Научно-технический центр Единой энергетической системы

Опыт использования программно-аппаратного комплекса моделирования энергосистем в режиме реального времени (*RTDS*) в АО «НТЦ ЕЭС»

Инженер отдела электроэнергетических систем НИО-3, ОАО «НТЦ ЕЭС»

Зеленин А.С.

Задачи, решаемые с помощью программно-аппаратного комплекса моделирования энергосистем в режиме реального времени (ПАК РВ) типа *Real Time Digital Simulator* (*RTDS*) в АО «НТЦ ЕЭС»

Цель презентации:

- Обозначить основные направления исследований и типы работ, выполняемые с помощью ПАК РВ в АО «НТЦ ЕЭС».

Основные проблемы, стоящие при создании математических моделей и проведении исследований с ПАК РВ:

- довольно жесткие ограничения на размерности схем, создаваемых с помощью ПАК РВ (проблема частично может решаться комбинированием в схеме «сложных» и более «простых» моделей различных элементов; разделением схем на части и пр.);
- ряд дополнительных ограничений, учет которых на начальных этапах создания математической модели не всегда возможен;
- в ряде случаев: отсутствие достоверной информации по параметрам электрооборудования, неполнота описаний алгоритмов функционирования устройств управления, регулирования и защиты; неточность математического описания в документах;
- модели всегда содержат упрощения (которые необходимо учитывать при анализе экспериментальных результатов);
- ограничения на возможности подключения внешнего оборудования.

Физическое оборудование программно-аппаратного комплекса моделирования энергосистем в режиме реального времени *Real Time Digital Simulator* (*RTDS*) в АО «НТЦ ЕЭС»

***RTDS* лаборатории испытаний АО «НТЦ ЕЭС»**

Основные количественные характеристики комплекса:

- 2 совместно функционирующие стойки, включающие 7 расчетных плат *PB5*;
- устройства, обеспечивающие *GPS*-синхронизацию, реализацию протоколов *SV*, *GOOSE,* МЭК 104, *C*.37 (*PMU*);

Подключение внешнего оборудования:

- 72 канала по напряжению (вывод сигналов ± 10В);
- 24 канала по напряжению (ввод ± 10В)
- 24 канала по напряжению (вывод 100В или более);
- 27 каналов по току (вывод 1/5 А);
- 64+32/64+32 дискретных сигнала (ввод/вывод);
- 16 сигналов типа «сухой контакт» (ввод/вывод).

Получение схем, которые используются для проведения для исследований

Исходные данные о схеме, электрическом режиме и параметрах оборудования

Энергосистема

Переходные процессы с регистраторов

Математическая модель энергосистемы

Верификация модели

Большая модель энергосистемы, полная структура которой практически полностью соответствует энергосистеме

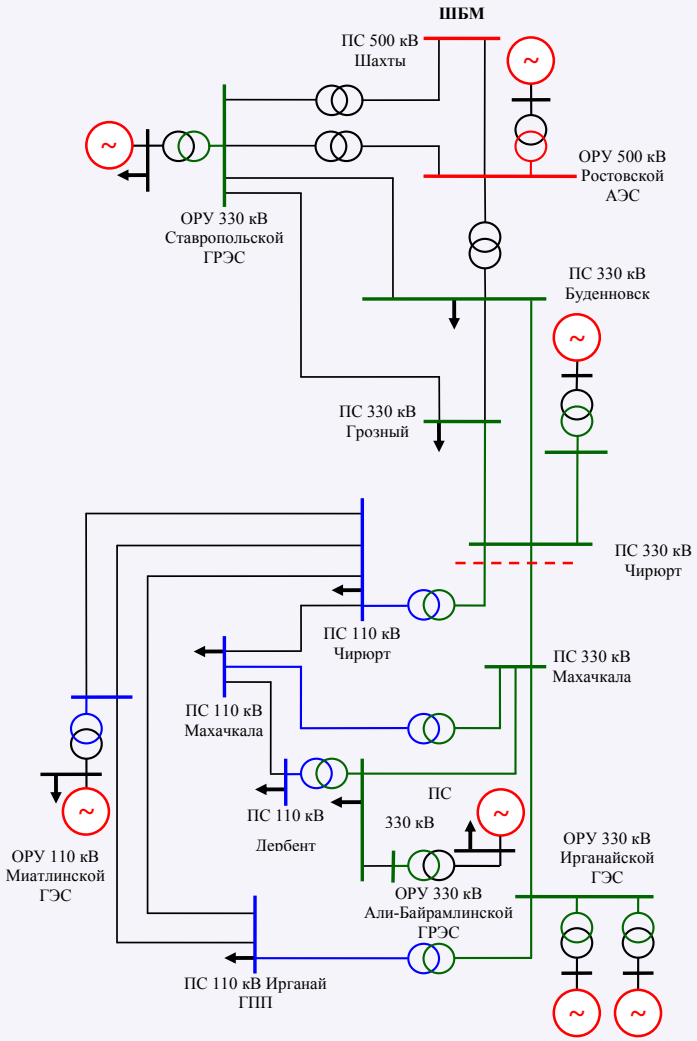
Верифицированная математическая модель энергосистемы в *EUROSTAG*

Методика получения эквивалентных схем с сохранением важных для целей исследования свойств

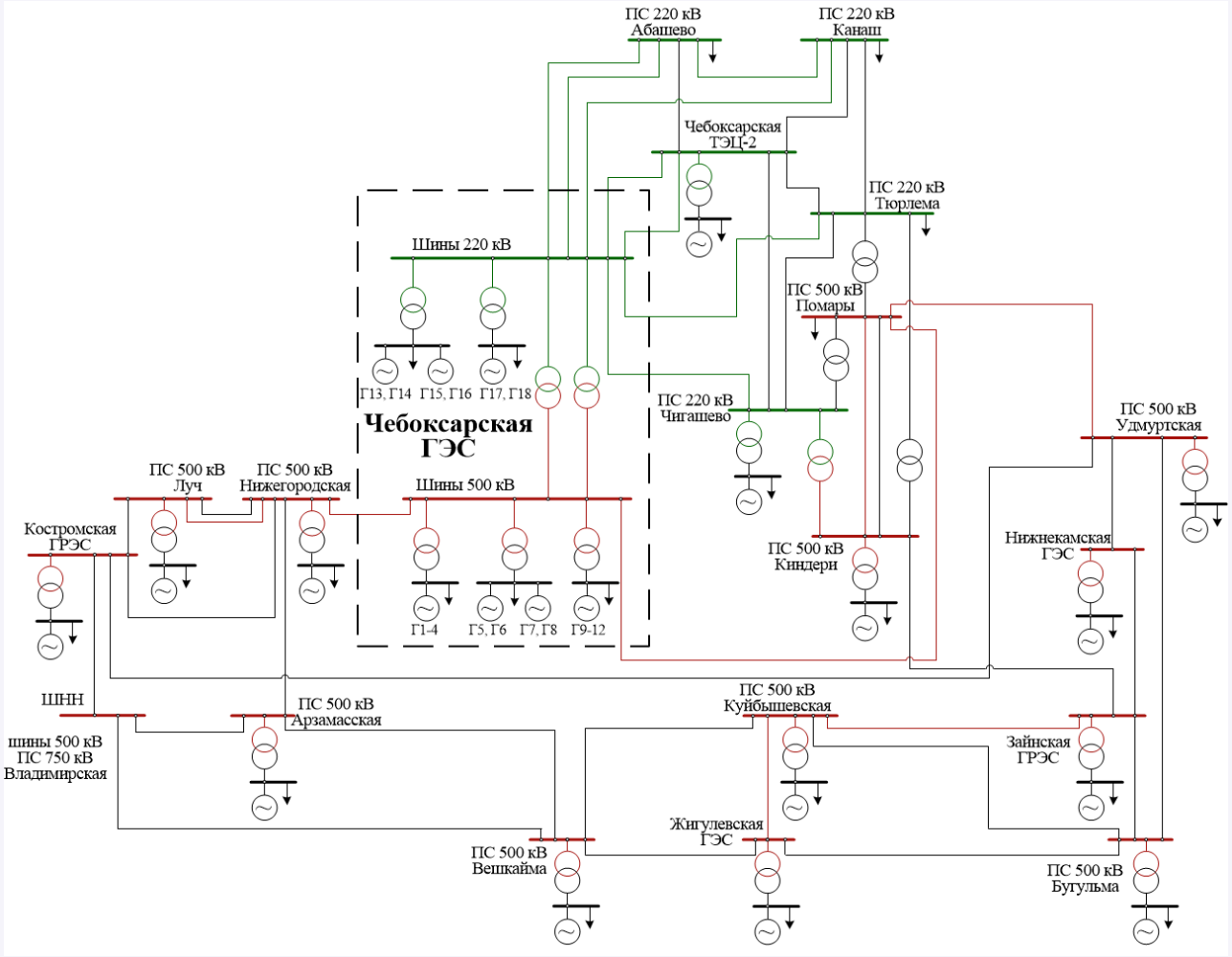
Эквивалентные схемы для сборки на *RTDS* и проведения исследований

Проблема: жесткие ограничения на размерность реализуемых математических моделей энергосистем

Размерности схем, использованных для исследований



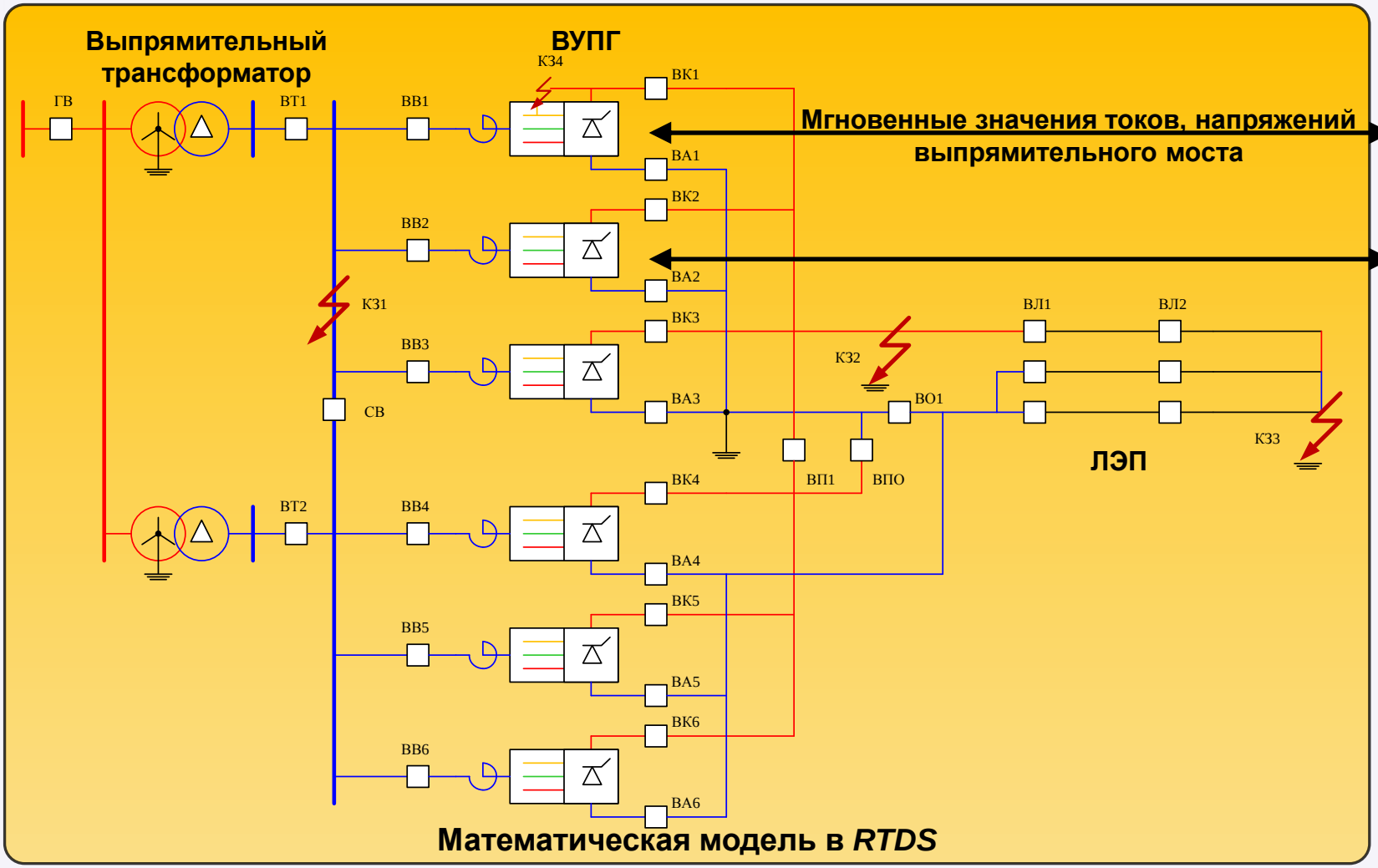
Эквивалентная схема для проверки настройки АРВ Ирганайской ГЭС



Эквивалентная схема для проверки настройки АРВ Чебоксарской ГЭС

Тестирование системы управления, регулирования и защиты СУРЗА для управляемых выпрямителей плавки гололеда ВУПГ: оценка работы алгоритмов СУРЗА при различных технологических нарушениях на основном оборудовании плавки

Задача: проверка и коррекция (при необходимости) алгоритмов новой СУРЗА на соответствие требованиям заказчика



Интерфейсные блоки: вывод аналоговых сигналов, прием дискретных сигналов управления (импульсов зажигания тиристоров)

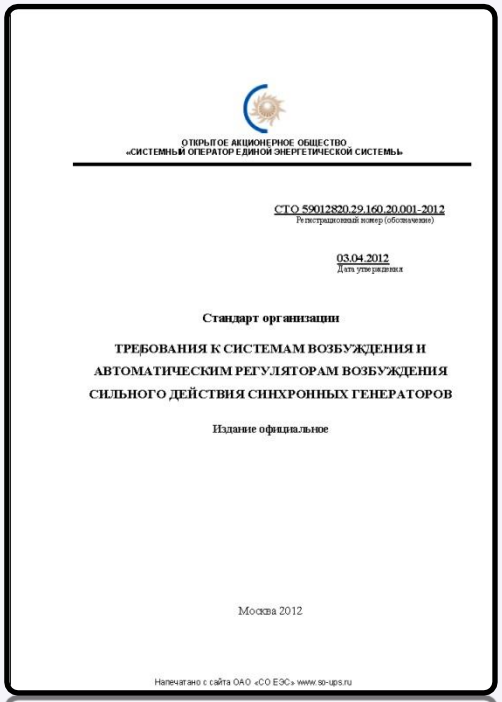
СУРЗА

Натурный (промышленный) образец шкафа СУРЗА. Управление каждым из шести выпрямительных мостов

Результаты работы: выявлены несоответствия работы исходных алгоритмов СУРЗА предъявленным требованиям; после внесения корректировок – соответствующие требованиям заказчика алгоритмы СУРЗА, проверка которых выполнена экспериментально.

Проверка АРВ сильного действия, работающих в составе статических и/или бесщеточных систем возбуждения, на соответствие требованиям Стандарта Системного Оператора
СТО 59012820.29.160.20.001-2012 (изм. по приказу № 225 от 14.07.2015)

Задача: проверка АРВ сильного действия на соответствие требованиям Стандарта



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

СТО 59012820.29.160.20.001-2012
Регистрационный номер (обозначение)

03.04.2012
Дата утверждения

Стандарт организации

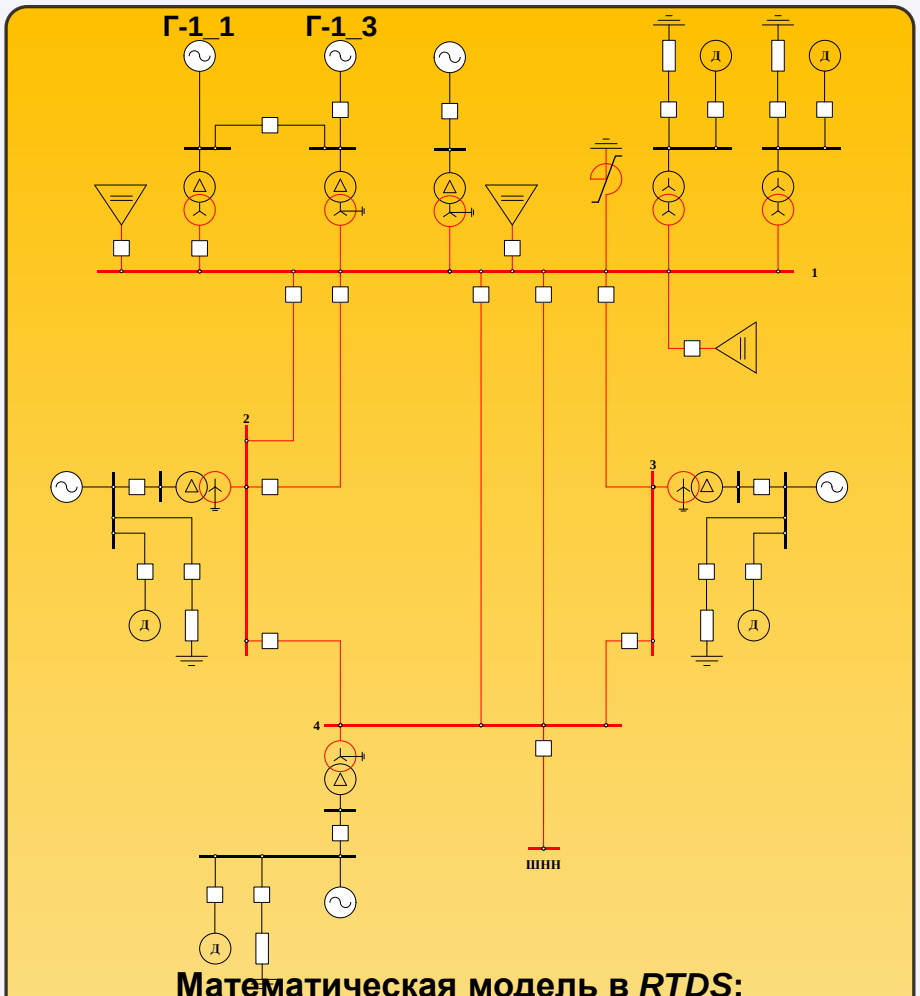
ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ВОЗБУЖДЕНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКИМ РЕГУЛЯТОРАМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Издание официальное

Москва 2012

Напечатано с сайта ОАО «СО ЕЭС» www.so-ups.ru

Требования к функционированию АРВ + описание процедуры сертификации



Математическая модель в *RTDS*: Модель энергосистемы, используемая для сертификации АРВ по СТО

Интерфейсные блоки

Мгновенные значения токов статора СГ, напряжений статора СГ, тока возбуждения, напряжения возбуждения пр. сигналы. Выходной сигнал АРВ (импульсы зажигания тиристоров) управляют возбуждением СГ

АРВ-1 (Г-1_1)

АРВ-2 (Г-1_3)

Натурные (промышленные) образцы сертифицируемых автоматических регуляторов возбуждения

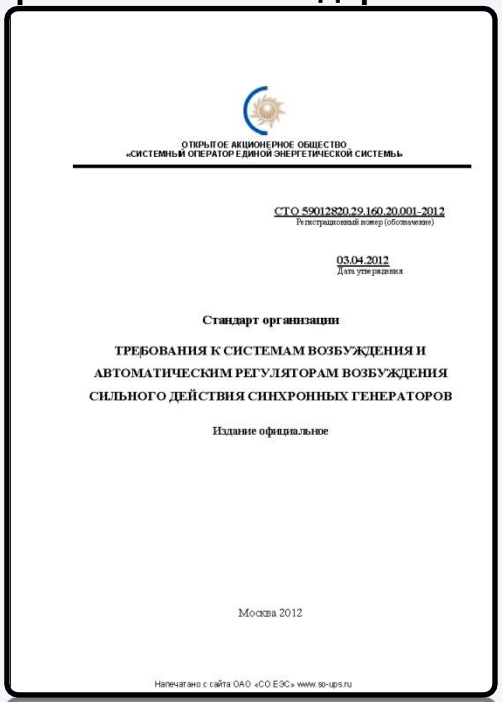
Результат работы: заключение о соответствии/несоответствии АРВ сильного действия требованиям Стандарта

Получение экспериментальных частотных характеристик каждого из каналов регулирования АРВ сильного действия и системного стабилизатора. Верификация и уточнение (при необходимости) математических моделей АРВ по экспериментальным частотным характеристикам

Задачи:

получение экспериментальных частотных характеристик (ЭЧХ) АРВ сильного действия и системного стабилизатора;

проверка и корректировка (при необходимости) предоставленной математической модели АРВ на соответствие требованиям Стандарта



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

СТО 59012820.29.160.20.001-2012
Регистрационный номер (обозначение)

03.04.2012
Дата утверждения

Стандарт организации

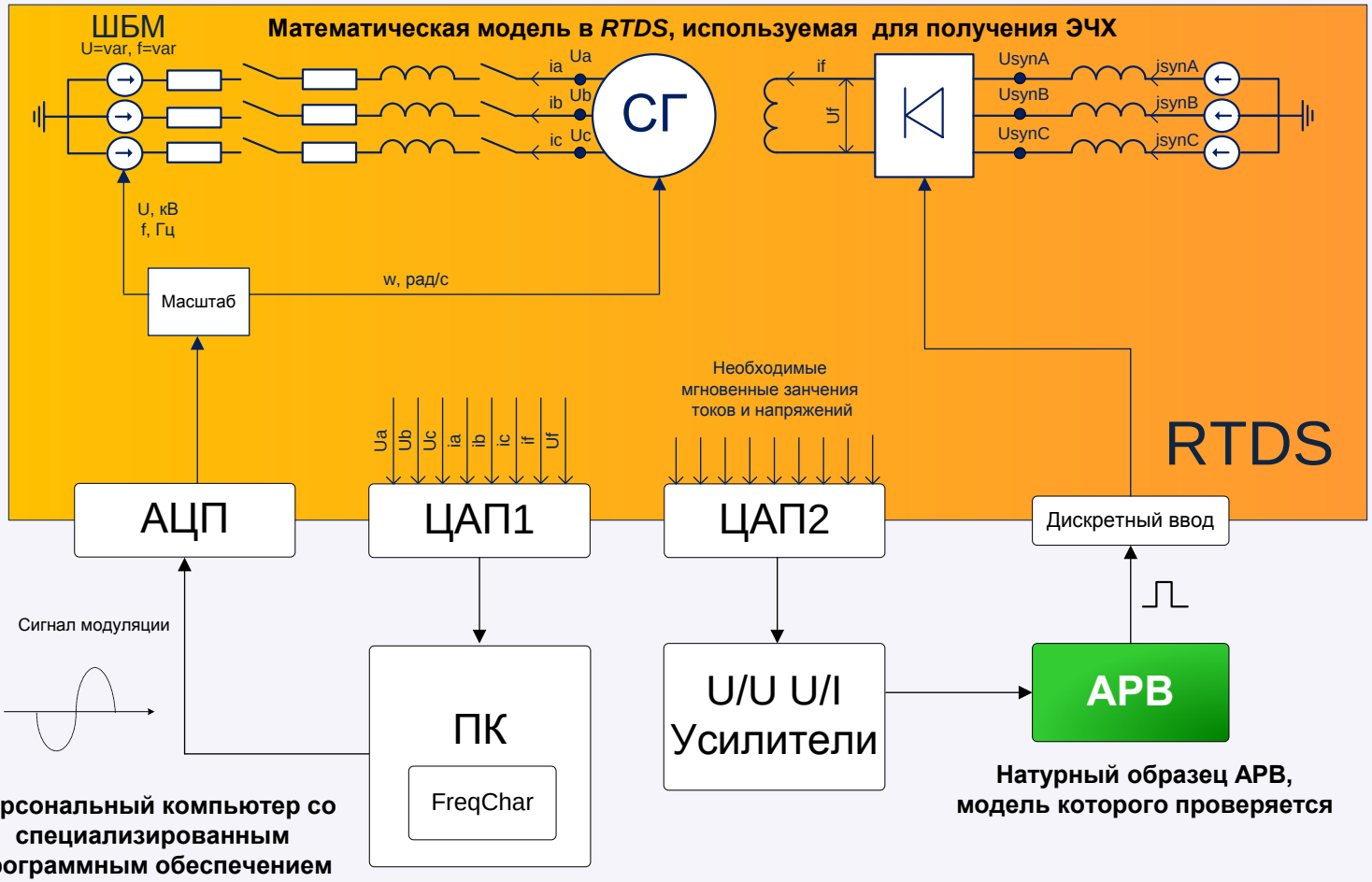
ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ВОЗБУЖДЕНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКИМ РЕГУЛЯТОРАМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Издание официальное

Москва 2012

Напечатано с сайта ОАО «СО ЕЭС» www.so-ups.ru

Требования к точности математических моделей АРВ, к экспериментальным данным по проверке моделей



Результат работы: ЭЧХ АРВ сильного действия, заключение о соответствии математической модели требованиям СТО, скорректированная (совместно с разработчиком) математическая модель АРВ и системного стабилизатора

Проверка устройств автоматики ликвидации асинхронного режима на соответствие требованиям Стандарта Системного Оператора СТО 59012820.29.020.008-2015

Задачи:

проверка на соответствие устройства АЛАР на соответствие требованиям Стандарта,
помощь разработчику в корректировке (при необходимости) алгоритмов АЛАР для приведения в соответствие требованиям Стандарта

Приложение 1 к приказу
ОАО «СО ЕЭС» от 24.12.2015
№ 418

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

СТО 59012820.29.020.008-2015
Регистрационный номер (обозначение)

24.12.2015
Дата утверждения

Стандарт организации

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОТИВОАВАРИЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОСИСТЕМ.

АВТОМАТИКА ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА.

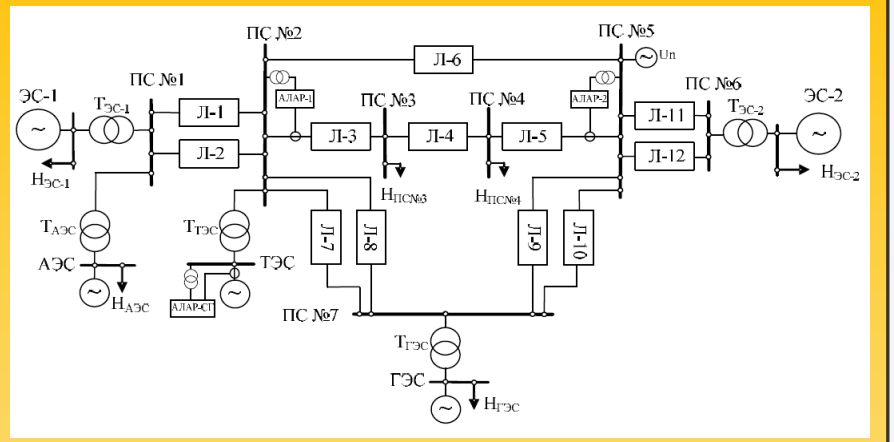
НОРМЫ И ТРЕБОВАНИЯ

Издание официальное

Москва 2015

Напечатано с сайта АО «СО ЕЭС» www.so-ups.ru

Требования к работе устройств АЛАР, требования к процедуре сертификации



Математическая модель в *RTDS*:
Модель энергосистемы, используемая для сертификации АЛАР по СТО

Интерфейсные блоки

АЛАР-2

АЛАР-1

Результат работы: заключение о соответствии/несоответствии требованиям СТО; скорректированные алгоритмы функционирования АЛАР, соответствующие требованиям СТО

Проверка устройств автоматической частотной разгрузки Стандарта Системного Оператора СТО 59012820.29.020.003-2016

Задачи:

проверка на соответствие устройств АЧР на соответствие требованиям Стандарта,
помощь разработчику в корректировке (при необходимости) алгоритмов АЛАР для приведения в соответствие требованиям Стандарта

Приложение 1
к приказу АО «СО ЕЭС»
от _____№ _____

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

СТО 59012820.29.020.003-2016
(обозначение)
16.08.2016
(дата введения)

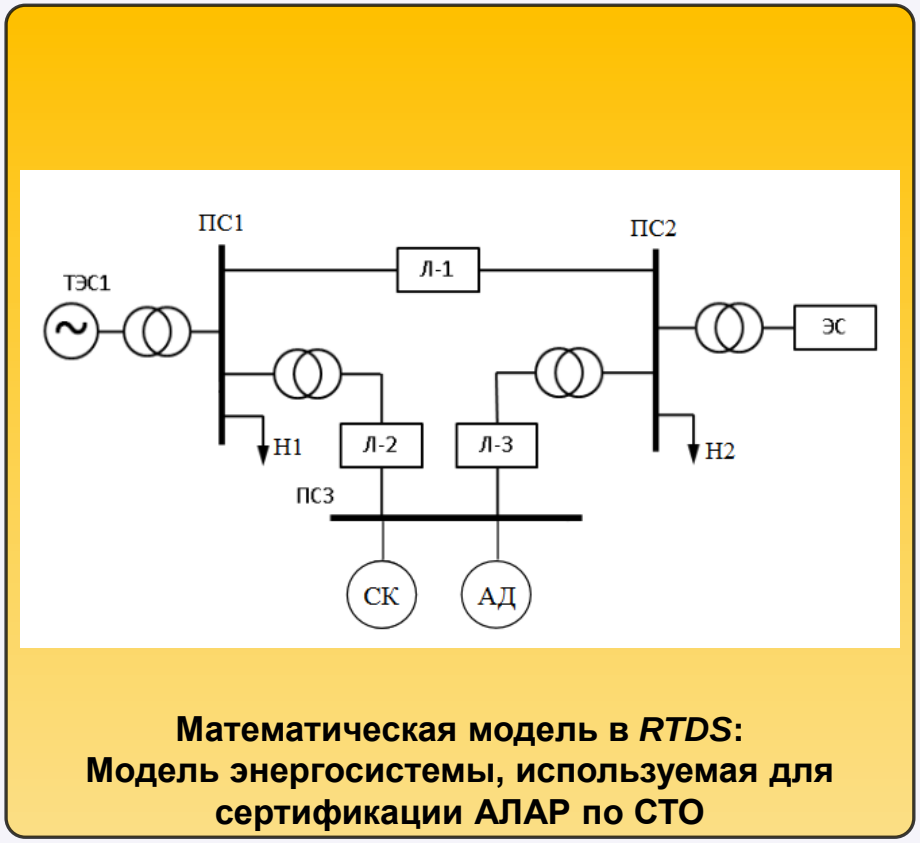
СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Микропроцессорные устройства автоматической частотной разгрузки. Нормы и требования

Издание официальное

Москва
2016

Требования к работе устройств АЛАР, требования к процедуре сертификации



Математическая модель в *RTDS*: Модель энергосистемы, используемая для сертификации АЛАР по СТО

Интерфейсные блоки

АЛАР-2

АЛАР-1

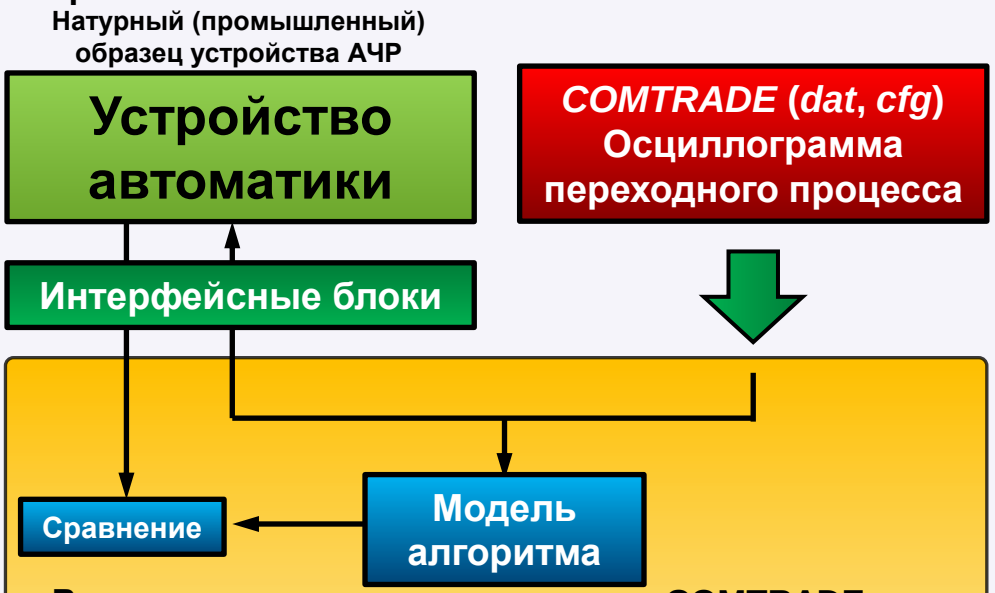
Результат работы: заключение о соответствии/несоответствии требованиям СТО; скорректированные алгоритмы функционирования АЛАР, соответствующие требованиям СТО

Анализ работы автоматики ограничения снижения частоты (АОСЧ) в энергосистеме

Задачи: анализ уставок АЧР энергосистемы при отделении энергосистемы на изолированную от ЕЭС России работу, анализ влияния на характер и максимальную величину снижения частоты энергосистемы при пуске АЧР по скорости изменения частоты

Этап 1

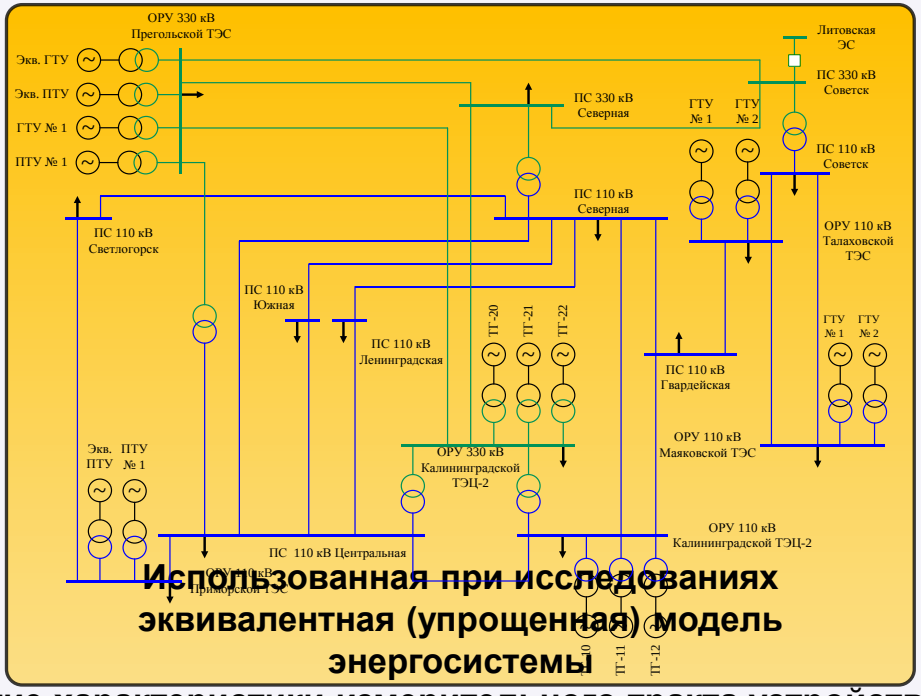
Воспроизведение динамических характеристик пускового органа АЧР по частоте на примере одного из устройств, реализующих такой орган. Создание моделей устройств АЧР для эквивалентной энергосистемы с учетом особенностей по созданию математических моделей и эквивалентных энергосистем



Воспроизведение осциллограммы COMTRADE для устройства автоматики и математической модели этого устройства

Этап 2

Создание модели энергосистемы, оснащенной проверенными моделями устройств АЧР, проведение исследований



Использованная при исследованиях эквивалентная (упрощенная) модель энергосистемы

Результат работы: модели алгоритмов, учитывающие динамические характеристики измерительного тракта устройства АЧР (могут использоваться в дальнейших исследованиях); заключение о корректности выбранных уставок АЧР

Выводы

В АО «НТЦ ЕЭС» программно-аппаратный комплекс моделирования энергосистем в режиме реального времени *Real Time Digital Simulator* (*RTDS*) используется для:

- исследовательских работ (например, проверка устройств СУРЗА, систем АОСЧ, работ по проверке параметров настройки АРВ);
- выполнения работ сертификации устройств (АРВ сильного действия, АЛАР, АЧР).

Примечание:

Ведется работа по созданию органов по добровольной сертификации следующих устройств:

- устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ/*PMU*);
- устройств автоматики разгрузки при перегрузке по мощности (АРПМ);
- устройств фиксации тяжести коротких замыканий (ФТКЗ);
- устройств автоматики ограничения повышения частоты (АОПЧ).

Спасибо за внимание!

https://www.ntcees.ru/

Спасибо за внимание!

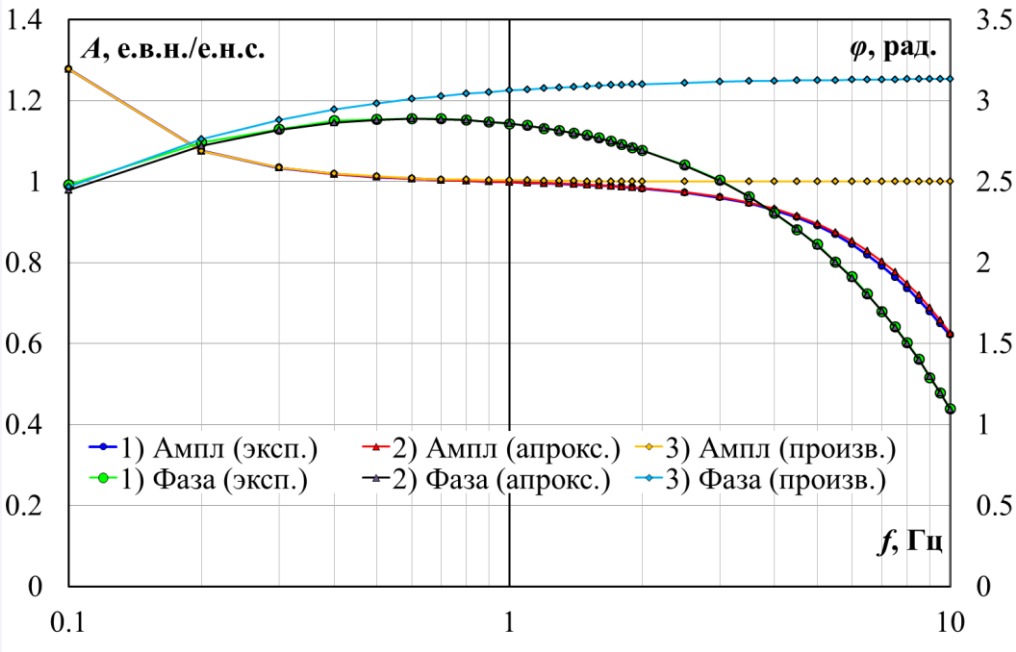
https://www.ntcees.ru/

https://www.ntcees.ru/departments/sections/rtds.php

Дополнительные материалы (1)

Получение экспериментальных частотных характеристик АРВ

- D.A. Kabanov, A.N. Kushnir, A.S. Zelenin, Obtaining the frequency responses of AVR in closed-loop system using the RTDS Simulator» // Корпоративный журнал RTDS News. – march 2015;
- Гуриков О.В. Зеленин А.С., Штефка Й. Методика построения математических моделей микропроцессорных АРВ по экспериментально снятым частотным характеристикам // Известия НТЦ ЕЭС. — СПб, 2016. — 75. — С. 178-181.



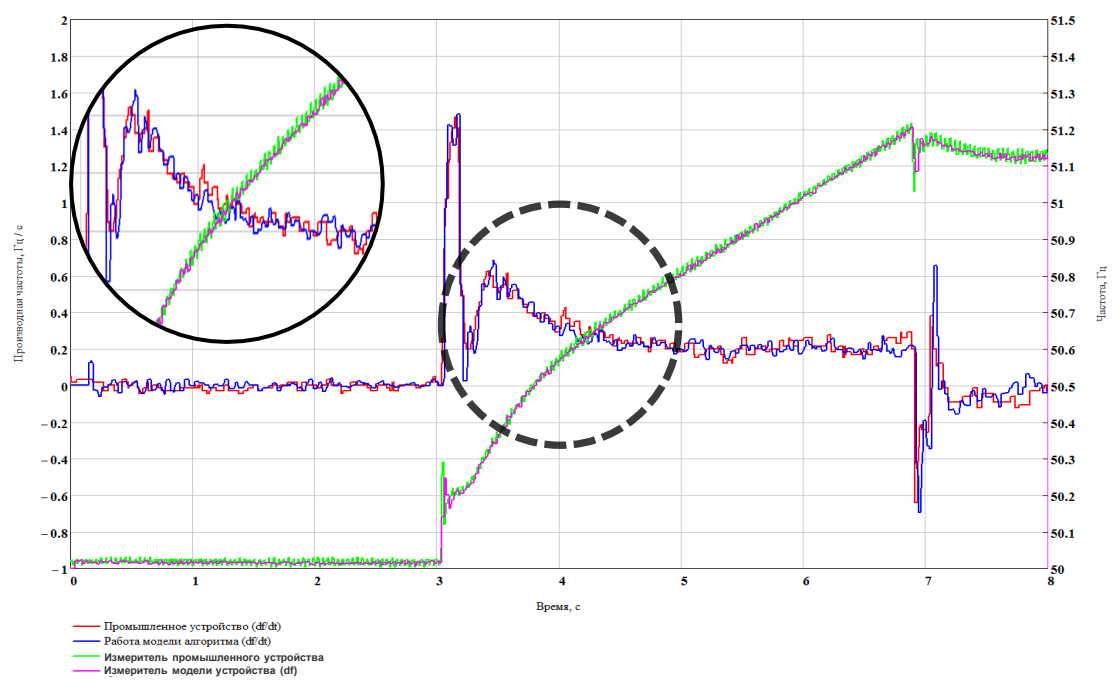
Сравнение частотных характеристик одного из каналов регулирования промышленного образца АРВ:

- Экспериментальная ЧХ (эксп.);
- Аналитически полученная с помощью методики построения моделей и аппроксимации экспериментальных ЧХ (апрокс.);
- ЧХ, построенная для исходной математической модели канала регулирования, предоставленной производителем (произв.).

Дополнительные материалы (2)

Анализ качества математической модели устройства АЧР с пусковыми органами по скорости изменения частоты в энергосистеме:

Презентация «Способы моделирования микропроцессорных устройств противоаварийного управления с использованием RTDS на примере реализации алгоритмов автоматики ограничения частоты» (Зеленин А.С.), круглый стол «Задачи и технологии моделирования РЗА» (Международная выставка производителей релейного оборудования 2016 год, Москва)



Сравнение сигналов по производной частоты напряжения, вычисленных в микропроцессорном устройстве и при помощи его модели.

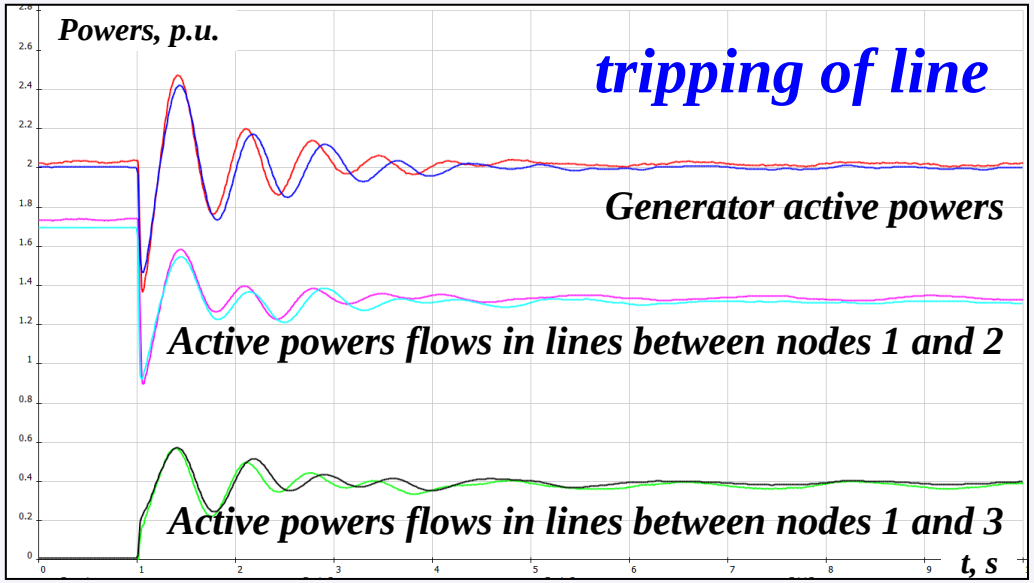
Эксперимент – повышение частоты напряжения в модели энергосистемы

Дополнительные материалы (3)

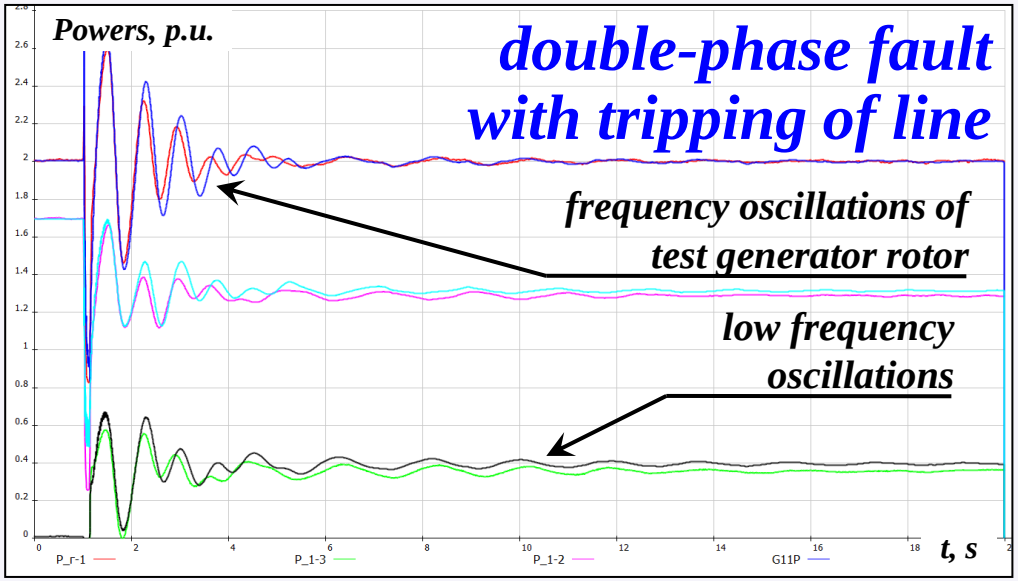
Разработка и верификация моделей энергосистем, созданных в ПАК РВ (*RTDS*)

Презентация «*Accuracy estimation of power system mathematical model and its individual elements in the RTDS Simulator using a Laboratory of Electric Power Systems Physical Modeling equipment*» (Зеленин А.С.) (европейская встреча пользователей *RTDS* 2014 год, Копенгаген)

Сравнение переходных процессов, полученных на «оригинале» (физическая модель, тестовая схема энергосистем, используемая для сертификации АРВ) и создаваемой схеме в *RTDS* :



Отключение ЛЭП



Двухфазное КЗ с отключением ЛЭП

Дополнительные материалы (4)

Разработка на ПАК РВ (*RTDS*) модели энергосистемы, используемой для сертификации АЛАР

Презентация «Подготовка расчетной модели на RTDS для проведения сертификационных испытаний устройств АЛАР» (Богданов А. Николаев А.В. Чаплюк С.В.) (https://www.ntcees.ru/departments/sections/test_ALAR.pdf)

Тестирование РЗА на ПАК РВ (RTDS) с использованием IEC-61850

Relay and Automation Testing with IEC 61850-9-2 LE (by the example of generator-transformer unit of Nizhny Novgorod HPP)
A.V. Bogdanov, P.V. Kabanov, O.V. Kirienko, M.I. Maltsev (европейская встреча пользователей *RTDS* 2014 год, Копенгаген)

(https://www.ntcees.ru/departments/sections/RTDS%20meeting%20Copenhagen%20presentation_nio-5.pdf)

Дополнительные материалы (5)

Стандарты:

- **Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов (СТО 59012820.29.160.20.001-2012);**
- **Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Автоматика ликвидации асинхронного режима (СТО 59012820.29.020.008-2015);**
- **Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Микропроцессорные устройства частотной разгрузки (СТО 59012820.29.020.003-2016).**