

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОТУРБИН И АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ЧАСТОТЫ И АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СРЕДЕ MATLAB

В работе рассматриваются возможности моделирования гидравлических турбин с автоматическими регуляторами частоты вращения (АРЧВ) и регуляторами активной мощности (АРМ) в среде MATLAB. Показана необходимость более детального моделирования систем автоматического регулирования генераторов электростанций при анализе устойчивости электроэнергетических систем.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, моделирование, автоматический регулятор частоты вращения, автоматический регулятор мощности.

В эксплуатации электроэнергетических систем (ЭЭС) важное значение имеет вопрос обеспечения устойчивости при управлении процессами производства, передаче и распределении электроэнергии. Согласно общим основам рассмотрения переходных процессов в ЭЭС, заложенным в трудах известных ученых, основное внимание уделяется обеспечению устойчивости путем регулирования возбуждения генераторов электростанций и, в значительно меньшей степени, вопросам регулирования частоты и активной мощности. Однако процессы, связанные с изменением частоты, неизбежно охватывают ЭЭС целиком. Жесткие требования поддержания частоты, регламентированные ГОСТ 13109-97, могут быть объяснены тем, что частота переменного тока непосредственно связана с частотой вращения агрегатов, и ее изменение, даже небольшое, существенно влияет на режим работы вращающихся механизмов.

При возникновении небаланса генерируемой и потребляемой мощности в ЭЭС частоты вращения всех агрегатов будут изменяться, и вступят в действие автоматические регуляторы частоты вращения (АРЧВ), т. е. первичные регуляторы. В результате их воздействия новому значению частоты будут соответствовать новые значения мощностей агрегатов, что приведет к работе автоматических регуляторов мощности (АРМ), т. е. вторич-

ному регулированию. В этом случае при обеспечении устойчивости и живучести всей ЭЭС в целом важен вопрос изучения переходных процессов при колебаниях частоты и мощности на отдельных электростанциях, где определяющую роль играют динамические характеристики регуляторов и систем регулирования турбин.

Современная система программной разработки и моделирования MATLAB позволяет изучать описанные выше процессы с помощью библиотек блоков SimPowerSystems, где можно создавать ЭЭС любой сложности, а системы управления – с помощью пакета Simulink.

При исследовании колебаний частоты и мощности возникает необходимость более детального моделирования гидроэлектростанций (ГЭС), которые являются ведущими по частоте в ЭЭС. Таким образом, разработка модели гидравлической турбины с АРЧВ и модели АРМ при изучении вопросов устойчивости сложных ЭЭС и влияния на нее связанных между собой регуляторов электростанций является актуальной.

Модель гидравлической турбины с регулятором частоты вращения (Hydraulic Turbine and Regulator of speed), структурная схема которой показана на рис. 1, была создана в MATLAB с помощью пакета Simulink [1].

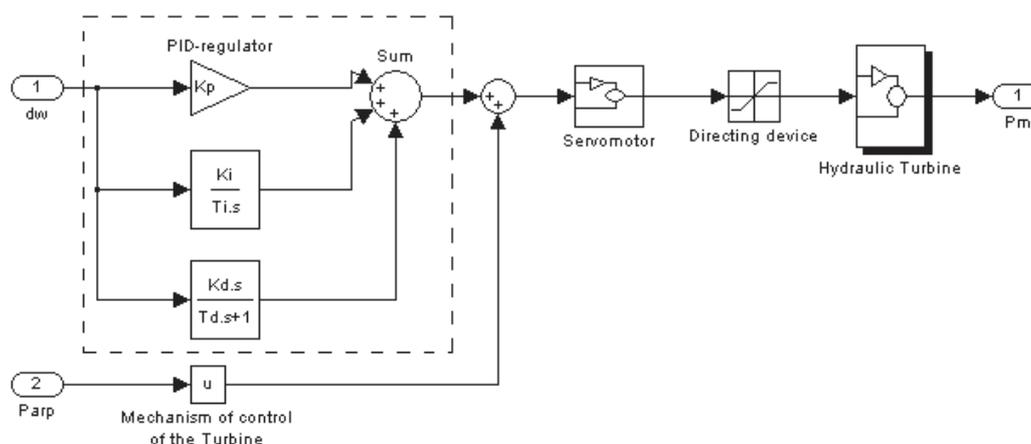


Рис. 1. Структурная схема модели гидравлической турбины с АРЧВ в MATLAB

* - автор, с которым следует вести переписку.

Модель состоит из механизма управления турбиной (Mechanism of control of the Turbine), на вход которого можно подавать либо постоянное значение (уставку) механической мощности, либо сигнал от АРМ. Затем сигнал проходит на главный сервомотор (Servomotor), структурная схема которого показана на рис. 2. Как видно из рисунка, сервомотор с передаточной функцией $1/(T_C p + 1)$ охвачен гибкой (изодромной) обратной связью, характерной для регуляторов гидротурбин [2]. Изодромный регулятор представлен следующей передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{nu \cdot T_i p}{T_i p + 1},$$

где nu – коэффициент усиления изодрома; T_i – постоянная времени гибкой обратной связи или постоянная времени изодрома, с.

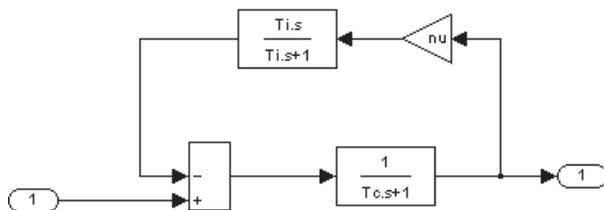


Рис. 2. Структурная схема главного сервомотора

Далее воздействие поступает на регулирующий орган. У гидротурбин это направляющий аппарат (НА). На схеме (рис. 1) он представлен в виде блока Directing device, на выходе которого может быть несколько значений из диапазона от 0 (подача воды на лопасти гидротурбины не произ-

водится) до 1 (НА открыт на 100 %, и подача воды производится с максимальным напором). Только после этого регулирующий орган воздействует на саму турбину, которая начинает вращаться с определенной частотой. Сама гидравлическая турбина (Hydraulic Turbine) моделируется следующей передаточной функцией, вывод которой осуществлен в [2] с учетом гидроудара, характерного для гидротурбин:

$$W_T(p) = \frac{1 - a_{уст} T_B p}{1 + 0,5 a_{уст} T_B p},$$

где T_B – постоянная времени водоводов (или постоянная времени гидротурбины), с; $a_{уст}$ – исходное открытие направляющего аппарата.

Автоматический регулятор частоты вращения моделируется электрогидравлическим регулятором типа ЭГР-2И с ПИД-законом управления [3], на вход которого поступает колебание частоты (см. рис. 1).

Описанная модель гидравлической турбины с АРЧВ представляется в виде блока в MATLAB и имеет окно задания параметров, где возможно изменять коэффициенты регулятора и постоянные времени.

Для исследования переходных процессов на электростанциях при учете влияния на устойчивость ЭЭС вторичных регуляторов была создана модель АРМ (Automatic regulator of power) в MATLAB, структурная схема которой показана на рис. 3. Автоматический регулятор мощности представляет собой ПИД-регулятор, на вход которого поступает рассогласование между заданной уставкой и фактической мощностью генератора.

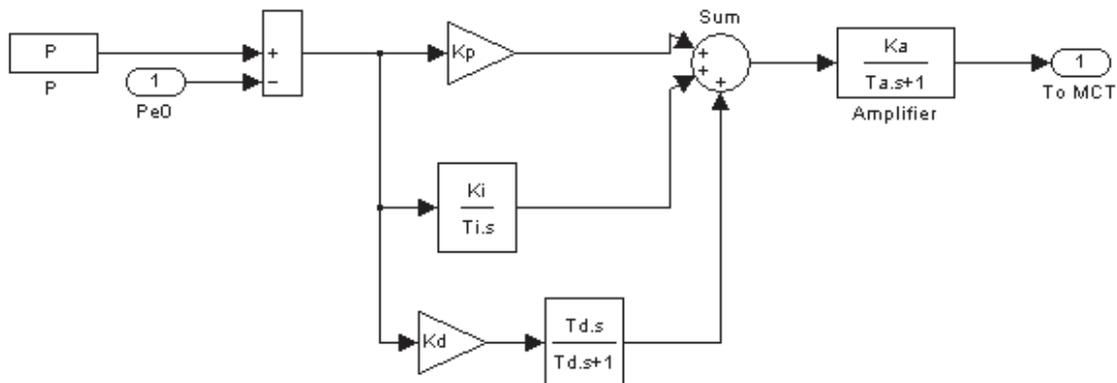


Рис. 3. Структурная схема модели АРМ в MATLAB

Кроме этого, в модели АРМ предусмотрен усилитель (Amplifier) с передаточной функцией $K_a / (T_a p + 1)$. Блок модели АРМ в MATLAB также имеет окно задания параметров, где можно изменять уставку по мощности, коэффициенты усиления и постоянные времени ПИД-регулятора и усилителя.

Апробация созданных моделей и исследование переходных процессов при регулировании частоты и мощности проводились в MATLAB на созданной ранее модели ЭЭС [4]. Так, после подключения крупного потребителя в системе наблюдалось хорошее демпфирование электромеханических колебаний частоты и активной мощности при использовании предварительно настроенных моделей АРМ и АРЧВ (рис. 4). Для сравнения там же приведены осциллограммы изменения

частоты и мощности без использования описанных регуляторов и модели турбины, но с теми же параметрами ЭЭС. Из этого сравнения (см. рис. 4) видно, что:

- 1) в начальные моменты времени наблюдаются более реальные переходные процессы при использовании модели турбины, чем без нее, что, конечно же, необходимо учитывать;
- 2) при подключении дополнительной нагрузки в момент времени $T = 45$ с. в модели, где использовалась турбина с регуляторами, наблюдаются более заметные колебательные переходные процессы, что говорит о необходимости учета регуляторов частоты и активной мощности при определении коэффициентов стабилизации автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) генераторов для обеспечения устойчивости сложных ЭЭС.

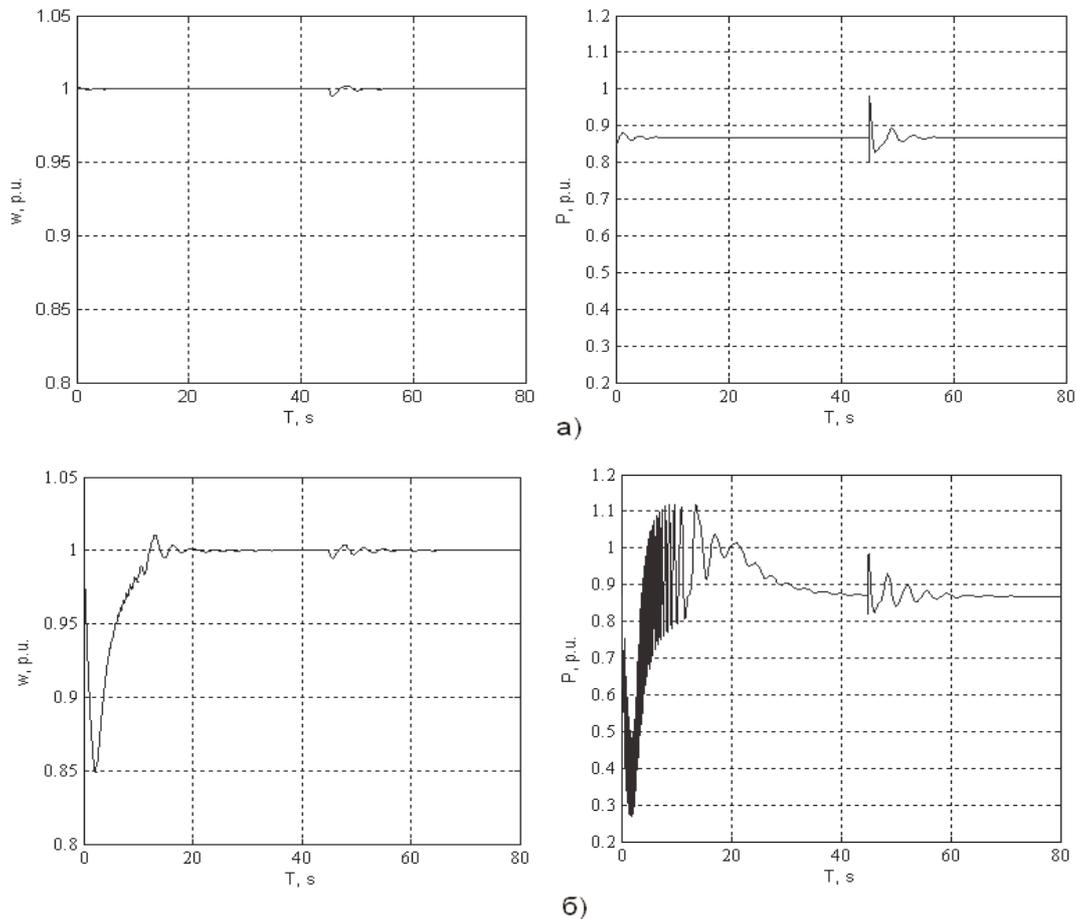


Рис. 4. Осциллограммы изменения частоты вращения и активной мощности генератора:

а) без учета моделей турбины, АРЧВ и АРМ;

б) с учетом моделей турбины, АРЧВ и АРМ.

Таким образом, созданная модель гидравлической турбины с регулятором частоты вращения и автоматическим регулятором мощности позволяет более детально моделировать и исследовать электромеханические процессы колебания частоты и активной мощности при возмущениях в ЭЭС, а также процессы собственных колебаний гидроагрегатов электростанций при подключении их в систему.

Литература

1. Булатов, Ю. Н. Методика согласованной настройки систем АРВ и АРЧВ генератора / Ю. Н. Булатов, И. В. Игнатьев // Тр. ун-та / Брат. гос. ун-та. – Братск, 2009. – Т. 1. – С. 3-7. – (Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири).
2. Стернинсон, Л. Д. Переходные процессы при регулировании частоты и мощности в энергосистемах / Л. Д. Стернинсон. – М.: Энергия, 1975. 216 с.
3. Овчаренко, Н. И. Автоматика энергосистем : учеб. для вузов / Н. И. Овчаренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МЭИ, 2007. – 476 с
4. Булатов, Ю. Н. Моделирование автоматических регуляторов возбуждения генераторов электрических станций в среде MATLAB: математическое моделирование, численные методы и комплексы программ / Ю. Н. Булатов, И. В. Игнатьев : межвуз. темат. сб. тр. / СПбГАСУ. – СПб., 2008. Вып. 14 – С. 18-24.