

## МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ РАСЧЕТАХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

**Кайыржан А.Ж.**

Магистрант,

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана,

**Тулегенов К.К.**

кандидат технических наук,

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана,

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются схема замещения и расчетная модель для расчетов динамических процессов в энергосистеме, а также позволяет решать сетевую задачу на шаге интегрирования прямым безытеративным методом. Приведены дифференциальные уравнения синхронной машины для интегрирования, чтобы приводить расчетные характеристики которые проводить комплексную оценку влияния различных возмущений на динамическую устойчивость генераторов электростанций.

**Ключевые слова.** Динамические процессы, устойчивость, генератор, электростанция.

### MODEL OF ELECTRICAL NETWORK AT CALCULATIONS OF TRANSITION PROCESSES

**Kaiyrzhan A.Zh.**

Student of Master-degree,

Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University

**Tulegenov K.K.**

Candidate of technical sciences

Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University

**Annotation.** In this paper the replacement scheme and the computational model for calculating dynamic processes in the power system are considered, and also it is allowed solving the network problem at the integration step by a direct, non-iterative method. The differential equations of the synchronous machine for integration are presented to give the calculated characteristics that make a complex assessment of the influence of various disturbances on the dynamic stability of power plant generators.

**Key words.** Dynamic processes, stability, generator, power station.

Расчеты электромеханических переходных процессов при КЗ необходимы для оценки динамической устойчивости работы генераторов электростанций в условиях стационарного деления электрической сети энергосистемы, характера переходных процессов и их продолжительности. Как известно, динамическая устойчивость - это способность системы восстанавливать исходный режим после больших возмущений. Под большими возмущениями в работе [1] понимаются все виды КЗ. Возмущения, приводящие к разделению энергосистемы на несколько не связанных частей не рассматривались.

Наиболее общим и прямым методом расчета, происходящих при этих нарушениях относительных движений роторов генераторов в электрической системе, является численное интегрирование дифференциальных уравнений электромагнитных и электромеханических переходных процессов. Традиционно, самым простым и доступным для реализации является метод последовательных интервалов. С помощью метода последовательных интервалов уравнения сети могут быть решены в конечных разностях. Однако такие расчеты получаются весьма трудоемкими и не гарантируют от ошибок, накапливающихся от интервала к интервалу. Теория расчета динамических процессов в энергосистемах, в условиях многофакторности ис-

ходных данных, приведена в работах [2,3]. В используемой математической модели применялся алгоритм, основанный на методе исключения Гаусса, который позволяет решать сетевую задачу на шаге интегрирования прямым безытеративным методом [4].

Схема замещения и расчетная модель для расчетов динамических процессов в энергосистеме, учитывала уравнения электромагнитных и механических процессов генератора, а именно: - мощности турбины

$$P_m = P_{н.уст} \cdot (1 - \mu), \quad (1)$$

где  $P_{н.уст}$  - установленная мощность турбины;  $(1 - \mu)$  степень открытия направляющего аппарата турбины,  $\mu_{min} < \mu < 1$

- уравнение обмотки возбуждения ротора

$$\frac{d\Psi_{fd}}{dt} = \frac{1}{T_{d0}} \left[ u_f - \frac{1}{z} \cdot (\Psi_{fd} - a \cdot \Psi_{1d} + b \cdot i_d) \right] \quad (2)$$

- уравнения демпферной обмотки по продольным и поперечным осям:

$$\frac{d\Psi_{1d}}{dt} = \frac{1}{z \cdot T_{1d0}} [-\Psi_{1d} + c \cdot \Psi_{fd} - d \cdot i_d], \quad (3)$$

$$\frac{dE''_q}{dt} = \frac{1}{T_{1q0}} [-E''_q - (x_q - x''_q) \cdot i_q], \quad (4)$$

причем степень демпфирования может быть изменена величинами  $T_{1d0}$  и  $T_{1q0}$ , где  $\Psi_{fd}$  - потокосцепление обмотки возбуждения;  $T_{d0}$  - постоян-

ная времени обмотки возбуждения при разомкнутой обмотке статора,  $e$ ;  $u_f$  - напряжение возбуждения;  $\Psi_{1d}$  - потокосцепление продольной демпферной обмотки;  $T_{1d0}$ ,  $T_{1q0}$  - постоянные времени продольной и поперечной демпферных обмоток при разомкнутых обмотках статора и возбуждения, сек;  $E''_q, E''_d$  - фиктивные ЭДС машины, действующие по продольной и поперечной осям;  $x_q$  - синхронное реактивное сопротивление по оси q,  $x''_q, x''_d$  - сверхпереходные сопротивления по оси d и q;  $i_d$  и  $i_q$  - составляющие тока по продольной и поперечной осям, связанные с ротором;  $u_d$  и  $u_q$  - составляющие напряжения по продольной и поперечной осям, связанные с ротором;  $u_{ds}$  и  $u_{qs}$  - составляющие напряжения по продольной и поперечной осям, синхронно вращающиеся;  $a, b, c, d, z$  - постоянные параметры, согласно [4];

- уравнение движения синхронной машины:

$$\frac{s\delta}{dt} = s \cdot \bar{\omega}_0, \quad (5)$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{j_s} [P_m - (i_q \cdot u_d + i_d \cdot u_q)], \quad (6)$$

- где  $s$  - скольжение генератора;  $j_s$  - эквивалентная постоянная инерции;

- уравнение регулятора турбины

$$\frac{d\mu}{dt} = \frac{1}{T_s} \left( \frac{s}{\delta_i} + \mu_0 - \mu \right), \quad (7)$$

- где  $\mu_0$  - определяет мощность турбины в заданном режиме;  $T_s$  - постоянная времени турбины;  $\delta_i$  - статическая неравномерность турбины;

- регуляторы возбуждения сильного действия учитываются присоединением системы уравнений регуляторов. Причем сигналы по отклонению частоты напряжения и ее производной образуются путем дифференцирования разности абсолютного угла  $\delta$  и внутреннего угла генератора.

Моделируемые программным комплексом типы систем возбуждения полностью соответствуют реально установленным на генераторах электростанций энергосистемы Западно-Казахстанского региона. Математические выражения, описывающие систему возбуждения генераторов в данной работе, не приводятся, так как не являются целью диссертационной работы. Подробное математическое описание систем возбуждения приведено в [4]. Математическая модель асинхронной машины состоит также из классических дифференциальных уравнений теории электромеханики [2].

Дифференциальные уравнения синхронной машины записаны в окончательном для интегрирования виде.

Уравнения электромагнитных переходных процессов в роторе:

$$\frac{d\varphi_{ds}}{dt} = \varphi_{ds} \cdot s_{\partial} - \left( \frac{r_2}{x_2} + \frac{r_2 \cdot x''_{\mu}}{x_2^2 \cdot x'} \right) \cdot \varphi_{ds} + \frac{r_2 \cdot x_{\mu}}{x_2 \cdot x'} \cdot u_{qs}, \quad (8)$$

$$\frac{d\varphi_{ds}}{dt} = -\varphi_{ds} \cdot s_{\partial} - \left( \frac{r_2}{x_2} + \frac{r_2 \cdot x''_{\mu}}{x_2^2 \cdot x'} \right) \cdot \varphi_{ds} - \frac{r_2 \cdot x_{\mu}}{x_2 \cdot x'} \cdot u_{qs}, \quad (9)$$

Уравнение движения ротора:

$$\frac{ds_{\partial}}{dt} = \frac{1}{j_{\partial}} \cdot \left[ m_{\partial} + \frac{x_{\mu}}{x_2 \cdot x'} \cdot (u_{ds} \cdot \varphi_{ds} + u_{qs} \cdot \varphi_{qs}) \right]. \quad (10)$$

Как известно при пуске крупных асинхронных двигателей происходит вытеснение тока в обмотке ротора, данный эффект учитывается зависимостью активного сопротивления ротора от скольжения ротора.

$$r_2 = r_{20} + (s_{\partial} - s_{\partial, \text{кр}}) \cdot \frac{r_{2\text{max}} - r_{20}}{1 - s_{\partial, \text{кр}}}. \quad (11)$$

Моментная характеристика на валу асинхронного двигателя выражается

$$M_{\partial} = M_{\partial 0} \left( 1 + \left( \frac{1 - s_{\partial}}{1 - s_{\partial 0}} - 1 \right) \right) \cdot (1 - K_{ad}). \quad (12)$$

Напряжения в узлах сети позволяют определить правые части дифференциальных уравнений. После определения правых частей дифференциальных уравнений, последние численно интегрируются с помощью метода Рунге-Кутты 4-го порядка. Число интервалов интегрирования определяется, исходя из длительности процесса и шага интегрирования.

Для моделирования КЗ использовались эквивалентные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности, рассматриваемой сети относительно точки КЗ. Расчетная длительность КЗ принималась по [4] и составляла для 110 кВ и 220 кВ соответственно 0,18 с. и 0,16 с. Данные и другие расчетные характеристики позволяют проводить комплексную оценку влияния различных возмущений (в том числе КЗ) на динамическую устойчивость генераторов электростанций.

### Литература

1. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / Под. ред. Л.А. Жукова. М.: Энергия, 2015. — 496 с
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высш. шк., 1985. — 536 с
3. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.
4. Баринов В.Ф., Мамиконянц Л.Г., Строев В.А. Развитие математических моделей и методов для решения задач управления режимами работы и развития энергосистем // Электричество. Изд-во: Нац.иссл.ун. "МЭИ" (Москва). - 2005. - №7. - С. 8-21.