

Виноградов Роман Дмитриевич, студент магистратуры, энергетический факультет, ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», г. Благовещенск.

СИСТЕМНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР: ПРИНЦИП РАБОТЫ И ВКЛАД В ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ, ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМА НА ЗЕЙСКОЙ ГЭС

В статье рассматривается назначение и принцип действия системного стабилизатора (PSS) в системе возбуждения синхронного генератора. Описаны причины возникновения низкочастотных колебаний в энергосистемах и механизм их демпфирования с помощью PSS. Объяснена структурная интеграция PSS с автоматическим регулятором возбуждения на примере Зейской ГЭС.

This article covers the role and working principles of a Power System Stabilizer (PSS) in a generator excitation system. It outlines the origins of low-frequency power grid oscillations and how a PSS damps them, detailing its integration with the Automatic Voltage Regulator using a case study from the Zeya Hydro Power Plant.

Ключевые слова: Системный стабилизатор, синхронный генератор, цифровой регулятор возбуждения, автоматический регулятор напряжения, система возбуждения, динамическая устойчивость, низкочастотные колебания, демпфирование, модернизация, надёжность энергосистемы.

Keywords: Power System Stabilizer, synchronous generator, digital excitation regulator, AVR, excitation system, dynamic stability, low-frequency oscillations, damping, modernization, power system reliability.

Современные энергосистемы представляют собой сложные динамические объекты, работающие в условиях постоянных возмущений: изменения нагрузки, включения и отключения линий, коммутационных

процессов. Одной из ключевых задач при их эксплуатации является обеспечение динамической устойчивости – способности системы возвращаться в установившийся режим после малых возмущений.

Потеря динамической устойчивости может произойти из-за низкочастотных электромеханических колебания (частота 0,2 – 2,5 Гц), при которых группы генераторов в разных частях энергосистемы раскачиваются друг относительно друга. Эти колебания, оставленные без демпфирования, могут привести к нарушению синхронизма, аварийному разделению системы и масштабным отключениям электроэнергии.

Исторически основным средством регулирования режима генератора являлся автоматический регулятор напряжения. Однако было обнаружено, что АРВ при работе, стремясь поддерживать постоянное напряжение, может непреднамеренно создавать отрицательное демпфирование для колебаний мощности, тем самым не подавляя, а усиливая их. Для компенсации этого эффекта и был разработан системный стабилизатор (PSS) – специальное устройство, ставшее неотъемлемой частью современной системы возбуждения. Цель данной статьи – раскрыть принцип работы PSS и его системообразующую роль в обеспечении устойчивости.

Физическую основу работы PSS проще всего объяснить, рассмотрев контур регулирования мощности синхронного генератора. АРВ, отслеживая отклонение напряжения на выводах генератора, воздействует на ток возбуждения. Однако при колебаниях ротора (изменении угла $\Delta\delta$) изменение напряжения отстаёт по фазе от изменения мощности. В результате момент, создаваемый АРВ, опаздывает по фазе. В сетях со слабыми связями это опоздание может стать таким значительным, что демпфирующий момент превращается в раскачивающий.

Согласно стандарту Системного оператора [3], системный стабилизатор - элемент или группа элементов, который обеспечивает дополнительный входной сигнал в автоматическом регуляторе возбуждения для улучшения

демпфирования колебаний в энергосистеме. Данный входной сигнал зависит от типа системного стабилизатора. Рассмотрим 2 основных типа.

Первый, типа PSS-RU, применяемый на электростанциях России, формирует управляющее воздействие, пропорциональное производной и изменению частоты напряжения генератора. В качестве дополнительного сигнала используется производная тока ротора. Структурная схема стабилизатора, используемая на Зейской ГЭС, представлена на рисунке 1.

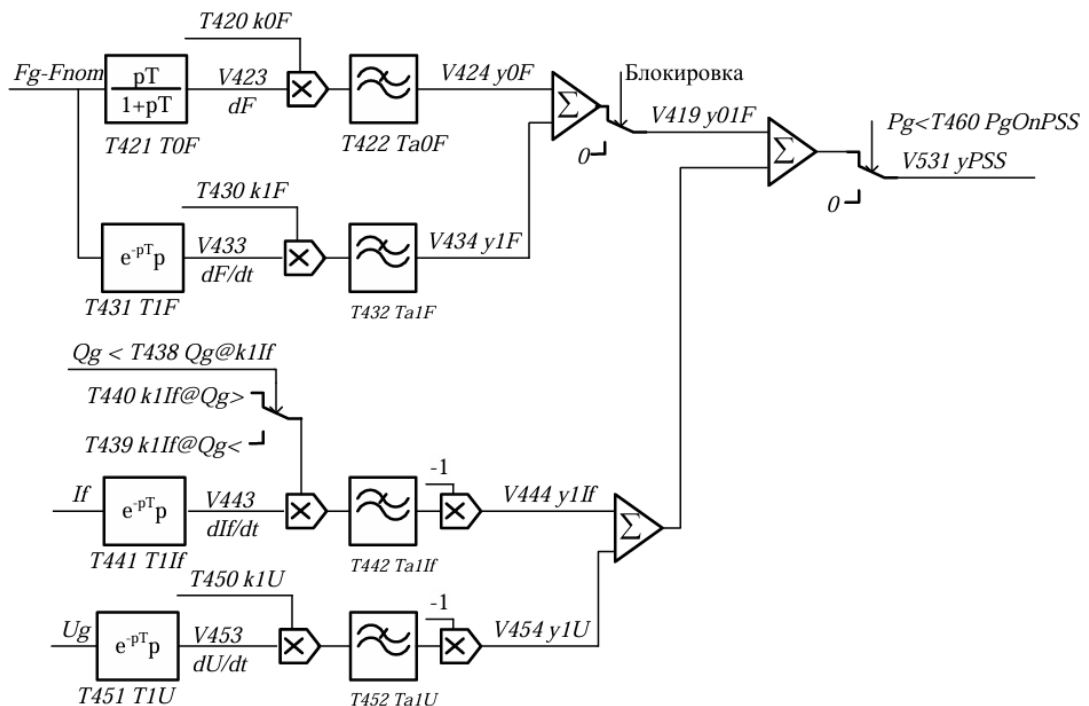


Рисунок 1 – Структурная схема PSS RU

Рассмотрим и проанализируем данную схему. Основными составляющими сигнала системного стабилизатора PSS-RU являются производная $y1F$ и отклонение $y0F$ частоты напряжения генератора. Сигнал по производной тока ротора $y1If$ является дополнительным и способствует демпфированию взаимных колебаний роторов генераторов станции. В режиме недовозбуждения целесообразно увеличивать коэффициент по производной тока ротора, поэтому при $Qg > Qg@k1If$ действует коэффициент $k1If@Qg>$, иначе $k1If@Qg<$. Сигнал отклонения частоты dF формируется фильтром,

исключающим в установившемся режиме постоянную составляющую в сигнале y_{0F} .

Для расчета производных используется формула дифференцирования многочлена наилучшего среднеквадратичного приближения к результатам измерений, выполненных с постоянным шагом $h = 5 \text{ ms}$ в $2i + 1$ точках.

В момент отключения короткого замыкания сигналы по производным достигают значительных величин и действуют ложно - в сторону развозбуждения. Длительность воздействия может быть значительной – зависит от постоянных времени фильтров каналов. Поэтому при коротком замыкании прекращается расчет производных. Возобновление расчета происходит через интервал времени $T_{469} t_{BlockPSS'}$ после отключения короткого замыкания.

Второй, типа PSS2B, получивший широкое распространение на зарубежных электростанциях, формирует управляющее воздействие, пропорциональное интегралу ускоряющей мощности. Входными сигналами являются отклонение частоты ЭДС E_q (частоты ротора) и активной мощности.

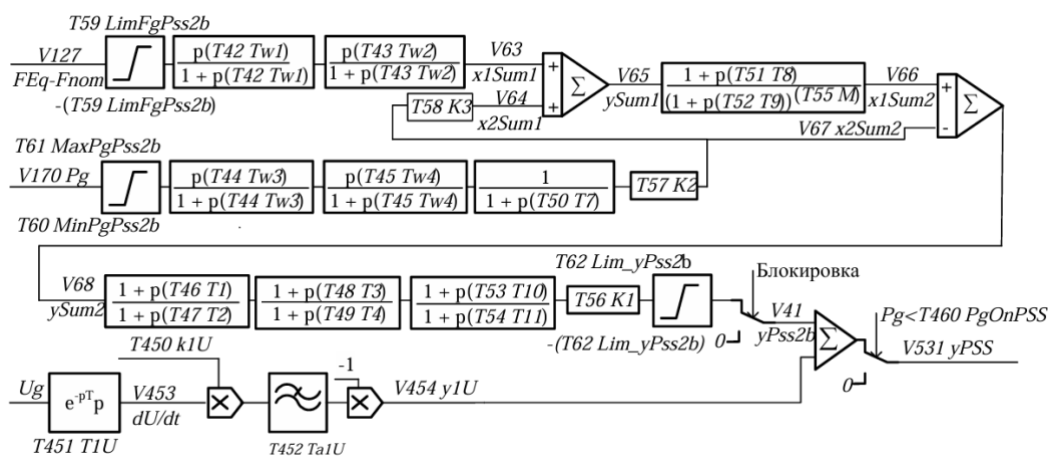


Рисунок 2 – Структурная схема PSS2B

Сигналы системных стабилизаторов PSS-RU и PSS2B эффективны с точки зрения повышения пределов устойчивости и улучшения послеаварийных качаний генераторов станции. Однако, при изменении частоты, связанной с резким изменением нагрузки в энергосистеме, их сигналы действуют ложно – увеличение частоты приводит к форсировке

возбуждения, снижение – к развозбуждению генератора. По этой причине выполнена блокировка ложного сигнала PSS, сигнал блокируется с определённой задержкой, если он приведёт к изменению напряжения генератора более чем на заданную величину.

После отключения короткого замыкания в энергосистеме блокировка сигналов изменения и производной частоты нежелательна, т.к. приводит к ухудшению демпфирования послеаварийных качаний. Поэтому на определённое время блокировка запрещена.

Амплитуда воздействия PSS настраивается с помощью коэффициентов, которые определяются ещё до ввода системы возбуждения в эксплуатацию (например, на рисунке 1 изображены $K1U$ - коэффициент регулирования по производной напряжения генератора, $T430 k1F$ - коэффициент регулирования по производной частоты). Для этого в специальных программах создаётся модель энергорайона, генераторов, систем возбуждения. Устанавливаются типовые значения параметров и подаются возмущающие воздействия, имитирующие аварийные режимы работы. По результатам таких опытов, выбираются окончательные уставки, и именно они используются при вводе системы возбуждения в работу.

Для визуального отображения работы системного стабилизатора, рассмотрим опыты, проведённые при наладке системы возбуждения Зейской ГЭС. На рисунке 3 показано регулирование напряжения с выключенным стабилизатором (зелёный график) и с включённым (красный график). Можно заметить, что при включённом PSS амплитуда колебаний уменьшилась, а также что график стал более “пилообразным”, так как в регулировании участвует большее количество параметров.

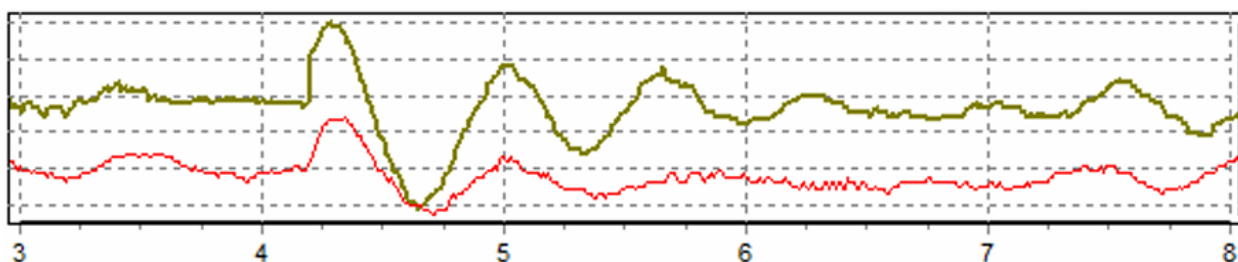


Рисунок 3 – Сравнение работы АРВ с каналами стабилизации (красный) и без (зелёный)

Таким образом, системный стабилизатор является ключевым и обязательным элементом современных систем возбуждения крупных синхронных генераторов. Его работа обеспечивает лучшее регулирование напряжения, демпфирование низкочастотных колебаний, а следовательно, повышает общую статическую и динамическую устойчивость системы.

Литература

1. Построение силовых схем, схем защит, управления, регулирования, диагностики, сервисного обслуживания современных систем возбуждения / И. Ф. Перельман. — Москва; Екатеринбург: Кабинетный ученый, 2014. — 380 с.
2. Регулирование возбуждения синхронных генераторов / А.А. Юрганов, В.А. Кожевников - СПб.: Наука, 1996. - 138 с.
3. СТО 59012820.29.160.20.001-2012. Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов.
4. Руководство по эксплуатации регулятора возбуждения AVR-4М.
5. Особенности алгоритма реализации системных функций в российских автоматических регуляторах возбуждения сильного действия. Комков А. Л., Попов Е. Н., Филимонов Н. Ю., Юрганов А. А., Бурмистров А. А.

Literature

1. Construction of power and protection circuits, control, regulation and diagnostic service of modern excitation systems / I.F. Perelman. - Armchair Scientist Ekaterinburg — Moscow 2014.
2. Excitation Control of Synchronous Generators / Yurganov A.A., Kozhevnikov V.A. - Nauka, 1996.

3. STO 59012820.29.160.20.001-2012. Requirements for Excitation Systems and High-Gain Automatic Voltage Regulators of Synchronous Generators.
4. Operating Manual for the AVR-4M Excitation Regulator.
5. Komkov A.L., Popov E.N., Filimonov N.Yu., Yurganov A.A., Burmistrov A.A. Features of the algorithm for implementing system functions in Russian high-gain automatic voltage regulators. *Ekspozitsiya Oil & Gas*. 2018. No. 6. Pp. 12–15.