

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ  
СИНХРОННО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ  
НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЕГО РАБОТЫ

С. В. КОНОНЕНКО, А. Л. КИСЛИЦЫН

(Представлена научным семинаром электромеханического факультета)

Для того, чтобы спроектировать синхронно-реактивный двигатель (СРД), работающий устойчиво в заданных режимах, необходимо определить влияние различных его параметров на автоколебания (самораскачивание).

Методика исследования устойчивости СРД подробно рассмотрена в [1]. Однако вопрос влияния параметров СРД, кроме активного сопротивления обмотки статора и индуктивного сопротивления внешней цепи, на область устойчивой работы ранее не рассматривался.

В настоящей работе, предполагая, что двигатель работает при постоянном напряжении сети, рассматривается влияние на область устойчивой работы СРД следующих параметров: реактивного сопротивления реакции якоря по продольной оси  $x_{ad}$ , отношения  $\frac{x_{ad}}{x_{aq}}$ , частоты питающей сети, момента инерции вращающихся масс и величины нагрузки.

При анализе электромеханических переходных процессов, к которым относится явление самораскачивания, необходимо рассматривать совместно уравнения равновесия напряжения и уравнение моментов. Эти уравнения, записанные в осях  $d$  и  $q$ , являются нелинейными. На основе теории малых возмущений, проводя линеаризацию уравнений, составляются линейные уравнения возмущенного движения.

Решая затем полученную систему уравнений, уравнение движения ротора можно представить в следующем виде [1]):

$$[T_j p^2 + M_{so} + M_{sg} + p(M_{do} + M_{dr_1} + M_{dr_2})] \Delta\theta = 0, \quad (1)$$

где  $T_j$  — инерционная постоянная вращающихся масс;

$M_{so}$  — основной синхронизирующий момент;

$M_{sg}$  — дополнительный синхронизирующий момент, обусловленный наличием обмотки на роторе по продольной и поперечной осям;

$M_{do}$  — основной асинхронный момент;

$M_{dr_1}$  — дополнительный асинхронный момент, зависящий от активного сопротивления обмотки статора в первой степени;

$M_{dr_2}$  — дополнительный асинхронный момент, зависящий от активного сопротивления обмотки статора во второй степени.

В рассматриваемом случае наиболее целесообразно использовать метод исследования, основанный на частотном критерии. Сущность метода сводится к рассмотрению малых гармонических колебаний ротора СРД и анализу величин, определяющих изменение электромагнитного момента. Этот метод, использующий моментные характеристики машины, позволяет непосредственно определить влияние параметров СРД на расположение границы устойчивой работы.

Граница области устойчивой работы СРД при использовании частотного критерия определяется прохождением кривой годографа моментной характеристики через начало координат комплексной плоскости [1].

Подставив в уравнение (1)  $p = jh$  и выделив действительную и мнимую части, получим

$$X(h) + jY(h) = 0. \quad (2)$$

Здесь  $X(h)$  и  $Y(h)$  — многочлены по степеням  $h$ , коэффициенты которых содержат неизвестные параметры  $\lambda$  и  $r_{s_{кр}}$ , влияние которых на устойчивость требуется исследовать.

Из уравнения (2) определяем два уравнения, определяющих искомое решение

$$\begin{aligned} X(\lambda, r_{s_{кр}}) &= 0, \\ Y(\lambda, r_{s_{кр}}) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

где  $r_{s_{кр}}$  — критическое активное сопротивление цепи обмотки статора, определяющее границу области устойчивой работы;

$\lambda$  — параметр, влияние которого на устойчивость требуется установить.

Решая уравнения (3), можно определить границу области устойчивой работы в плоскости параметров  $\lambda$  и  $r_{s_{кр}}$ .

Существование периодического решения уравнения (1), которое определяется численным методом, возможно не при любых значениях искомого параметра. Это заставляет при анализе влияния параметров на расположение границы области устойчивой работы производить расчет большого числа вариантов.

Значительно сокращает затраты времени при данных исследованиях применение электронных цифровых вычислительных машин [2].

В данной работе приводятся результаты исследований, выполненных для двигателя РО-42-4, имеющего ротор с залитыми межполюсными пространствами.

Согласно техническим условиям, двигатели РО-42 должны работать устойчиво при изменениях частоты в пределах  $(30 \div 200)$  % от номинальной. В соответствии с этим влияние параметров определялось во всем рабочем диапазоне частот.

При исследованиях влияния определенного параметра  $\lambda$  на самораскачивание все остальные параметры двигателя принимаются неизменными за исключением активного сопротивления обмотки статора.

При проектировании СРД большое значение имеет правильный выбор величины сопротивления  $x_{aa}$  [3]. При исследовании предполагалось, что индуктивное сопротивление реакции якоря  $x_{aa}$  изменяется в пределах от 1 до 2. Здесь и в дальнейшем параметры выражаются в относительных единицах.

На рис. 1 представлены границы области устойчивой работы, полученные расчетным путем, для различных значений частоты  $\omega$ . Область,

заклученная между каждой кривой и осью абсцисс, является областью неустойчивой работы; область, заклученная между каждой кривой и осью ординат,— устойчивой. Как видно из рис. 1, при увеличении индуктивного сопротивления  $x_{ad}$  устойчивость двигателя пропорциональ-

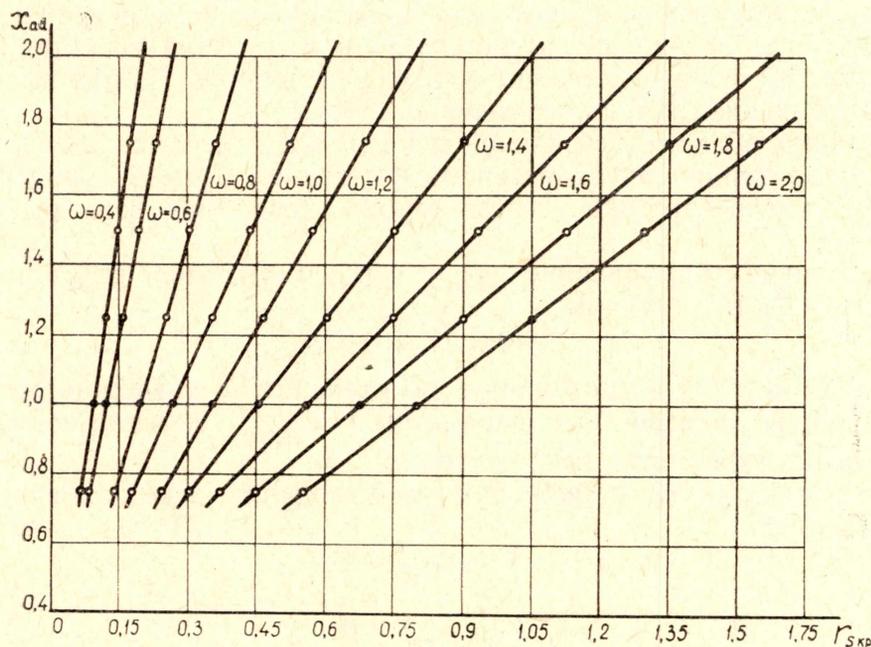


Рис. 1. Влияние сопротивления  $x_{ad}$  на расположение границы области устойчивой работы при  $\frac{x_{ad}}{x_{aq}} = \text{const}$ .

но увеличивается, и наоборот. Так как сопротивление  $x_{ad}$  обратно пропорционально величине воздушного зазора, для повышения устойчивости необходимо выбирать воздушный зазор наименьшим.

Одним из важных факторов, определяющих энергетические показатели СРД, является отношение сопротивлений  $\frac{x_{ad}}{x_{aq}}$ , которое зависит от конструкции ротора. Результаты расчета границы устойчивости в зависимости от  $\frac{x_{ad}}{x_{aq}}$ , проведенного для СРД, имеющего все остальные параметры, как у двигателя РО-42-4, представлены на рис. 2. Из приведенных графиков видно, что с увеличением отношения  $\frac{x_{ad}}{x_{aq}}$  устойчивость работы двигателя снижается и, следовательно, вероятность возникновения самораскачивания увеличивается.

При анализе теоретических и расчетных данных установлено, что большое влияние на расположение границы устойчивой работы оказывает изменение частоты питающей сети при соответствующем пропорциональном изменении напряжения. Как видно из кривых рис. 1, 2, уменьшение частоты питающей сети смещает границу области устойчивой работы в сторону меньших значений активного сопротивления, и наоборот.

Синхронно-реактивные двигатели РО-42 в условиях эксплуатации обычно работают при углах нагрузки  $\Theta$ , равных приблизительно  $10^\circ$ , и при маховой массе — на валу ротора, равной  $1 \text{ кгм}^2$ . Такой режим

довольно близок к холостому ходу. Увеличение нагрузки на валу оказывает большое влияние на расположение границы области устойчивой

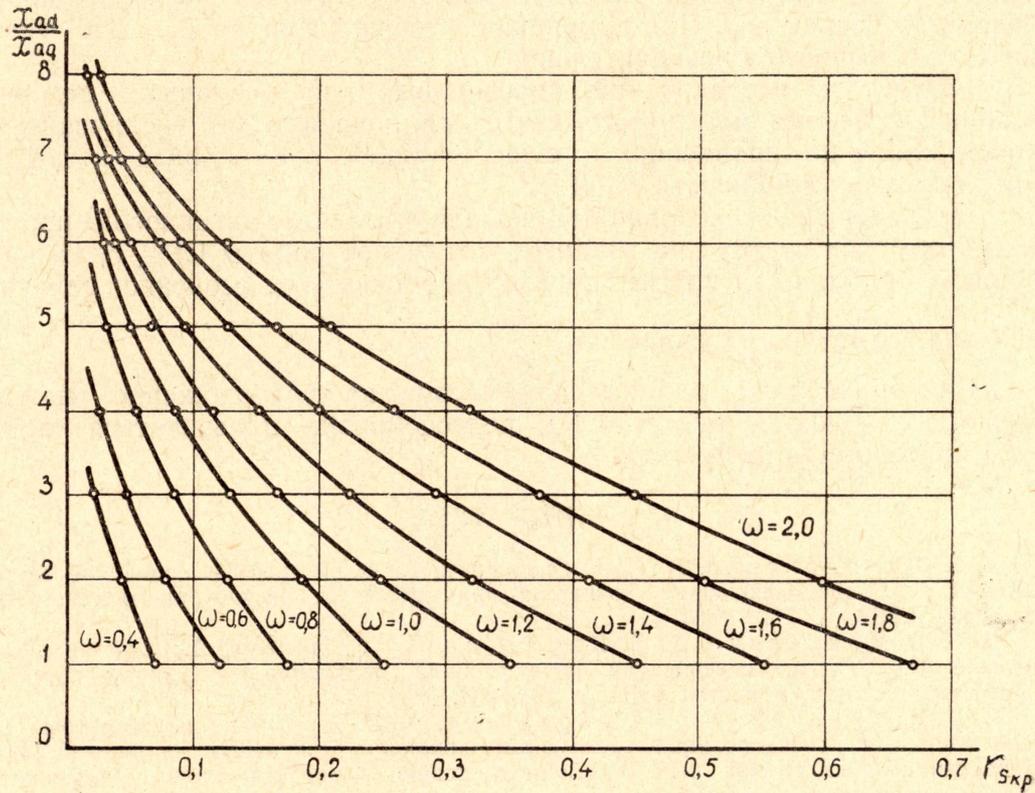


Рис. 2. Влияние отношения  $\frac{x_{ad}}{x_{aq}}$  на расположение границы области устойчивой работы при  $x_{ad} = \text{const}$ .

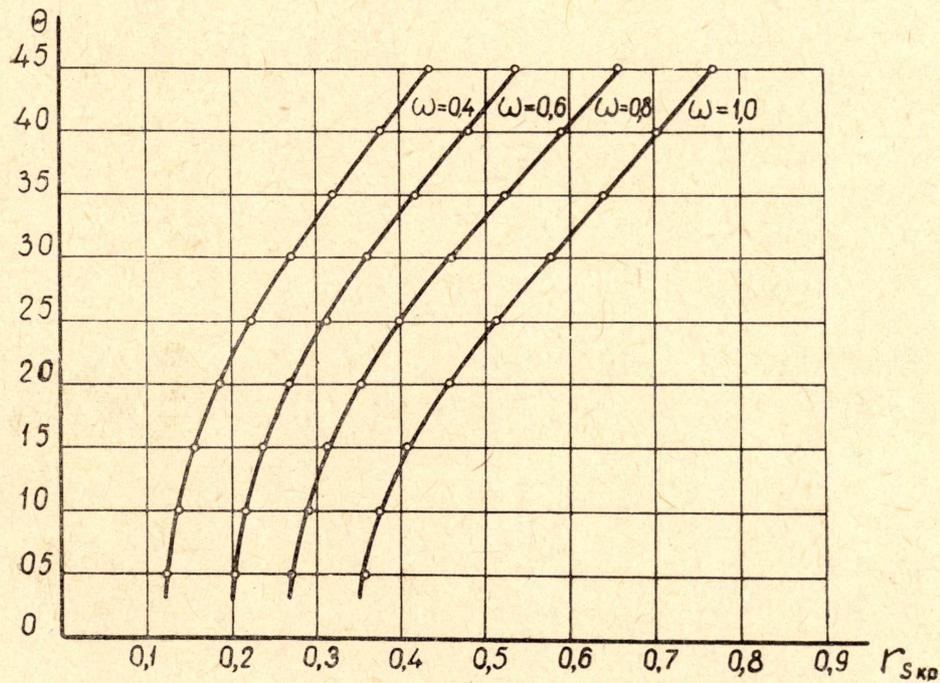


Рис. 3. Влияние нагрузки синхронно-реактивного двигателя на расположение границы области устойчивой работы.

работы. На рис. 3 приведены границы устойчивости при различных углах нагрузки  $\Theta$ , полученные для нескольких значений частоты питающей сети. Следует отметить, что с ростом угла нагрузки устойчивость двигателя возрастает. При изменении угла нагрузки от  $0^\circ$  до  $20^\circ$  устойчивость повышается незначительно.

Результаты исследований, проведенных для различных значений маховой массы на валу ротора двигателя, показали, что увеличение маховой массы по сравнению с существующей в 3—4 раза несколько увеличивает устойчивость СРД.

Проведенные исследования показали, что кроме активного сопротивления обмотки статора на границы устойчивой работы СРД оказывают большое влияние и другие параметры двигателя, особенно величина воздушного зазора и отношение  $\frac{x_{ad}}{x_{aq}}$ .

Для определения влияния параметров на расположение границы области устойчивой работы СРД целесообразно пользоваться частотным критерием устойчивости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Кононенко, А. Л. Кислицын, А. Ф. Финк. Исследование автоколебаний синхронно-реактивного двигателя при работе от регуляторного генератора. Известия ТПИ, т. 132, 1964.

2. Е. В. Кононенко, А. Л. Кислицын, А. С. Гитман, А. Ф. Финк. Применение АЦВМ для исследования автоколебаний синхронно-реактивного двигателя частотным методом. Известия ТПИ, т. 138, 201, 1965.

3. Е. В. Кононенко, Б. П. Гарганеев, А. Л. Кислицын. Некоторые вопросы теории и проектирования трехфазных синхронно-реактивных двигателей. Межвузовский сборник трудов, вып. 3, «Вопросы теории и проектирования электрических машин», Новосибирск, 1963.