



**БИТЮЦКИЙ Н.Л.**, вед. инженер,  
**ШОФУЛА К.**, зав. отделом, **ЛИЦОВ В.И.**, зам. зав. отделом  
**ЛОГВИНОВ В.П.**, зав. лабораторией, **КОШЕЛЕВ В.В.**, вед. инженер,  
ГП з-д “”Электротяжмаш, г. Харьков

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНОГО ТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ ТУРБО- И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ МЕТОДОМ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОТ НОМИНАЛЬНЫХ

**В** программу приемо-сдаточных испытаний каждого гидрогенератора на месте установки и в программу приемочных испытаний турбогенераторов входит определение номинального тока возбуждения [1, 2]. Номинальный ток возбуждения определяется методом непосредственной нагрузки, допускается определение номинального тока возбуждения методом графического построения [3]. Метод непосредственной нагрузки является более предпочтительным, так как учитывает реальные электромагнитные процессы в генераторах.

Определение номинального тока возбуждения методом непосредственной нагрузки проводится при работе генератора с номинальными электрическими параметрами: мощностью, напряжением, током статора и коэффициентом мощности. Опыт показывает, что точная установка номинальных электрических параметров генератора не всегда возможна и определяется как характеристиками регулирующей и контрольной аппаратуры, так и условиями в энергосистеме. Напряжение на шинах генератора чаще всего не соответствует номинальному, а его регулировка на испытуемом генераторе путем изменения реактивной мощности других генераторов станции встречает затруднения из-за наличия трансформаторных связей, нехватки мощностей и т.д. Из-за этого приходится определять номинальный ток возбуждения при электрических параметрах генератора, не соответствующих номинальным, но близких к ним. Близкие к номинальным электрические параметры – параметры при работе генератора с номинальной нагрузкой, с отклонениями напряжения и тока статора в пределах, оговоренных в эксплуатационной документации. Коэффициент мощности при этом не должен отличаться от номинального более, чем на  $\pm 0,01$ .

Анализ показывает, что даже незначительное отклонение каждого электрического параметра от номинального, в совокупности может привести к заметному отличию тока возбуждения, определенного путем непосредственного отсчета по прибору, от номинального его значения.

В связи с этим возникает необходимость в разработке метода определения номинального тока возбуждения из опыта непосредственной на-

грузки при отклонении электрических параметров генератора от номинальных. В основу метода положено приведение измеренного тока возбуждения к номинальным электрическим параметрам генератора путем построения упрощенных токовых диаграмм возбуждения.

Рассмотрим приведение измеренного значения тока возбуждения к номинальным электрическим параметрам гидрогенератора. Предполагается, что кроме номинальных электрических параметров генератора, известны также опытные характеристики холостого хода и установившегося трехфазного короткого замыкания, а также опытные (или расчетные) значения синхронных индуктивных сопротивлений по продольной  $X_d$  и поперечной  $X_q$  осям. При приведении принимаем допущение, что при малом изменении напряжения статора значения  $X_d$  и  $X_q$  не меняются.

Метод построения упрощенных токовых диаграмм гидрогенератора взят за основу из [4]. Построения, приведенные на Рис. 1, выполняются в относительных единицах; за единицу принята длина отрезка  $i_{fk}$  – тока возбуждения, соответствующего номинальному току статора по характеристике короткого замыкания. По оси ординат выбрано направление вектора напряжения генератора. Вправо от оси ординат при работе генератора с индуктивной нагрузкой откладывается номинальный угол  $\varphi_n$  и таким образом определяется направление тока  $i'_{fk}$ , пропорционального току статора. На этом направлении откладывается отрезок  $OA = 1,0$  в принятом масштабе. Влево от начала координат по оси абсцисс в отрицательном направлении откладываются отрезки  $OD = 1/X_d$  и

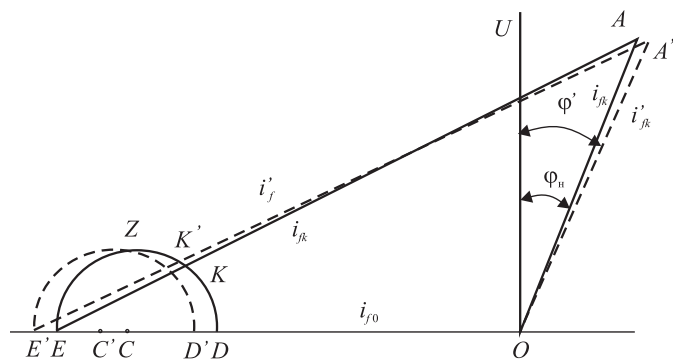


Рис. 1. Токовая диаграмма возбуждения гидрогенератора

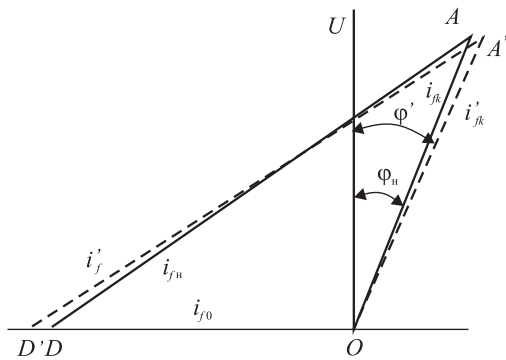


Рис. 2. Токовая диаграмма возбуждения турбогенератора

$OE = 1/X_q$ . На отрезке  $DE = OE - OD = 1/X_q - 1/X_d$  как на диаметре строится полуокружность  $EZD$  с центром в точке  $C$ . Эта полуокружность передвигается по оси абсцисс таким образом, чтобы отрезок  $OD$  в относительных единицах соответствовал току возбуждения  $i'_{f0}$ , взятого из характеристики холостого хода при номинальном напряжении на статоре. Точка  $E$  соединяется с точкой  $A$  прямой, которая пересекает полуокружность  $EZD$  в точке  $K$ . Тогда отрезок  $AK$  будет соответствовать току возбуждения при работе гидрогенератора с номинальными электрическими параметрами.

Таким образом, построена упрощенная токовая диаграмма возбуждения для номинальных электрических параметров гидрогенератора. На этом же рисунке строится токовая диаграмма возбуждения для опытного режима работы, близкого к номинальным электрическим параметрам, в которой к обозначениям добавлены штрихи, а сами отрезки и полуокружность наносятся пунктирными линиями.

По характеристике холостого хода определяется значение тока возбуждения  $i'_{f0}$ , соответствующее измеренному значению напряжения, и влево от начала координат откладывается отрезок  $OD'$ , соответствующий току возбуждения  $i'_{f0}$  в относительных единицах. Под углом  $\varphi'$  к оси ординат откладывается отрезок  $OA'$ , соответствующий току  $i'_{fk}$ , определенному из характеристики установившегося трехфазного короткого замыкания для опытного значения тока статора. На отрезке  $D'E'$ , равном  $DE$ , строится полуокружность и определяется отрезок  $A'K'$ , длина которого соответствует измеренному значению тока возбуждения  $i'_{fн}$ .

Номинальный ток возбуждения  $i_{fн}$  гидрогенератора определяется путем пропорционального пересчета по формуле:

$$i_{fн} = i'_{fн} \frac{AK}{A'K'}$$

где  $i'_{fн}$  измеренное значение тока возбуждения,  $A$ ;  $AK$  и  $A'K'$  – длины отрезков при номинальных и измеренных электрических параметрах, соответственно.

Аналогичным образом определяется номинальный ток возбуждения методом непосредственной нагрузки при отклонении электрических параметров от номинальных у турбогенераторов. Метод построения упрощенных токовых диаграмм возбуждения для турбогенераторов взят за основу из [5]. Построение токовой диаграммы возбуждения (Рис. 2) в этом случае упрощается, так как  $X_d \approx X_q$  и отрезок  $AD$  соответствует току возбуждения при работе турбогенератора с номинальной мощностью. Значение тока возбуждения, измеренного в нагрузочном режиме работы, близком к номинальному, приводится к номинальным электрическим параметрам пропорционально длин отрезков  $AD'$  и  $A'D'$ .

В разработанном методе опытная упрощенная токовая диаграмма возбуждения учитывает отклонение электрических параметров генератора от номинальных: ток статора учитывается длиной отрезка  $i'_{fk}$ , напряжение статора учитывается длиной отрезка  $i'_{f0}$ , а коэффициент мощности величиной угла  $\varphi$ .

Анализ показывает, что разработанный метод определения номинального тока возбуждения путем непосредственной нагрузки турбо- и гидрогенераторов при отклонении электрических параметров от номинальных, несмотря на допущение, обладает достаточно высокой точностью. Это обусловлено тем, что измеренные электрические параметры близки к номинальным, а сам метод основан на сравнении величин. Практически погрешность метода определяется погрешностью при измерении электрических параметров генератора и погрешностью графического построения. Суммарная погрешность не превышает  $\pm 1\%$ , что вполне приемлемо при определении номинального тока возбуждения генераторов.

Разработанный метод определения номинального тока возбуждения турбо- и гидрогенераторов путем непосредственной нагрузки при отклонении электрических параметров от номинальных рекомендуется к применению при проведении испытаний генераторов на электростанциях.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. ГОСТ 5616-89. Генераторы и генераторы-двигатели электрические гидротурбинные. Общие технические условия. – М.: – 21 с.
2. ГОСТ 533-2000. Межгосударственный стандарт. Машины электрические вращающиеся. Турбогенераторы. Общие технические условия. Госстандарт Украины. – 2002. – 28 с.
3. ГОСТ 10169-77. Машины электрические трехфазные синхронные. Методы испытаний. – М.: – 73 с.
4. Глебов И.А., Домбровский В.В., Дукиштау А.А. и др. Гидрогенераторы. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 368 с.
5. Титов В.В., Хуторецкий Г.М., Загородная Г.А. и др. Турбогенераторы. Расчет и конструкция. – М.: Энергия, 1972. – 834 с.