

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНДЕНСАТОРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ТРЕХФАЗНЫМИ ОБМОТКАМИ СТАТОРА

Ю. М. АЧКАСОВ, Б. А. ЗАХАРОВ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Расчету статических режимов работы конденсаторных электродвигателей посвящена работа [1]. Менее изучены в настоящее время динамические режимы работы конденсаторных электродвигателей, что, по-видимому, объясняется трудностью аналитического решения нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка с переменными коэффициентами, которыми описываются эти двигатели в переходных процессах с учетом электромагнитных явлений. Однако эта задача вполне разрешима при использовании средств вычислительной техники.

Применение аналоговых вычислительных машин для исследования электромагнитных переходных процессов в двухфазном асинхронном двигателе рассматривается в [2].

В системах частотного управления находят применение трехфазные асинхронные и синхронные электродвигатели с симметричными обмотками статора, соединенными в звезду или треугольник с фазосдвигающими емкостями и питанием от однофазных преобразователей частоты. Изучение влияния несимметрии и несинусоидальности питающего напряжения на переходные и установившиеся режимы в таких системах частотного управления представляет большой практический интерес.

Способ суперпозиции двух вращающихся в противоположные стороны круговых полей, применяемый для моделирования асинхронных машин в несимметричных режимах, позволяет исследовать переходные процессы лишь при постоянном наперед заданном коэффициенте несимметрии напряжения [3]. Указанный способ не применим для исследования переходных процессов в трехфазных электрических машинах при соединении обмоток в звезду или треугольник и работающих в режиме однофазных конденсаторных, так как коэффициент несимметрии является переменным в переходном режиме. Рассмотрим методику моделирования, позволяющую учесть изменение коэффициента несимметрии на примере конденсаторного синхронного реактивного электродвигателя, включенного по схеме рис. 1.

Переходные процессы в синхронных машинах в несимметричных режимах исследуют по полной системе дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами на цифровых вычислительных машинах (ЦВМ). Однако использование ЦВМ требует большой по объему квалифицированной работы, а расчет несимметричных режимов связан со значительной затратой машинного времени [4].

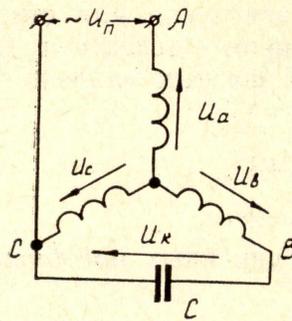


Рис. 1. Схема включения трехфазного синхронного реактивного двигателя на однофазное напряжение.

Аналоговые вычислительные машины, обладая большой скоростью решения, наглядностью получаемых результатов, простотой программирования и настройки, в настоящее время еще не нашли применения для исследования несимметричных режимов синхронных машин.

Электромагнитные переходные процессы в трехфазном синхронном реактивном двигателе (СРД) описываются системой уравнений [5], которые при частотном управлении будут иметь вид:

$$\begin{aligned}
 p\Psi_d &= U_d - Ri_d + \alpha(1-s)\Psi_q; \\
 p\Psi_q &= U_q - Ri_q - \alpha(1-s)\Psi_d; \\
 p\Psi_{rd} &= -\frac{1}{T_d} \cdot \Psi_{rd} + \frac{L_{ad}}{T_d} \cdot i_d; \\
 p\Psi_{rq} &= \frac{1}{T_q} \cdot \Psi_{rq} + \frac{L_{aq}}{T_q} \cdot i_q; \\
 i_d &= \frac{1}{L''_d} \Psi_d - \frac{L_{rd}}{L_d L_{rd}} \cdot \Psi_{rd}; \\
 i_q &= \frac{1}{L_q} \cdot \Psi_q - \frac{L_{aq}}{L_q'' \cdot L_{rq}} \cdot \Psi_{rd}; \\
 RS &= \frac{1}{\alpha H} (M_{cm} - \Psi_d \cdot i_q + \Psi_q \cdot i_d); \\
 S &= \frac{d\theta}{d\tau}; \quad p_{\sigma} \frac{d}{d\tau}; \quad \frac{d\gamma}{d\tau} = \omega_r = \alpha(1-s).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь  $\alpha = \frac{f}{f_H}$  — относительная частота,  $\omega_r$  — скорость вращения ротора. Остальные обозначения как в [5]. Структурная схема модели системы уравнений (1) для  $\alpha=1$  приводится в [5].

Имея значения токов по осям  $d$  и  $q$ , определяем при помощи формул прямых линейных преобразований фазные токи [6].

$$\begin{aligned}
 i_a &= i_d \cdot \cos \gamma - i_q \sin \gamma; \\
 i_b &= \left( -\frac{1}{2} i_d + \frac{\sqrt{3}}{2} i_q \right) \cdot \cos \gamma + \left( \frac{1}{2} i_q + \frac{\sqrt{3}}{2} i_d \right) \sin \gamma; \\
 i_c &= \left( -\frac{1}{2} i_d - \frac{\sqrt{3}}{2} i_q \right) \cdot \cos \gamma + \left( \frac{1}{2} i_q - \frac{\sqrt{3}}{2} i_d \right) \sin \gamma.
 \end{aligned} \tag{2}$$

По величине фазного тока в конденсаторной фазе находим напряжение на конденсаторе

$$U_k = \frac{1}{c} \int i_B \cdot d\tau. \tag{3}$$

Из уравнений электрического равновесия для статорных обмоток конденсаторного синхронного реактивного двигателя (рис. 1) определяем величины мгновенных значений фазных напряжений

$$\begin{aligned} -U_a &= U_{\Pi} - U_c; \\ -U_c &= U_a + U_e; \\ -U_e &= U_{\kappa} - U_c. \end{aligned} \quad (4)$$

При помощи формул обратных линейных преобразований получаем напряжения по осям d и q [6].

$$\begin{aligned} U_d &= \left[ \frac{2}{3} U_a - \frac{1}{3} (U_b + U_c) \right] \cdot \cos \gamma + \frac{1}{\sqrt{3}} (U_b - U_c) \sin \gamma; \\ U_q &= - \left[ \frac{2}{3} U_a - \frac{1}{3} (U_b + U_c) \right] \cdot \sin \gamma + \frac{1}{\sqrt{3}} (U_b - U_c) \cos \gamma, \end{aligned} \quad (5)$$

Полученные таким образом напряжения  $U_d$ ,  $U_q$  отражают влияние емкости на переходные процессы в конденсаторном электродвигателе.

С использованием модели трехфазного СРД [5] по уравнениям (2, 3, 4, 5) составлена блок-схема набора модели конденсаторного синхронного реактивного электродвигателя с трехфазными обмотками статора (рис. 2). Необходимые периодические функции  $\sin \gamma$ ,  $\cos \gamma$  получаются при помощи известной схемы «математического маятника». Питающее напряжение  $U_{\Pi}$  синусоидальной формы образуется в схеме «электронного маятника» и может быть легко преобразовано в прямоугольное при помощи реле, имеющихся, например, в аналоговой вычислительной машине МН14.

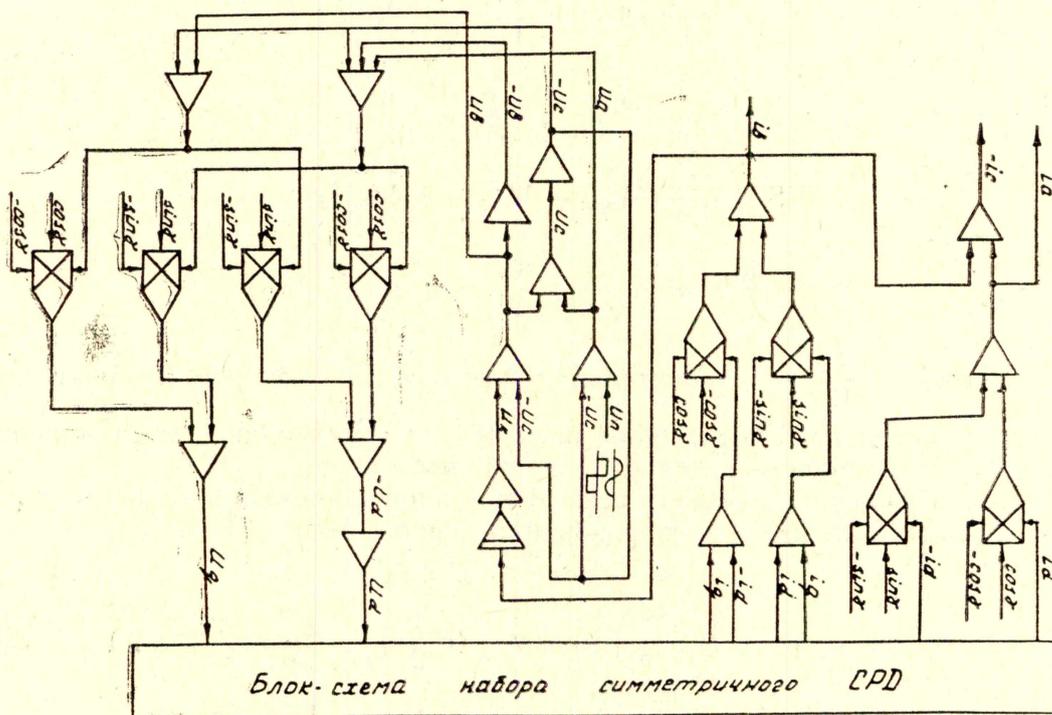


Рис. 2. Блок-схема набора модели однофазного конденсаторного синхронного реактивного двигателя.

При исследовании замкнутой системы частотного управления необходимо к имеющимся уравнениям добавить уравнения обратных связей и в модель ввести соответствующие элементы.

## Выводы

Предлагаемая методика моделирования конденсаторных электродвигателей с трехфазными обмотками статора позволяет:

1. Применять ее к асинхронным и синхронным машинам.
2. Исследовать динамику пусковых, тормозных режимов, перехода с одной скорости на другую и т. д.
3. Исследовать влияние пусковой емкости на величину ударного момента и тока, времени пуска, перерегулирования скорости.
4. Исследовать влияние рабочей емкости на статическую и динамическую устойчивость синхронного двигателя и процесс втягивания в синхронизм на точность поддержания скорости.
5. Исследовать переходные процессы в конденсаторной машине с учетом полного гармонического состава питающего напряжения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Адаменко, В. И. Кисленко. Преобразование однофазного тока в многофазный. Киев, «Техника», 1971.
2. И. П. Копылов, Ф. А. Мамедов, А. И. Кожемякин. Влияние пусковой емкости на электромагнитные переходные процессы асинхронного двигателя. Изв. вузов, «Электромеханика», 1971, № 8.
3. И. П. Копылов, Ф. А. Мамедов, В. Я. Беспалов. Математическое моделирование асинхронных машин. М., «Энергия», 1969.
4. Г. А. Сипайлов, А. В. Лоос, Э. И. Собко. Математическое моделирование электромеханических переходных процессов однофазного синхронного генератора. «Электротехника», 1972, № 10.
5. Е. В. Кононенко. Синхронные реактивные машины. М., «Энергия», 1970.
6. А. И. Вагнов. Основы теории переходных процессов синхронных машин. М., Госэнергоиздат, 1960.