

С. Я. Татевосян

Непосредственное измерение угла θ в синхронных машинах

(Представлено И. В. Егиазаряном 31 V 1946)

Известно, что при равных активных нагрузках на синхронных машинах, работающих параллельно, углы расхождения векторов θ могут быть не равны между собой, что может отрицательно влиять на устойчивость параллельной работы.

Поэтому на ряду с другими фиксирующими приборами на электростанциях должен применяться прибор, измеряющий угол θ .

Однако, это становится возможным лишь при наличии достаточно совершенного и простого метода измерения, применимого в условиях эксплуатации электрических станций.

Существующие методы измерения угла θ сводятся к следующим группам:

- а) по величине угла между напряжением исследуемой машины и током вспомогательного генератора с поворотным статором ⁽¹⁾;
- б) по изменению времени замыкания плеч моста сопротивления ^(2,3);
- в) с использованием ионных и сухих выпрямителей для сопоставления с током возбуждения ^(4,5);
- г) стробоскопическим методом ⁽⁶⁾.

Разработанный автором метод непосредственного измерения угла использует вспомогательный генератор, но в принципе отличается от существующих, так как дает возможность прямого, точного отсчета угла θ по прибору (см. рис.) типа ваттметра.

Принцип действия. При холостой работе синхронной машины, ее эдс E и напряжение на зажимах U находятся в фазе и $\theta = 0$.

$$E = E_m \sin(\omega t + \psi) \quad (1)$$

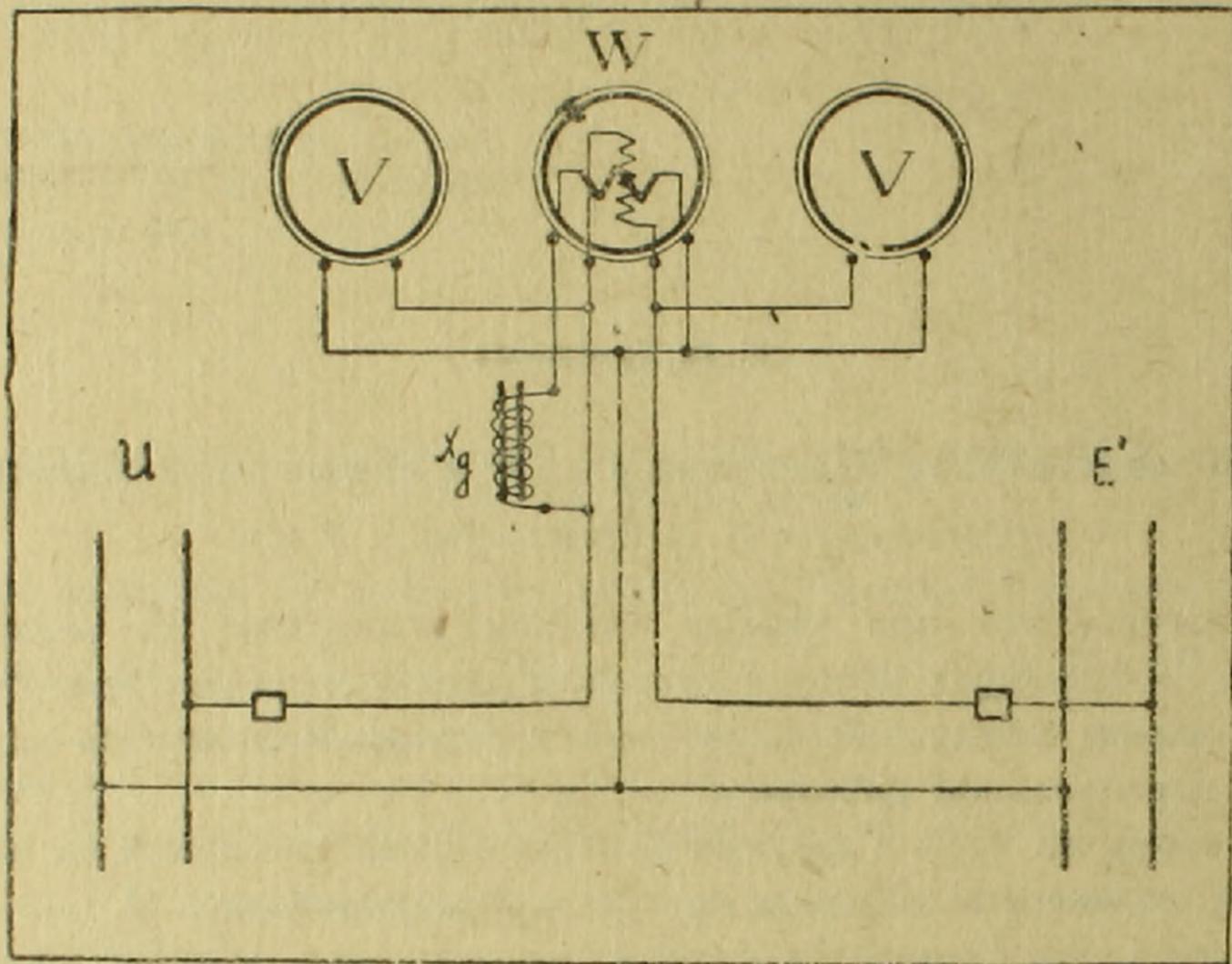
Напряжение на зажимах нагруженной машины выражается уравнением

$$U = U_m \sin(\omega t + \psi - \theta). \quad (2)$$

Если отсчет времени брать при $\psi=0$, то уравнения (1) и (2) переписываются так:

$$E = E_m \sin \omega t \quad (3)$$

$$U = U_m \sin (\omega t - \theta) \quad (4)$$



Используя вспомогательный генератор, работающий холостую, эдс которого E' находится в фазе с осью полюсов синхронной машины, и уравнивая E' скалярно с напряжением генератора, мы будем иметь:

$$|U_m| = |E_m'| \quad (5)$$

Вследствие наличия угла сдвига между векторами \bar{U}_m и \bar{E}_m'

$$\bar{E}_m' - \bar{U}_m = \Delta \bar{U}_m \neq 0. \quad (6)$$

Для эффективных значений уравнение (6) переписывается так:

$$E' - \bar{U} = \Delta \bar{U}. \quad (7)$$

Заменяя \bar{E}' и \bar{U} их значениями из уравнения (3) и (4), получим:

$$\Delta \bar{U} = E'_m \sin \omega t - U_m \sin (\omega t - \theta). \quad (8)$$

Так как $|E'_m| = |U_m|$, то уравнение (8) переписывается в следующем виде:

$$\Delta \bar{U} = E' [\sin \omega t - \sin (\omega t - \theta)], \quad (9)$$

откуда после тригонометрических преобразований

$$\Delta \bar{U} = E'_m 2 \sin \frac{\theta}{2} \sin \left[\omega t - \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\theta}{2} \right) \right] \quad (10)$$

$$\Delta U = 2E' \sin \frac{\theta}{2}. \quad (11)$$

Из уравнения (10) видно, что ΔU пропорционально E' и сдвинуто по времени на угол

$$-\left(\frac{\Pi}{2} + \frac{\Theta}{2}\right).$$

Полученная из уравнения (11) величина ΔU не фиксирует знак угла и синусоидальная форма зависимости содержит угол Θ ; для устранения этого мы вводим элемент тока I сдвинутого на $\frac{\Pi}{2}$ от напряжения U или $\frac{\Pi}{2} + \Theta$ от E^* . Тогда мощность, замеренная прибором, выразится следующим уравнением:

$$W = I \Delta U \cos \beta, \quad (12)$$

где β — угол между I и ΔU

$$\beta = \left(\frac{\Pi}{2} + \Theta\right) - \left(\frac{\Pi}{2} + \frac{\Theta}{2}\right) = \frac{\Theta}{2};$$

тогда, согласно уравнениям (11) и (12), получим:

$$W = IE' 2 \sin \frac{\Theta}{2} \cos \frac{\Theta}{2} IE' \sin \Theta. \quad (13)$$

При отмеченных выше условиях достигается постоянство как E' , так и I , т. е.

$$IE' = \text{const.} = K \quad (14)$$

Следовательно

$$\Theta = \text{Arc sin } \frac{W}{K}, \quad (15)$$

и по отсчету показаний ваттметра можно получить угол Θ . Уравнение (15) показывает, что шкала прибора синусоидальна, и что колебания напряжения на зажимах синхронной машины не влияют на замер, так как составляющая напряжения $\Delta U \sin \beta$ перпендикулярна току I .

Прибором, измеряющим угол Θ , является ваттметр с синусоидальной шкалой. Преимущество этой шкалы состоит в большой точности шкалы в первой ее четверти ($0-22,5^\circ$), где в обычных условиях от 0° до 20° колеблется угол.

Прибор окончательно выверяется на месте, где и производится градуировка. Таким образом погрешности, вызванные угловыми сдвигами трансформаторов напряжения, автоматически исключаются.

Водно-энергетический институт
Академии Наук Арм. ССР
Ереван, 1946, май.

* Этот сдвиг осуществляется включением в цепь токовой обмотки индуктивного сопротивления с железом. Вследствие зависимости индуктивного сопротивления X_d от напряжения U , $X_d = \psi U$; существенно, что при таком устройстве возможные колебания напряжения U в пределах $\pm 2,0\%$ влияют на ток на $\pm 0,5\%$, что лежит в пределах точности контрольного прибора.

Արժարոճ մեհեհաճերում (θ) աճեյաճ սոմիթղալաճ չափումը

Հոդվածում նկարագրված է սինխրոն մեքենաների էլեկտրաչարժիչ ուժի և լարվածության շեղման անկյան չափման մի նոր մեթոդ: Չափման համար օգտագործվում է օժանդակ գեներատոր: Շեղման անկյունը չափվում է հասուն կգծագրված վառարաններով:

S. I. Tatevossian

Direct Measurement of θ Angle in Synchronous Machines

This article deals with the method of direct measurement of an angle between electromotive power and clamp voltage in synchronous-machines. This method requires an auxiliary generator to be used. The angle is measured by wattmeter readings.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. С. Кулебакин. Испытание электромашин и трансформаторов. Изд. 2-ое, 1935.
2. Чебышев и Маер. „Бюллетень ВЭИ“, № 12, 1935.
3. К. С. Бобов. „Электричество“, № 20, 1937.
4. Л. И. Гутенмахер. „Электричество“, № 20, 1937.
5. Л. И. Гутенмахер. „Синхронизационное устройство электрических станций“. Изд. ОПТ-НКТП, 1938.
6. В. А. Венников и С. С. Чугунов. „Электричество“, № 10, 1945.