

О РАСЧЕТЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ  $x_d, x_q$  СИНХРОННО-  
РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Е. В. КОНОНЕНКО, Б. П. ГАРГАНЕЕВ, А. Н. АЙФЕРТ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

При расчете характеристик синхронно-реактивных двигателей большое значение имеет правильное определение синхронных сопротивлений  $x_d, x_q$ . Однако в [1] определение сопротивлений  $x_d, x_q$  производится, по нашему мнению, неправильно. Объясняется это следующим. В [1]  $x_{ad}, x_{aq}$  вычисляются на основании формул:

$$x_{ad} = x_m \frac{k_d}{k_{нд}}; \quad (1)$$

$$x_{aq} = x_m \frac{k_q}{k_{нq}}, \quad (2)$$

где  $k_d, k_q$  — коэффициенты продольной и поперечной реакций якоря (даны в виде кривых, определенных на основании построения картин поля);

$k_{нд}, k_{нq}$  — коэффициенты насыщения в продольной и поперечной осях;

$$x_m = \frac{4}{\pi} \cdot f \cdot \rho_0 \frac{m W^2}{p} \cdot k_w^2 \frac{\tau l}{\delta} \quad (3)$$

индуктивное сопротивление в предположении, что ротор цилиндрический, выраженное через конструктивные данные машины.

Применение в уравнениях (1), (2) коэффициентов реакции якоря недопустимо. Известно, что под коэффициентами реакции якоря подразумеваются коэффициенты приведения н. с. (намагничивающей силы) продольной и поперечной реакций якоря к н. с. обмотки возбуждения [2].

При определении сопротивлений  $x_{ad}, x_{aq}$  в синхронных явнополюсных машинах пользуются теорией двух реакций. Вследствие неравномерности воздушного зазора, обусловленной явнополюсностью, магнитные потоки по продольной и поперечной осям, созданные обмоткой статора, уменьшаются. Коэффициенты, определяющие степень уменьшения амплитуд основных гармонических поля, называются коэффициентами формы поля  $k_{ad}, k_{aq}$  по продольной и поперечной осям.

Поэтому сопротивления  $x_{ad}, x_{aq}$ , которые пропорциональны магнитному потоку, в явнополюсной машине будут уменьшаться пропор-

ционально  $k_{ad}, k_{aq}$  по сравнению с машиной, имеющей цилиндрический ротор.

Из вышеизложенного следует, что, применяя уравнения (1), (2), необходимо в них подставлять не коэффициенты реакции якоря  $k_d, k_q$ , а коэффициенты формы поля  $k_{ad}, k_{aq}$ .

Аналогичная ошибка допускается при расчете сопротивлений  $x_{ad}, x_{aq}$  в методике расчета синхронно-реактивных двигателей, изложенной в [3].

Такая недопустимая неточность в расчете параметров синхронно-реактивных двигателей стала возможной благодаря тому, что вопросам их теории не уделяется достаточно внимания. Синхронно-реактивная машина является частным случаем синхронной явнополюсной машины. Поэтому при изучении работы и расчете синхронно-реактивных двигателей часто без достаточных оснований пользуются выводами теории явнополюсной синхронной машины, в предположении, что обмотка возбуждения на роторе разомкнута.

В синхронных же машинах, при расчетах  $x_{ad}, x_{aq}$  часто используются преобразованными формулами (1), (2) в относительных единицах, в которых сопротивления  $x_{ad}, x_{aq}$  выражаются через н. с. реакции якоря и воздушного зазора или линейную нагрузку и индукцию в воздушном зазоре [4, 5]. В этом случае в уравнения для расчета входят коэффициенты реакции якоря  $k_d, k_q$ .

На основании этого в [1, 3] при расчетах сопротивлений  $x_{ad}, x_{aq}$  синхронно-реактивных двигателей по уравнениям (1), (2) ошибочно вводят коэффициенты  $k_d, k_q$ , несмотря на то, что  $x_m$  выражено через конструктивные данные машины.

Коэффициенты формы поля  $k_{ad}, k_{aq}$  и реакции якоря  $k_d, k_q$  для равномерного и весьма малого зазора под полюсным кончиком ( $\delta = 0$ ) определяются уравнениями [2]:

$$k_{ad} = \frac{\alpha\pi + \sin \alpha\pi}{\pi}, \quad (4)$$

$$k_{aq} = \frac{\alpha\pi - \sin \alpha\pi}{\pi}, \quad (5)$$

$$k_d = \frac{\alpha\pi + \sin \alpha\pi}{4 \sin \frac{\alpha\pi}{2}}, \quad (6)$$

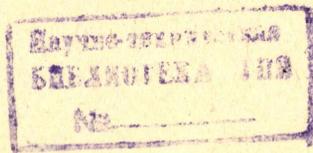
$$k_q = \frac{\alpha\pi - \sin \alpha\pi}{4 \sin \frac{\alpha\pi}{2}}. \quad (7)$$

Из этих уравнений можно найти, что

$$\frac{k_d}{k_{ad}} = \frac{k_q}{k_{aq}} = \frac{\pi}{4 \sin \frac{\alpha\pi}{2}}. \quad (8)$$

Уравнение (8) характеризует величину погрешности, получаемую при подстановке в уравнение (1), (2) коэффициентов  $k_d, k_q$ , вместо  $k_{ad}, k_{aq}$ .

В тех случаях, когда воздушный зазор под полюсом представляет собой конечную величину, значение коэффициентов  $k_d, k_q, k_{ad}, k_{aq}$  можно определить на основании построения картин поля [6].



На рис. 1, 2 представлены отношения  $\frac{k_d}{k_{ad}}$ ,  $\frac{k_q}{k_{aq}}$  в зависимости от коэффициента полюсного перекрытия  $\alpha$  для различных отношений воздушного зазора под полюсом  $\delta$  к полюсному делению  $\tau$  (для случая  $\frac{\delta_{\max}}{\delta} = 1,0$ ).

Как следует из приведенных кривых, погрешность при расчете сопротивлений  $x_{ad}$ ,  $x_{aq}$  в случае неправильного применения коэффи-

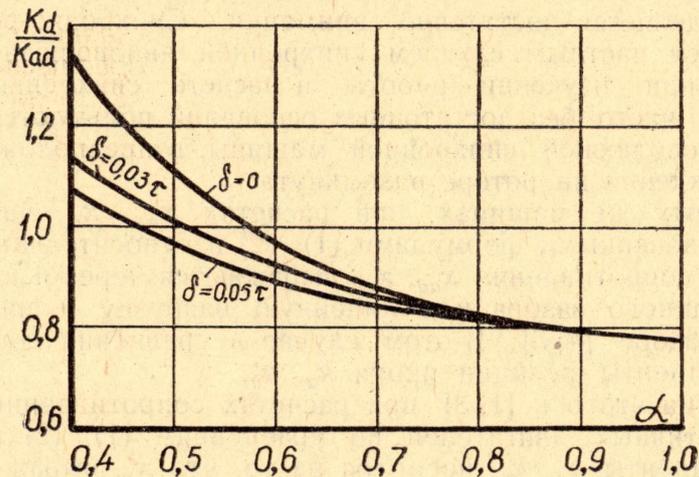


Рис. 1. Кривые для определения отношения  $\frac{K_d}{K_{ad}}$  явнополюсных машин при  $\frac{\delta_{\max}}{\delta} = 1,0$ .

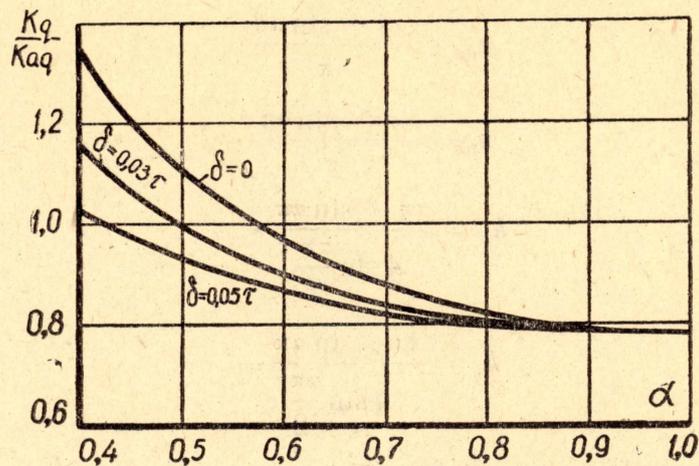


Рис. 2. Кривые для определения отношения  $\frac{K_q}{K_{aq}}$  явнополюсных машин при  $\frac{\delta_{\max}}{\delta} = 1,0$ .

циентов  $k_d$ ,  $k_q$  вместо  $k_{ad}$ ,  $k_{aq}$  значительна, и при  $\alpha = 0,4$  достигает 34%. Из уравнения (8), а также сопоставления кривых, изображенных на рис. 1 и 2, следует, что ошибка при определении  $x_{ad}$ ,  $x_{aq}$  получается практически одинаковой.

В практике проектирования электрических машин все расчеты обычно производятся при учете лишь основных гармонических. Влияние же высших гармонических учитывается самостоятельно. Поэтому

в вышеизложенном предполагалось, что расчет коэффициентов  $k_a$ ,  $k_q$ ,  $k_{ad}$ ,  $k_{aq}$  и сопротивлений  $x_{ad}$ ,  $x_{aq}$  производится для основных гармонических.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Постников, В. В. Ралле. К определению размеров параметрического (реактивного) двигателя. «Электричество», № 3, 1963.
2. М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. Электрические машины. Ч. II. ГЭИ, 1958.
3. Н. П. Ермолин. Электрические машины малой мощности. Высшая школа, 1962.
4. И. М. Постников. Проектирование электрических машин. ГИТЛ, УССР, 1960.
5. Е. Я. Казовский. Переходные процессы в электрических машинах переменного тока. Изд. АН СССР, 1962.
6. М. П. Костенко, Б. Е. Коник. Определение основной и третьей гармоник поля якоря и поля полюсов явнополюсной синхронной машины. «Электричество», № 3, 1951.