

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Самохвалов Фаддей Алексеевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**«Сравнение характеристик усилителей-формирователей Naicam
DCB215 и Ortec 570"»**

Практикум электричества и магнетизма, 2 курс, группа № 19310

Научный руководитель:

аспирант Семенов А.В.

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума:

М. С. Руменских

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к. ф.-м. н. Астрелин В. Т.

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г

Аннотация

Целью работы является сравнение двух формирователей-усилителей: Naicam DCB215 и Ortec 570. Для этого была собрана экспериментальная установка, состоящая из генератора переменного напряжения, зарядочувствительного предусилителя (ЗЧПУ), усилителя-формирователя (УФ), АЦП и осциллографа для настройки сигнала. Был подобран оптимальный режим работы для усилителей-формирователей, проведены измерения амплитуды выходного сигнала в зависимости от амплитуды входного, по полученным данным проведен анализ выходного сигнала на линейность, измерены шумы для каждого из усилителей-формирователей. В результате были получены сравнительные характеристики двух УФ: Naicam DCB215 и Ortec 570, проведена подгонка экспериментальной формы сигнала с помощью теоретически полученных функций.

Ключевые слова: зарядочувствительный предусилитель, усилитель-формирователь, RC или CR – контур.

Содержание:

1. Введение	4
2. Теоретическая часть.....	5
3. УФ и ЗЧПУ.....	5
4. РС – цепочки.....	6
5. Формирование Гаусса подобного сигнала.....	11
6. Передаточная функция.....	12
7. экспериментальная часть.....	14
8. Выводы.....	21
9. Список литературы.....	22

Введение

С развитием современного эксперимента, предметом исследования которого является физика элементарных частиц, для более чувствительных измерений возникла потребность в точной электронике. Для большинства детекторов излучения требуется оборудование для обработки сигналов, поступающих с них, чтобы информация, связанная с взаимодействиями, могла быть извлечена должным образом.

Один из видов такого оборудования, активно применяемого на экспериментальных установках, это система из зарядочувствительного предусилителя (ЗЧПУ) и следующего за ним усилителя-формирователя (УФ), также называемый активным фильтром.

В настоящее время проводятся эксперименты в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН. На электрон-позитронном накопителе ВЭПП-2000 установлены детекторы КМД-3 и СНД. Оба детектора снабжены электромагнитными калориметрами, сигнал с которых обрабатываются усилителями-формирователями с одной дифференцирующей(RC) и четырьмя интегрирующими(CR) цепочками. На протонном ускорительном комплексе J-PARC Япония для оценки и настройки мюонных пучков используются тонкие плёнки сцинтиллятора CsI. Мюон, попадая на плёнку, вызывает лавину фотонов. Фотодатчики регистрируют эту лавину, преобразовывают в сигнал, который обрабатывается активными фильтрами. В позитронно-эмиссионной томографии используются сцинтилляционные кристаллы с лавинными фотодатчиками, сигнал с которых обрабатываются с помощью УФ. В японском городе Цукуба проводится эксперимент Belle-II в котором используются электромагнитные калориметры, для вывода и обработки сигнала с которых также используются УФ.

Современные компании по разработке и производству электроники позволяют нам выбирать техническое обеспечение, но возникает проблема в сравнении качества.

Цель этой работы – сравнение технических характеристик усилителей-формирователей Naicam DCB215 и Ortec 570. Для выполнения цели был собран стенд, состоящий из генератора переменного напряжения, зарядочувствительного предусилителя (ЗЧПУ), усилителя-формирователя (УФ), АЦП и осциллографа для настройки сигнала.

В задачи данной курсовой работы входит: сборка экспериментального стенда, измерение шумов электронного тракта, исследование выходного сигнала на линейность в зависимости от входного напряжения, теоретическое изучение.

Теоретическая часть.

Предварительный усилитель – это первый компонент в цепи обработки сигналов детектора излучения. Заряд, созданный в детекторе, собирается предусилителем. Несмотря на свое название, предусилитель не действует как усилитель сигнала (название означает «перед» усилителем), а действует как интерфейс между детектором и последующей электроникой обработки импульсов. Основная функция предусилителя в том, чтобы извлекать сигнал из детектора без значительного ухудшения отношения сигнал/шум. Поэтому предусилитель расположен как можно ближе к детектору, а входные цепи разработаны с учетом характеристик детектора. На Рис.1 представлена схема подключения УФ и ЗЧПУ для обработки сигнала. Два важных требования к предусилителю:

- Как можно меньшая ёмкость для максимального увеличения отношения сигнал / шум (но она должна быть достаточно большой, чтобы влияние паразитирующих емкостей было пренебрежимо мало). Длина кабеля между предусилителем и детектором также сохраняется на минимальном уровне для улучшения отношения сигнал/шум и уменьшения паразитных емкостей.

- Должен иметь высокий входной импеданс (чтобы не влиять на элементы, стоящие до ЗЧПУ, в идеальном случае он работает как разрыв цепи) и низкий выходной импеданс (обеспечивать минимальное падение выходного напряжения на полезной нагрузке, чтобы минимально воздействовать на выходящий сигнал).

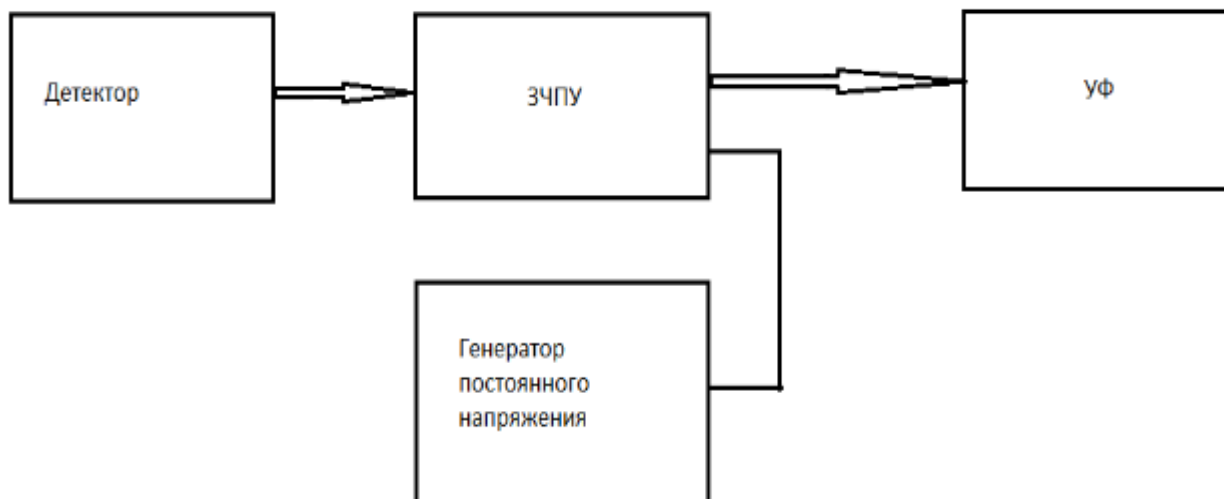


Рис 1: Схема подключения УФ и ЗЧПУ. Сигнал с детектора передаётся на зарядочувствительный предусилитель (ЗЧПУ), после чего идёт на усилитель-формирователь (УФ), где он усиливается и преобразовывается в удобный для анализа вид. В эксперименте металлический корпус играет роль экрана от внешних воздействий

Основная роль усилителя-формирователя заключается в увеличении амплитуды выходного импульса предусилителя. Это позволяет точно определить высоту импульса. В дополнение усилитель формирует импульсы для оптимизации разрешения по энергии и минимизации риска перекрытия между последовательными импульсами, а также для подавления шумов. Большинство усилителей также содержат средство восстановления базовой линии, чтобы гарантировать жесткое удержание на уровне потенциала земли, несмотря на изменения скорости счета или температуры. Усилитель-формирователь должен принимать формы выходных импульсов, обеспечиваемые предусилителем, и преобразовывать их в подходящие для оптимальной энергетической спектроскопии, с выраженным пиком и быстрым затуханием. Выходной сигнал для каждого импульса состоит из быстро растущей ступени, амплитуда которой представляет энергию зарегистрированного излучения, за которой следует медленное экспоненциальное затухание. Самая простая концепция формирования импульса - это использование схемы CR, за которой следует RC-цепь. Хотя этот элементарный фильтр используется редко, он охватывает основные концепции, необходимые для понимания высокопроизводительных активных методов фильтрации.

R-C цепочки:

Введём преобразование Лапласа, как мощный инструмент, упрощающий вычисления. Преобразование Лапласа:

$$L[f(t)](s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$$

Преобразование Лапласа от производной и интеграла:

$$L[df(t)/dt](s) = s \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt \quad ; \quad L\left[\int_0^{\infty} f(t) dt \right](s) = (1/s) \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$$

Преобразование Лапласа от свёртки:

$$L[f(t) * g(t)](s) = L[f(t)](s) \cdot L[g(t)](s)$$

Важным параметром активных фильтров является величина τ , называемая временем формирования или постоянной времени, и определяемая как произведение R на C .

На Рис 2 и 4 изображены схемы CR и RC цепей. Обе цепи состоят из конденсатора и сопротивления и отличаются только порядком.

Благодаря CR-фильтру, представленном на Рис 2 (дифференциатор CR, дифференцирующая CR цепочка, фильтр низких частот) время затухания импульса сокращается. Этот фильтр, представленный на Рис 3, подавляет низкочастотные сигналы, в которых много шумов и мало полезного сигнала. Если сделать постоянную времени достаточно малой, то выходное напряжение будет пропорционально производной входного сигнала по времени.

1) CR фильтр:

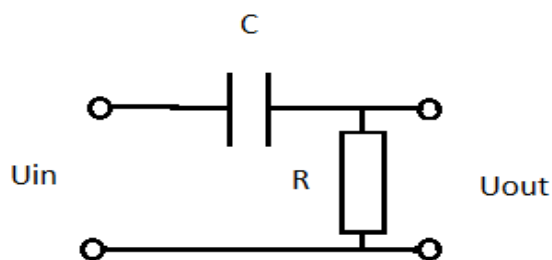


Рис 2: Фильтр низких частот

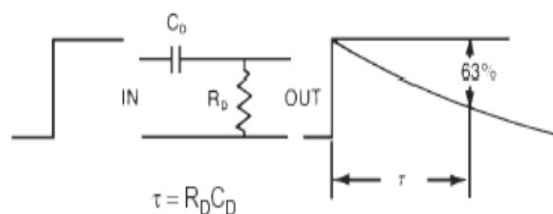


Рис 3: Влияние CR контура на входной сигнал в виде ступени.

Дифференцирующий контур ускоряет затухание сигнала.

Вычислим зависимость выходного напряжения от входного.

Запишем 2-й закон Кирхгофа:

$$U_{in}(t) = Q(t)/C + U_{out}(t),$$

Возьмём производную по t от левой и правой части:

$$dU_{in}(t)/dt = dQ(t)/dt \cdot (1/C) + dU_{out}(t)/dt,$$

По закону Ома и определению электрического тока:

$$U_{\text{out}}(t) = dQ(t)/dt \cdot R ,$$

$$dU_{\text{in}}(t)/dt = U_{\text{out}}(t)/\tau + dU_{\text{out}}(t)/dt,$$

Применяем преобразование Лапласа:

$$s \cdot U_{\text{in}}(s) = U_{\text{out}}(t)/\tau + s \cdot U_{\text{out}}(s),$$

$$U_{\text{out}}(t) = U_{\text{in}}(s) \cdot \tau / (1 + \tau \cdot s),$$

На вход подаётся сигнал в виде ступени, который описывается следующей системой:

$$U_{\text{in}} = \begin{cases} U_0, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases} ,$$

Применяем обратное преобразование Лапласа

$$U_{\text{out}}(t) = U_0(t) e^{-t/\tau}.$$

RC-фильтр, представленный на Рис 4 (называемый RC-интегратором, интегрирующая цепочка, фильтр высоких частот) растягивает нарастающий фронт импульса. Если сделать постоянную времени достаточно большой, то выходной сигнал будет пропорционален интегралу от входного сигнала. Подавляет высокочастотные сигналы, содержащие избыточные шумы. Пропускание сигнала через RC и CR фильтры улучшает соотношение сигнал/шум.

2) RC – фильтр:

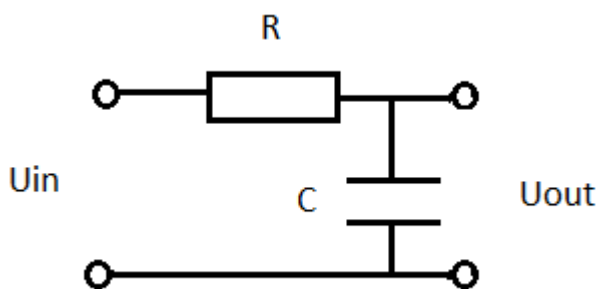


Рис 4: Фильтр высоких частот

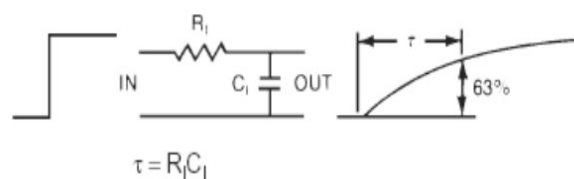


Рис 5: Влияние RC контура на входной сигнал в виде ступени. Интегрирующий контур растягивает фронт возрастания сигнала

Вычислим зависимость выходного напряжения от входного.

Запишем 2-й закон Кирхгофа:

$$U_{in}(t) = I(t) \cdot R + U_{out}(t),$$

$$I(t) = dQ(t)/dt = C \cdot dU_{out}(t)/dt ,$$

$$U_{in}(t) = \tau \cdot dU_{out}(t)/dt + U_{out}(t),$$

Применяем преобразование Лапласа:

$$U_{in}(s) = \tau \cdot s \cdot U_{out}(s) + U_{out}(s),$$

$$U_{out}(s) = U_{in}(s)/(1 + \tau s),$$

На вход подаётся сигнал в виде ступени, который описывается следующей системой:

$$U_{in} = \begin{cases} U_0, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases} ,$$

Применяем обратное преобразование Лапласа

$$U_{out}(t) = U_0(t)(1 - e^{(-t/\tau)}).$$

Для ослабления как низкочастотных, так и высокочастотных шумов и создания удобной формы импульса при анализе используется система из CR и RC фильтров.

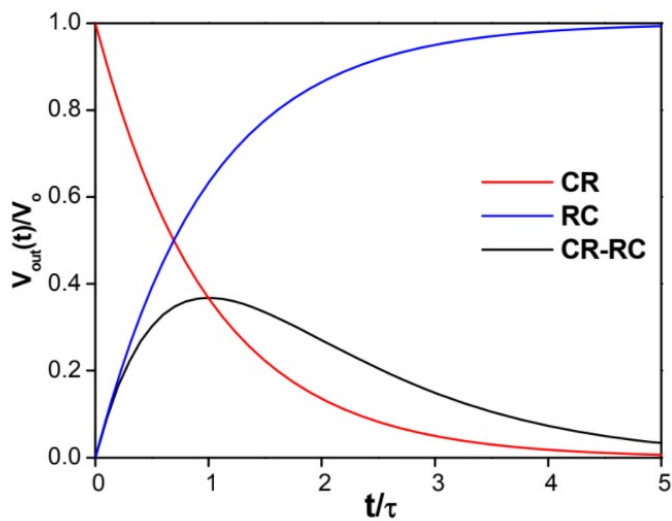


Рис 6: На рисунке представлены зависимости амплитуды сигнала от времени при прохождении через разные фильтры. Зависимость амплитуды сигнала от времени после прохождения CR, RC и CR-RC контуров, изначально — ступенчатый сигнал.

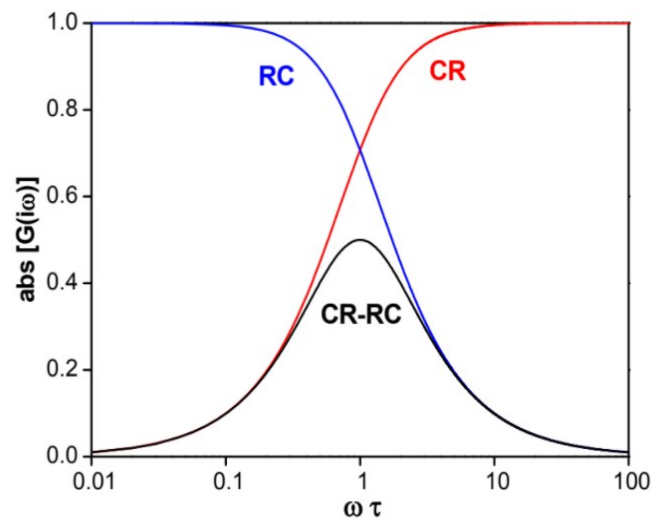


Рис 7: Зависимость абсолютного значения передаточной функции от частоты для CR, RC и CR-RC контуров

На вход ЗЧПУ подаётся ступенчатый импульс, после чего он попадает в усилитель формирователь. На Рис 7 показано, как меняется сигнал в зависимости от составляющих активного фильтра.

Формулы выходного сигнала:

$$V_{\text{out}}(\mathbf{t}) = \frac{V_0 \tau_1}{\tau_1 - \tau_2} (e^{-t/\tau_1} - e^{-t/\tau_2})$$
, где V_0 — входной сигнал, t — текущий момент времени, τ_1 - постоянная времени дифференцирования, τ_2 - постоянная времени интегрирования.

Обычно постоянная времени дифференцирования устанавливается равной постоянной времени интегрирования, чтобы избежать сдвига по фазе и

расхождения в допустимых режимах работы. Частота входного сигнала должна быть много больше чем $1/\text{постоянную времени}$, это условие работоспособности контура (иначе сигналы будут накладываться друг на друга) . В таком случае выходной отклик для ступенчатого входа определяется выражением:

$V_{out}(t) = \frac{V_0 t}{\tau} e^{-t/\tau}$, где τ называется временем формирования. Выходной импульс медленно нарастает и достигает своего максимума при τ .

Формирование Гаусса подобного импульса.

Если за одним фильтром высоких частот CR следует несколько этапов интегрирования RC, форма выходного импульса (зависимость амплитуды сигнала от времени) становится близкой к Гауссовой. Усилители, формирующие такую форму, называются Гаусса подобными усилителями-формирователями. Его выходной импульс определяется выражением:

$V_{out} \propto \left(\frac{t}{\tau}\right)^n e^{-t/\tau}$ где, n представляет количество интеграторов.

Время формирования в этом случае равно $n \cdot \tau$. Следовательно, если постоянные времени одинаковы, время обострения CR-(RC)² цепи вдвое больше, чем для простой схемы CR-RC. Когда постоянные времени настроены, так чтобы сделать пики равными, тогда CR-(RC)² схема дает более симметричную форму, как показано на рис. 6.13, что делает более быстрое возвращение к исходному уровню. Также CR-(RC)² фильтр даёт лучшее отношение сигнал/шум.

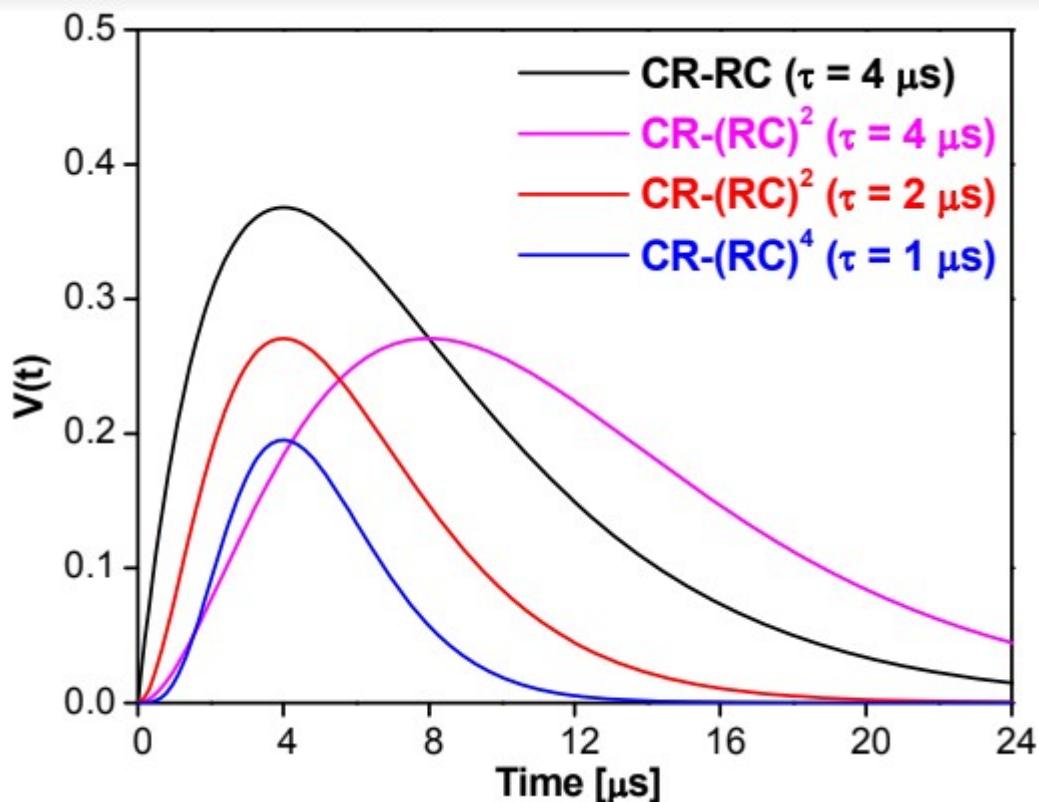


Рис 8: Зависимости амплитуды выходных сигналов при разной комплектации активного фильтра и разных собственных временных постоянных от времени (на вход подаётся ступенчатый сигнал).

Стоит обратить внимание, что при повышении количества интегрирующих контуров возрастает скорость возвращения к исходному уровню, что позволяет работать с более высокими частотами.

Передаточная функция.

Передаточная функция - один из способов математического описания динамической системы. Используется в основном в теории управления, связи и цифровой обработке сигналов. Представляет собой дифференциальный оператор, выражающий связь между входом и выходом линейной стационарной

системы. Зная входной сигнал системы и передаточную функцию, можно восстановить выходной сигнал.

Немного ранее мы выводили зависимость выходного и входного сигналов, это уже можно назвать передаточными функциями. Однако, когда используются более сложные системы, чем CR или RC контуры, тогда и выражения несколько сложнее.

Передаточная функция для УФ Naicam DCB215:

Из технического описания(с ссылкой проблемы, у меня её нет. Могу сослаться только на список литературы)[2] мы знаем, что активный фильтр представляет собой CR-(RC)2 контур. Пользуясь ранее полученными выражениями:

$$\text{CR: } U_{\text{out}}(t) = U_{\text{in}}(s) \cdot \tau \cdot s / (1 + \tau \cdot s),$$

$$\text{RC: } U_{\text{out}}(s) = U_{\text{in}}(s) / (1 + \tau s),$$

Найдём изображение передаточной функции как композицию функций:

$$U_{\text{out}}(s) = U_{\text{in}}(s) \cdot \tau \cdot s / (1 + \tau \cdot s)^3,$$

Применим обратное преобразование Лапласа:

$$U_{\text{out}}(t) = \frac{U_{\text{in}}(t) \cdot t^2 \cdot \exp(-t/\tau)}{2 \cdot \tau^2}.$$

Передаточная функция для УФ Ortec 570:

В случае УФ Ortec 570 процесс нахождения передаточной функции немного легче: в техническом описании[1] уже дано изображение искомого выражения:

$$U_{\text{out}}(s) = \frac{U(s) \cdot s \cdot \tau}{(s \cdot \tau + 1) \cdot (s \cdot \tau + 3) \cdot (s \cdot \tau + (1 - 0.8 \cdot i)) \cdot (s \cdot \tau + (1 + 0.8 \cdot i))} ,$$

Применим обратное преобразование Лапласа:

$$U_{out}(t) = U_{in}(t) \cdot (-0.107759 \cdot \exp(-3t/\tau) - 0.78126 \cdot \exp(-t/\tau) + 0.673491 \cdot \exp(-1) \cdot \cos(0.8 \cdot t/\tau) - 0.269397 \exp(-1) \cdot \sin(0.8 \cdot t/\tau)) / \tau.$$

Экспериментальная часть.

Для оценки качества усилителей-формирователей была собрана следующая установка:



Рис 9: Схема установки. Сигнал амплитудой от 1 до 100 мВ подаётся с генератора на предусилитель, после чего сигнал идёт в усилитель-формирователь (в нашем случае это либо Naicam DCB215 DCB215, либо Ortec 570), после чего сигнал уходит в АЦП, а его изображение выводится на осциллографе. В эксперименте металлический корпус играет роль экрана от внешних воздействий

Важная часть установки — это металлический корпус. Он служит экраном, ограждая предусилитель от внешних воздействий. Таким образом, единственная информация, что поступает на вход ЗЧПУ – это сигнал с генератора.

Перед началом эксперимента был подобран оптимальный режим работы, с помощью осциллографа, был визуально подобран режим с наилучшим отношением сигнал/шум. За оптимальный режим работы были приняты параметры:

	Coarse gain	Amplifier gain	diff. Shaping (мкс)	int. Shaping (мкс)	Shaping time (мкс)
Ortec 570	5.7	20			10
Naicam DCB215	8.0	20	3	3	

В ходе работы генератор подавал ступенчатый сигнал амплитудой от 1 до 100мВ при частоте в 100Гц, было проведено 11 измерений для каждого из усилителей-формирователей, условия экспериментов отличались только амплитудой подаваемого сигнала (1мв, 10мв и т.д. до 100мв с шагом в 10мв). Сигнал проходил систему ЗЧПУ-УФ, после чего подавался на АЦП. По данным, получаемым с УФ, строилась гистограмма, показывающая зависимость количества сигналов от амплитуды (т.е. сколько было зарегистрировано сигналов с такой амплитудой). Распределения, получаемые в ходе эксперимента, с хорошей точностью совпадают с распределением Гаусса:

Naikam:

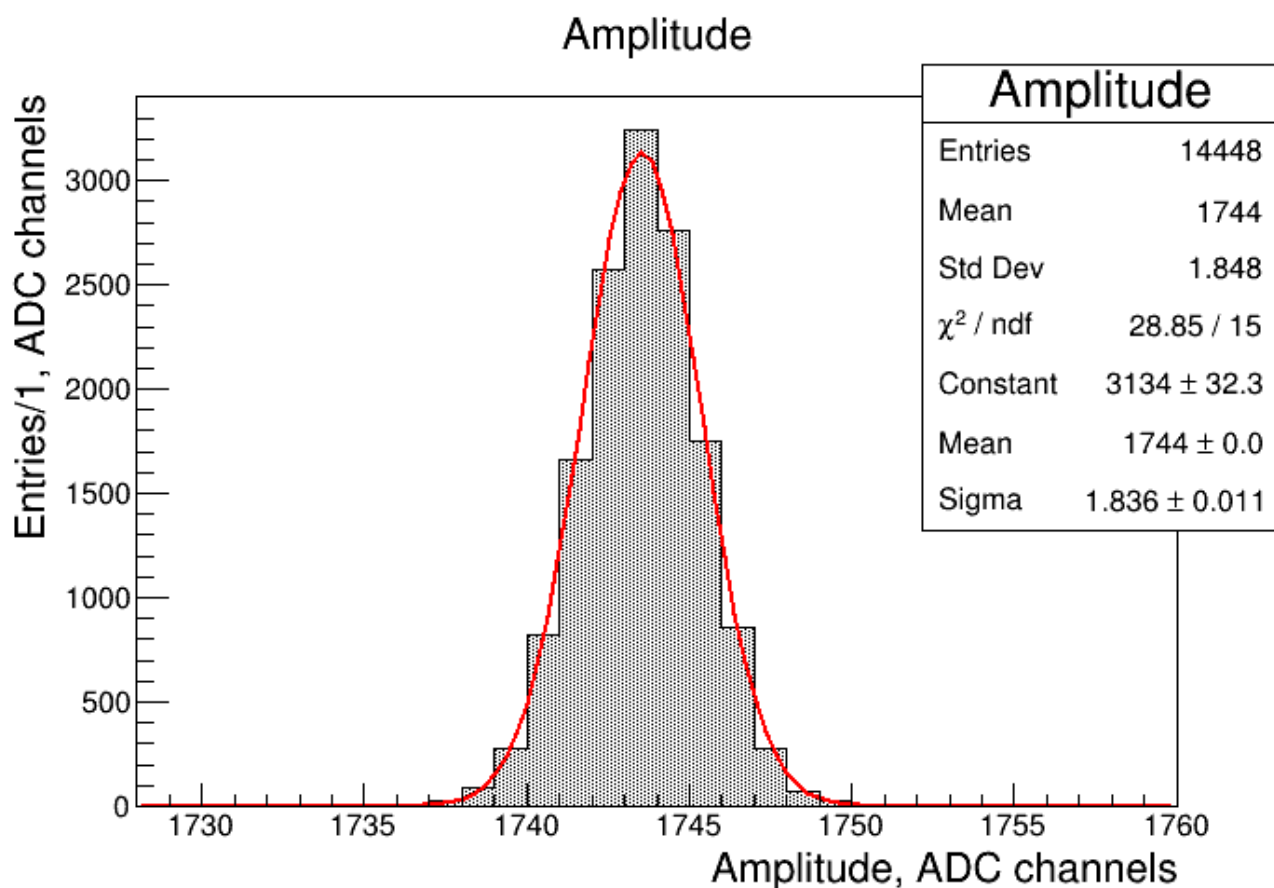


Рис 10: Распределение сигнала по амплитудам. УФ Naikam DCB215, входное напряжение - 50мВ

Ortec 570:

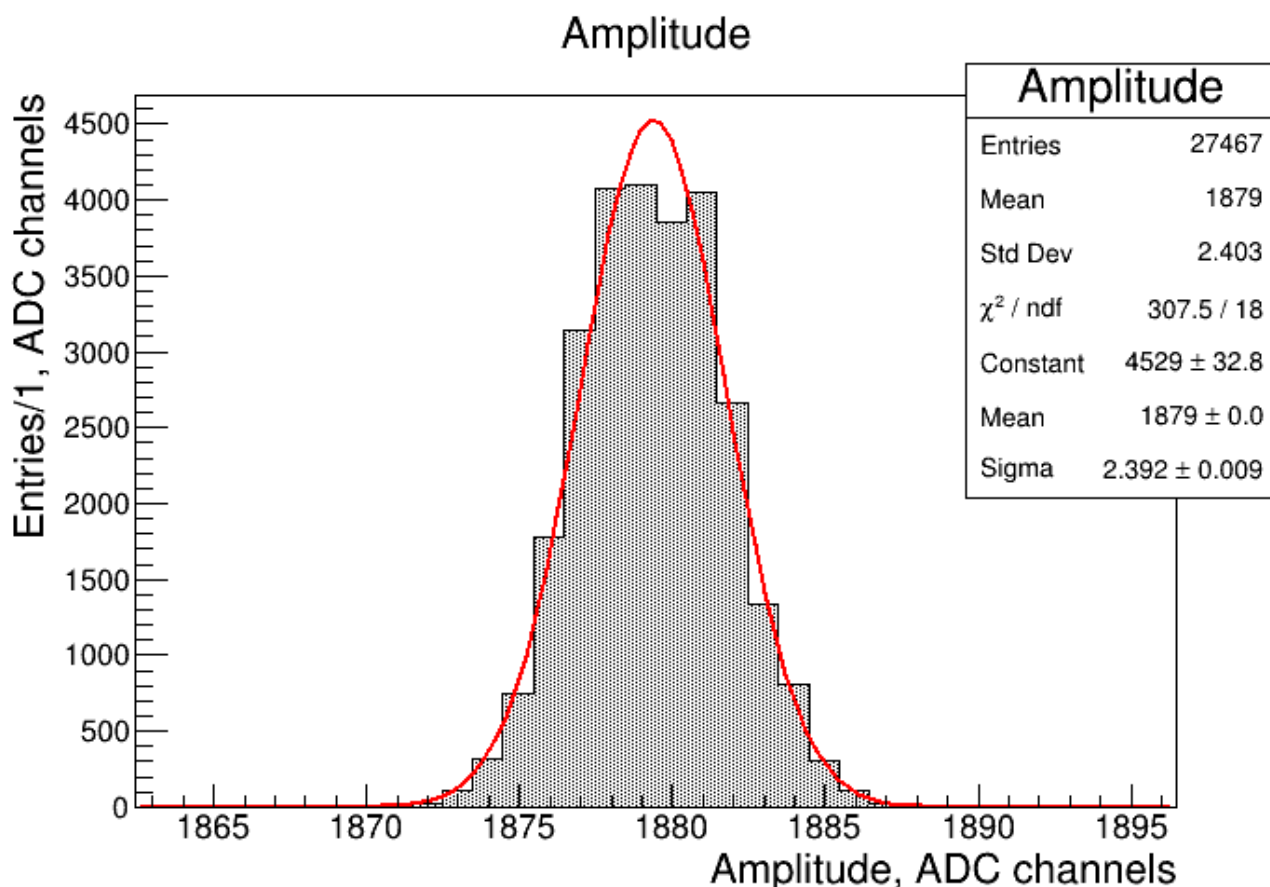


Рис 11: Распределение сигнала по амплитудам. УФ Ortec 570, входное напряжение - 50мВ

Набор данных производился до тех пор, пока под пиком распределения не набиралось 3 тысячи событий. После этого сбор данных останавливался, вычисляли среднее значение амплитуды, ширину пика и их отношение.

Важно сказать, что в идеальном случае УФ должен выдавать сигнал постоянной амплитуды (при условии постоянности амплитуды входного сигнала), то что в эксперименте получается гауссово распределение объясняется наличием шума, который возникает из-за несовершенства прибора, наличия сопротивления и собственной ёмкости у соединяющих проводов, неидеальность контактов, космическим шумом (при амплитудах величиной около 4000 каналов). Ширина распределения(σ), вычисленная в ходе эксперимента, как раз показывает влияние шумов на сигнал. Величина отношения σ/E – относительная погрешность, где E — это среднее значение амплитуды (mean), показывает качество прибора.

Результаты измерений:

Naicam DCB215:

Амплитуда входного сигнала, мВ	Средняя амплитуда выходного сигнала, каналы АЦП	Ошибка средней амплитуды, каналы АЦП	Ширина пика, каналы АЦП	Ошибка ширины пика, каналы АЦП	Относительная ошибка
1	39.28	0.014	1.57	0.0117	0.039960
10	349.4	0.015	1.67	0.0122	0.004788
20	695.4	0.014	1.75	0.0118	0.002518
30	1042.0	0.015	1.79	0.0116	0.001717
40	1396.0	0.014	1.57	0.0102	0.001121
50	1744.0	0.015	1.84	0.0112	0.001053
60	2090.0	0.015	1.84	0.0116	0.000882
70	2439.0	0.014	1.76	0.0108	0.000722
80	2786.0	0.015	1.70	0.0116	0.000612
90	3132.0	0.016	1.94	0.0117	0.000620
100	3479.0	0.014	1.79	0.0106	0.000516

Таблица 1: Результаты измерения для УФ Naicam DCB215

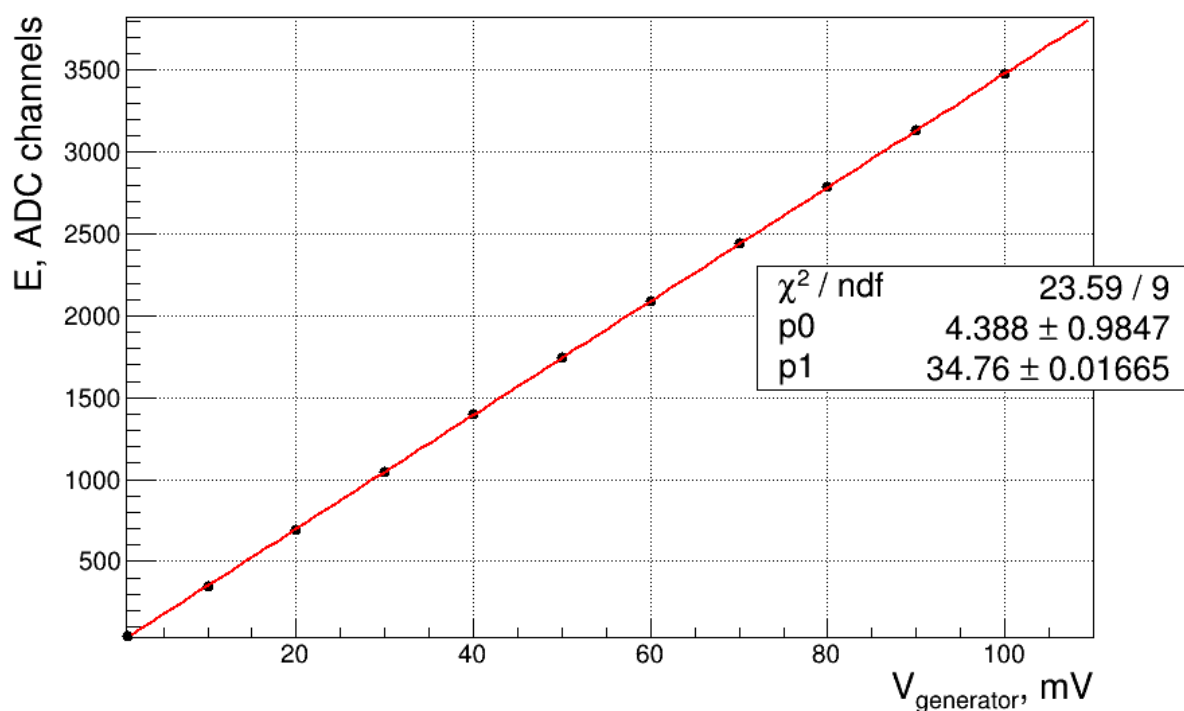


Рис 12: Зависимость средней амплитуды от входного напряжения.

Из графика зависимости среднего значения амплитуды от входного напряжения, представленного на рисунке 12, видно, что УФ Naicam DCB215 имеет хорошую линейность в интервале от 1мВ до 100мВ .

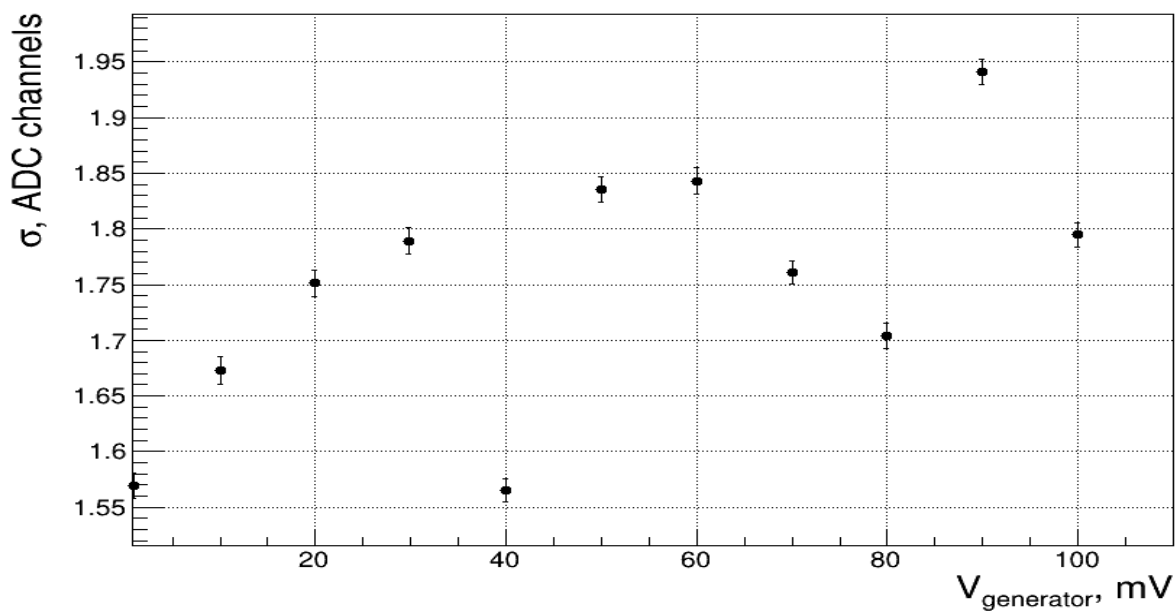


Рис 13: Зависимость ширины пика от входного напряжения, подаваемого с генератора.

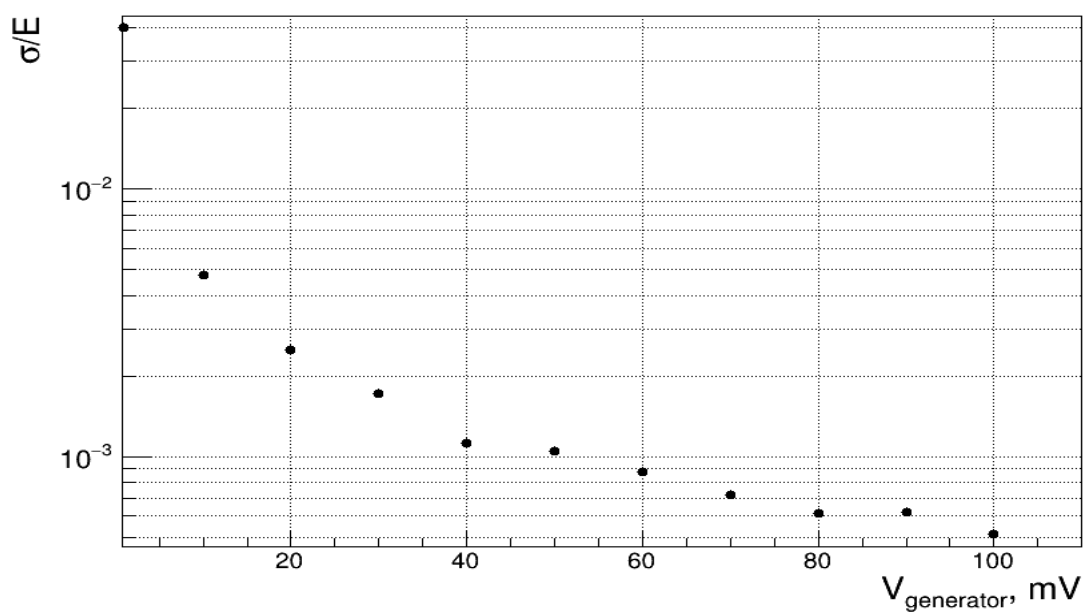


Рис 14: Зависимость отношения σ/E от входного напряжения, подаваемого с генератора, где E — это среднее значение амплитуды (mean), σ — это ширина пика.

На рис 14 наблюдается падение относительной ошибки в зависимости от роста входного напряжения.

Ortec 570:

Амплитуда входного сигнала, мВ	Средняя амплитуда выходного сигнала, каналы АЦП	Ошибка средней амплитуды, каналы АЦП	Ширина пика, каналы АЦП	Ошибка ширины пика, каналы АЦП	Относительная ошибка
1	36.2	0.0179	2.36	0.0136	0.065290
10	359.6	0.0166	2.39	0.0107	0.006669
20	739.6	0.0178	2.23	0.0136	0.003011
30	1117.0	0.0173	2.19	0.0123	0.001958
40	1502.0	0.0166	2.18	0.0118	0.001450
50	1879.0	0.0146	2.39	0.0095	0.001273
60	2256.0	0.0176	2.25	0.0128	0.000997
70	2635.0	0.0174	2.29	0.0127	0.000867
80	3011.0	0.0162	2.21	0.0114	0.000734
90	3387.0	0.0189	2.37	0.0130	0.000701
100	3388.0	0.0175	2.48	0.0117	0.000659

Таблица 2: Результаты измерения для УФ Ortec 570

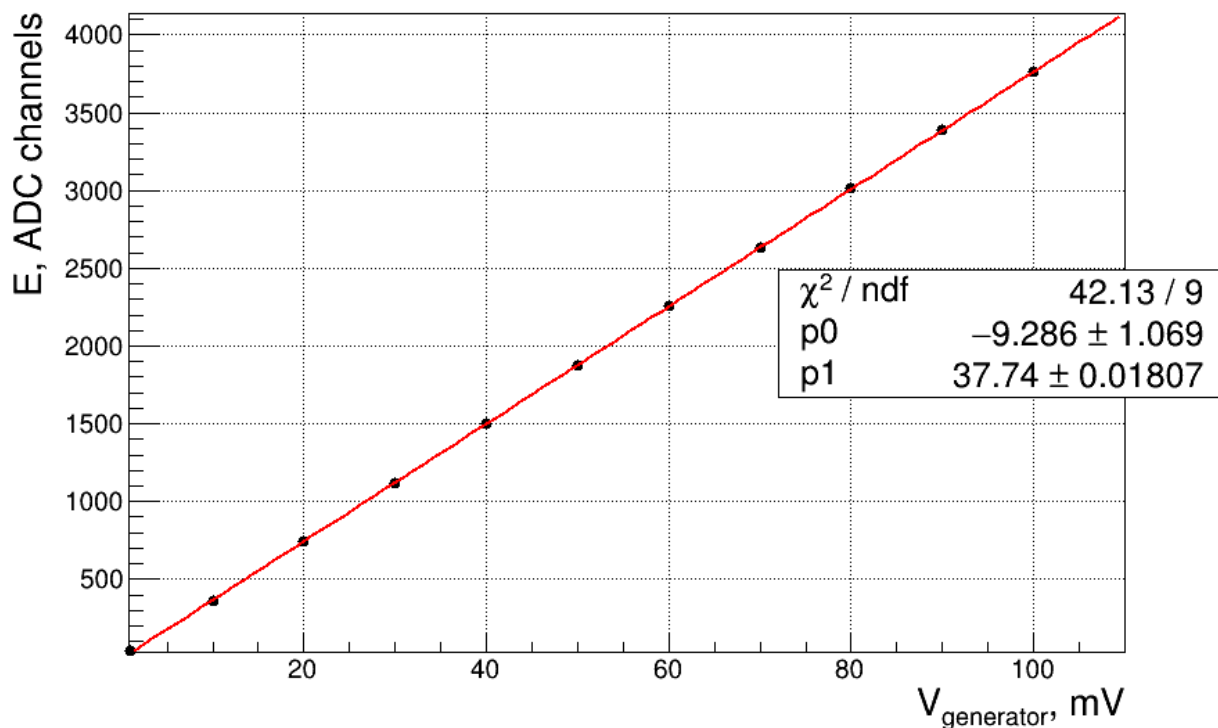


Рис 15: Зависимость средней амплитуды от входного напряжения.

Из графика зависимости среднего значения амплитуды от входного напряжения, представленного на рисунке 15, видно, что УФ Ortec 570 имеет хорошую линейность в интервале от 1мВ до 100мВ .

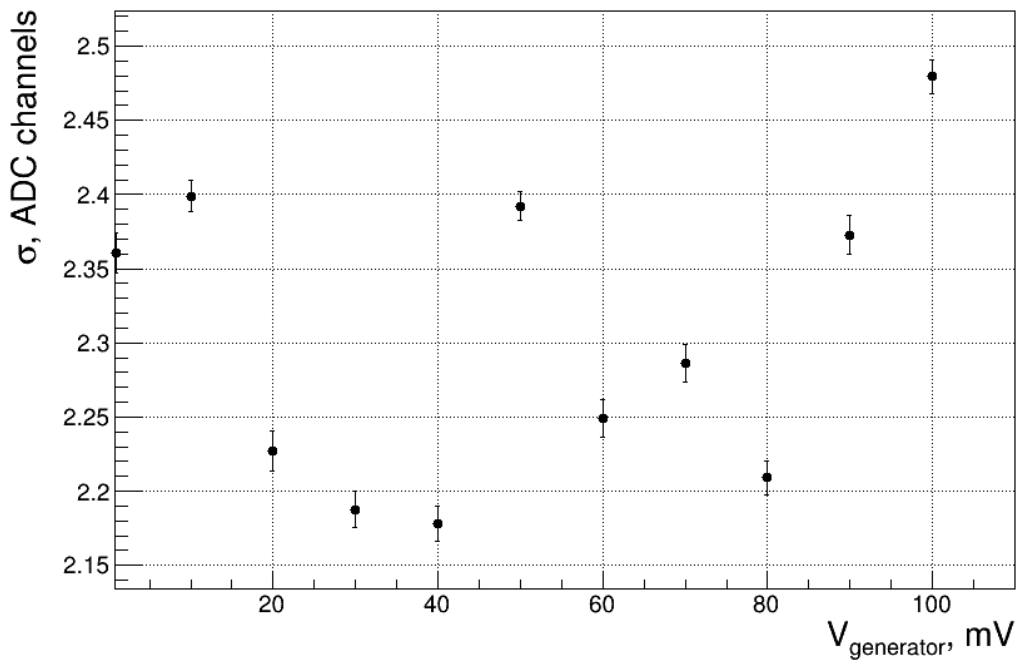


Рис 16: Зависимость ширины пика от входного напряжения, подаваемого с генератора.

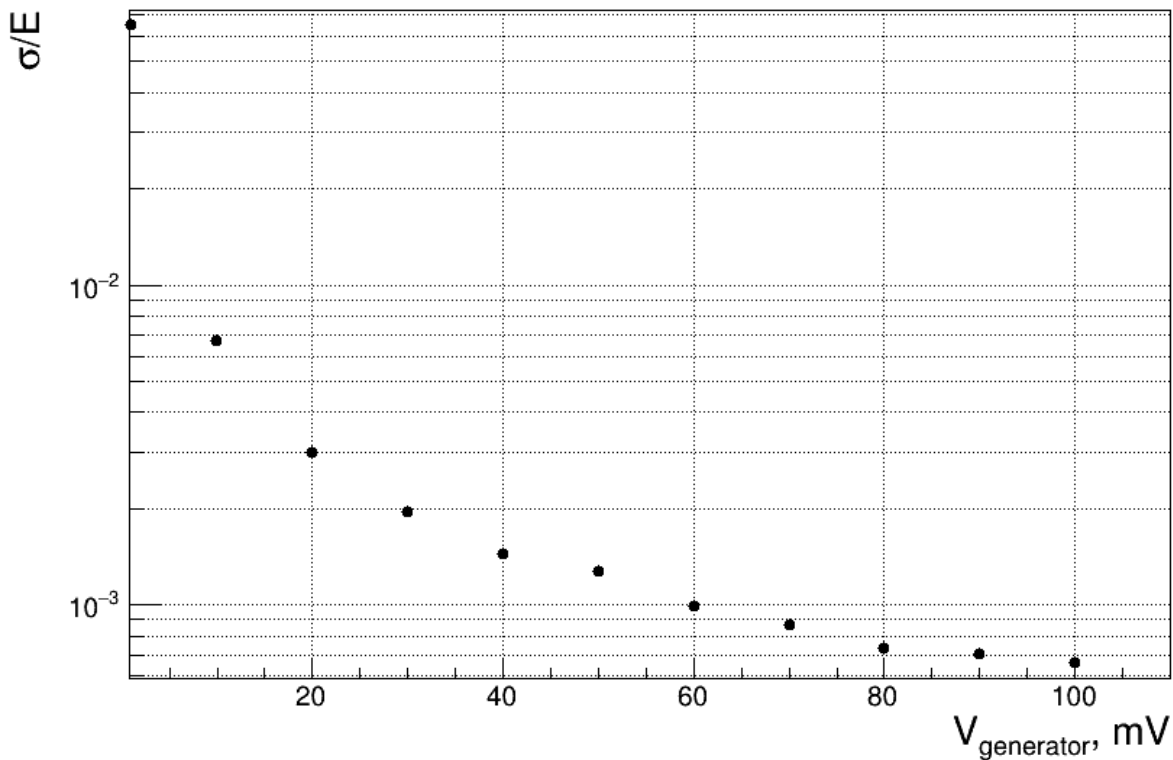


Рис 17: Зависимость отношения σ/E от входного напряжения, подаваемого с генератора, где E — это среднее значение амплитуды (mean), σ — это ширина пика.

На Рис 17 наблюдается падение относительной ошибки в зависимости от роста входного напряжения.

Анализ зависимости амплитуды выходного сигнала от времени.

Сравнение с теоретическими расчётами.

У каждого УФ есть передаточная функция — это отношение входного и выходного сигнала, зная входной сигнал, можно найти сигнал на выходе. Как и все математические способы описания, этот не учитывает внешние воздействия, которые могут значительно менять зависимость. То, насколько совпадают теоретический график функции и реальная зависимость амплитуды сигнала — показатель качества прибора.

Графики сигнала, фактические и **теоретический**:

Ortec 570:

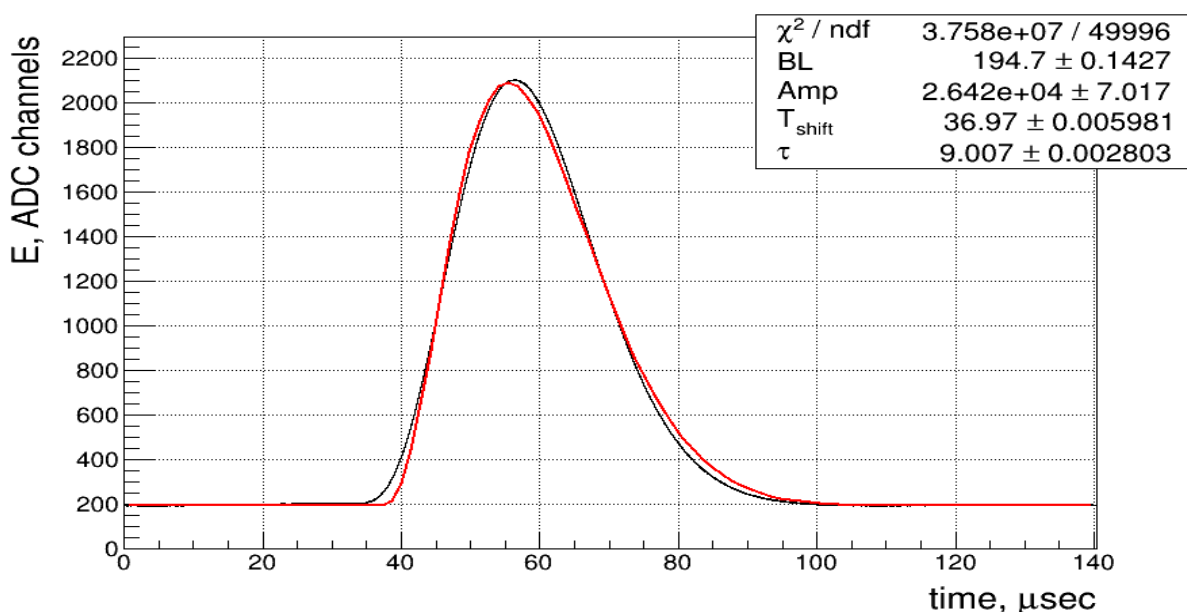


Рис 18: Зависимость амплитуды сигнала от времени. Графики сигнала, **экспериментальный** и **теоретический**.

Naicam DCB215:

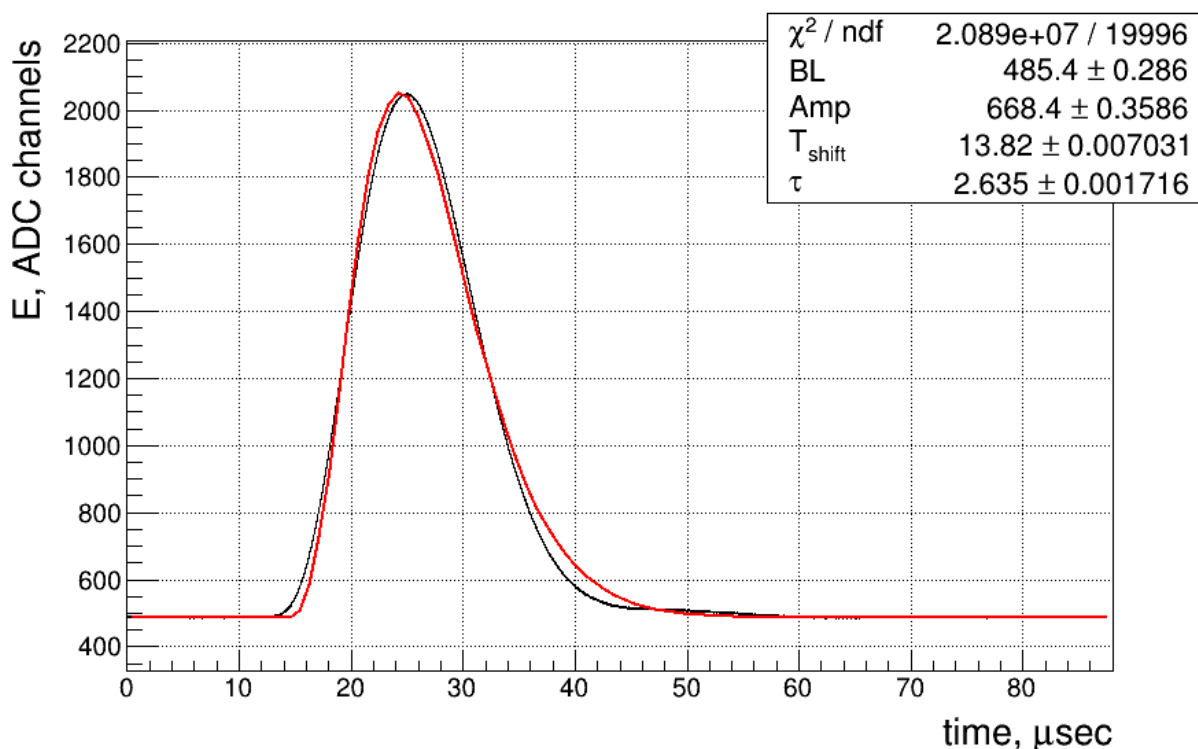


Рис 19: Зависимость амплитуды сигнала от времени. Графики сигнала, экспериментальный и теоретический.

Выводы

Анализируя графики, построенные на основе экспериментальных данных, замечаем, что в случае обоих УФ точность сильно возрастает с повышением амплитуды входного сигнала с 3.996% (1мВ) до 0.0516%(100мВ) для Naicam DCB215 и с 6.529%(1мВ) до 0.0659%(100мВ) для Ortec 570. Сравнивая эти показатели, можно утверждать, при работе с малыми амплитудами УФ Naicam DCB215 точнее своего аналога УФ Ortec 570 (фактически больше чем в полтора раза), но при увеличении амплитуды входного сигнала разница практически исчезает, их точности различаются всего в 1/100 процента. При этом оба УФ обладают практически идеальной линейностью. Помимо всего вышеизложенного, УФ Ortec 570 имеет хороший мануал[1], в котором

содержится передаточная функция и информация по настройке прибора, и, в целом, УФ Ortec 570 показался более удобным в калибровке и использовании.

Сравнивая форму сигнала с графиком передаточной функции, можно заметить, что они очень похожи. Есть некоторые расхождения. Изучение этих эффектов будет проводиться в следующих работах.

Список литературы

1. Ortec 570. Model 570 Spectroscopy Amplifier. Operating and Service Manual.
2. Naicam DCB215 Spectrometric amplifier.. Operating and Service Manual.
3. Soo Hyun Byun. Radioisotopes and Radiation Methodology. Lecture notes (Version 2017-2018), note 6: Pulse Processing.
4. С. Г. Бугаева, А. А. Егоров. Преобразование Лапласа: теоремы, примеры и задачи (Учебное пособие). 2011.
5. К. А. Гребенюк. Основные виды шумов в электронных полупроводниковых приборах. 2012.
6. Yu.A. Rogovsky et al. Status and Perspectives of the VEPP-2000 Complex. 2014.
7. Z. Doležal and S. Uno. Belle II Technical Design Report .KEK Report 2010-1 .