

УДК 537.523.9

**О природе колебаний тока в газовом разряде с жидким электролитным катодом**

Х.К.Тазмеев, доц., tazmeevh@mail.ru, И.М.Арсланов, ст.преп., Г.Х.Тазмеев,  
студент

Филиал ФГАОУ ВПО КФУ в г. Набережные Челны

Исследованы колебания тока в газовом разряде с жидким электролитным катодом и анализированы причины их возникновения. Исследования проведены в диапазоне токов 4-21 А при межэлектродных расстояниях 5-15 см для различных вариантов конструктивного исполнения катодного узла.

Ключевые слова: газовый разряд, жидкий электрод, электролитный катод, колебания тока.

Введение.

Газоразрядные устройства с жидкофазными электродами являются динамическими системами, в которых могут возникнуть различные виды колебаний. В частности, под воздействием газового разряда может образоваться регулярная рябь на поверхности электролитного катода [1] или анода [2]. При определенных условиях разряд с жидким катодом переходит в автоколебательный режим [3]. Высокочастотные колебания тока и напряжения обнаружены в разряде, горящем между двумя жидкими электродами [4]. В данной работе излагаются результаты осциллографических исследований электрических характеристик газового разряда с жидким электролитным катодом в широких диапазонах изменения тока и межэлектродного расстояния.

## Эксперимент.

Опыты проводились на установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.

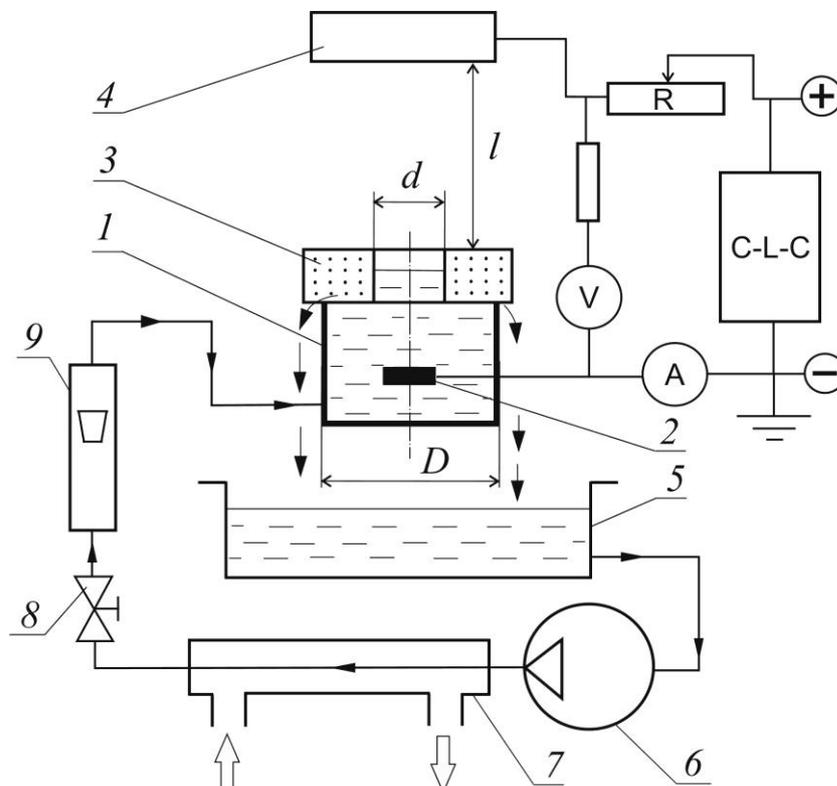


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки. Стрелками указано направление движения электролита.

Электролит вытекал из вертикального цилиндрического канала *1*, внутри которого был смонтирован графитовый токоподвод *2*. На выходном торце цилиндрического канала *1* устанавливалась пластина *3* из огнеупорного пористого материала, выполненная в виде шайбы. Разряд горел в воздушном пространстве между электролитом и размещенным над ним металлическим электродом-анодом *4*.

В качестве электролита использовались водные растворы поваренной соли с удельной электрической проводимостью  $\sigma = (1,5-2,0)$  См/м. Источником питания служил трехфазный двухполупериодный выпрямитель.

Пульсации напряжения сглаживались П-образным фильтром. Ток менялся ступенчатым варьированием балластного сопротивления, подключенного в цепь питания. Для измерения тока использовался стрелочный прибор М2015 класса точности 0.2. Напряжение  $U$  между графитовым токоподводом 2 и анодом 4 измерялось такого же класса точности прибором М2016, к которому присоединялось добавочное сопротивление. Для фотографирования разряда использовалась скоростная камера ВИДЕОСКАН-415. Осциллограммы записывались двухлучевым запоминающим осциллографом АКИП-15/1. Изучение частотного спектра колебаний проводилось при помощи осциллографа в режиме быстрого преобразования Фурье (БПФ) с усреднением последовательных записей осциллограмм в разных вариантах. Предварительно были определены характеристики шумов в системе «источник питания – газоразрядный узел». При этом, с целью более полного охвата возможных возбудителей шумовых сигналов, газоразрядный узел подсоединялся к системам циркуляции электролита и охлаждения, находящихся в рабочих режимах.

#### Результаты и их обсуждение.

На рис. 2 приведены осциллограммы тока и напряжения с разверткой в миллисекундах для разных вариантов исполнения катодного узла при различных токах и межэлектродных расстояниях  $l$ . Как видно, во всех случаях присутствуют нерегулярные низкочастотные колебания тока. В случае свободной поверхности электролита они явно происходят в противофазе колебаниям напряжения (рис. 2а, 2б и 2в). Согласно закону Ома такая взаимосвязь между током и напряжением может устанавливаться из-за изменения электрического сопротивления газового разряда.

Наиболее вероятной причиной возникновения низкочастотных колебаний электрических параметров газового разряда является изменчивость формы и размеров плазменного столба. Такое свойство газового разряда отчетливо наблюдается на его мгновенных фотоснимках

(рис. 3). Движущийся электролит непрерывно перемещает зону привязки разряда. При этом случайным образом меняются геометрия разряда и его пространственное положение. Поскольку столб плазмы газового разряда является проводником, при его деформировании происходит изменение электрического сопротивления, которое в свою очередь приводит к изменениям тока и напряжения.

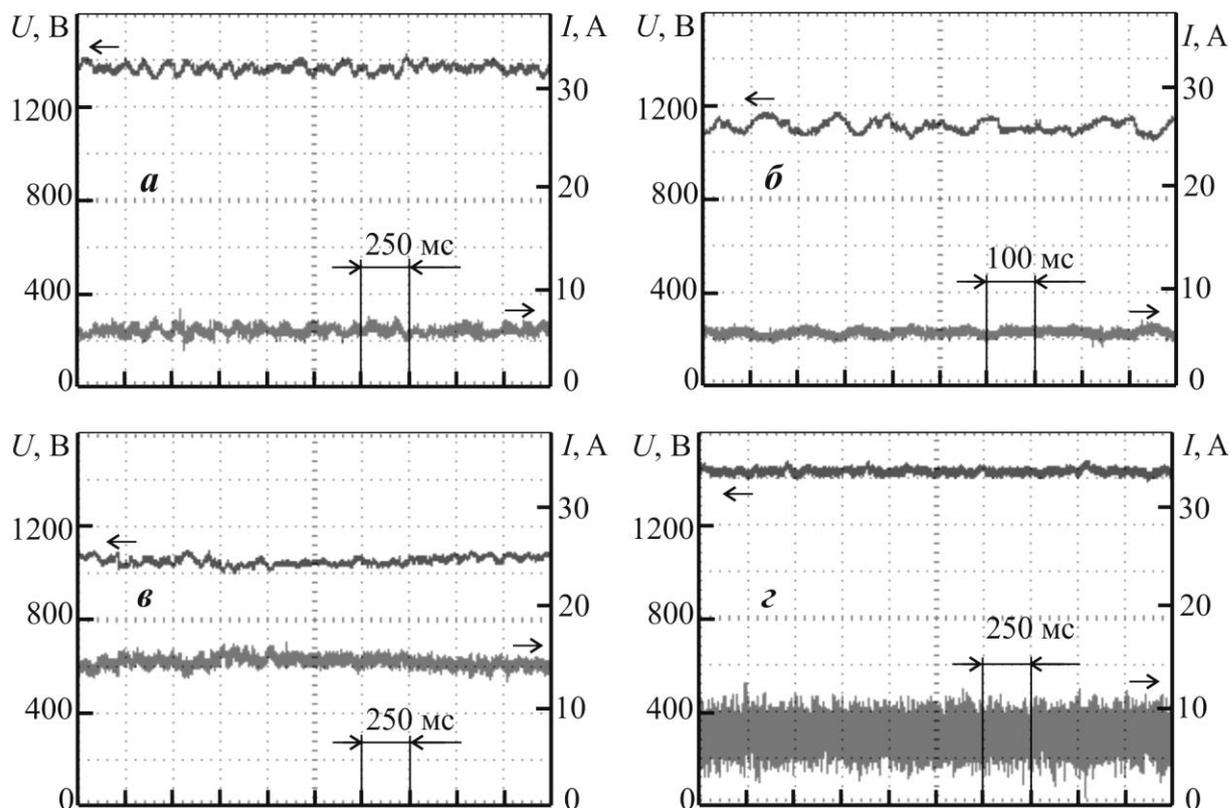


Рис. 2. Осциллограммы токов и напряжений.

$a - D = 20$  мм,  $l = 10$  см;  $б - D = 75$ ,  $l = 10$ ;  $в - D = 75$ ,  $l = 5$ ;  $г - d = 23$  мм,  $l = 10$  см.

Визуальные наблюдения показали, что под воздействием газового разряда на поверхности электролита возникают волнения. Они хорошо заметны в варианте катода с широкой рабочей поверхностью. По-видимому, такие волнения служат причиной появления плавных медленных изменений тока и напряжения. Интервал времени, в котором происходят подобные процессы, зафиксирован на осциллограмме, представленной на рис. 2в.

Существенно влияет на ток и напряжение принудительное ограничение площади зоны привязки разряда к электролиту с помощью пористой огнеупорной пластины (рис. 2з). В этом случае амплитуда низкочастотных колебаний напряжения становится пренебрежимо малой по сравнению с его номинальным значением.

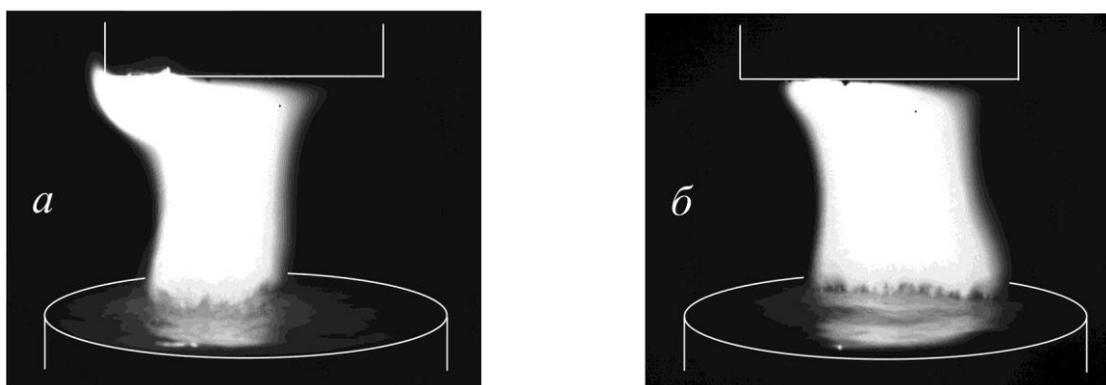


Рис. 3. Фотографии газового разряда.

Экспозиция 196 мкс. Белыми линиями обозначены внешние очертания анода и стенки канала, из которого истекает электролит.  $D = 75$  мм,  $l = 5$  см,  $I = 4$  А,  $U = 840$  В.

Осциллограммы, записанные с разверткой в наносекундах, явно демонстрируют наличие высокочастотных колебаний тока (рис. 4). Амплитуда таких колебаний сравнима со средним значением тока  $\langle I \rangle$  и в значительной степени зависит от конструктивного исполнения катодного узла, что отчетливо видно из сравнения осциллограмм тока, приведенных на рис. 4а и 4б. В случае катода со свободной поверхностью электролита максимальная амплитуда составила порядка 10% от  $\langle I \rangle$ , а при наличии ограничительной пористой пластины она достигала до 35%. Анализ колебаний с использованием режима БПФ осциллографа показал, что в обоих вариантах конструктивного исполнения катодного узла частота колебаний находится в интервале от 3 до 15 МГц.

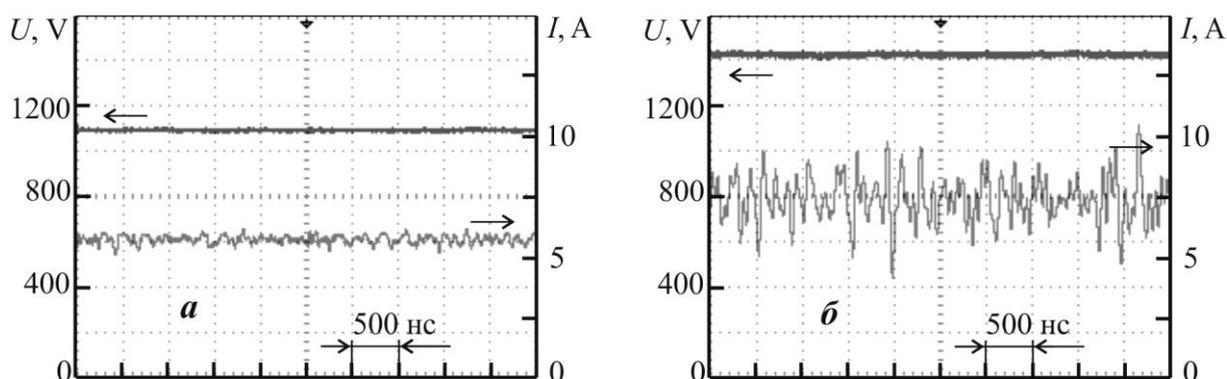


Рис. 4. Осциллограммы токов и напряжений.  $l = 10$  см.

*a* – электролит истекает из цилиндрического канала с диаметром  $D = 75$  мм;  
*б* – на выходе канала установлена пористая пластина с отверстием  $d = 23$  мм.

Фотографирование с помощью скоростной видеокамеры с малой экспозицией выявило неоднородную структуру зоны привязки разряда к электролиту. На фотографиях отчетливо проявилась, что привязка разряда к электролиту является многоточечной и, причем, очень динамичной. Количество точек привязки непрерывно меняется, одни из них исчезают, а другие возникают. Очевидно, что разрядный ток складывается из микротоков, проходящих через отдельные точки привязки. Поскольку микротоки быстротечно меняются случайным образом, возникают пульсации суммарного разрядного тока. По всей вероятности, в этом заключается основная причина возникновения высокочастотных колебаний тока.

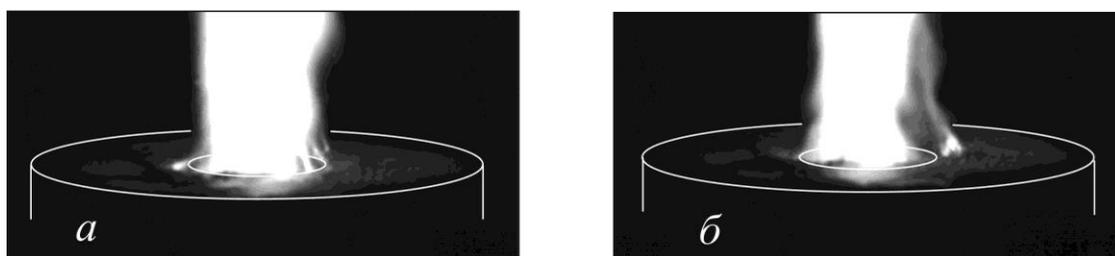


Рис. 5. Мгновенные фотографии прикатодной области плазменного столба. Белыми линиями обозначены очертания пористой пластины. Экспозиция 67 мкс. Интервал между кадрами 125 мс.  $d = 23$  мм.  $\langle I \rangle = 6$  А.

Наличие на поверхности электролита пористой пластины осложняет условия формирования зоны привязки разряда. Как видно из рис. 5, точки привязки возникают и на влажной поверхности пластины. На рис. 5а их количество больше по сравнению с рис. 5б. По-видимому, из-за быстротечного изменения количества точек привязки усиливаются пульсации тока.

#### Выводы.

1. Выявлено образование низкочастотных и высокочастотных колебаний тока в газовом разряде с жидким электролитным катодом.

2. Низкочастотные колебания тока вызваны изменением геометрии плазменного столба газового разряда.

3. Наличие высокочастотных колебаний обусловлено тем, что привязка газового разряда к жидкому электролиту является многоточечной и динамичной.

4. Колебания тока в мегагерцовом диапазоне являются неотъемлемым свойством газового разряда с жидким электролитным катодом.

#### Литература

1. Вялых Д.В., Дубинов А.Е., Михеев К.Е. и др. Устойчивость границы раздела «жидкий электролит – плазма тлеющего разряда» // Химическая физика. 2005. Т. 24, №8. С. 96-98.
2. Гайсин А.Ф., Сон Э.Е. Об особенностях многоканального разряда с твердым и электролитическими электродами при атмосферном давлении // ТВТ. 2007. Т. 45, №2. С. 316-317.
3. Петров Г.П., Сальянов Ф.А., Меркурьев Г.А. Исследование разряда с жидким катодом // Труды КАИ. 1974. Вып. 173. С. 11-15.
4. Tazmееv V.Kh., Khairullin A.Kh. High voltage discharge between two fluids (upto 2 kW). Fifth European Conference on Thermal Plasma Processes. 13-16 July, 1998. St. Petersburg. P. 63.