

**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 δ уменьшаются, а M_m — увеличивается. Большие величины $\frac{x_d}{x_q}$, $\cos\varphi_{\min}$ и M_m относятся к меньшему значению α (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 $\cos\varphi_{\min}$.

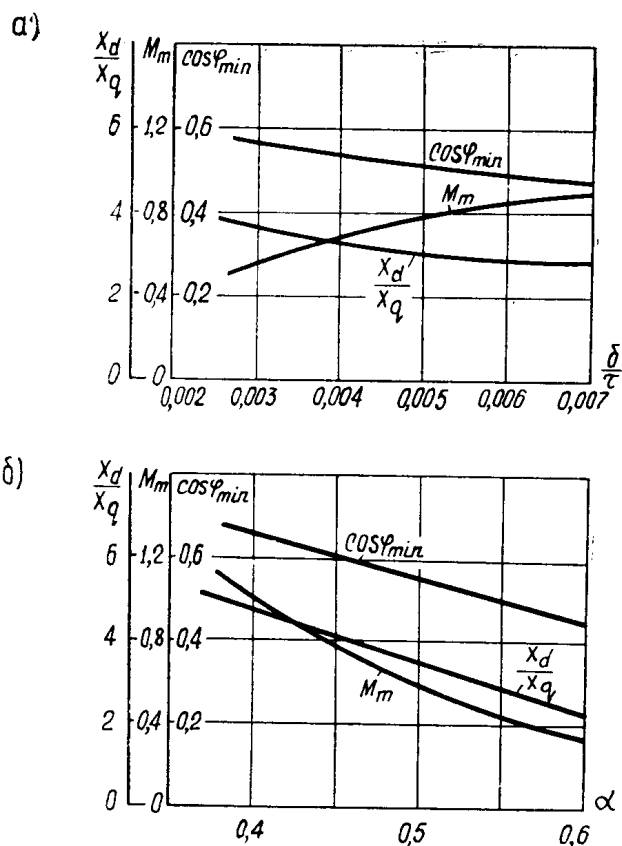


Рис. 1. Зависимость $\frac{x_d}{x_q}$, M_m и $\cos\varphi_{\min}$ от
а) воздушного зазора при $\alpha=0,5$ и б) полюсного перекрытия при $\delta=0,003\tau$ для простых СРД

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 δ и α 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 α_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

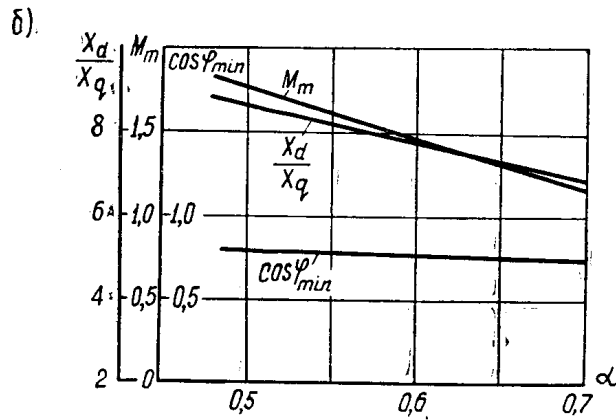
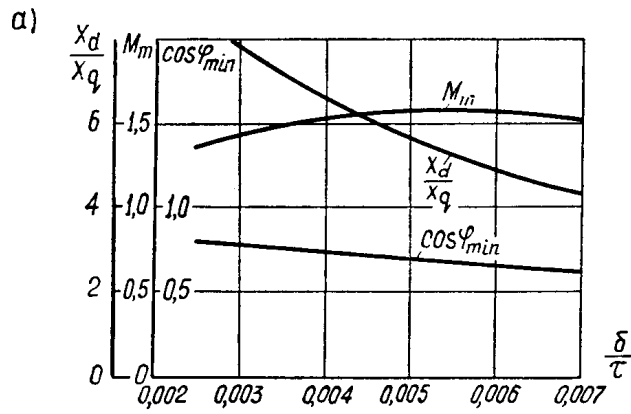


Рис. 2. Зависимость $\frac{X_d}{X_q}$, M_m и $\cos\varphi_{\min}$ от
 а) воздушного зазора при $\alpha_1=0$, $\alpha=0,6$ и б) по-
 лусного перекрытия при $\alpha_1=0$, $\delta=0,003\tau$ для
 усовершенствованных СРД

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 высокоиспользованным двигателям, как асинхронные, при несколько меньшем значении коэффициента мощности.

Таблица 1

Тип двигателя	P_n , квт	n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_n}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_n}$	$\frac{M_{\text{вх}}}{M_n}$	Δt
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.
-