

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»  
(НИЯУ МИФИ)

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА №40 «ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

УДК 539.1.05

**ОТЧЁТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
ИЗУЧЕНИЕ КРОСС-ТОКОВ В ТЕСТОВОЙ ПЛАТЕ  
PETIROC2A**

Студент

\_\_\_\_\_ А. А. Козлов

Научный руководитель,  
старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Ф. А. Дубинин

Москва 2024

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b>	<b>2</b>
<b>1 Теоретические сведения</b>	<b>3</b>
1.1 Кросс-ток в многоканальной электронике . . . . .	3
1.2 Сведения о тестовой плате Petiros2A . . . . .	4
<b>2 Изучение кросс-токов в тестовой плате Petiros2A</b>	<b>6</b>
2.1 Моноканальное изучение кросс-токов . . . . .	6
2.2 Оценка амплитуды кросс-токов . . . . .	7
2.3 Анализ полученных результатов . . . . .	10
<b>3 Заключение</b>	<b>11</b>

# ВВЕДЕНИЕ

В современных ядерно-физических экспериментах активно применяется многоканальная электроника, расширяющая возможности изучения процессов в физике элементарных частиц. Однако использование многоканальной электроники влечёт за собой возникновение нежелательных аппаратных явлений, влияющих на качество получаемых данных.

Одним из таких явлений является шумовой эффект кросс-ток (cross-talk). В рамках данного явления один из каналов начинает создавать шумы в одном или нескольких соседних, что считается нежелательным воздействием, приводящим к искажению экспериментальных данных.

В данной работе проводится изучение явления кросс-тока в многоканальной тестовой плате PЕTIROC2A, предназначенной для работы с ПЭТ и кремниевыми фотоумножителями (SiPM). Оценивается влияние кросс-токов на сигнал, регистрируемый в каналах электроники.

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

## 1.1. КРОСС-ТОК В МНОГОКАНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Кросс-ток – это явление в электронике, представляющее собой нежелательное взаимодействие между несколькими каналами, которое может негативно влиять на качество сигнала и общее функционирование устройства[1].

Кросс-ток возникает, когда сигнал из одного канала влияет на сигнал в соседнем канале. Это может произойти по нескольким причинам, включая электромагнитную индукцию, утечку сигнала через проводники и даже механические вибрации. В цифровых системах кросс-ток может привести к ошибкам передачи данных, что особенно критично в высокоскоростных сетях.

Одним из основных способов борьбы с кросс-током является использование качественных материалов и технологий при проектировании печатных плат и кабелей[2]. Важно правильно располагать каналы на плате: увеличение расстояния между ними и использование диэлектрических материалов может снизить вероятность кросс-тока. Однако подобные мера избегания кросс-токов связаны с увеличением расходов и размеров элементов электроники в экспериментах, что не всегда возможно ввиду ограниченности бюджета и пространства для расположения электроники в экспериментальной установке. Другим подходом является применение цифровой обработки сигналов (DSP). Современные алгоритмы могут обнаруживать и компенсировать эффекты кросс-тока, улучшая качество принимаемого сигнала.

## 1.2. СВЕДЕНИЯ О ТЕСТОВОЙ ПЛАТЕ PETIROC2A

Petiroc2A - это 32-канальный интерфейсный модуль ASIC, предназначенный для считывания показаний кремниевых фотоумножителей (SiPM) обеих полярностей для измерения времени пролета частиц[3]. Petiroc 2A сочетает в себе очень быстрый запуск с низким уровнем дрожания и точные измерения заряда и времени. Энергия и время преобразуются в цифровую форму с помощью 10-разрядного АЦП и постоянного тока со скоростью 40 бит/с. Концепция ASIC заключается в объединении двух измерительных линий, не создающих друг другу помех при одновременном измерении.

Потребляемая мощность составляет 6 мВт на канал, без учета буферов, используемых для вывода аналоговых сигналов. Основным назначением Petiroc 2A является создание прототипов ПЭТ-устройств для определения времени полета, но его также можно использовать для любых задач, требующих как точного разрешения по времени, так и точного измерения энергии[4].

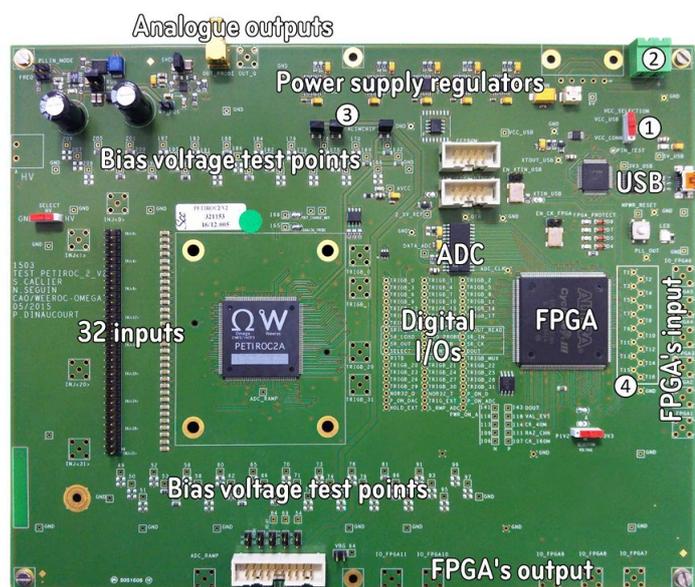


Рисунок 1.1 — Вид на плату PETIROC2A сверху

На схеме обозначены:

1. Переключатель режима питания платы
2. Коннектор для подачи питания на плату (6 V)

3. Регуляторы питания

4. Тестовые точки подключения для ПЛИС (программируемой логической интегральной микросхемы)

На тестовой плате доступны 32 триггерных выхода (триггер b<0:31>). Данные входы используются для присоединения к плате кремниевых фотоумножителей (SiPm).

Для работы с данной тестовой платой используется программное обеспечение WEEROC, написанное на языке программирования C#.

## 2. ИЗУЧЕНИЕ КРОСС-ТОКОВ В ТЕСТОВОЙ ПЛАТЕ РЕТІРОС2А

### 2.1. МОНОКАНАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КРОСС-ТОКОВ

Одной из методик изучения кросс-токов в многоканальной электронике является исследование каждого канала при помощи генераторного сигнала с известными параметрами, позволяющего качественно оценить наличие кросс-токов между несколькими соседними каналами.

Импульсные сигналы, моделирующие сигналы, приходящие от детекторов, подаются на каждый из 32 каналов тестовой платы при помощи универсального генератора сигналов. При помощи программного обеспечения WEEROC строятся гистограммы числа событий для каждого канала при подаче на него сигнала с генератора.

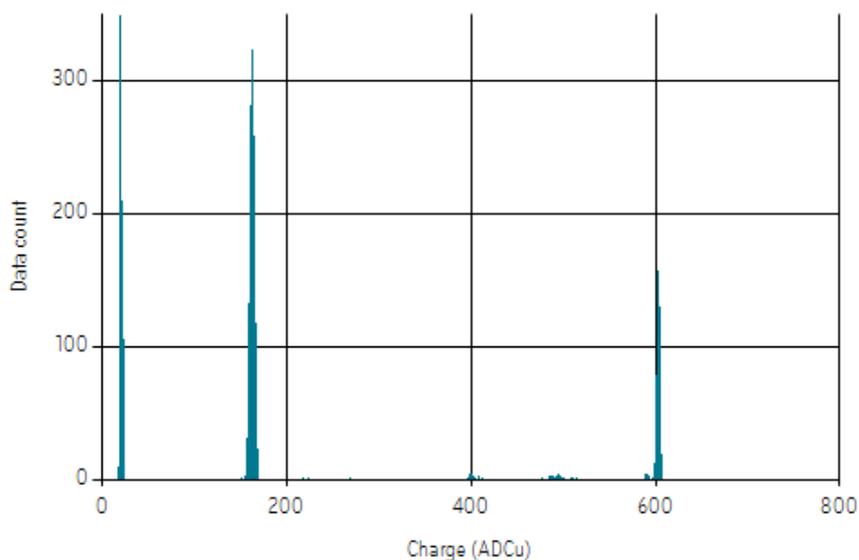


Рисунок 2.1 — Гистограмма числа событий в 18 канале при использовании генераторного сигнала

Как видно из полученной гистограммы, помимо шумов и генераторного сигнала в некоторых каналах возникают сигналы, вероятно, имеющие так же шумовую природу и при этом обладающие большей амплитудой, чем прочие шумы.

Дальнейшая обработка данных, полученных при генераторном исследовании каждого из 32 каналов, показала наличие неопознанных паразитных срабатываний у соседних каналов при подаче сигнала на некий третий канал.

## 2.2. ОЦЕНКА АМПЛИТУДЫ КРОСС-ТОКОВ

Для оценки амплитуды кросс-токов, возникающих в каналах тестовой платы РЕТІRОС2А, рассмотрим пример оценки кросс-токов, при котором сигнал с генератора сигналов поступал на 20 канал.

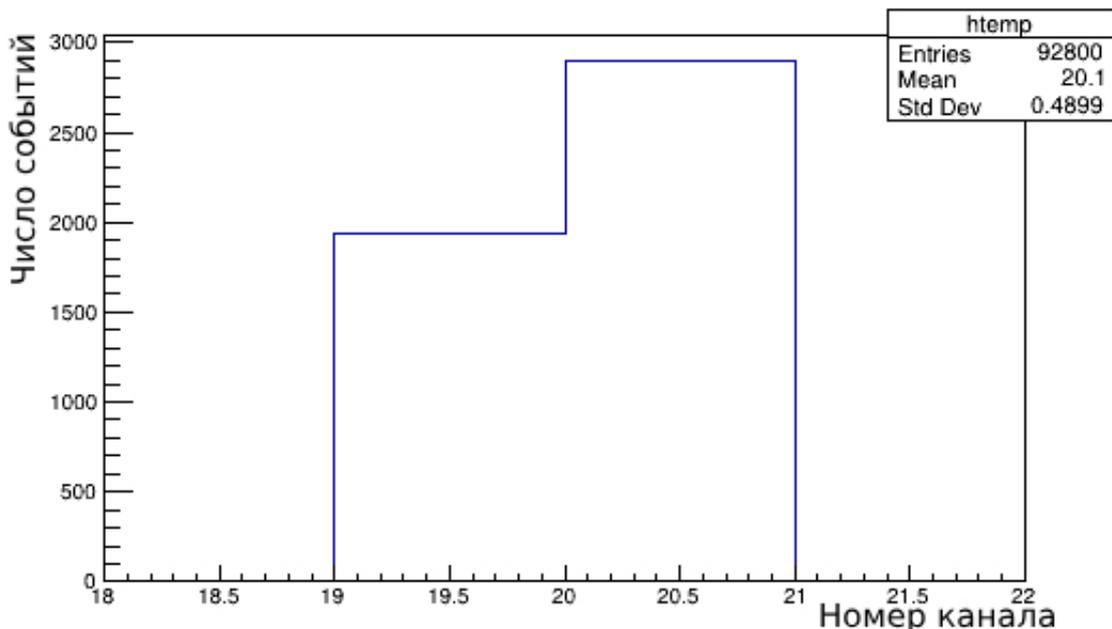


Рисунок 2.2 — Гистограмма числа событий в каналах платы в зависимости от номера канала при подаче генераторного сигнала в 20 канал

Изучив число событий в каналах при помощи гистограммы, можно наблюдать события, возникшие в 19 канале, которые и отвечают кросс-току.

Первичную оценку для шумовых событий в канале 19 сделаем при помощи сравнения зарядовых гистограмм для каналов 19 и 20.

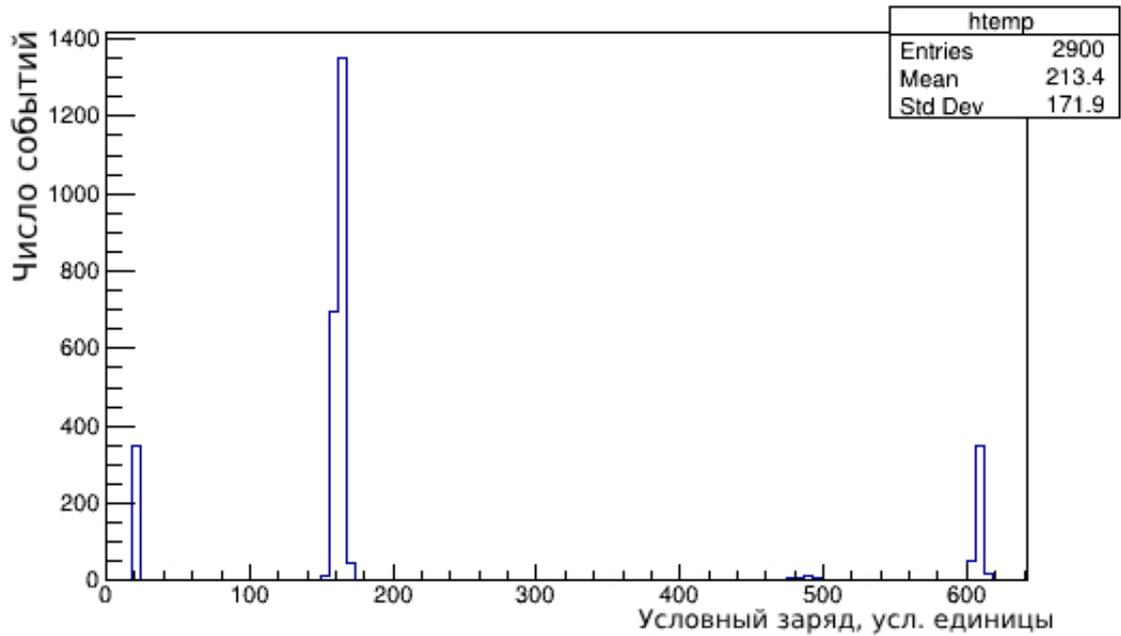


Рисунок 2.3 — Зарядовый спектр 20 канала платы при подключенном к нему генераторе импульсов

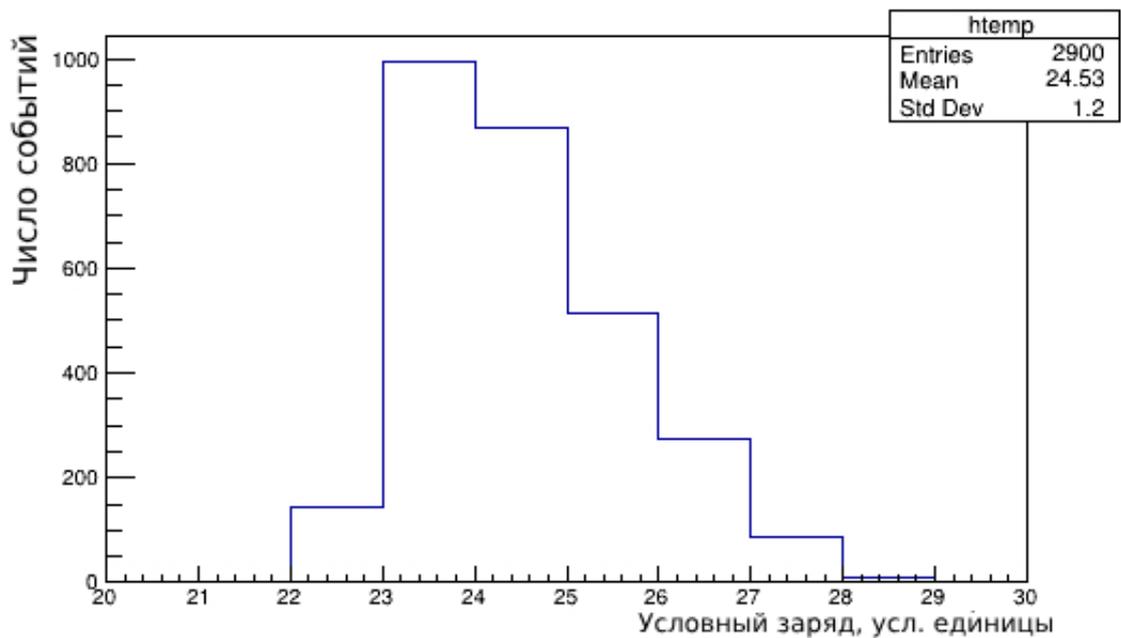


Рисунок 2.4 — Зарядовый спектр 19 канала платы при подключенном к 20 каналу генераторе импульсов

Как видно из гистограмм, максимум зарядового спектра канала 19 приходится на зону с малой амплитудой, тогда как генераторный сигнал

находится в зоне с кратно большей амплитудой генераторного сигнала

Для оценки амплитуды кросс-токов используем осциллограф, последовательно подключаемый к каналам 19 и 20.

При помощи осциллограммы, полученной с данных каналов, оценим амплитуду кросс-тока в сравнении с генераторным сигналом.

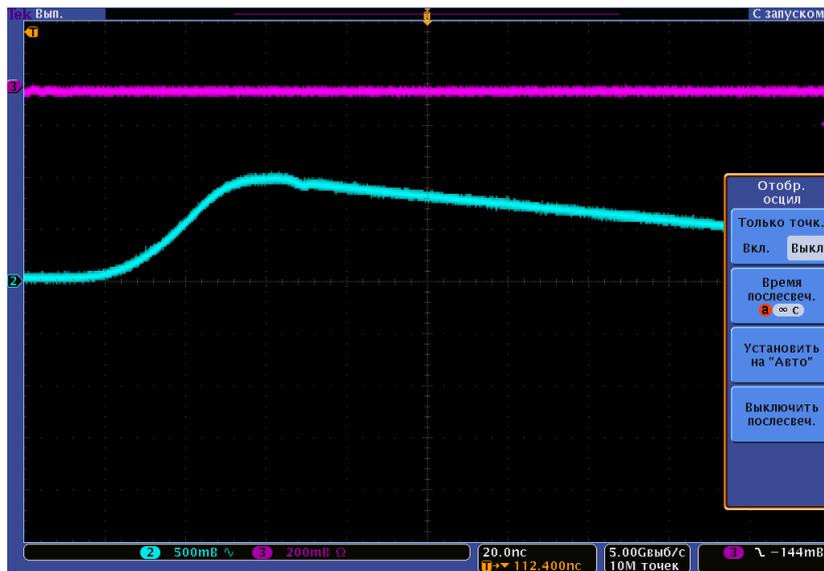


Рисунок 2.5 — Осциллограмма 20 канала, снятая с формирователя заряда

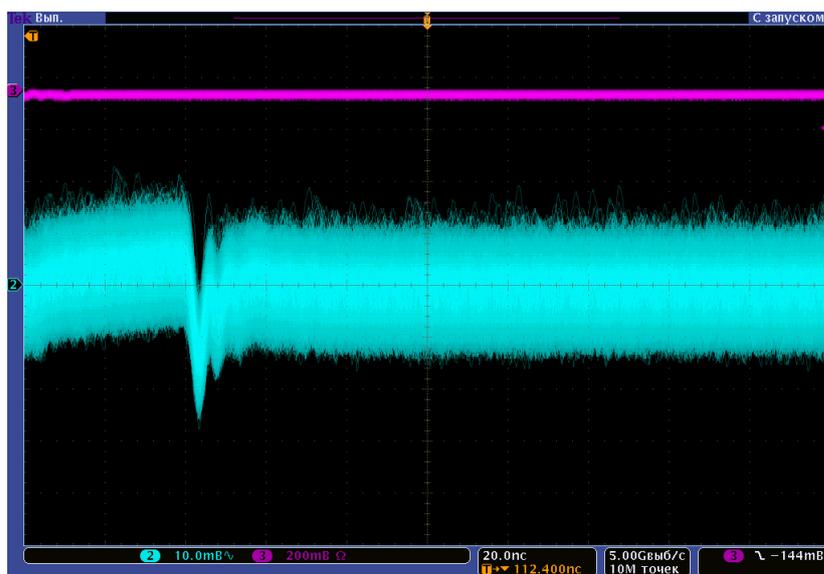


Рисунок 2.6 — Осциллограмма 19 канала, снятая с формирователя заряда

Из анализа осциллограмм следует, что на формирователе заряда при амплитуде генераторного сигнала в 1В амплитуда кросс-тока, выделяюще-

гося среди других шумов резким пиком, составляет  $26 \pm 4$  мВ. Подобная картина характерна и для других каналов тестовой платы РЕТІРОС2А.

## 2.3. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение всех 32 каналов показало наличие кросс-тока между одним или несколькими соседними каналами при подаче генераторного сигнала с известными параметрами на некий третий канал. Кросс-токовый шум присутствует во всех каналах тестовой платы.

Однако амплитуда кросс-тока в сравнении с амплитудой генераторного сигнала крайне незначительна:

$$\frac{U_{cross}}{U_{generator}} = 0,026 \pm 0,004$$

Таким образом, вклад кросс-токов в события, регистрируемые детекторами, подсоединёнными к плате РЕТІРОС2А, можно нивелировать при помощи выставления порогов срабатывания триггера без риска потерять полезный сигнал.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе изучалось явление кросс-тока, возникающего в многоканальной электронике, на примере тестовой платы PETAROC2A, предназначенной для работы с ПЭТ для подключения кремниевых фотоумножителей (SiPM).

При помощи генераторного метода исследования каждого из 32 каналов платы было выявлено существование кросс-токовых импульсов, влияющих на качество получаемых экспериментальных данных.

Изучение амплитуды кросс-токовых импульсов при помощи осциллографа показало, что амплитуда кросс-тока между каналами платы незначительна в сравнении с амплитудой сигнала, поступающего в канал.

Таким образом, проблема влияния кросс-тока на сбор экспериментальных данных решается выставлением достаточного для отсеечения кросс-токовых импульсов порога. Данный порог не создаёт угрозу для полезных событий в силу значительно большей величины их амплитуды в сравнении с амплитудой кросс-токовых импульсов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] A Gorin, A Kuznetsov, I Manuilov, A Riazantsev, A Sidorov, M Kobayashi, K Kuroda, K Okada, F Takeuchi, Peak-sensing discriminator for multichannel detectors with cross-talk, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 452, Issues 1–2, 2000, Pages 280-288, ISSN 0168-9002,
- [2] IEEE 1100 2005 Recommended practice for powering and grounding electronic equipment, 2005
- [3] Datasheet Petiroc2A, 2018
- [4] <https://www.caen.it/products/petiroc-2a/>