

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВОЗДУШНОМ ЗАЗОРЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СИНХРОННОЙ РЕАКТИВНОЙ МАШИНЫ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ВАННЫ

Е. В. КОНОНЕНКО, А. Н. АЙФЕРТ, И. П. ГУК

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей  
электротехники)

Ввиду наличия в теле ротора усовершенствованной синхронной реактивной машины (СРМ) немагнитных прослоек на пути прохождения поперечного магнитного потока, магнитное поле в воздушном зазоре такой машины имеет сложную форму. Аналитический расчет этого поля крайне затруднителен. Поэтому для определения коэффициентов, характеризующих магнитное поле в воздушном зазоре усовершенствованной СРМ [1], целесообразно воспользоваться методом моделирования магнитного поля в электролитической ванне.

При исследовании были приняты следующие основные допущения:

1. Магнитная проницаемость стали бесконечно велика по сравнению с проницаемостью воздуха. Магнитная проницаемость материала внутренних немагнитных прослоек принималась равной магнитной проницаемости воздуха.
2. Магнитное поле рассматривалось как плоскопараллельное.
3. Учитывалась лишь первая гармоническая намагничивающей силы, созданная обмоткой статора.
4. Поверхность статора считалась гладкой.

Как известно, магнитное поле в зазоре между статором и ротором можно считать потенциальным, если в нем отсутствуют источники тока. В этом случае магнитное поле описывается уравнением Лапласа

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0,$$

где  $\varphi = f(x, y)$  — скалярный магнитный потенциал.

В электрической аналогии такое поле можно представить полем тока в проводящей среде, если модель электродов совпадает по форме с поперечным сечением машины.

Поперечное сечение исследуемой усовершенствованной СРМ представлено на рис. 1 (в дальнейшем вариант I). Дополнительно было исследовано магнитное поле для следующих модификаций:

- а) отсутствует центральная немагнитная прослойка — I (вариант II),
- б) отсутствует немагнитная прослойка 2 (вариант III).

Кроме того, все исследования проводились для различных значений воздушного зазора ( $\delta$ ) и полюсного перекрытия ( $\alpha$ ).

Учитывая, что при исследованиях и расчетах СРМ применяется теория двух реакций, магнитное поле исследовалось отдельно по поперечной и продольной осям. Так как картина магнитного поля в электри-

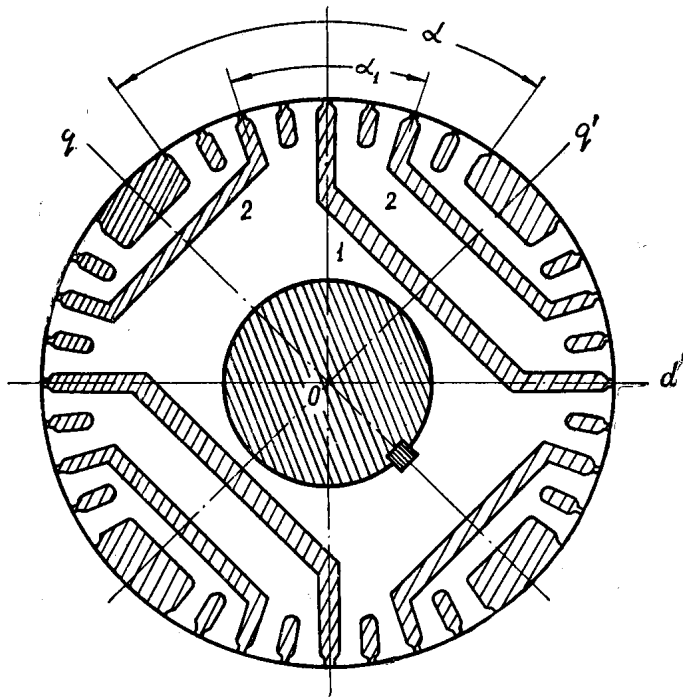


Рис. 1. Поперечный разрез ротора усовершенствованной СРМ.

ческой машине периодически повторяется, то достаточно исследовать область  $q-o-q'$  в случае продольного поля и область  $d-o-d'$  в случае поперечного (рис. 1). Форма моделей электродов для обоих случаев представлена на рис 2.

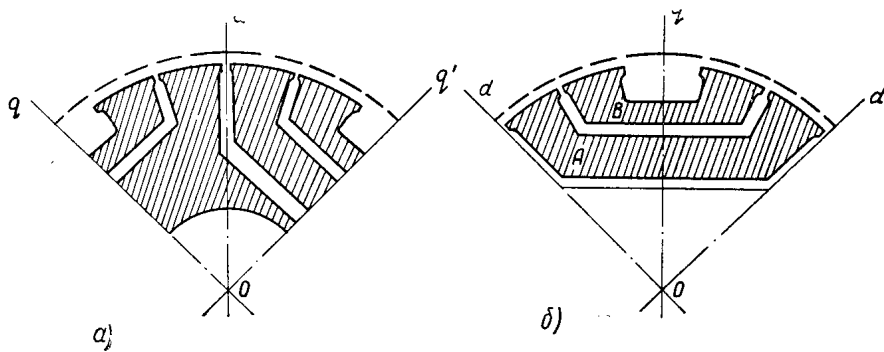


Рис. 2. Форма моделей электродов при моделировании магнитного поля:  
а) для продольного поля,  
б) для поперечного поля.

Если принять за начало отсчета ось  $d$ , то потенциал поверхности расточки статора в случае продольного поля (рис. 2, а) будет изменяться по косинусоидальному закону, а потенциал всех стальных поверхностей ротора и линий  $oq$  и  $oq'$  равен нулю. В случае поперечного поля (при том же начале отсчета) потенциал поверхности расточки статора будет изменяться по синусоидальному закону. Потенциал линии, проходящей по оси симметрии центральной немагнитной прослойки, равен нулю. Поверхности областей А и В являются эквипотенциальными. При отсутствии центральной немагнитной прослойки потенциал поверхности области А становится равным нулю.

Чтобы выполнить граничные условия на поверхности расточки статора, необходимо аппроксимировать заданную непрерывную функцию ступенчатой. В [2] указан способ определения минимального числа и размеров эквипотенциальных электродов с определенной точностью аппроксимирующих непрерывную граничную функцию, который и был использован в настоящей работе. Границы области по осям  $d$  и  $q$  были сделаны из металлических пластин с нулевым потенциалом, чтобы учесть изменение знака граничной функции в соседних четвертях. Известно, что установка проводящей стенки изменяет поле электродов так, как если бы кроме рассматриваемой системы существовало зеркальное изображение последней, но имеющей противоположный знак.

Изготовленная модель была в десять раз больше оригинала. Электроды были выполнены из латуни. В качестве электролита был использован слабый раствор медного купороса в дистиллированной воде слоем 3 см с удельной проводимостью  $\gamma = 10^{-2} \frac{\text{см}}{\text{ом} \cdot \text{см}^2}$ . В качестве детектора был применен усилитель, напряжение чувствительности которого 0,01 в, хорошо реагирующий на малейшее отклонение зонда от эквипотенциали. Питание электролитической ванны осуществлялось от источника переменного тока напряжением 40 в и частотой 200 гц.

В результате проведенных исследований были построены картины распределения магнитного поля для каждого конкретного случая. Затем после построения кривых распределения индукции вдоль поверх-

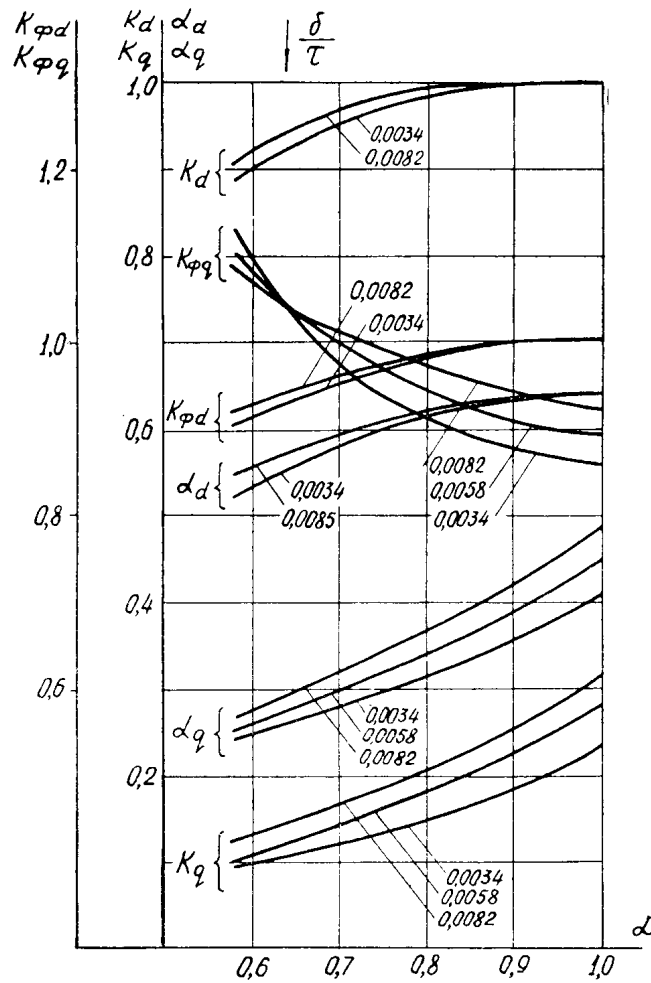


Рис. 3. Коэффициенты магнитного поля для I варианта конструкции.

ности расточки статора и разложив их в гармонический ряд были рассчитаны коэффициенты, характеризующие магнитное поле в воздушном зазоре усовершенствованной СРМ. Эти коэффициенты представлены на рис. 3 и 4 в зависимости от величины полюсного перекрытия.

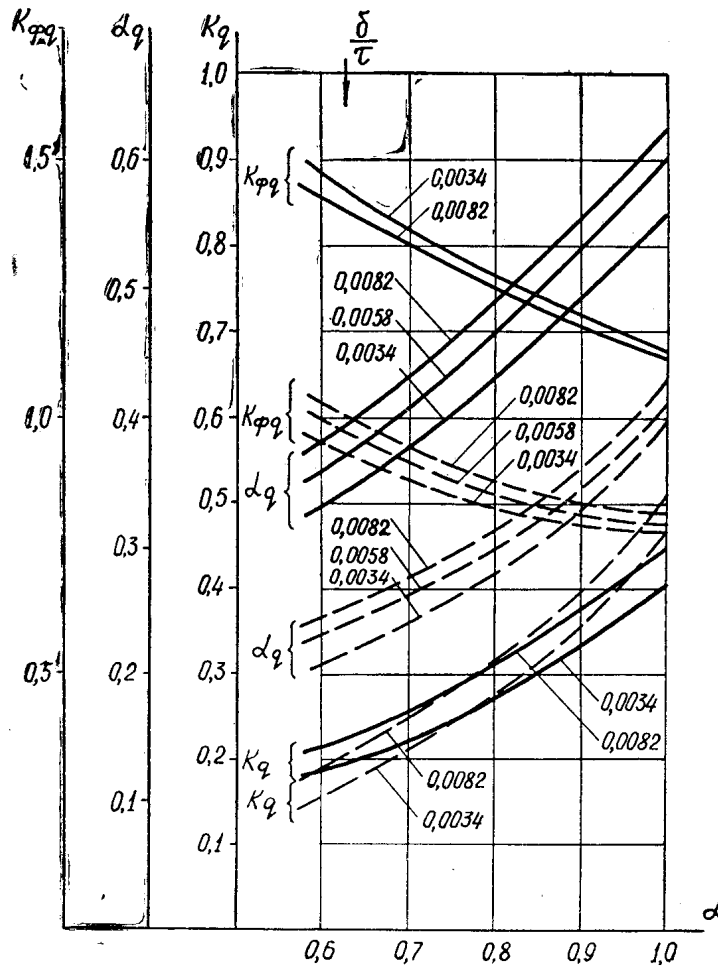


Рис. 4. Коэффициенты магнитного поля для II и III вариантов конструкции.  
— вариант II,  
--- вариант III.

Исследования показали, что дополнительные немагнитные прослойки на продольное магнитное поле практического влияния не оказывают. Поэтому коэффициенты, характеризующие продольное магнитное поле усовершенствованной СРМ, не отличаются от соответствующих коэффициентов простых СРМ. В то же время такие прослойки значительно уменьшают поперечное магнитное поле, тем самым увеличивая отношение  $\frac{x_d}{x_q}$ , что приводит к увеличению максимальной мощности СРМ.

Как видно из рис. 3 и 4, из трех рассмотренных конструкций большую мощность имеет СРМ I варианта конструкции, так как кривые  $K_q$  для этого варианта идут ниже соответствующих кривых II и III вариантов. Кривые для коэффициентов  $k_d$ , а также  $\alpha_d$  и  $k_{\phi d}$  для всех трех вариантов совпадают, поэтому на рис. 4 они не приведены.

Полученные коэффициенты позволяют полностью рассчитать магнитную цепь СРМ, используя методику, изложенную в [3].

Для оценки правильности полученных результатов было произведено экспериментальное определение ненасыщенных значений индук-

тивных сопротивлений  $x_q$  опытных образцов, имеющих рассмотренные выше варианты конструкции ротора. Затем значения этих сопротивлений были рассчитаны при помощи коэффициентов, приведенных на рис. 3 и 4. Значения опытных и расчетных параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1

		Вариант I			Вариант II	Вариант III
		0,6	0,7	0,8	0,8	0,8
$x_q$	расчет	10,2	12,2	14,8	22,4	30
ом	опыт	11,5	13	14,5	20,5	28,5

Все значения сопротивлений  $x_q$  приведены для величины воздушного зазора  $\delta=0,6$  мм. Из таблицы видно, что расчетные величины достаточно хорошо согласуются с опытными. Таким образом, полученные коэффициенты могут быть рекомендованы для пользования при проектировании усовершенствованных СРМ рассмотренных конструкций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Кононенко, А. Н. Айферт. О расчете магнитных полей синхронных реактивных машин, Изв. ТПИ, т. 145, 1966.
2. Г. М. Герштейн, И. Н. Салий. О дискретной аппроксимации непрерывной функции на границе области при электрическом моделировании. Электричество, № 11, 1963.
3. Е. В. Кононенко, А. Н. Айферт, Б. П. Гарганеев. Учет влияния насыщения на параметры синхронных реактивных двигателей. В настоящем сборнике.