

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫМИ СИНХРОННЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ НА БАЗЕ ИНВЕРСНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Для электромеханической системы, содержащей два электрически последовательно включенных синхронных генератора с приводными гидротурбинами, синтезирован регулятор управления углом поворота между их роторами. Регулятор построен на основе инверсных нейросетевых моделей генератора и игольчатого регулятора гидротурбины. Методом математического моделирования исследована динамика такой системы, подтвердившая ее принципиальную работоспособность и устойчивость.

Для електромеханічної системи, яка містить два послідовно з'єднані синхронні генератори з приводними гідротурбінами, синтезовано регулятор для керування кутом повороту між їхніми роторами. Регулятор побудовано на основі інверсних нейромережєвих моделей генератора та голчастого регулятора гідротурбіни. Методом математичного моделювання досліджено динаміку такої системи, яка підтвердила її принципову працездатність і стійкість.

For electromechanic system, consisting of two synchronous generators which are connected in series is derived by hydraulic turbine, synthesizing the rotation angle controller of rotor system. The controller is based on inverse neuron network models of generators and turbine control needle. The mathematical modelling method for studying of the dynamics of this system confirming its fundamental efficiency and stability.

Последовательное включение синхронных генераторов (ПВСГ) реализуется путем последовательного пофазного соединения статорных обмоток первого (опорного) и второго (проходного) синхронных генераторов (СГ), в результате чего получают векторную сумму их напряжений [1]. Величина результирующего выходного напряжения ПВСГ зависит от угла между роторами СГ и обеспечивается специальным регулятором приводной машины (в нашем случае – гидротурбины) проходного генератора.

Актуальность использования ПВСГ обусловлена интенсивными разработками волновых электростанций (ВлЭС), для которых такое включение распределенных на водной поверхности СГ даст возможность повышать выходное напряжение ВлЭС без применения дорогостоящих трансформаторов [2].

Целью работы является синтез регулятора гидротурбины проходного СГ, обеспечивающего заданное угловое положение его ротора относительно ротора опорного СГ на базе инверсных нейросетевых моделей генератора и стандартного игольчатого регулятора гидротурбины.

С учетом [3] полная инверсная математическая модель объекта управления СГ и иглы

$$\Delta\omega = k_{\omega}((\omega_3 - \omega_0) - \Delta\omega_d), \quad (1)$$

$$P_{m1} = f(\omega_0, \Delta\omega), \quad (2)$$

$$x_1 = P_{m1}, \quad (3)$$

$$\Delta V = k_v \left(\frac{x_1 - x_0}{\Delta t} - V_0 \right), \quad (4)$$

$$U = f(V_0, \Delta V), \quad (5)$$

где ω_3 – заданное значение частоты вращения ротора; $\Delta\omega_d$ – приращение частоты, обеспечиваемое внешним

возмущающим воздействием (нагрузкой), следит за углом ведущего генератора, работая синфазно; ω_0, x_0, V_0 – текущие значения частоты вращения, положения иглы и скорости ее перемещения, соответственно; k_{ω}, k_v – коэффициенты, меньшие единицы; Δt – интервал дискретизации; P_{m1} – мощность турбины; x_1 – требуемое значение положения иглы.

Инверсная модель (1) – (5) должна быть дополнена расчетом необходимого значения ω_3 , исходя из обеспечения требуемого значения угла φ . Воспользуемся для этого численным дифференцированием. Тогда инверсное уравнение

$$\omega_3 = k_{\varphi} \frac{\varphi_3 - \varphi_0}{\Delta t}, \quad (5)$$

где k_{φ} – коэффициент, меньший единицы.

Эксперименты показали, что при таком подходе получить хорошие показатели качества не удастся. При уменьшении коэффициента k_{φ} до величин, обеспечивающих отсутствие колебаний, сильно замедляется реакция системы на динамически изменяющееся значение входной величины угла φ_3 . Это объясняется тем, что растягивание во времени исправления ошибки приводит к замедлению реакции на входной сигнал, т.е. угол поворота достигает требуемого значения за несколько интервалов дискретизации. За это время входная величина φ_3 успевает измениться, так как фактический угол постоянно отстает от заданного. Для преодоления этой трудности предлагается рассчитывать ω_3 по следующей формуле:

$$\omega_3 = k_{\varphi} \frac{\varphi_3 - \varphi_0}{\Delta t} + \frac{d\varphi_3}{dt}. \quad (6)$$

При этом растягивание во времени производится только по исправлению ошибки, динамика же входного сигнала остается неизменной. Моделирование подтвердило, что данный подход обеспечивает решение

задачи устранения колебаний без появления отставания от входного сигнала.

При компьютерном эксперименте в момент времени $t = 2$ с производилось изменение угла – переход в режим работы в противофазе (отставание от опорного генератора на четверть оборота – $\pi/2$ рад, что при двух парах полюсов эквивалентно 180 электрическим градусам). На рис. 1, а приведены графики требуемого и фактического отставания по углу от ведущего генератора. Видно, что при этом происходит переходный процесс без перерегулирования и колебаний.

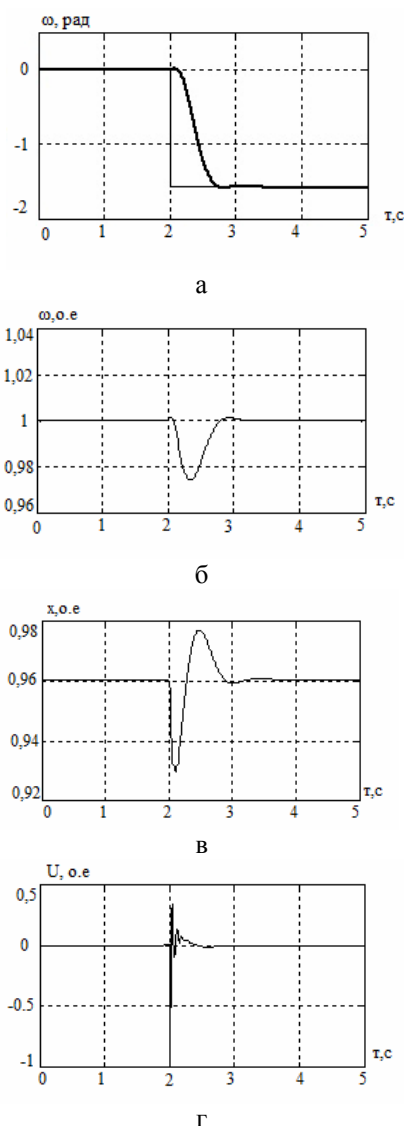


Рис.1. Результаты моделирования работы системы управления углом поворота ротора:
 а – отставание по углу от ведущего генератора;
 б – изменение частоты вращения ротора ω ;
 в – изменение координаты иглы x ; г – управляющий сигнал U

На рис.1 показаны результаты моделирования работы описанной системы управления при $k_\varphi = 0,025$, $k_\omega = 0,06$, $k_V = 0,4$. Здесь реализован режим, когда при последовательном включении генераторов регулятор привода проходного генератора отслеживает угол

между роторами СГ, обеспечивая их синфазное вращение.

Отметим, что в системе с традиционным ПИД-регулятором удовлетворительный переходный процесс с небольшим количеством колебаний получить не удалось.

Таким образом, на основании синтезированного регулятора можно построить систему, содержащую два или более последовательно включенных синхронных генераторов. Один из них (опорный) будет работать с системой управления частотой вращения, поддерживая необходимую частоту сети при изменениях нагрузки системы. Остальные (проходные) генераторы будут работать с системами управления углом поворота ротора, следя за опорным и устанавливая свою фазу в соответствии с требуемым режимом. Путем векторного суммирования может быть установлено любое значение выходного напряжения, от нуля до суммы номинальных напряжений генераторов, а разработанные регуляторы синфазного вращения роторов СГ обеспечат точное соблюдение как выходной частоты, так и углов между векторами напряжений генераторов.

Список использованной литературы

1. А. с. Электрическая установка для судов электроходов / Краснов В.В., Михайлов В.С., Пискунов А.М., Чекунов К.А. (СССР) № 306527; опубл. 23.03.1971.
2. Блінцов В.С. Автоматизация режимов работы волновой электростанцией / Блінцов В.С., Нгуен Тхань Хай // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2010. – С. 338-339.
3. Нгуен Тхань Хай. Математическое моделирование электромеханической системы с последовательно включенными синхронными генераторами / Нгуен Тхань Хай // Наук. праці Донецького нац. техніч. ун-ту. Серія «Ел. техніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ. – 2011 – Вып. 11 (186). – С. 276-279.

Получено 17.07.2011



Нгуен Тхань Хай,
 аспирант каф. ЭОС и ИБ
 Нац. ун-та кораблестроения
 им. адм. Макарова,
 г. Николаев
 тел. 0935676227
 e-mail: thanhhai@mksat.net