

## БАРЬЕРНЫЙ РАЗРЯД НА ПОДВИЖНОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ

*В данной работе приведены результаты исследований барьерного разряда на подвижном диэлектрике при переменном напряжении. Изучены частота автовращения ротора и электрические характеристики разряда.*

**Введение.** Электростатический двигатель представляет собой диэлектрический ротор, помещённый в электрическое поле высокой напряжённости. Явление вращения диэлектриков в электрическом поле открыто давно. Первым наблюдал данное явление Г.Герц в 1881 году. В этих опытах шар из диэлектрика, подвешенный на нити, отклонялся на определённый угол, если он находился между двумя металлическими пластинами, имеющими высокую разность потенциалов [1].

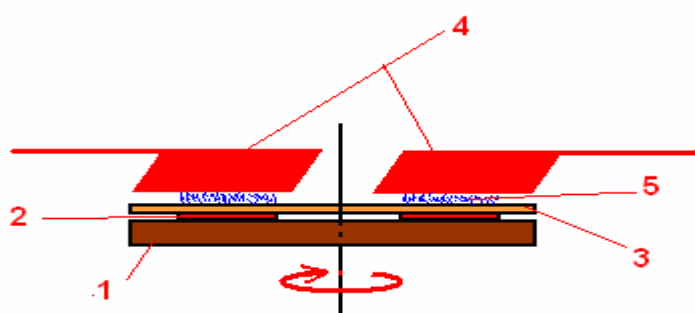
Принцип действия диэлектрического (электростатического) двигателя основан на так называемом кулоновском взаимодействии электрических зарядов и поляризации диэлектриков в электрическом поле. Образовавшиеся в воздухе положительные ионы отталкиваются от положительного электрода статора, устремляются к отрицательно заряженной поверхности диэлектрического ротора и оседают, закрепляются на ней. То же самое происходит и с отрицательными зарядами около отрицательного электрода. В результате под положительным электродом появляются закрепившиеся на поверхности ротора положительные ионы, а под отрицательным – отрицательные. Между электродами статора и ротора возникают кулоновские силы отталкивания  $F$ , которые и приводят ротор во вращение. Через некоторое время после того, как ротор начал вращаться, часть его поверхности с положительными ионами оказывается под отрицательным электродом, а другая часть – под положительным. Происходит перезаряд поверхности диэлектрика. Силы отталкивания продолжают действовать на ротор. При работе электростатического двигателя вырабатывается озон [1].

В [2] показано, что электростатический двигатель работает на основе коронного разряда. Отметим, что если электростатический двигатель работает на переменном токе тогда между ротором и статором может возникать и барьерный разряд [3].

В [4,5] рассмотрен электростатический двигатель при постоянном напряжении. Оценены его электростатические и энергетические характеристики, а также частота вращения ротора. Этот разряд изучается нами как с точки зрения интересных физических процессов, связанных с оседанием зарядов на подвижном диэлектрике (ПД), его взаимодействии с электродами, так и с практического использования этого устройства для озонирования воздуха в помещениях (стерилизации).

В данной работе изучается барьерный разряд атмосферного давления на электростатическом двигателе при переменном напряжении. Определены частота автовращения ротора. Исследованы вольт-кулоновские характеристики (ВКХ) разряда.

### 1. Экспериментальная установка и методы измерений.



представляет собой диэлектрический диск 1, на котором имеется кольцеобразная медная дорожка 2, покрытая диэлектрической плёнкой 3, над которой располагаются восемь ножеобразных электродов 4, к которым подаётся высокое переменное напряжение  $\approx U$  и

Рис. 1. Барьерный разряд на подвижном диэлектрике (вид сбоку).

возникает разряд 5. В данной установке межэлектродный зазор равнялся  $d = 0,8$  мм, расстояние между каждыми электродами  $L = 25$  мм, толщина диэлектрической плёнки  $\delta = 0,01$  мм.

При подаче достаточно высокого напряжения разряд с электродов идёт на поверхность, при этом на плёнку оседают заряды. Заряды на поверхности плёнки имеют тот же знак, что и данный электрод. Поэтому между электродами и осевшими зарядами возникают кулоновские силы отталкивания, которые приводят во вращение ротор. Чем больше напряжения питания, тем больше величина тока и тем больше скорость вращения ротора [3]. Визуальные наблюдения показывают, что разряд имеет фиолетовый цвет и состоит из стримеров, которые направлены от электродов в сторону противоположную движению ротора.

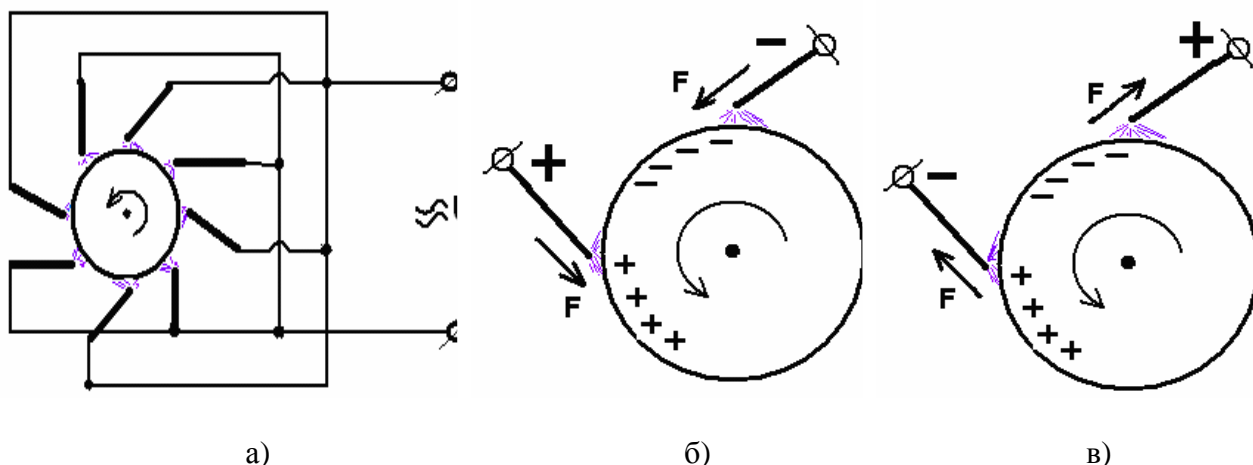


Рис.2. а) общий вид питания установки; б, в) возникновение переменных сил.

Особенность при питании установки переменным напряжением рис. 2. а) в отличие от питания постоянным заключается в том, что при переменном напряжении действуют и переменные силы, вращающие ротор, то есть при смене полярности напряжения электростатические силы изначально направлены так, чтобы вращать ротор, затем они же направлены против вращения ротора рис. 2.б,в), а это ведёт к уменьшению частоты автовращения ротора, и уменьшению КПД установки.

Частота вращения ротора определяется следующим образом: на ротор устанавливается зеркальце, которое отражает лучи от источника света на фотоэлемент. На фотоэлементе вырабатывается ЭДС, фиксируемое на осциллографе и таким образом, зная время развёртки осциллографа, определяется частота вращения ротора.

Электрическая схема регистрации вольт-кулоновской характеристики (ВКХ) приведена на рис.3.

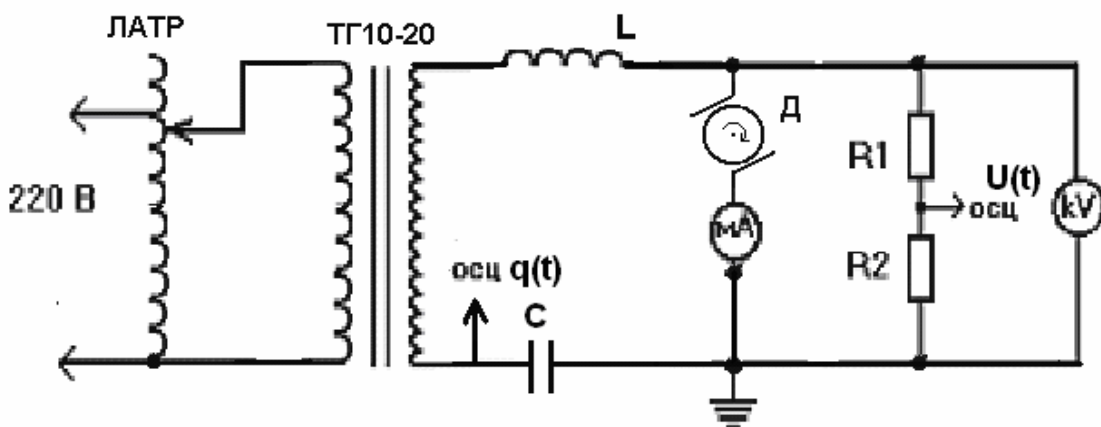


Рис.3. Электрическая схема измерений. ЛАТР – лабораторный автотрансформатор РН, ТГ1020КУ-2 – высоковольтный трансформатор,  $L$  – встроенная индуктивность,  $K_d = R1/R2 = 205$  – делитель напряжения,  $C = 388$  мкф – измерительная ёмкость  $D$  – барьерный разряд на подвижном диэлектрике.

Широкое распространение получил метод измерения активной мощности по

площади циклограмм в вольт-кулоновской характеристике, впервые предложенный Менли [6].

Так как величины  $q(t)$  и  $U(t)$  связаны между собой линейно в координатах заряд-напряжения, то зависимость  $q(U)$  будет представлять собой замкнутую фигуру, площадь которой численно равна величине энергии, выделенной в разряде за период приложенного напряжения [6].

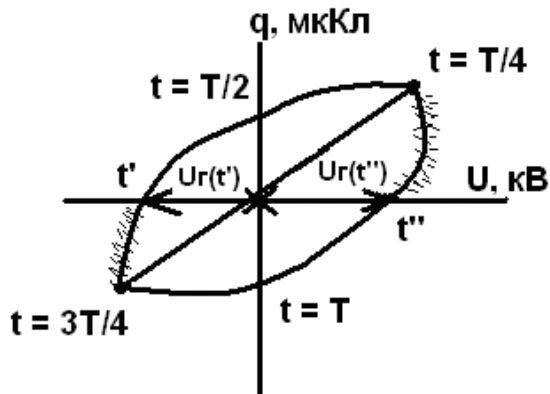


Рис.4. Циклограмма барьерного разряда при  $U_{эф} = 4,6$  кВ.

Для определения активной мощности  $W_{ак}$  БР, были сняты несколько циклограмм  $q(U)$ : при  $U_{эф} = 3,9$  кВ, 4,6 кВ, 5,5 кВ, 6,1 кВ, 7,8 кВ, 8 кВ. Вид циклограммы  $q(U)$  рис. 4, отличается от классического барьерного разряда [6]. Из рис.4 хорошо видны высокочастотные составляющие тока, так называемые «усы».

Рассмотрим на примере нахождение активной мощности по циклограмме при  $U_{эф} = 4,6$  В. Находим  $\Delta q$  и  $\Delta U$  значения заряда и напряжения соответствующие 1см на циклограмме, затем по формуле

$$W_{ак} = qU/T = qUS^v,$$

найдем что на 1 см<sup>2</sup> циклограммы

приходится  $\Delta W_{ак}$  мощности.

Подсчитав площадь циклограммы в квадратных сантиметрах, найдем активную мощность для всей циклограммы:  $W_{ак} = 0,06$  Вт.

Аналогично находим активную мощность при других значениях напряжения  $U_{эф}$ .

## 2. Результаты и анализ измерений:

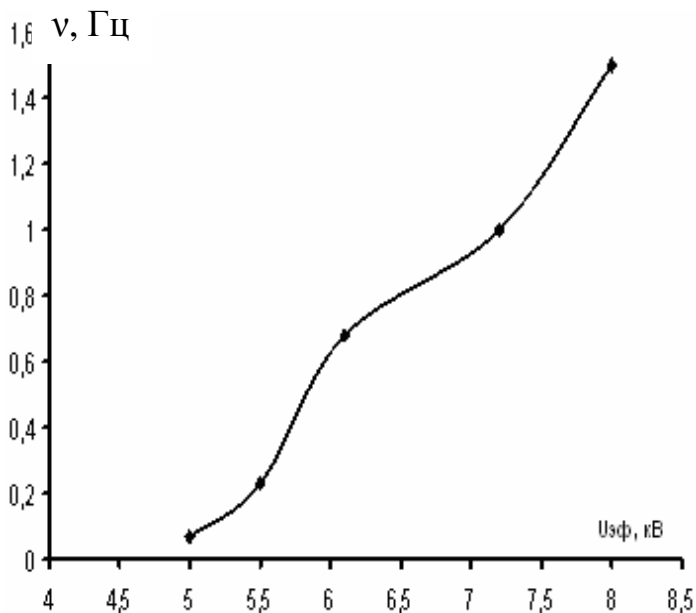


Рис.5. Зависимость частоты вращения ротора от эффективного напряжения

На рис. 5. представлена зависимость частоты автовращения ротора от приложенного напряжения. Из графика видна практически линейная зависимость частоты от напряжения. При увеличении напряжения увеличивается количество осевших на диэлектрик ротора зарядов, что приводит к росту кулоновского взаимодействия и соответственно увеличению частоты вращения ротора. Это с одной стороны, с другой стороны, с увеличением напряжения увеличивается действие электрического ветра, которое должно уменьшать частоту вращения ротора [2], поэтому этот вопрос остаётся открытым. Из рисунка также видно, что максимальная частота составляет около 1,6 Гц, тогда как при

питании установки постоянным напряжением она составляла около 19 Гц [4,5]. Возможно, это связано с влиянием переменных электростатических сил.

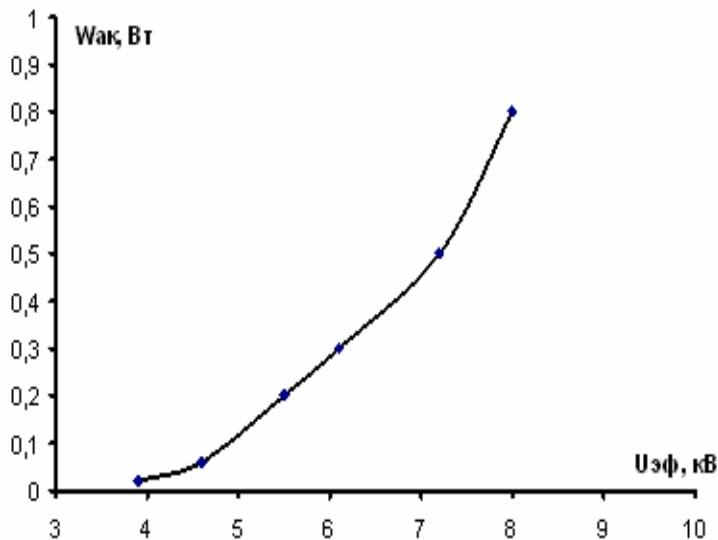


Рис.6. Зависимость активной мощности  $W_{ак}$  от эффективного напряжения  $U_{эф}$ .

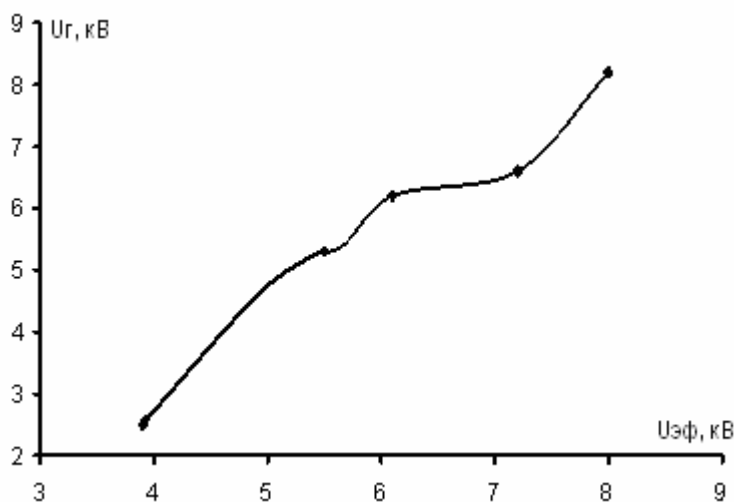


Рис.7. Зависимость максимального напряжения горения  $U_{г}$  от эффективного напряжения  $U_{эф}$ .

Из рис.7 видно, что с повышением эффективного напряжения  $U_{эф}$  напряжение горения  $U_{г}$  растёт нелинейно.

### Выводы

1. Определена частота ротора при автовращении.
2. По циклограммам ВКХ определены активная мощность  $W_{ак}$ , а так же максимальные напряжения горения  $U_{г}$  барьерного разряда.

Авторы выражают благодарность и признательность профессору В.С. Энгельшту за предложенную тему.

### Литература

1. Пасынков В., Окунев Ю. Что же изобретено? //Техника молодёжи, №12, 1983, с. 42.
2. Токарев А.В., Юданов В.А. Электростатический двигатель. -Бишкек, КРСУ, 2003, с 7.
3. Журавлев О.А., Шепеленко А.А. Однородный поверхностный разряд в воздухе атмосферного давления. // Тезисы доклада VII конференции по физике газового разряда. –Самара: СГАУ, 1994, с.78-79.

На рис. 6 показана зависимость активной мощности  $W_{ак}$  от эффективного напряжения  $U_{эф}$ . Из графика видно, что зависимость не является линейной, причём рост  $W_{ак}$  от  $U_{эф}$  близок к некой квадратичной функции.

Напряжение горения разряда  $U_{г}$ , является одной из основных характеристик БР. Одним из эффективных методов определения  $U_{г}$  является вычисление его по ВКХ.

При определении напряжения горения разряда  $U_{г}$  из циклограммы, имеем в виду то, что отрезок, отсекаемый средней линией циклограммы  $3/4T \div 1/4T$  при фиксированном значении  $q$  и есть напряжение горения разряда  $U_{г}$  [7]. На рис.7 определены максимальные напряжения горения разряда  $U_{г}$  на подвижном диэлектрике, при разных эффективных напряжениях.

4. Боромбаев М.К., Мамутов Р.Р., Адырбеков А. Электростатический двигатель при постоянном напряжении. // КТУ, Образование через науку. Мат. междун. научно-технического симпозиума. Т.1. -Бишкек, 2004, с.277-280.
5. Мамутов Р.Р., Боромбаев М.К. //Электростатический двигатель. //Вестник ИГУ, - Каракол, №15, 2006, с.51-55.
6. Филиппов Ю.В., Емельянов Ю.М. Теория динамических характеристик озонаторов // Физическая химия. 31-1957-с.1627.
7. Боромбаев М.К., Шаршембиев К.А., Энгельшт В.С. Барьерно-поверхностный разряд на двухжильном проводе. // Вестник КРСУ, Т.2., № 2, -Бишкек, 2002, с. 53-58.