

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ПРОЦЕСС ВХОЖДЕНИЯ В СИНХРОНИЗМ

Е. В. КОНОНЕНКО, А. Ф. ФИНК

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Широкое применение синхронных реактивных двигателей (СРД) в автоматизированном электроприводе возможно, если только хорошо известны их свойства в установившемся и переходных режимах. Из обзора литературы, посвященной исследованиям переходных процессов в СРД, следует, что из-за сложности физических явлений, происходящих в таких двигателях, теория их до настоящего времени в достаточной мере не изучена. В опубликованных работах по вопросам втягивания СРД в синхронизм [1—3 и др.] авторы ограничивались приближенными методами исследования, пренебрегая переходными электромагнитными процессами.

Процесс синхронизации является основным переходным процессом СРД. Схемы пуска должны обеспечивать наилучшие условия для втягивания двигателей в синхронизм, а также их автоматическую ресинхронизацию, если при перегрузке или при снижении напряжения в сети СРД выпадает из синхронизма. Вхождение в синхронизм обуславливается моментом, создаваемым пусковой обмоткой (асинхронный момент), и синхронным моментом, обусловленным разностью сопротивлений по осям d и q .

Для практических целей весьма важно знать заранее допустимые, по условиям синхронизации, предельные моменты нагрузки при прочих различных параметрах.

В настоящей работе, предполагая, что СРД работает при постоянном напряжении сети, рассматривается влияние на расчетную величину входного момента следующих факторов: активного сопротивления обмотки статора, инерционных постоянных ротора, индуктивного сопротивления по продольной оси x_d , отношения $\frac{x_d}{x_q}$ и постоянных обмоток ротора T_d и T_q .

Анализ влияния указанных параметров проводился по полным уравнениям Парка — Горева [4] с учетом общепринятых допущений. Принимая электромагнитный момент положительным в режиме работы двигателем (а ось q опережает ось d на угол 90°), эти уравнения с использованием системы относительных единиц могут быть записаны в операторной форме в следующем виде:

$$p\psi_d - (1 - s)\psi_q + r_i d = -U \sin \theta,$$

$$\begin{aligned}
p\psi_q + (1-s)\psi_d + r \cdot i_q &= U \cdot \cos \Theta, \\
p\psi_{dr} + r_{rd} \cdot i_{dr} &= 0, \\
p\psi_{qr} + r_{rq} \cdot i_{qr} &= 0, \\
\omega_s T_j p^2 \Theta + \psi_d i_q - \psi_q i_d &= M_c,
\end{aligned}$$

где величины без дополнительных индексов относятся к обмоткам статора, а с индексом г—к обмоткам ротора соответственно по осям d и q

T_j — инерционная постоянная;

Θ — угол, образованный поперечной осью полюсов ротора с вектором напряжения;

S — скольжение.

В основу исследований положена методика расчета процесса вхождения в синхронизм на аналоговой вычислительной машине ЭМУ-10, подробно рассмотренная в [4].

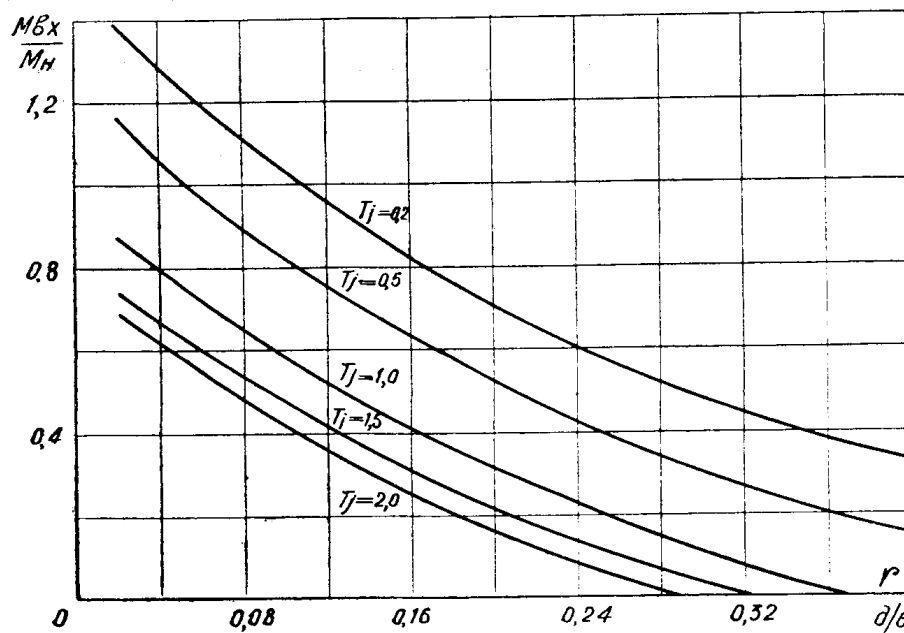
Согласно этой методике решение проводилось в фазовых координатах. За величину входного момента принималось значение момента сопротивления M_c , для которого относительная скорость ротора машины при асинхронном ходе достигает нуля, а интегральная кривая проходит через неустойчивую точку типа «седло».

Двигатель будет ресинхронизироваться, если в случае нарушения динамической устойчивости момент будет меньше или равен входному.

При исследовании определяются два граничных значения для входного момента $M_{вх}$, отличающиеся не более, чем на 0,001 отн. ед., которые удовлетворяют условию, что при меньшем граничном значении $M_{вх}$ двигатель втягивается в синхронизм, а при большем продолжает работать в установившемся асинхронном режиме.

Исследование влияния параметров на величину входного момента удобно проводить в плоскости двух параметров. При этом остальные параметры принимаются постоянными.

Как показали расчеты, на величину входного момента СРД большое влияние оказывает величина активного сопротивления обмотки статора и инерционная постоянная. На рис. 1 представлены зависимо-



Р и с. 1. Влияние активного сопротивления и инерционной постоянной на величину входного момента

сти $\frac{M_{вх}}{M_H} = f(\gamma)$ при различных инерционных постоянных T_j , рассчитанные для СРД, имеющего следующие параметры:

$$x_d = 2,33; \quad x_q = 0,45; \quad x_{rd} = 2,31; \\ \lambda_{rq} = 0,428, \quad r_{rd} = 0,0557; \quad r_{rq} = 0,0428.$$

Как видно из кривых, при увеличении активного сопротивления обмотки статора входной момент уменьшается. Объясняется это тем, что при увеличении r возрастают апериодическая и косинусоидальная составляющие момента в синхронном режиме, что приводит к уменьшению максимального момента.

Из рис. 1 также видно, что с увеличением инерционной постоянной входной момент уменьшается. Действительно, при увеличении инерционной постоянной втягивание в синхронизм возможно при меньших скольжениях, так как для двигателя данной конструкции величина $\frac{S^2 T_j}{2}$ есть постоянная, что соответствует по пусковой характеристике уменьшению величины входного момента.

При проектировании СРД большое значение имеет правильный выбор величин постоянных пусковых обмоток T_d и T_q . На рис. 2 представлены зависимости $\frac{M_{вх}}{M_H} = f(T_d)$, полученные для различных инерционных постоянных. Параметры двигателя оставались прежними, за

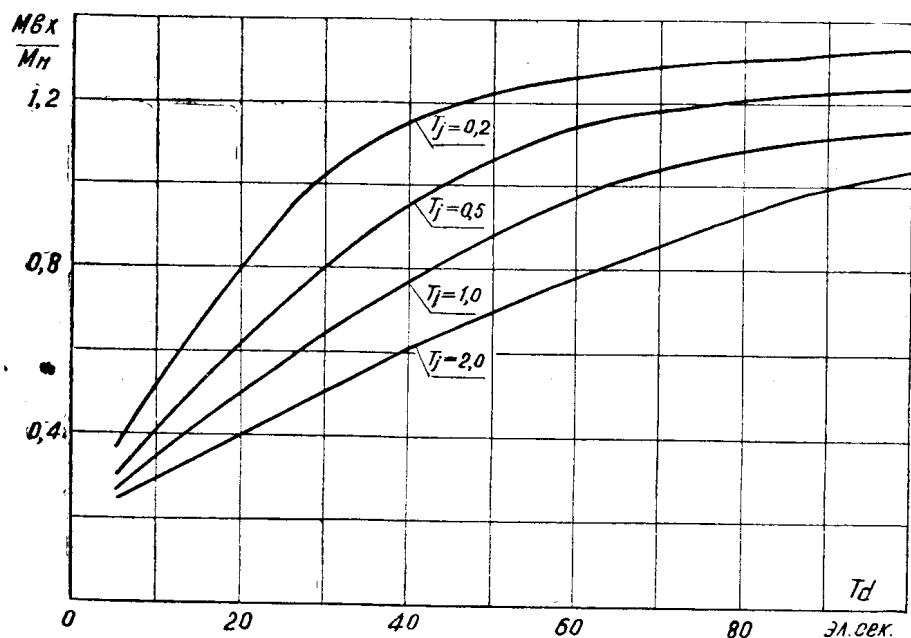


Рис. 2. Влияние параметров ротора и инерционной постоянной на величину входного момента.

исключением того, что $r = 0,049$ и $T_q = 0,25 T_d$. Как видно из приведенных данных, с увеличением постоянных пусковых обмоток входной момент увеличивается. При отсутствии обмоток на роторе втягивание в синхронизм практически невозможно, так как уменьшается крутизна пусковой характеристики, что ухудшает условия для вхождения в синхронизм.

На работу СРД большое влияние оказывает величина синхронного индуктивного сопротивления x_d , которая находится в обратно пропорциональной зависимости от величины воздушного зазора.

На рис. 3 приведены зависимости $\frac{M_{вх}}{M_H} = f\left(\frac{x_d}{x_q}\right)$, построенные для различных T_j и следующих постоянных параметрах: $x_q=0,45$; $r=0,049$; $x_{rq}=0,428$; $r_{rd}=0,0557$; $r_{rq}=0,0428$. По оси ординат откладываются значения $\frac{M_{вх}}{M_H}$, рассчитанные для максимальных моментов соответствующих каждой величине x_d . Анализ зависимостей позволяет установить, что относительная величина входного момента изменяется незначительно с изменением $\frac{x_d}{x_q}$.

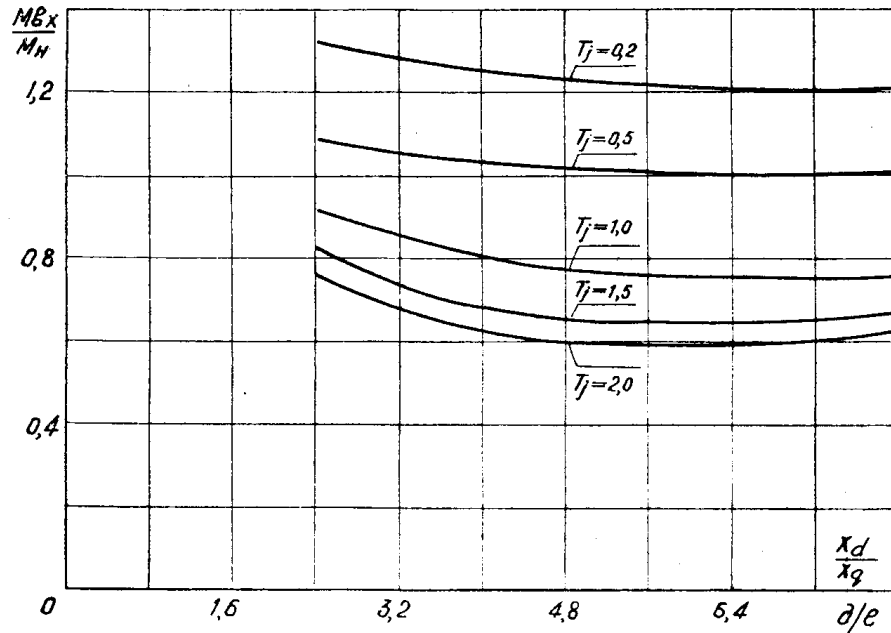


Рис. 3.

Определялось также влияние на входной момент индуктивного сопротивления x_d при различных инерционных постоянных и $\frac{x_d}{x_q} = 5 = \text{const}$ (рис. 4).

Постоянными оставались параметры:

$r=0,049$; $r_{rd}=0,0557$; $r_{rq}=0,0428$. По оси ординат откладываются значения $\frac{M_{вх}}{M_H}$, рассчитанных, как и в предыдущем случае. Анализ кривых

позволяет установить, что относительное значение $\frac{M_{вх}}{M_H}$ возрастает линейно с увеличением x_d .

Результаты аналитических исследований проверялись экспериментально на двигателе типа СРО-41-4 мощностью 4 квт и 1500 об./мин., работающего от сети с постоянным напряжением через последовательно включенные активные сопротивления. Испытуемый двигатель имел следующие параметры $x_d=2,05$; $x_q=0,48$; $x''_d=0,15$; $x''_q=0,24$; $T_d=54,2$ эл. сек.; $T_q=11,9$ эл. сек.; $T_j=0,62$ сек. Экспериментально определялись зависимости $M_{вх}=f(r)$ при различных инерционных постоянных. Результаты эксперимента удовлетворительно совпадают с расчетными.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

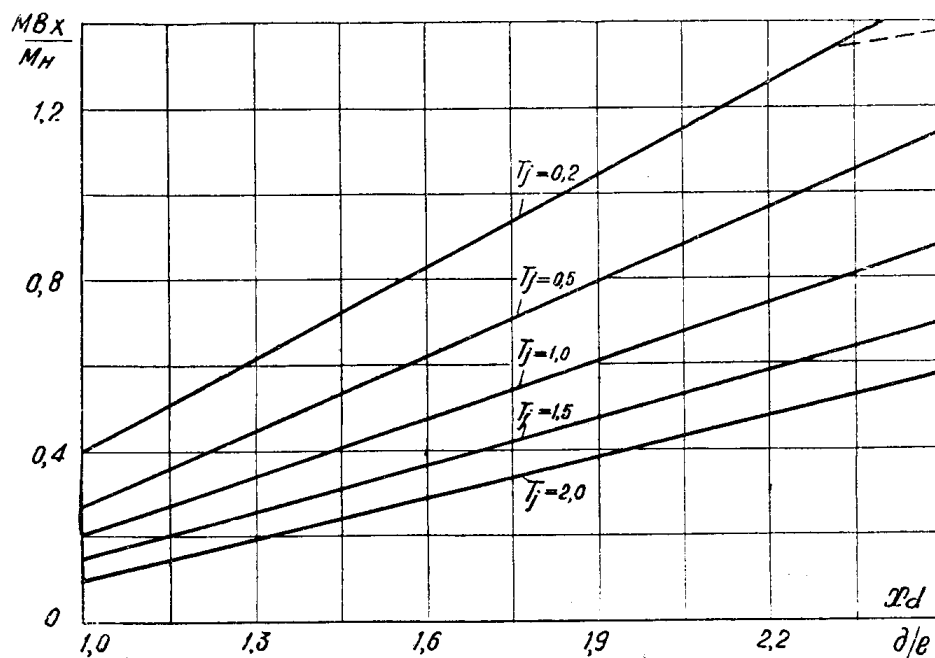


Рис. 4.

1. При соответствующем выборе параметров синхронный реактивный двигатель может быть спроектирован с входным моментом, равным номинальному, что позволяет пуск осуществлять при номинальной нагрузке на валу.

2. Полученные зависимости позволяют с достаточной для практики точностью определить влияние параметров СРД на величину входного момента.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Ланген. Определение максимально допустимого момента входа в синхронизм реактивного двигателя. ВЭП, № 12, 1956.
2. John Douglas F. H. Pull-in Criterion for Reluctance Motors. «Applications and Industry» N 4, July 1960.
3. Д. П. Костенко. Вхождение в синхронизм синхронно-реактивного двигателя. Вестник Киевского политехнического института, № 1, 1964.
4. Е. В. Кононенко, А. Ф. Финк. Применение вычислительной машины ЭМУ-10 для исследования переходных электромеханических процессов в синхронных реактивных двигателях. Известия ТПИ, т. 160, 1966.