

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Михайлов Леонид Степанович
КУРСОВАЯ РАБОТА

**Исследование вольт-амперной характеристики двухкамерной схемы с
обратным подключением электродов**

Практикум по электричеству и магнетизму, 2 курс, группа № 19311

Научный руководитель:

Д. Ю. Батомункуев

Оценка научного руководителя

« 23 » декабря 2020 г.

Преподаватель практикума:

Оценка преподавателя практикума

« 23 » декабря 2020 г.

Куратор практикума::

В. Т. Астрелин

Итоговая оценка

« 23 » декабря 2020 г.

Аннотация

Целью работы являлось экспериментальное исследование параметров ВАХ двухкамерного плазмотрона с самоустанавливающейся длиной дуги при обратной полярности подключения электродов, и последующее сравнение этих параметров с параметрами, полученными при прямом подключении электродов. Для этих целей использовался экспериментальный стенд, включающий в себя плазмотрон двухкамерной схемы, датчики расхода газа, а также цифровой осциллограф. На основании полученных данных построена вольт-амперная характеристика при различных значениях расхода газа. Также был произведён расчёт мощности данного плазмотрона в режиме подключения, с прямой полярностью электродов, для последующего сравнения выдаваемых мощностей.

Ключевые слова: двухкамерный плазмотрон, вольт-амперная характеристика, самоустанавливающаяся дуга.

Оглавление

Теория	3
Описание экспериментальной установки	5
Описание метода проведения эксперимента	6
Обработка экспериментальных данных.....	8

Теория

Плазмотроны, в которых для нагрева самых разнообразных газов используют электрическую дугу, наиболее широко применяются в различных технологических процессах. В них получают струю низкотемпературной плазмы со среднemasсовой температурой до 4000-6000 К для двухатомных и многоатомных газов и до 10000-20000 К – для одноатомных газов. В настоящее время существуют электродуговые плазмотроны мощностью от нескольких киловатт до десятков мегаватт. В зависимости от типа плазмообразующего газа, параметров работы и конструкции плазмотрона его КПД составляет 50-97%. Ресурс работы плазмотронов большой мощности достигает 100-1000 ч.

В электродуговых камерах плазмотронов протекают разнообразные физические процессы, связанные с преобразованием электрической энергии в тепловую.

Дуговой разряд условно можно разбить на три участка: начальный, переходный и развитый турбулентный.

На начальном участке дуга горит стабильно на оси канала и не имеет пульсации. На этом участке теплотери определяются в основном излучением, формула [1]:

$$Q=6,2 \cdot I^{3/2} \quad (1)$$

Далее по длине канала вдоль поверхности дуги развивается тепловой пограничный слой, на внутренней поверхности дугового канала холодный турбулентный пограничный слой.

Теплообмен между дугой и окружающим газом осуществляется в пределах теплового пограничного слоя. Напряженность электрического поля E_n постоянна.

На переходном участке дуги происходит разрушение теплового слоя дуги и интенсивнее перемешивание нагретого и холодного газа. Под давлением хаотических турбулентных пульсаций, генерируемых в пограничном слое, собственного магнитного поля и ряда других факторов, дуга начинает пульсировать. Напряженность электрического поля возрастает и в конце достигает значения, равного напряженности на развитом турбулентном участке.

Турбулентный участок дуги характеризуется отсутствием дополнительного подвода газа и давления вдоль стенки канала, а напряженность электрического поля примерно постоянна. Тепловые потоки на стенку разрядной камеры, начиная с переходного участка и далее возрастают, приближаясь к значениям энергии, вкладываемой в дугу. Из электрофизических процессов большое влияние на процессы в канале разрядной камеры оказывает крупно- и мелкомасштабное шунтирование. При крупномасштабном шунтировании между столбом дуги и стенкой камеры происходит электрический пробой. Новый участок дуги развивается

и сносится газовым потоком к выходу из плазмотрона. Зашунтированный участок разряда постепенно отмирает. Процесс пробоя повторяется периодически с частотой порядка нескольких килогерц. Крупномасштабное шунтирование определяет среднюю длину дуги и среднее падение потенциала на ней, а также зону разрушения L эрозии стенок камеры, пульсационные и иные характеристики дуги и потока. Кроме того является основной причиной формирования падающей вольт-амперной характеристики дуги в плазмотронах с самоустанавливающейся длиной дуги. Мелкомасштабное шунтирование, происходящее в пристеночном слое газа, в основном определяет эрозию материала. К мелкомасштабному шунтированию относится электрический пробой, влияющий на скорость эрозии материала камеры. При шунтировании «дуга-электрод» пятно дуги остается неподвижным в течение $10^{-6} - 10^{-5}$ сек. и разогревает поверхностный слой материала. По различным оценкам глубина проникновения составляет $3 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-5}$ м, в связи с этим эрозионные процессы развиваются в тонком поверхностном слое.

Для снижения эрозии и увеличения ресурса работы плазмотронов пятно дуги принудительно перемещают по окружности электрода путём тангенциального ввода плазмообразующего газа или соленоида, расположенного коаксиально разрядному каналу. Взаимодействие этого поля с собственным магнитным полем радиального участка дуги приводит к возникновению силы, заставляющей дугу вращаться вокруг оси разрядного канала.

Форма радиального участка дуги оказывает большое влияние на эрозионные свойства стенки камеры. При движении вдоль стенки камеры под действием аэродинамических или электродинамических сил, замыкающий участок дуги принимает форму «запятой». С увеличением силы тока происходит самопроизвольное нестационарное расщепление дуги на два, три и более токопроводящих каналов, что увеличивает скорость эрозии стенки камеры. Для снижения скорости эрозионных процессов и управления механизмом деления радиального участка дуги на несколько дуг, разработаны специальные электроды с привязкой опорных пятен к запрессованным в медный электрод термоэмиссионным вставкам по мере роста силы тока. Многочисленные исследования, физических процессов, протекающих в дуговой камере плазмотрона постоянного тока, позволило установить следующую классификацию, взяв за основу механизм установления средней длины дуги:

1. С самоустанавливающейся длинной дуги
2. С фиксированной средней длинной дуги
3. С межэлектродными вставками (МЭВ)

Описание экспериментальной установки

На рис. 2 представлена схема экспериментальной установки. Между медными трубчатыми коаксиальными электродами (анодом 3 и катодом 4) создается электрическая дуга 5. Электроды разделяются изолятором 7. Рабочий газ подается в вихревые камеры 1 и 2 с соответствующими расходами G_1 и G_2 . Встреча газовых потоков при фиксированных расходах происходит в плоскости 6.

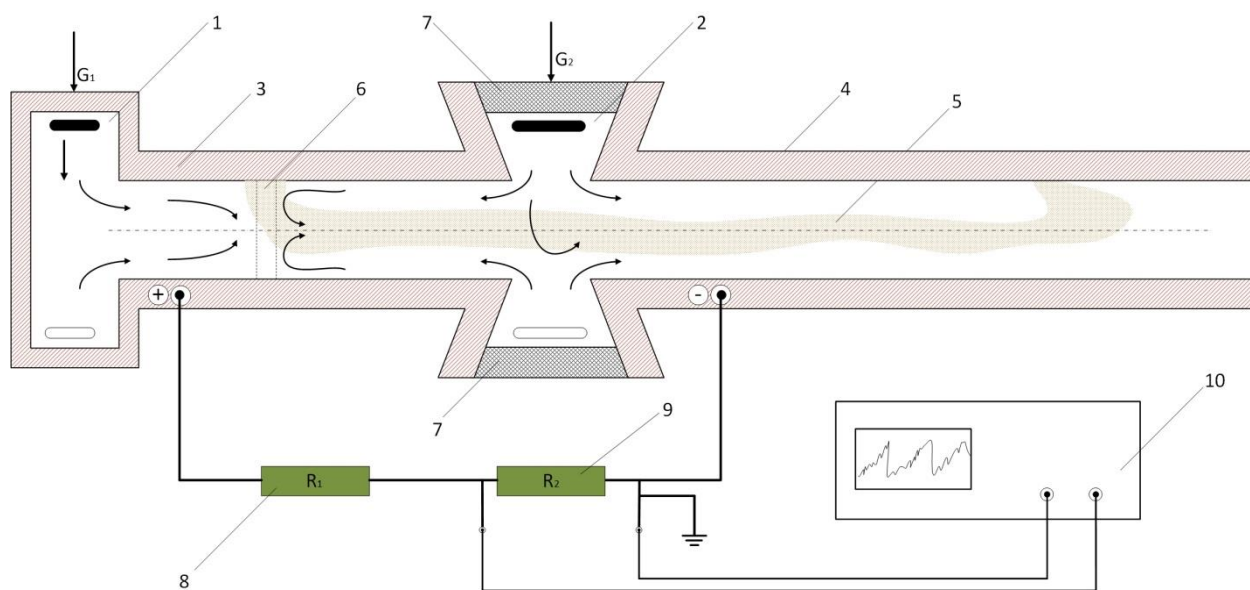


Рис. 2. Схема установки: 1 – вихревая камера с расходом газа G_1 ; 2 – вихревая камера с расходом газа G_2 ; 3 – анод; 4 – катод; 5 – электрическая дуга; 6 – плоскость встречи газовых потоков; 7 – изолятор; 10 – цифровой осциллограф В-423

Диаметр анода составлял 30 мм, длина 120 мм, диаметр катода 20 мм, длина 255 мм. Такая конфигурация за счет центробежной силы заставляет поток газа из вихревой камеры 2 проходить вдоль стенки анода до встречи с потоком газа из вихревой камеры 1 в зону смыкания 6 после чего объединенный газовый поток по центральной области разрядной камеры проходит в катод.

Описание метода проведения эксперимента

Эксперимент проводится на плазмотроне с самоустанавливающейся дугой при различных режимах подачи газа в секции G1, G2. При достижении стабильности дуги данные снимаются с помощью цифрового осциллографа, для последующего построения вольт-амперной характеристики.

Расход G_1 в процессе эксперимента оставался неизменным и составлял 5 г/с, расход газа G_2 изменялся в диапазоне 7,5-15 г/с.

Экспериментальные данные

На рисунках 1 и 2 представлены экспериментальные данные зависимостей тока и напряжения от времени.

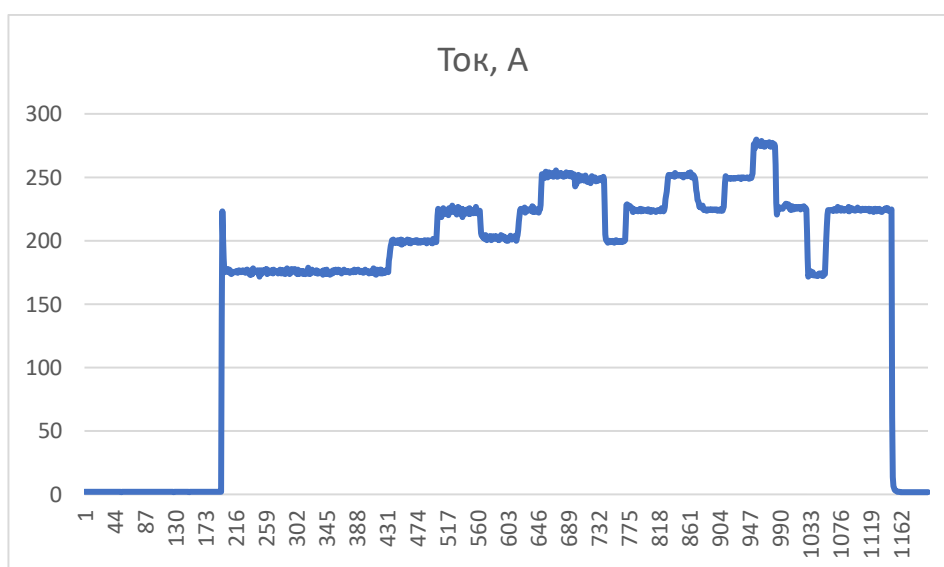


Рис.1 Зависимость тока от времени эксперимента



Рис.2 Зависимость тока от времени эксперимента

Обработка экспериментальных данных

На рисунках 3-6 представлены зависимости тока от напряжения.

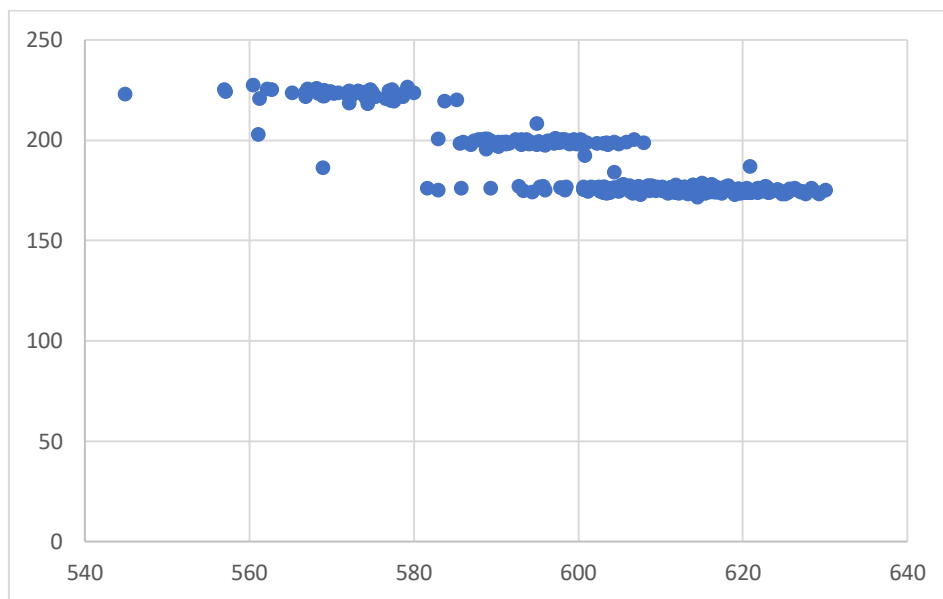


Рис.3 Вольт-амперная характеристика в режиме расхода газа

$$G1 = 7,5\text{г/сек } G2 = 5/\text{сек}$$

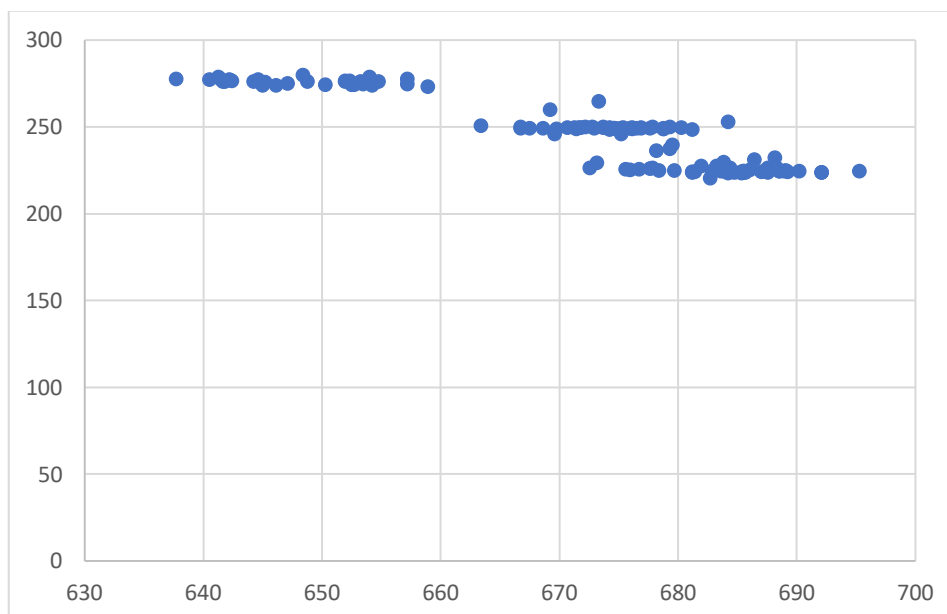


Рис.4 Вольт-амперная характеристика в режиме расхода газа

$$G1 = 10\text{г/сек } G2 = 5\text{г/сек}$$

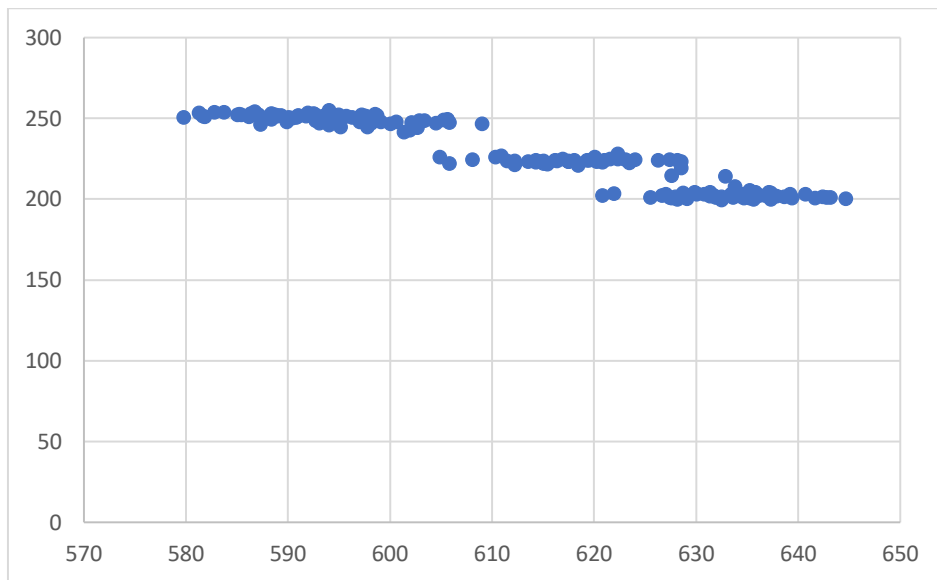


Рис.5 Вольт-амперная характеристика в режиме расхода газа

$G1 = 12,5\text{г/сек}$ $G2 = 5\text{г/сек}$

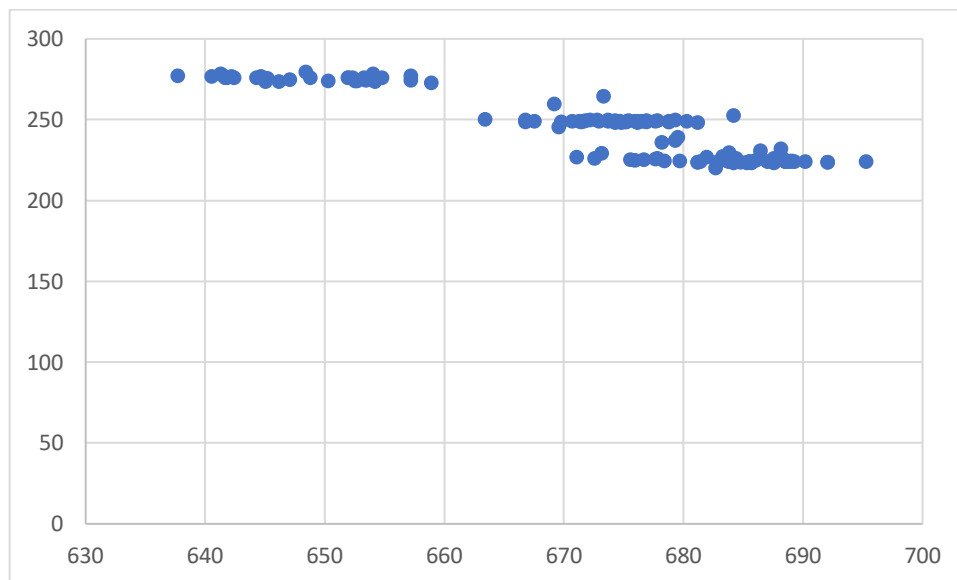


Рис.6 Вольт-амперная характеристика в режиме расхода газа

$G1 = 15\text{г/сек}$, $G2 = 5\text{г/сек}$

При построении вольт-амперной характеристики была получена слабо убывающая зависимость что соответствует данному типу плазмотрона.

В таблице 1 приведено сравнение экспериментальных данных с данными расчета согласно [1]:

$$U_2^+ = 1360 \left(\frac{I^2}{pd} \right)^{-0.20} \left(\frac{G}{d} \right)^{0.25} (pd)^{0.35} \quad (2)$$

Таблица 1. Сравнение экспериментальных данных с расчетом.

Режим расхода газа в секции G1, г/сек	Режим расхода газа в секции G2, г/сек	Ток, А	Среднее напряжение, В	Расчётное Напряжение, В
7.5	5	175	612,3	563,4
7,5	5	200	595,5	534,1
7,5	5	225	572,2	509,6
10	5	200	633,6	559
10	5	225	619,3	533,3
10	5	250	593,8	511,4
12,5	5	200	663,5	581
12,5	5	225	657,9	554,4
12,5	5	250	643	531,4
15	5	225	686,1	573,3
15	5	250	674,8	561,1
15	5	275	648,7	550,5

Как видно из таблицы, экспериментально измеренное напряжение при обратной полярности включения на 10-15% выше. Таким образом, для обеспечения необходимой мощности требуется меньшая сила тока. Ранее проведенные исследования [2] показали уровень эрозии на катоде 1.81×10^{-6} г/Кл, на аноде 2.675×10^{-7} г/Кл, что составляет практически тот же уровень эрозии что был получен на прямой полярности подключения. Практически, это означает что при той же мощности, ресурс электрода может быть увеличен примерно на 10-15%. Вместе с этим при пониженном токе происходит уменьшение радиационных потерь дуги, что очень важно на начальном участке дуги.

Вывод

При исследовании вольт-амперной характеристики было выявлено что при обратной полярности электродов был выявлен рост напряжения на 10%, также был зарегистрирован слабо убывающий характер вольт-амперной характеристики как и при прямом подключении.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что плазмотрон с обратной полярностью включения является более энергоэффективным, и позволяет увеличить ресурс электродов

Список Литературы

1. "Низкотемпературная плазма том 17 / АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т теплофизики"
2. Electric arc plasmatorch of a two-chamber scheme with reverse polarity of electrodes connection D Y Batomunkuev and S P Vashenko. GDPA-2019.