

УДК 621. 31

**КРИТЕРИИ ВЫБОРА ТИПА АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ
ВОЗБУЖДЕНИЯ СИЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ (АРВ-СД) ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ И
ТЕХНИЧЕСКОЙ ПЕРЕООРУЖЕНИИ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ
ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ**

Жолонов О.М. - соискатель,

Токоев М.П. - к.т.н., профессор,

Курстанов А.К. - магистрант

Ошского технологического университета

E-mail: tokoev1965@mail.ru,

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10616932>

Аннотация: В данной статье рассмотрены автоматические регуляторы возбуждения сильного действия в системе возбуждения гидрогенераторов. Рассмотрены варианты применения унифицированный электромагнитный АРВ-СД аналогового типа на магнитных усилителях установленной на Курп-Сайской ГЭС с 1981 по 2018 годы, и статический тиристорной системы самовозбуждения, с автоматическим регулятором возбуждения (АРВ), выполненный на микропроцессорной цифровой элементной базе, установленной на Курп-Сайской ГЭС в 2018 году после модернизации и техническом перевооружении в системе возбуждения гидрогенераторов. Использование автоматических регуляторов возбуждения сильного действия в системе возбуждения гидрогенераторов необходимо для повышения статической и динамической устойчивости гидрогенератора, и поддержания параллельной работы электроэнергетической системы.

Ключевые слова: автоматические регуляторы возбуждения сильного действия, система возбуждения, гидрогенераторы, статическая и динамическая устойчивость.

**CRITERIA FOR SELECTING THE TYPE OF AUTOMATIC REGULATORS OF
EXCITATION OF STRONG ACTION (ARV-SD) DURING THE MODERNIZATION
AND TECHNICAL RE-EQUIPMENT OF THE EXCITATION SYSTEM OF HYDRO
GENERATORS IN THE ELECTRIC POWER SYSTEM.**

Abstract: In this article, automatic regulators of excitation of strong action in the excitation system of hydrogenerators are considered. The variants of application of a unified electromagnetic ARV-SD analog type on magnetic amplifiers installed at the Kurp-Sayskaya HPP from 1981 to 2018, and a static thyristor self-excitation system with an automatic excitation regulator (ARV), made on a microprocessor digital element base installed at the Kurp-Sayskaya HPP in 2018 after modernization and technical re-equipment in the system of excitation of hydro generators. The use of automatic excitation regulators of strong action in the excitation system of hydrogenerators is necessary to increase the static and dynamic stability of the hydrogenerator, and to maintain parallel operation of the electric power system.

Key words: automatic excitation regulators of strong action, excitation system, hydrogenerators, static and dynamic stability.

ВВЕДЕНИЕ

На синхронных генераторах применяют автоматические регуляторы возбуждения сильного действия, вырабатывающие регулирующие воздействия не только по отклонению

регулируемого напряжения, но и по скорости его изменения и изменениям других параметров и возмущающих воздействий.

Автоматическое регулирование возбуждения сильного действия обеспечивают успокоение (демпфирование) колебаний, возникающих при различных возмущениях.

Автоматическая система регулирования должна обеспечивать заданное возбуждение в следующих режимах работы генератора: при понижениях напряжения, вызванных [1] короткими замыканиями (к.з.) в сети при форсировке возбуждения в пределах заданной кратности и длительности; в условиях повышения напряжения при сбросах нагрузки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основная цель использования автоматического регулятора возбуждения сильного действия (АРВ – СД) – это повышение предела передаваемой мощности по линиям электропередачи (ЛЭП), и по условиям устойчивости синхронного генератора. При АРВ – СД наибольшая по условию статической устойчивости передаваемая мощность линии, соответствующий

$$U_{л} = \text{const} \text{ и } \delta_{л} = \pi/2,$$

где $U_{л}$ – напряжение в начале линии;

$\delta_{л}$ – угол между векторами напряжений в начале и в конце линии.

При этом синхронные генераторы работают в условиях искусственной устойчивости с углом $\delta_{л} > \pi/2$.

Для АРВ – СД характерно следующее:

- упреждающее действие регулятора за счет использования в алгоритме регулирования воздействий по производимым (первым и даже вторым) режимным параметрам (напряжения, тока, частоты);
- быстрое действие регулятора и возбудителя;
- сложный алгоритм регулирования, содержащий регулирующие воздействия по нескольким режимным параметрам.
- большие значения коэффициентов передачи регулятора по каждому из регулирующих воздействий.

В регуляторах возбуждения АРВ – СД в качестве регулирующих воздействий могут –использоваться:

- отклонение напряжения ДУ от заданного значения;

$$U' = \frac{dU}{dt};$$

первая производная

- первая и вторая производные линии электропередачи

$$I'_n = \frac{dI_n}{dt}, \quad I''_n = \frac{d^2 I_n}{dt^2};$$

- изменение и первая производная частоты:

$$\Delta'f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\delta}{dt}; \quad f' = \frac{df}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2\delta}{dt^2}.$$

Отклонение напряжения ДУ необходимо для обеспечения заданного напряжения генератора. Учитывая, что передача максимальной мощности, близкой к предельной, возможна при постоянстве напряжения в начале линии, отклонение определяют как регулировать между напряжением в начале линии и заданным значением напряжения:

$$\Delta U = r - |jI_r X_T| - U_3 = |U| - U_3,$$

где U_r - напряжение на вторых генератора;
 $jI_r X_T$ -падение напряжения в трансформаторе блок генератор-трансформатор;
 U_z -заданное значение напряжение
Устройство АВР – СД могут быть разделен на следующие квалификационные группы:

- аналоговые;
- аналого – цифровые;
- цифровые, включая микропроцессорные.

Аналоговые АВР – СД выполняют на аналоговых элементах (магнитные усилители, полупроводниковые приборы), в которых используются сигналы аналоговой (непрерывной) формы. Различают электромагнитные и полупроводниковые АВР – СД.

Для аналого – цифровых АВР – СД характерно комбинированное использование аналоговых и дискретных элементов соответственно с аналоговой и цифровой формами представления и обработки информации. Имеется варианты АВР – СД в котором регулирующее воздействие по отклонению напряжения реализуется в аналоговой форме, а получение стабилизирующих воздействий по производным связано с преобразованием аналоговых сигналов в цифровую форму, цифровым дифференцированием и последующем преобразованием цифровых сигналов в аналоговые.

Есть также вариант использования аналого – цифрового АВР – СД в котором имеющаяся цифровая часть предназначена для выполнения контрольно- диагностических, регистрирующих и других подобных функций.

Цифровые АВР – СД выполняются на цифровых элементах (микропроцессорах) и используют способы переработки информации в цифровых формах ее представления.

Переход к цифровым методам позволяют повысить быстродействие регулятора, расширить число выполняемых функций и дает возможность построения самонастраивающейся автоматической системы управления синхронного генератора, легко интегрируемой с автоматизированной системой управления (АСУ) электрической станции.

Курпсайской ГЭС было установлено с 1981 по 2018 годы унифицированный электромагнитный АВР-СД аналогового типа на магнитных усилителях.

Регулятор формирует, преобразует и усиливает необходимые сигналы в соответствии с выбранным законом (алгоритмом) автоматического регулирования. Регулирующее воздействие в АВР-СД обычно вырабатывается: по отключению ΔU_r и по производной U'_r напряжения генератора, по изменению Δf и производной f' частоты и по производной тока ротора I'_p синхронного генератора.

Поэтому закон автоматического регулирования возбуждения (если соблюдается условие, что при снижении напряжения ΔU_r отключение ΔU_r отрицательно) может быть записан в виде

$$U_{per} = -k_U \Delta U_r - k_{U'} U'_r + k_f \Delta f + k_{f'} f' - k_{I'} I'_p$$

Где $k_U, k_{U'}, k_f, k_{f'}, k_{I'}$ - коэффициенты усиления цепей формирования и усиления соответствующих сигналов.

Однако кроме осуществления указанного закона регулирования возбуждения АВР-СД выполняет целый ряд других функций по управлению возбуждением генератора и поэтому представляет собой по существу автоматическую управляющую систему.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Автоматический регулятор выполняет следующие функции: изменение возбуждения по закону автоматического регулирования возбуждения сильного действия, релейная форсировка возбуждения, ограничение тока ротора на двухкратном уровне, автоматическая разгрузка генератора при перегрузке по току ротора, изменение заданного напряжения (уставки) при синхронизации, ограничение снижения возбуждения в режиме потребления реактивной мощности, уравнивание реактивных мощностей параллельно работающих генераторов (при групповом управлении возбуждением), регулированием по отклонению тока ротора в процессе выбега турбогенераторов атомных электростанций, защита генератора от повышения напряжения при сбросах нагрузки.

В 2018г на Курпсайской ГЭС после модернизации и реконструкции установлен статический тиристорной системы самовозбуждения, с автоматическим регулятором возбуждения (АРВ), выполненный на микропроцессорной цифровой элементной базе.

Система возбуждения выполнена по одnogрупповой схеме. Тиристорные преобразователи подключаются по схеме самовозбуждения к преобразовательному трансформатору ПТ, который жестко до генераторного выключателя подсоединяются к шинам генератора. Каждый канал состоит из системы управления и регулирования. В каждом канале регулятор возбуждения АРВ –РЭМ700 реализует функции регулятора возбуждения (АРВ), системы управления тиристорами (СУТ), системы управления возбуждением (СУВ) и функции защит системы возбуждения (ЗВ). Один из каналов находится в работе, а второй канал в резерве (импульсы второго канала управления сняты). Однако, защиты, имеющие во втором канале, находятся в активном режиме и в случае возникновения аварийного события работают также, как и защиты рабочего канала. При возникновении неисправности в работающем канале происходит автоматический перевод на канал, находящийся в резерве.

Каждый тиристорный преобразователь собран по 3-х фазной мостовой схеме на тиристорных модулях Т173-2000-28 28 класса по напряжению, охлаждение тиристорных модулей-естественное воздушное. Для защиты тиристорных модулей от коммутационных перенапряжений установлены защитные РС-цепи на входе тиристорных преобразователей, общие для двух каналов, в шкафу ШВ.

Цифровые АРВ выполняемые аналоговыми регуляторами, обеспечивает:

- расширенный объем функций, заключающийся в том, что регулятор не только используется для регулирования возбуждения и ограничения режимных параметров генератора и системы возбуждения, но и осуществляет фазоимпульсное управление тиристорами;
- упрощение наладки и эксплуатации системы возбуждения, так как предусмотрены специальные режимы для настройки АРВ и эксплуатационные проверки;
- повышение надежности за счет применения современных микроконтроллеров, обладающих высокой производительностью и широким спектром периферийных устройств;
- цифровой способ обработки информации, обеспечивающий высокую точность, стабильность и достоверность настраиваемых статических и динамических характеристик, возможность их настройки без изменения параметров аппаратуры, реализацию сложных алгоритмов управления;

– контроль и диагностика датчиков и всех элементов АРВ и системы возбуждения, обеспечение резервирования.

Установлен система возбуждения СТС–РЭМ –2100–250–2,5УХЛ4 с цифровым АРВ –РЭМ700.

ВЫВОДЫ

1. Применение программного обеспечения АРВ –РЭМ700 позволяет работать в режиме регулирования напряжения(РН), регулирование тока ротора(РТР), ограничение минимального возбуждения (ОМВ) и в режиме форсировки тока ротора.

2. Регулятор АРВ –РЭМ700 функционально входящий в каждый канал регулирования системы возбуждения, обеспечивает:

а) цифровое измерение режимных параметров генератора и системы возбуждения;

б) регулирование напряжения статора генератора U_g по ПИД закону с поддержанием напряжения на шинах электростанции в соответствии с заданным значением уставки и статизмом при изменении реактивной мощности генератора.

3. Автоматический регулятор возбуждения АРВ –РЭМ700 имеет также функции осциллографирования установившихся, переходных и аварийных режимов работы синхронного генератора и системы возбуждения.

4. При использовании автоматических регуляторов возбуждения сильного действия АРВ –РЭМ700 в системе возбуждения гидрогенераторов повышается статическая и динамическая устойчивость гидрогенератора, для поддержания параллельной работы электроэнергетической системы.

5. По сравнению с унифицированным электромагнитным АРВ-СД аналогового типа на магнитных усилителях, применении статической тиристорной системы самовозбуждения, с автоматическим регулятором возбуждения сильного действия (АРВ - СД), выполненный на микропроцессорной цифровой элементной базе, расширяет функциональные особенности данных устройств при изменении возмущающих факторов в работе системы возбуждения гидрогенераторов и изменение параметров в работе электроэнергетической системе.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Соловьев И. И.** Автоматические регуляторы синхронных генераторов/ Под. ред. Н. И. Овчаренко. – М: Энергоатомиздат, 1981. с 127 – 130.
2. **А. Б. Бакасова** Синтез сложных систем с нелинейной динамикой и самоорганизацией. – Б; Изд-во Инсанат, 2014. с 271–276.
3. **Система возбуждения СТС–РЭМ –2100–250–2,5УХЛ4.** Руководство по эксплуатации МСДЕ. 651422.022РЭ. Санкт – Петербург. 2019