

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИНТЕЗА ОЗОНА В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОДОВ ИГЛА-ПЛОСКОСТЬ С ИМПУЛЬСНЫМ ПИТАНИЕМ

В.И. Голота, Л.М. Завада, О.В. Котюков, А.В. Поляков, С.Г. Пугач

Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт"

Харьков, Украина

E-mail: zavadal@kipt.kharkov.ua

Представлены результаты исследования электродинамических характеристик безбарьерного разряда с электродами типа игла-плоскость при приложении высоковольтного импульса положительной полярности к острейшему электроду. Определена эффективность синтеза озона в зависимости от длительности и частоты следования импульсов. Показано, что электродинамические характеристики разряда и эффективность синтеза озона в кислородсодержащих газовых смесях существенно зависят от параметров импульсного питания. В качестве высоковольтного коммутатора использовался скоростной высоковольтный полупроводниковый ключ серии HTS-300 фирмы VEHLKE Electronic GmbH (Germany).

PACS: 52.80.-s

ВВЕДЕНИЕ

Использование импульсного однополярного высоковольтного питания позволяет существенно повысить эффективность синтеза озона и снизить массогабаритные характеристики источника высоковольтного питания. Оптимизация параметров импульсного питания может быть решающим фактором широкого распространения озонаторов безбарьерного типа (1,2).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АППАРАТУРА

В настоящей работе исследовались электродинамические характеристики разряда, а также эффективность наработки озона в безбарьерном озонаторе в зависимости от длительности импульса и частоты повторения импульсов при разных расходах рабочего газа. Анодная система реактора состояла из 800 игольчатых электродов, коаксиально расположенных вдоль оси трубчатого катода. Зазор составлял 6 мм. Импульсное питание плазмохимического ре-

актора осуществлялось с помощью высоковольтного импульсного коммутатора серии HTS-300 фирмы VEHLKE Electronic GmbH. В качестве источника рабочего газа использовался генератор кислорода AS-12 фирмы «AirSep». Измерения проводились при двух расходах рабочего газа через реактор: 0,7 и 5 л/мин.

На Рис.1 представлена принципиальная электрическая схема экспериментальной установки. Длительность фронта высоковольтного импульса составляла 27 нс. Полное время спада напряжения на реакторе составляло около 20 мс, т.е время спада напряжения на реакторе соизмеримо с периодом следования импульсов и реактор оказывается подключенным к источнику медленно уменьшающегося во времени высоковольтного напряжения, на фоне которого подаются высоковольтные импульсы с крутым передним фронтом (режим «long»).

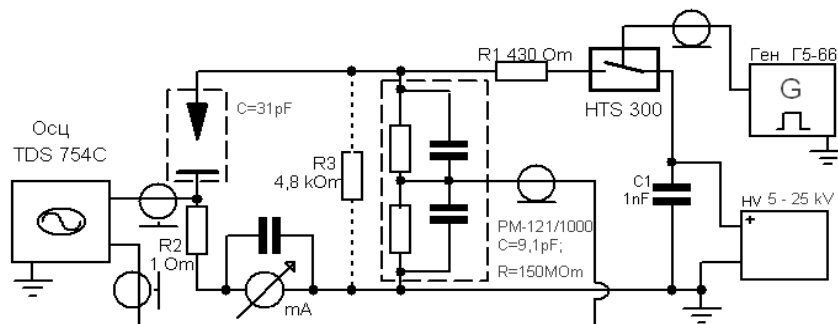


Рис.1. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки

Для уменьшения длительности высоковольтного импульса (режим «short») параллельно реактору подключалось дополнительное разрядное сопротивление R3, что приводило к сокращению времени спада напряжения на реакторе до 250 нс.

В работе исследовались характеристики реактора при трех режимах высоковольтного питания:

- длинные высоковольтные импульсы с крутым передним фронтом (режим «long»);
- короткие высоковольтные импульсы с длительностью 300 нс (режим «short»);
- постоянное напряжение (режим «DC»).

Режим питания реактора постоянным высоковольтным напряжением (режим «DC») достаточно хорошо изучен [3-5] и использовался для сравнения и анализа результатов измерений.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Характерные осциллограммы импульсов напряжения и тока в режиме «short» и «long» представлены на Рис.2. Отметим, что первый импульс на осциллограмме тока через реактор (канал CH4) обусловлен зарядом емкости реактора, и вклад в сред-

ний ток не дает. Второй импульс на осциллограмме тока соответствует собственно току разряда в реакторе, причем в зависимости от режима работы реактора и среднего тока, протекающего через реактор, его форма существенно изменяется. В режиме «long» токовые осциллограммы отображают только ту часть тока разряда, которая соответствует импульсной стадии разряда, часть тока, которая протекает на стадии медленно спадающего напряжения, измерялась отдельно.

Следует отметить, что в режиме «long» разряд в реакторе начинался с большей временной задержкой по отношению к фронту высоковольтного импульса напряжения, чем в режиме «short». Величина задержки уменьшалась с ростом среднего тока через реактор и увеличивалась с ростом частоты следования высоковольтных импульсов и могла достигать нескольких микросекунд. Кроме того, в режиме

«long» форма токового импульса разряда и временная задержка по отношению к фронту высоковольтного импульса напряжения от импульса к импульсу имели не стабильные характеристики. Можно предположить, что наблюдаемые различия электродинамических характеристик в режиме «short» и «long» обусловлены влиянием объемного заряда.

В режиме «short» напряжение на реакторе в период между импульсами отсутствует, что затрудняет процесс рассасывания объемного заряда из разрядного промежутка, поэтому к моменту прихода последующего высоковольтного импульса в разрядном промежутке остаются заряженные частицы. В поле последующего импульса напряжения эти заряженные частицы облегчают условия для зарождения нового стримера, что и приводит к понижению напряжения зажигания разряда по сравнению с режимом «long».

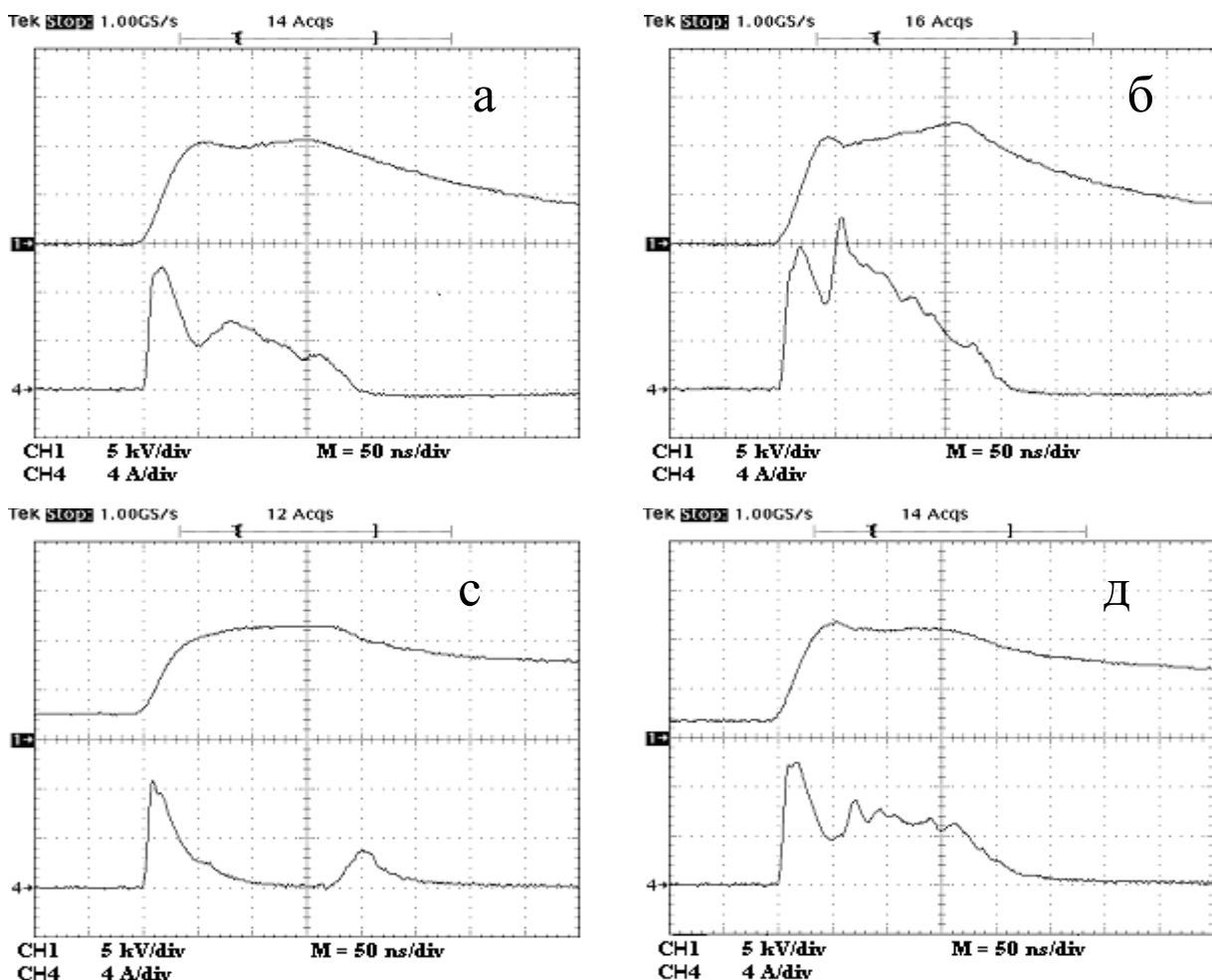


Рис.2. Осциллограмма напряжения на реакторе (CH1 - первый канал осциллографа) и тока через реактор (CH4 - четвертый канал осциллографа) при расходе рабочего газа 5 л/мин и частоте повторения высоковольтных импульсов 333 Гц: а) режим «short», средний ток через реактор 0,2 мА; б) режим «short», средний ток через реактор 0,4 мА; в) режим «long», средний ток через реактор 0,2 мА; д) режим «long», средний ток через реактор 0,4 мА

Следует отметить, что если для режима «short» вся мощность вкладывается в разряд за время прохождения токового импульса, то в режиме «long» мощность, вложенную в разряд можно представить в виде суммы двух вкладов слагаемых:

$$W_{\text{long}} = W_{\text{pulse part}} + W_{\text{DC part}}, \quad (1)$$

$W_{\text{pulse part}}$ – мощность, соответствующая импульсной части разрядного тока; $W_{\text{DC part}}$ – мощность, соответствующая постоянной составляющей тока,

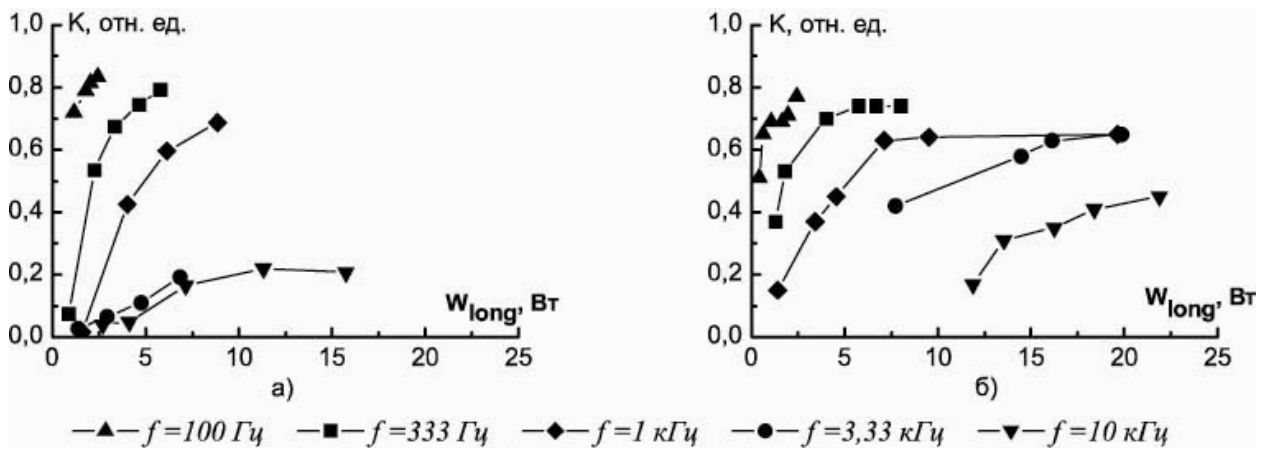


Рис.3. Зависимость относительной величины импульсной составляющей мощности от полной мощности (режим «long»), вложенной в разряд для разной частоты следования высоковольтных импульсов: а) расход рабочего газа 5 л/мин; б) расход рабочего газа 0,7л/мин

который протекает после прохождения импульсной части разрядного тока. На графике Рис.3 представлена зависимость относительной величины импульсной мощности $K = W_{\text{pulse part}} / W_{\text{long}}$ от полной мощности вложенной в разряд в режиме «long» при разных частотах следования высоковольтных импульсов и расходах рабочего газа. Как видно из графиков Рис.3, для режима «long» импульсная часть мощности возрастает с ростом полной мощности вложенной в разряд. Причем, если при низкой частоте следования импульсов питания реактора $W_{\text{pulse part}}$ больше $W_{\text{DC part}}$, то с ростом частоты это соотношение изменяется на обратное.

По экспериментально измеренным значениям вложенной в разряд мощности и концентрации озона на выходе реактора были определены энергозатраты (см. Рис.4) на синтез озона для данного реактора η :

$$\eta = \frac{W}{n_{\text{O}_3} Q}, \quad (2)$$

где n_{O_3} – концентрация озона на выходе реактора, г/м³; Q – расход рабочего газа через реактор, м³/ч.

Анализ данных графиков Рис.4 позволяет сделать следующий вывод, что, как и для мощности, производительность по синтезу озона для реактора в режиме «long» P_{long} можно представить в виде суммы двух независимых процессов:

$$P_{\text{long}} = P_{\text{pulse part}} + P_{\text{DC part}}. \quad (3)$$

$P_{\text{pulse part}}$ – производительность по озону за время прохождения импульсной составляющей мощности $W_{\text{pulse part}}$, когда озон нарабатывается аналогично режиму «short» и, соответственно, энергозатраты на синтез озона одинаковы с режимом «short». Производительность по озону $P_{\text{DC part}}$ соответствует вкладу постоянной составляющей мощности озона.

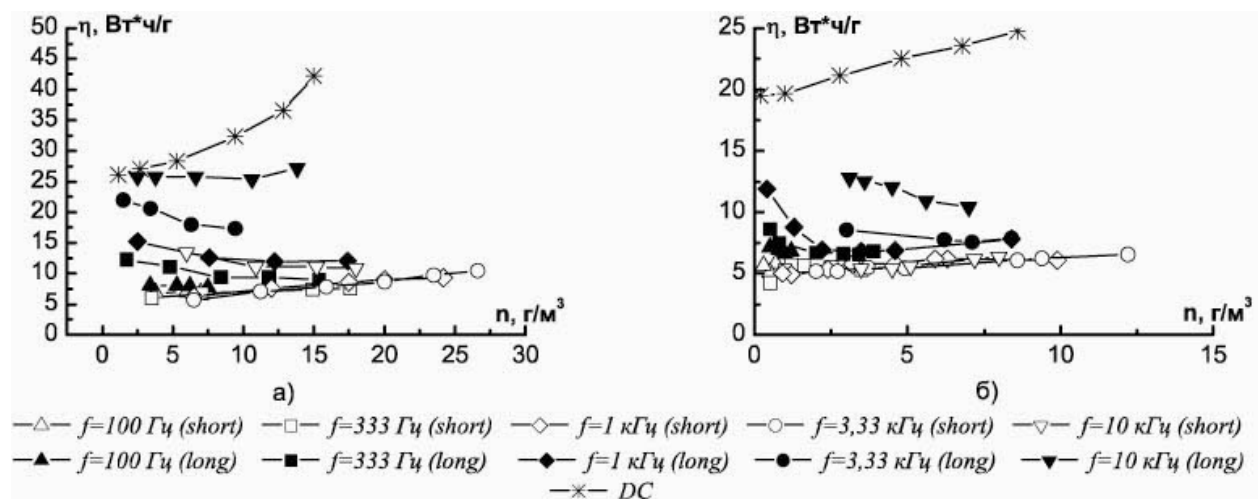


Рис.4. Энергозатраты на синтез озона в зависимости от концентрации озона на выходе реактора: а) расход рабочего газа 0,7 л/мин; б) расход рабочего газа 5 л/мин

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования импульсного безбарьерного разряда в обогащенном кислороде при атмосферном давлении с электродами типа игла-плоскость при приложении высоковольтного импульсного питания положительной полярности к острейшему электроду показали, что при импульсном питании с длительностью высоковольтного импульса 300 нс, разряд в реакторе начинается при напряжении на 20...25% ниже, чем при питании разряда длинными импульсами с резким фронтом нарастания и медленным спадом (порядка 50 мкс). Это обусловлено влиянием остаточного объемного заряда в межэлектродном промежутке к моменту прихода последующего высоковольтного импульса напряжения для коротких импульсов. В то же время для длинных импульсов изоляционные свойства разрядного промежутка к моменту прихода последующего импульса восстанавливаются полностью.

Показано, что при использовании импульсного питания с частотой следования импульсов от 100 Гц до 10 кГц энергозатраты на синтез озона увеличиваются для импульса большей длительности. Это связано с тем, что для импульса напряжения с длительностью больше 300 нс, ток через реактор имеет кроме импульсной еще и достаточно большую постоянную составляющую, вклад которой увеличивается с ростом частоты следования импульсов и уменьшается с увеличением средней мощности, вложенной в реактор.

Было экспериментально подтверждено предположение, что синтез озона при импульсном питании

плазмохимического реактора можно представить как два независимых процесса: импульсная стадия с низкими энергозатратами на синтез озона и стадия медленно спадающего напряжения на реакторе, которой соответствует постоянная составляющая разрядного тока через реактор и высокие энергозатраты на синтез озона. Таким образом, чем больше величина постоянной составляющей разрядного тока реактора, тем выше энергозатраты на синтез озона.

Для коротких высоковольтных импульсов с длительностью меньше 300 нс, энергозатраты на синтез озона составляли 5...6 Вт·ч/г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.А. Горденя. О повышении эффективности генерации озона в стримерном коронном разряде // *Письма в ЖТФ*. 1995, т.21, вып.17, с.28-32.
2. Р.Х. Амиров, Э.И. Асиновский, И.С. Самойлов, А.В. Шепелин. Синтез озона в коронном разряде с комбинированным питанием // *Применение электронных пучков и импульсных разрядов для очистки дымовых газов*. 1991, с.42-46.
3. Л. Леб. *Основные процессы электрических разрядов в газах*. М.-Л.: "Гостехтеориздат", 1950.
4. Д. Мик, Д. Крэгс. *Электрический пробой в газах*. М.: "ИЛ", 1960.
5. В.И. Голота, Л.М. Завада, Б.Б. Кадолин и др. Генерация озона в тлеющем разряде положительной полярности // *Вопросы атомной науки и техники*. 2000, №1, с.58-62.

OZONE SYNTHESIS EFFICIENCY UPGRADING IN THE PULSED POINT-TO-PLANE GAS DISCHARGE

V.I. Golota, L.M. Zavada, O.V. Kotyukov, O.V. Poliakov, S.G. Pugach

Results are reported from the studies into electrodynamic characteristics of the barrierless point-to-plane gas discharge as a HV pulse of positive polarity is applied to the point electrode. The efficiency of ozone synthesis has been determined as a function of the length and repetition frequency of the HV pulse. It has been demonstrated that the electrodynamic characteristics of the discharge and the efficiency of ozone synthesis in oxygen-containing gas mixtures essentially depend on the parameters of HV power supply. A HV switch HTS-300 (BENLKE Electronic GmbH) was used for HV pulse shaping.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИНТЕЗУ ОЗОНУ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОДІВ ГОЛКА-ПЛОЩИНА З ІМПУЛЬСНИМ ЖИВЛЕННЯМ

V.I. Golota, L.M. Zavada, O.V. Kotyukov, O.V. Poliakov, S.G. Pugach

Представлені результати дослідження електродинамічних характеристик безбар'єрного розряду з електродами типу голка-площина при прикладанні високовольтного імпульсу позитивної полярності до острійного електроду. Визначена ефективність синтезу озону в залежності від тривалості та частоти повторення імпульсів. Показано, що електродинамічні характеристики розряду і ефективність синтезу озону в газових сумішах, що вміщують кисень істотно залежать від параметрів імпульсного живлення. Як високовольтний комутатор використовувався швидкісний високовольтний напівпровідниковий ключ серії HTS-300 фірми BENLKE Electronic GmbH (Germany).