



УДК 621.313.322

ГРУБОЙ А.П., главный конструктор,
ЧЕРМИСОВ И.Я., канд. техн. наук, главный научный сотрудник,
БОГАТЫРЕВА Л.И., канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,
 ГП завод "Электротяжмаш".

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРА ПО ШВЕДСКОЙ ДИАГРАММЕ



ГРУБОЙ А.П.



ЧЕРМИСОВ И.Я.



БОГАТЫРЕВА Л.И.

Рассматривается вывод аналитических выражений для расчета намагничивающей силы возбуждения гидрогенератора для различных значений нагрузок машины и всего диапазона изменения $\cos \varphi$, полностью соответствующий графическому геометрическому определению намагничивающей силы возбуждения по Шведской диаграмме.

Намагничивающая сила (НС) обмотки возбуждения синхронной машины определяется как сумма НС отдельных участков магнитопровода и НС, компенсирующей реакцию обмотки статора. Намагничивающая сила и магнитный поток связаны нелинейной зависимостью и НС обмотки возбуждения определяется графоаналитическими методами — с помощью диаграмм.

Наибольшее распространение получили два метода построения диаграмм намагничивающей силы — Шведская диаграмма и диаграмма Потье.

При расчете гидрогенераторов чаще пользуются Шведской диаграммой, так как она не требует точного определения реактивности Потье и расчета всей характеристики холостого хода [1]. Для построения Шведской диаграммы (Рис. 1) необходимы некоторые расчетные параметры гидрогенератора: F_o — НС возбуждения холостого хода при номинальном напряжении (отрезок OA); F_k — НС возбуждения при коротком замыкании и заданном токе нагрузки; F_t — НС возбуждения при заданном токе нагрузки и $\cos \varphi = 0$;

$$\text{Отрезок } AB = F_k + 0,8 X_d' (F_o - F_s),$$

где X_d' — продольное переходное индуктивное сопротивление гидрогенератора; F_s — НС возбуждения на воздушный зазор.

В соответствии с рекомендациями [1] допускается приближенное значение $AB \approx 1,1 \cdot F_k$.

Отрезок $ON = F_t$ в режиме перевозбуждения, с учетом размагничивающей реакции обмотки статора при заданном токе нагрузки и $\cos \varphi = 0$.

Радиусом $R = O'B$ описывается геометрическое место величин токов возбуждения при раз-

личных $\cos \varphi$ из центра O' — точкой пересечения перпендикуляра из середины отрезка BN и оси абсцисс X . Под углом φ к прямой AB проводится отрезок AN до пересечения с окружностью, что соответствует отстающему току нагрузки от напряжения в режиме перевозбуждения. В результате отрезок OH определяет НС возбуждения гидрогенератора при заданных значениях тока нагрузки и $\cos \varphi$ в режиме перевозбуждения.

В режиме недовозбуждения построения аналогичны, отрезок AN' проводится под углом φ к прямой AB , что соответствует опережающему току нагрузки от напряжения в данном режиме работы гидрогенератора. Отрезок OH' определяет значение НС возбуждения гидрогенератора при заданных значениях тока нагрузки и $\cos \varphi$ в режиме недовозбуждения.

При выполнении электромагнитных расчетов гидрогенератора на ЭВМ возникает необходимость получения аналитических выражений для определения тока возбуждения по Шведской диаграмме для диапазона изменения $\cos \varphi$ от 0 до 1,0 в режимах перевозбуждения и недовозбуждения для встраивания их в алгоритм расчета. В литературе [2] приведено аналитическое выражение для определения тока возбуждения неявнополюсной машины по Шведской диаграмме для режима работы турбогенератора с перевозбуждением, однако применение его для расчета аналогичной величины явнополюсной машины дает значительную погрешность по сравнению с графическим построением.

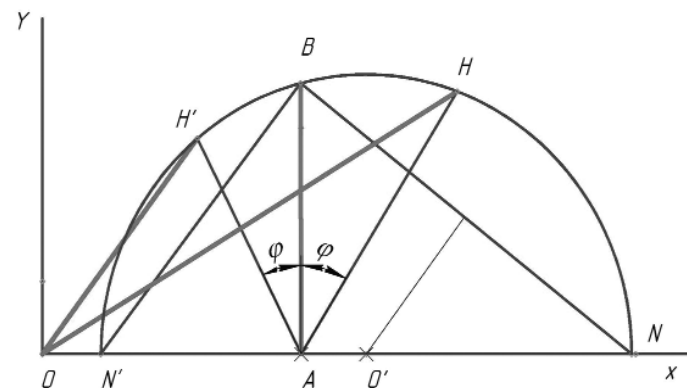


Рис.1. Шведская диаграмма гидрогенератора



Таблиця

Наименование параметра	Величина	
	перевозбуждение	недозобуждение
Режим работы		
Отрезок AB , А	23340	23340
Радиус окружности R , А	23849	23344
a	1,235	1,235
b , А	-67364	-64842
c , А ²	820·10 ⁶	780·10 ⁶
X , А	37498	16087
Y , А	23018	21191
F_e , А	44000	26606
I_e , А	1833	1109

В данной статье предлагаются аналитические выражения для определения тока возбуждения гидрогенератора по Шведской диаграмме, полученные путем графического метода решения двух уравнений – уравнения окружности с центром в точке O' и радиусом R , и уравнений прямых линий, проведенных из точки A под углом φ к оси ординат.

Совместное решение этих уравнений дает квадратное уравнение вида $ax^2 + bx + c = 0$, вещественное значение корня которого определяет значение координат точек H или H' по оси X :

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

При этом ордината Y точек H или H' определяется как:

$$Y = \pm \frac{X - F_o}{\operatorname{tg}(\varphi)},$$

где

$$\begin{aligned} a &= 1 + \operatorname{tg}(\varphi)^2; \\ b &= 2[(\pm R - F_t) \operatorname{tg}(\varphi)^2 - F_o]; \\ c &= F_o^2 - F_t \operatorname{tg}(\varphi)^2 (\pm 2R - F_t); \end{aligned} \quad (1)$$

$$R = \pm \frac{AB^2 + (F_t - F_o^2)}{2(F_t - F_o)}$$

В аналитических выражениях (1) принимается знак $+$ для режима работы гидрогенератора при перевозбуждении с соответствующим значением НС возбуждения при заданном токе нагрузки и $\cos \varphi = 0 - F_t > F_o$, а знак $-$ для аналогичного режима работы машины при недозобуждении, когда $F_t < F_o$.

НС возбуждения гидрогенератора при заданном токе нагрузки и заданном $\cos \varphi$ в режимах пе-

ревозбуждения и недозобуждения машины определяется по расчетным координатам точек H и H' Шведской диаграммы:

$$F_e = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

В режиме работы с $\cos \varphi = 1,0$ НС возбуждения гидрогенератора при заданном токе нагрузки определяется выражением $F_e = \sqrt{F_o^2 + AB^2}$.

По вышеприведенным аналитическим выражениям (1) для определения тока возбуждения гидрогенератора по Шведской диаграмме, как пример, были рассчитаны номинальные токи возбуждения обратимого генератора-двигателя типа СВО 1255/255-40 для Днестровской ГАЭС в режиме генератора.

Номинальные параметры данного агрегата в режиме генератора:

- кажущаяся мощность – 360 МВ·А;
- линейное напряжение – 15750 В;
- коэффициент мощности – 0,90.

Дополнительные параметры генератора, необходимые для расчета:

- $F_o = 26350$ А, $F_\delta = 24461$ А, $X_d' = 0,30$ о.е., $F_k = 22886$ А;

- $F_t = 55105$ А – НС возбуждения при номинальной нагрузке и $\cos \varphi = 0$ в режиме перевозбуждения;

- $F_t = 2535$ А – НС возбуждения при номинальной нагрузке и $\cos \varphi = 0$ в режиме недозобуждения;

- $W_e = 24$ – число витков в обмотке полюса обратимого генератора-двигателя.

Результаты расчета номинальных токов возбуждения (I_e) агрегата СВО 1255/255-40 в режиме генератора по аналитическим выражениям (1) приведены в Таблице.

Полученные по аналитическим выражениям (1) расчетные значения токов возбуждения агрегата СВО 1255/255-40 в режиме генератора полностью совпадают с аналогичными значениями токов, полученным графическим путем, как в режиме перевозбуждения, так и в режиме недозобуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Домбровский В.В., Еремеев А.С., Иванов Н.П., Ипатов П.М., Каплан М.Я., Пинский Г.Б. Проектирование гидрогенераторов (Часть первая. Электромагнитные и тепловые расчеты) – М.-Л.: Энергия, 1965. – 258 с.
2. Титов В.В., Хуторецкий Г.А., Загородная Г.А. и др. Турбогенераторы. Расчеты и конструкция. –Л.: Энергия, 1967. – 895 с.

© Грубой А.П., Черемисов И.Я., Богатырева Л.И., 2010