

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБМОТКЕ СТАТОРА И ПАРАМЕТРОВ НА СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННЫХ РЕАКТИВНЫХ МАШИН

Е. В. КОНОНЕНКО

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Для того, чтобы спроектировать синхронную реактивную машину (СРМ), работающую устойчиво в заданном режиме, необходимо знать влияние конструктивных параметров на область статической устойчивости этих машин. Исследование влияния параметров СРМ на область устойчивой работы проводилось по методике, изложенной в [1.] Расчет границ области статической устойчивости выполнялся на электронной цифровой вычислительной машине «Минск-1».

Исследования показали, что влияние отдельных параметров на величину области устойчивой работы проявляется в следующем.

1. Перегрузочная способность (сползание) СРМ зависит только от параметров установившегося режима работы. С увеличением отношения $\frac{x_d}{x_q}$ перегрузочная способность возрастает. Увеличение активного сопротивления в цепи обмотки статора приводит к уменьшению перегрузочной способности.

2. Величина области самораскачивания СРМ определяется параметрами как установившегося, так и переходного режимов работы.

Самораскачивание обусловлено наличием активного сопротивления в цепи обмотки статора. Увеличение активного сопротивления сужает область устойчивой работы СРМ.

С увеличением отношения $\frac{x_d}{x_q}$ область самораскачивания расширяется. На рис. 1 приведена граница устойчивости $\frac{x_d}{x_q} = f(r)$, рассчитанная при условии, что остальные параметры СРМ постоянны ($H=100$ эл. сек., $\Theta_0=0^\circ$; $T_d=40$ эл. сек., $T_q=10$ эл. сек., $x_q=0,45$; $x_q''=0,2$; $x_q'''=0,2$).

С уменьшением синхронного индуктивного сопротивления x_d область устойчивой работы сужается. Сопротивление x_d находится в обратнопропорциональной зависимости от величины воздушного зазора. Следовательно, с увеличением воздушного зазора, область самораскачивания расширяется. На рис. 1 приведена граница устойчивости $x_d = f(r)$, рассчитанная при условии, что $\frac{x_d}{x_q} = 5,0$, а остальные параметры те же, что и в предыдущем случае.

Увеличение момента инерции вращающихся масс расширяет область устойчивой работы СРМ. На рис. 2 приведена граница устойчивой работы при изменении механической постоянной вращающихся масс,

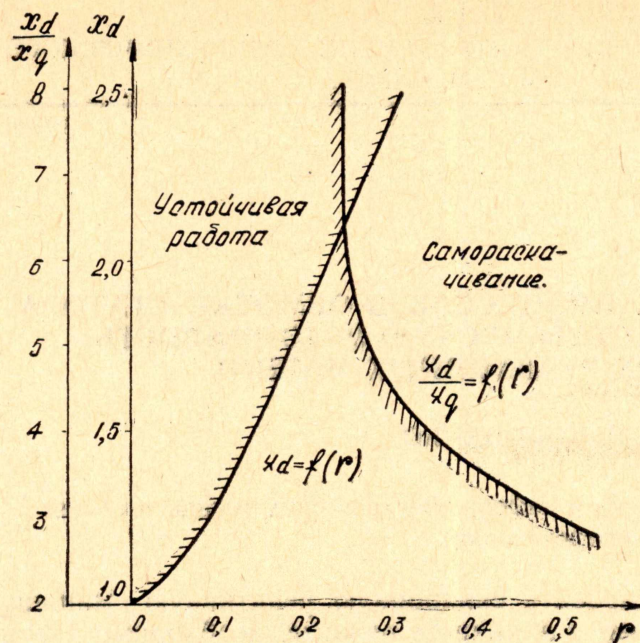


Рис. 1. Границы области устойчивой работы, построенные при изменении сопротивления x_d и отношения $\frac{x_d}{x_q}$.

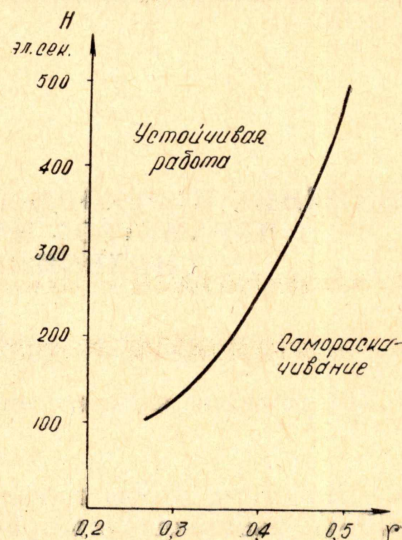


Рис. 2. Построение границы области устойчивой работы при изменении механической постоянной H .

рассчитанная для СРМ, имеющей параметры такие же, как в предыдущих случаях, и $x_d=2,33$; $x_q=0,45$. Существенное влияние на область устойчивой работы оказывают короткозамкнутые обмотки ротора [1, рис. 1]. При отсутствии на роторе короткозамкнутых обмоток СРМ не может работать устойчиво. Соответствующим выбором параметров роторной обмотки возникновение самораскачивания можно сделать практически невозможным.

Величина области самораскачивания зависит и от нагрузки машины. При исследовании статической устойчивости значение нагрузки в уравнениях определяется углом Θ_0 [1]. Области устойчивой и неустойчивой работы СРМ в этом случае строятся в плоскости параметров Θ_0 и g . Граница, разделяющая генераторный и двигательный режимы работы СРМ в этих координатах, определяется точками, соответствующими идеальному холостому ходу. Значение угла Θ_0 для режима холостого хода определяется из равенства

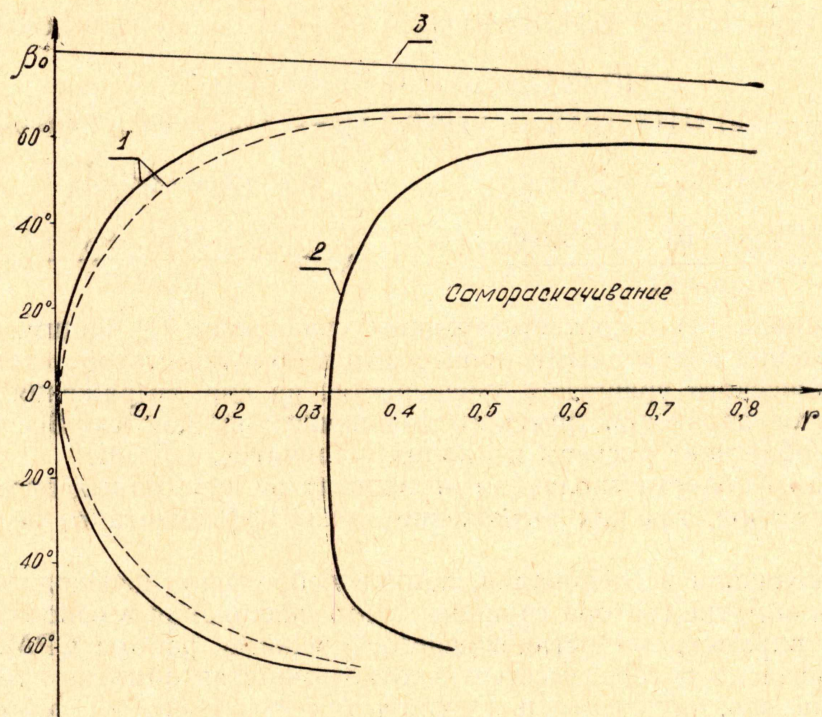
$$\operatorname{tg} \Theta_0 = -\frac{r}{x_d}. \quad (1)$$

При исследовании влияния нагрузки на область устойчивой работы СРМ границы устойчивости целесообразно строить в зависимости от угла между осью полюса ротора и осью намагничивающей силы обмотки статора — β_0 . При известных значениях параметров и Θ_0 этот угол определяется из отношения

$$\operatorname{tg} \beta_0 = \frac{x_d \sin \Theta_0 + r \cos \Theta_0}{x_q \cos \Theta_0 - r \sin \Theta_0}. \quad (2)$$

На рис. 3 построены границы устойчивой работы в плоскости параметров β_0 и g , рассчитанные для СРМ, имеющей параметры: $H=200$ эл. сек; $x_d=2,33$; $x_q=0,45$; $x_d''=x_q''=0,2$. Из приведенных кривых следует, что с увеличением нагрузки возможность возникновения самораскачивания уменьшается. Если на роторе имеется обмотка только по продольной оси, устойчивая работа при небольших нагрузках невозможна.

на. Наличие на роторе полной обмотки вызывает перемещение области самораскачивания в сторону больших значений активного сопротивления.



Р и с. 3. Границы области устойчивой работы, построенные в зависимости от угла нагрузки β_0
 1 — $T_d = 40$ эл. сек, $T_q = 0$;
 2 — $T_d = 40$ эл. сек, $T_q = 10$ эл. сек;
 3 — граница сползания;
 — — — без учета переходных процессов с обмотки статора.

При исследовании статической устойчивости СРМ представляет интерес рассмотреть влияние переходных процессов в обмотке статора. При малых возмущениях можно допустить, что трансформаторные э. д. с. и э. д. с. скольжения практически не влияют на условия самораскачивания и ими можно пренебречь [2].

Тогда линеаризованная система уравнений СРМ, имеющих полную обмотку на роторе, будет иметь вид [1]:

$$\begin{aligned} U \cos \theta_0 \Delta \theta + r \Delta i_d - x_q(p) \Delta i_q &= 0; \\ U \sin \theta_0 \Delta \theta + x_d(p) \Delta i_d + r \Delta i_q &= 0; \\ H p^2 \Delta \theta + [x_d(p) - x_q] i_{q0} \Delta i_{d0} + [x_d - x_q(p)] i_{d0} \Delta i_q &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь величины с индексом нуль характеризуют исходный установившийся режим; величины со знаком Δ обусловлены малыми колебаниями ротора.

Составив и приравняв нулю определитель системы уравнений (3), после соответствующих преобразований характеристическое уравнение можно представить в виде

$$\begin{aligned} a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 &= 0, \\ a_0 &= H (r^2 + x_d'' x_q'') T_d T_q; \\ a_1 &= H [r^2 (T_d + T_q) + x_d'' x_q T_d + x_d x_q'' T_q]; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
a_2 &= H (x_d x_q + r^2) + B (x_d'' \cos \theta_0 - r \sin \theta_0) T_d U i_{do} + \\
&\quad + A (x_q'' \sin \theta_0 + r \cos \theta_0) T_q U i_{qo}; \\
a_3 &= [B x_d + (x_d - x_q) x_d'' T_d] U \cos \theta_0 i_{do} + \\
&+ [A x_q - (x_d - x_q) x_q'' T_q] U \sin \theta_0 i_{qo} + [A - (x_d - x_q) T_q] r U \cos \theta_0 i_{qo} - \\
&\quad - [B + (x_d - x_q) T_d] r U \sin \theta_0 i_{do}; \\
a_4 &= (x_d - x_q) U [(x_d \cos \theta_0 - r \sin \theta_0) i_{do} - (x_q \sin \theta_0 + r \cos \theta_0) i_{qo}]; \\
A &= (x_q - x_d'') T_d; \quad B = (x_d - x_q'') T_q; \\
i_{qo} &= \frac{U x_q \cos \theta_0 - U r \sin \theta_0}{x_d x_q + r^2}; \quad i_{do} = \frac{U x_d \sin \theta_0 + U r \cos \theta_0}{x_d x_q + r^2}.
\end{aligned}$$

Сравнивая (4) с соответствующим уравнением [1], видим, что при пренебрежении переходными процессами в обмотке статора степень характеристического уравнения уменьшается на два. Выражения для коэффициентов характеристического уравнения упрощаются. Все это значительно облегчает расчеты и анализ устойчивости СРМ.

Границы области сползания не зависят от переходных процессов в обмотке статора, так как выражение для коэффициента α_6 не изменяется.

Как показали исследования, при пренебрежении переходными процессами в обмотке статора границы самораскачивания в основном определяются параметрами установившегося режима работы СРМ. Так, в случае, когда на роторе имеется короткозамкнутая обмотка только по продольной оси, определитель Гурвица для уравнения (4) можно представить в виде

$$\begin{aligned}
\Delta_r &= \frac{H (x_d - x_d'') T_d U^2}{x_d x_q + r^2} \{ r^4 \cos^2 \theta_0 + r^3 x_d \sin 2\theta_0 + \\
&\quad + r^2 x_q [(2x_d - x_q) \sin^2 \theta_0 - (x_d - 2x_q) \cos^2 \theta_0] + \\
&\quad + r x_q^3 \sin 2\theta_0 + x_d \cdot x_q^3 \sin^2 \theta_0 \} \quad (5)
\end{aligned}$$

Из этого уравнения видно, что при весьма малом значении механической постоянной H или отсутствии на роторе короткозамкнутой обмотки устойчивая работа СРМ невозможна. При конечных значениях H , x_d'' , T_d границы устойчивой работы определяются условиями, при которых выражение, стоящее в фигурных скобках уравнения (5), будет равно нулю. Следовательно, в рассматриваемом случае границы устойчивой работы определяются только параметрами установившегося режима работы СРД.

Как показали исследования, переходные процессы в обмотке статора в ряде случаев значительно расширяют область самораскачивания. При наличии на роторе обмотки только по продольной оси изменение границы устойчивой работы может быть незначительным, как это видно из рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Кононенко. Исследование статической устойчивости синхронных реактивных машин. В настоящем сборнике.
2. Н. И. Соколов и др. Применение аналогичных вычислительных машин в энергетических системах, Изд-во Энергия, 1964.