

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Yadykin I.B., Iskakov A.B., Akhmetzyanov A.V. Stability analysis of large-scale dynamical systems by sub-Gramian approach. International Journal of Robust and Nonlinear Control, 2014, 24, pp. 1361–1379.
2. Kundur P. Power Systems Stability and Control. McGraw-Hill, New York, USA, 1994.
3. О.И. Горте, Н.Г. Кирьянова, М.С. Хмелик и др. Остров Русский – экспериментальная площадка для исследования противоаварийной автоматики микроэнергосистем // Сборник докладов XXII научно-практической конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем». - Москва, 2014. - С. 627-633.

Научный руководитель Н.Г. Кирьяновой и Г.А. Пранкевича – В.М. Зырянов, к.т.н., доцент НГТУ.

Научный руководитель Д.Е. Катаева – И.Б. Ядыкин, д.т.н., профессор ИПУ РАН.

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ И АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Н.А. Волохов

Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭЭС, группа 5А3А

Целью данной работы является создание модели процесса регулирования частоты и мощности в энергосистеме для использования в учебном процессе.

В качестве объекта моделирования принята энергосистема состоящая из двух частей, соединённых ЛЭП, каждая из которых представлена в виде эквивалентного агрегата турбина-генератор. Основой для моделирования процессов по частоте и активной мощности является уравнение движение ротора агрегата турбина генератор(1) и угловая характеристика мощности линии электропередачи(2) и (3)[1].

$$T \frac{d\omega_*}{dt} = P - P_{T1*} - P_{Г1*} \quad (1)$$

$$P_{ЛЭП} = P_m \sin \delta \quad (2)$$

$$\delta = \int (\omega_2 - \omega_1) dt + \delta_0 \quad (3)$$

Принято также, что турбины эквивалентных агрегатов снабжены первичными регуляторами частоты вращения (АРЧВ), а в одной из энергосистем имеется также вторичный регулятор частоты вращения. Модель формируется из функциональных блоков, каждый из которых соответствует передаточной функции отдельного элемента объекта. Эти передаточные функции имеют следующий вид.

Передаточная функция, отображающая движение ротора агрегата:

$$W_T = \frac{1}{T_j \cdot p} \quad (4)$$

Основным инерционным элементом АРЧВ является масляный привод регулирующих клапанов турбины охваченный жёсткой отрицательной обратной связью, и его передаточная функция[2]:

$$W_{МП} = \frac{1}{T_{МП} \cdot p + K_{OC}} \quad (5)$$

Вторичный регулятор частоты выполняется как система с интегральным законом регулирования.

В целом на рис.1 представлена структурная схема ЭС-1, в которой использован вторичный регулятор.

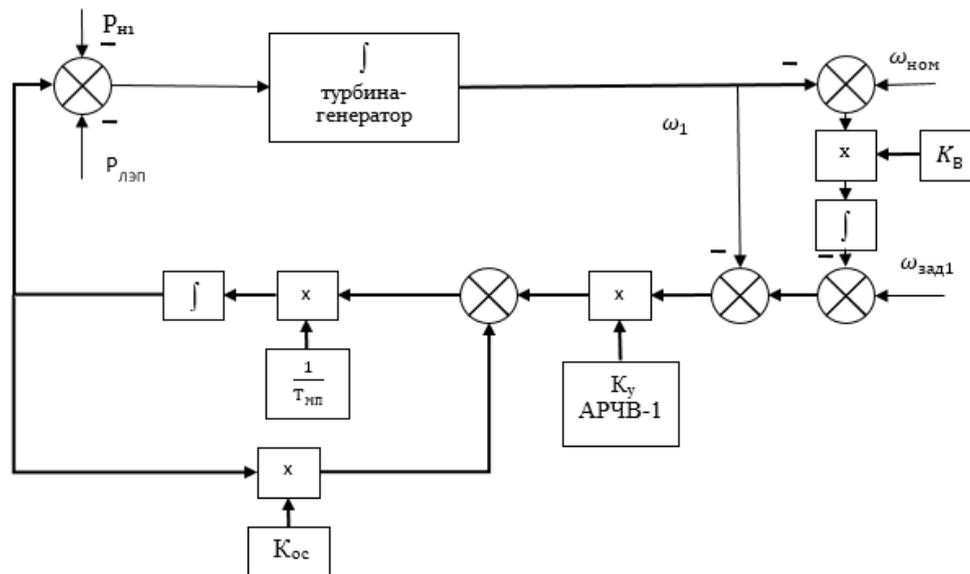


Рис. 1. Структурная схема ЭС со вторичным регулированием.

Баланс мощности в каждой части энергосистемы формируется с учётом мощности местной нагрузки и мощности, передаваемой по ЛЭП. С учётом этого, а также уравнений (2) и (3) структурная схема связи ЭС-1 и ЭС-2 представлена на рис.2.

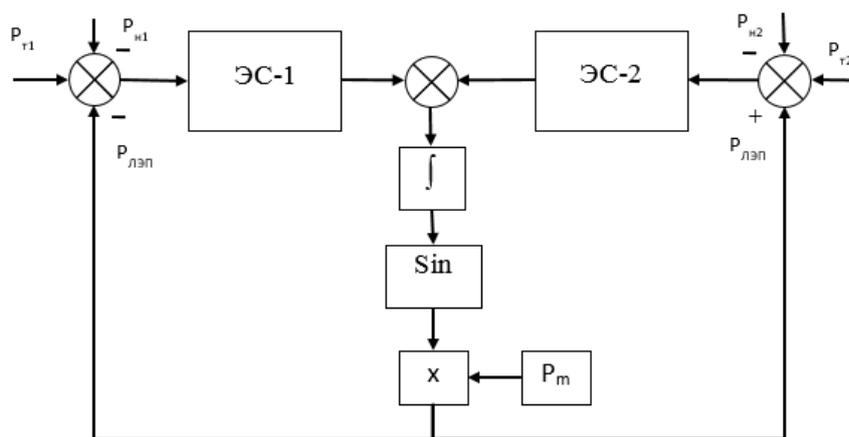


Рис. 2. Структурная схема работы двух ЭС.

Коэффициент усиления в цепи обратной связи АРЧВ принимается равным 20, в связи с этим характеристика регулирования имеет  $K_{C1} = K_{C2} = 0,05$ . Разработанная модель реализована в программе MatLab, с помощью данной модели мы можем проверить работу нашей системы на соответствие её работы с данными рассчитанными нами на основе теоретических моделей. При моделировании частота и мощность масштабированы в условных единицах(у.е.), при этом номинальным значением частоты является 10 у.е.

Для моделирования процесса, рассчитанного теоретически, в модели будем изменять мощность нагрузки скачком в ЭС-1 и в ЭС-2 от нулевого значения до  $P_{H1} = 6$  и  $P_{H2} = 12$ . Процесс регулирования частоты в ЭС-1 и ЭС-2 при действии первичных регуляторов и вторичного регулятора в ЭС-1 иллюстрируется на рис.3.

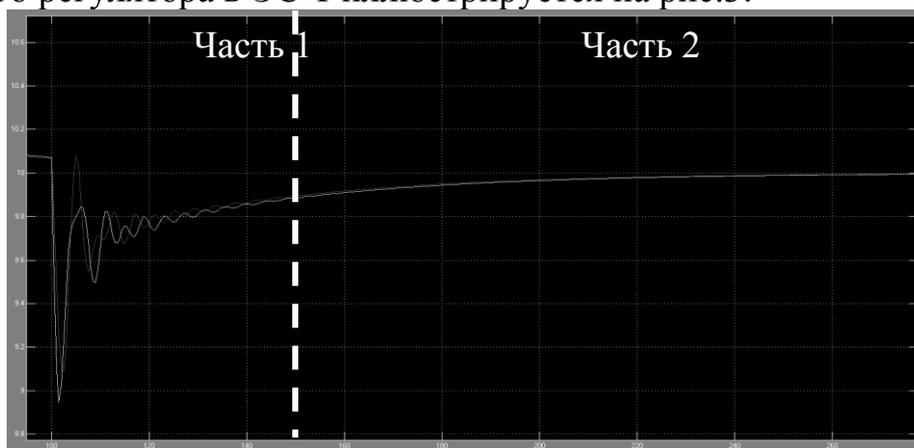


Рис. 3. Изменение частот в ЭС-1 и ЭС-2.

Как видно график можно условно разделить на 2 части: 1 часть — это время в которое работает в основном первичный регулятор, а в части 2 отчётливо видна работа вторичного регулятора. В результате мы получаем значение частоты в установившемся режиме 10, что со-

ответствует условно принятому заданному значению в условных единицах.

На рис.4 представлен график изменения мощностей турбин в ЭС-1  $P_{T1} = 13$ , в ЭС-2  $P_{T2} = 5$ , а также  $P_{ЛЭП} = 7$ .

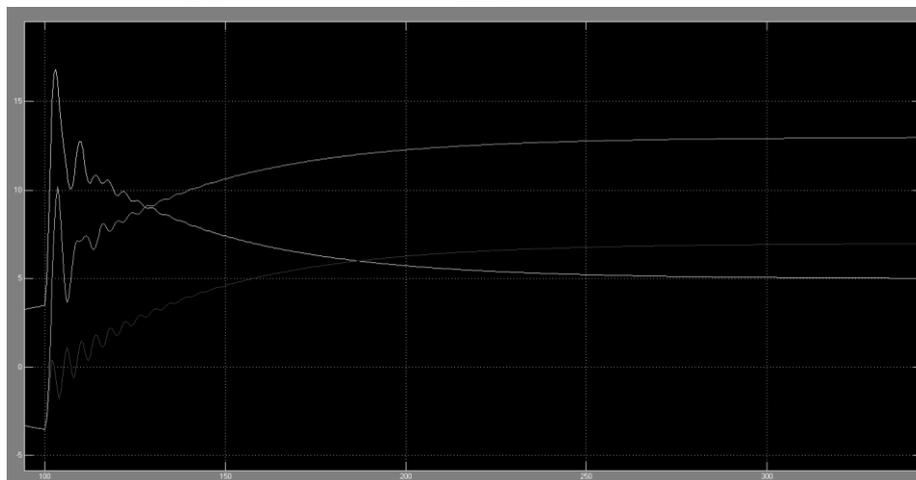


Рис. 4. Изменение мощности турбин ЭС-1, ЭС-2 и мощности передаваемой по линии.

На основе данного опыта можно сделать заключение, что ЛЭП, выполненная нами, полностью соответствует теоретической модели и полностью работоспособна, т.к. рассчитанные теоретически значения мощности совпадают с полученными экспериментально с помощью модели.

Можно также отметить, что модель ЛЭП отражает также такое важное явление, как нарушение статической устойчивости, если передаваемая по ЛЭП мощность превышает  $P_m$ , Что имеет место при следующем возмущении  $P_{H1} = 6$  и  $P_{H2} = 12$ .

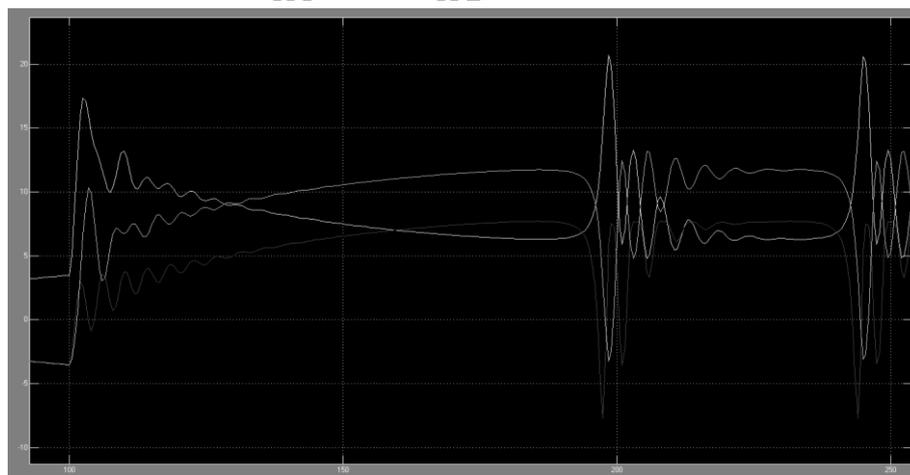


Рис. 5. Изменение мощности турбин ЭС-1, ЭС-2 и мощности передаваемой по линии.

Таким образом, нами создана энергосистема, состоящая из двух отдельных энергосистем, взаимодействие которых между собой осуществляется по линии электропередачи, как мы видим данная система в представленных режимах, полностью соответствует своим теоретическим свойствам. В дальнейшем предполагается развитие модели с учётом функции регулирования перетока мощности по ЛЭП.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. для электроэнергетических специальностей вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1985.
2. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. Л.: Энергия, 1969. 375с.

Научный руководитель: Р.А. Вайнштейн, д.т.н., профессор каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

### **РЕГУЛИРОВКА БАЛАНСА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ С ИНВЕРТОРНЫМ ПРИСОЕДИНЕНИЕМ**

А.О. Коротков, А.В. Семиков  
Национальный технический университет  
Харьковский политехнический институт

На сегодняшней день, планируется строительство значительного количества станций работающих на альтернативных источниках энергии. Это необходимо для уменьшения энергетической зависимости от традиционных источников энергии. [1].

Одним из основных источников «Зелёной энергии» на территории Украины являются фотоэлектрические станции (ФЭС) и ветроэлектрические станции (ВЭС). Но вырабатываемая мощность станции меняется в процессе работы что усложняет работу распределительной электрической сети (РЭС).

По этому, в Украинской энергетике становятся актуальными вопросы одновременной работы ФЭС и ВЭС с традиционными источниками энергии. Несмотря на то, что процент «нетрадиционной энергии» от всей выработки электроэнергии невелик, в узлах энергосисте-