

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЧНЫХ ЕМКОСТЕЙ В СИСТЕМЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОДОВ С УЧЕТОМ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА

В. А. ЛУКУТИН, В. Д. ЭСЬКОВ, Ю. А. РОМАНОВ, А. Ф. КОЧНЕВА

(Представлена научным семинаром по ЭСГ)

Для разработки инженерной методики расчета электростатических генераторов (ЭСГ) необходимо установить достаточно простые соотношения между основными энергетическими характеристиками генератора и геометрическими размерами конструкций электродов. Такие соотношения применительно к стержневым ЭСГ могут быть получены при использовании уравнений с частичными емкостями [1], если известна зависимость последних от геометрии ЭСГ.

Цель настоящей статьи — указать такую зависимость для приближенной модели стержневого генератора с транспортерами круглого сечения конечных размеров, принципиальная схема которой представлена на рис. 1, где

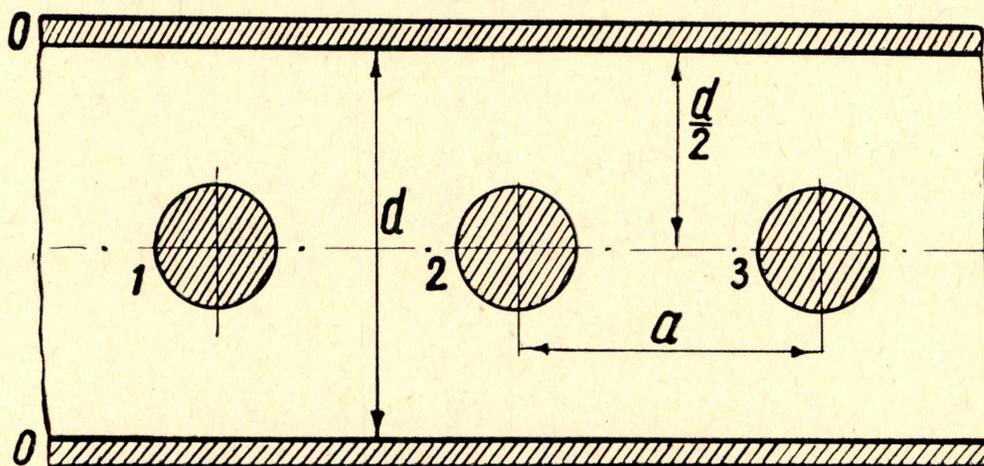


Рис. 1. Принципиальная схема модели стержневого генератора:
1, 2, 3 — транспортеры, 0, 0 — пластины статора.

r — радиус транспортера,
 a — расстояние между осями соседних транспортеров,
 d — расстояние между плоскостями статора.

Определение частичных емкостей в этой схеме осуществляется весьма просто и достаточно точно путем моделирования в электролитической ванне [2], причем вместо частичных емкостей измеряются частичные проводимости. При одинаковых граничных условиях и геометрическом подобии оригинала и модели переход к электростатическим величинам производится по формуле:

$$\frac{C_{пк}}{\varepsilon_{\text{во}}} = \frac{\varepsilon_{пк}}{\gamma_{\text{v}} b_{\text{м}}}, \quad (1)$$

где $C_{пк}$ — частичная емкость между электродами n и k ,
 $g_{пк}$ — частичная проводимость между соответствующими электродами модели,
 γ_{v} — удельная объемная проводимость электролита,
 $b_{\text{o}}/b_{\text{м}}$ — соотношение геометрических размеров оригинала и модели,
 ε — диэлектрическая проницаемость среды.

Граничные условия устанавливаются при этом в соответствии с уравнениями вида:

$$g_{\text{n}} = \sum_{k=1}^{k=m} C_{пк} (U_{\text{n}} - U_{\text{k}}), \quad (2)$$

$$I_{\text{n}} = \sum_{k=1}^{k=m} C_{пк} (U'_{\text{n}} - U'_{\text{k}}). \quad (3)$$

Для определения, например, величины C_{nm} все электроды, кроме n -го, должны иметь одинаковый потенциал U_{n} , отличный от потенциала m -го электрода U_{m} .

Тогда отношение заряда m -го электрода к разности потенциалов $U_{\text{n}} - U_{\text{m}}$ дает величину C_{nm} . Аналогично электроды модели 1, 2, 3, ... $m-1$ должны иметь одинаковый потенциал U'_{n} , а m -й электрод потенциал U'_{m} , тогда

$$g_{mn} = \frac{U'_{\text{n}} - U'_{\text{m}}}{I_{\text{n}}}, \quad (4)$$

где I_{n} — ток, подтекающий к n -му электроду.

Не останавливаясь на методике моделирования в электролитической ванне, которая достаточно подробно описана в [3], отметим, что измерения проводились на переменном токе частотой 50 гц, в качестве электролита использовалась дистиллированная вода

$$\gamma = [0,8 \cdot 10^{-5} \div 1,2 \cdot 10^{-5}] \text{ 1/ом см,}$$

электроды были изготовлены из латуни.

Погрешность измерений определялась на эталонных системах (плоский конденсатор, цилиндрический конденсатор и т. д.) и составляла 2—3 проц.

В процессе экспериментов основное внимание было уделено определению суммы частичной емкости транспортера относительно всех элементов статора C_{10} и частичной емкости между соседними транспортерами C_{12} , которые, как отмечалось в [1], оказывают наибольшее влияние на характеристики ЭСГ. Измерения проводились по электрической схеме, представленной на рис. 2. При измерении частичной емкости C_{10} ключ находится в положении 2'—2''.

Для измерения C_{12} нужно ключ перевести в положение 1'—1''.

Переменное сопротивление R в схеме служит для компенсации падения напряжения на амперметре (все электроды, кроме первого, должны иметь одинаковый потенциал). Регистрация этого осуществляется вольтметром V_2 (вольтметр V_2 также, как и V_1 , имел высокое внутреннее сопротивление).

Полностью скомпенсировать падение напряжения на амперметре не удавалось из-за наличия у амперметра индуктивности, но показания V_2 не превышали 30—40 милливольт при показаниях V_1 не менее 10 вольт.

Так как картина поля симметрична относительно горизонтальной

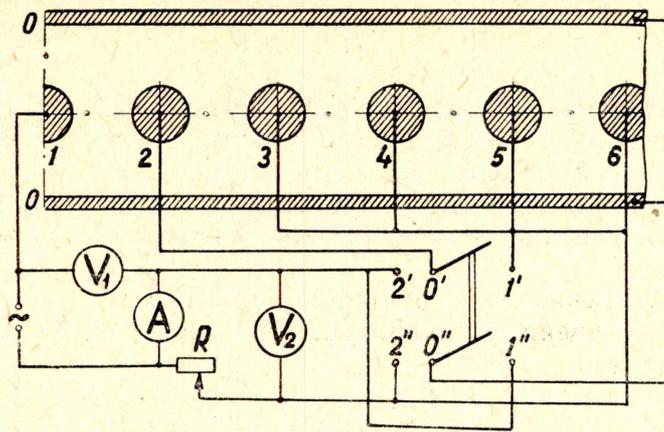


Рис. 2. Схема измерения частичных емкостей $C_{10}, C_{12}, C_{13}, \dots$: 1, 2, 3, 4, 5 — транспортеры, 0, 0' — пластины статора

и двух вертикальных плоскостей, то можно моделировать одну восьмую часть пространства.

При выполнении этих условий были определены C_{10} и C_{12} , причем соотношение геометрических размеров модели изменялось в пределах

$$1,5 < \frac{a}{2r} < 6,$$

$$2 < \frac{b}{2r} < 18, \quad 2 < \frac{d}{2r} < 18.$$

По результатам измерений были выведены эмпирические формулы

$$C_{10} = C_{\infty} \left[1 + \frac{d}{2(b+r)} \right], \quad (5)$$

$$C_2 = C_{\infty} \cdot \frac{\pi}{0,05} \operatorname{Arth} \frac{2r}{a} \left[\left(\frac{d}{2r} - 1 \right) \cdot 0,01 \right] \sqrt{0,7 \frac{a}{2r}}, \quad (3)$$

где

$$\frac{C_{\infty}}{b} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{2d}{\pi r}} \left[1 - e^{-\frac{\sqrt{3a}}{d}} \right]. \quad (7)$$

частичная емкость транспортера относительно статора на единицу длины при $b \rightarrow \infty$.

Погрешность аппроксимации не превышает 8 проц.

Следует отметить, что формулы (5) и (6) с достаточной для инженерных расчетов точностью могут дать значения частичных емкостей лишь для генераторов с весьма большим числом транспортеров. При этом меньшая погрешность будет получаться в случае цилиндрического ротора, большая — в случае дискового. В связи с этим были проведены дополнительные эксперименты по аналогичным схемам для радиально расположенных стержней (рис. 3) при фиксированном отношении $\frac{R_2}{R_1} = \sqrt{3}$, как наиболее оптимальном [4].

Соотношения остальных геометрических размеров изменялись в пределах

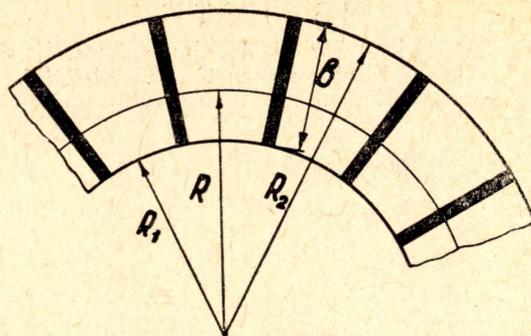


Рис. 3. Принципиальная схема модели ротора дискового генератора: R_2 — внешний радиус диска, $R_1 = R_2 - b$

$$2 < \frac{a}{2r} < 6, \quad 2 < \frac{d}{2r} < 20,$$

$$2 < \frac{b}{2r} < 18,$$

причем, a измерялось по окружности радиуса $R = \sqrt{R_1 R_2}$. По результатам экспериментов выведены эмпирические формулы

$$\frac{C_{10}'}{\epsilon b} = \frac{C_{10}}{\epsilon b} - k e^{-\frac{r}{d}} \cdot \frac{0,8b}{36r}, \quad (8)$$

где $K = 10 + 1,5 \cdot \frac{a}{r}$, а $\frac{C_{10}}{\epsilon b}$ определяется по формуле (5).

$$\frac{C_{12}'}{\epsilon b} = \frac{C_{12}}{\epsilon b} + k e^{-\frac{r}{d}} \cdot \frac{36r}{b}, \quad (9)$$

где $k' = 6 + \frac{a}{3r}$, а $\frac{C_{12}}{\epsilon b}$ определяется по формуле (6).

Полученные формулы для определения C_{10}' и C_{12}' дают максимальную погрешность 10 проц. и могут быть использованы для расчета дисковых электростатических машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Лукутин, В. Д. Эськов. К расчету ЭСГ с каскадным соединением транспортеров-проводников. Изв. АН СССР «Энергетика и транспорт», № 2, 1967.
2. А. П. Кононов, В. В. Пацевич, В. Д. Эськов. Частичные емкости между элементами ЭСГ. Изв. ТПИ, т. 162, 1967.
3. И. М. Тетельбаум. Электрическое моделирование. Физматгиз, 1959.
4. Л. С. Полотовский. Емкостные машины постоянного тока высокого напряжения. ГЭИ, 1960.