

УДК 533.9.07

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ СВЧ МАГНЕТРОНА НА ПЛАЗМЕННУЮ НАГРУЗКУ

Жаворонок И.А., Тихон О.И.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – канд.техн.наук, доцент

Аннотация. Представлены результаты экспериментов по исследованию режимов работы импульсного трехфазного источника питания СВЧ магнетрона на плазменную нагрузку. Показана возможность регулировки мощности СВЧ магнетрона в широком диапазоне значений. Исследована зависимость оптического свечения плазмы от величины анодного тока СВЧ магнетрона.

Ключевые слова. Инверторный блок питания, СВЧ плазма, СВЧ магнетрон

Введение. В настоящее время СВЧ-энергия востребована не только в традиционных процессах сушки и спекания, но и для получения чистой плазмы. Особенности СВЧ-плазмы состоят в ее высокой чистоте, которую нельзя получить с помощью обычных плазмотронов, в более эффективном вводе энергии в СВЧ-плазму и в возможности получения плотной высокотемпературной плазмы в небольших объемах [1].

С развитием СВЧ-техники и магнетронных генераторов появилось большое количество научных работ по созданию и применению СВЧ-плазмотронов, работающих на воздухе атмосферного давления с мощностью до 5 кВт на частоте 2450 МГц. Области использования таких плазмотронов: плазменные технологии газоочистки от ядовитых и инфекционных выбросов; сжигание твердых бытовых отходов; модификация рабочих поверхностей деталей из сталей, сплавов и полупроводниковых материалов перед операциями азотирования, и прочие. Перечень проблем, которые можно решать с помощью СВЧ-плазмы, непрерывно расширяется [1].

При разработке промышленных установок, чаще всего, используется несколько магнетронов средней мощности и системы сложения мощности в микроволновом реакторе [2]. Использование 10-16 магнетронов мощностью 800 Вт каждый позволяет обеспечить работу установок с СВЧ мощностью около 10 кВт. Уменьшить стоимость готового оборудования удаётся путём использования в качестве источников СВЧ излучения бытовых магнетронов. Питание магнетронов, чаще всего, осуществляются за счёт применения типовых блоков питания (входящих в комплектацию бытовых микроволновых печей), включающих высоковольтный трансформатор и схему удвоения напряжения. Данная схема питания характеризуется высокой надёжностью и простотой в эксплуатации.

Плавное регулирование микроволновой мощности магнетрона в бытовых СВЧ печах выполняется с использованием инверторного блока питания (ИБП). Уровень генерируемой мощности в ИБП устанавливается путём изменения длительности управляющего воздействия, что изменяет подаваемое на СВЧ магнетрон напряжение. В [2] показано, что при работе такого блока питания СВЧ энергия генерируется магнетроном только в период каждого импульса тока.

Основная часть. В данной работе предложена модифицированная система питания СВЧ магнетрона, собранная на базе трёх однофазных импульсных источников питания инверторной микроволновой печи. При таком конструктивном решении три фазы складываются и формируют квазипостоянный источник тока. В этом случае СВЧ магнетрон обеспечивает генерацию постоянной плазмы СВЧ разряда в реакционной камере. Предложенный вариант блока питания СВЧ магнетрона также обладает улучшенными массогабаритными характеристиками по сравнению с типовыми трансформаторными источниками питания.

Были проведены эксперименты с использованием трёхфазного импульсного блока питания, и получены осциллограммы анодного тока магнетрона и оптического сигнала свечения плазменного разряда (в условных единицах) при установленных уровнях мощности 40%, 60%, 70% и 80% (рисунки 1, 2, 3, 4 соответственно).

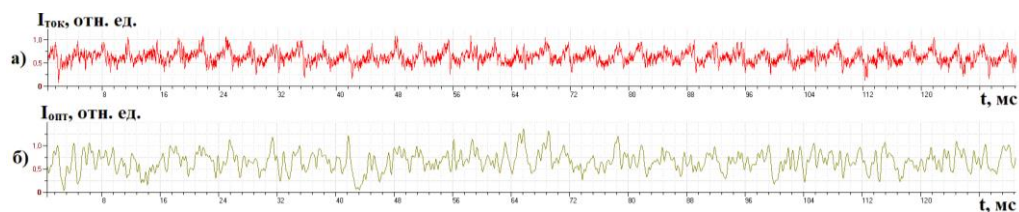


Рисунок 1 – Осциллограммы тока (а) и оптического сигнала (б) при 40% мощности

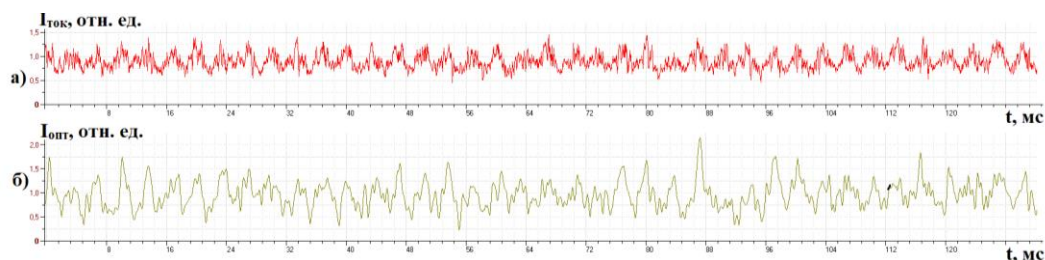


Рисунок 2 – Осциллограммы тока (а) и оптического сигнала (б) при 60% мощности

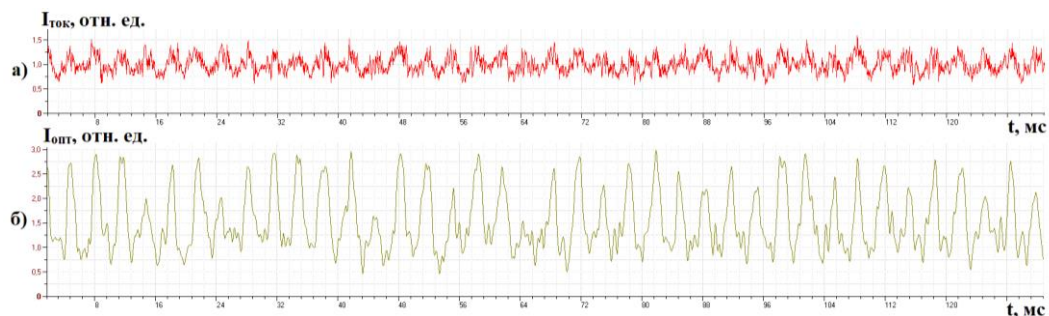


Рисунок 3 – Осциллограммы тока (а) и оптического сигнала (б) при 70% мощности

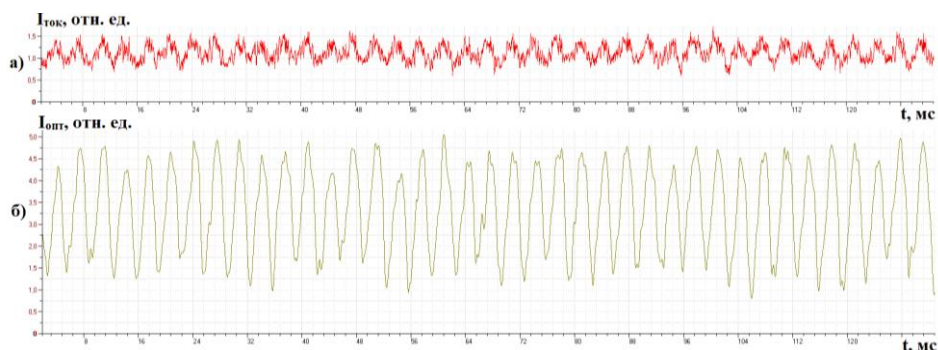


Рисунок 4 – Осциллограммы тока (а) и оптического сигнала (б) при 80% мощности

Представленные экспериментальные результаты показывают, что анодный ток СВЧ магнетрона и оптический сигнал свечения плазмы являются постоянными с пульсирующей составляющей.

По полученным осциллограммам были построены графики зависимости тока (в отн. ед.) (рисунок 5, а) и оптического сигнала (в отн. ед.) (рисунок 5, б) от задаваемого уровня мощности. Из графиков видно, что при увеличении мощности уровень тока растёт практически линейно; оптический сигнал на низких значениях мощности возрастает незначительно; после 60% процентов мощности степень роста уровня оптического сигнала повышается, что также показано на представленных выше осциллограммах.

Представленные графики позволяют более наглядно построить зависимость коэффициента $K = I_{\text{ток}} / I_{\text{опт}}$ от задаваемой мощности (рисунок 6). Полученный график демонстрирует,

что, примерно с 60% мощности, рост оптического сигнала начинает преобладать над ростом тока (в ~2 раза).

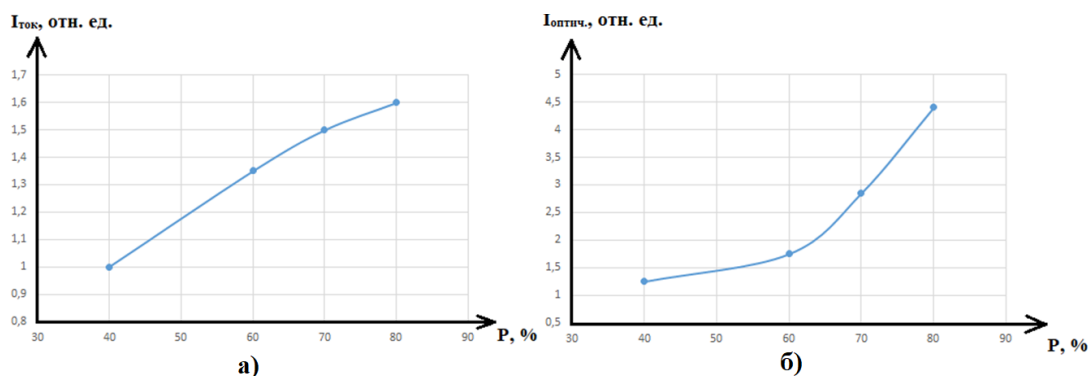


Рисунок 5 – Зависимость тока (а) и оптического сигнала (б) от мощности

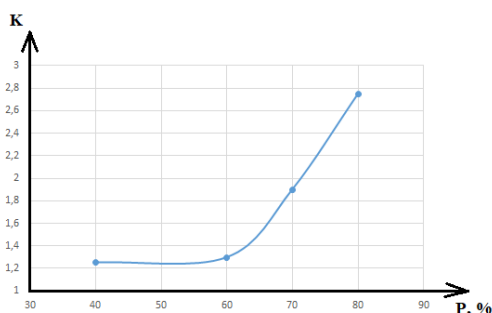


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента $K = I_{\text{ток}} / I_{\text{оптич}}$ от мощности

Заключение. Проведённое исследование, таким образом, показало возможность построения на базе типовых конструктивных элементов бытовых СВЧ печей трёхфазного импульсного мощного источника постоянного тока СВЧ магнетрона с регулировкой мощности в широком диапазоне значений. Такое техническое решение источника питания обладает хорошими массогабаритными характеристиками. Использование подобного источника питания СВЧ магнетрона в составе плазменного СВЧ оборудования позволяет возбуждать разряд в непрерывном режиме, за счет чего могут быть уменьшены временные и энергетические затраты на технологические процессы.

Список литературы

1. Смирнов, К. Д. СВЧ-плазмотрон атмосферного давления малой мощности для прикладных исследований : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.04.13 / К. Д. Смирнов ; НИЯУ МИФИ. М., 2012. – 24 с.
2. Рогожин, К. В. Особенности работы магнетрона с инверторным блоком питания в микроволновых промышленных установках / К. В. Рогожин // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2018. – Т. 1. – С. 510–514.

UDC 533.9.07

INVESTIGATION OF OPERATING MODES OF A THREE-PHASE PULSED MICROWAVE MAGNETRON POWER SUPPLY ON A PLASMA LOAD

Zhavaranak I.A., Tsikhan O.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus (style T-institution)

Madveika S.I. – PhD of Engineering Sciences, associate professor

Annotation. The paper presents the results of experiments on studying the operating modes of a pulsed three-phase microwave magnetron power source on a plasma load. The possibility of the magnetron microwave power adjustment in a wide range of values is shown. The dependence of the optical luminescence of the plasma on the anode current level of the microwave magnetron has been investigated.

Keywords. Inverter power supply, microwave plasma, microwave magnetron..