

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО КОРОННОГО РАЗРЯДА С РАСШИРЕННОЙ ЗОНОЙ ИОНИЗАЦИИ И АНАЛИЗ ВЫХОДА ОЗОНА ПРИ ОБОСТРЕНИИ ФРОНТА ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ, ПРИВОДЯЩИХ К РАЗРЯДУ, И БЕЗ ОБОСТРЕНИЯ

Бойко Н.И., Борцов А.В., Иванькина А.И.

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния»
Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков, Украина*

Установка позволяет повысить эффективность генерирования озона за счёт обострения фронта импульсов на электродной системе. Обострение осуществляется многозачерным искровым разрядником, способным работать при частоте следования импульсов 2200 имп/с и более. Электродная система в виде коаксиальных пар электродов, состоящих из центрального стержня с коронирующими дисками и внешнего трубчатого электрода, позволяет получить импульсный коронный разряд с расширенной зоной ионизации

Удельные энергзатраты в импульсном коронном разряде (ИКР) не превышают таковые в барьерном разряде [1]. При этом в ИКР возможны существенно большие межэлектродные расстояния (более 1 см), чем в барьерном разряде, где, как правило, эти расстояния не превышают 1 мм. При расстояниях между электродами в ИКР 3 см и более различные объекты могут подвергаться комплексной обработке, в том числе обработке озоном, непосредственно внутри электродной системы, где образуются действующие факторы: сильное импульсное электрическое поле, плазма импульсного коронного разряда и его широкополосное излучение (в том числе ультрафиолетовое), активные частицы (озон, атомарный кислород, электроны, ионы, в том числе -ОН), токи: активный и смещения [2].

Установка, на которой были проведены экспериментальные исследования по наработке озона в ИКР с расширенной зоной ионизации, состоит из сильноточного тиристорного генератора, повышающего импульсного трансформатора с выходным напряжением до 100 кВ, обострительной ёмкости, обостряющего искрового многозачерного разрядника, системы коронирующих электродов, системы продува

воздуха. Схема установки приведена на рис. 1.

Электродная система выполнена коаксиальной многодисковой. При работе установки полярность коронирующих дисков – положительная. Электродная система состоит из семи пар коаксиальных электродов. Внешний (низковольтный) электрод каждой пары – трубчатый с внутренним диаметром 150 мм. Внутри каждого трубчатого

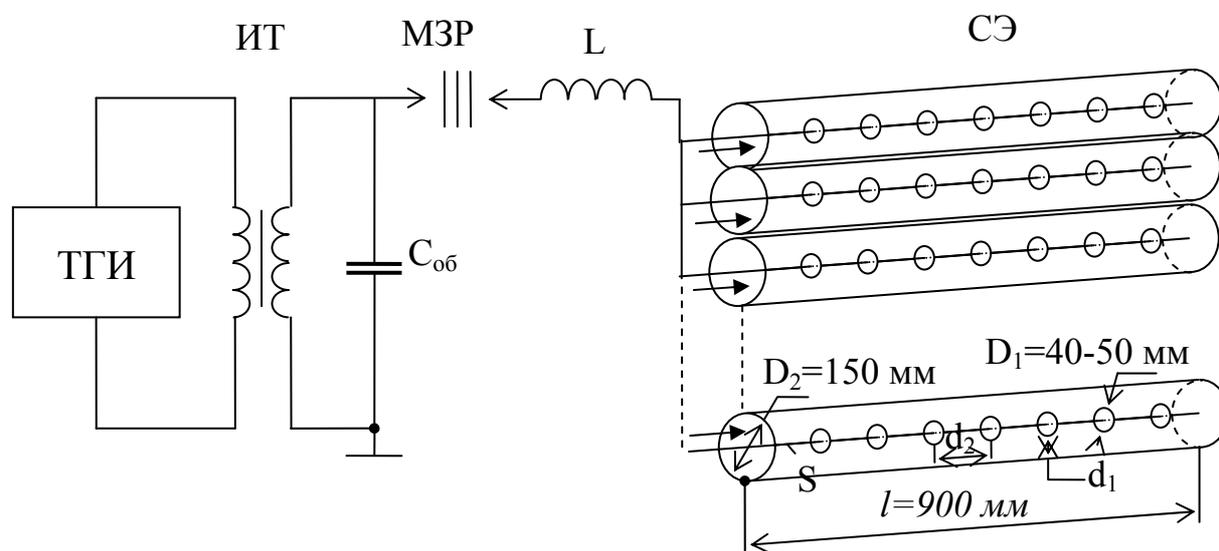


Рис. 1 Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки с обострителем фронта импульсов: ТГИ – тиристорный генератор импульсов; ИТ – импульсный трансформатор; $C_{об}$ – обострительная ёмкость; МЗР – многозазорный обостряющий искровой разрядник; L – индуктивность подсоединения $C_{об}$ к электродной системе; СЭ – электродная система; D_1 – диаметр тонкого высоковольтного коронирующего диска; D_2 – диаметр внешнего низковольтного трубчатого электрода; S – осевой стержень, на который нанизаны коронирующие диски; l – длина коаксиальных электродов; d_1 – расстояние от кромки коронирующего дискового электрода до внешнего трубчатого электрода; d_2 – расстояние (шаг) между двумя соседними дисковыми электродами; стрелками указано направление продува воздуха через электродную систему.

электрода расположен высоковольтный электрод в виде стержня с нанизанными на него (с шагом $8 \div 20$ мм) круглыми металлическими дисками диаметром 50 или 70 мм, толщиной 11 мкм.

Импульсный трансформатор работает по схеме Тесла.

Искровой разрядник содержит 14 зазоров и, соответственно, 15 электродов в виде

дисков. Искровой разрядник позволяет обострить (укоротить) фронт импульсов напряжения на электродной системе до $2 \div 10$ нс и вплоть до субнаносекундного диапазона. Параллельное включение коаксиальных пар электродов позволяет увеличить общий ток в нагрузке – электродной системе.

Сырой (неосушенный) воздух подавался в электродную систему при помощи компрессора. Для измерения расхода воздуха использовался расходомер газа, установленный на выходе электродной системы. Для измерения концентрации полученного озона на выходе электродной системы отдельным газоотводом подключался анализатор озона «Циклон – 5.11».

Удельные энергозатраты, полученные на экспериментальной установке, составили не более $50 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{г O}_3$ в неосушенном воздухе. В эти энергозатраты входят потери на нагрев магнитопровода и обмоток импульсного трансформатора.

Экспериментально получена концентрация до $7,5 \text{ г O}_3 / \text{м}^3$ (максимальная концентрация на минимальном протоке (расходе) неосушенного воздуха).

В режиме с обострением фронта импульсов получена амплитуда тока в электродной системе в килоамперном диапазоне, большая часть которого – ёмкостный ток (ток смещения), а меньшая часть – активный ток коронного разряда.

Произведена экспериментальная оценка зависимости производительности установки по генерированию озона и удельных энергозатрат на его производство в зависимости от следующих факторов: наличия или отсутствия обострения фронта импульсов на электродной системе; количества пар коаксиальных электродов (осевой стержень с нанизанными на него дисками и внешняя соосная с ним труба), соединённых в электродной системе параллельно (см. рис. 1); величины шага между соседними дисками высоковольтного стержневого электрода; внешнего диаметра дисков на стержневом электроде.

При наличии обострения фронта импульсов на электродной системе производительность по озону и концентрация озона возрастают примерно на 20%, а удельные энергозатраты уменьшаются примерно на 20% по сравнению с вариантом без обострения.

С увеличением количества пар коаксиальных электродов, включённых в электродной системе параллельно, от 1 до 2 производительность установки по озону возрастает примерно вдвое, а при дальнейшем увеличении с 2 пар до 5 производительность возрастает ещё в 1,5 раза. При этом удельные энергозатраты с ростом количества пар коаксиальных электродов уменьшаются.

С уменьшением шага между соседними дисками высоковольтного электрода с

20 мм до 8 мм производительность по озону выросла примерно на 30%. При шаге 8 мм достигнута производительность 4,5 г озона на погонный метр коаксиальных электродов при расстоянии 40 мм от коронирующей кромки диска до низковольтного трубчатого электрода. При увеличении этого расстояния от 40 мм до 50 мм за счёт уменьшения диаметра коронирующих дисков с 70 мм до 50 мм производительность по озону и его концентрация уменьшаются.

Поскольку толщина коронирующих дисков составляет 11 мкм, а шаг между ними, который использовался в экспериментах, - не менее 8 мм, то в дальнейшем уменьшении шага есть резерв для увеличения производительности установки по озону и для уменьшения удельных энергозатрат на его генерирование.

Следует отметить, что при переходе от режима без обострения к режиму с обострением визуально меняется характер сиренево-синего свечения импульсного коронного разряда в электродной системе. Оставаясь равномерно распределённым между коронирующими дисками, оно у каждого диска становится более однородным с меньшим количеством стримерных (или стримероподобных) шнурованных каналов. При использовании обострения импульсный коронный разряд с расширенной зоной ионизации, наличие которого обеспечивается используемой в данной установке электродной системой, более стоек к переходу в искровой разряд. Отдельные искровые разряды, следующие с частотой примерно 1 разряд в минуту, на фоне ИКР в электродной системе, следующих с частотой примерно 1000 разрядов в секунду, не являются опасными для установки, а лишь подчёркивают достаточный уровень напряжения и напряжённости в электродной системе. Зона ионизации полученного ИКР занимает примерно половину внутреннего объёма электродной системы и практически всю длину разрядного промежутка, составляющего 40÷50 мм. Экспериментально проверено, что обостряющий многоазорный искровой разрядник способен работать при максимальной частоте следования импульсов не менее 2200 имп/с.

При наличии обострения фронта импульсов до единиц наносекунд и менее и короткой длительности самих импульсов не успевает образоваться объёмный заряд в разрядном промежутке, приводящий к возникновению поля, противодействующего внешнему полю. Основными носителями зарядов при протекании тока в ИКР с расширенной зоной ионизации становятся электроны, а не ионы, в результате чего достигается увеличение активного тока коронного разряда до 1 А и более.

Эксперименты показали, что защита полупроводникового (тиристорного) генератора от мощных электромагнитных наводок (помех), источником которых является искровой разряд, представляет собой серьёзную задачу.

Способ генерирования озона при помощи импульсного коронного разряда с расширенной зоной ионизации и устройство для его осуществления защищены двадцатилетними патентами на изобретение № 71940 Украины и № 2211800 Российской Федерации.

Литература

1. Коробцев С.В., Медведев Д.Д., Ширяевский В.Л. // Вопросы применения и получения озона. – М.: Информационный центр «Озон», 1997, вып. № 7 (1), с. 35-45.
2. Бойко Н.И., Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Иванов В.М., Иванькина А.И., Тур А.Н. // Электротехника и электромеханика, 2004, № 3, с. 98-104.