

Экспериментальные исследования электронного модуля обработки токовых импульсов емкостных источников сигналов

**О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, И.М. Газизов,
Н.Н. Прокопенко, П.С. Будяков, С.С. Белич**

Введение

Емкостные источники сигналов, генерирующие короткие токовые импульсы, широко применяются в различных устройствах экспериментальной физики, медицины, системах мониторинга. К таким источникам относятся лавинные фотодиоды (ЛФД), кремниевые фотоэлектронные умножители [1], разнообразные конструкции кремниевых и газовых детекторов частиц и ионизирующих излучений [2] и др. С точки зрения электрических параметров, емкостные источники различаются по внутренней емкости и форме (амплитуде, длительности фронта нарастания и спада) выходного сигнала.

Обработка токовых импульсов обычно заключается в преобразовании их в напряжение с помощью зарядочувствительных усилителей (ЗЧУ) и уменьшении уровня шумов полосовыми фильтрами [3-8].

Ранее для работы с ЛФД нами были разработаны, изготовлены и исследованы два электронных модуля «*CRP-MDL-1*» и «*CRP-MDL-2*» [9]. Универсальная конструкция созданных модулей допускает их применение для обработки сигналов различных детекторов частиц и ионизирующих излучений.

Целью настоящей статьи является рассмотрение особенностей работы малошумящего электронного модуля «*CRP-MDL-2*» в блоках детектирования при регистрации заряженных частиц.

Особенности электронного модуля «*CRP-MDL-2*»

Модуль «*CRP-MDL-2*» (рис. 1) содержит:

- три параллельно соединенных ЗЧУ на инвертирующих усилителях напряжения с головным полевым транзистором с p - n - переходом и каналом p -типа (p -ПТП) [10];
- активный полосовой фильтр со структурой $CR-RC^3$ и ступенчатой регулировкой коэффициента усиления [11];
- выходной усилитель и инвертор напряжения;
- источник опорного напряжения;
- цепи для задания режима работы внешнего детектора;
- цепь калибровки/тестирования.

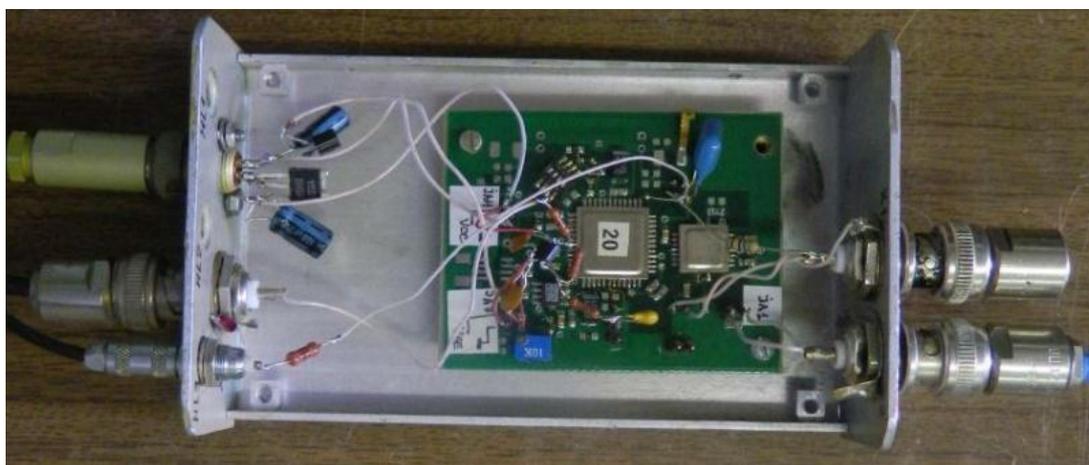


Рис. 1. – Фотография модуля «CRP-MDL-2»

Установка коэффициента преобразования тракта производится путем выбора требуемой комбинации подключения резисторов с помощью четырехпозиционного переключателя.

Результаты измерений основных параметров

Для измерений характеристик и параметров модуля применялось следующее оборудование:

- блок высокого напряжения 31020D, «Canberra»;
- блок генератора спектрометрических импульсов ГСИ-02, «Аспект»;
- спектрометрический АЦП 8К-2, установленный в компьютер;
- NIM- крейт с блоком питания БНН-01, «Аспект»;
- спектрометрические кремниевые детекторы заряженных частиц с тонким входным окном типа ПДПА-1К, «ИФТП».

Во время испытаний исследовался отклик спектрометрического тракта на воздействие ионизирующего излучения от источника альфа- частиц ^{239}Pu и от входных тестовых сигналов, при этом определялись основные технические характеристики, в том числе энергетическое разрешение и шумовые характеристики. При амплитудных измерениях детектор находился в вакууме с остаточным давлением около 0,1 мм.рт.ст.

В результате исследований было установлено:

1. Выходной сигнал характеризуется следующими временными характеристиками: время нарастания – 1 мкс (по уровням 0,1-0,9), время «пика – 1,4 мкс, время спада – 1,8 мкс, длительность импульса – 3,5 мкс.

По своим параметрам выходной сигнал электронного модуля соответствует квазигауссовскому со временем формирования около 0,9 мкс. Такие параметры сигнала являются близкими к оптимальным для применения в спектрометрических трактах регистрации заряженных частиц.

2. Коэффициент преобразования модуля при работе с кремниевым детектором площадью 1000 мм² и емкостью 500 пФ составил около 10,6 мВ/фКл или 0,47 В/МэВ.

3. Интегральная нелинейность (ИНЛ) спектрометрического тракта измерялась с помощью калиброванных тестовых сигналов подаваемых на вход ЗЧУ от генератора *UCB-02*. При этом вход соединялся с различными емкостями от 0 до 1000 пФ, имитирующими входной детектор.

ИНЛ была не хуже 0,4%, в диапазоне примерно от 0,1 до 3,2 В.

4. Шумовые характеристики модуля.

Энергетическое разрешение определялось при облучении кремниевых детекторов ПДПА-1К источником альфа- излучения ^{239}Pu .

На детекторе ПДПА-1К2 с площадью 1000 мм² оно составило 89,1 кэВ по линии 5157 кэВ. Энергетический эквивалент шума при этом был равен 77,9 кэВ. Амплитудное распределение импульсов (от источника и тестового генератора) показано на рис. 2.

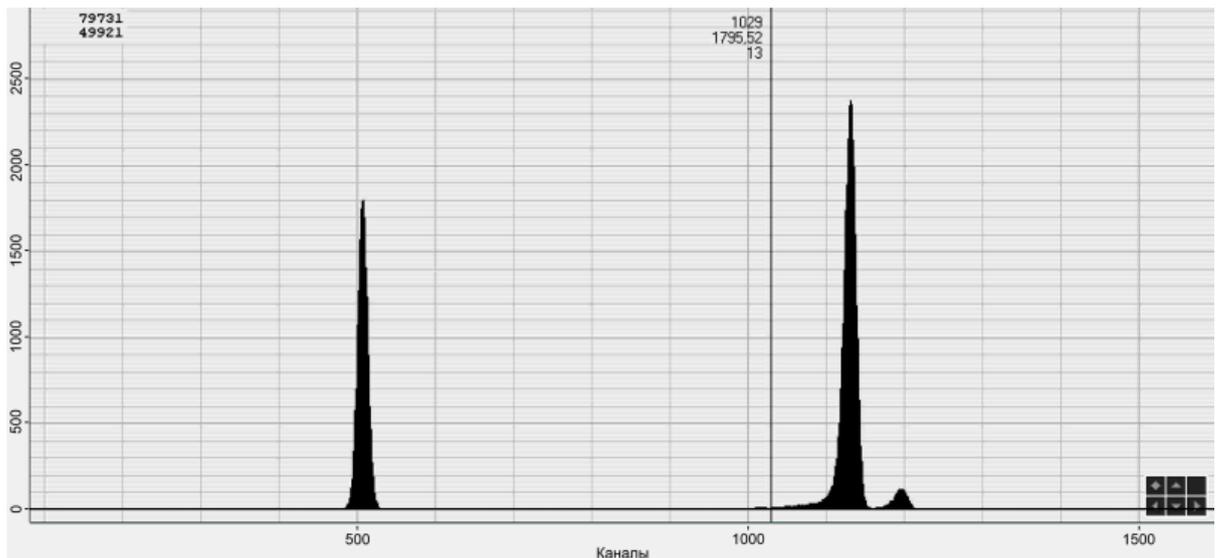


Рис. 2. – Амплитудное распределение импульсов от детектора ПДПА-1К с площадью 1000 мм^2 и тестового генератора

Относительно невысокое энергетическое разрешение и величина шума определяются входным каскадом ЗЧУ, а точнее - наклоном его шумовой характеристики.

На детекторе ПДПА-1К5 с площадью 150 мм^2 энергетическое разрешение по линии 5157 кэВ источника альфа-излучения ^{239}Pu составило $43,8 \text{ кэВ}$. Энергетический эквивалент шума при этом был равен $40,6 \text{ кэВ}$. Амплитудное распределение импульсов в этом случае показано на рис. 3.

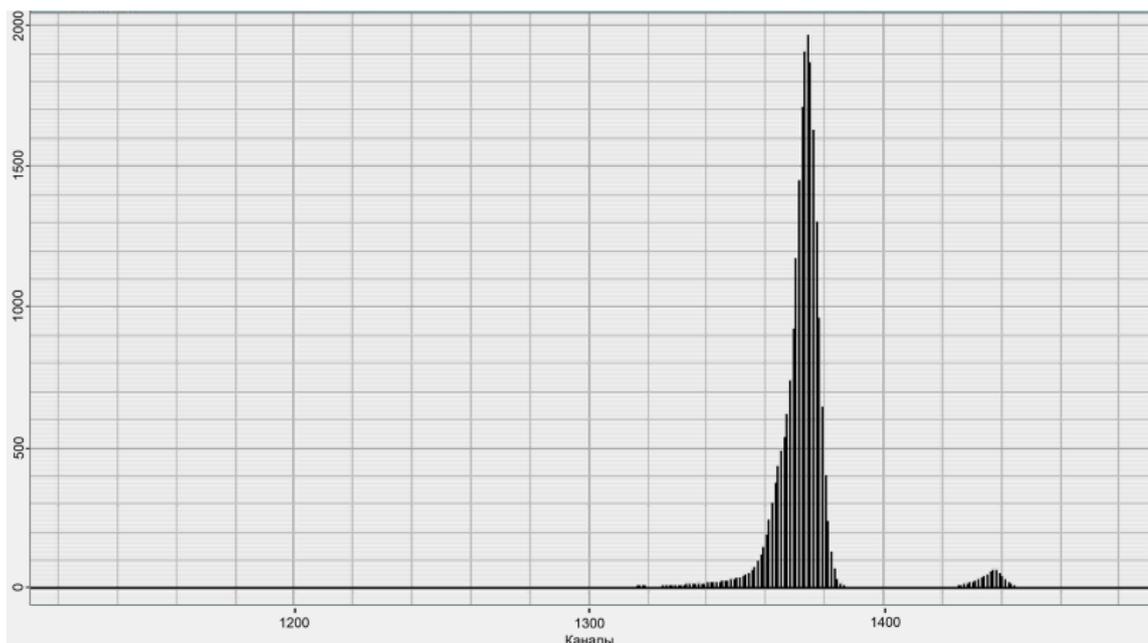


Рис. 3. – Амплитудное распределение импульсов от детектора ПДПА-1К5 с площадью 150 мм^2

Измерялся также энергетический спектр источника альфа-частиц на детекторе ПДПА-1К с площадью 20 мм² (рис. 4), при этом выходные импульсы модуля были близки к насыщению.

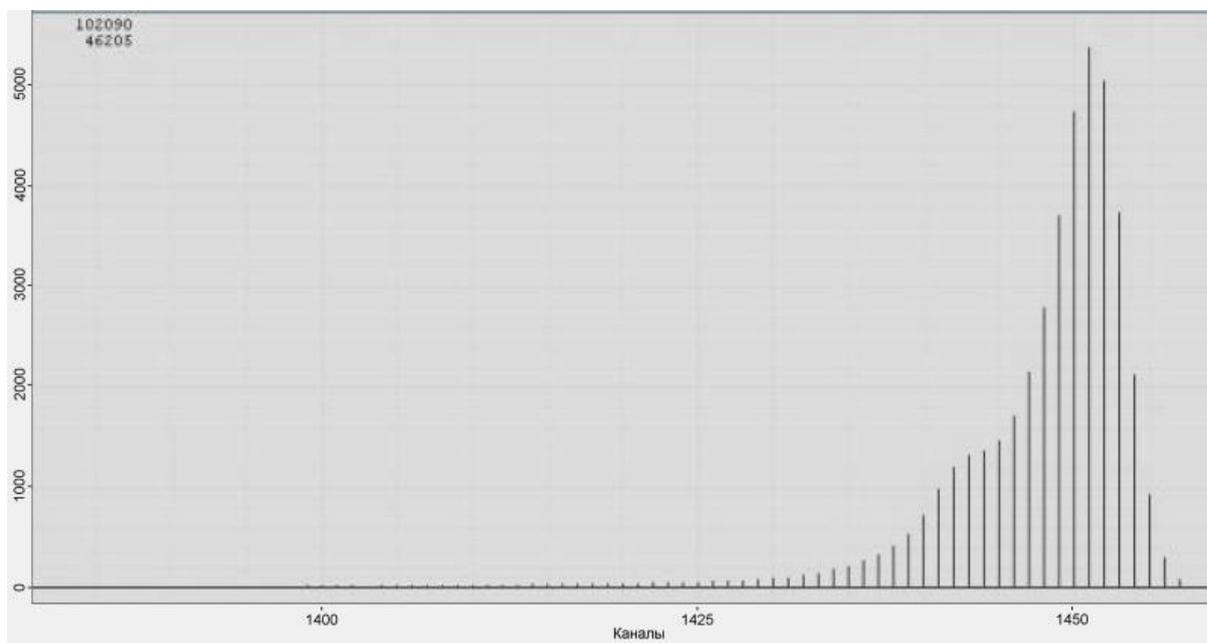


Рис. 4. – Амплитудное распределение импульсов от детектора ПДПА-1К с площадью 20 мм²

На основе выполненных измерений сделан вывод о том, что зависимость эквивалентного шумового заряда (*ENC*, *equivalent noise charge*) от емкости детектора описывается соотношением:

$$ENC = 3300 \text{ эл.} + 33 \text{ эл./пФ}, \quad (1)$$

где *ENC* – эквивалентный шумовой заряд.

Под эквивалентным шумовым зарядом понимается входной заряд, вызывающий на выходе системы сигнал, равный среднеквадратическому значению напряжения шумов. Обычно величина *ENC* описывается среднеквадратическим значением заряда, выраженным в количестве электронов (эл.).

Для существенного уменьшения шума ЗЧУ можно рекомендовать применение малошумящих дискретных транзисторов с высокой крутизной.

5. Зависимость выходного сигнала модуля от емкости детектора показана на рис. 5.

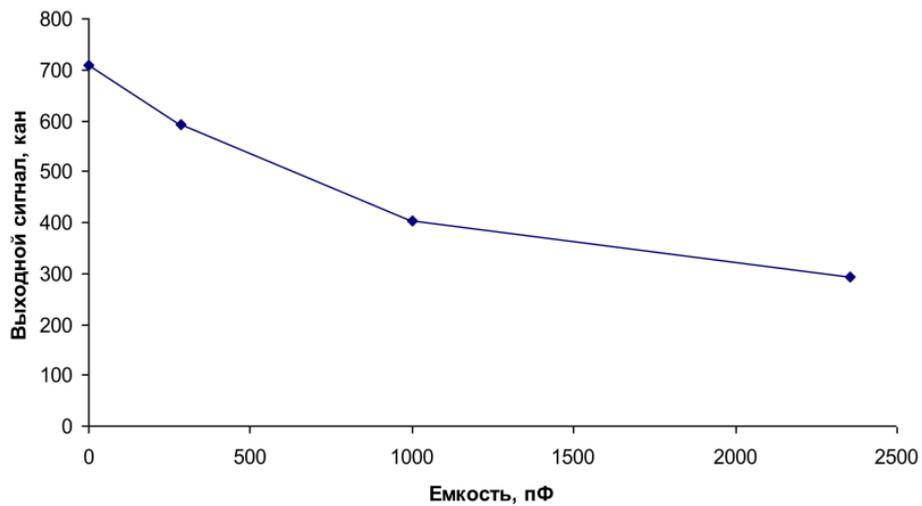


Рис. 5. – Зависимость выходного сигнала модуля от емкости детектора

Эта характеристика имеет существенное значение для детекторов с большой площадью, а значит и с большими темновыми токами. Изменение токов с температурой на таких детекторах может приводить к существенному изменению емкости из-за падения напряжения на резисторе, задающем смещение детектора. Влияние емкости на выходной сигнал модуля обусловлено малым коэффициентом усиления ЗЧУ с разомкнутой обратной связью из-за малой крутизной входного ПТП. Для устранения этого недостатка целесообразно применение дискретных входных ПТП с большой крутизной.

6. Зависимость выходного сигнала модуля от времени показана на рис. 6.

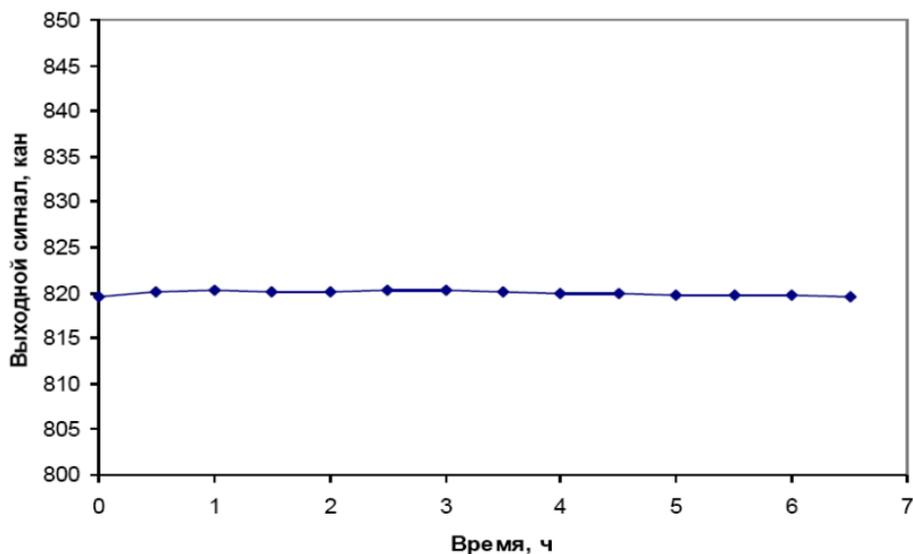


Рис. 6. – Зависимость выходного сигнала модуля от времени

Величина временной нестабильности составила около 0,056%.

Заключение

Выполненные экспериментальные исследования позволили установить:

- при использовании внешних малошумящих транзисторов разработанный модуль может найти применение при построении типовых радиометрических трактов, выпускаемых ОАО «Институт Физико-Технических Проблем Федерального Агентства по атомной энергии»;
- целесообразно применение разработанных конструктивно-схемотехнических решений при создании 4-канальной микросхемы для многоканальных радиометрических и спектрометрических систем.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках грантов №14.В37.21.0781, № 14.132.21.1685 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» и задания 3.3.10 Государственной программы научных исследований РБ «Информатика и космос».

Литература

1. Дворников, О.В. Средства регистрации импульсного видимого излучения малой интенсивности. Часть 1. Особенности и возможности многоканальных фотоприемников с внутренним усилением / О.В. Дворников, В.А.Чеховский, В.Л. Дятлов // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 2(5). – С. 5-13.
2. Бараночников, М.Л. Приемники и детекторы излучений. Справочник / М.Л. Бараночников. – М: ДМК Пресс, 2012. – 640 с.
3. Абрамов, И.И. Проектирование аналоговых микросхем для прецизионных измерительных систем / И.И. Абрамов, О.В. Дворников. – Минск: Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2006. – 286 с.
4. Prokopenko N.N., Gaiduk A., Budyakov P.S., и др. Synthesis circuit correction for speed sensors of physical quantities and current-voltage converters

with parasitic capacitance // 11th East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013). - Rostov-on-Don: , 2013, С. 12-16

5. Korpar, S. Status and perspectives of solid state photon detectors / S. Korpar // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 2011. – Т. А639. – С. 88–93.

6. Danilov, M. Novel photo-detectors and photo-detector systems / M. Danilov // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 2009. – Т. А604. – С. 183-189.

7. Н.Н. Прокопенко Высокочастотные звенья активных фильтров смешанных СнК на базе усилителей тока [Электронный ресурс] / Н.Н. Прокопенко, С.Г. Крутчинский, В.Г. Манжула // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4 (часть 2). - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1397> (доступ свободный) - Загл. с экрана. - Яз. рус.

8. Дворников О.В., Прокопенко Н.Н., Будяков П.С. Метод расширения диапазона частот трансимпедансных преобразователей сигналов лавинных фотодиодов и кремниевых фотоумножителей Известия ЮФУ. Технические науки. - № 2. – 2013 г. – С. 62-67.

9. Дворников, О.В. Электронный модуль обработки сигналов лавинных фотодиодов [Электронный ресурс] / О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, Н.Н. Прокопенко, В.Г. Манжула // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4 (часть 2). - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1338> (доступ свободный) - Загл. с экрана. - Яз. рус.

10. Дворников, О.В. Применение биполярного БМК для проектирования аналоговых ИС. Часть 1. Микромощные малошумящие зарядочувствительные усилители / О.В. Дворников, В.А. Чеховский // Chip News. – 1999. – No 5. – С. 17–20.

11. Дворников, О. Универсальная аналоговая микросхема для датчиков космической аппаратуры / О.В. Дворников, В.Чеховский, В.Дятлов // Современная электроника. – 2011. – № 3. – С. 56–65.