

ЧАСТИЧНЫЕ ЕМКОСТИ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ ЭСГ

А. П. КОНОНОВ, В. В. ПАЦЕВИЧ, В. Д. ЭСЬКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры теоретических основ электротехники)

Разработка инженерной методики расчета является одной из наиболее важных проблем дальнейшего развития электростатических генераторов (ЭСГ). Эта проблема может быть решена лишь в том случае, если будут найдены достаточно простые соотношения между основными характеристиками генератора (напряжение, удельная мощность и т. д.) и геометрическими размерами его конструктивных элементов.

Что касается ЭСГ с каскадным соединением транспортеров проводников, то существующие в настоящее время способы определения их характеристик основаны на использовании уравнений электростатики с сосредоточенными параметрами, применение которых возможно вследствие того, что электрическое поле в ЭСГ удовлетворяет условиям квазистационарности [1].

Генераторы такого типа, имеющие равномерное распределение потенциала по статору, удобнее исследовать с помощью уравнений с частичными емкостями и последующим применением метода электростатической аналогии. Таким способом можно получить весьма компактные выражения, в которых выходные параметры генератора связаны с частичными емкостями между элементами генератора и количественными характеристиками этих элементов (число транспортеров, число пар полюсов и т. д.). Анализ этих выражений показывает, что среди частичных емкостей наибольшее влияние на характеристики ЭСГ оказывают частичные емкости между соседними транспортерами C_2 и между транспортером и статором C_3 .

Обычные методы непосредственного измерения емкостей (например, с помощью баллистического гальванометра или различных измерительных мостов) при измерении указанных частичных емкостей дают погрешность, соизмеримую с величиной последних (единицы пикофард). Поэтому представляется более целесообразным использовать для этой цели методы моделирования, основанные на математическом подобии.

К таким методам относится и метод электролитической ванны, который позволяет снизить погрешность измерения до десятых долей процента. Этот метод основан на электростатической аналогии, т. е. формальном подобии уравнений, описывающих статическое поле в диэлектрике и стационарное поле тока в проводящей среде.

При одинаковых граничных условиях, одинаковом распределении потенциала на границах области и геометрическом подобии оригинала и модели справедливо выражение:

$$\frac{C}{\varepsilon} = \frac{g}{\gamma} m_l, \quad (1)$$

где C — емкость между электродами оригинала,
 ε — диэлектрическая проницаемость окружающей их среды,
 g — проводимость между электродами модели,
 γ — удельная электропроводность электролита,
 m_l — масштабный коэффициент.

Измерение частичных проводимостей производится в соответствии с определением частичных емкостей. Так, например, для измерения в некоторой системе электродов частичной проводимости g_{12} между электродами 1 и 2 следует подключить электрод 1 к одному выводу источника напряжения, а ко второму выводу последнего присоединить все остальные электроды. При этом отношение тока, подтекающего ко второму электроду, к приложенному напряжению будет равно искомой частичной проводимости. Соответствующая ей частичная емкость находится с помощью уравнения (1).

В качестве первого шага по измерению частичных емкостей между элементами конструкции ЭСГ нами были проведены эксперименты в системе параллельных цилиндров, расположенных на одинаковом расстоянии от двух бесконечно протяженных плоскостей (при однорядном расположении цилиндрических электродов). Эта модель была выбрана по следующим соображениям:

1) условия получения максимальной удельной мощности в ЭСГ требуют большого числа транспортеров на полюсный шаг статора [2], что в свою очередь влечет за собой уменьшение поперечных размеров последних; с точки зрения технологии изготовления целесообразнее будет, вероятно, круглая форма сечения транспортера (причем его длина значительно превышает диаметр);

2) в цилиндрическом генераторе оси транспортеров параллельны друг другу, но расположены по окружности; в дисковом же они лежат в одной плоскости, но не параллельны; отклонения от выбранной модели будут уменьшаться по мере увеличения числа транспортеров.

Не останавливаясь на методике моделирования в электролитической ванне, которая достаточно подробно описана в [3, 4], отметим, что измерения проводились на переменном токе частотой 50 и 1500 гц, в качестве электролита использовался слабый раствор медного купороса в дистиллированной воде (γ порядка 10^{-2} 1/ом.м), а электроды были изготовлены из латуни. По результатам измерений были выведены следующие эмпирические формулы (погрешность измерений не более 2%, погрешность аппроксимации в пределах 5%):

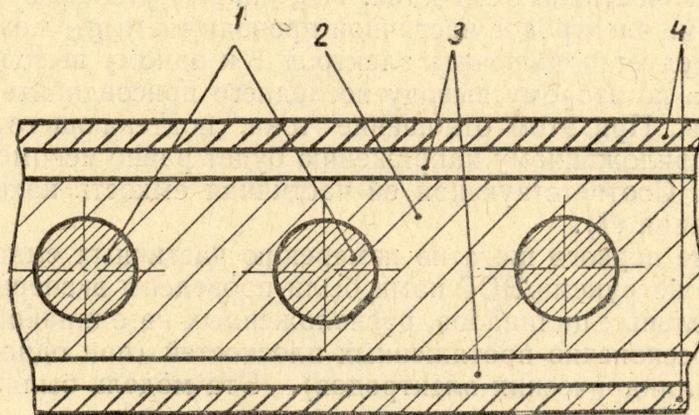
$$\frac{C_3}{\varepsilon l} = \frac{2,15 a}{d_{\text{пп}} + r}, \quad (2)$$

$$\frac{C_2}{C_3} = \frac{d_{\text{пп}}}{kr} \left(SC \frac{\pi r}{a} - 1 \right)^{0,8}, \quad (3)$$

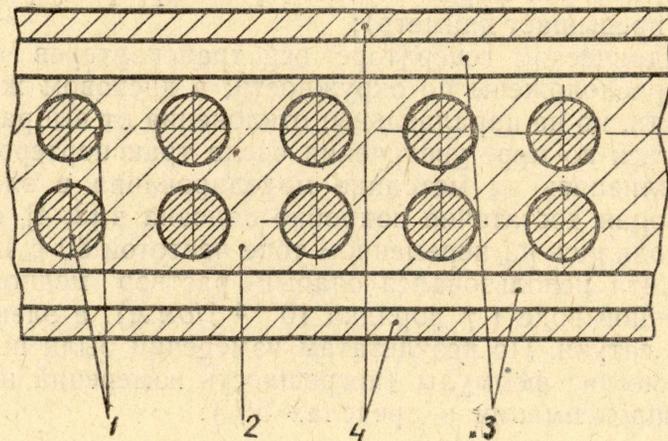
где r — радиус транспортера,
 l — его длина,
 a — расстояние между осями транспортеров,
 ε — диэлектрическая проницаемость окружающего их твердого диэлектрика;

$d_{np} = d + \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} d_0$, где d — толщина слоя этого диэлектрика над поверхностью транспортеров, а d_0 — толщина газового промежутка, k — коэффициент, равный 3, при однорядном расположении транспортеров (рис. 1, а) и $4/3$ при их двухрядном расположении (рис. 1, б).

Указанные величины в наших экспериментах изменялись в следующих пределах: $1,25 \leq \frac{a}{2r} \leq 3,75$; $1,25 \leq \frac{d_{np}}{2r} \leq 15,75$; $0,5 \leq \frac{d}{2r} \leq 5$; $0 \leq \frac{d_0}{2r} \leq 2$; $1 \leq \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \leq 6$.



а



б

Рис. 1. Схематическое изображение однорядного (а) и двухрядного (б) расположения транспортеров, запеченных в диэлектрик:

1 — транспортеры, 2 — твердый диэлектрик, 3 — газ, 4 — статор

Для двухрядного расположения транспортеров формулы (2) и (3) применимы лишь при расстоянии между рядами, превышающем диаметр транспортера. Поскольку такое расположение целесообразно лишь при

малых диаметрах транспортеров, то в реальных генераторах это соотношение выполняется.

Применение выражений (2) и (3) к расчету емкости между ротором и статором и тока короткого замыкания экспериментальных генераторов, выполненных в ТПИ, и непосредственное измерение этих величин показали хорошее совпадение результатов (в пределах погрешности опытов). Это дает основание надеяться, что полученные формулы могут быть использованы в инженерном расчете ЭСГ с каскадным соединением транспортеров-проводников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Уайт и Г. Вудсон. Электромеханическое преобразование энергии. «Энергия», 1964.
2. Под ред. В. И. Левитова, А. Г. Ляпина Применение сил электрического поля в промышленности и сельском хозяйстве, ВНИИЭМ. Москва, стр. 15, 1964.
3. И. И. Тетельбаум. Электрическое моделирование. Физматгиз, 1959.
4. У. Карплюс. Моделирующие устройства для решения задач теории поля. ИЛ, 1962.