

УДК 621.375.4

МАЛОПОТРЕБЛЯЮЩИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ БЛОКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ДОЗИМЕТРИИ И СПЕКТРОМЕТРИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

К. ф.-м. н. В. Л. Перевертайло, И. Л. Зайцевский, Э. А. Шкиренко, Л. И. Тарасенко,
А. В. Перевертайло

НИИ микроприборов НТК «ИМК» НАНУ
Украина, г. Киев
detector@carrier.kiev.ua

Рассмотрены требования и описана реализация микросборки спектрометрического тракта на основе зарядочувствительного предусилителя с малой мощностью потребления, приведены основные технические характеристики и представлен результат спектрометрических измерений с детектором P—I—N-диод.

Ключевые слова: полупроводниковый детектор, сцинтиллятор-фотодиод, малопотребляющий зарядочувствительный предусилитель.

Последние достижения в области разработки полупроводниковых детекторов открывают возможность создания портативной, малогабаритной и автономной аппаратуры для дозиметрии и спектрометрии ионизирующих излучений и частиц. К упомянутым детекторам относятся кремниевый P—I—N-диод, сцинтиллятор-фотодиод (СЦ-ФД), CdZnTe, ZnSe-диоды и др. Сами полупроводниковые детекторы имеют очень малые токи потребления — $(10^{-12}—10^{-6})$ А. В то же время токи потребления считывающей электроники на много порядков выше — $(10^{-3}—10^{-2})$ А и больше. Современные автономные источники питания могут питать такие электронные схемы от нескольких часов до одного месяца, что явно недостаточно для продолжительной работы. Поэтому важнейшей задачей является разработка малопотребляющих электронных каналов преобразования, усиления и формирования сигналов полупроводниковых детекторов, обеспечивающих длительный срок службы источников питания.

Основой электронных схем считывания сигналов с полупроводниковых детекторов является зарядочувствительный предусилитель (ЗЧПУ). Попытки создания схемных решений ЗЧПУ с уменьшенными рабочими токами для уменьшения энергопотребления приводят к резкому ухудшению их характеристик за счет повышения шумов либо к неустойчивой работе схемы и сложным настройкам. Это касается и известных вариантов решений, приведенных, например, в [1].

Целью данной работы было уменьшение потребляемой мощности ЗЧПУ до $(10^{-3}—10^{-4})$ Вт без существенного ухудшения его характеристик. При этом ставились следующие задачи: получение высокого коэффициента усиления, обеспечение стабильности коэффициента передачи ЗЧПУ при изменении емкости детектора, сохранение достаточного динамического диапазона выходного сигнала, формирование симметричных противофазных выходных сигналов без повышения мощности потребления (для выбора нужной полярности выходного сигнала при работе с различными схемами подключения детектора), питание от одного источника, регистрация детектором сцинтиллятор-фотодиод гамма-, рентгеновских излучений с минимальной энергией 50—60 кэВ. Такие требования предъявляются к современным малогабаритным автономным приборам для дозиметрии и спектрометрии. Кроме того, ставилась задача обеспечения технологичности изготовления, достаточно низкой стоимости и универсальности применения, что необходимо для серийного производства.

Проведенные авторами исследования с опробованием ряда вариантов схемных решений ЗЧПУ показали, что наиболее перспективным является комплексное решение, включающее миниатюризацию и радикальное снижение мощности потребления без существенного снижения энергетического разрешения и быстродействия. В рамках поставленной задачи был разработан ЗЧПУ с малой мощностью

потребления и однополярным напряжением питания, имеющий ток потребления не более 50 мкА. Собственный шум ЗЧПУ не превышает 5 кэВ (Si). ЗЧПУ имеет высокое усиление в достаточно широкой полосе частот. Это обеспечивает сравнительно высокое быстродействие: время нарастания выходного сигнала ЗЧПУ (с емкостью цепи обратной связи $C_f = 0,5$ пФ) не более 80 нс при емкости детектора 10 пФ и не более 400 нс при емкости детектора 50 пФ.

Уникальными особенностями разработанного ЗЧПУ являются компенсация зависимости коэффициента передачи от емкости детектора при изменении ее в достаточно широких пределах (0—200 пФ), что значительно улучшает спектрометрические показатели аппаратуры, и наличие противофазных выходов, что позволяет выбрать требуемую полярность выходного сигнала при любой конфигурации цепи детектора и полярности напряжения его смещения.

При разработке ЗЧПУ большое внимание уделялось стабильности и повторяемости его параметров, что необходимо при серийном производстве. В схеме ЗЧПУ применена активная стабилизация режимов с помощью глубоких обратных связей по постоянному току и компенсация температурных зависимостей активных элементов, благодаря чему достигнут широкий диапазон рабочих температур (от -40 до $+60^\circ\text{C}$) и напряжений питания (7—12 В) без изменения режимов элементов и тока потребления. ЗЧПУ выполнен на активных элементах общего назначения (полевых и биполярных транзисторах), что способствует его серийному производству. Схемотехническое решение ЗЧПУ защищено патентом Украины на изобретение [2].

В дополнение к ЗЧПУ с малой мощностью потребления разработан экономичный усилитель-формирователь (УФ) на активных фильтрах, имеющий ток потребления не более 50 мкА при тех же параметрах питания и температурном диапазоне. В схеме УФ использованы решения, примененные в ЗЧПУ. УФ имеет регулируемое усиление и может быть выполнен с широким диапазоном длительностей спектрометрических псевдогауссовых импульсов.

На основе ЗЧПУ и УФ разработана микросборка аналогового тракта усиления и формирования спектрометрического сигнала с малой мощностью потребления для построения экономичных блоков детектирования с детекторами с емкостью до 200 пФ. Функциональная схема микросборки приведена на рис. 1.

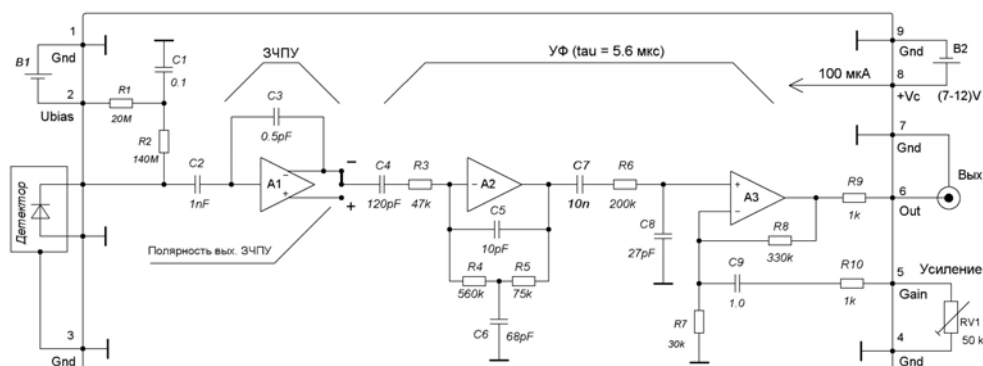


Рис. 1. Функциональная схема микросборки ЗЧПУ и УФ с малой мощностью потребления

Микросборка состоит из ЗЧПУ А1 с емкостью цепи обратной связи $C_3 = 0,5$ пФ, УФ на активном фильтре А2 и выходного каскада А3. В состав микросборки введены цепи смещения детектора и гальванической развязки входа ЗЧПУ R1, R2, C1, C2. Благодаря наличию противофазных выходов А1 с помощью перемычки можно выбрать требуемую полярность выходного сигнала УФ при любой конфигурации цепи детектора и полярности напряжения его смещения. Предусмотрена регулировка усиления УФ в пределах $K_y = 50—1000$ с помощью внешнего резистора RV1 в выходном каскаде. Путем выбора номиналов элементов R3—R6, C4—C8 активного фильтра УФ может быть выполнен с длительностями спектрометрических импульсов $\tau_{FWHM} = 6—30$ мкс. УФ обеспечивает размах выходного сигнала любой полярности до 2 В на нагрузке 10 кОм. Общий вид печатной платы микросборки приведен на рис. 2. Все элементы микросборки расположены на одной стороне платы и занимают область 47×18 мм. Предусмотрена установка блока сцинтиллятор-фотодиод с размерами сцинтиллятора до $10 \times 10 \times 40$ мм на другую сторону платы. При этом формируется функционально законченный экономичный блок детектирования, имеющий повышенную механическую прочность и защиту от микрофонного эффекта.

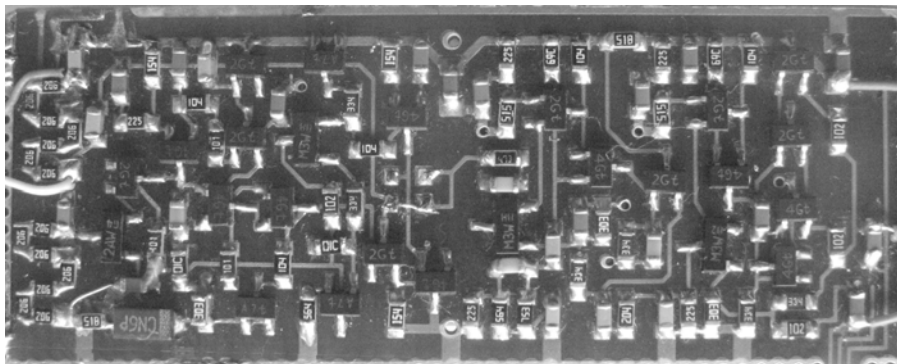


Рис. 2. Общий вид платы микросборки ЗЧПУ и УФ (размеры 47,5×17,8 мм)

Представленные выше микросборки были испытаны с различными полупроводниковыми детекторами, в том числе и с СЦ-ФД. Спектр источника ^{241}Am , измеренный таким электронным каналом с детектором $P-I-N$ -диод (размерами 1×1 мм, время экспозиции 1800 с), приведен на рис. 3.

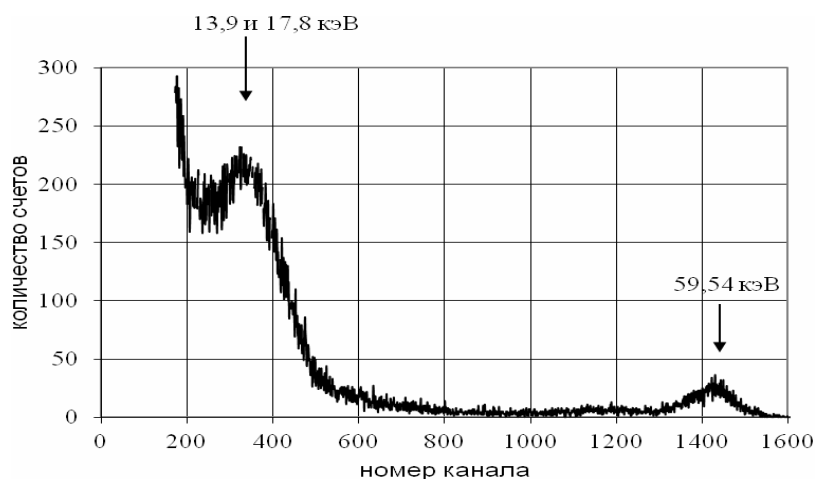


Рис. 3. Спектр источника ^{241}Am , измеренный малопотребляющим электронным каналом (микросборка ЗЧПУ с УФ) с детектором $P-I-N$ -диод.

Таким образом, на разработанных микросборках могут быть выполнены малогабаритные экономичные блоки детектирования с полупроводниковыми детекторами или детекторами сцинтиллятор-фотодиод для портативной аппаратуры, работающей в полевых условиях с длительным сроком службы источников питания, имеющие достаточно высокие спектрометрические характеристики.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Архипкин А. Н., Бровченко В. Г., Кириченко А. М. и др. Спектрометрический усилитель. Гибридный микроузел // ПТЭ.— 2003.— № 3.— С. 84—87.
2. Патент 100446 України. Зарядово-чутливий попередній підсилювач з малою потужністю споживання І. Л. Зайцевський.— 2012.— Бюл. № 24.

V. L. Perevertaylo, I. L. Zaitsevsky, E. A. Shkirenko, L. I. Tarasenko, A. V. Perevertaylo
Low-power semiconductor detection units for ionizing radiation dosimetry and spectrometry.

The miniature detection units with semiconductor or scintillator-photodiode detectors for portable field equipment with long battery life having sufficiently high spectrometric characteristics implemented using the low-power charge sensitive preamplifiers and shaping amplifiers are described.

Keywords: semiconductor detector, scintillator-photodiode, low-power charge sensitive preamplifier.