

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ P-I-N ФОТОДИОДА

О. А. Кружилина

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель В. Н. Гарбуз

Для детектирования радиоактивного излучения вплоть до настоящего времени используются газоразрядные счетчики. Классический газоразрядный счетчик Гейге-

ра-Мюллера представлен на рис. 1. Его высокая чувствительность обуславливается резко нелинейным электростатическим полем, которое возникает вблизи анода – металлической нити [1]. Очень высокие напряженности электростатического поля обуславливают ударную ионизацию молекул газа в счетчике. Бета-частица, пролетая через счетчик, может породить несколько или даже всего одну пару ионов, называемых первичными. Эти ионы, разгоняясь электростатическим полем, сталкиваются с другими атомами газа, ионизируя их. Получившиеся в результате столкновения ионы опять ускоряются и ионизируют следующие нейтральные ионы. Процесс нарастает лавинообразно и продолжается до тех пор, пока лавина ионов не достигнет электродов, кратковременно замкнув цепь (рис. 2). Резкое снижение напряжения на электродах уже можно зафиксировать как событие, т. е. пролет радиоактивной частицы через счетчик. Количество событий в единицу времени пропорционально окружающему датчик радиоактивному фону.

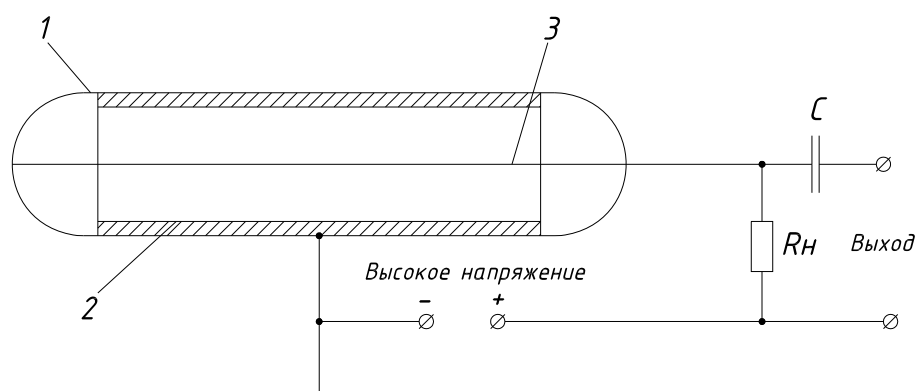


Рис. 1. Схема газоразрядного счетчика Гейгера-Мюллера

Фиксировать события при помощи счетчика Гейгера-Мюллера просто, но они обладают рядом недостатков. Основной недостаток – это необходимость формирования и стабилизации на электродах высоких напряжений в диапазоне пропорционального счета счетчика – обычно это значения от 400 до 1200 В. Причем, чем уровень фона меньше, тем напряжение на счетчике необходимо поддерживать выше для обеспечения минимального времени измерения. Также необходимо отметить то, что сами счетчики обычно обладают большими габаритами, что затрудняет их применение в портативной и носимой аппаратуре.

Рассмотренные недостатки обуславливают интерес к применению твердотельных детекторов в компактных носимых дозиметрах. Твердотельный детектор представляет собой обратносмещенный полупроводниковый диод [2]. Частица гамма-излучения, попадая в запирающий слой диода, порождает объемный заряд, пропорциональный энергии частицы. В конечном итоге дрейф объемного заряда вызывает кратковременное изменение напряжения на диоде, которое можно зафиксировать. Но в отличие от счетчика Гейгера-Мюллера усиление в твердотельном детекторе очень мало, за счет того, что запирающий слой очень узкий, и приложенное напряжение к диоду измеряется единицами-десятками вольт. Поэтому изменение потенциала электродов диода очень мало и составляет максимум единицы микровольт.

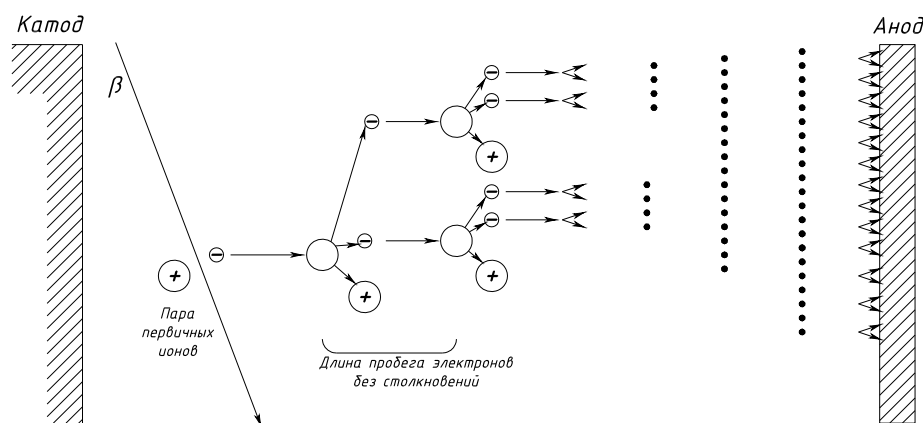


Рис. 2. Процесс лавинного усиления тока ионов в счетчике Гейгера–Мюллера

Высокую чувствительность детектора обуславливает правильный выбор р-і-n фотодиода. С одной стороны, чувствительность возрастает с ростом площади кристалла и напряжения смещения, приложенного к диоду. С другой стороны, указанные способы повышения чувствительности обуславливают повышение шума детектора. Ток утечки, растущий с ростом площади кристалла, также обуславливает рост шума детектора. Указанные соображения приводят к тому, что однозначно определить, какой из р-і-n фотодиодов, представленных на рынке, является оптимальным для применения в детекторах, не представляется возможным. Необходимы испытания конкретных промышленных образцов.

Для усиления сигнала, снимаемого с фотодиодов, был разработан малошумящий усилитель, позволяющий снимать сигнал с высокоомной нагрузки, которой является обратносмещенный р-і-n фотодиода. Усилитель является широкополосным и усиливает сигналы с частотой до 1 МГц. Максимальное усиление достигается на частотах от 8 до 25 кГц и составляет 120 децибелл, т. е. 1 миллион раз. Ослабление помехи 50 Гц достигает 40 Дб, т. е. 100 раз (рис. 3). Характеристики усилителя были достигнуты за счет применения прецизионных операционных усилителей типа MAX4477 и решения, обычно применяемого при проектировании малошумящих усилителей радиодиапазона – развязки контуров питания усилителей, исключая влияние усилителей друг на друга по питанию. Плата усилителя была промоделирована в системе MicroCAP, разводка выполнена в Altium designer. Собранные образцы усилителя показали устойчивую работу и низкий уровень собственных шумов. При моделировании схемы усилителя получено, что выходной сигнал достигает уровня 200 мВ (рис. 4), достаточного для разборчивого детектирования при помощи компаратора.

Таким образом, применяя малошумящие усилители, можно приблизиться по эффективности детектирования к газоразрядным счетчикам Гейгера–Мюллера, на порядок уменьшив при этом размеры детектора, отказавшись от применения высоких напряжений, и повысить энергетические характеристики детекторов. Дополнительно предлагаемая конструкция позволяет детектировать гамма-излучение по энергетическому спектру частиц.

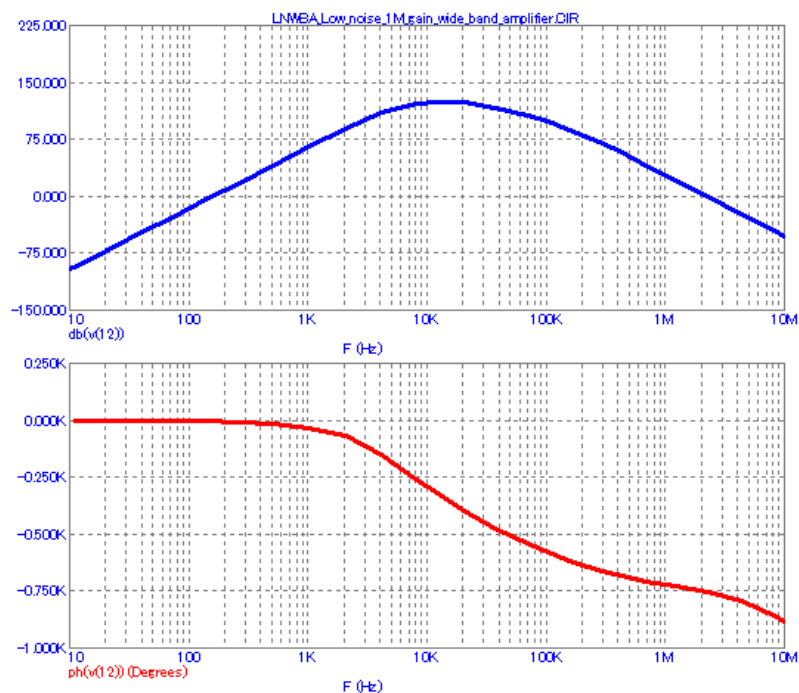


Рис. 3. Результаты расчета АЧХ и ФЧХ малошумящего усилителя

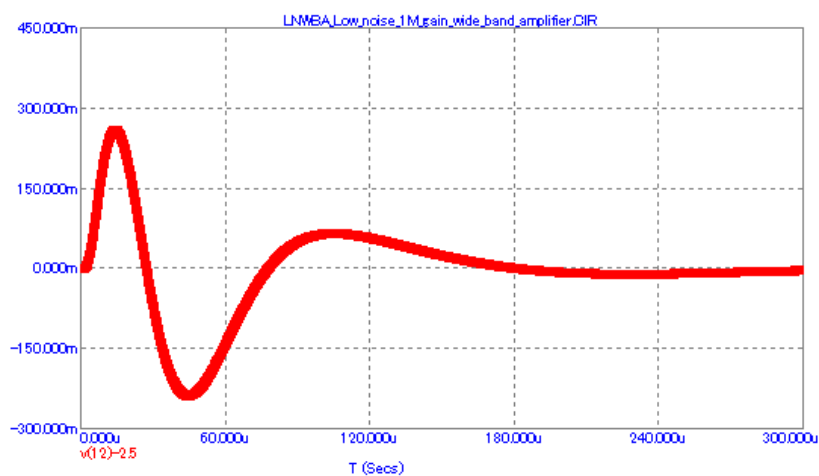


Рис. 4. Результаты моделирования прохождения частицы через детектор – сигнал на выходе детектора

Литература

1. Акимов, Ю. К. Газовые детекторы ядерных излучений / Ю. К. Акимов. – Дубна : ОИЯИ, 2011. – 243 с.
2. Группен, К. Детекторы элементарных частиц : справ. изд. : пер. с англ. / К. Группен. – Новосибирск : Сибирский хроограф, 1999.