

## УЧЕТ ТРАНСПОРТЕРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЕМКОСТНОГО ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

В. А. ЛУКУТИН, Э. Д. МОГИЛЕВСКАЯ

(Представлена научным семинаром каф. ТОЭ)

Точный аналитический расчет поля емкостного генератора очень трудоемок и сложен. Однако, применив ряд упрощающих допущений, эту задачу можно решать приближенно. Так, в [2, 3] на основе вариационного метода и принципа наложения были получены потенциальные функции, позволяющие определить потенциал электрического поля в любой точке газового зазора и поверхности ротора. При этом в расчете не принималось во внимание наличие металлических стержней-транспортеров в теле ротора. Решение записывалось в виде

$$U(x, y) = U_c(x, y) + U_p(x, y). \quad (1)$$

Здесь  $U_c(x, y)$  — составляющая потенциальной функции, получающаяся от зарядов статора (индукторов и полупроводящей поверхности статора). Эта составляющая характеризует поле статора.  $U_p(x, y)$  — составляющая, наводимая зарядами транспортеров ротора и описывающая поле ротора.

Функция (1) содержит основные геометрические размеры машины, напряжения возбуждения, нагрузки и учитывает диэлектрические свойства среды. Подробно эту формулу здесь записывать нет надобности.

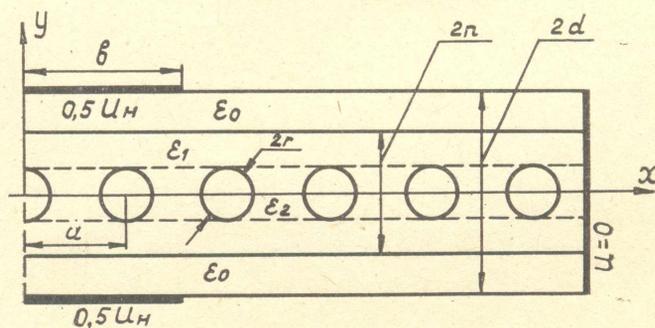


Рис. 1

В данной статье остановимся на вопросах, связанных с влиянием металлических стержней на потенциальную функцию статора. На рис. 1 показан разрез рабочего пространства емкостной машины, точнее только четвертая часть этого пространства, так как поле статора симметрично относительно середины индукторов.

Здесь  $2n$  — толщина ротора,  $2r$  — диаметр транспортеров,  $2d$  — расстояние между статорными поверхностями,  $2b$  — ширина индукторов,  $2l$  — расстояние между серединами соседних индукторов.

Моделирование в электролитической ванне электростатического поля для указанной области показало, что приближенная аналитическая функция  $U_c(x, y)$  дает достаточно точное для инженерных целей представление о потенциале поля в зазоре ротор — статор. Расчетное распределение потенциалов по самим транспортерам (или по оси  $y=0$ ) получается такое же, что и в эксперименте, только в случае малого радиуса транспортеров и для зоны, далеко отстоящей от начала координат. В области же между индукторами расхождение рассчитанного и опытного значений потенциалов получается тем существеннее, чем больше число транспортеров и их радиус.

Легко сообразить, что наличие металлических транспортеров приводит к увеличению разности потенциалов между индуктором и стержнем, помещающимся в точке  $x=y=0$ . Если транспортеров будет много и они будут прикасаться друг к другу, то эта разность потенциалов возрастает до  $0,5 U_n$ .

Энергетические характеристики емкостного генератора постоянного тока в значительной мере определяются электрофизическими процессами в зоне индукторов, где осуществляется коммутация зарядов. В этой связи становится ясным, что исследование электрического поля в этой зоне следует производить особенно тщательно.

Диэлектрик с включенными в него проводящими стержнями можно заменить эквивалентным слоем с некоторой диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_2 > \epsilon_1$  и толщиной  $2r$ . Проницаемость  $\epsilon_2$  будет зависеть от радиуса транспортеров и их числа. Для ее количественного определения можно воспользоваться простыми экспериментами.

Все пространство между индукторами представляет собою плоский конденсатор с многослойным диэлектриком. Если площадь индуктора  $S$ , то емкость между пластинами индукторов без учета транспортеров будет

$$C = \frac{S\epsilon_0\epsilon_1}{2(d-n)\epsilon_1 + 2n\epsilon_0}. \quad (2)$$

При замене транспортеров диэлектрическим слоем с проницаемостью  $\epsilon_2$  емкость индукторов будет

$$C_3 = \frac{S\epsilon_0\epsilon_1\epsilon_2}{2(d-n)\epsilon_1\epsilon_2 + 2(n-r)\epsilon_0\epsilon_2 + 2r\epsilon_0\epsilon_1}. \quad (3)$$

Теперь промоделируем зону между индукторами и измерим проводимость между пластинами сначала для случая без транспортеров, а затем с транспортерами. Полученные проводимости на основании метода аналогии полей будут соответствовать емкостям в формулах (2) и (3).

Поделив правую и левую части уравнений (2) на соответствующие части уравнения (3) и заменив емкости проводимостями, получим формулу для определения эквивалентной диэлектрической проницаемости

$$\epsilon_2 = \frac{G_3 r \epsilon_0 \epsilon_1}{(G - G_3)[\epsilon_1(d - n) + \epsilon_0 n] + G_3 r \epsilon_0}, \quad (4)$$

где

$G_3$  — проводимость между пластинами при наличии транспортеров,  
 $G$  — проводимость без транспортеров.

На основании многочисленных экспериментов установлено, что уравнение (4) можно заменить эмпирической формулой

$$\epsilon_2 = \epsilon_1 \left( \frac{a}{a - 2r} \right)^{\frac{3}{2}}. \quad (5)$$

После эквивалентной замены проводящих стержней диэлектрическим слоем можно приступить к расчету электрического поля в области с многослойным диэлектриком (рис. 1). Методика расчета подробно изложена в [1, 2, 3] и мы ограничимся здесь только конечными формулами.

Решение внутренней задачи Дирихле осуществляем вариационным методом, причем потенциальные функции для каждого слоя диэлектрика получаются отдельно

$$U_{c0}(x, y) = f_c(x) + [A(l^2 - x^2)^2 + B(l^2 - x^2)^8](d^2 - y^2) \frac{\epsilon_2}{\epsilon_0}, \quad (6)$$

$$U_{c1}(x, y) = f_c(x) + [A(l^2 - x^2)^2 + B(l^2 - x^2)^8] \left[ \frac{\epsilon_2}{\epsilon_0} (d^2 - n^2) + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} (n^2 - y^2) \right], \quad (7)$$

$$U_{c2}(x, y) = f_c(x) + [A(l^2 - x^2)^2 + B(l^2 - x^2)^8][C + r^2 - y^2]. \quad (8)$$

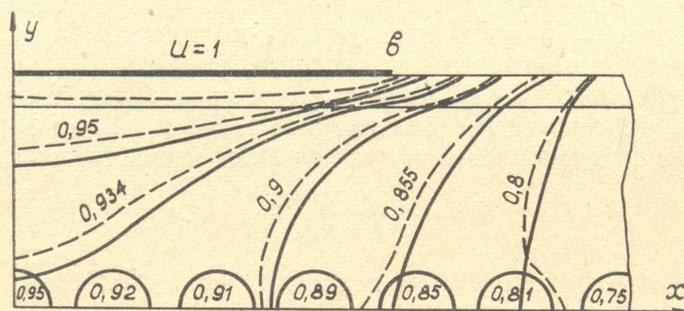
В последних уравнениях обозначено:

$$A = \frac{U_H \cdot 5}{128^2 \cdot 4l^6 K} [34,4(88r^2 + 25 + 110C)(7D_2 + 6D_4) - 2,96(112r^2 + 75 + 140C)(19D_2 + 6D_4)],$$

$$B = \frac{U_H^5}{128^2 4l^{18} K} [100(24r^2 + 20 + 5C)(19D_2 + 6D_4) - 14,3(112r^2 + 75 + 140C)(7D_2 + 6D_4)],$$

$$C = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_0} (d^2 - n^2) + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} (n^2 - n^2),$$

$$K = 16,45r^4 + 18r^2 + 3,62 + 4,9C(4,62r^2 + 3,54) + 2,6C^2.$$



На рис. 2 сплошными кривыми показаны эквипотенциальные линии, полученные по формулам (6), (7), (8), причем, для наглядности здесь изображена не вся расчетная область, а только часть ее, находящаяся под индукторами. Пунктирные линии построены моделированием этой же области при наличии в ней транспортеров. В непосредственной близости около проводящих стержней экспериментальные эквипотенциалы отличаются от расчетных и это вполне естественно, но зато потенциалы самих транспортеров вполне удовлетворительно совпадают с расчетными потенциалами точек, в которых помещаются эти транспортеры. В части области, не показанной на рис. 2, расчетные и экспериментальные эквипотенциалы различаются еще менее.

Изложенное свидетельствует о том, что приближенный аналитический расчет электрического поля статора на основе вариационного метода дает хорошие результаты и при наличии в теле ротора металлических стержней. Эти стержни заменяются эквивалентным диэлектрическим слоем с проницаемостью, подсчитываемой по уравнению (5).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Г. Михлин. Вариационные методы в математической физике. «Наука», 1970.
2. А. П. Кононов, В. А. Лукутин, В. М. Осипов. Приближенный метод расчета поля ЭСГ. Изв. ТПИ, т. 191, 1969.
3. В. А. Лукутин, Ю. И. Алексеев, А. Ф. Кочнева. Потенциальная функция для поля статора ЭСГ. Изв. ТПИ, т. 210, 1971.