

УДК 621.311

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕГУЛЯТОРА ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ**MATHEMATICAL MODEL OF THE SYNCHRONOUS MACHINE EXCITATION REGULATOR**

А.Д. Касач

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
volkau@bntu.by

A. Kasach

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: проведен анализ влияния регулятора возбуждения синхронной машины и построена его математическая модель.

Abstract: the influence of the synchronous machine excitation regulator is analyzed and its mathematical model is constructed.

Ключевые слова: регулятор возбуждения, системы регулирования, линеаризованной моделью генератора.

Keywords: excitation regulator, control system, linearized generator model.

Введение

Агрегаты электрических систем: генераторы, вращающие турбины, должны обеспечивать качество выдаваемой энергии. Это достигается при помощи регуляторов.

Используются следующие регуляторы:

– регуляторы возбуждения (АРВ), воздействующие на ток возбуждения генераторов, тем самым улучшая устойчивость: уменьшая колебания, ускоряя затухания в следствии переходных процессов.

– регуляторы частоты вращения (АРЧВ), воздействующие на впуск энергоносителя, стабилизирующие частоту вращения.

– регуляторы частоты (АРЧ), реагирующие на общие изменения частоты в системе. Их называют регуляторами общесистемного параметра.

В основной части будет проанализировано влияние систем регулирования возбуждения на работу синхронной машины (СМ) при возникновении возмущения. Системы регулирования представлена регулятором возбуждения в виде одного инерционного звена.

Основная часть

Изменение напряжения возбуждения $U_{f,\Delta}$ и изменение напряжения на шинах СМ $U_{t,\Delta}$ связаны операторным соотношением [1]:

$$u_{f,\Delta} = -\frac{K_e}{1 + \tau_e p} U_{t,\Delta}, \quad (1)$$

где K_e – коэффициент усиления регулятора;

τ_e – постоянная времени регулятора;

$U_{t,\Delta}$ – изменения напряжения на шинах СМ.

Для оценки влияния регулятора возбуждения на процессы в системе воспользуемся описанной линеаризованной моделью генератора, работающего на систему неограниченной мощности через линию электропередачи уравнениями изменения электрической мощности P_{Δ} [2] и E'_Δ [3]:

$$P_{\Delta} = K_1 \delta_\Delta + K_2 E'_\Delta, \quad (2)$$

где K_1 – коэффициент, характеризующий изменение электрической мощности при изменении угла ротора в условиях постоянства потокосцепления по продольной оси;

K_2 – коэффициент, характеризующий изменение электрической мощности при изменении потокосцепления в условиях постоянства угла ротора;

δ_Δ – угол ротора;

E'_Δ – Э.Д.С. пропорциональная магнитному потоку основной обмотки возбуждения.

$$E'_\Delta = \frac{K_3}{1 + K_3 \tau'_{d,0} p} U_{f,\Delta} - \frac{K_3 K_4}{1 + K_3 \tau'_{d,0} p} \delta_\Delta, \quad (3)$$

где K_3 – коэффициент сопротивления;

K_4 – коэффициент, характеризующий размагничивающее действие при изменении угла ротора;

$\tau'_{d,0}$ – постоянная времени СМ по продольной оси при разомкнутой обмотке статора.

Для решения уравнения (1) необходимо определить соотношения между $U_{t,\Delta}$, δ_Δ и E'_Δ .

Соотношения можно представить в следующей форме:

$$U_{t,\Delta} = K_5 \delta_\Delta + K_6 E'_\Delta, \quad (4)$$

где K_5 – изменение напряжения на шинах генератора при изменении угла δ при $E'_\Delta = const$;

K_6 – изменение напряжения на шинах генератора при изменении E' при $\delta = const$.

Подставим выражение (4) в (1) и получим зависимость $u_{f,\Delta}(p)$:

$$u_{f,\Delta}(\bar{p}) = - \left[\frac{K_e}{1 + \tau_e p} \right] (K_5 \delta_\Delta + K_6 E'_\Delta) \quad (5)$$

Подставляя выражение $u_{f,\Delta}(\bar{p})$ [5] в [3] получим зависимость $E'_\Delta(\bar{p})$ [6]:

$$E'_\Delta(\bar{p}) = \frac{K_3}{1 + K_3 \tau'_{d,0} p} \left[- \frac{K_e}{1 + \tau_e p} (K_5 \delta_\Delta + K_6 E'_\Delta) \right] - \frac{K_3 K_4}{1 + K_3 \tau'_{d,0} p} \delta_\Delta, \quad (6)$$

$E'_\Delta(\bar{p})$ можно записать в несколько ином виде:

$$E'_\Delta(\bar{p}) = \left[\frac{K_4}{\tau'_{d,0}} \frac{p + \left(\frac{1}{\tau_e} + \frac{K_5 K_e}{K_4 \tau_e} \right)}{p^2 + p \left(\frac{1}{K_e} + \frac{1}{K_e \tau'_{d,0}} \right) + \frac{1 + K_3 K_6 K_e}{K_3 \tau'_{d,0} \tau_e}} \right] \delta_\Delta, \quad (7)$$

Подставляем (7) в (2) и получаем $P_{3,\Delta}(\bar{p})$:

$$P_{3,\Delta}(\bar{p}) = \left[K_1 - K_2 \frac{K_4}{\tau'_{d,0}} \frac{p + \left(\frac{1}{\tau_e} + \frac{K_5 K_e}{K_4 \tau_e} \right)}{p^2 + p \left(\frac{1}{K_e} + \frac{1}{K_e \tau'_{d,0}} \right) + \frac{1 + K_3 K_6 K_e}{K_3 \tau'_{d,0} \tau_e}} \right] \delta_\Delta, \quad (8)$$

Подставив выражение в уравнение движения в операторной форме и проделав некоторые преобразования, получим следующее характеристическое уравнение:

$$p^4 + p^3 \left(\frac{1}{\tau_e} + \frac{1}{K_3 \tau'_{d,0}} \right) + p^2 \left(\frac{1 + K_3 K_6 K_e}{K_3 \tau'_{d,0} \tau_e} + \frac{K_1 w_{ном}}{\tau_j} \right) + p \frac{w_{ном}}{\tau_j} \left(\frac{K_1}{\tau_e} + \frac{K_1}{K_3 \tau'_{d,0} \tau_e} + K_2 \frac{K_4}{\tau'_{d,0}} \right) + \frac{w_{ном}}{\tau_j} \left[\frac{K_1 (1 + K_3 K_6 K_e)}{K_3 \tau'_{d,0} \tau_e} + K_2 \frac{K_4}{\tau'_{d,0}} \left(\frac{1}{\tau_e} + \frac{K_5 K_e}{K_4 \tau_e} \right) \right] = 0, \quad (9)$$

где $w_{ном}$ – номинальная частота;

τ_j – механическая постоянная инерции генератора с турбиной.

Уравнение 4-ого порядка можно записать в виде:

$$p^4 + a_3p^3 + a_2p^2 + a_1p + a_0 = 0. \quad (10)$$

Заключение

Влияние регулятора возбуждения на процессы в системе можно охарактеризовать уравнением 4-ого порядка, выраженного из линеаризованной модели генератора. На изменения возбуждения будут влиять $U_{уст}$ или U_t , механическая постоянная инерции генератора с турбиной, а так же частота СМ.

Литература

1. Андерсон, П. Управление энергосистемами и устойчивость / П. Андерсон, А. Фуад/ Пер. с англ. Под ред. Я. Н. Лугинского. – М.: Энергия, 1980. – 568 с.
2. Веников, В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учебник для электроэнергетических специальностей вузов / В.А. Веников. – Изд. 4-е. – М. : Высш. шк., 1985. – 536 с.