

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ВОЗБУДИТЕЛЯ
С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ ДЛЯ БЕСЩЕТОЧНОГО
ВОЗБУЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

Одним из вариантов бесщеточных систем возбуждения является синхронный возбудитель с самовозбуждением, принципиальная схема которого изображена на рис. 1. Расположенная на роторе якорная обмотка обращенной синхронной машины (ОСМ)

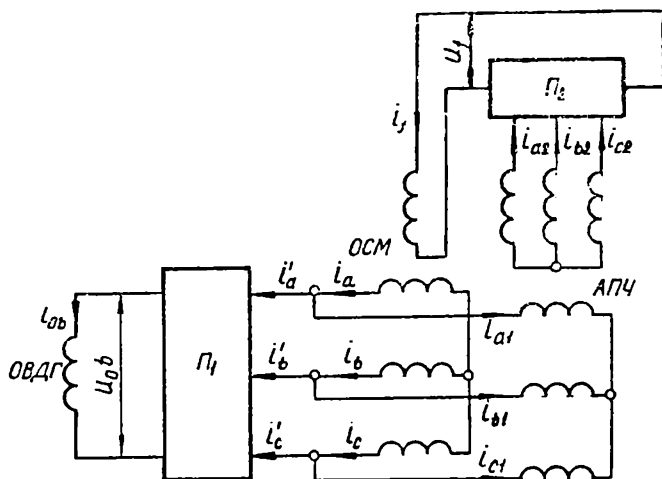


Рис. 1. Схема возбудителя.

питает обмотку возбуждения дизель-генератора (ОВДГ) через диодный мост Π_1 и свою обмотку возбуждения через асинхронный преобразователь частоты (АПЧ) и управляемый тиристорный преобразователь Π_2 . ОСМ и АПЧ выполняются совмещенными в общей магнитной системе, их обмотки укладываются в одни и те же пазы.

При опытно-конструкторской разработке этой системы возбуждения желательно заранее оценить ее динамические и статиче-

ские режимы. Исследования этих режимов могут быть выполнены с помощью аналоговой вычислительной машины.

Математическая модель всего агрегата кроме моделей возбудителя и блока регулятора должна содержать и модель дизель-генератора с нагрузкой. Однако динамические и статические свойства самой системы возбуждения можно оценить, исследуя ее режимы работы на пассивную нагрузку.

Полная система уравнений возбудителя, по которой составлялась структурная схема модели, содержит уравнения обращенной синхронной машины, асинхронного преобразователя частоты и нагрузки — обмотки возбуждения дизель-генератора.

При составлении модели синхронной части возбудителя использованы уравнения Парка — Горева [1], записанные в относительных единицах. Принято, что ось q опережает ось d , токи якоря положительно направлены от ОСМ во внешнюю нагрузку, а в обмотке возбуждения — от внешнего источника.

Для упрощения структурной схемы математической модели ОСМ уравнения разрешены не относительно токов, а относительно соответствующих этим токам потокосцеплений рассеяния. Эти уравнения имеют вид¹:

$$-p\Psi_d = \frac{m_\Psi}{m_t m_u} u_d - \frac{1}{m_t} \Psi_q + \frac{r}{m_t x_{\sigma a}} \Psi_{\sigma d};$$

$$-p\Psi_q = \frac{m_\Psi}{m_t m_u} u_q + \frac{1}{m_t} \Psi_d + \frac{r}{m_t x_{\sigma a}} \Psi_{\sigma q};$$

$$p\Psi_f = \frac{m_\Psi}{m_t m_u} u_f - \frac{r_f}{m_t x_{\sigma f}} \Psi_{\sigma f};$$

$$\Psi_{\sigma f} = i_{ad} x_{\sigma f} - \frac{x_{\sigma f}}{x_{\sigma a}} \Psi_{\sigma d};$$

$$\Psi_{\sigma d} = \Psi_d - \Psi_{ad}; \quad \Psi_{\sigma q} = \frac{x_{\sigma a}}{x_{aq}} \Psi_{aq};$$

$$\Psi_{ad} = \Psi_f - \Psi_{\sigma f}; \quad \Psi_{aq} = \Psi_q - \Psi_{\sigma q};$$

$$i_{ad} x_{\sigma f} = F(\Psi_{ad}).$$

Машинные масштабы напряжений m_u , токов m_t и потокосцеплений m_Ψ принимались равными 35 в/о.е. Масштаб времени $m_t = 1$.

Составляющие напряжения ОСМ u_d и u_q определяются при решении уравнений ее нагрузки — диодного преобразователя с обмоткой возбуждения дизель-генератора и асинхронного пре-

¹ Обозначения общепринятые.

образователя частоты. Напряжение возбуждения ОСМ u_f находится из решения уравнений асинхронного преобразователя и тиристорного моста.

Насыщение магнитной системы ОСМ учитывается по продольной оси. Намагничивающий ток i_{ad} является нелинейной функцией потокосцепления Ψ_{ad} и на модели он определяется с помощью нелинейного блока, реализующего характеристику холостого хода в масштабе модели.

Характеристика холостого хода рассчитана с учетом влияния подмагничивания от поля асинхронного преобразователя частоты.

Математическая модель асинхронной машины выполнена на основе схемы замещения с вынесенным намагничивающим контуром.

Параметры схемы замещения:

$$\begin{aligned} r_m &= r_0 + r_{p.a}; \\ x_m &= x_0 + x_{p.a}; \\ x_a &= \sigma x_{p.a} + \sigma^2 x'_{c.a}; \\ r_a &= \sigma r_{p.a} + \sigma^2 r'_{c.a}; \\ \sigma &= 1 + \frac{x_{p.a}}{x_0}, \end{aligned}$$

где $r'_{c.a}$, $x'_{c.a}$ — приведенные к ротору активное и индуктивное сопротивления рассеяния обмотки статора АПЧ;

$r_{p.a}$, $x_{p.a}$ — параметры ротора.

Система уравнений АПЧ, разрешенная относительно производных фазных потокосцеплений и записанная в единицах модели, имеет вид:

$$p\Psi_k = \frac{m_\Psi}{m_l m_u} u_{k1} - \frac{m_\Psi}{m_l m_u} u_{k2} - \frac{r_a}{m_l x_a} \Psi_k;$$

$$p\Psi_{\mu k} = \frac{m_\Psi}{m_l m_u} u_{k1} - \frac{r_m}{m_l x_m} \Psi_{\mu k},$$

где индекс $k = a, b, c$;

$$\Psi_k = i''_k x_a;$$

$$\Psi_{\mu k} = i_{\mu k} x_m;$$

u_{k1} — фазное напряжение на входе АПЧ;

u_{k2} — фазное напряжение на выходе АПЧ;

i''_k — приведенный к ротору фазный ток статора;

$i_{\mu k}$ — намагничивающий ток.

Структурные схемы моделей диодного и тиристорного преобразователей [2] представляются физическими аналогами.

Для получения установившегося значения тока нагрузки возбудителя $i_{ов}$ на математической модели используется блок операционного реле ОПР, который выполняет логическую операцию сравнения выходного параметра ($-i_{ов}$) с заданным значением тока возбуждения ($+i_{ов}$) дизель-генератора. С помощью вспомогательных усилителей устанавливаются верхний и нижний пределы угла регулирования α тиристорного преобразователя с таким расчетом, чтобы колебания тока возбуждения ОСМ были незначительны.

Для связи модели синхронной части возбудителя с моделью диодного преобразователя использован блок преобразования координат.

При составлении математической модели возбудителя также необходимо учесть разные системы относительных единиц обмотки возбуждения ОСМ и выходных параметров тиристорного преобразователя, полученных в относительных единицах якоря ОСМ.

Общая схема модели системы возбуждения дизель-генератора приведена на рис. 2.

Результаты расчета статических и некоторых динамических режимов работы самовозбуждающегося возбудителя. Расчет выполнен для параметров, полученных при опытно-конструкторской разработке возбудителя к дизельному генератору СГДС-15—64—6 мощностью 2000 квт.

1. Самовозбуждение возбудителя. Процесс самовозбуждения возбудителя происходил с нулевых значений параметров режима до установившихся при полностью открытом тиристорном преобразователе ($\alpha = 0$). Параметры нагрузки — обмотки возбуждения дизель-генератора — соответствуют T'_d при замкнутой обмотке статора.

Так как в модели не было предусмотрено никаких остаточных напряжений для начального самовозбуждения, то во время пуска на обмотку статора ОСМ подавалось напряжение от постороннего источника, равное номинальному. В процессе пуска, при достижении номинальной величины тока в обмотке возбуждения дизель-генератора, посторонний источник отключался, а процесс самовозбуждения возбудителя продолжался до установившегося форсировочного режима.

Время самовозбуждения возбудителя до форсировочного режима, равное времени 13 периодов, составляет:

$$t_c = \frac{2\pi n}{\omega_6} = \frac{2\pi 13}{628} = 0,13 \text{ сек.}$$

Кратность форсировочного тока возбуждения генератора по отношению к номинальному оказалась равной

$$k_\phi = \frac{I_{0 \text{ в. } \Phi}}{I_{0 \text{ в. н}}} = 2,7.$$

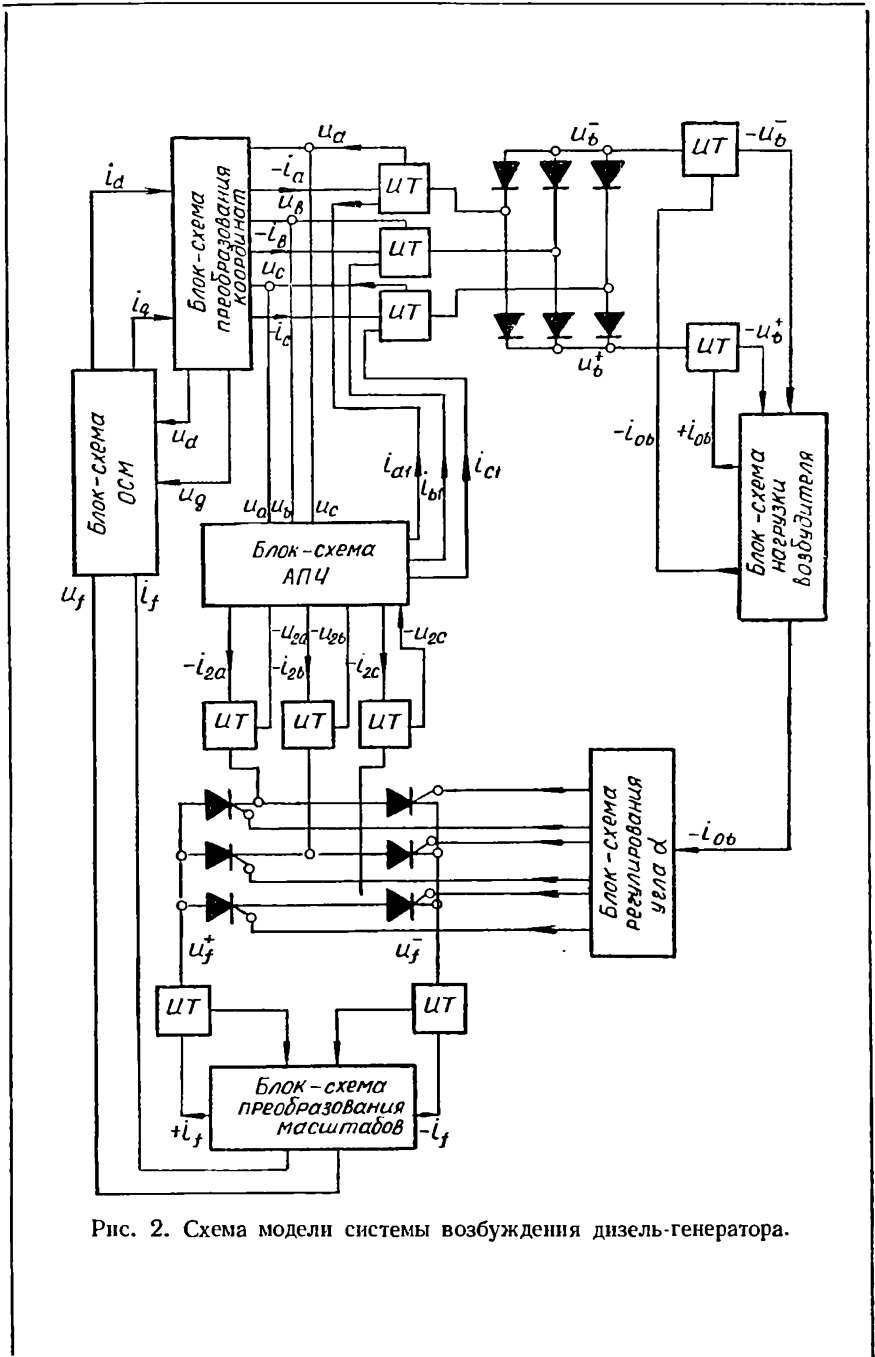


Рис. 2. Схема модели системы возбуждения дизель-генератора.

Заметим, что при открытом тиристорном преобразователе процесс самовозбуждения ограничен насыщением магнитной системы возбудителя. Поэтому достоверность коэффициента форсировки зависит от того, насколько правильно учтено насыщение машины в модели.

2. Установившиеся режимы работы возбудителя. На математической модели установившиеся режимы были получены путем релейного изменения угла открытия α тиристорного преобразо-

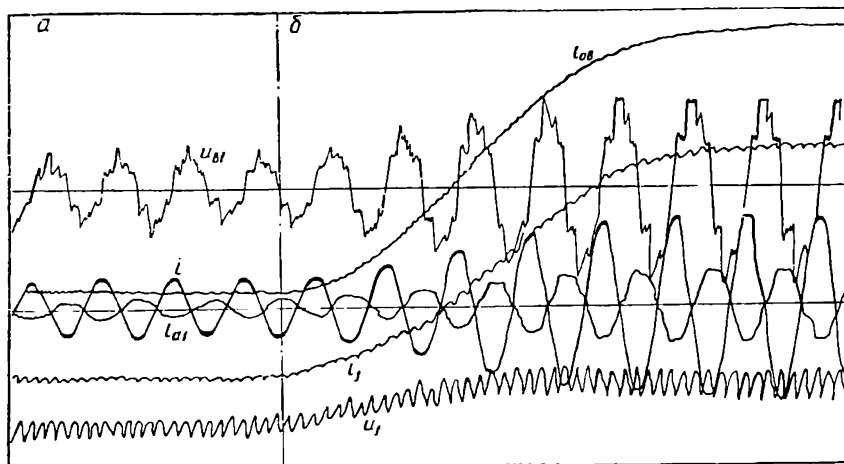


Рис. 3. Осциллограмма, иллюстрирующая работу возбудителя в номинальном режиме (а) и процесс форсировки возбудителя с номинального режима (б).

вателя. На рис. 3, а представлена осциллограмма номинального режима при постоянной времени обмотки возбуждения дизель-генератора $T'_d = 0,77$ сек. Данные расчета приведены в таблице. В этой же таблице приведены результаты приближенного электромагнитного расчета. Таблица показывает, что величины токов во всех обмотках возбудителя, кроме обмотки ротора ОСМ, полученные при решении на математической модели, близки к расчетным.

Заметное различие при расчете действующего значения тока якоря ОСМ обусловлено допущениями, которые были сделаны как при электромагнитном расчете, так и при разработке модели. В частности, все электромагнитные расчеты были произведены по первой гармонике тока без учета высших, а диодный выпрямитель с нагрузкой был заменен чисто активным сопротивлением.

3. Форсировка возбуждения. Форсировка возбуждения производилась с номинального режима (рис. 3, б) при постоянной вре-

мени обмотки возбуждения дизель-генератора T'_d . Время, в течение которого ток возбуждения дизель-генератора достигает установившегося значения, согласно осциллограмме, равно:

$$t_{\text{ф.н}} = \frac{2\pi\tau}{m_{\text{т о в}}\omega_6} = \frac{2\pi \cdot 100}{628} = 5 \text{ сек}$$

или

$$\frac{t_{\text{ф.н}}}{T'_d} = \frac{5}{0,77} = 6,5 \text{ постоянных времени } T'_d.$$

Результаты расчета номинального режима возбудителя

Наименование величины	Электро-магнитный расчет	Расчет по модели
Ток возбуждения дизель-генератора, a	300	296
Среднее напряжение на обмотке возбуждения дизель-генератора, v	71	70
Действующее значение тока якоря ОСМ, a	318	370
Действующее значение тока ротора АПЧ, a	168	151
Действующее значение намагничивающего тока АПЧ, a	65	64,6
Действующее значение тока статорной обмотки АПЧ, a	15,2	13,3
Среднее значение тока возбуждения ОСМ, a	19,7	22,6
Среднее значение напряжения на обмотке возбуждения ОСМ, v	160	184
Действующее значение фазного напряжения якоря ОСМ, v	32,6	29,5
Действующее линейное напряжение якоря ОСМ, v	56,4	51,3
Угол открытия вентиля, град	70	42—74

Время установления наибольшего выпрямленного напряжения на обмотке возбуждения дизель-генератора равно

$$t'_{\text{ф.н}} = \frac{2\pi\tau'}{\omega_6} = \frac{2\pi\beta}{628} = 0,03 \text{ сек.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как следует из изложенного, исследуемый самовозбуждающийся синхронный возбудитель обладает достаточно высокими качествами: он обеспечивает большую скорость нарастания напряжения на обмотке возбуждения дизель-генератора (выше тре-

буемой ГОСТ 183—66) и необходимую кратность напряжения возбуждения при форсировке.

Расчет на модели подтвердил также пригодность для практики методики электромагнитного расчета, по которой был выполнен приближенный расчет токов и напряжений системы возбуждения в номинальном установившемся режиме генератора.

Математическая модель возбудителя как составная часть может быть использована для исследования дизель-генераторной установки в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Соколов. Применение аналоговых вычислительных машин в энергетических системах. М., «Энергия», 1970.

2. В. Ф. Шутко. Математическая модель статической системы возбуждения с управляемым преобразователем. См. настоящий сборник.
