

ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭСГД

А. М. КУПЦОВ, М. Н. ЛИСЕЦКАЯ

(Представлена научным семинаром кафедры теоретических основ электротехники
и лаборатории роторных ЭСГ НИИ ЯФ)

Электростатические генераторы с транспортером-диэлектриком (ЭСГД) используются в ряде отраслей промышленности [1]. Однако ввиду малой мощности область их применения весьма ограничена. Увеличение мощности ЭСГД может быть достигнуто как за счет улучшения технологии изготовления (уменьшение зазоров ротор — статор и ротор — ионизатор, применение материалов с большой электрической прочностью и проницаемостью), так и за счет качественных изменений в конструкции. Последнее, как правило, становится возможным после тщательного анализа его рабочих процессов.

Несмотря на то, что ЭСГД уже долгое время выпускаются промышленностью, его рабочие процессы изучены недостаточно. В частности, нет ясности в коммутационных процессах [2, 3].

Известно [2—3], что коммутация в ЭСГД, обеспечивая на диэлектрик ротора нанесение и съем зарядов, создает в соответствующей цепи напряжение и ток. При этом предполагается, что в нагрузке ток создается за счет разрядки заряженного транспортера (диэлектрика ротора) на сопротивление нагрузки [2].

Для генераторов с транспортерами-проводниками вопросы коммутации рассматривались в [4, 5]. Там было показано, что такой упрощенный подход в рассмотрении коммутационных процессов не является оправданным.

В связи с этим в данной статье предпринята попытка подобного [4—5] экспериментального исследования с целью уточнения характера коммутационных процессов в ЭСГД.

Для исследования использовался однодисковый электростатический генератор, диск которого изготовлен из эпоксидной смолы. Диаметр диска—140 мм, толщина—1 мм. Скорость вращения диска—2780 об/мин. Схематически генератор с элементами измерительной схемы показан на рис. 1. На схеме условно изображены индукторы, щетки-ионизаторы, выполненные в виде узких ножей, и измерительные сопротивления.

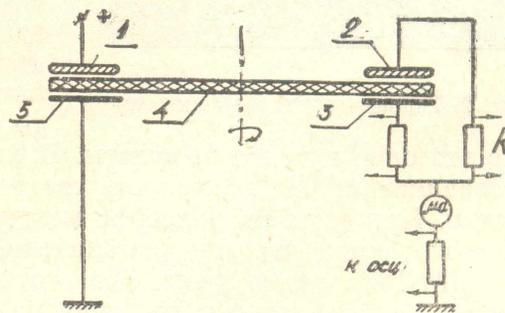


Рис. 1. Схема осциллографирования токов: 1, 2 — индукторы возбуждения и разрядный; 3, 5 — щетки разрядная и зарядная; 4 — ротор

Генератор работал в режиме короткого замыкания. Для увеличения тока нагрузки и для устранения возможности пробоя с высоковольтного индуктора возбуждения на щетку при повышении напряжения возбуждения индукторы были покрыты тонкими изолирующими пластинами.

Методика исследования, результаты которого излагаются в данной статье, в основном подобна изложенной в [4]. Отличие состояло лишь в величинах сопротивлений, применяемых для осциллографирования и в выборе осциллографа (ОК-17 М). Осциллографирование производилось при подаче сигналов непосредственно на отклоняющие пластины осциллографа.

Полученные результаты и их обсуждение

На рис. 2, а, б, в показаны типовые осциллограммы тока в цепях щетки (i_1), индуктора (i_2) и нагрузки (i_3). По внешнему виду ток в цепи щетки (рис. 2, а) представляет собой нерегулярные импульсы,

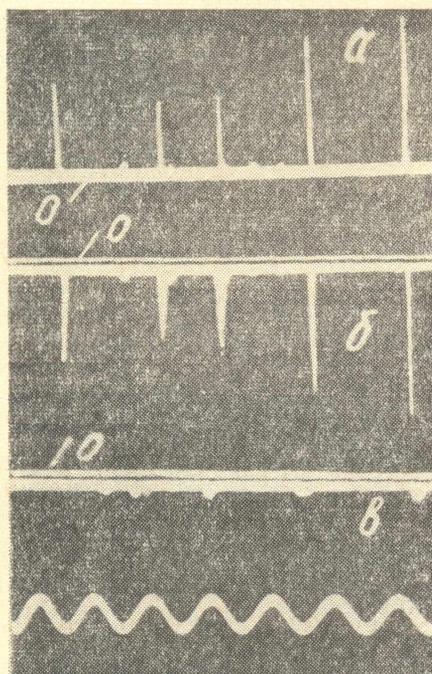


Рис. 2. Типовые осциллограммы токов

амплитуда и длительность которых изменяется с изменением приложенного напряжения возбуждения. Чем больше напряжение возбуждения, тем больше амплитуда импульсов, и наоборот. Установлено, что при увеличении напряжения возбуждения (тока нагрузки) частота следования вышеуказанных импульсов также увеличивается. Для определения частоты следования импульсов на осциллограмме показана градуировочная кривая синусоидального тока с частотой 5 кГц. В момент времени, когда импульсы на осциллограмме отсутствуют, ток в цепи равен нулю, т. е. постоянная составляющая тока в цепи щетки отсутствует.

Ток в цепи индуктора (рис. 2, б) представляет собой импульсы, подобные импульсам тока в цепи щетки, но обратной полярности. Если осциллографирование тока в цепи индуктора производится одновременно с осциллографированием тока в цепи щетки, то на осциллограмме отчетливо видно, что это одни и те же импульсы. В токе цепи индуктора есть постоянная составляющая. Ее полярность соответствует полярности тока в цепи щетки. При этом соотношение между постоянной составляющей и переменной таково, что среднее значение тока, показанное микроамперметром (М-135), равно нулю. Это соотношение остается справедливым при любом напряжении возбуждения на линейной части характеристики короткого замыкания.

Ток в цепи нагрузки представляет собой совокупность импульсной и постоянной составляющих. Полярность у них одинакова и совпадает с полярностью импульсов в цепи щетки. Амплитуда импульсов существенно меньше, чем у импульсов в цепях щетки и индуктора. Среднее значение тока, показанное прибором, равно току в цепи щетки.

При визуальном наблюдении за коммутационными зонами отчетливо видно, что между диском ротора и щетками существует область

достаточно яркого голубоватого свечения. При возрастании напряжения возбуждения она расширяется и усиливает свое свечение. Заметно смещение этой зоны относительно середины индуктора в сторону против вращения диска ротора. Свечение сопровождается характерным для коронного разряда шумом.

Из сопоставления приведенных осциллограмм тока в цепях разрядной системы и результатов визуального наблюдения за коммутационными зонами следует, что импульсы в цепях щетки обусловлены именно током короны, существующей в промежутке ионизатор — ротор. Подтверждается это тем, что увеличение тока через газовый промежуток сопровождается увеличением частоты следования импульсов тока, что характерно для тока короны [6].

Поскольку в цепи индуктора на основании вышеприведенных осциллограмм нерегулярные по характеру импульсы имеют точно такую же форму и частоту, что и в цепи щетки, то, очевидно, что это одни и те же импульсы. Отсюда следует вывод, что ток короны газового промежутка (щетка — диэлектрик) протекает в цепи щетка — индуктор. Но в цепи индуктора среднее значение тока, измеренное микроамперметром, равно нулю. Это соответствует тому, что в этой же цепи протекает и другой ток иного направления. На осциллограмме заметно наличие постоянной составляющей. Такой же величины постоянная составляющая тока (согласно 1 закона Кирхгофа для узла) должна быть в цепи нагрузки.

Таким образом, заключаем, что ток разрядки транспортера минует цепь нагрузки и протекает по цепи индуктора. Это полностью совпадает с явлением разрядки транспортеров в ЭСГП.

Наличие импульсов в цепи нагрузки можно объяснить тем, что часть заряда диэлектрика не участвует в индуцировании заряда на индукторе, а связана непосредственно с землей. Чем полнее индуктор экранирует коммутирующие участки диэлектрика, тем меньше импульсы в цепи нагрузки.

Основываясь на вышеизложенном, можно показать, что в любой момент времени ток в цепи нагрузки — величина практически постоянная. Для этого рассмотрим схему, показанную на рис. 3, изображающую разрядную коммутационную зону ЭСГД. Для упрощения расчета принято, что ротор генератора является цилиндром. В любой момент времени ток в цепи определяется скоростью изменения заряда индуктора

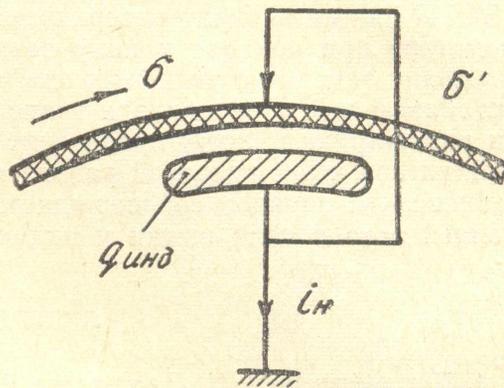


Рис. 3

$$i_n = \frac{dq_{ин}}{dt}, \quad (1)$$

где $q_{ин}$ — заряд индуктора, определяемый разностью зарядов, индуцированных зарядами ротора, и величиной скомпенсированного заряда

$$q_{ин} = q - q_{ск}. \quad (2)$$

Так как геометрическое положение ротора и зоны коммутации относительно индукторов для данного режима работы не изменяется,

а следовательно, и расположение зарядов на роторе, то величина q является постоянной ($q = \text{const}$).

$$q_{\text{ск}} = \sigma lvt = 2\pi l n R t \sigma, \quad (3)$$

где $v = 2\pi R n$,

σ — плотность зарядов диэлектрика на $см$ длины;

l — длина щетки;

n — скорость вращения;

R — радиус транспортера;

t — время.

Окончательно

$$i_{\text{н}} = \frac{dq_{\text{ин}}}{dt} = - \frac{dq_{\text{ск}}}{dt} = - 2\pi \sigma l R n. \quad (4)$$

Поскольку все величины в выражении (4) от времени не зависят, то ток в цепи нагрузки — величина постоянная, что полностью подтверждается результатами эксперимента.

Выводы

Анализ экспериментальных данных по исследованию коммутации ЭСГД показал, что коммутационные процессы в них подобны процессам в ЭСГ с большим числом транспортеров-проводников на полюсный шаг.

В обоих случаях коммутация в разрядной системе представляется следующим образом. Заряды, нанесенные на проводящий транспортер в ЭСП или на элемент поверхности диэлектрика в ЭСГД, наводят на индукторе при подходе к нему заряды противоположного знака. При наведении зарядов в цепи нагрузки и индуктора протекает практически постоянный ток. При подходе транспортера или заряженной поверхности диэлектрика к щетке происходит компенсация зарядов транспортера и индуктора через искровой разряд в ЭСП или через корону в ЭСГД. Компенсация зарядов сопровождается появлением импульсной составляющей тока в цепи щетки и индуктора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Под редакцией В. И. Левитова, А. П. Ляпина. Применение электрического поля в промышленности и сельском хозяйстве. ВНИИЭМ, М., 1964.
2. А. Ф. Иоффе. Электростатический генератор. ЖТФ, т. IX, 1939.
3. В. И. Левитов, А. Г. Ляпин. Электростатические генераторы с жестким ротором, ч. II. ВНИИЭМ, М., 1965.
4. А. М. Купцов, В. В. Пацевич. Анализ коммутации в электростатических генераторах. «Электричество», № 7, 1968.
5. А. М. Купцов. Физические процессы в электростатических генераторах. Диссертация, Томск, 1968.
6. Дж. Мик, Дж. Крэгс. Электрический пробой в газах. ИЛ, М., 1961.