



Анализ результатов оптимальной настройки автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов в программно-аппаратном комплексе RTDS

Руслан Канафеев, Алексей Жирнов — магистры 2-го года обучения; Татьяна Климова, к.т.н., доцент НИУ «МЭИ»

Возможности современной вычислительной техники существенно расширяют спектр методов оптимизации и имитационного моделирования элементов электроэнергетической системы (ЭС). Прогрессивным направлением в данной области являются цифровые комплексы моделирования ЭС (симуляторы) в реальном времени, например, программно-аппаратный комплекс RTDS (Real-Time Digital Simulator).

Основным достоинством указанных симуляторов является возможность включать реальные устройства в модель ЭС в условиях замкнутой петли взаимодействия по входным и выходным электрическим сигналам. С этой целью симуляторы обладают развитой системой ввода-вывода физических сигналов для быстрого взаимодействия в реальном времени между моделью ЭС и проверяемым внешним оборудованием. Набор интерфейсов и протоколов включает в себя наиболее используемые способы передачи информации в современной энергетике. Набор моделей элементов, содержащихся в библиотеке, включает все виды оборудования, используемого в ЭС, модели компонентов максимально точно отражают параметры реальных устройств и объектов. Еще одним преимуществом данного комплекса является то, что база моделей элементов ЭС постоянно совершенствуется и уточняется, библиотека пополняется моделями новых видов оборудования. Кроме того, при необходимости используемый программно-аппаратный комплекс RTDS позволяет уменьшить шаг вычислений до нужного значения, при котором исследование переходного процесса в схемах однозначно.

В данной статье приведены результаты исследований автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов (АРВ СГ), выполненных с использованием симулятора RTDS при подготовке магистерских диссертаций. Рассмотрены различные методы оптимизации необходимых целевых функций, составленных на основе корневых и частотных критериев оценки параметров процесса регулирования, для обеспечения качественного функционирования АРВ СГ, работающего в разных схемно-режимных ситуациях. Произведено практическое исследование полученных настроечных параметров АРВ СГ по программе сертификационных испытаний, определенных в Стандарте СО ЕЭС.

Исследования АРВ

В связи с модернизацией систем возбуждения, вызванной увеличением их быстродействия, ставится задача выбора новых настроек регуляторов возбуждения (основного канала регулирования напряжения АРН и каналов стабилизации PSS). Настройки АРВ (АРН и PSS) должны обеспечивать демпфирование электромеханических колебаний, возникающих при различных эксплуатационных режимах и аварийных возмущениях.

Первый этап настройки АРВ СГ включает в себя экспериментальное определение частотных характеристик сертификационной схемы [1]. Вторым этапом является создание функции минимизации (целевой функции). По методике [2, 3] определены частотные характеристики преобразования напряжения ротора в необходимые режимные параметры.

Под наилучшим качеством переходного процесса в настоящей работе понимается минимум его длительности, минимум перерегулирования и максимум коэффициента демпфирования. При объединении в единую функцию упомянутых характеристик формируется числовая характеристика качества переходного процесса. Набор значений параметров АРВ, соответствующий минимуму этой характеристики, определяет оптимальные настройки АРВ СГ. Первично функция оптимизации включала в себя два слагаемых: значения интегралов от модуля переходного процесса по частоте и по напряжению на шинах генератора и коэффициенты всех каналов стабилизации.

В ходе проведенных экспериментальных испытаний на смоделированных посредством RTDS сертификационных схемах [1] было выявлено, что полученные в результате типовой настройки параметры каналов PSS приводят к неэффективному демпфированию электромеханических колебаний, а порой АРВ СГ с этими параметрами нарушает устойчивость системы, как, например, на рис. 1, 2. Под типовой настройкой понимаются заданные производителем значения коэффициентов каналов стабилизации, независимые от схемно-режимных ситуаций работы СГ с рассматриваемым АРВ.

Исследования АРВ

В связи с модернизацией систем возбуждения, вызванной увеличением их быстродействия, ставится задача выбора новых настроек регуляторов возбуждения (основного канала регулирования напряжения АРН и каналов стабилизации PSS). Настройки АРВ (АРН и PSS) должны обеспечивать демпфирование электромеханических колебаний, возникающих при различных эксплуатационных режимах и аварийных возмущениях.

Первый этап настройки АРВ СГ включает в себя экспериментальное определение частотных характеристик сертификационной схемы [1]. Вторым этапом является создание функции минимизации (целевой функции). По методике [2, 3] определены частотные характеристики преобразования напряжения ротора в необходимые режимные параметры.

Под наилучшим качеством переходного процесса в настоящей работе понимается минимум его длительности, минимум перерегулирования и максимум коэффициента демпфирования. При объединении в единую функцию упомянутых характеристик формируется числовая характеристика качества переходного процесса. Набор значений параметров АРВ, соответствующий минимуму этой характеристики, определяет оптимальные настройки АРВ СГ. Первично функция оптимизации включала в себя два слагаемых: значения интегралов от модуля переходного процесса по частоте и по напряжению на шинах генератора и коэффициенты всех каналов стабилизации.

В ходе проведенных экспериментальных испытаний на смоделированных посредством RTDS сертификационных схемах [1] было выявлено, что полученные в результате типовой настройки параметры каналов PSS приводят к неэффективному демпфированию электромеханических колебаний, а порой АРВ СГ с этими параметрами нарушает устойчивость системы, как, например, на рис. 1, 2. Под типовой настройкой понимаются заданные производителем значения коэффициентов каналов стабилизации, независимые от схемно-режимных ситуаций работы СГ с рассматриваемым АРВ.

После проведенного анализа исследуемой системы были построены двумерные области устойчивости для двух пар коэффициентов:

- канал внутренней стабилизации $K1U$ и $K1f$ (рис. 3);
- канал внешней стабилизации $K0f$ и $K1f$ (рис. 4).

На упомянутых рисунках тонкие линии отмечают одинаковые значения целевой функции, а красная сетка показывает область неустойчивости АСР.

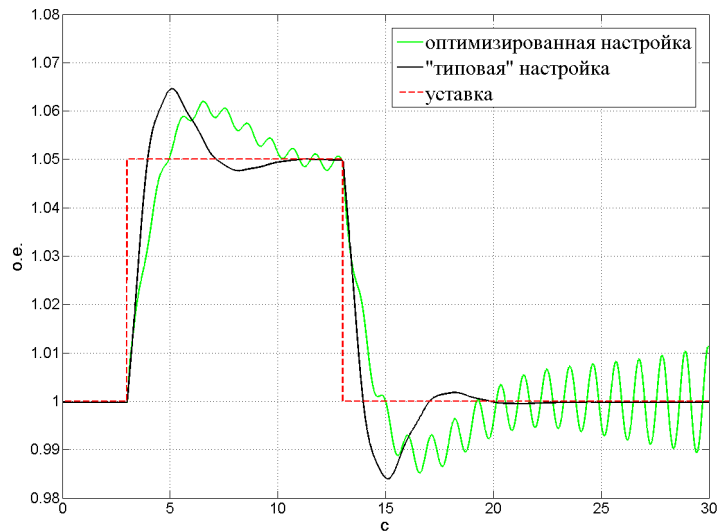


Рис. 1. Напряжение на шинах генератора при ступенчатом изменении уставки по напряжению на 5%

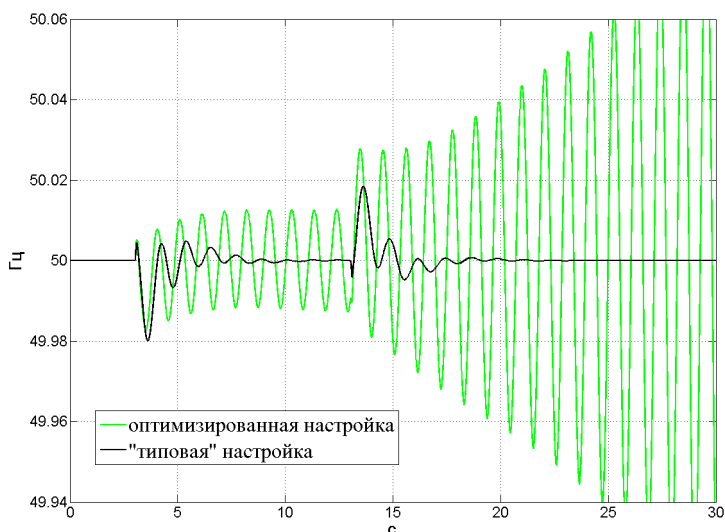


Рис. 2. Частота на шинах генератора при ступенчатом изменении уставки по напряжению на 5%

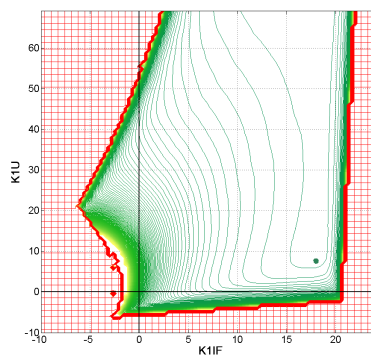


Рис. 3. Область устойчивости по коэффициентам внутреннего канала

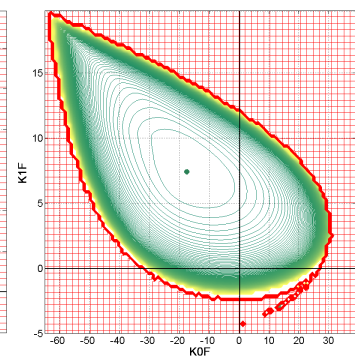


Рис. 4. Область устойчивости по коэффициентам внешнего канала

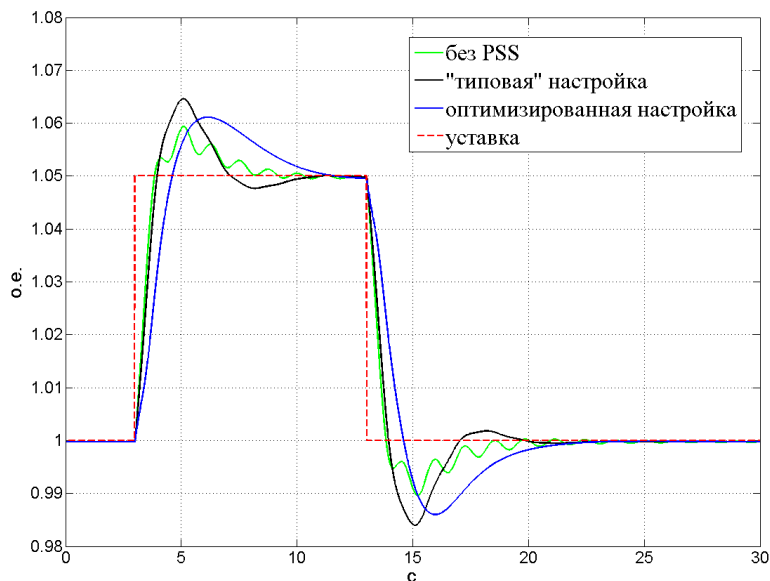


Рис. 5. Напряжение на шинах генератора при ступенчатом изменении уставки по напряжению на 5%

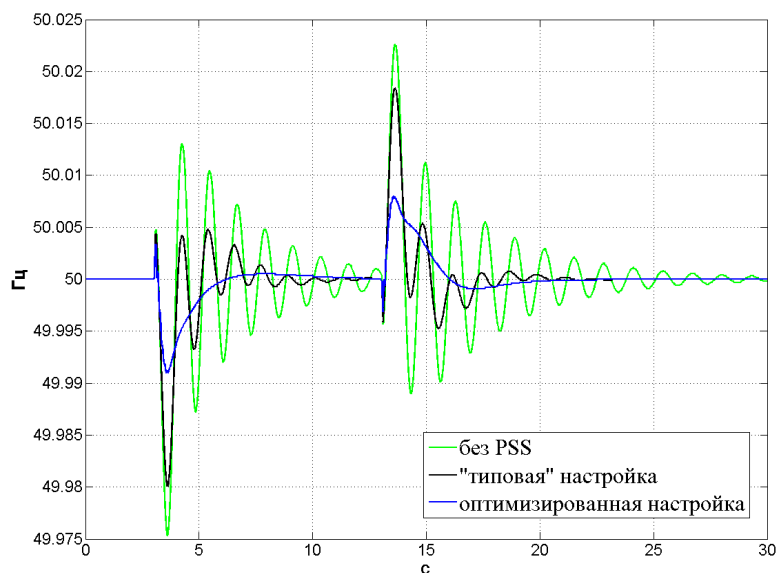


Рис. 6. Частота на шинах генератора при ступенчатом изменении уставки по напряжению на 5%

Верификация математически полученных областей устойчивости экспериментально проводилась в схеме, реализованной в RTDS. После анализа полученных результатов, в функцию минимизации было добавлено третье слагаемое, обеспечивающее дополнительную проверку устойчивости при изменении значений настроечных параметров.

После минимизации целевых функций различными методами оптимизации, в том числе и с использованием генетических алгоритмов, в смоделированной в симуляторе RTDS сертификационной схеме в каналах APB были установлены полученные оптимальные коэффициенты и записаны осциллограммы переходных процессов, представленные на рис. 5, 6.

Приведенные осциллограммы свидетельствуют о том, что при изменении уставки напряжения генератора на 5%, при задействованных каналах стабилизации PSS наблюдается повышение качества демпфирования электромагнитных колебаний частоты и напряжения в сравнении с переходным процессом без использования PSS и применении «типовой» настройки.

Таким образом, экспериментальные исследования при использовании симулятора RTDS подтверждают правильность математической модели APB и тем самым позволяют использовать ее при получении и проверке оптимальных настроечных параметров регулятора в разных схемно-режимных ситуациях, а также проведению сертификационных испытаний APB по программе Стандарта СО ЕЭС.

Рассмотрены различные методы оптимизации необходимых целевых функций, составленных на основе корневых и частотных критериев оценки параметров процесса регулирования, для качественного функционирования автоматического регулятора возбуждения синхронного генератора (APB СГ), работающего в разных схемно-режимных ситуациях. Произведено практическое исследование полученных настроечных параметров APB СГ в программно-аппаратном комплексе RTDS по программе сертификационных испытаний, определенных в Стандарте СО ЕЭС.

ЭС

Список литературы

1. СТО 59012820.29.160.20.001-2012. Стандарт организации. Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов, М., 2012.
2. Я. Л. Арцишевский, Т. Г. Климова, А. В. Жуков, Е. И. Сацук, А. И. Расцепляев. Использование программно-аппаратного комплекса RTDS для анализа функционирования автоматических регуляторов возбуждения. Получение и верификация моделей микропроцессорных APB // «Энергетик», 2014, № 1.
3. Я. Л. Арцишевский, Т. Г. Климова, А. В. Жуков, Е. И. Сацук, А. И. Расцепляев. Использование программно-аппаратного комплекса RTDS для анализа функционирования автоматических регуляторов возбуждения. Создание тестовых схем // Энергетик, 2013. № 9.