





$$P_{эм} = m \frac{I^2}{2} (x_d - x_q) \sin 2\beta. \quad (5)$$

В этом случае и в дальнейшем считаем, что сопротивления  $x_d$  и  $x_q$  постоянны и не зависят от угла нагрузки  $\beta$ .

Из уравнения (5) следует, что при постоянном токе в обмотках статора электромагнитная мощность в зависимости от угла нагрузки изменяется по синусоидальному закону.

Максимальная мощность будет соответствовать углу  $\beta = 45^\circ$ .

Однако случай  $I = \text{пост.}$  в практике не характерен, так как обычно синхронно-реактивные двигатели в нормальных условиях работают от сети с постоянным напряжением.

Выражение электромагнитной мощности в зависимости от напряжения  $U$  и угла нагрузки  $\beta$  может быть также получено из диаграммы (фиг. 2).

Действительно,

$$AO = I(x_d \cos \beta + r \sin \beta) = U \cos \theta,$$

$$AB = I(x_q \sin \beta - r \cos \beta) = U \sin \theta$$

и

$$I^2 = \frac{2U^2}{x_d^2 + x_q^2 + (x_d^2 - x_q^2) \cos 2\beta + 2r(x_d - x_q) \sin 2\beta + r^2}. \quad (6)$$

Подставляя уравнение (6) в (5), получим:

$$P_{эм} = \frac{m U^2 (x_d - x_q) \sin 2\beta}{x_d^2 + x_q^2 + (x_d^2 - x_q^2) \cos 2\beta + 2r(x_d - x_q) \sin 2\beta + r^2}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что закон изменения электромагнитной мощности от угла нагрузки  $\beta$  не будет синусоидальным, и максимальная мощность не будет соответствовать углу  $\beta = 45^\circ$ .

Пренебрегая активным сопротивлением обмотки статора, получим:

$$P_{эм} = \frac{m U^2 (x_d - x_q) \sin 2\beta}{x_d^2 + x_q^2 + (x_d^2 - x_q^2) \cos 2\beta}. \quad (8)$$

Уравнения (8) и (2) эквивалентны, так как определяют собой одну и ту же мощность. Решая совместно эти уравнения, можно определить зависимость между углами  $\theta$  и  $\beta$ .

Однако более просто соотношение между этими углами может быть получено непосредственно из векторной диаграммы (фиг. 2).

Действительно,

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{AB}{AO} = \frac{x_q \sin \beta - r \cos \beta}{x_d \cos \beta + r \sin \beta}. \quad (9)$$

Уравнение (9) дает простое соотношение между углами в зависимости от параметров машины.

Пренебрегая, как и прежде, активным сопротивлением обмотки статора, получим

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{x_q}{x_d} \operatorname{tg} \beta. \quad (10)$$

Для гидрогенераторов и прочих синхронных явнополюсных машин обычно можно принять [7], что  $x_d = 2x_q$ .

Тогда

$$\operatorname{tg} \theta = 0,5 \operatorname{tg} \beta.$$

Отсюда следует, что углу  $\beta = 45^\circ$  соответствует угол  $\theta = 26,5^\circ$ . Следовательно, приравнивая углы, мы допускаем ошибку в 40%.

Подставляя значение  $x_d = 2x_q$  в уравнение (8), получаем

$$P_{эм} = \frac{m U^2 \sin 2\beta}{x_q (5 + 3 \cos 2\beta)}$$

Величина угла  $\beta$ , соответствующая  $P_{max}$ , равна

$$\beta = 63,5^\circ.$$

Этому углу будет соответствовать угол  $\Theta = 45^\circ$ , как это видно из уравнения (2).

Уравнение (10) при  $x_d = 2 x_q$  дает такие же соотношения между углами.

Так как синхронно-реактивные двигатели обычно выполняются на небольшие мощности порядка не более (1—2) *квт*, то, пренебрегая активным сопротивлением обмотки статора, получаем неточное соотношение между углами. Действительно, в случае идеального холостого хода, подставляя в уравнение (9) значение  $\beta = 0$ , получим:

$$\operatorname{tg} \Theta = - \frac{r}{x_d}. \quad (11)$$

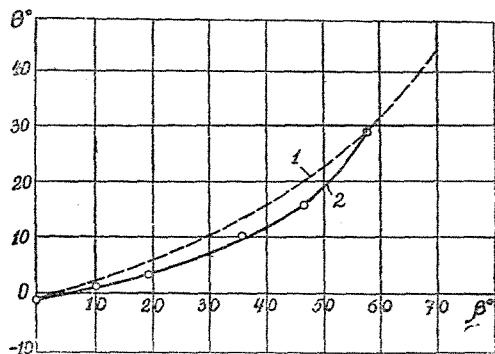
Следовательно, при исследовании установившихся режимов работы синхронно-реактивных машин представляют интерес два случая.

1. Ток в обмотках статора при изменении нагрузки остается постоянным. Максимальная мощность, развиваемая машиной, в этом случае будет соответствовать моменту, когда ротор отстает (или опережает) от оси н. с. статора на 45 электрических градусов. При дальнейшем увеличении нагрузки машина выпадает из синхронизма, как это следует из уравнения (5);

2. При работе от сети с постоянным напряжением максимальной мощности будет соответствовать угол  $\Theta = 45^\circ$  электрических градусов [уравнение (2)]. Ротор в этом случае будет отставать (или опережать) от оси н. с. статора на угол, больший 45 электрических градусов, как это следует из уравнений (7) и (8). Соотношение между углами  $\Theta$  и  $\beta$  зависит от параметров машины и может быть определено из уравнений (9) или (10).

Выше изложенные теоретические положения подтверждаются

данными опыта, приведенными на фиг. 3, где кривая 1 рассчитана по уравнению (9), а кривая 2 построена по данным опыта.



Фиг. 3.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Костенко М. П. Электрические машины. Ч. I, ГЭИ, 1944.
2. Пиотровский Л. М. Электрические машины. ГЭИ, 1950.
3. Васильев Д. В. Электрические машины в схемах синхронной связи. 1935.
4. Голдовский Е. М. Электрический привод в кинотехнике, 1948.
5. Голдовский Е. М. Реактивные двигатели для звукового кино. М., 1935.
6. Буданцев И. И. и Грузов Л. Н. Специальные электрические машины установок связи и радиолокации, 1948.
7. Постников И. М. Проектирование электрических машин, 1952.