

ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Е. В. КОНОНЕНКО

(Представлено научно-методическим семинаром электромеханического факультета)

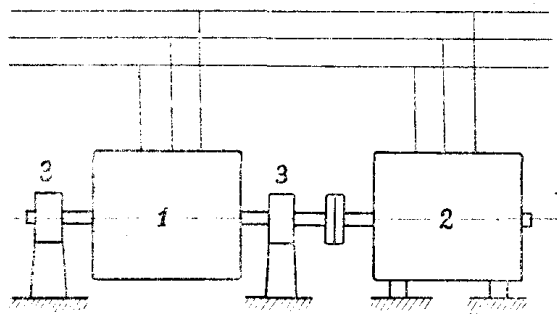
Опытное определение параметров любой электрической машины представляет большое практическое значение. Однако определение параметров синхронно-реактивных двигателей в литературе освещено недостаточно. В настоящей статье описываются способы определения некоторых параметров.

Определение синхронных реактивных сопротивлений x_d и x_q

Определение синхронных реактивных сопротивлений для синхронно-реактивных двигателей, имеющих пусковую короткозамкнутую обмотку на роторе, рекомендуется производить расчетным путем [1].

Обычный метод скольжения [4, 5, 6], рекомендуемый для опытного определения реактивных сопротивлений x_d , x_q , обладает рядом недостатков, кроме того, этот метод пригоден только для машин с разомкнутыми обмотками на роторе. Для машин с короткозамкнутыми пусковыми обмотками метод скольжения дает неудовлетворительные результаты.

При испытании синхронно-реактивных двигателей для определения синхронных реактивных сопротивлений по продольной и поперечной осям x_d , x_q можно рекомендовать следующий метод [7].



Фиг. 1.

Испытуемый синхронно-реактивный двигатель механически соединяется с синхронным двигателем. Обе машины должны иметь одинаковое число пар полюсов. Устанавливаются машины так, чтобы статор одной из этих машин (безразлично какой) можно было бы поворачивать в пространстве не менее чем на 180 электрических градусов. Статорные обмотки присоединяются в сеть так, чтобы магнитные поля обеих машин вращались в одном направлении. На фиг. 1 представлена схе-

ма установки, собранной для определения сопротивлений x_d , x_q . Здесь 1—испытуемый синхронно-реактивный двигатель, вал которого жестко соединен с валом синхронного двигателя 2. Обе машины имеют одинаковое число пар полюсов. Синхронно-реактивный двигатель при помощи дополнительных подшипников 3 на свободных концах вала установлен так, что статор может поворачиваться в пространстве не менее чем на 180 электрических градусов.

При включении двигателей в сеть магнитные поля вращаются синхронно в одном направлении, и роторы, соединенные механически, также вращаются с синхронной скоростью. Синхронный двигатель выбирается таким, чтобы его максимальный момент был больше максимального момента синхронно-реактивного двигателя. Поворачивая статор синхронно-реактивного двигателя, можно получить изменение угла между осью магнитного потока и осью полюса ротора в пределах 180°. Поворот статора в пространстве измеряется при помощи шкалы, отградуированной в электрических градусах. Включая в цепь обмотки статора синхронно-реактивного двигателя амперметр, вольтметр и ваттметр, при каждом повороте статора можно определить значение синхронного реактивного сопротивления (при соединении обмотки статора в звезду)

$$x = \sqrt{\left(\frac{U}{\sqrt{3}I}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2}, \quad (ом),$$

где U — линейное напряжение;

I — фазовый ток;

P — мощность на фазу.

Максимальное значение x равно синхронному реактивному сопротивлению по продольной оси

$$x_{\max} = x_d.$$

Минимальное значение x равно синхронному реактивному сопротивлению по поперечной оси

$$x_{\min} = x_q.$$

Рассмотренный выше метод позволяет с хорошей точностью определить синхронные реактивные сопротивления x_d , x_q , в том случае, когда на роторе имеется пусковая короткозамкнутая обмотка.

При отсутствии соответствующего синхронного двигателя сопротивление x_d можно определить из опыта идеального холостого хода синхронно-реактивного двигателя. Идеальный холостой ход может быть получен при соединении синхронно-реактивного двигателя с двигателем постоянного тока.

В этом случае

$$x_d = \sqrt{\left(\frac{U}{\sqrt{3}I_{\min}}\right)^2 - \left(\frac{P}{I_{\min}^2}\right)^2}.$$

Сопротивление x_q с помощью вспомогательного двигателя постоянного тока определить нельзя, так как продольная ось ротора при

определении x_d должна отставать (или опережать) от амплитуды н. с. на угол $\pi/2$, что соответствует неустойчивому режиму работы. Приблизительно синхронное реактивное сопротивление по поперечной оси x_q может быть определено в этом случае с помощью метода выведения двигателя из синхронизма [2].

Определение других сопротивлений синхронно-реактивного двигателя не вызывает затруднений и может быть произведено обычными способами [4, 5].

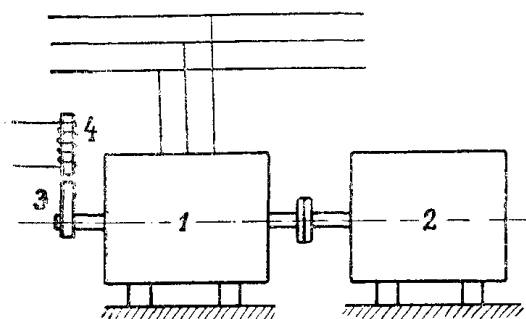
Опытное определение углов β и θ

Как было доказано [3], углы β и θ зависят от нагрузки. При исследовании синхронного режима работы синхронно-реактивных машин, определении допустимой нагрузки и т. п. знание углов β и θ имеет большое практическое значение.

В известной нам литературе не найдено каких-либо рекомендаций для определения этих углов в синхронно-реактивных машинах. Основываясь на методах определения угла θ в синхронных машинах [5, 6], разработаны простые методы определения углов β и θ в синхронно-реактивных машинах.

Осциллографический метод определения угла β

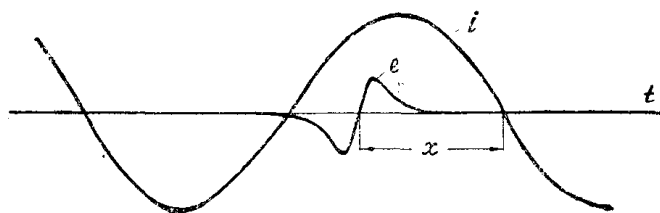
Угол β — это угол рассогласования между продольной осью полюса ротора и осью результирующей н. с. обмотки статора. Для определения угла β в установившемся синхронном режиме работы служит установка, представленная на фиг. 2.



Фиг. 2.

На вал синхронно-реактивного двигателя 1 укрепляется постоянный магнит 3, против которого располагается катушка со стальным сердечником 4, неподвижная в пространстве. Синхронно-реактивный двигатель соединен механически с нагрузочным генератором постоянного тока независимого возбуждения 2.

При каждом прохождении магнита мимо катушки (при вращении двигателя) в ней наводится э. д. с. На фиг. 3 представлена осциллограмма тока в фазе статора и э. д. с. в катушке. Максималь-



Фиг. 3.

ное значение тока в фазе будет в тот момент, когда ось результирующей н. с. совпадает с осью этой фазы. Э. д. с. в катушке фиксирует положение ротора в пространстве, а следовательно, и относительно н. с. обмотки статора.

Для определения сдвига между кривыми i и e будем брать точки, соответствующие моменту перехода кривых i и e через нуль, которые фиксируются довольно точно.

Угол сдвига между кривыми (фиг. 3) равен

$$\alpha = \frac{x}{T} 2\pi, \quad (\text{радиан})$$

где x — сдвиг между кривыми в мм,

T — период кривой тока в мм.

Так как магнит на валу синхронно-реактивного двигателя закреплен в произвольном положении, то для того, чтобы определить угол β для заданной нагрузки, нужно знать угол α для момента, когда $\beta=0$, т. е. для случая идеального холостого хода. Для получения идеального холостого хода нужно генератор постоянного тока включить двигателем. Изменяя момент вращения двигателя постоянного тока, устанавливаем ток в обмотке статора синхронно-реактивного двигателя минимальным и снимаем осциллограммы тока и э. д. с. в катушке. Из осциллограммы определяем угол сдвига между кривыми, соответствующий $\beta=0$,

$$\alpha_0 = \frac{x_0}{T_0} 2\pi, \quad (\text{радиан}).$$

При нагрузке двигателя ось полюса ротора смещается относительно оси результирующей н. с. обмотки статора, следовательно, смещается и кривая e относительно тока в фазе. Пусть для какой-то нагрузки из осциллограммы определили угол смещения

$$\alpha_1 = \frac{x_1}{T_1} 2\pi, \quad (\text{радиан}).$$

Тогда искомый угол β , соответствующий данной нагрузке, равен

$$\beta_1 = \alpha_1 - \alpha_0 = \left(\frac{x_1}{T_1} - \frac{x_0}{T_0} \right) 2\pi, \quad (\text{радиан}).$$

Периоды T определяем для каждой снятой осциллограммы, так как может оказаться, что барабан осциллографа при съемке различных осциллограмм вращался с различной скоростью. Изменяя нагрузку на валу синхронно-реактивного двигателя, можно определить угол β при различных нагрузках вплоть до выпадения двигателя из синхронизма.

При установлении минимального тока в обмотке статора синхронно-реактивного двигателя для получения угла $\beta=0$ нужно учитывать, что в этом случае двигатель потребляет из сети мощность, расходуемую только на потери в активном сопротивлении обмотки статора.

Зная активное сопротивление обмотки статора и определив минимальное значение тока, можно определить потребляемую мощность. Таким образом, начальное положение ротора, соответствующее углу $\beta=0$, можно определить с большой точностью.

Определение угла Θ

Θ — угол, образованный вектором напряжения с поперечной осью ротора. Его можно определить из уравнения [3]

$$\Theta = \varphi + \beta - \frac{\pi}{2}.$$

Следовательно, определив для заданной нагрузки углы φ и β , можно определить и угол Θ .

ЛИТЕРАТУРА

1. Голдовский Е. М. Реактивные двигатели для звукового кино. М., 1935.
2. Горохов Н. В., Зимин В. К. и Петрова Л. М. Опытное определение параметров синхронных машин. Эл - во, №11, 1940.
3. Кононенко Е. В. К теории синхронно-реактивных машин. Известия Томского политехнического ин-та, том 82, 1956.
4. Костенко М. П. Электрические машины, спец. часть, ГЭИ, 1944.
5. Кулебакин В. С. Испытание электрических машин и трансформаторов, ОНТИ, 1935.
6. Рихтер Р. Электрические машины, том 2, М.—Л., 1935.
7. Hansteen H. B. Modified Slip Test for Experimental Study of Synchronous Reactance. El. Eng. №9, 1948.