

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Тинтулова Мария Вячеславовна

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Определение КПД импульсно-периодического генератора при
создании СВЧ плазмы**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19310

Научный руководитель:

вед. инж. Медведев А. Э.

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 2020г.

Преподаватель практикума

асп. Руменских М.С.

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 2020г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 2020г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью работы является определение КПД импульсно-периодического генератора при создании СВЧ плазмы в аргоне при атмосферном давлении. Для этой цели собрана установка для инициации плазмы, состоящая из последовательно соединенных приборов, чьи КПД влияют на общее КПД всей цепи. Найдены коэффициенты полезного действия источника питания, генератора импульсов и магнетрона. Рассмотрено влияние нестационарного состояния плазмы на КПД резонатора, и описан метод его нахождения через мощности прямой и отраженной волн. Записаны осциллограммы зависимости величины отраженной волны от настройки резонатора. В результате получено численное значение КПД, оценены погрешности полученных величин. Полученные знания предполагается использовать в будущем для улучшения установки.

Ключевые слова: коэффициент полезного действия (КПД), импульсно-периодический генератор, СВЧ плазма.

Содержание:

1. Введение	4 стр.
2. Факторы определяющие КПД импульсно-периодического генератора	5 стр.
3. Описание экспериментальной установки	6 стр.
4. Результаты эксперимента	9 стр.
5. Вывод	11 стр.
6. Список литературы	11 стр.

Сокращения

В данной работе под импульсно-периодическим генератором подразумевается СВЧ установка.

КПД - коэффициент полезного действия

СВЧ - сверхвысокочастотное излучение

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время плазменные технологии широко применяются в синтезе материалов. Используется плазма, полученная с помощью различных источников. Однако, как правило, в таких установках используются низкие рабочие давления, составляющие порядка 1-100 Па, в последнее время применяются повышенные давления около 100 Тор. Для работы при таких условиях нужны замкнутые объемы и вакуумные насосы. Если в первом случае используются высоковакуумные объемы и требуются особые технологии подготовки поверхности, как стенок объема, так и образцов, то во втором случае ограничиваются форвакуумными насосами. Однако и в том и в другом случае размер образцов ограничивается стенками объемов, и существуют осложнения при встраивании процесса обработки поверхности в технологическую цепочку. В данной работе рассматривается возможность применения источника плазмы атмосферного давления. Такая установка имеет массу преимуществ для технологии. Высокое давление газа, сохраняя однородность тока, позволяет создать на много порядков большую плотность плазмы, что качественно меняет производительность технологического процесса. Использование вне вакуумной обработки существенно снижает удельную себестоимость технологии, как из-за отсутствия необходимости в вакуумных объёмах, с их обслуживающих техникой, так и ввиду возможности обработки больших по площади поверхностей.

Знание КПД импульсно-периодического генератора и его зависимости от различных параметров может позволить эффективно использовать СВЧ энергию при создании плазмы. Получение такой зависимости покажет, как можно усовершенствовать установку, выявит изъяны в ее работе. Импульсно-периодический генератор состоит из генератора импульсов, магнетрона, СВЧ-тракта, резонатора, а также измерительных цепей. КПД всей установки определяется значением КПД каждого её узла. Коэффициенты полезного действия генератора импульсов, магнетрона это стандартные, известные величины, которые можно найти в технических

описаниях и методических пособиях. КПД резонатора в нашем случае, при наличии не только прямой волны, но и отраженной, будет определяться соотношением полезной мощности ко всей затраченной. Вопрос осложняется тем, что в данных условиях импульсно периодического режима плазма находится не в стационарном состоянии и имеет непостоянную плотность, поэтому меняется величина отраженной волны, а значит, меняется и соотношение мощностей. Поэтому итоговое значение коэффициента будет среднее значение за серию импульсов.

Предполагается, что собранная установка в дальнейшем будет использоваться синхронно с импульсами лазерного излучения. В нашей работе использование импульсно-периодического режима дает преимущество в создании в несколько раз большей мощности, что выиграно в условиях атмосферного давления. К примеру, при средней мощности магнетрона 1кВт, используя такой режим можно получить 5кВт, что с большей вероятностью позволит обеспечить инициацию пробоя.

2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КПД ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

Для того чтобы вычислить КПД установки, состоящей из последовательно соединенных элементов, у каждого из которых есть свой КПД, нужно перемножить коэффициенты всех приборов цепи:

$$\eta = \eta_{\text{источника}} * \eta_{\text{генератора}} * \eta_{\text{магнетрона}} * \eta_{\text{резонатора}} \quad (1)$$

Узнать КПД источника питания, генератора импульсов и магнетрона можно из технических характеристик этих приборов. Их значения КПД не зависят от величины отраженной волны, в отличие от значения КПД резонатора. Отраженная волна возникает, когда частота излучения меньше, чем плазменная частота, т.е. $\omega < \omega_{\text{пл}}$. При $\omega > \omega_{\text{пл}}$ плазма прозрачна для прохождения волны. Частоту излучения, при которой выполняется условие $\omega = \omega_{\text{пл}}$ называют критической частотой ($\omega_{\text{кр}}$). Плотность электронов в плазме n_e , при которой плазменная частота равна частоте излучения, называют критической плотностью ($n_{e \text{кр}}$). Ситуация в данной работе осложнена тем, что при импульсно-периодическом режиме плазма находится не в стационарном состоянии и имеет непостоянную плотность и

частоту, поэтому отраженная волна будет существовать всегда. Настроив резонатор так, чтобы величина отраженной волны была минимальной, можно выразить его КПД. При этом минимальная величина отраженной волны будет наблюдаться в момент резонанса. Основным определяющим фактором КПД резонатора будет являться отношение поглощенной мощности и мощности прямой волны, идущей к резонатору:

$$\eta_{\text{резонатора}} = \frac{P_{\text{погл}}}{P_{\text{пр}}} \quad (2)$$

Поглощенную мощность можно выразить, как мощность прямой волны минус мощность отраженной волны, то есть:

$$\eta_{\text{резонатора}} = \frac{P_{\text{пр}} - P_{\text{отр}}}{P_{\text{пр}}} = 1 - \frac{P_{\text{отр}}}{P_{\text{пр}}} \quad (3)$$

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Оборудование: Задающий генератор импульсов Г5-56, генератор ИМП-2, магнетрон, тракт СВЧ, резонатор, осциллограф.

Общая схема установки приведена на рис.1

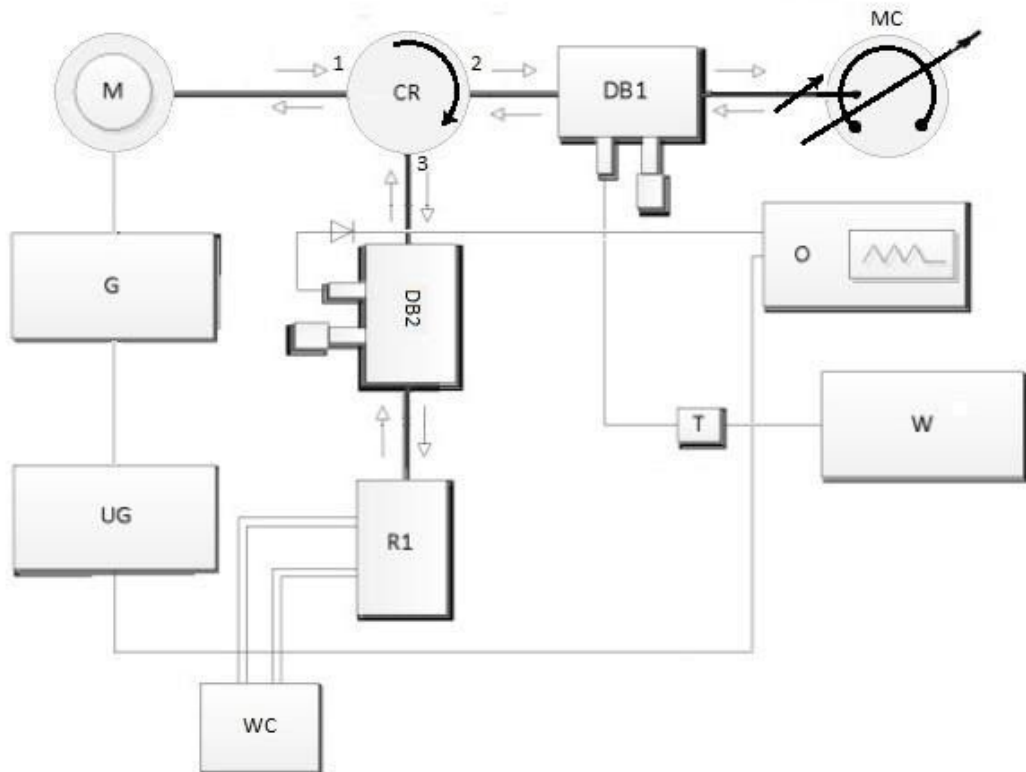


Рис.1. Схема установки.

Питание магнетрона (М) осуществляется от импульсного источника (G). Генератор (UG) задает частоту повторения импульсов, временной сдвиг относительно внешнего сигнала синхронизации, длительность импульса и амплитуду. В результате получаем СВЧ сигнал с регулируемой амплитудой на штыре магнетрона. СВЧ импульсы через коаксиально-волноводный переход поступают на 1 вход циркулятора (CR). Со 2 входа циркулятора, проходя через направленный ответвитель (DB1), с помощью штыревого ввода, СВЧ энергия попадает в резонатор (MC). Отраженная волна поступает на 3 вход циркулятора и, проходя через направленный ответвитель (DB2), поглощается в согласованной нагрузке (R1). Для отвода тепла от поглощающей нагрузки используется водяное охлаждение (WC). Прямой и отраженный сигналы через направленные ответвители попадают ваттметр (W) с термисторной головкой (T) для регистрации мощности и на детекторные головки для наблюдения на осциллографе (O).

Изображение резонатора представлено на рисунке 2.

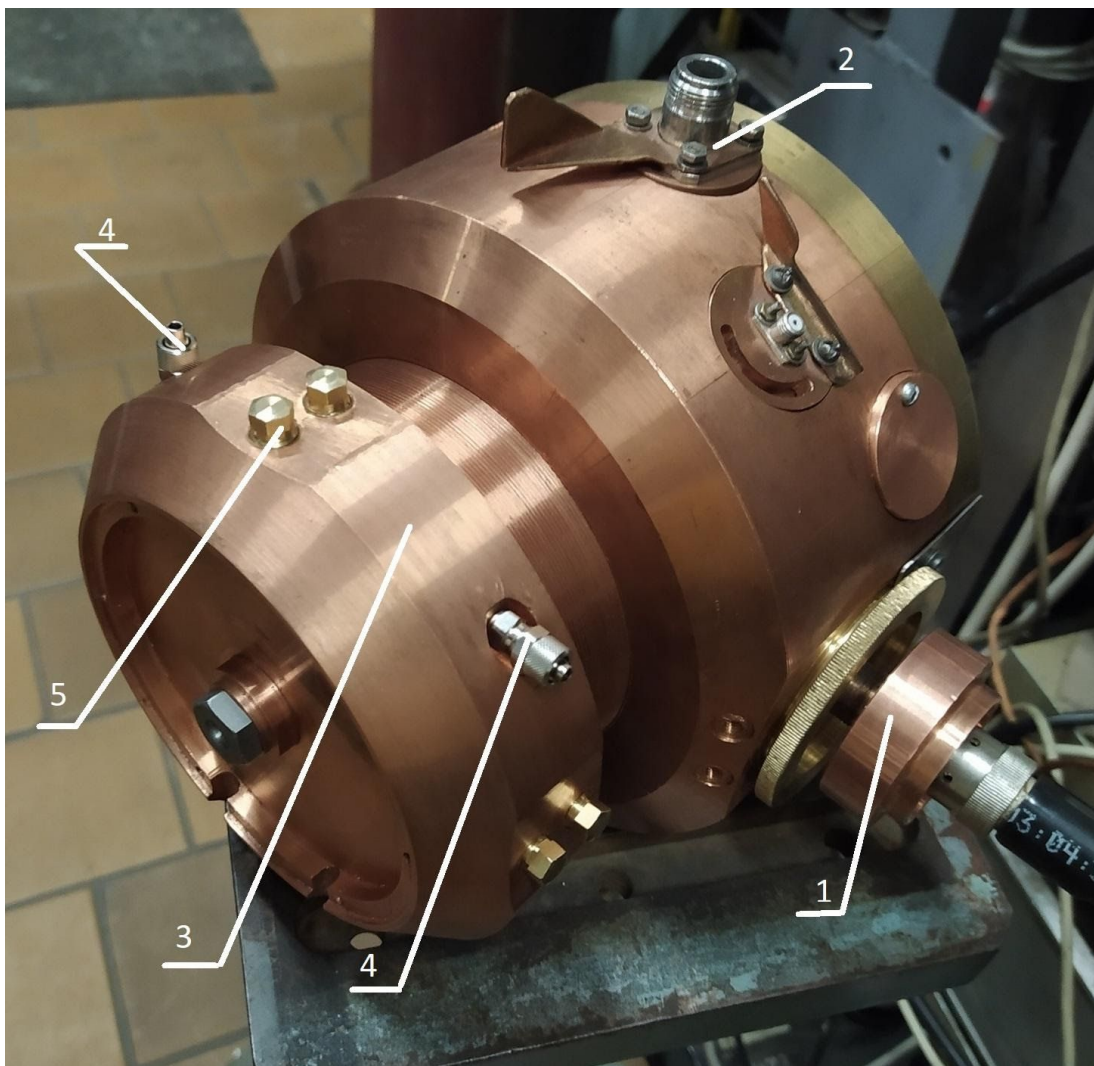


Рис.2. Резонатор. 1 - штыревой ввод, 2 - петлевой ввод, 3 - нижняя вращающаяся часть, 4 - отверстия для ввода аргона, 5 - окна с заглушками.

Резонатор представляет собой регулируемый за счет вращающейся нижней части цилиндр с полостью, имеющий петлевой и штыревой вводы СВЧ мощности. По касательной к полости цилиндра расположены четыре отверстия для ввода аргона. На нижней части имеется водяное охлаждение в виде припаянной по спирали медной трубки. Подача газа осуществляется через коллекторы с измерителями расхода аргона, соединенные с подводными трубками с кранами для регулировки количества подаваемого газа. Имеются специальные окна с заглушками для наблюдения за плазмой.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

В технических характеристиках и описаниях приборов удалось найти значения КПД идеального источника питания, генератора импульсов и магнетрона:

$$\eta_{\text{источника}} = 95\%$$

$$\eta_{\text{генератора}} = 80\%$$

$$\eta_{\text{магнетрона}} = 60\%$$

Настроив резонатор, было получено минимальное значение отраженной волны. Разницу между амплитудами сигналов, зарегистрированных на осциллографе при настроенном и расстроенном резонаторе, можно увидеть на рис 3. и рис 4.



Рис.3. Осциллограмма импульсов отраженной (зелёный цвет) и прямой (голубой цвет) волн при настроенном резонаторе.

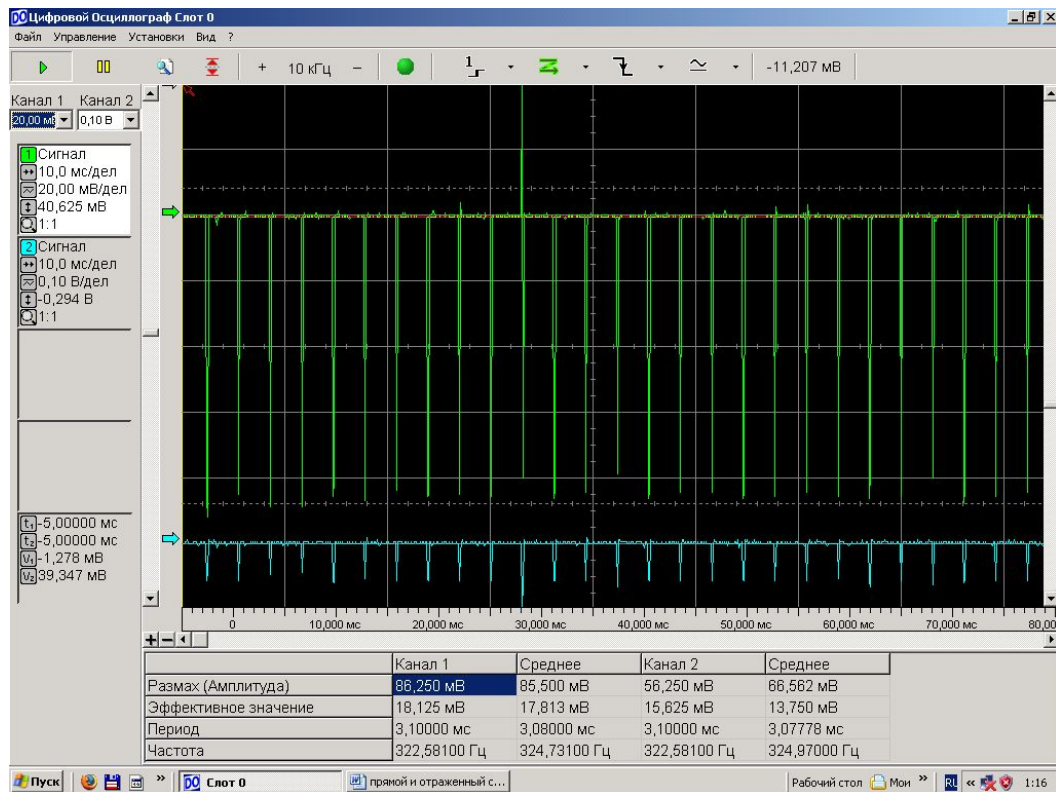


Рис. 4. Осциллограмма импульсов отраженной (зелёный цвет) и прямой (голубой цвет) волн при расстроенном резонаторе.

Рабочие параметры установки:

Ток на магнетроне: $I = 111 \text{ mA}$;

напряжение на магнетроне: $U = 4.7 \text{ kV}$;

скважность: $S = 10$;

средняя мощность магнетрона: $P_{\text{ср}} = 521,7 \text{ W}$;

импульсная мощность магнетрона: $P_{\text{имп}} = 5,2 \text{ kW}$

Измеренные с помощью термисторной головки значения мощностей прямой и отраженной волн при настроенном резонаторе:

$P_{\text{пр}} = 90 \text{ W}$ - мощность прямой волны,

$P_{\text{отр}} = 50 \text{ W}$ - мощность отраженной волны.

Тогда по формуле (3) КПД резонатора будет равно: $\eta_{\text{резонатора}} = 44 \%$

Таким образом, по формуле (1) общее КПД всей установки будет равняться: $\eta = 20\%$

Погрешности: Погрешность ваттметра составляет $\Delta P = \pm 1 \text{ W}$

5. ВЫВОД

В ходе работы определена величина КПД импульсно-периодического генератора. Собрана и настроена установка для инициации СВЧ плазмы при атмосферном давлении. Найдены коэффициенты полезного действия источника питания, генератора импульсов и магнетрона. Рассмотрено влияние нестационарного состояния плазмы на КПД резонатора, и рассчитано его значение через отношение мощности прямой и отраженной волн. В результате получено значение КПД импульсно-периодического генератора $\eta = 20\%$. Данное значение получилось небольшим, что говорит о том, что установка нуждается в доработке. Главным образом на КПД влияет величина отраженной от резонатора волны, при ее уменьшении возможно получить более высокое значение коэффициента полезного действия. Полученные в данной работе результаты предполагается использовать для дальнейшего улучшения установки.

6. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райзер Ю.П. Физика газового разряда: Учеб. руководство: Для вузов -2 е изд. Гл. ред. физ-мат. лит., 1992 - 536 с.
2. Изюмова Т. И., Свиридов В. Т. Волноводы, коаксиальные и полосковые линии. М., “Энергия”, 1975 - 112 с.
3. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. - М.: Высш. шк., 1988 - 432 с.
4. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. Под ред. академика Н. Д. Девяткова. Учебник для студентов вузов по специальности “Электронные приборы”, М., “Высш. школа”, 1970.