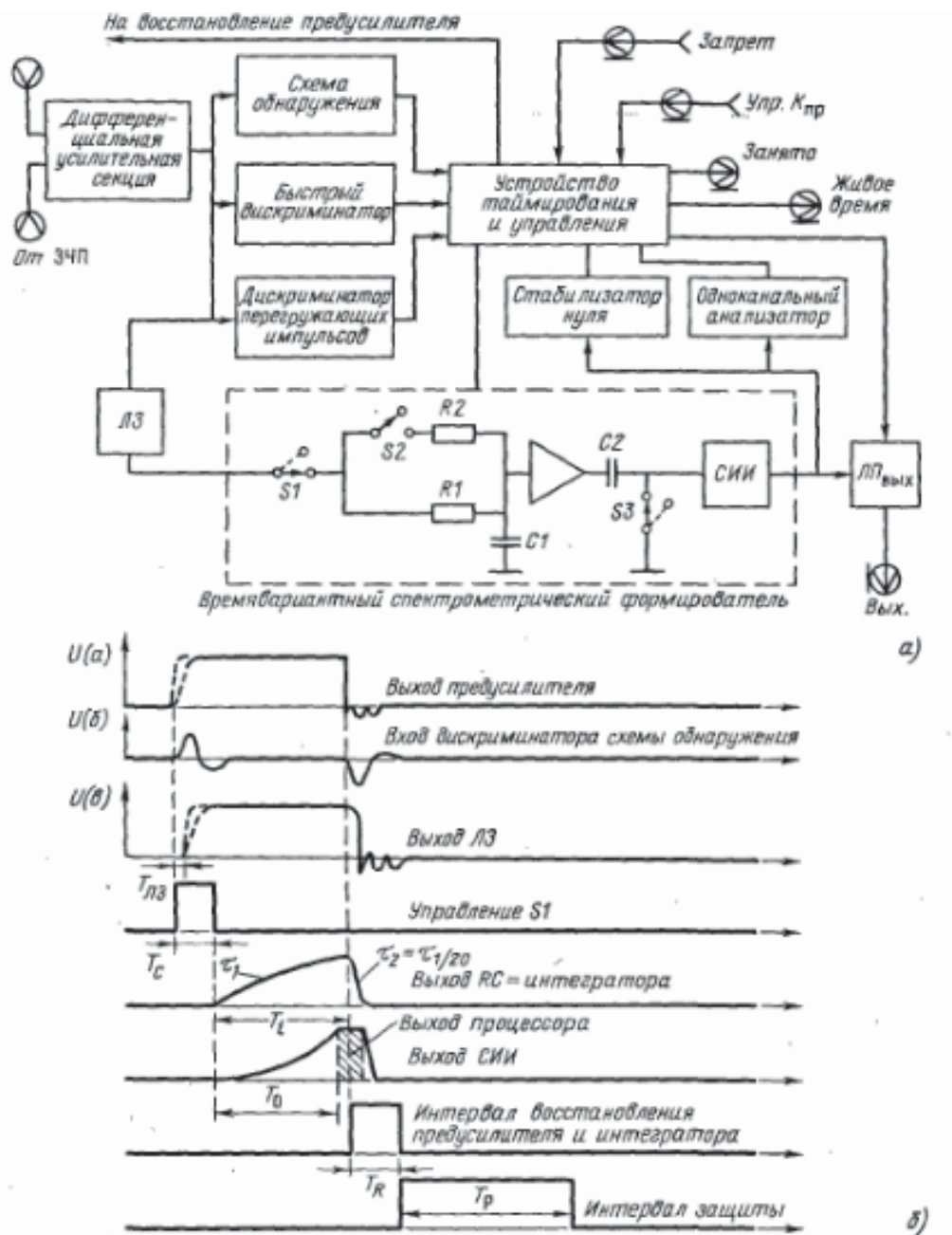


Рисунок 1 - Харуэллский процессор:

а – структурная схема; б – временные диаграммы

Задачей настоящего исследования является создание АП удовлетворяющего критериям, сформулированным в [2]:

функциональная полнота при минимальной структурной избыточности, конструктивном единстве и более высоких или экстремальных точностных характеристиках по сравнению со спектрометрическими усилителями с тем же видом формирования;

централизованное управление оперативно-изменяемыми параметрами;

«распределенность» функций между отдельными элементами структуры и совмещение их с отдельными элементами;

наличие дополнительных сервисных устройств, обычно отсутствующих в спектрометрических усилителях,

а так же моделирование работы предлагаемого аналогового процессора с помощью программного симулятора Spice.

Практическая реализация аналогового процессора для спектрометра ионизирующих излучений

Предлагаемая концепция построения АП показана на структурной схеме рис. 2.

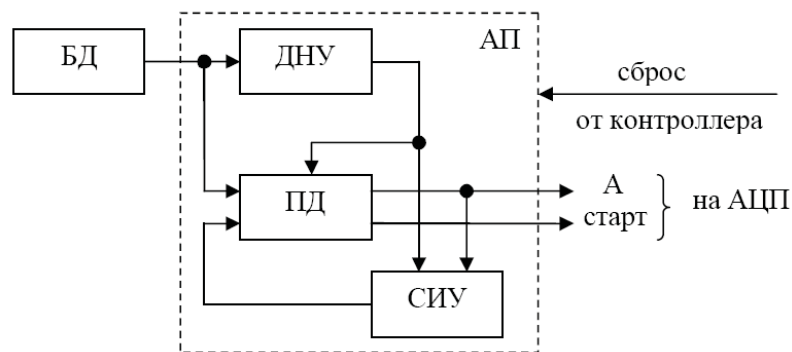


Рисунок 2 - Структурная схема предлагаемого аналогового процессора

Спектрометр, в основе которого применен аналоговый процессор АП, содержит:

блок детектирования БД, включающий усилитель-формирователь, с выхода которого снимаются импульсы напряжения с заданными параметрами;

аналоговый процессор АП;

аналого-цифровой преобразователь АЦП, получающий от АП аналоговый сигнал А и запускающий сигнал «старт»;

контроллер, управляющий сбором спектрометрической информации.

В состав АП входят: дискриминатор нижнего уровня ДНУ; пиковый детектор ПД; стабилизатор исходного уровня СИУ.

ДНУ формирует логические импульсы, начало и конец которых совпадают по времени с началом и концом соответствующих сцинтилляционных сигналов. Его упрощенная схема и временные диаграммы приведены на рис. 3.

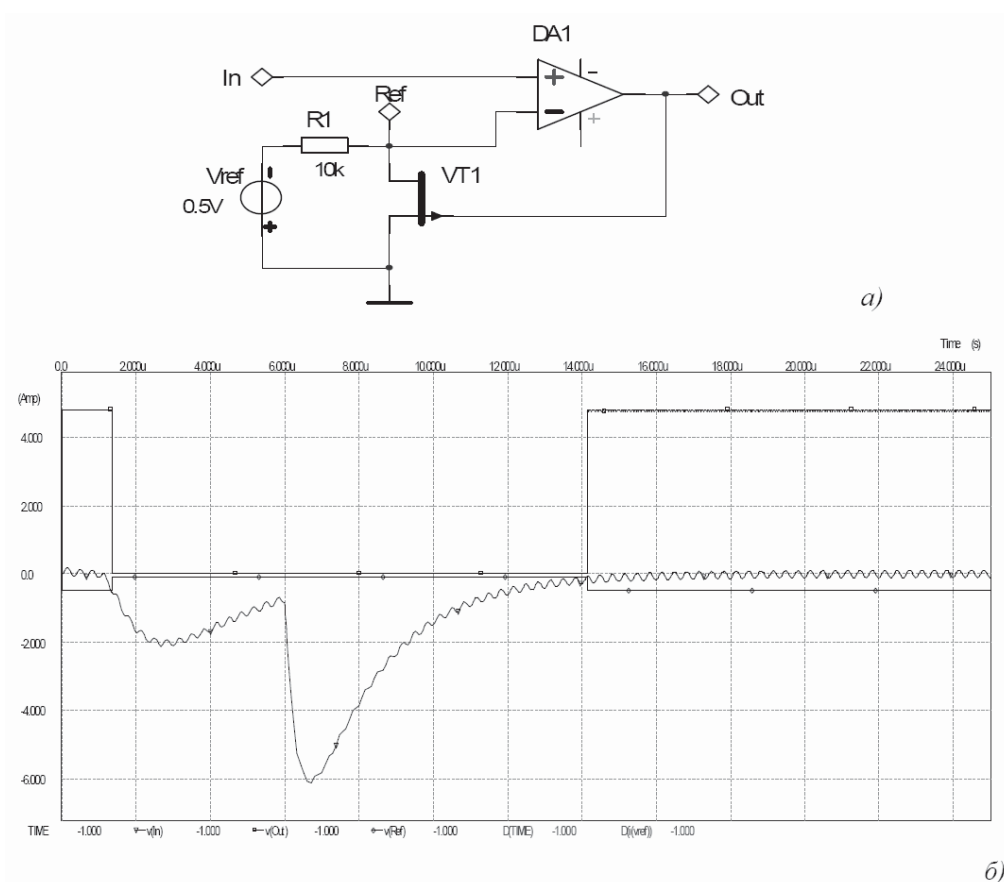
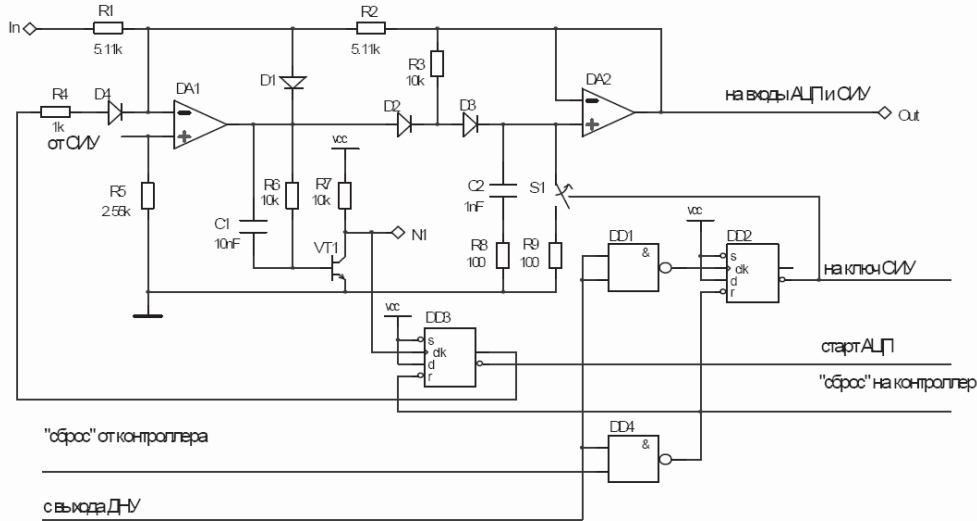


Рисунок 3 Упрощенная схема ДНУ – а) и временные диаграммы его работы – б)

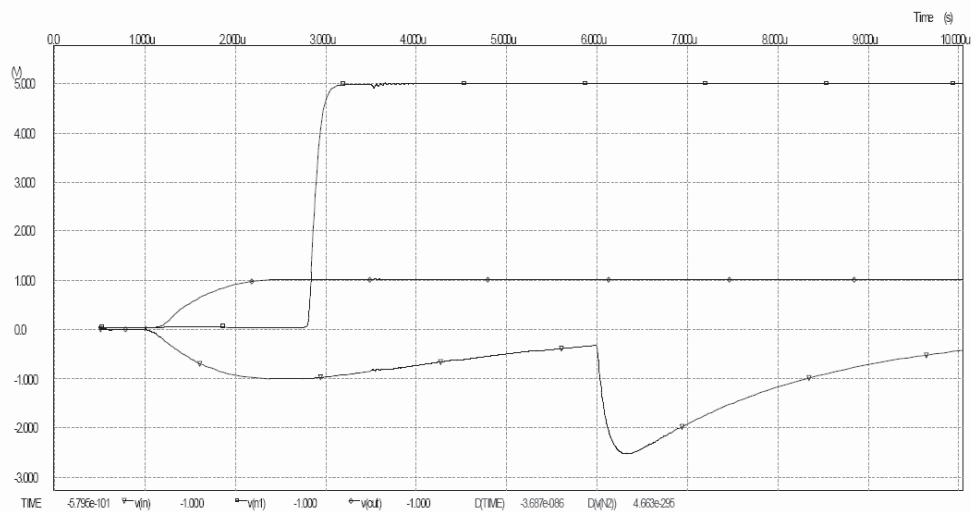
Входной сигнал $v(\text{In})$ на рис. 3б) представлен в виде двух наложенных импульсов и шума, условно показанного синусоидальным.

ДНУ работает следующим образом: при срабатывании компаратора DA1 его выходной сигнал $v(\text{Out})$ переходит из высокого в низкий логический уровень, который подается на затвор полевого транзистора VT1 и открывает его канал. При этом транзистор шунтирует регулируемый источник опорного напряжения Vref (см. $v(\text{Ref})$ на рис. 3б). Опорное напряжение в контрольной точке Ref выставляется таким образом, чтобы дискриминировать шумы блока детектирования и, при необходимости, низкоэнергетические сигналы излучения. Такое схемотехническое решение позволяет получить гистерезис, необходимый для нормальной работы компаратора, и реализовать режекцию наложенных импульсов, механизм которой будет рассмотрен ниже.

Схема пикового детектора и его временные диаграммы показаны на рис. 4. Он представляет собой устройство с многопетлевой обратной связью.



а)



б)

Рисунок 4 - Схема пикового детектора – а) и его временные диаграммы – б)

В исходном состоянии электронный ключ S1 замкнут, и пиковый детектор работает как инвертор напряжения с коэффициентом передачи:

$$K_1 = -R2 / R1 \quad (1)$$

Выходной сигнал ДНУ подается через инвертор DD1 на тактовый вход clk триггера DD2. Сигнал с инверсного выхода этого

триггера размыкает электронные ключи в СИУ и S1 в пиковом детекторе. С этого момента ПД переходит в режим записи, а затем в режим хранения. В промежутках времени между входными импульсами, а так же в режиме записи, первый операционный усилитель DA1 генерирует напряжение достаточное для открывания двух последовательно включенных диодов D2 и D3. Падение напряжения на двух открытых р-п переходах этих диодов обеспечивает надежное открывание транзистора VT1, а резистор R4 ограничивает ток базы открытого транзистора. В момент перехода из режима записи в режим хранения пикового детектора, DA1 меняет полярность выходного сигнала, при этом открывается диод D1, который предотвращает глубокое насыщение DA1, и ограничивает обратное напряжение перехода база-эмиттер транзистора VT1, защищая его от пробоя. Падение напряжения на открытом диоде D1 способствует быстрому запираению транзистора VT1 и, как следствие, формированию фронта сигнала, сигнализирующего о моменте перехода пикового детектора из режима записи в режим хранения (сигнал $v(n1)$ в контрольной точке N1 на рис. 4). Этот сигнал подается на тактовый вход clk триггера DD3. С инверсного выхода этого триггера снимается сигнал «старт», запускающий АЦП, а с прямого выхода подается сигнал в суммирующую точку DA1 через цепочку R4, D4. При этом, диод D4 устраняет влияние низкого логического уровня на выходной сигнал ПД. Номинал резистора R4 выбирается из условия $K1 < K2$, где $K1$ – коэффициент передачи рассчитанный по (1), а $K2$ рассчитывается по выражению:

$$K_2 = -R2 / R4 \quad (2)$$

Таким образом, наложенные импульсы (даже большей амплитуды, чем у предшествующего зарегистрированного импульса) не изменяют выходное напряжение ПД на момент обработки первого импульса. Этим достигается эффект режекции наложенных импульсов (см. сигналы $v(in)$ и $v(out)$ на рис. 4б).

Резистор R3 обеспечивает эквипотенциальность выводов диода D3 и, следовательно, устраняет ток утечки накопительной емкости C2 через этот диод в режиме хранения.

На момент оцифровки входной информации АЦП генерирует сигнал «занят», который анализируются контроллером и по его окончанию снимаются данные с АЦП. После чего контроллер

формирует сигнал «сброс», подаваемый на первый вход элемента 2И-НЕ (DD4), а на его второй вход подается выходной сигнал ДНУ. При отсутствии входного импульса на выходе DD4 генерируется сигнал низкого логического уровня, который сбрасывает триггеры DD2 и DD3, а контроллер, приняв этот же сигнал, снимает сигнал «сброс» и все устройство возвращается в исходное состояние.

Стабилизатор исходного уровня представляет собой инвертирующий активный интегратор на операционном усилителе с электронным ключом на входе. Входным сигналом СИУ является выход пикового детектора, а выход его интегратора подключен к неинвертирующему входу ПД. Таким образом, СИУ создает обратную отрицательную связь для пикового детектора, обеспечивая стабилизацию исходного уровня и подавление высокочастотной составляющей шума входного сигнала. Как отмечалось выше, на время обработки спектрометрического импульса входной ключ СИУ разомкнут, по этому СИУ не вносит ошибку в выходной сигнал ПД.

Выводы

Предложенный аналоговый процессор обеспечивает все минимально необходимые для спектрометра ионизирующих излучений функции. А именно:

хранение максимального значения спектрометрического импульса на время оцифровки;

дискриминацию шумов блока детектирования;

режекцию наложенных импульсов;

стабилизацию исходного уровня.

Проведено моделирование работы основных узлов с помощью программного симулятора Spice.

Простота схемотехнических решений позволяет реализовать на аналоговом процессоре спектрометр с малыми массогабаритными параметрами и малым энергопотреблением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kandiah K., Stirling A., Trotman D.L. e.a. // Proceeding of International Symposium on Nuclear Electronics. Paris, 1968. P. 691 – 69 – 15.
2. Ю.К. Акимов. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю.К. Акимов, О.В. Игнатьев, А.И. Калинин, В.Ф. Кушнирук. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 344с. – ISBN 5-283-02944-1.

Получено 27.04.2010г.