

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Туманик Александр Сергеевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**«Экспериментальное исследование установления периодического
горения тлеющего разряда»**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18301

Научный руководитель:

Яцких А.А.

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума:

к.ф.-м.н., Гетманов Я.В.

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н, Астрелин В.Т. Итоговая

оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск, 2019

Аннотация:

Целью работы являлось экспериментальное изучение установления горения периодического тлеющего разряда. Для этой цели были изучены характеристики генераторов, логических ключей, разрядника, из которых подготовлена и собрана экспериментальная установка. В ходе измерений были обнаружены критические недостатки установки, поэтому специально для нее был разработан и создан электронный ключ. Далее сняты осциллограммы сигналов с разрядника при разных частотах и давлениях. На основании полученных данных построена амплитудно-частотная характеристика, сделаны выводы о стабильности работы схемы, зависимости напряжения пробоя от частоты, времени установления периодического горения тлеющего разряда. Полученные в данной работе результаты будут использоваться при подготовке к экспериментам в сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-325 по изучению развития контролируемых периодических возмущений в пограничных слоях.

Ключевые слова: ток в газах, тлеющий разряд, амплитудно-частотная характеристика, установление периодического горения.

Оглавление

Введение	4
1.Теоретическая часть.....	5
1.1. Электрический ток в газах.....	5
1.2. Типы разрядов	5
2. Экспериментальная часть.....	8
2.2 Анализ полученных результатов	9
3.Выводы.....	13
Список литературы	14

Введение

В лаборатории №14 ИТПМ СО РАН ведутся активные теоретические и экспериментальные исследования ламинарно-турбулентного течения в сверхзвуковых пограничных слоях. Сегодня считается, что турбулизация течения в пограничном слое происходит благодаря возникновению и эволюции возмущений различного типа, их роста и взаимодействия друг с другом.

Одним из наиболее информативных методов экспериментального исследования развития возмущений в пограничном слое является проведение экспериментов в контролируемых условиях, когда в течение вводится искусственное возмущение с заданными параметрами. Благодаря синхронизации измерений с возбуждением искусственных возмущений возможно выделить их из фона естественных пульсаций пограничного слоя и получить подробные данные об их развитии.

В условиях сверхзвуковых течений наиболее эффективным способом введения в пограничный слой контролируемых возмущений является тлеющий разряд, зажигающийся на поверхности либо внутри экспериментальной модели. В лаборатории № 14 такой подход активно развивается и применяется. В частности, для введения возмущений на заданной частоте используется тлеющий разряд, зажигающийся с необходимой частотой. Для условий экспериментов в аэродинамической трубе Т-325 наибольший интерес вызывают возмущения с частотами в диапазоне от 10 до 50 кГц, что соответствует наиболее растущим волнам пограничных слоев на используемых моделях (плоская пластина, тонкие скользящие крылья).

Данная работа посвящена экспериментальному изучению свойств тлеющего разряда, зажигающегося при пониженных давлениях с различной

частотой. В частности, исследуется процесс установления периодического горения тлеющего разряда.

Цель данной работы: экспериментальное изучение установления периодического горения тлеющего разряда, изучение зависимости напряжения зажигания от давления и частоты.

1. Теоретическая часть

1.1. Электрический ток в газах

В обычном состоянии газовый промежуток является хорошим изолятором (очень мало заряженных частиц), так что при небольшом, приложенном к электродам напряжении ток в цепи практически отсутствует. Повышение приложенного напряжения выше определенного значения (потенциала ионизации атомов газа) приводит к резкому возрастанию тока и появлению свечения. То есть происходит ионизация атомов, возникают свободные носители заряда и, как следствие, возникает ток между электродами.

Этот процесс называется зажиганием разряда, а напряжение на лампе – напряжением зажигания. Напряжение зажигания разряда зависит от рода наполняющего газа, его давления, формы электродов, расстояния между ними и т.д.

1.2. Типы разрядов

Существует два типа разрядов. Первый из них называют несамостоятельным, поскольку в нем ток поддерживается только за счет непрерывного образования заряженных частиц по какой-либо внешней причине и прекращается после прекращения действия источника образования зарядов. Самостоятельные разряды характеризуются тем, что заряженные частицы, необходимые для поддержания разряда, создаются в процессе

самого разряда, то есть их количество по крайней мере не уменьшается с течением времени (при неизменном приложенном напряжении).

Имея несамостоятельный разряд, его можно перевести в самостоятельный. Для этого необходимо создать условия (высокая температура, большое напряжение), чтобы вырванный с катода электрон в результате цепочки взаимодействий выбил с катода по крайней мере еще 1 электрон. Вспомним, что при ионизации атома электроном помимо свободного электрона возникает еще и ион, который движется под действием поля в противоположном электронам направлении – к катоду. В результате столкновения иона с катодом с последнего может быть эмитирован электрон (этот процесс называется вторичной электронной эмиссией).

Самостоятельный разряд в свою очередь имеет несколько различных состояний:

1. Нормальный тлеющий разряд – плотность тока на катоде и падение напряжения постоянны. При увеличении общего тока возрастает эмитирующая площадь электрода при постоянной плотности тока. При таких токах уже возникает свечение положительного столба и приэлектродных областей. Генерация электронов с катода происходит все еще за счет вторичных процессов (бомбардировка ионами, быстрыми атомами; фотоэмиссия). Приэлектродные области и столб разряда формируются при переходе от темного самостоятельного разряда к тлеющему.

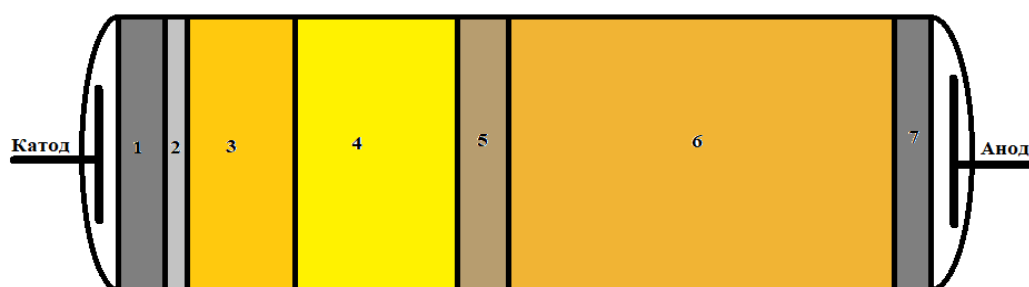


Рис 1. Структура тлеющего разряда: 1,2,5,7 - темные пространства: 1 - астоново, 2 - катодное, 5 - фарадеево, 7 - анодное; 3, 4, 6 - светящиеся зоны: 3 - катодный слой, 4 - отрицательное свечение, 6 - положительный столб

2.Аномальный тлеющий разряд. Вся площадь катода эмитирует электроны, поэтому при возрастании тока уже растет его плотность. Катодное падение напряжения при этом растет очень резко, поскольку всякий раз для увеличения количества эмитируемых электронов с единицы площади (т.е. плотности тока) требуется приложить все больше и больше энергии. Механизм эмиссии электронов с катода остался неизменным.

3.Дуговой разряд. Большие токи, малое падение напряжения, большой световой поток столба разряда. При переходе к дуговому разряду появляется термоэмиссия с катода – ток оказывает на него тепловое воздействие. То есть механизм эмиссии уже принципиально отличается от предыдущих случаев. Катодное падение напряжения уменьшается, становится порядка потенциала наполняющего газа (до этого прибавлялось падение напряжения, возникающее в процессе вторичной эмиссии).

Помимо этого, существуют **искровой** и **коронный** разряды, но в данной работе они не рассматриваются.

Форма самостоятельного разряда, которая устанавливается после пробоя газового промежутка, зависит от условий во внешней цепи, процессов на электродах и в газовом промежутке.

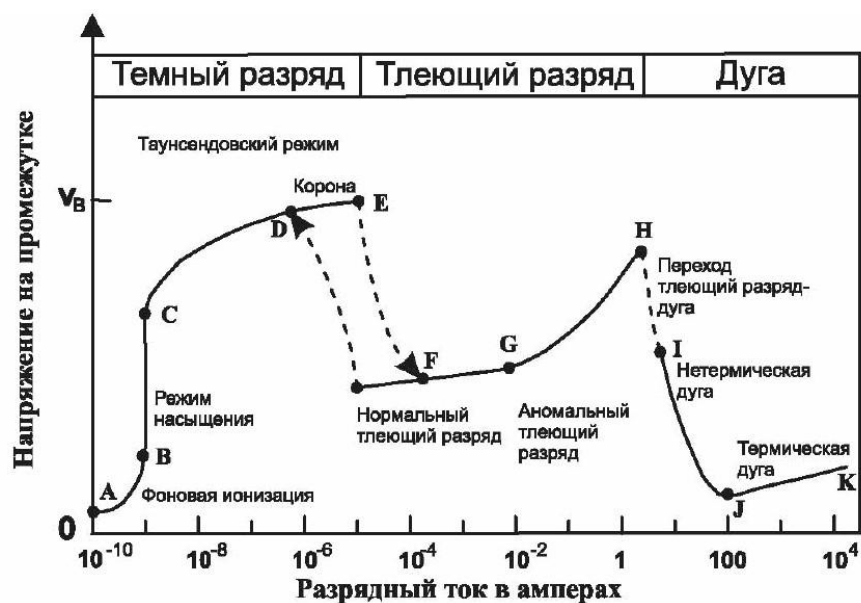


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика электрического разряда.[2].

2. Экспериментальная часть

Для изучения установления периодического тлеющего разряда была собрана установка, изображенная на рисунке 3.

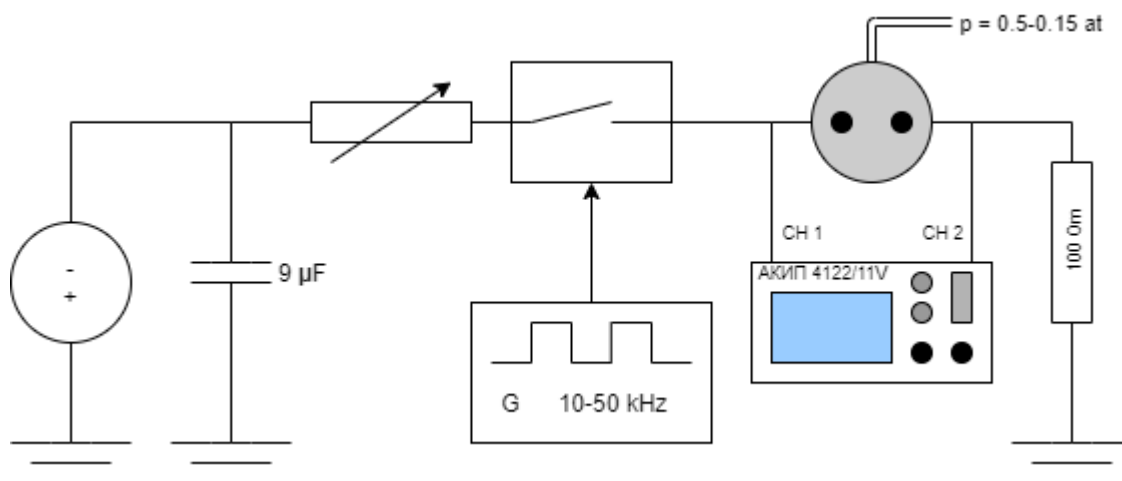


Рис.3 Схема установки.

На вход схемы из сети подавалось переменное напряжение 220 В.

Далее, последовательно был подключен лабораторный автотрансформатор (ЛАТР). Последовательно автотрансформатору подключен высоковольтный трансформатор (1000-1400V). Цепь трансформаторов и генератора переменного прямоугольного сигнала была подключена к разряднику через ключ. Первоначально использовался микропереключатель МП9-Р1, однако после однократного запуска системы была выявлена его непригодность для данной схемы (переключатель срабатывал с задержкой, при этом внося довольно сильное дребезжание в сигнал). После этого было принято решение сделать электронный ключ, изображенный на рисунке 4.

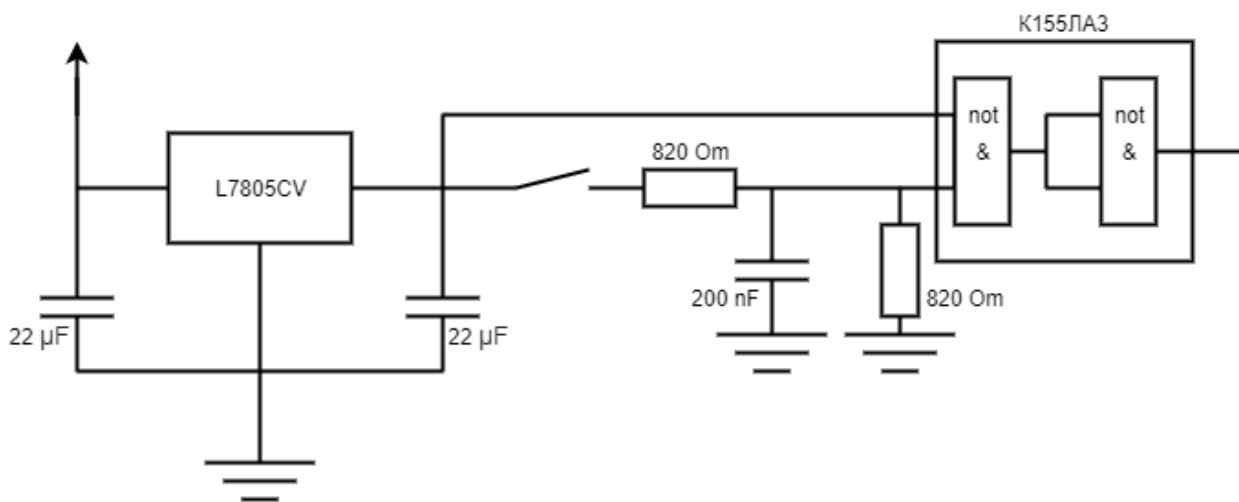


Рис 4. Схема электронного ключа

С помощью стабилизатора напряжения L7805CV, емкостей и микросхемы K155ЛА3 удалось устранить дребезжание ключа, а также в полной мере фиксировать разряд с первого пробоя, что не получалось до этого. Падение напряжения на разряднике и сигнал с генератора фиксировался с помощью цифрового осциллографа АКИП 4122/11V с помощью высоковольтных делителей напряжения (1:100).

2.2 Анализ полученных результатов

На рисунке 3 представлена зависимость падения напряжения на разряднике от времени.

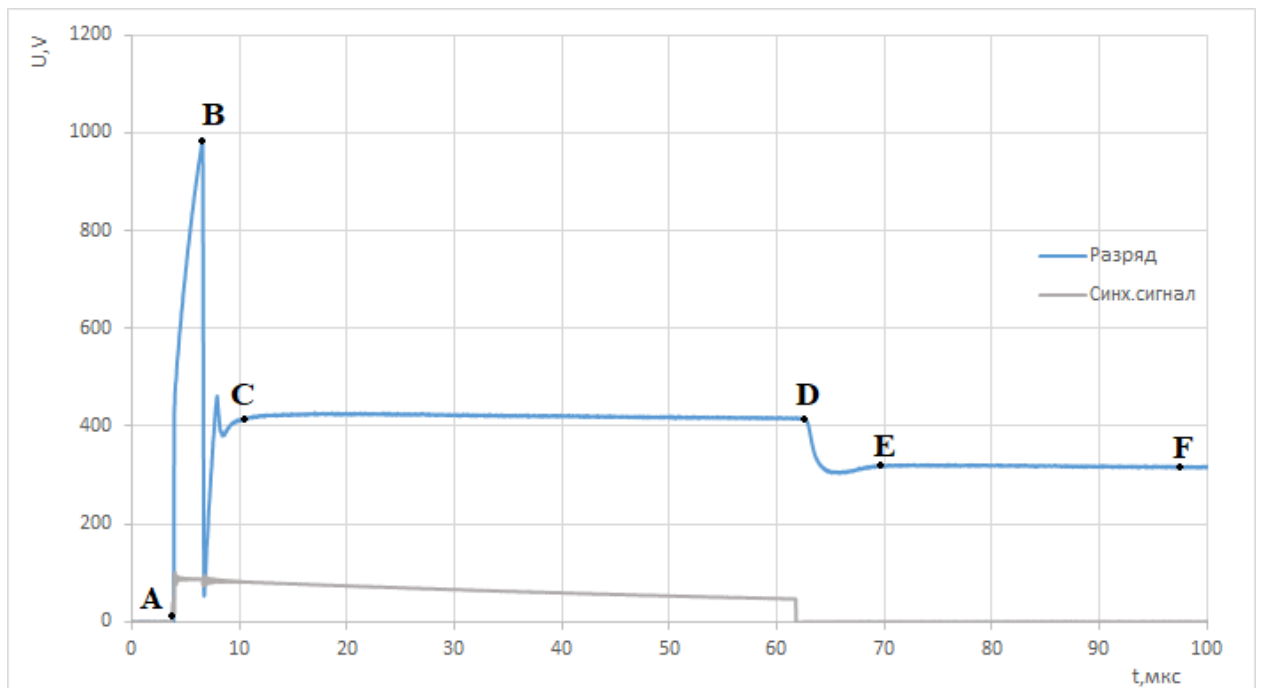


Рис. 5. Зависимость напряжения от времени ($p = -0.95 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, $\nu = 10\text{kHz}$)

Участок АВ (замыкание ключа) характеризует зарядку емкости разрядника до напряжения пробоя, ВС – пробой газового промежутка, CD – горение тлеющего разряда при постоянном напряжении, DE – размыкание ключа, EF – остаточное напряжение на разряднике.

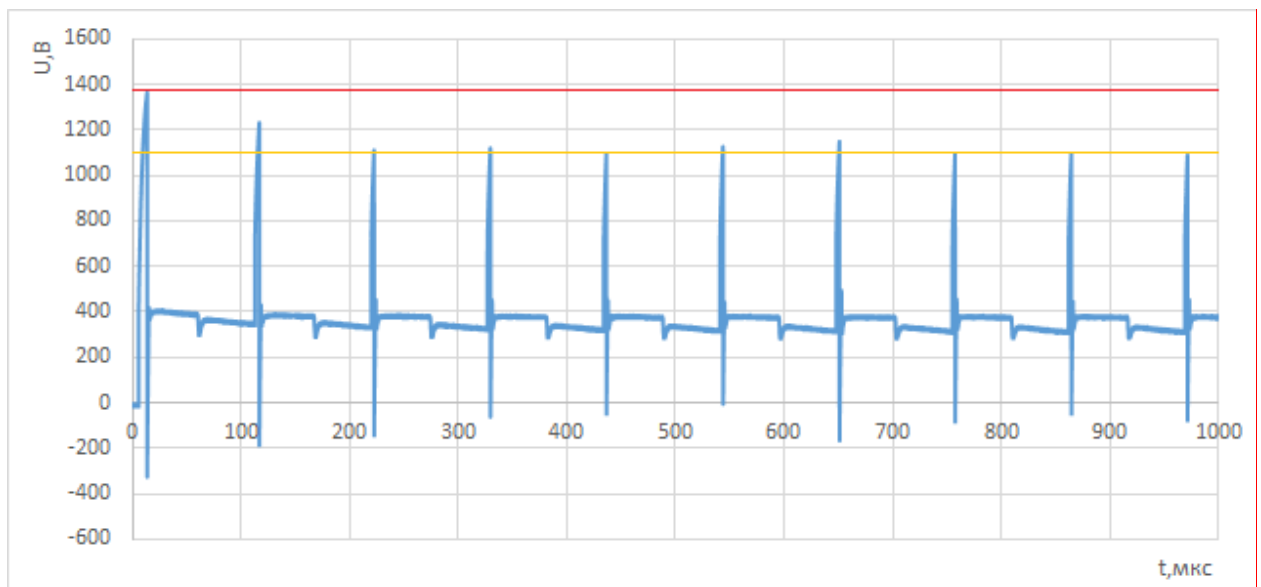


Рис. 6. Зависимость напряжения от времени ($p = -0.90 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, $\nu = 10\text{kHz}$)

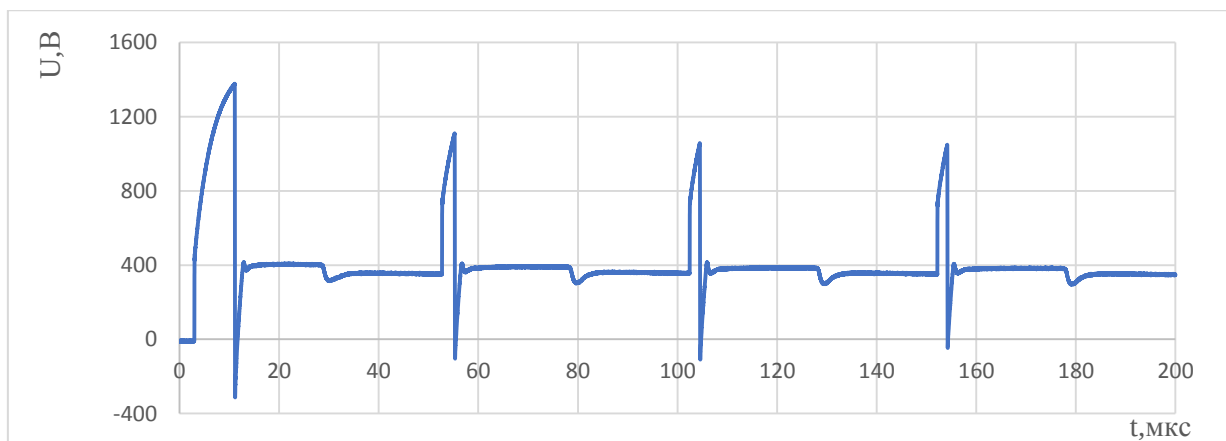


Рис. 7. Зависимость напряжения от времени ($p = -0.90 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, $\nu = 20\text{kHz}$)

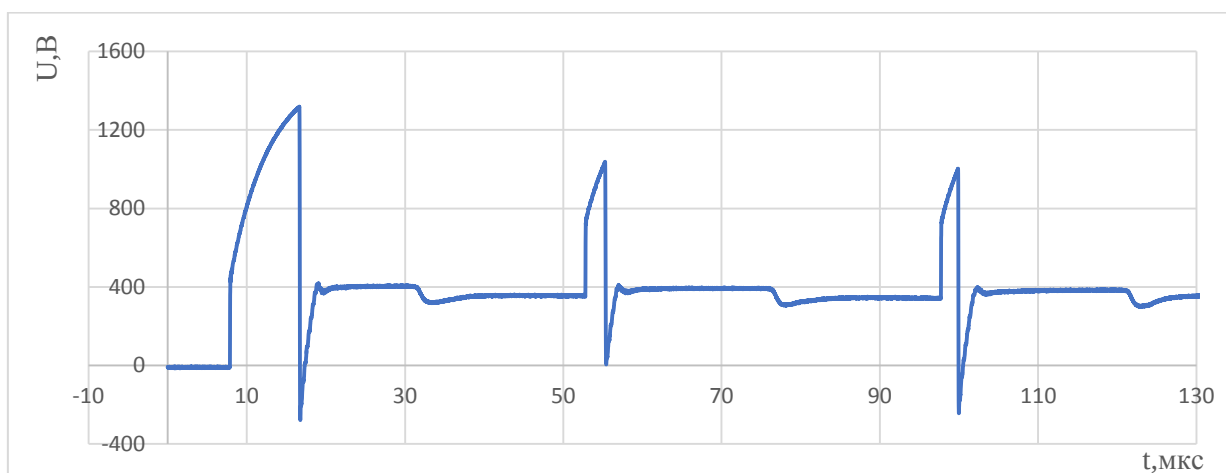


Рис. 8. Зависимость напряжения от времени ($p = -0.90 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, $\nu = 30\text{kHz}$)

Проанализировав полученные результаты, можно заметить, что напряжение зажигания разряда зависит от частоты. Помимо этого видно, что уже после второго разряда напряжение пробоя устанавливается на определенном значении. Графики зависимости напряжения первых четырех пробоев от частот при разных давлениях представлены ниже.

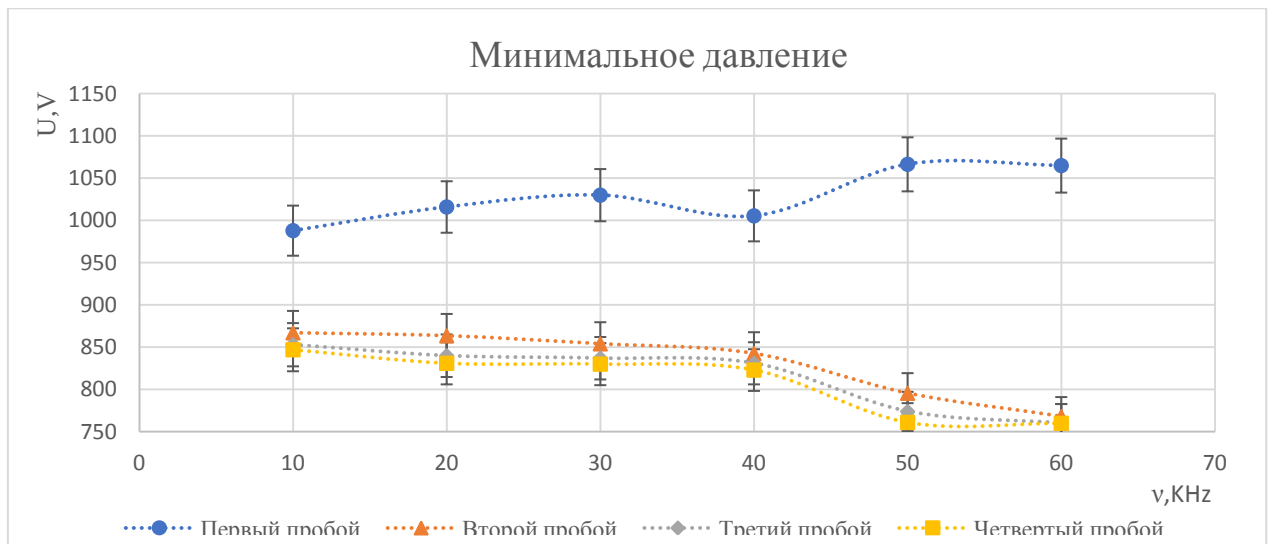


Рис. 9. Зависимость напряжения от частоты при одном давлении ($p = -0.95 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$)

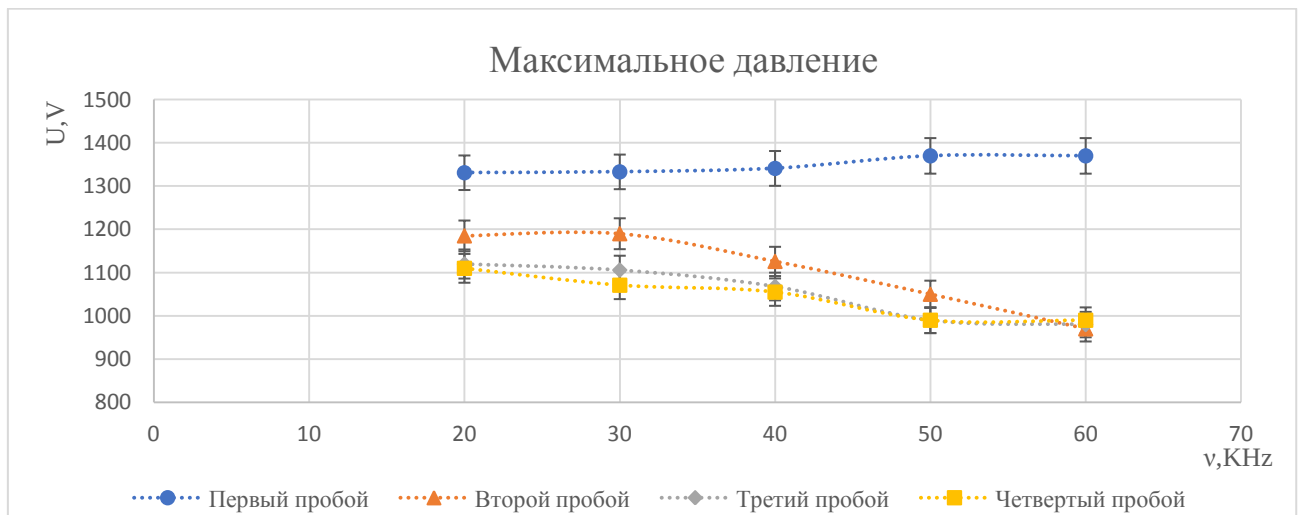


Рис. 10. Зависимость напряжения от частоты при одном давлении ($p = -0.85 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$)

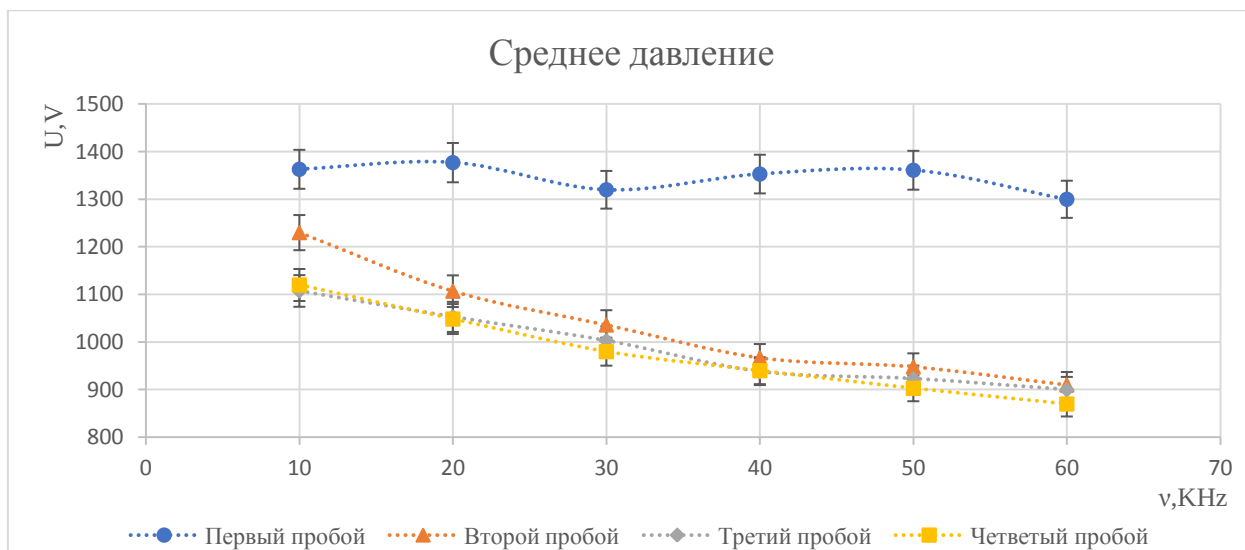


Рис. 11. Зависимость напряжения от частоты при одном давлении ($p = -0.90 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$)

Из графиков 10 и 11 ясно, что при фиксированном давлении окружающей среды напряжение первого пробоя разряда практически одинаково для всех измерений. Отклонения, скорее всего, связаны с изменением давления в камере во время экспериментов. Результаты на рис. 9 также объясняются натеканием газа в камеру, которое в случае минимального давления было большим, что значительно повлияло на результаты измерений.

Отчетливо видно, что напряжение пробоя следующих разрядов уменьшается с ростом частоты, причем линейно. Из рисунков 6 – 8 можно сделать вывод: напряжения третьего и четвертого пробоев примерно равны, что говорит нам об установлении периодического тлеющего разряда.

3. Выводы

Подготовлена и собрана схема, позволяющая регистрировать напряжений зажигания и горения тлеющего разряда при разных частотах и давлениях. Для исследований установления периодического горения тлеющего разряда был разработан и создан электронный ключ, позволивший провести измерения напряжения пробоев разряда начиная с первого зажигания.

По результатам проведенных экспериментальных исследования можно сделать следующие выводы:

- 1) Напряжение зажигания зависит от давления окружающей среды. При повышении давления пробой разряда происходит при большем напряжении.
- 2) Второе и последующие зажигания тлеющего разряда происходят при значительно меньшем напряжении, чем первый пробой межэлектродного промежутка. При повышении частоты зажигания разница между напряжением первого и последующих пробоев увеличивается.
- 3) Установление периодического горения тлеющего разряда происходит за промежутки времени, в течение которого совершаются три пробоя.

Результаты данной работы будут использоваться при подготовке к экспериментальным исследованиям развития искусственных возмущений в сверхзвуковом пограничном слое в аэродинамической трубе Т-325 ИТПМ СО РАН.

Список литературы

1. Яковлев В. И. Классическая электродинамика: Учеб. пособие/ Новосибир. ун-т. Новосибирск, 2003. 267с.
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. Г. Шлихтинг. Теория пограничного слоя. /Перевод с немецкого, /М. Наука, 1974.