

**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»

ОТЧЁТ ПО УЧЕБНОЙ ПРАКТИКЕ (ОЗНАКОМИТЕЛЬНОЙ)

СТАБИЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАТОР-СВЕТОДИОД-ФЭУ

Студент _____ Райт А.В.

Научный руководитель,
старший преподаватель _____ Дубинин Ф.А.

Москва 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	4
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	5
ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	6
ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	7
ВЫВОДЫ ПО ЭКСПЕРМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ.....	16
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	17
ЛИТЕРАТУРА.....	18

ВВЕДЕНИЕ

В современных физических экспериментах на ускорителях, в космосе, а также в медицине широко используются детекторы элементарных частиц, основанных на регистрации оптического излучения.

В качестве фотоприемника традиционно используется фотоумножители (ФЭУ), обладающие высокой чувствительностью и достаточно высокой квантовой эффективностью. Но ряд особенностей данных приборов привел к разработке альтернативных фотоприемников.

Одним из таких приборов является кремниевый многопиксельный лавинный фотодиод, работающий в гейгеровском режиме- SiPM (Silicon Photomultiplier).

Данный тип фотоприемника также может изготавливаться в виде матрицы, где отдельные SiPM выступают в роли пикселей для увеличения пространственного разрешения. Размеры такого пикселя составляют несколько квадратных миллиметров.

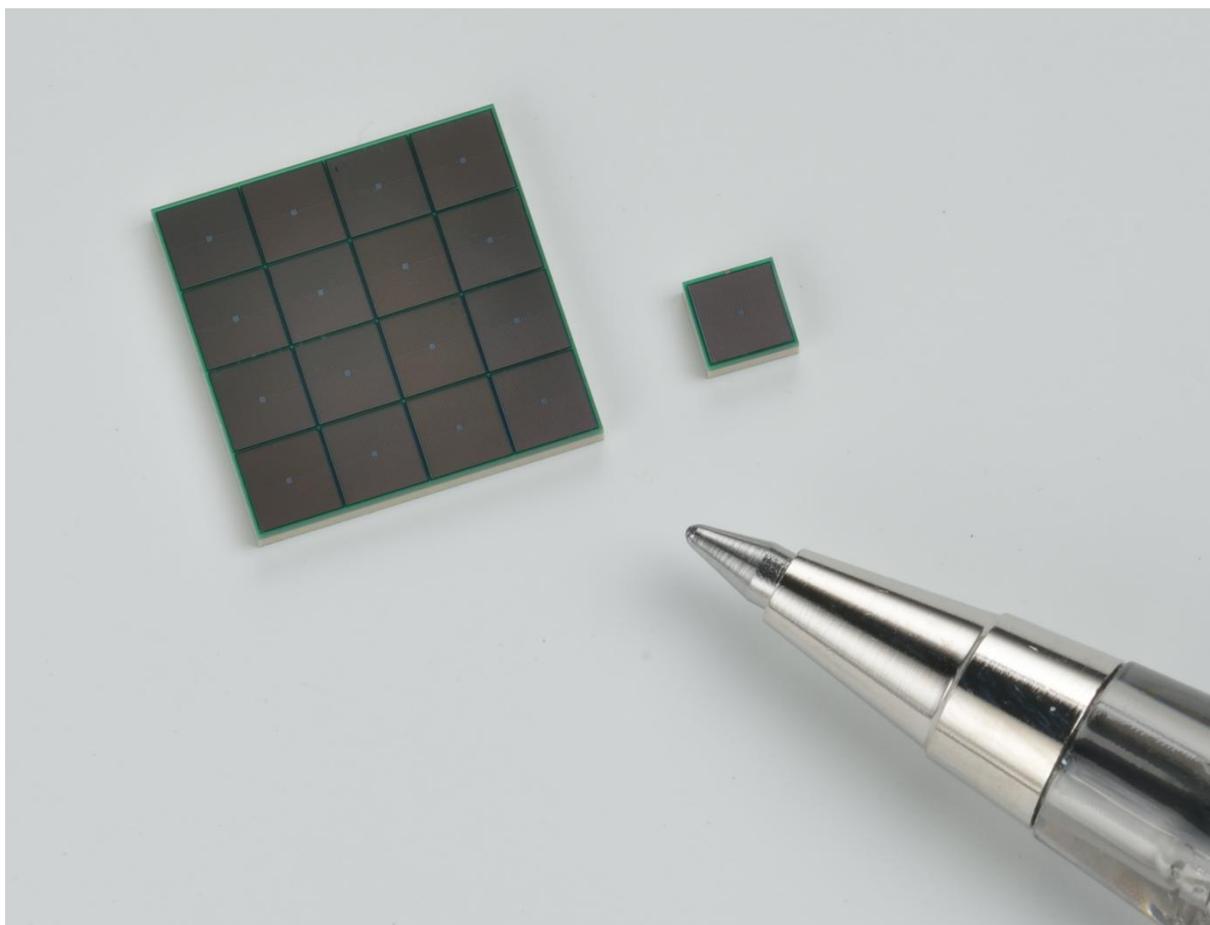


Рис.1

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При освещении матрицы SiPM равномерно светом с каждого отдельного элемента пойдет сигнал. Данный сигнал может отличаться от элемента к элементу. Требуется экспериментальное определение коэффициентов между соотношением входной сигнал(интенсивность света)/выходной сигнал(заряд) для каждого элемента матрицы.

Данный коэффициент также может меняться в течение длительного срока эксплуатации матрицы SiPM, что накладывает некоторые ограничения на размер оборудования для тестирования матрицы внутри оборудования.

Требуется разработка метода для получения данных коэффициентов с учетом имеющегося в наличие оборудования. Одной из особенностей замеров является большая длительность набора данных, так что желательно бы разработка более быстрого метода.

Точность определения коэффициента взята за 1 процент. Она может быть немного избыточна из-за природы работы SiPM (дискуссионный вопрос), но введем такую точность для отдельных элементов измеряющего оборудования.

Измеряющее оборудование можно разделить на две части: оптическая система, обеспечивающая равномерное освещение и электронная фиксирующая показания с отдельных элементов матрицы SiPM.

По электронной фиксирующей части требовалось лишь убедиться, что все работает штатно.

Оптическая система более сложная задача с учетом равномерности освещения в сочетании с малым количеством фотонов, которые должны быть испущены- порядка сотен или тысяч штук.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рассматривались следующие подходы к решению задачи для получения коэффициентов для матрицы SiPM размером 4 на 4:

1. Создание маски с вырезом под один элемент матрицы для. Для матрицы 4 на 4 потребуется 8 таких масок. В этом случае мы работаем только с одним элементом. Таким образом надо будет провести 16 замеров, каждый примерно по пол часа. Требуется обеспечить стабилизацию по температуре- SiPM довольно чувствительны к температуре. Так же требуется обеспечить стабильное напряжение, подаваемое на SiPM. Кроме того, требуется обеспечивать одну и ту же интенсивность света на протяжении длительного времени. Это не очень просто для электрических источников света, но может быть решено при помощи пары источник радиоактивности-сцинтилятор. Но остается проблема длительности замеров.
2. Создание источников света, дающих равномерное освещение на всей площади матрицы. Есть фотометрические решение данной технической задачи в виде сферы, но она довольно громоздкая-размеры порядка метра, плюс надо либо изготовить, либо приобрести.
3. Другим вариантом является создание матрицы светодиодов в сочетании с матовым рассеивателем. Хорошее компактное решение, но требуется экспериментальное определение диаграмм излучения светодиодов и рассеивания матовой поверхности с нужной точностью. Кроме того, требуется расчетная модель данного изделия.
4. Остановились на заведомо неоднородном источнике света-точечный источник света. Но неоднородность которого можно сделать заведомо меньше заданного значения. В тубус, покрытый изнутри черной порошковой краской, помещаем с одного конца светодиод, за ним матовая поверхность, работающая на просвет (бумага, матовое стекло), далее диафрагма с точечным отверстием- все это является моделью точечного источника света. С другого конца труба размещаем матрицу SiPM. С учетом размеров матрицы SiPM- порядка 1 квадратного сантиметра, расстояние порядка 1 метра между точечным источником и матрицей обеспечит нужную равномерность освещения даже с учетом сферического рассеивания и диаграмм направленности излучения и рассеивания.

ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

После выбора подхода к решению задачи в виде одновременного освещения всей матрицы неоднородным источником света с заданной неоднородностью сильно меньшей 1 процента были проведены тестовые замеры пары светодиод-SiPM. Они показали, что в течение длительного времени (порядка часа) не было выхода на «плато».

Это потребовало проверки исправности отдельных элементов системы, состоящей из генератора сигналов, подаваемых на светодиод и осциллограф в качестве триггера, светодиода, генератора напряжения, подаваемого на SiPM, осциллографа, SiPM, соединительных высокочастотных кабелей.

SiPM является звеном, стабильность показаний которого сильно зависит от стабильности поданного на него напряжения и от постоянного температуры. Проверка этой части отложена на второй этап (еще не выполненный)

В ходе первого этапа проверена стабильность работы генератора сигналов, светодиода, кабелей. Для этого SiPM был заменен парой различных ФЭУ, которые менее подвержены влиянию температуры и напряжения.

Для этого была проведена работа, описанная ниже.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цель работы: измерение характерного времени для переходных процессов системы «генератор импульсов-светодиод» при помощи двух ФЭУ, расположенных на одинаковом расстоянии от светодиода.

Приборы и оборудование: осциллограф Teledyne Lecroy, генератор импульсов, два ФЭУ, светодиод, «черный ящик»- оборудование, которое находилось в кабинете Э-102 на момент 13 ноября 2023 года.

Осциллографом фиксировался тренд по заряду с вычетом плато. Время 1 тыс. замеров соответствует примерно 15с (14.7с) (97 тыс. замеров занимает 23 мин 46с).

Канал С₁: ФЭУ-85 ($U_{\text{пит}} = -700\text{В}$, $I_{\text{делит.}} = 0.17\text{А}$, источник питания ORTEC 556)

Канал С₂: ФЭУ-130 ($U_{\text{пит}} = -1306\text{В}$, $I_{\text{делит.}} = 0.757\text{А}$, источник питания iseq NHQ 205M)

Канал С₃: сигнал с генератора импульсов идет на канал С₃ осциллографа.

Параметры генератора сигналов: $V=3.7\text{В}$, $t_u=1 * 10^{-2}\text{мкс}$, $T=1\text{мс}$, $R_{\text{вых.ген.}} = 50 \text{ Ом}$ («заглушка»).

Параметры «синего» светодиода: 470нм, 1500мКд.

Время прогрева ФЭУ составило 1 час.

Температура в течение замеров изменилась с 23.4°C до 23.6°C.

Расстояние между осями ФЭУ- 7.5см, расстояние от светодиода до плоскости, в которой расположены входные окна ФЭУ- 13 см.

Внешний вид установки:

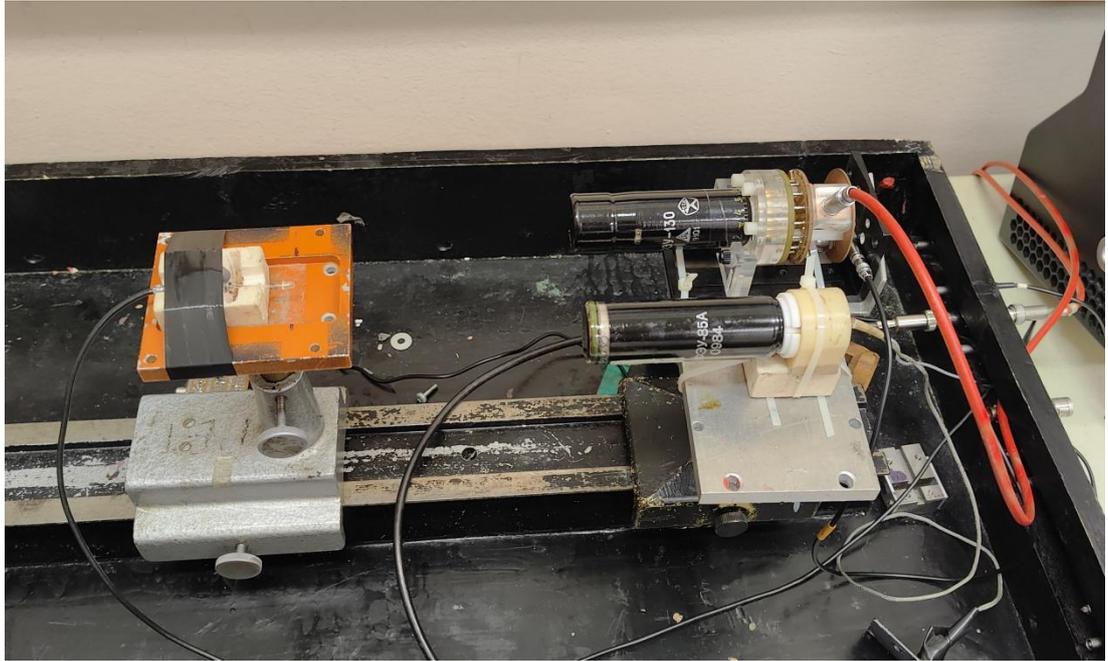


Рис. 2

Настройки осциллографа:



Рис. 3

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Файлы замеров, полученных на осциллографе, были преобразованы вручную в формат, удобный для обработки в программе в MATLAB:

```
clc
a = importdata('C:\Users\Александр\Desktop\Подготовленные
файлы\F1Тренд канала 2 (4 часть)00000.txt');
n=1000; % количество точек в интервале усреднения
M=90; % количество интервалов усреднения

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Вычисление среднего значения на всей охваченной
%последовательности
Y=0;
for l=1:n*M
    Y=Y+a(l);
end
y=Y/(n*M); %среднее значение на всей охваченной
последовательности

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

SR=[]; % задание пустого массива для средних значений интервалов
PRS=[]; % задание пустого массива для приведенных процентно к
% среднему значению на всей охваченной последовательности
%средних значений интервалов
I=[];
for i=1:M
    s=0.0;
    for j=(i-1)*n+1:i*n
        s=s+a(j);
    end
    SR=[SR s/n];
    PRS=[PRS s/n*100];
    I=[I i];
end

%plot(I,SR,'r--o')
plot(I,PRS,'k--o')
xlabel('Тыс. замеров');
ylabel('Проценты от среднего арифметического значения');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

PR=[];
K=[];
for k=1:M-1
    PR=[PR (SR(k+1)-SR(k))*100/SR(k)];
    K=[K k];
end
%plot(K, PR, 'r--*')
grid on
```

Результаты, полученные в ходе измерений, для графического представления были усреднены по 1 тыс. значений: из 90 тыс. замеров получены 90 точек для графика. Такое количество замеров (1тыс.) фиксируется в течение 14.7с. Всего серия замеров производилась в течение почти получаса за одним исключением. Отклонения при таком усреднении лежат в пределах 1 процента на «плато» в стабильном режиме. В тоже время при таком выборе масштаба усреднения видны переходные процессы.

Абсолютные величины приведены в проценты от среднего арифметического значения всей выборки. Более правильно было бы привести к процентному значению от «плато», но далеко не везде есть выход на «плато». Это вносит небольшие коррективы к пониманию величин представленных на графиках, но при этом позволяет качественно оценить характерные времена переходных процессов. Кроме того, количество точек «плато» преобладает над количеством точек переходного процесса и это снижает ошибку при таком подходе.

Тренды по заряду в течение 90 тыс. отсчетов:

Канал 1:

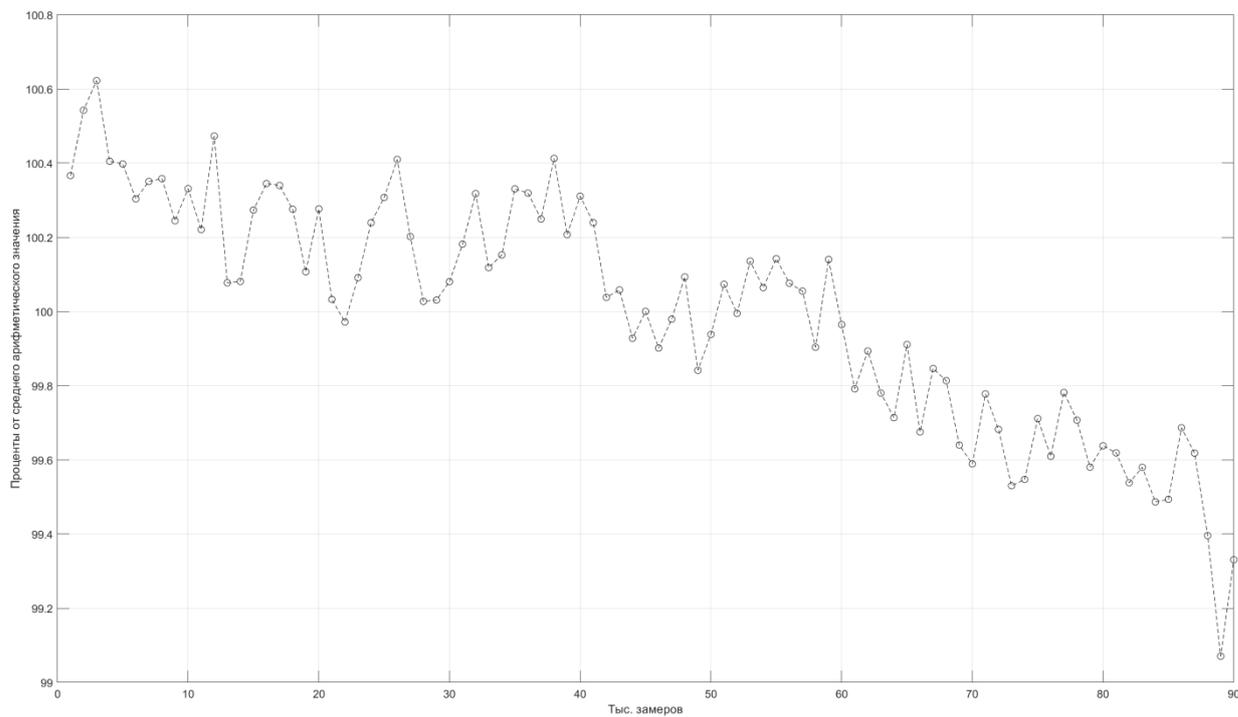


Рис. 4.1

Канал 2:

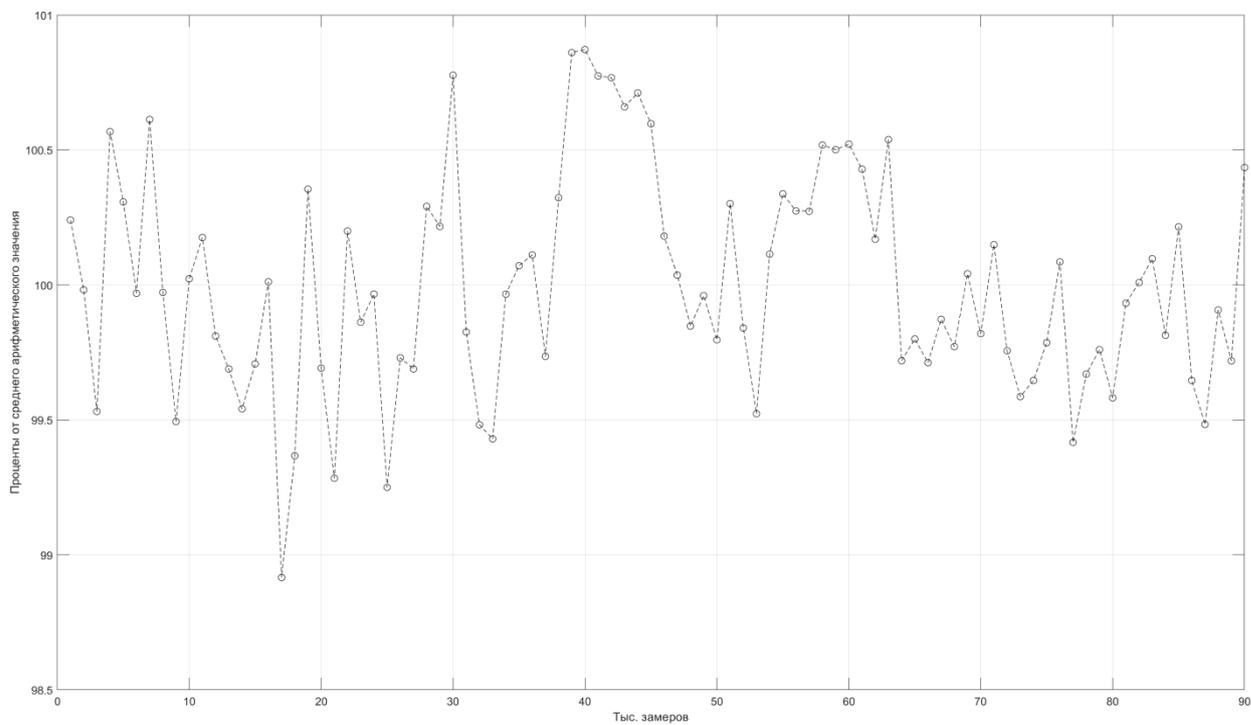


Рис. 4.2

Тренды по заряду в течение 45 тыс. отсчетов после отключения генератора импульсов, ФЭУ в течение минуты:

Канал 1:

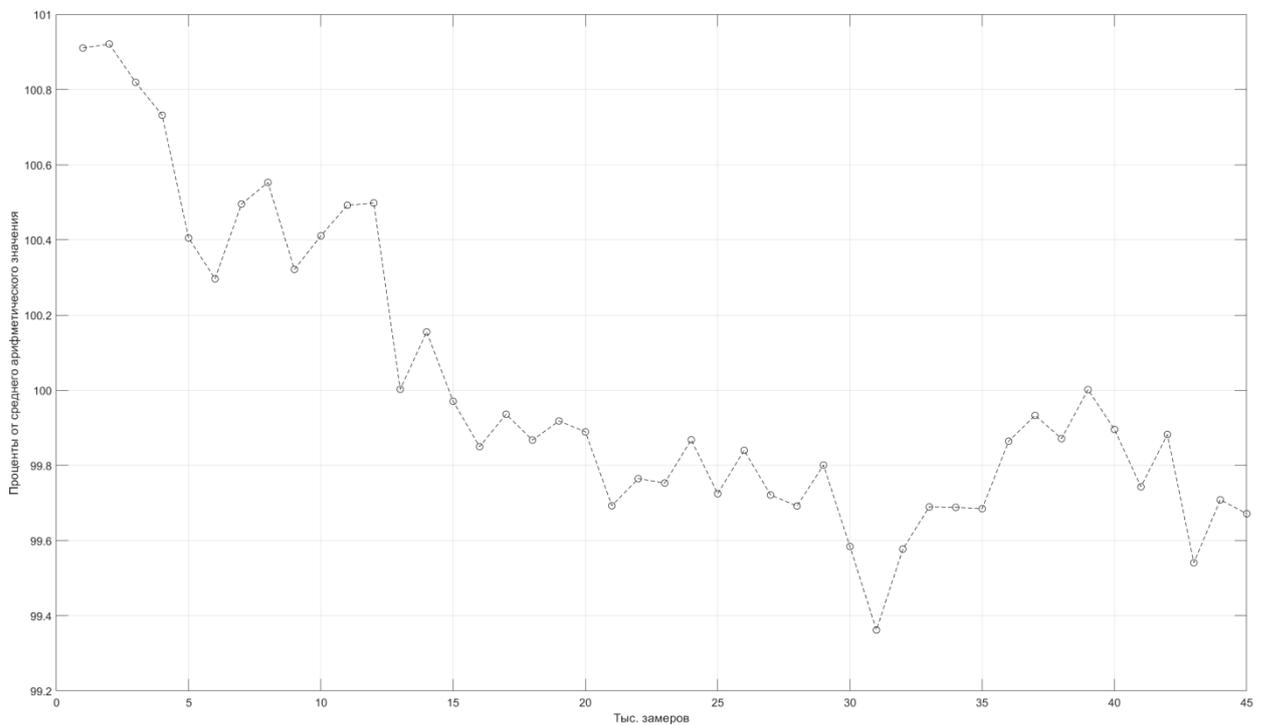


Рис. 5.1

Канал 2:

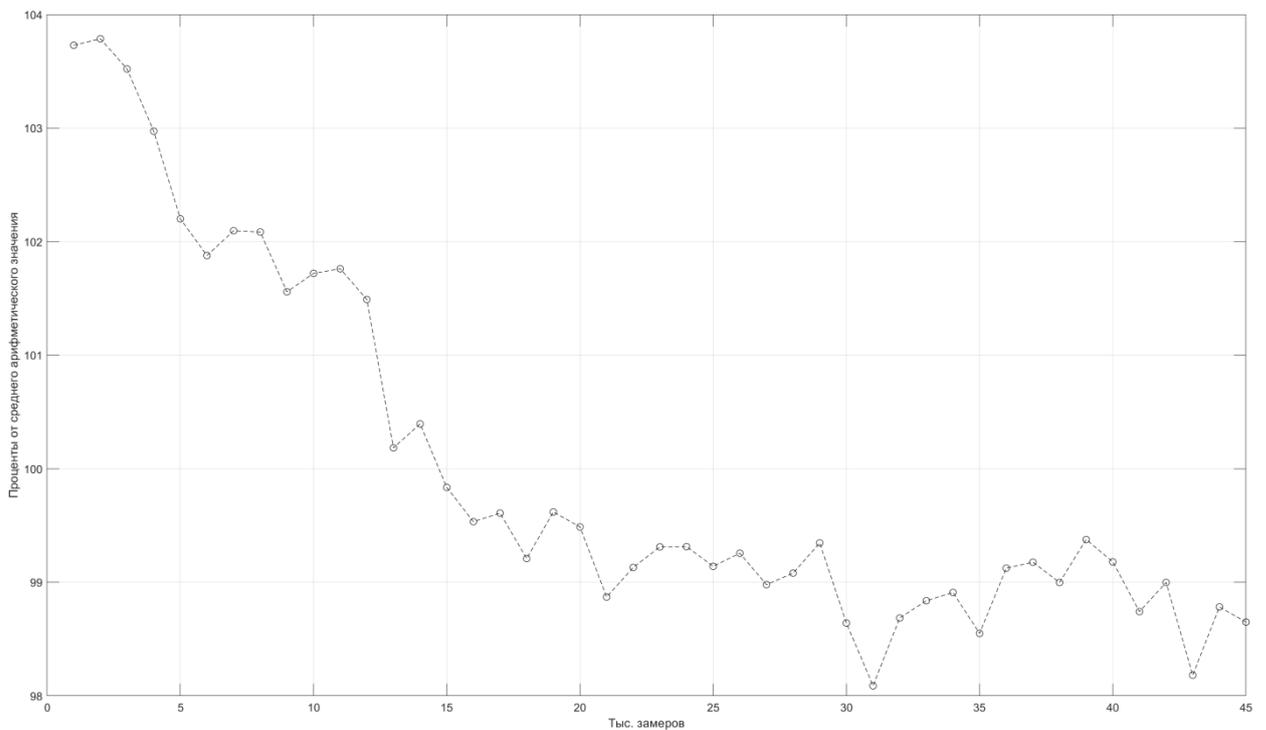


Рис. 5.2

Тренды по заряду в течение 90 тыс. отсчетов после отключения генератора импульсов в течение минуты:

Канал 1:

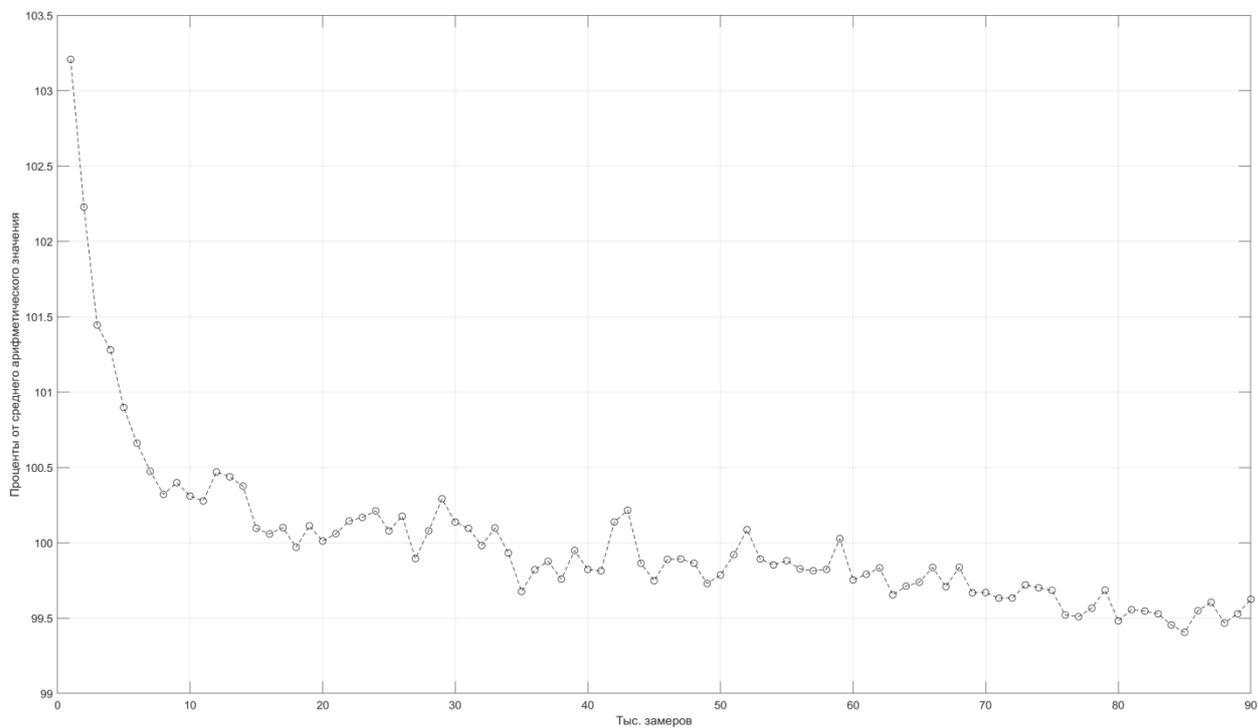


Рис. 6.1

Канал 2:

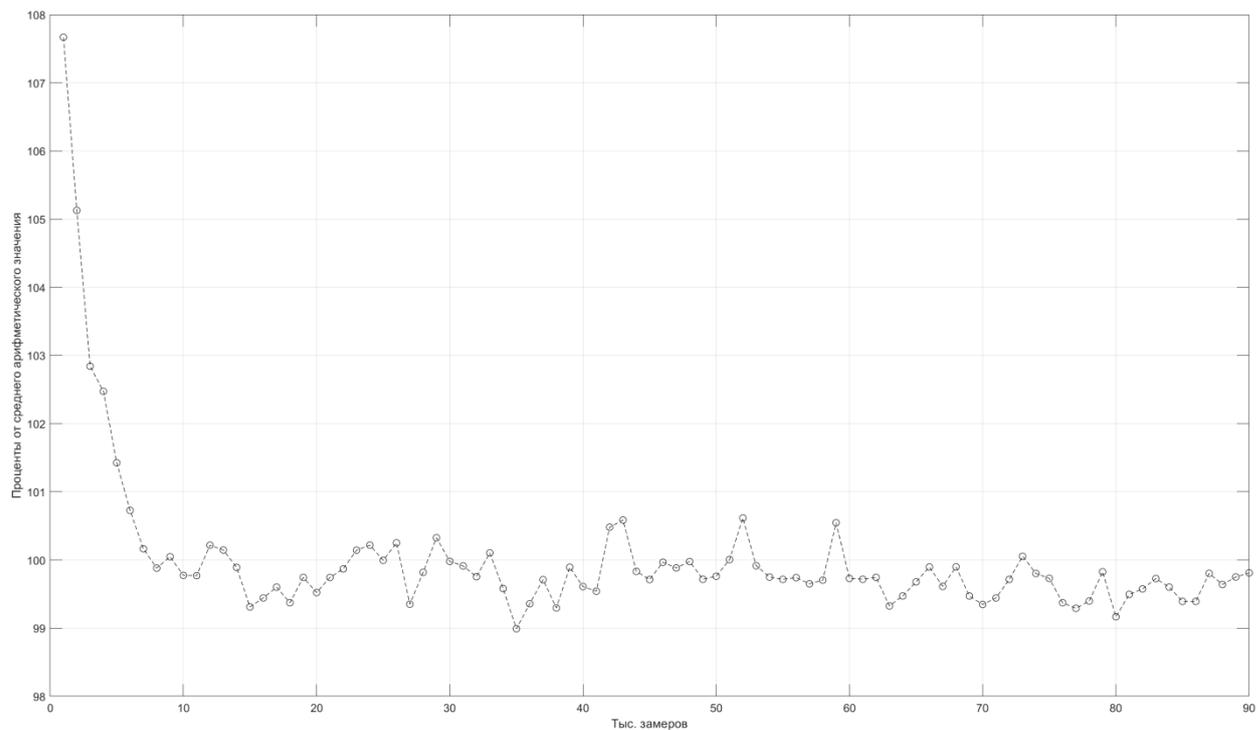


Рис. 6.2

Тренды по заряду в течение 90 тыс. отсчетов после отключения светодиода в течение 2 минут:

Канал 1:

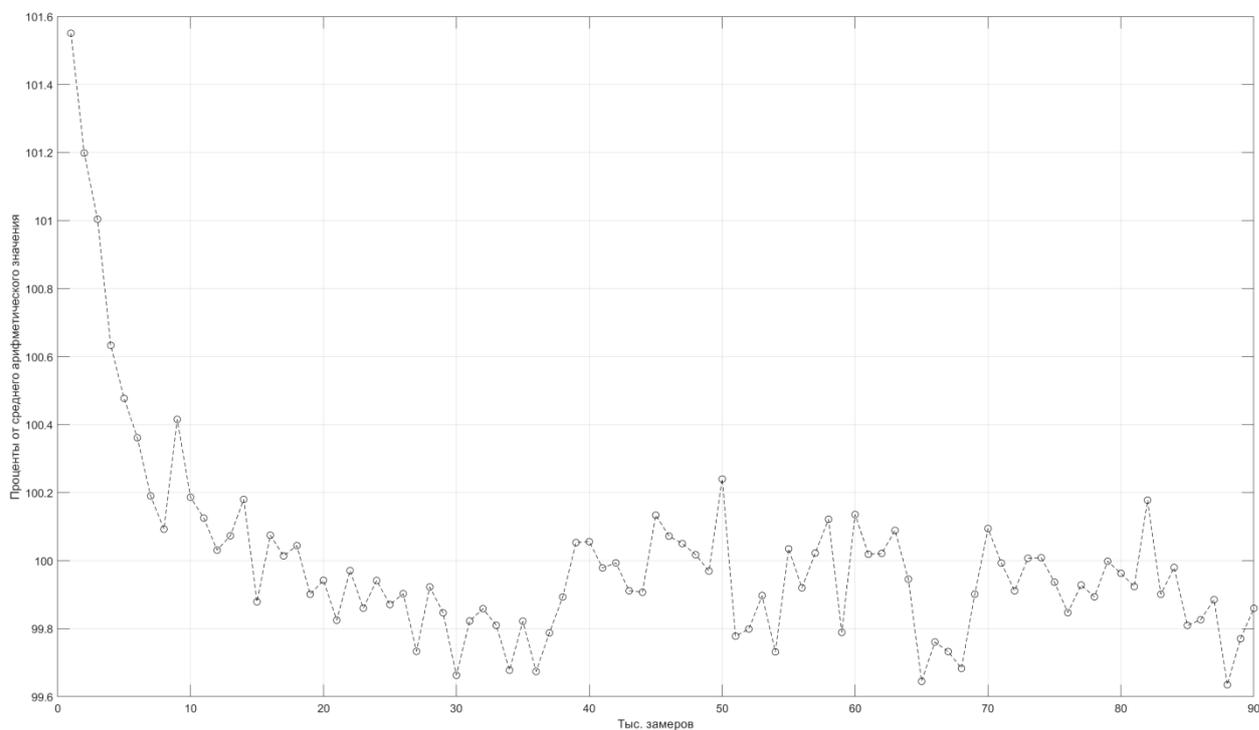


Рис. 7.1

Канал 2:

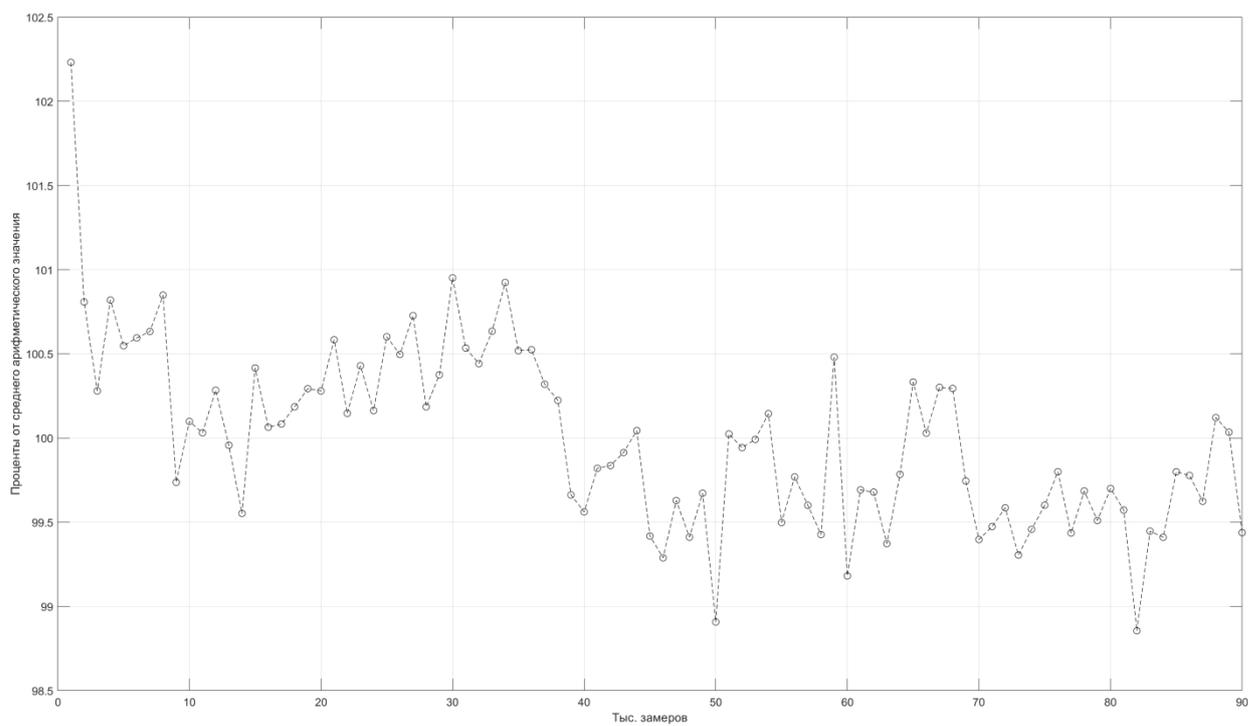


Рис. 7.2

Тренды по заряду в течение 90 тыс. отсчетов после отключения ФЭУ в течение 2 минут:

Канал 1:

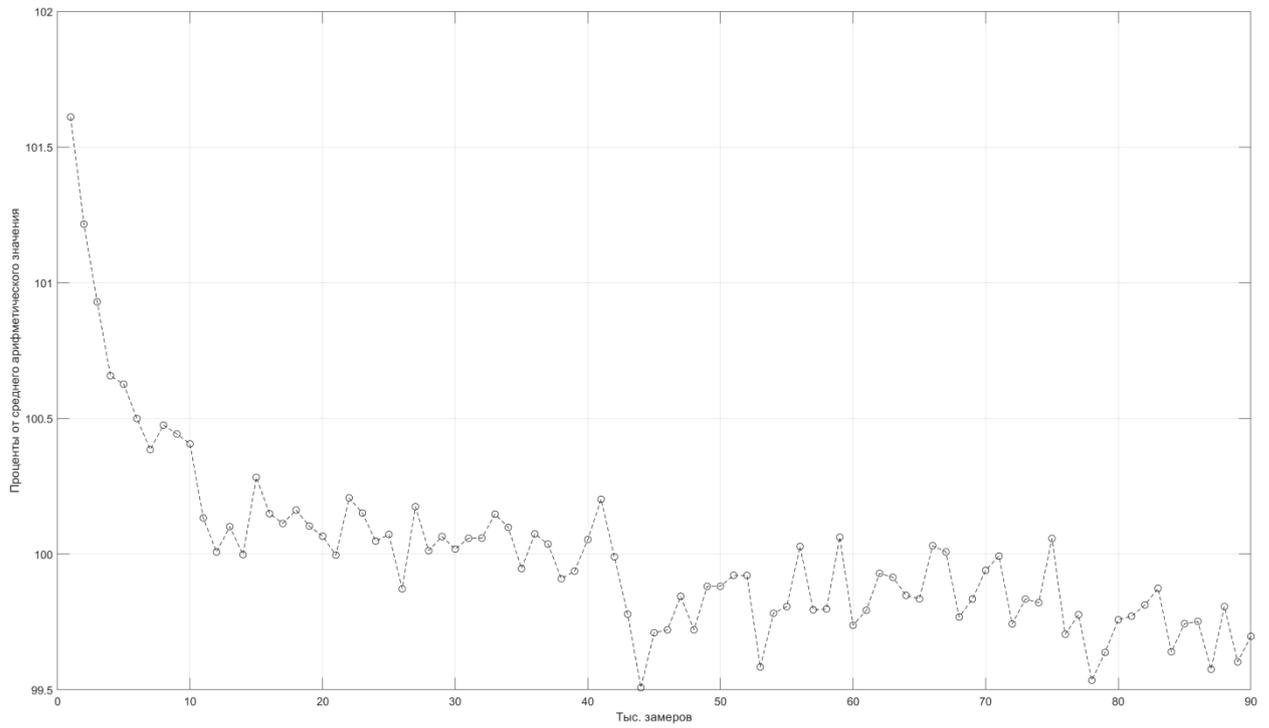


Рис. 8.1

Канал 2:

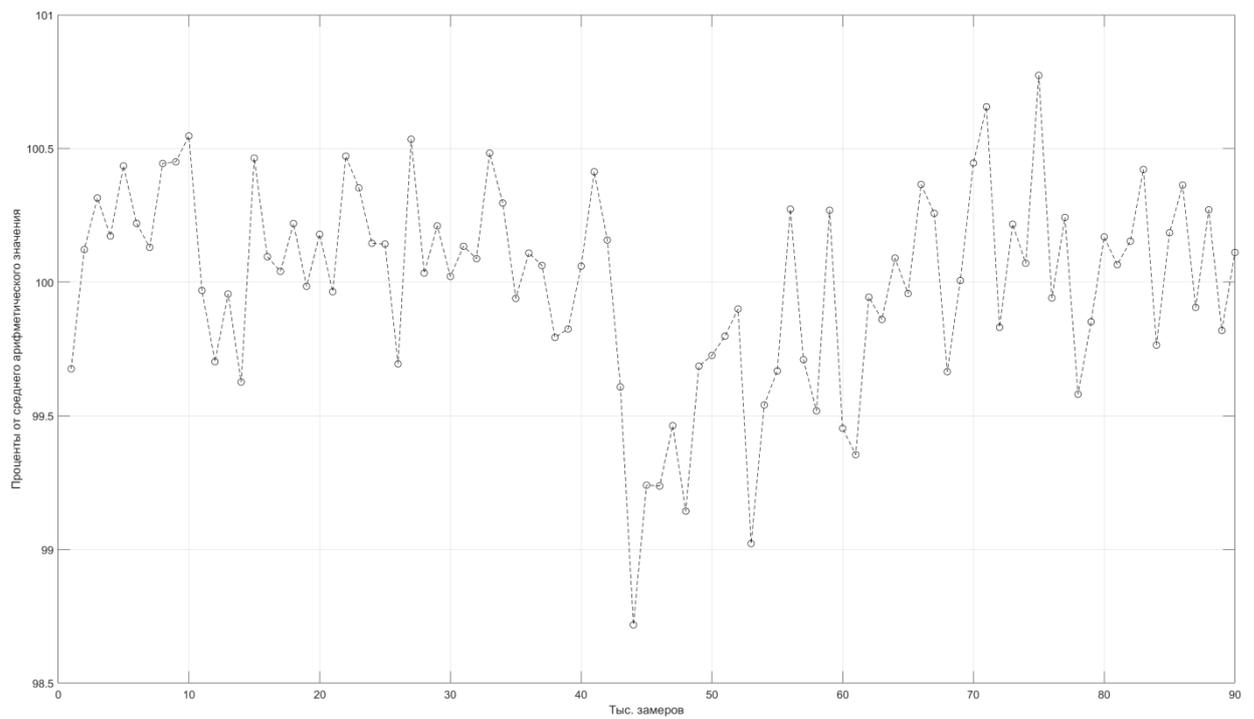


Рис. 8.2

ВЫВОДЫ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ

1. ФЭУ-85 (канал 1) даже после прогрева в течение часа не вышел на стабильный режим и «уплыл» на величину порядка 2 процентов в течение получаса. Шумит меньше, чем ФЭУ-130, но «плышет» (Рис 4.1).
2. Ориентируемся на показания ФЭУ-130 (канал 2)- у него есть «плато» в пределах 1 процента отклонения. Не «плышет», но шумит больше, чем ФЭУ-85 (Рис 4.2).
3. Отключение и повторное включение через 1 минуту генератора импульсов и ФЭУ в пределах погрешности 1 процент дает переходный процесс по каналу 2 в течение 220с (Рис. 5.1), по каналу 1 не выявлено в пределах погрешности, можно объяснить наложением переходных процессов с противоположными направлениями (Рис. 5.2).
4. Отключение и повторное включение генератора импульсов через минуту дает переходный процесс с характерным временем порядка 75-90 с при отклонение на «плато» порядка 1 процента (Рис. 6.1-6.2)
5. Отключение «на горячую» (выдернули кабель при включенном оборудовании и вернули назад- имитация «плохого» контакта) светодиода в течение 2 минут дало переходный процесс в течение 30-45с (Рис. 7.1-7.2).
6. Кратковременное отключение ФЭУ в течение 2 минут не влияет на показания в пределах погрешности 1 процент (Рис. 8.1). ФЭУ-85 демонстрирует наличие небольшого переходного процесса с учетом меньшего шума (Рис. 8.2). ФЭУ-130 не успевает остыть и из-за большего шума не видно наличие переходного процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При работе с данным оборудованием с заданной точностью в 1 процент требуется учитывать переходные процессы порядка 90с на переключения в генераторе сигналов.
2. Избегать «дрезбга» контактов, который так же может давать переходные процессы, длящиеся порядка 45с.
3. Более внимательно подходить к исправности контактов высокочастотных кабелей.
4. Проверенное оборудование удовлетворяет требованиям, поставленным рассматриваемой задачей.
5. Искомый дрейф показаний вероятнее всего придется искать в стабильности работы генератора напряжения и изменение температуры SiPM.
6. Побочный результат- замерен дрейф ФЭУ-85, находящегося в данной лаборатории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Ю.К. Фотонные методы регистрации излучений. – Дубна: ОИЯИ, 2006. – 281 с.