

**ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ РОТОРА И НАСЫЩЕНИЯ  
МАГНИТНОЙ ЦЕПИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
СИНХРОННЫХ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Е. В. Кононенко, А. Н. Айферт, Г. И. Лукиянов**

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Энергетические показатели синхронных реактивных двигателей (СРД) в значительной степени зависят от выбранной геометрии воздушного зазора. Всесторонние исследования магнитных полей в воздушном зазоре СРД как простых [1], так и усовершенствованных [2] дали возможность определить коэффициенты, характеризующие магнитное поле в воздушном зазоре таких двигателей, рассчитать синхронные индуктивные сопротивления и магнитную цепь машины. Кроме того, такие исследования позволили оценить влияние геометрии воздушного зазора на коэффициенты магнитного поля. Используя коэффициенты магнитного поля, определенные в вышеупомянутых работах, можно выбрать также конструкцию ротора, обеспечивающую лучшие энергетические и весовые показатели СРД.

При выборе оптимальной конструкции ротора СРД можно руководствоваться тем, что она должна обеспечить большие значения максимального коэффициента мощности ( $\cos\varphi_{\min}$ ) и электромагнитного момента вращения ( $M_m$ ) в одних и тех же габаритах и перегревах обмотки статора, не превышающих допустимые. Пренебрегая влиянием активного сопротивления обмотки статора, выражения для  $\cos\varphi_{\min}$  и  $M_m$  можно представить в виде [3]

$$\cos\varphi_{\min} = \frac{\frac{x_d}{x_q} - 1}{\frac{x_d}{x_q} + 1}; \quad (1)$$

$$M_m = \frac{U^2}{2x_d} \left( \frac{x_d}{x_q} - 1 \right), \quad (2)$$

где  $U$  — напряжение питающей сети,  
 $x_d, x_q$  — синхронные индуктивные сопротивления по продольной и поперечной осям соответственно.

Из этих выражений видно, что  $\cos\varphi_{\min}$  определяется только отношением  $\frac{x_d}{x_q}$ , а  $M_m$ , кроме того, обратно пропорционален  $x_d$ . Известно, что синхронные индуктивные сопротивления по продольной и поперечной осям прямо пропорциональны коэффициентам формы поля ( $k_d, k_q$ ), обратно пропорциональны величине воздушного зазора ( $q$ ) и коэффициенту насыщения магнитной цепи ( $k_{\mu d}$  и  $k_{\mu q}$ ). Следовательно,  $\cos\varphi_{\min}$  и

$M_m$  в значительной степени определяются конструкцией ротора СРД. Зная зависимость коэффициентов магнитного поля от геометрических размеров ротора, можно оценить влияние геометрии на  $\cos\varphi_{\min}$  и  $M_m$ .

### Простые СРД

Предполагая вначале, что магнитная цепь СРД не насыщена ( $k_{\mu d} = k_{\mu q} \approx 1,0$ ), и используя результаты исследования магнитного поля простых СРД [1], можно рассчитать зависимость  $\cos\varphi_{\min}$  и  $M_m$  от величины воздушного зазора и полюсного перекрытия. Эти зависимости представлены на рис. 1. Как видно из рис. 1, а, отношение  $\frac{x_d}{x_q}$  и  $\cos\varphi_{\min}$  с увеличением  $\delta$  уменьшаются, а  $M_m$  — увеличивается. Большие величины  $\frac{x_d}{x_q}$ ,  $\cos\varphi_{\min}$  и  $M_m$  относятся к меньшему значению  $\alpha$  (рис. 1, б).

Используя коэффициенты магнитного поля [1], можно оценить и влияние насыщения магнитной цепи на работу простых СРД. При принятом допущении ( $\gamma = 0$ ) электромагнитный момент вращения равен максимальному при  $\Theta = 45^\circ$ . В этом случае магнитные потоки по продольной и поперечной осям равны между собой. Так как  $\alpha_q < \alpha_d$ , а  $k_{\mu q} > k_{\mu d}$ , то магнитная цепь по поперечной оси оказывается более насыщенной и  $k_{\mu q} > k_{\mu d}$  [1,4]. Поэтому при учете насыщения отношение  $\frac{x_d}{x_q}$  увеличивается, а  $x_d$  уменьшается, что приводит к увеличению  $\cos\varphi_{\min}$ .

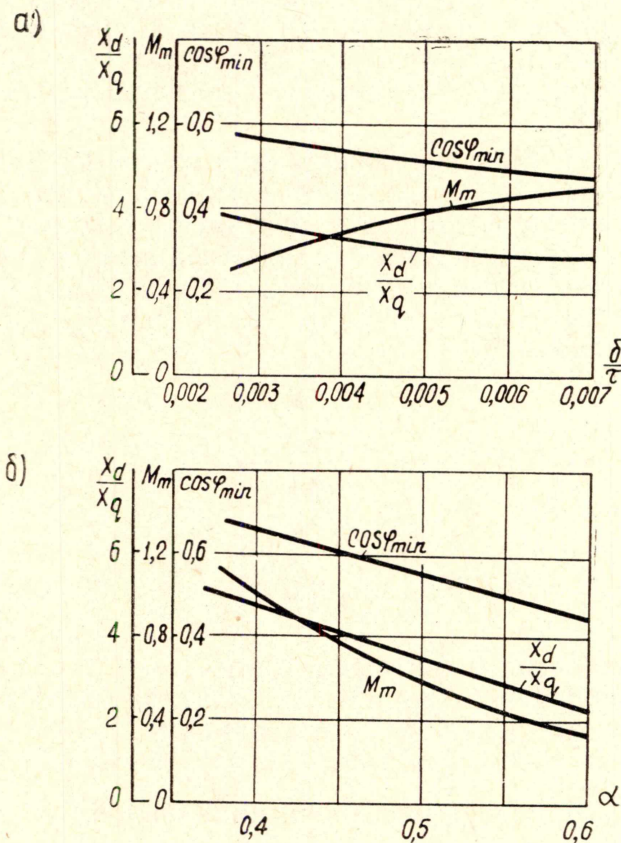


Рис. 1. Зависимость  $\frac{x_d}{x_q}$ ,  $M_m$  и  $\cos\varphi_{\min}$  от а) воздушного зазора при  $\alpha = 0,5$  и б) полюсного перекрытия при  $\delta = 0,003\tau$  для простых СРД

и  $M_m$ . Если принять, что при  $\alpha = 0,5$  и  $\delta = 0,003\tau$  коэффициенты насыщения равны  $k_{\mu,d} = 1,25$  и  $k_{\mu,q} = 1,5$ , то отношение  $\frac{x_d}{x_q}$  вследствие учета насыщения увеличивается с 3,52 до 3,95;  $M_m$  — с 0,58 до 0,84. Если допустить, что при определении  $\cos\varphi_{\min}$  отношения  $\frac{x_d}{x_q}$  остаются такими же, как и при расчете  $M_m$ , то максимальное значение коэффициента мощности увеличится с 0,56 до 0,595.

Несмотря на то, что простые СРД имеют большие значения  $\frac{x_d}{x_q}$  при меньшей величине полюсного перекрытия, выбор  $\alpha \leq 0,4$  нецелесообразен из-за значительного увеличения магнитной индукции в воздушном зазоре и насыщения магнитной цепи. Так, при  $\alpha = 0,4$  и  $\delta = 0,003\tau$  максимальная индукция в воздушном зазоре СРД по продольной оси увеличивается в 1,38 раза по сравнению с максимальной индукцией асинхронного двигателя, если сравнивать двигатели одних и тех же габаритов и имеющие одинаковые статоры. Современные асинхронные двигатели выполняются с насыщенной магнитной цепью. Увеличение максимальной индукции в 1,38 раза приводит к тому, что ток холостого хода СРД увеличивается почти до номинального, потери в стали растут, и перегрев обмотки статора, даже при работе вхолостую, превышает допустимый. Для снижения перегрева необходимо уменьшить величину магнитного потока, что связано с уменьшением  $M_m$ .

### Усовершенствованные СРД

Анализ влияния конструкции ротора усовершенствованных СРД на  $M_m$  и  $\cos\varphi_{\min}$  можно выполнить так же, как и для простых СРД. На рис. 2 представлены зависимости  $M_m$ ,  $\cos\varphi_{\min}$  и  $\frac{x_d}{x_q}$  от воздушного зазора (рис. 2,а) и полюсного перекрытия (рис. 2,б), рассчитанные для СРД коэффициенты магнитного поля которого определены по [2] при условии, что  $k_{\mu,d} = k_{\mu,q} \approx 1,0$ . Сравнивая эти зависимости с приведенными на рис. 1, видим, что в усовершенствованных СРД изменение  $\delta$  и  $\alpha$  оказывает меньшее влияние на  $M_m$  и  $\cos\varphi_{\min}$ , чем в простых СРД.

Меньшее влияние на  $M_m$  и  $\cos\varphi_{\min}$  в усовершенствованных СРД оказывает и учет насыщения магнитной цепи. Несмотря на то, что  $\alpha_q$  сравнительно мал, коэффициент насыщения магнитной цепи по поперечной оси таких машин невелик благодаря наличию внутренних немагнитных пазов [2]. Поэтому при расчете  $M_m$  и  $\cos\varphi_{\min}$  можно считать, что  $k_{\mu,d} \geq k_{\mu,q}$ . Если принять, что при  $\alpha = 0,6$  и  $\delta = 0,003\tau$  коэффициенты насыщения магнитной цепи равны  $k_{\mu,d} = k_{\mu,q} \approx 1,2$ , то отношение  $\frac{x_d}{x_q}$  вследствие учета насыщения уменьшается с 7,8 до 7,4,  $\cos\varphi_{\min}$  с 0,774 до 0,764, а  $M_m$  увеличивается от 1,46 до 1,57.

Учитывая изложенное, усовершенствованные СРД целесообразно выполнять с меньшим насыщением магнитной цепи по сравнению с простыми СРД. Поэтому полюсное перекрытие в усовершенствованных СРД должно выбираться не менее  $0,55 \div 0,60$ .

На основании изложенных выше рекомендаций были спроектированы, а в СКБ Электромашиностроения изготовлены опытные образцы усовершенствованных СРД на базе и в габаритах асинхронных двигателей А02 третьего габарита. Основные величины, характеризующие опытные образцы усовершенствованных СРД, приведены в табл. 1. Здесь

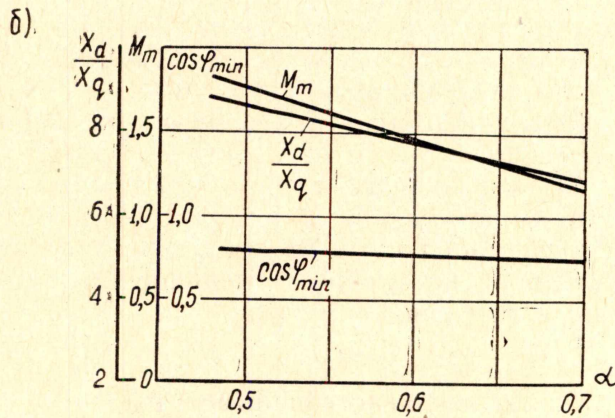
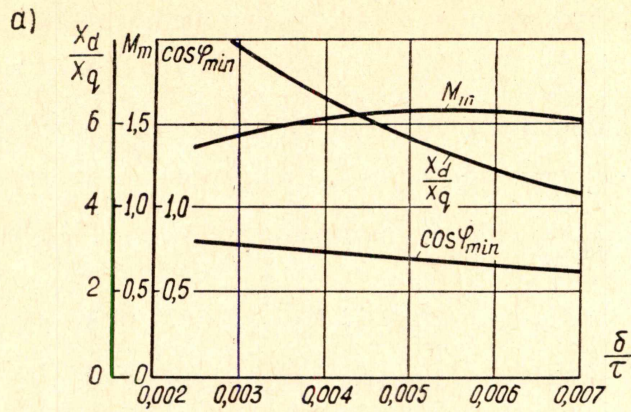


Рис. 2. Зависимость  $\frac{X_d}{X_q}$ ,  $M_m$  и  $\cos\varphi_{min}$  от  
 а) воздушного зазора при  $\alpha_1=0$ ,  $\alpha=0,6$  и б) по-  
 лосного перекрытия при  $\alpha_1=0$ ,  $\delta=0,003\tau$  для  
 усовершенствованных СРД

же для сравнения приведены соответствующие данные асинхронных двигателей, в габаритах которых выполнены СРД. Из таблицы видно, что усовершенствованные СРД имеют энергетические показатели, приближающиеся к таким высокоиспользуемым двигателям, как асинхронные, при несколько меньшем значении коэффициента мощности.

Таблица I

Тип двига- теля	$P_n$ , квт	$n_n$ , об/мин	$\eta_n$ , %	$\cos\varphi_n$	$\frac{M_{пуск}}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	$\frac{M_{вх}}{M_n}$	$\Delta t$
СРО-31-4	2,2	1500	81,3	0,655	3,4	1,7	0,99	60° С
АО2-31-4	2,2	1430	82,0	0,83	1,8	2,15	—	54° С
СРО-32-4	3,0	1500	84,0	0,666	4,0	1,62	1,26	59° С
АО2-32-4	3,0	1430	84,0	0,837	1,9	2,4	—	56° С

Таким образом, при правильном выборе параметров геометрии воздушного зазора и насыщения магнитной цепи в габаритах асинхронных двигателей можно выполнить усовершенствованные СРД с одинаковыми номинальной мощностью и перегревом обмотки статора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Айферт, Е. В. Кононенко. Исследование магнитного поля простых синхронных реактивных двигателей. Изв. ТПИ, т. 172, 1967.
  2. А. Н. Айферт, Е. В. Кононенко. Магнитное поле в воздушном зазоре усовершенствованных синхронных реактивных двигателей. Сб. «Электронные и электромеханические устройства», М., Изд. «Энергия», 1968.
  3. Е. В. Кононенко, Б. П. Гарганеев, А. Л. Кислицын. Некоторые вопросы теории и проектирования трехфазных синхронно-реактивных двигателей, Сб. «Вопросы теории и проектирования электрических машин», вып. 3, Новосибирск, 1963.
  4. Е. В. Кононенко, А. Н. Айферт, Б. П. Гарганеев. Учет влияния насыщения на параметры синхронных реактивных двигателей, Известия ТПИ, т. 160, 1966.
-