

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ
НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
INFLUENCE OF GENERATOR EXCITATION SYSTEM PARAMETERS
ON THE DYNAMIC STABILITY OF THE POWER SYSTEM**

В.В. Гончарук, А.А. Петрович

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Petrovich, V. Goncharuk

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

***Аннотация:** проведены расчеты и выполнена оценка влияния параметров системы возбуждения генератора на динамическую устойчивость электроэнергетической системы.*

***Abstract:** calculations and evaluated the influence of the parameters of excitation systems on the dynamic stability of the electric power system.*

***Ключевые слова:** регулирование возбуждения, динамическая устойчивость, электроэнергетическая система.*

***Keywords:** excitation control, dynamic stability, electric power system.*

Введение

Динамическая устойчивость является критическим аспектом надежной работы электроэнергетических систем, так как она влияет на стабильность напряжения, частоты и других электрических параметров. Недостаточная динамическая устойчивость может привести к колебаниям напряжения, падению частоты, а в крайних случаях даже к авариям и отключению энергосистемы.

Современные энергосистемы представляют собой сложные технические системы, состоящие из множества взаимосвязанных компонентов, включая генерацию, передачу электроэнергии, распределение и потребление. Одним из ключевых элементов в работе генераторов, являющихся основными источниками производства электроэнергии, является система возбуждения, отвечающая за поддержание определенного уровня напряжения на выходе генератора.

Параметры системы возбуждения, такие как коэффициенты регулирования, постоянная времени регулятора возбуждения и другие, имеют прямое влияние на динамическую устойчивость генераторов и энергосистемы в целом. Оптимальные значения этих параметров обеспечивают стабильную и надежную работу генераторов, а неправильная настройка может вызвать различные проблемы, такие как колебания напряжения, потери стабильности, перегрузки и даже аварийные ситуации.

Основная часть

Уравнения синхронных машин (СМ) соответствуют двум модификациям модели:

- без учета электромагнитных переходных процессов, т. е. с допущением

- о постоянстве ЭДС за некоторым реактивным сопротивлением;
- с учетом электромагнитных переходных процессов в контурах ротора.

Модель генератора без учета систем возбуждения описывается уравнениями движения ротора:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{M_j} \cdot [P_T - P_\Gamma - D \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot (s - s_U)], \quad (1)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = s \cdot \omega_{\text{НОМ}}, \quad (2)$$

где s – скольжение ротора СМ относительно синхронно вращающихся осей [о. е.],

δ – угол ротора СМ, т. е. угол между направлением вектора E_Γ и синхронно вращаючися осями [рад.],

$\omega_{\text{НОМ}}$ – синхронная скорость вращения,

P_T – мощность турбины [МВт],

P_Γ – электромагнитная мощность СМ [МВт],

$P_{\text{НОМ}}$ – номинальная активная мощность СМ [МВт],

M_j – момент инерции СМ вместе с турбиной [МВт · с],

D – коэффициент демпфирования [о. е.],

s_U – скольжение вектора напряжения относительно синхронно вращающихся осей [о. е.].

Генератор с учетом электромагнитных переходных процессов в роторе моделируется при следующих основных допущениях:

- не учитываются апериодические составляющие переходных процессов в обмотках статора,
- несимметричные режимы воспроизводятся только токами и напряжениями прямой последовательности,
- не учитываются изменения в насыщении главной магнитной цепи и зубцового слоя,
- в продольной и поперечной осях СМ имеется по одному демпферному контуру,
- сверхпереходные сопротивления по продольной и поперечной осям равны, при этом значение сверхпереходного сопротивления X'' вычисляется как

$$X'' = \frac{X''_d + X''_q}{2}, \quad (3)$$

- здесь допустимо полагать, что $X''_q = X''_d$, зависимость X'' от ω_U не учитывается.

В данной работе рассматривается влияние параметров независимого тиристорного возбуждения генератора на динамическую устойчивость. Независимое тиристорное возбуждение – это метод возбуждения генератора, при котором возбуждающий тиристорный выпрямитель подключен к независимому

источнику постоянного тока. Он обеспечивает автономное управление величиной тока возбуждения, что обеспечивает стабильность генерации электроэнергии даже в случае изменений в сети или возникновения возмущений.

Исследование будет проводиться на примере схемы, представленной на рисунке 1, в случае возникновения трехфазного короткого замыкания в точке K₁ (узел 6). На станции установлен генератор 2 ТГВ-200. Время действия трехфазного короткого замыкания $t_{кз} = 0,15$ с.

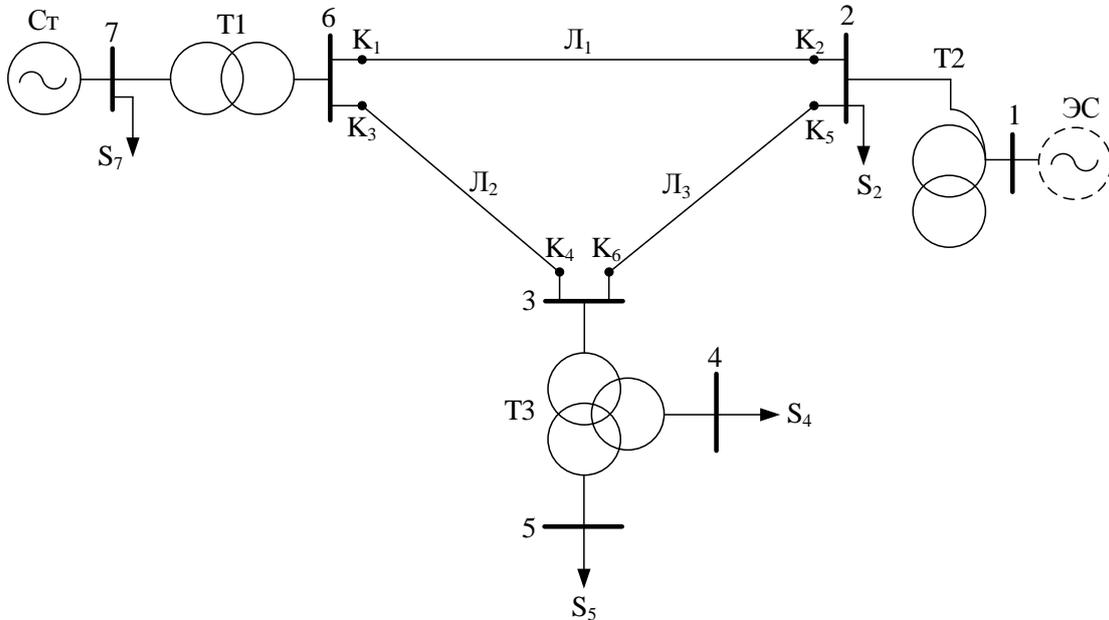


Рисунок 1 – Принципиальная схема энергосистемы

Оценка динамической устойчивости выполняется в программе MUS-TANG. На рисунках 2–3 представлены параметры генератора для упрощенной и полной моделей.

Генераторы	РС	РВ	Возбудители	СД	Форсировка					
N	U _{гном}	P _{гном}	COS(φ)	D	M _j /T _j	X'd	X _d	X _q	X''d	T'd0
1	110,00					0,419				
7	15,75	400	0,900		7,40	0,295	1,840	0,600	0,190	6,850

Рисунок 2 – Параметры полной модели генераторов

Генераторы	РС	РВ	Возбудители	СД	Форсировка					
N	U _{гном}	P _{гном}	COS(φ)	D	M _j /T _j	X'd	X _d	X _q	X''d	T'd0
1	110,00					0,419				
7	15,75	400	0,900	10,00	7,40	0,295				

Рисунок 3 – Параметры упрощенной модели генераторов

Информация о регуляторах возбуждения и возбудителях для полной модели генератора представлена на рисунках 4–5.

Генераторы	РС	РВ	Возбудители	СД	Форсировка				
N	Т _{рв}	U _{рв+}	U _{рв-}	K _u	K'u	K'if	K _f	K'f	T _f
7	0,040	6,000	-6,000	50,000	5,000	5,000	2,000	5,000	0,900

Рисунок 4 – Параметры регуляторов возбуждения для полной модели генераторов

Генераторы	PC	PВ	Возбудители	СД	Форсировка		
N	Nф	Nсист	Tв	Eqe+	Eqe-	Eq+	Eq-
7		1	0,040	2,000	-1,600	2,000	0,600

Рисунок 5 – Параметры возбудителей для полной модели генераторов

На рисунках 6–9 показаны зависимости контролируемых параметров от времени переходного процесса в зависимости от модели генератора и наличия регуляторов возбуждения.

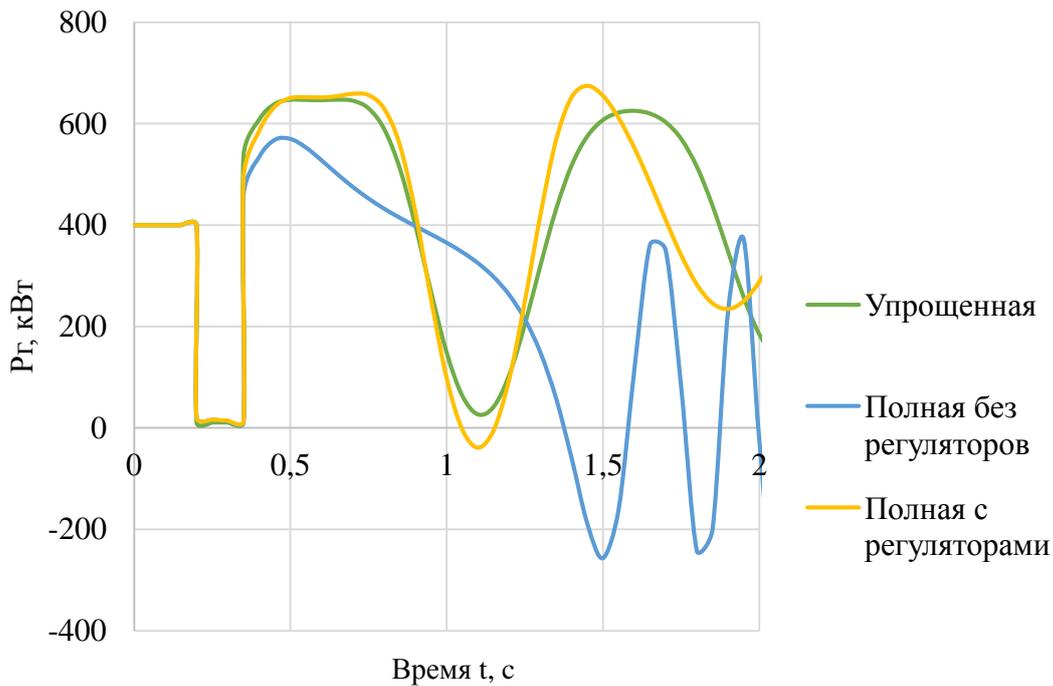


Рисунок 6 – Зависимость P_g в 7-ом узле от времени переходного процесса

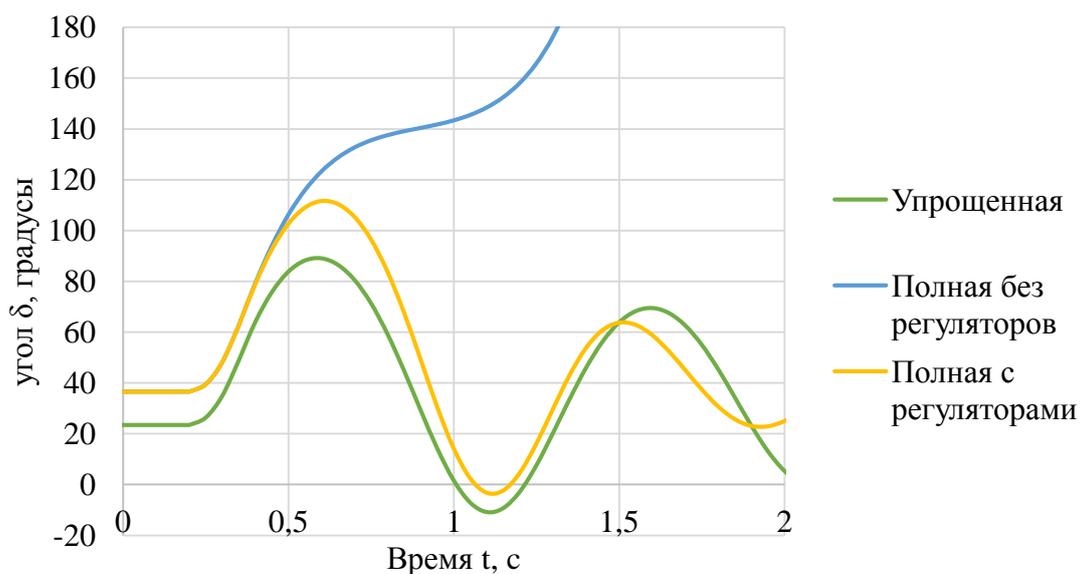


Рисунок 7 – Зависимость относительного угла роторов генераторов от времени переходного процесса

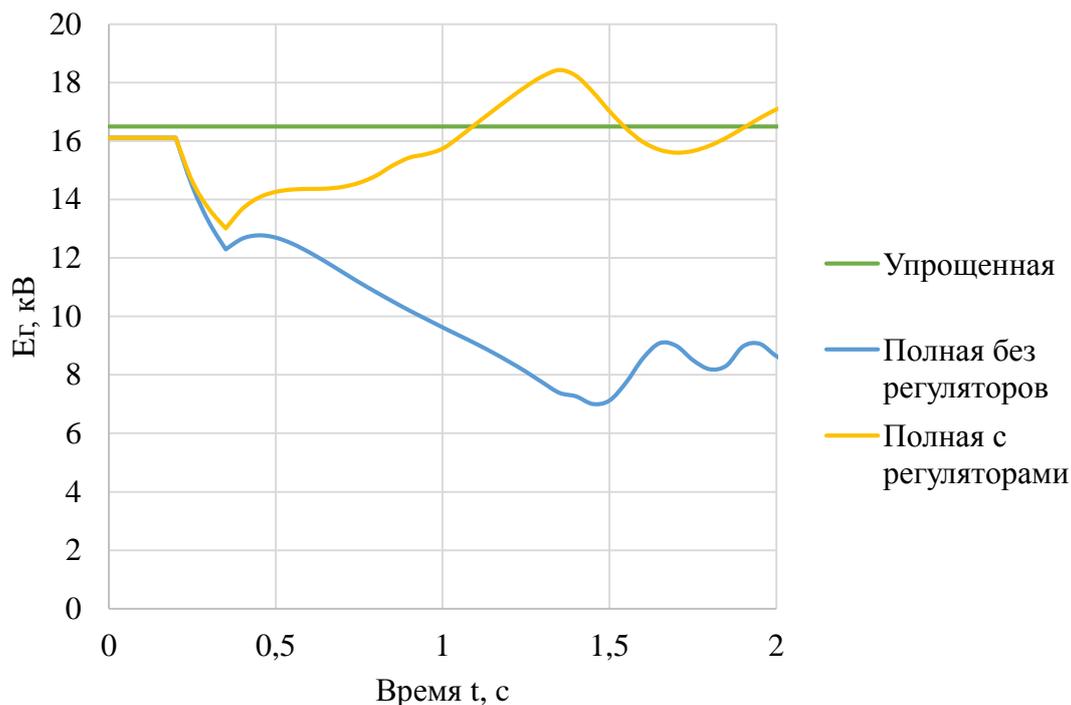


Рисунок 8 – Зависимость ЭДС в 7-ом узле от времени переходного процесса

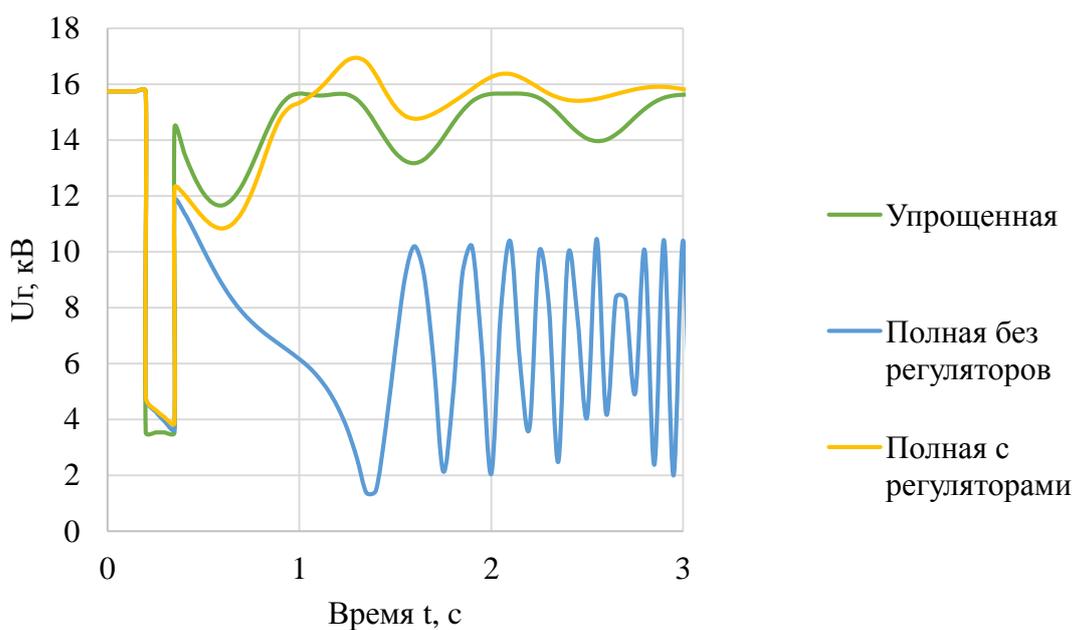


Рисунок 9 – Зависимость напряжения в 7-ом узле от времени переходного процесса

Заключение

Таким образом при времени действия трехфазного короткого замыкания $t_{кз} = 0,15$ с для полной модели генераторов без регуляторов возбуждения динамическая устойчивость нарушается. В упрощенной модели генератора ЭДС представлена в виде постоянного значения, в полной модели генератора с регуляторами возбуждения учету ЭДС уделяется особое внимание. Регуляторы возбуждения регулируют ток возбуждения, чтобы обеспечить постоянство ЭДС на генераторе при различных условиях работы. Что касается изменения напряжения, то из рисунка 10 видно, что сброс напряжения при полной модели

генераторов с регуляторами возбуждения меньше, чем при упрощенной модели генератора.

Однако, стоит отметить, что выбор и оптимальное настройка системы возбуждения должны быть тщательно произведены с учетом конкретных условий работы энергосистемы, таких как ее конфигурация, нагрузки, тип генераторов и других факторов. Неправильный выбор или настройка системы возбуждения может, напротив, ухудшить динамическую устойчивость энергосистемы и привести к нежелательным последствиям.

Литература

1. Вайнштейн Р.А. Программные комплексы в учебном проектировании электрической части электростанций: учебное пособие / Р.А. Вайнштейн, В.В. Шестакова, Н.В. Коломиец. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 123 с.
2. Калентионюк Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. – 375 с.