

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Светлаков Андрей Александрович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Экспериментальное определение статистических характеристик
зажигания и горения импульсного тлеющего разряда**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18345

Научный руководитель:

Яцких А. А.

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 2019 г.

Преподаватель практикума

д. ф.-м. н. Павлов А. А.

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 2019 г.

Куратор практикума:

к. т. н. Астрелин В.Т.

Итоговая оценка

«_____» _____ 2019 г.

Аннотация

Целью данной работы являлось изучение статистических свойств периодического импульсного тлеющего разряда, а именно распределение по напряжениям зажигания и среднее напряжение зажигания, а также распределение по временам задержки между сигналом синхронизации и зажиганием разряда. Для достижения цели была собрана схема, в которой тлеющий разряд зажигается с помощью трансформатора высоких напряжений, на первичную обмотку которого подаются периодические импульсы тока. Проведена работа по автоматизации обработки больших объёмов данных. В результате экспериментально получено распределение по напряжениям зажигания разряда, вычислено среднее напряжение зажигания. Произведена синхронизация серии разрядов и получено распределение по времени задержки между импульсом в первичной обмотке трансформатора и зажиганием разряда. Рассчитано средняя величина времени задержки и её дисперсия.

Ключевые слова: тлеющий разряд, напряжение зажигания, вероятностное распределение, среднее, среднеквадратичное отклонение от среднего, дисперсия, синхронизация.

Оглавление

Введение.....	4
Теоретическая часть.....	5
Экспериментальная часть.....	7
Измерительная установка и методика измерения	7
Обработка результатов измерения	9
Заключение	12
Список литературы	13

Введение

С момента создания первого самолёта и по сегодняшний день, авиаконструкторы ищут способы сделать летательные аппараты быстрее и экономичнее. В наше время одной из главных проблем в этом вопросе остаётся турбулентность – появление различных вихрей в потоке газа или жидкости. В случае самолёта эти вихри приводят к увеличению сопротивления со стороны воздуха. Поэтому сегодня ведутся исследования механизма ламинарно-турбулентного перехода.

Один из способов изучения, который используют в лаборатории №14 ИТПМ СО РАН, заключается в создании точечного управляемого возмущения в сверхзвуковом потоке над поверхностью плоской пластины и наблюдении за его дальнейшим развитием. Это возмущение удобно создавать при помощи импульсного тлеющего разряда.

Турбулентность начинается со случайных возмущений в пограничном слое, которые возникают из-за флуктуаций давления в сверхзвуковом потоке. Для корректности измерений необходимо, чтобы искусственное возмущение было соизмеримо со случайными возмущениями (шумами). Чтобы при измерении отделить возмущения, вызванные разрядом, от шумов используются статистические методы. Производится серия измерений и затем находится среднее, шумы в среднем равны нулю, а контролируемое возмущение каждый раз должны быть одинаковыми. Поэтому важно, чтобы разряд каждый раз был одинаковым по мощности и измерение было синхронизовано по времени с разрядом.

Второе на практике достигается тем, что измерительная установка и источник высоковольтных импульсов напряжения принимают один и тот же сигнал синхронизации с генератора прямоугольных сигналов. Соответственно между сигналом синхронизации и началом разряда неизбежно возникает небольшая (по сравнению с длительностью разряда) задержка. Она должна быть одинаковой для каждого разряда.

Целью данной работы является экспериментальное определение статистического распределения по напряжению зажигания разряда и по времени задержки между сигналом синхронизации и началом разряда.

Для достижения цели поставлено несколько задач:

1. Найти способ записать напряжение на разряднике для большого количества разрядов с достаточной частотой дискретизации.
2. Найти готовые или разработать свои программные инструменты для работы с большими объёмами данных.
3. Ознакомиться со статистическими методами обработки результатов и применить их к изучению импульсного тлеющего разряда.

Теоретическая часть

Газы в обычных условиях являются диэлектриками, так как состоят из незаряженных молекул и практически не содержат свободных носителей заряда.

Но если передать электрону в молекуле газа достаточную энергию – энергию ионизации, можно оторвать его от атома и получить две заряженные частицы: сам электрон и положительный ион. Процесс образования заряженных частиц называется ионизацией газа. Энергию для ионизации можно передавать газу разными способами: нагревать газ до высоких температур, воздействовать ионизирующим излучением или пропускать через газ поток заряженных частиц с энергией больше энергии ионизации.

В последнем случае при достаточной напряжённости электрического поля (когда электрон за среднюю длину свободного пробега приобретает энергию выше энергии ионизации) происходит лавинная ионизация. Ускоряясь в электрическом поле, электроны выбивают новые электроны. Количество заряженных частиц в газе резко увеличивается, и, соответственно, появляется проводимость. Это называется пробоем газового промежутка.

Достигая катода, ионы, имеющие энергию больше работы выхода электрона из материала катода, могут выбить вторичные электроны, что

приводит к развитию самостоятельного разряда. Самостоятельным он называется потому, что не требует наличия внешних источников ионизации.

Существуют разные виды разряда. При малых напряжениях на электроды приходят заряженные частицы, образованные внешними источниками ионизации: тепловым движением, фоновым ионизирующим излучением (участок АВ на рисунке 1).

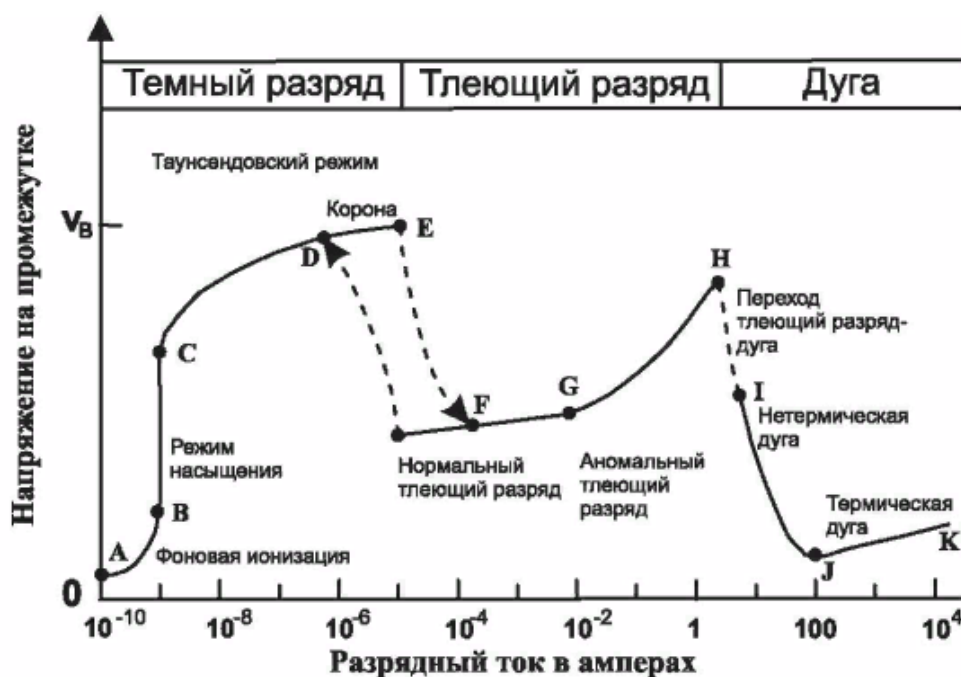


Рисунок 1, Основные виды электрического разряда

При увеличении напряжения наступает режим насыщения: когда все заряженные частицы между катодом и анодом попадают на электроды, но ионизация по-прежнему происходит за счёт внешних источников (участок ВС на рисунке 1). На промежутке CDE напряжение становится достаточным для образования лавин, за счёт которых увеличивается ток, это называется газовым усилением. Но заряд остаётся не самостоятельным.

Далее наступает момент, когда количество выбиваемых вторичных электронов становится достаточно для поддержания самостоятельного разряда.

Зажигается тлеющий разряд. Увеличивается количество свободных зарядов и увеличивается проводимость, значит сопротивление участка уменьшается, поэтому уменьшается напряжение на промежутке (участок EF).

При зажигании тлеющего разряда в промежутке между электродами появляется пространственный заряд, который искажает электрическое поле. Поэтому для тлеющего разряда напряжение гашения меньше напряжения зажигания. То есть появляется петля гистерезиса D-E-F-D.

При дальнейшем увеличении тока устанавливается нормальный тлеющий разряд. Он отличается практически постоянным напряжением.

Экспериментальная часть

Измерительная установка и методика измерения

Для изучения тлеющего разряда была собрана установка, схема которой представлена на рисунке 2. Источником тока выбран автомобильный аккумулятор (1). Ключ (2), собранный на основе мощных транзисторов, управляется с сигналом синхронизации от генератора периодических

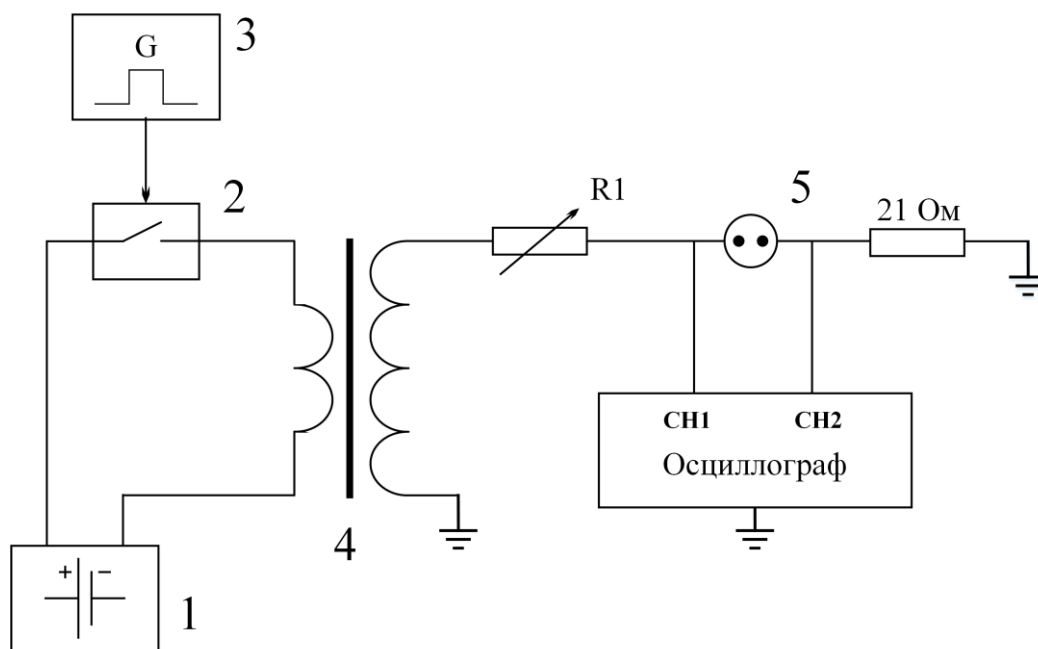


Рисунок 2. Принципиальная схема установки: 1 – аккумулятор, 2 – ключ, 3 – генератор импульсных сигналов, 4 – трансформатор высокого напряжения, 5 – разрядник.

импульсных сигналов (3). Сигнал синхронизации представлен на рисунке 3. Аккумулятор замкнут через ключ на одну из обмоток высоковольтного трансформатора (4).

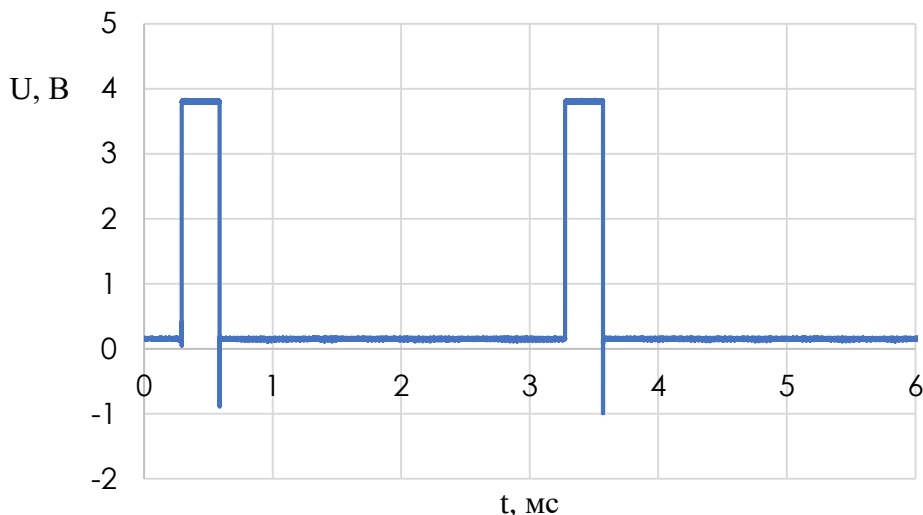


Рисунок 3, Сигнал синхронизации.

Вторая обмотка трансформатора, имеющая больше витков, чем первая соединена через переменный резистор R1 с разрядником (5). Разрядник представляет из себя небольшой цилиндр из керамики, внутри которого расположены два изолированных друг от друга одинаковых электрода. На торце цилиндра электроды открыты. Разрядник находится в герметичной ёмкости, в которой создаётся пониженное давление.

Для измерения напряжения на разряднике параллельно ему подключен осциллограф АКИП 4122/11v, который позволяет записывать осциллограммы до 20 миллионов точек с частотой дискретизации 20 МГц.

Принцип работы схемы основан на явлении электромагнитной индукции, которая возникает в катушках трансформатора при изменении тока, протекающего через первый контур. То есть в момент замыкания и размыкания ключа. Во вторичной обмотке трансформатора значительно больше витков, чем в первичной, поэтому при переключении ключа в ней индуцируется напряжение, достаточное для зажигания тлеющего разряда на разряднике. Причём разряд

зажигается при размыкании ключа, так как изменение величины тока в первичной обмотке происходит более резко, чем при замыкании ключа.

За счет трансформатора вся схема обладает индуктивностью, которая образует с паразитными ёмкостями колебательный контур. Поэтому после каждого разряда в цепи возбуждаются свободные затухающие колебания. Они накладывают ограничение на максимальную частоту разрядов.

Для измерений была выбрана частота 340 Гц, так как за 3 мс между разрядами нежелательные колебания успевают потухнуть и не влияют на следующий разряд.

Обработка результатов измерения

В итоге удалось записать осциллограмму, содержащую 340 разрядов при разных значениях переменного сопротивления R_1 , которое позволяет регулировать напряжение на разряднике.

Напряжение для одного разряда представлено на рисунке 4. Хорошо видно, как сначала, на участке АВ, напряжение увеличивается. Затем происходит

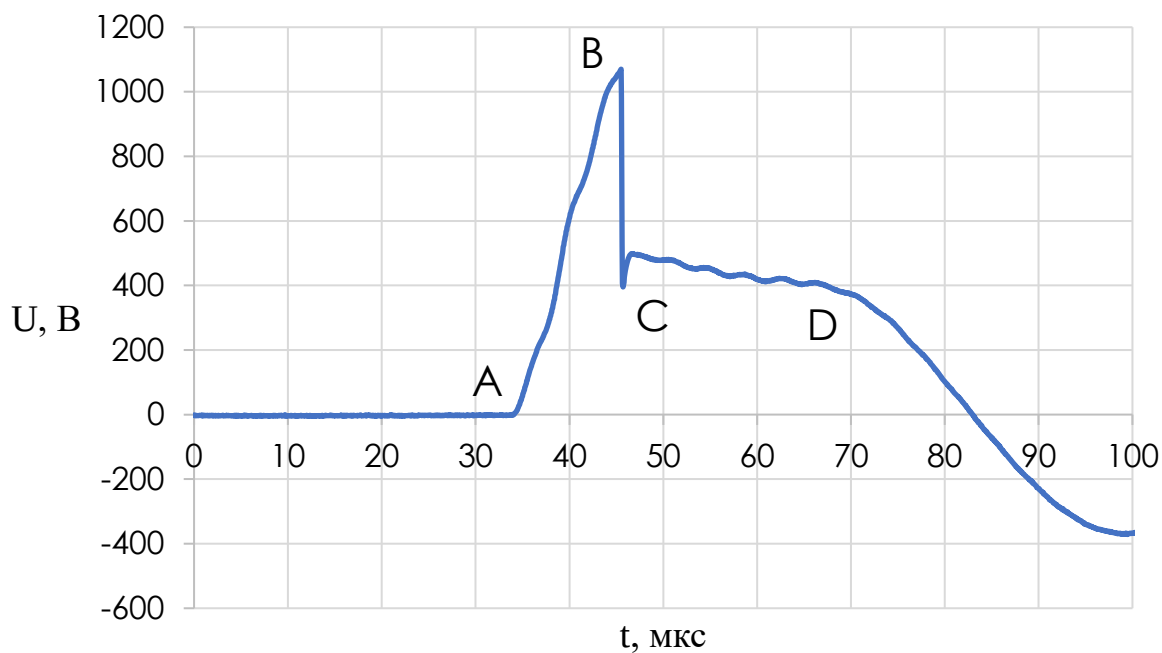


Рисунок 4. Одиночный тлеющий разряд.

пробой ВС. На участке CD горит разряд, после чего разряд гаснет и начинаются свободные колебания в цепи.

Для дальнейшей статистической обработки необходимо разделить все данные на отдельные сигналы и синхронизировать их по времени. Для этого была написана программа на языке программирования C. Программа работает по следующему алгоритму: по заданному уровню синхронизации (в нашем случае 50 В) определяется начало нового разряда. Создаётся новый файл с таблицей, в каждый столбец которой записывается один разряд. С полученной таблицей удобно работать в программах для работы с таблицами, например в Microsoft Excel.

На рисунке 5 представлены среднее напряжение по всем разрядам и среднеквадратическое отклонение от среднего. По графику СКО видно, что до

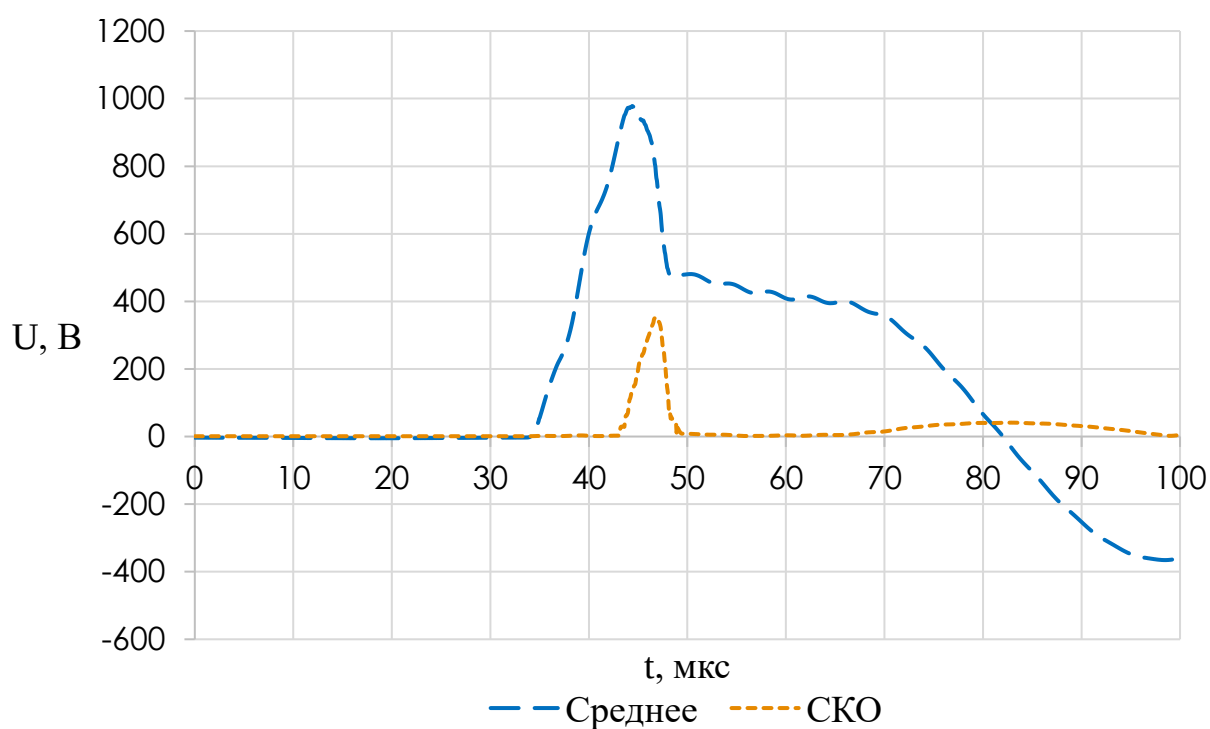


Рисунок 5. Среднее напряжение и среднеквадратическое отклонение от среднего и во время горения все разряды одинаковы. Но зажигаются они не одновременно, и соответственно напряжение зажигания тоже каждый раз отличается.

Для того, чтобы получить распределение по напряжениям зажигания достаточно взять максимальное напряжение для каждого разряда. Полученное распределение представлено на рисунке 6. Определено среднее напряжение зажигания $\langle U_z \rangle = 1149 \text{ В}$, а так же дисперсия $\sigma = 78,8 \text{ В}$.

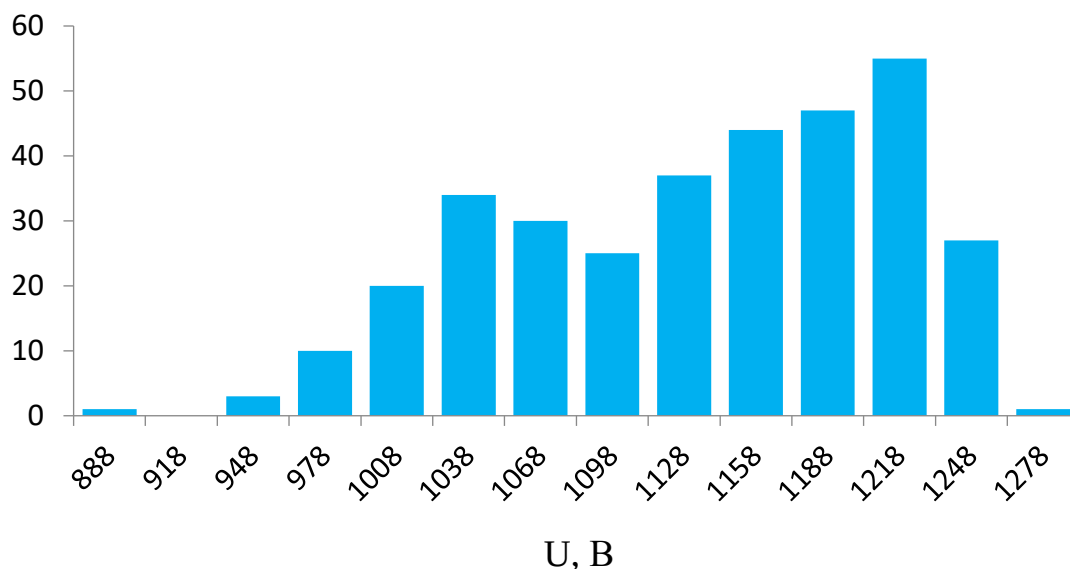


Рисунок 6. Распределение по напряжениям зажигания

Для получения распределения по времени от сигнала синхронизации до зажигания разряда была написана другая программа. Она так же по заданному уровню синхронизации определяет начало нового периода, затем возвращается назад, для определения точного момента, с которого начался рост напряжения. После определения начала сигнала программа двигается вперёд до момента пробоя, который определяется по резкому скачку производной. И в конце записывает разность времени синхронизации и пробоя в таблицу.

Полученное распределение по времени задержки представлено на рисунке 7. Как и для распределения по напряжениям определены среднее $\langle \Delta t \rangle = 12,6 \text{ мкс}$ и дисперсия $\sigma = 1,1 \text{ мкс}$.

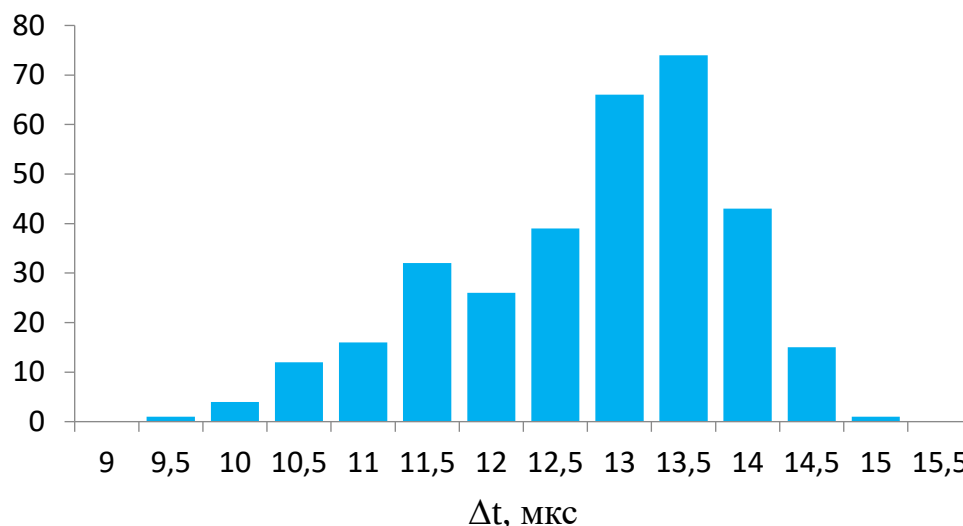


Рисунок 7. Распределение по времени задержки между сигналом синхронизации и зажиганием разряда

Заключение

В данной работе была изучена установка, используемая для создания импульсного тлеющего разряда. Были изучены причины зажигания и отличительные особенности тлеющего разряда. Для анализа полученных данных были применены статистические методы. Было показано, что зажигание тлеющего разряда может происходить при разных напряжениях.

Измерено среднее напряжение зажигания разряда $\langle U_z \rangle = 1149$ В, и дисперсия $\sigma = 78,8$ В. Аналогично было измерено среднее время задержки между сигналом синхронизации и началом разряда. Показано, что при синхронизации по сигналу с генератора а не о по началу пробоя допускается ошибка порядка 1 мкс.

Так же во время выполнения работы были получены новые навыки в анализе сигналов и их дальнейшей обработки. Полученные измерения будут использованы в лаборатории №14 ИТМП СО РАН при проведении исследований по изучению развития контролируемых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое.

Список литературы

1. Ермолаев Ю. Г., Колосов Г. Л., Косинов А. Д., Семенов Н. В. Линейная эволюция контролируемых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое скользящего крыла // Изв. РАН. МЖГ. 2014. Вып. 2. С. 58 – 68.
2. Князев Б.А., Корепанов А.А., Кудрявцев А.С., Морозов И.И. Учебно-методическое пособие «Электрический ток в жидкостях и газах». /НГУ 2008.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики: Т.3. Электричество. /М.ФИЗМАТЛИТ. 2004. 494 с.
4. Багинский А. В., Брагин О. А., Буфетов Н. С., Зырянов А. О. Статистическая обработка результатов измерений (учебно-методическое пособие) / Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2008