

ЭНЕРГЕТИКА

Г. А. АЙРАПЕТЯН, А. Н. МУСАЕЛЯН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ  
 СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

В статье рассматривается вопрос математического моделирования и изучения поведения синхронных генераторов, регулирование возбуждения которых фактически осуществляется по трем параметрам: току статора, отклонению напряжения на шинах и частоте в системе. Однако частота в рассматриваемом типе регулятора не является независимым параметром регулирования. Для осуществления независимой коррекции регулирования по частоте необходимо снабдить регулятор измерительным частотным органом. Целью проводимых исследований является выявление передаточной функции частотного органа регулирования, обеспечивающей оптимальные для энергосистемы законы регулирования возбуждения отдельных генераторов. В аварийных режимах, связанных со снижением частоты, такой закон регулирования обеспечит снижение дефицита мощности. В работе, которая является первым этапом указанных исследований, составлены алгоритм и программа расчета режима регулирования, в которой частота рассматривается как зависимый параметр. В качестве исходной информации принимаются параметры синхронного генератора, возбудителя, а также автоматического регулятора возбуждения (в данном случае параметры схемы компаундирования с электромагнитным корректором напряжения). Требуется определить в каждом промежуточном режиме процесса снижения частоты напряжение на шинах генератора  $U$  шин, э.д.с. возбуждения  $E_f$  и э.д.с. за синхронным сопротивлением  $E_d$  в зависимости от выдаваемой им активной и реактивной мощности.

Сравнительно длительное время протекания процессов снижения частоты вследствие больших постоянных времени машины (порядка 10—15 сек) позволяет в каждом промежуточном режиме не учитывать электромагнитные переходные процессы в контурах генератора и динамические процессы в системе регулирования. Это дает возможность при исследовании указанных процессов пользоваться параметрами установившегося режима генератора при различных дискретных значениях частоты, тока статора и коэффициента мощности.

В рассматриваемом случае закон регулирования может быть записан в виде следующих двух уравнений:

$$\dot{i}_n = k_1 I + k_2 U_n + k_3; \quad (1)$$

$$\dot{E}_f = [i_{\text{корр}} - a_{\text{кор}} (U_n - U)] \frac{1}{T_{\text{кор}}}. \quad (2)$$

Здесь  $I$  — ток статора;  $U$  — напряжение шин;  $U_n$  — номинальное напряжение генератора;  $f^*$  — частота в относительных единицах;  $U_a$  — напряжение возбудителя, равное напряжению на кольцах ротора;  $i_a$  — ток возбуждения от цепей компаундирования и самовозбуждения;  $i_s$  — ток возбуждения возбудителя от цепи корректора напряжения;  $k_1, k_2, k_3, \alpha_{кор}, i_{корrx}$  — постоянные, зависящие от параметров системы регулирования и возбуждения.

Токи  $i_a$  и  $i_s$  в сумме дают полный ток возбуждения возбудителя, т. е.

$$i_a = i_s + i_a. \quad (3)$$

Нагрузочная характеристика возбудителя  $U_a = \Phi(i_a)$  аппроксимируется уравнением вида

$$U_a = \left( \frac{a i_a}{b + i_a} + c i_a \right) f^*. \quad (4)$$

где  $a, b$  и  $c$  — постоянные, выбранные таким образом, чтобы уравнение наилучшим образом совпало с заданной кривой намагничивания возбудителя [1].

Ток ротора  $i_p$  и э.д.с. возбуждения  $E_f$  генератора пропорциональны напряжению возбудителя и определяются по формулам:

$$i_p = \frac{U_a}{r_p}; \quad (5)$$

$$E_f = \frac{k_f}{i_{p0}} f^* U_a. \quad (6)$$

где  $r_p$  — сопротивление обмотки ротора,  $i_{p0}$  — ток ротора при холостом ходе и номинальном напряжении генератора по спрямленной в начальной части характеристике холостого хода (х.х.х.).

Переход от э.д.с.  $E_f$  к синхронной э.д.с.  $E_d$  связан с учетом насыщения синхронной машины. Принимается обычное допущение, что насыщение является функцией потока воздушного зазора или пропорциональной ей по величине э.д.с.  $E_d$ .

Как видно из векторной диаграммы<sup>1</sup> (рис. 1), э.д.с.  $E_d$  получается вычитанием от э.д.с.  $E_f$  поправки на насыщение — вектора  $\Delta E_{нас}$ , совпадающего по фазе с  $\dot{E}_d = U + j X_s \dot{I}$ , где  $X_s$  — индуктивное сопротивление рассеяния генератора. Вычитание  $\Delta E_{нас}$ , совпадающей по фазе с  $E_f$ , а не с  $\dot{E}_d$ , дает очень маленькую ошибку в э.д.с.  $E_d$  [1]. В этом случае справедливо равенство

$$E_d = E_f - \Delta E_{нас}. \quad (7)$$

$E_q$  определяется с помощью той же векторной диаграммы по формуле

<sup>1</sup> Рассматривается невынужденный синхронный генератор

$$E_2 = \sqrt{\left(\frac{U}{f^*}\right)^2 + 2\sqrt{3} X_s \frac{U}{f^*} I \sin \varphi + (\sqrt{3} X_s I)^2}. \quad (8)$$

Значение  $\Delta E_{нас}$  в функции от  $E_2$  находится по характеристике холостого хода следующим образом (рис. 2). Предварительно х.х.х. генератора методом кусочно-линейной аппроксимации изменяется отрезками прямых вида

$$E = (\alpha_{kl} i_p + \beta_{kl}) U_n,$$

где  $\alpha_{kl}$  и  $\beta_{kl}$  — коэффициенты уравнения прямой на участке  $kl$ , ограниченном ординатами  $E_k$  и  $E_l$ . Для ординаты  $E_2$  по аппроксимированной х.х.х. определяется  $i_{p2}$ , а по спрямленной характеристике

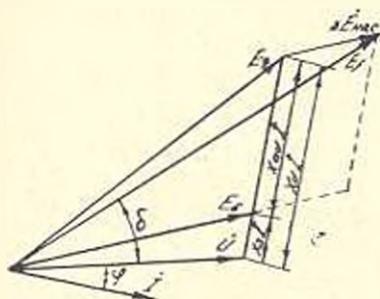


Рис. 1. Векторная диаграмма напряжений неэвмпольного синхронного генератора.

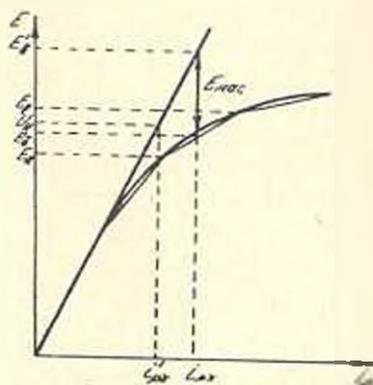


Рис. 2. Графическое построение для определения составляющей э.д.с., обусловленной насыщением.

$$E = \frac{i_p}{i_{pX}} U_n \quad (9)$$

находится соответствующая ей э.д.с., равная по величине

$$E_2 = E_1 + \Delta E_{нас}. \quad (10)$$

Совместное решение уравнений (9) и (10) дает формулу для определения

$$\Delta E_{нас} = \left( \frac{E_2 - \beta_{kl}}{\alpha_{kl} i_{pX}} - E_1 \right) f^*. \quad (11)$$

Это уравнение также составлено с учетом изменения частоты.

Уравнение связи генератора с энергосистемой, очевидное из векторной диаграммы (рис. 1)

$$U = \left| \sqrt{\left(\frac{E_2}{f^*}\right)^2 - (\sqrt{3} X_d I \cos \varphi)^2} - \sqrt{3} X_d I \sin \varphi \right| f^*. \quad (12)$$

Здесь  $X_d$  — ненасыщенное значение синхронной реактивности генератора.

Система уравнений (1)–(12) решается итеративным методом на ЭЦВМ. Произведены расчеты для различных турбо-и-гидрогенераторов с указанным типом регулятора, с помощью которых получены

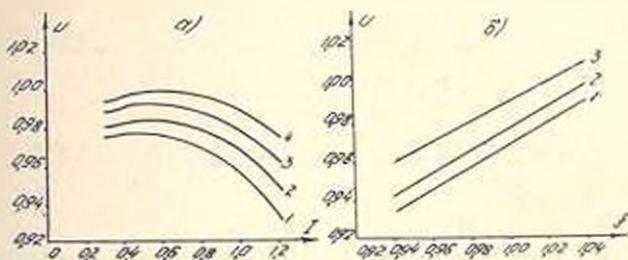


Рис. 3. Характеристики турбогенератора типа Т2–25–2, снабженного регулятором пропорционального типа: а)  $U(I)$  при  $\cos \varphi = 0,8$  и различных частотах. 1— $f=0,96$ ; 2— $f=0,98$ ; 3— $f=1,00$ ; 4— $f=1,02$ . б)  $U(I)$  при  $I=1,0$  и различных коэффициентах мощности. 1— $\cos \varphi=0,7$ ; 2— $\cos \varphi=0,8$ ; 3— $\cos \varphi=0,9$ .

семейства кривых зависимости  $U_{\text{ном}}$ ,  $E_f$  и  $E_q$  от частоты и нагрузки генераторов при различных  $\cos \varphi$ . Переменные параметры варьировались в пределах, возможных в условиях реальной эксплуатации. На рис. 3 приводятся некоторые из указанных характеристик турбогенератора мощностью 31250 ква. Параметры режима даны в относительных единицах.

АрмНИИЭ

Поступило 20.VI.1968.

Գ. Ա. ՀԱՏԲԱՅԵՏՅԱՆ, Ա. Ն. ՄՈՒՍԱԶԻԿՅԱՆ

ՍԻՆԿՐՈՆ ԳՆՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ԳՐԿՈՄԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՈՐՈՇ ԶԱՐՑԵՐ

Ա. մ փ ո փ ո ս

Ասթեմատիկական մոդիլացման հիման վրա ուսումնասիրված է սինխրոն գններատորների վարքը, ևրք նրանց զրգոման կարգավորումը կատարվում է ևրքք պարամետրերով՝ ստատորի հոսանքով, զոզերին կիրառված լարումով և սխտեմի հաճախականությամբ:

Քանի որ այդ մեքենաներն ունեն ժամանակի հաստատունի մեծ արժեքներ (10–15 վրկ) և հաճախականության ցածրացման պրոցեսը նրանց մեզ համեմատաբար երկար է տևում, ապա յուրաքանչյուր միջակա ռեժիմում կարելի է հաշվի լառնել ինչպես էլեկտրամագնիսական անցողիկ պրոցեսները, դնեերատորի կոնտուրներում, այնպես և դինամիկ պրոցեսները կարգավորման սխտեմում: Դա հնարավորություն է բնձնոնում օգտվել գններատորի կայունացված ռեժիմի պարամետրերից՝ հաճախականության, ստատորի հոսանքի և հզորության դորմակցի տարբեր դիսկրետ արժեքների դեպքում:

Կազմված է կարգավորման ռեժիմի հաշվարկման սխեման ու ալգորիթմը, ըստ ուրում՝ հաճախականությունը դիտվում է որպես կախյալ պարամետր: Խնդիրը լուծվում է էԹՀՄ-ի վրա խտերացիոն մեթոդով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кижбарк Э. Синхронные машины и устойчивость электрических систем. Госэнергиздат, 1960.