

УДК 681.51

САМООРГАНИЗУЮЩАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ГИДРОТУРБИНЫ

Д.В. Виноградов, Б.К. Такырбашев, Ж.С. Абылгазиев

Предложено управляющее устройство, которое повышает технологическую безопасность энергосистемы при больших возмущениях с учетом частоты вращения ротора гидротурбины.

Ключевые слова: самоорганизующая система управления; параметрические возмущения; гидротурбина; стабилизация частоты.

SELF-ORGANIZING CONTROL SYSTEM FREQUENCY OF ROTATION OF THE WATER-WHEEL

D.V. Vinogradov, B.K. Takyrbashev, J.S. Abylgaziev

It is offered the actuation device which increases technological safety of a power supply system at big indignations taking into account the frequency of rotation of a rotor of the water-wheel.

Keywords: self-organizing control system; parametrical indignations; water-wheel; stabilization of frequency.

На гидравлических электростанциях вырабатывается более 80 % всей потребляемой в Кыргызстане электроэнергии. Основным генерирующим элементом ГЭС является гидротурбина.

Гидротурбина, как и любая сложная система, функционирует в условиях действия различных внешних и параметрических возмущений со стороны внешней среды. Особенно негативно воздействие наихудших возмущений – гидроудары или гармонические возмущения, частоты которых совпадают с собственной частотой гидротурбины. Эти возмущения влияют на технологическую безопасность ГЭС, снижая ее устойчивость.

Качество и эффективность производства электроэнергии в гидротурбинах можно значительно повысить за счет модернизации существующих алгоритмов управления. Наиболее перспективным направлением модернизации является нелинейное адаптивное управление.

В настоящее время для управления гидротурбинами используют преимущественно линейные системы управления с типовыми регуляторами (ПИД-регуляторы).

Пид-регулятор позволяет реализовать только линейные законы регулирования, не обеспечивая адаптивность гидротурбин внешним и внутренним

возмущениям. Недостатком типовых регуляторов является отсутствие учета нелинейности. На сегодняшний день адаптивность систем управления обеспечивается за счет использования традиционных линейных регуляторов и методов теории нечетных систем управления или искусственных нейронных сетей.

Настройка регуляторов осуществляется привлечением для этой работы опытных экспертов. Подобный подход не гарантирует нахождение оптимальных настроек регулятора, так как это в большой степени зависит от человеческого фактора.

Постановка задачи. Для исследования приемлем модель гидротурбины [1]:

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{H} (P_m - D(\omega - 1) - P_e); \\ \frac{dP_m}{dt} = \frac{2}{T_w} \cdot (-P_m + m - T_w \frac{dm}{dt}); \\ \frac{dm}{dt} = \frac{1}{T_s} \cdot (-m + m_0 + U), \end{cases} \quad (1)$$

где ω – частота вращения; P_m – механическая мощность гидротурбины; m – величина открытия направляющего аппарата; P_e – электрическая

мощность (нагрузка со стороны потребителей); U – сигнал управления сервомотором, который открывает направляющий аппарат; m_0 – величина начального открытия направляющего аппарата; H, T_w, D, T_s – постоянные параметры.

Задача управления сводится к синтезу нелинейного закона управления частотой вращения ротора гидротурбины и в функции координат состояния системы (1), которая обеспечивает следующие цепи управления:

1) стабилизация частоты вращения ротора гидротурбины

$$\omega_0 - \omega = 0, \quad (2)$$

где ω_0 – заданная частота вращения;

2) подавление кусочно-постоянного возмущения $P_3(t) - P_{30} = const.$ – динамическая модель, которая имеет вид

$$\frac{dZ}{dt} = \xi(\omega_0 - \omega). \quad (3)$$

$Z(t) = \hat{P}_{30}$ – оценка неизмеряемого возмущения; ξ – постоянный коэффициент.

При синтезе законов управления необходимо уравнение (1) заменить на $P_3 = Z$.

Объединяя уравнения (1) и (3) получим расширенную модель гидротурбины:

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{H}(P_m - D(\omega - 1) - Z) \\ \frac{dP_m}{dt} = \frac{2}{T_w}(-P_m + m - T_w \frac{dm}{dt}) \\ \frac{dm}{dt} = \frac{1}{T_3}(-m + m_0 + U) \\ \frac{dZ}{dt} = \xi(\omega_0 - \omega) \end{cases}. \quad (4)$$

Синтез закона управления. Для построения нелинейного адаптивного регулятора частоты вращения ротора гидротурбины применим метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) [2, 3].

Первый этап синтеза. Сформулируем следующую макропеременную:

$$\Psi_1 = m + F(P_m) + \alpha \int F(P_m) \cdot dt + \Phi(\omega, Z)$$

или

$$\begin{cases} \Psi_1 = m + F(P_m) + \alpha Z_1 + \phi(\omega, Z); \\ \frac{dZ_1}{dt} = F(P_m), \end{cases} \quad (5)$$

где $F(P_m)$ – неизвестная функция от механической мощности, которая подлежит доопределению в ходе синтеза; $\phi(\omega, Z)$ – “внутреннее” управление.

Макропеременная (5) должна удовлетворять решению функционального уравнения

$$\ddot{\Psi}(t) + \lambda_1 \cdot \dot{\Psi}_1 + \lambda_2 \Psi_1 = 0. \quad (6)$$

Известно, что при $\lambda_1 > 0$ и $\lambda_2 > 0$ система устойчива относительно решений

$$\Psi_1 = 0, \dot{\Psi}(t) = 0$$

$$\begin{cases} \Psi_1 = m + F(P_m) + dZ_1 + \phi(\omega, Z) = 0; \\ \dot{\Psi}(t) = \frac{dm}{dt} + \frac{dF(P_m)}{dt} + \alpha \cdot \frac{dZ_1}{dt} + \frac{dU(\omega, Z)}{dt} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Распишем выражение для производной $\dot{\Psi}_1(t)$ и $\ddot{\Psi}(t)$ согласно (5) и с учетом (4), получим:

$$\dot{\Psi}_1(t) = \frac{2}{T_w} \cdot m + \frac{d\phi(\omega, Z)}{dt}, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \ddot{\Psi}_1(t) &= \frac{d(\dot{\Psi}(t))}{d+P} = \frac{2}{T_w} \cdot \frac{dm}{dt} + \frac{d^2\phi(\omega, Z)}{dt^2} = \\ &= \frac{2}{T_w T_s} \cdot (-m + m_0 + U) + \frac{d^2\phi(\omega, Z)}{dt^2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Подставим (5), (8), (9) в (6), и полученное алгебраическое уравнение решим относительно искомого управления, в результате получим закон управления:

$$\begin{aligned} U &= m - m_0 - \frac{T_w \cdot T_s}{2} \left(\frac{d^2\phi(\omega, Z)}{dt^2} + \lambda_1 \cdot \left(\frac{Z}{T_w} m + \right. \right. \\ &\left. \left. + \frac{d\phi(\omega, Z)}{dt} + \lambda_2 \cdot \left(m + \frac{P_m}{2} + \frac{2}{T_w} Z_1 + \phi(\omega, Z) \right) \right) \right). \end{aligned} \quad (10)$$

При попадании изображающей точки системы (4) на пересечение многообразий $\phi_1 = 0, \Psi_1(t) = 0$ происходит динамика декомпозиции этой системы, и получим декомпозированную систему в виде:

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{H} \cdot \left(-2m - \frac{4}{T_w} \cdot Z_1 - 2\phi(\omega, Z) - D(\omega - 1) - Z \right), \\ \frac{dZ_1}{dt} - m - \frac{2}{T_w} Z_1 - \phi(\omega, Z), \\ \frac{dZ}{dt} = \xi(\omega_0 - \omega). \end{cases} \quad (11)$$

Второй этап. Для определения $\phi(\omega, Z)$ исходим из инварианта (2). Зададим финишную макропеременную $\Psi_2 = \xi \cdot (\omega_0 - \omega) + \beta \cdot Z$. Эта макропеременная должна удовлетворять решению основного функционального уравнения: $T_2 \dot{\Psi}(t) + \Psi_2 = 0$.

Условием устойчивости является $T_2 > 0$.

При попадании изображающей точки системы (11) на многообразие $\Psi_2 = 0$ выполняется инвариант (2), т. е.

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_0, \\ \phi(\omega, Z) &= -\frac{H}{2\xi}(\beta \cdot \xi \cdot (\omega_0 - \omega) + \frac{1}{T_2} \cdot (\xi \times \\ &\times (\omega_0 - \omega) + \beta Z)) - m - \frac{2}{T_w} Z_1 - \frac{D}{2}(\omega - 1) - \frac{Z}{2}. \end{aligned} \quad (12)$$

Подставив в (10) выражение (12), получим окончательное расширенное выражение для закона управления частотой вращения ротора гидротурбины.

Таким образом, предлагаемое управляющее устройство повышает технологическую безопас-

ность энергосистемы при больших возмущениях и учитывает нелинейность гидротурбины при переходных процессах.

Литература

1. *Такырбашев Б.К.* Математическая модель гидротурбины с учетом нелинейности / Б.К. Такырбашев // Известия КГТУ. 2013. № 30. С. 73–80.
2. *Такырбашев Б.К.* Нелинейный многомерный регулятор частоты и напряжения генератора / Б.К. Такырбашев // Известия КГТУ. 2013. № 30. С. 68–73.
3. *Колесников А.А.* Новые технологии и проектирование современных систем управления процессами генерации электроэнергии / А.А. Колесников, Г.Е. Веселов, А.Н. Кузьменко. М.: Изд-во МЭИ, 2011.