

Контроль устойчивости режима энергосистемы с распределенной генерацией

М.А. Шиллер

-аспирант кафедры АЭЭС

- главный специалист отдела оптимизации
режимов и общесистемных задач Филиала
ОАО «СО ЕЭС» Новосибирское РДУ

А.Г. Фишов, д.т.н., проф.

- заведующий кафедрой АЭЭС

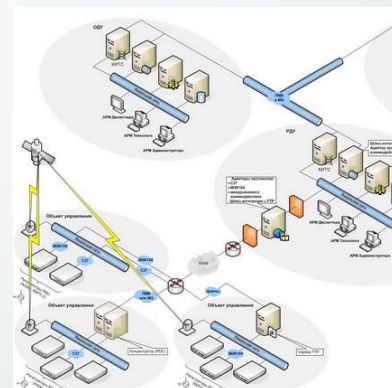
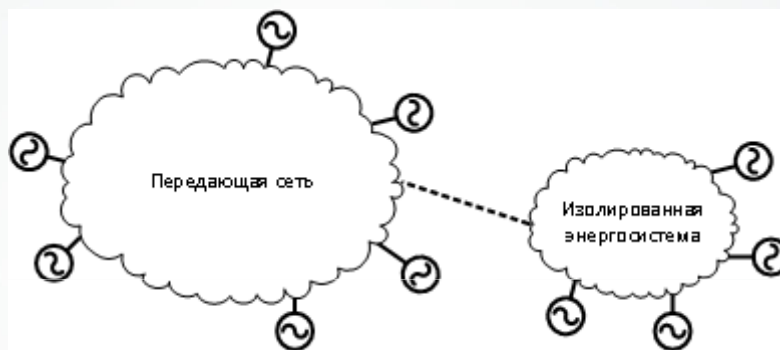


Научно-практический семинар

Проблемы подключения и эксплуатации малой генерацией

Екатеринбург, 12.02.2015

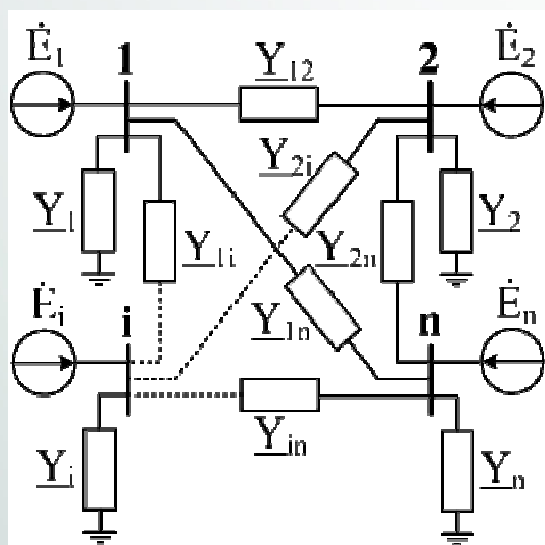
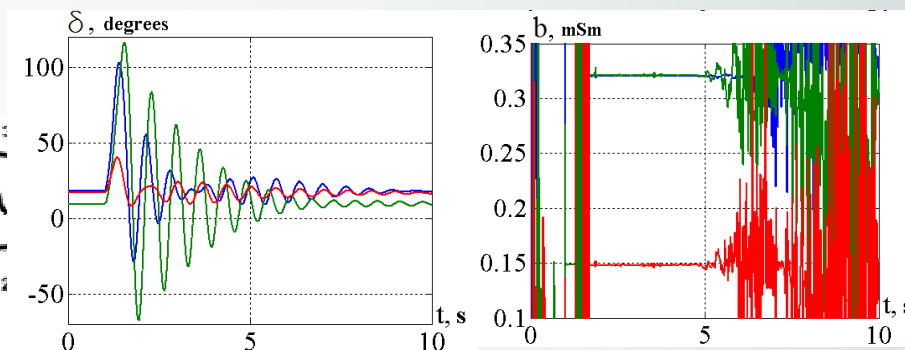
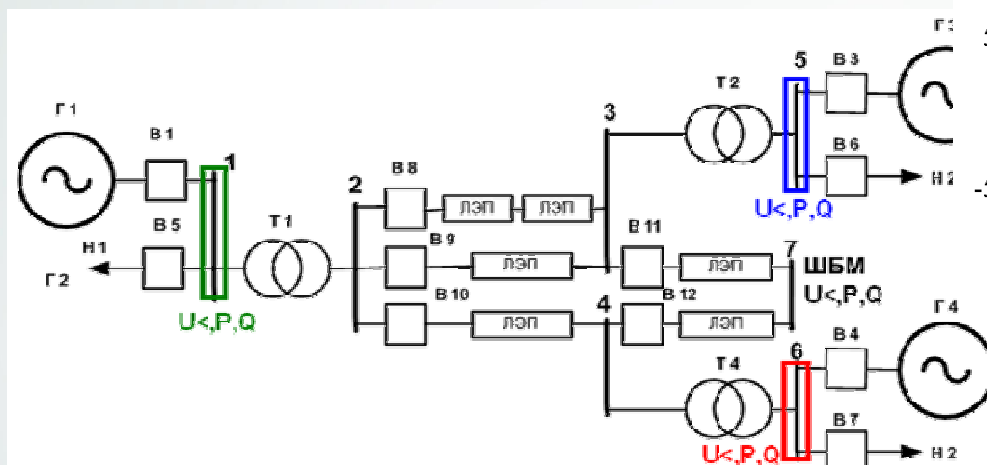
Предпосылки к созданию новых технологий контроля устойчивости режима ЭЭС



Контроль статической устойчивости по данным синхронизированных векторных измерений.

Теоретическая база

Модель энергосистемы



$$\text{diag}(\underline{E}^*) \cdot \underline{Y} \cdot \underline{E} = \underline{S}^*$$

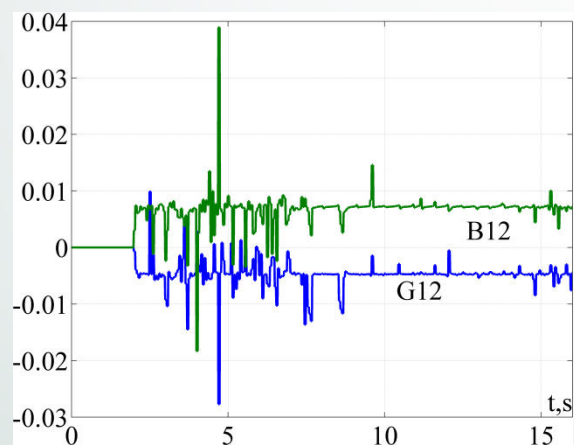
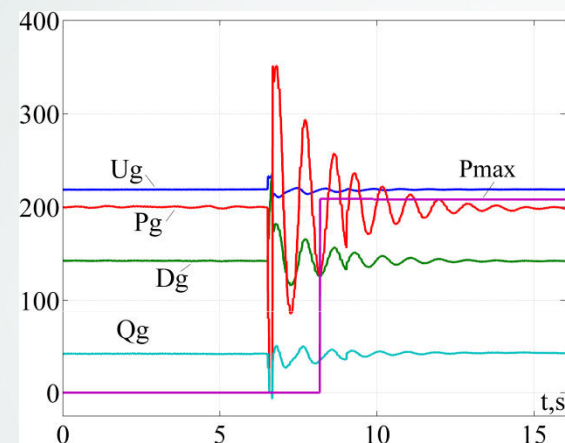
$$\underline{E}_i^* \sum_{j=1}^n \underline{Y}_{ij} \underline{E}_j = \underline{S}_i^* \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\underline{E}_i^* (\underline{E}^*)^T \underline{y}^{(t)} = \underline{S}_i^*$$

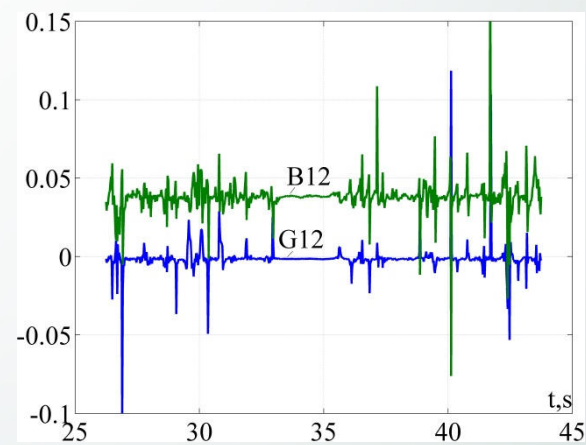
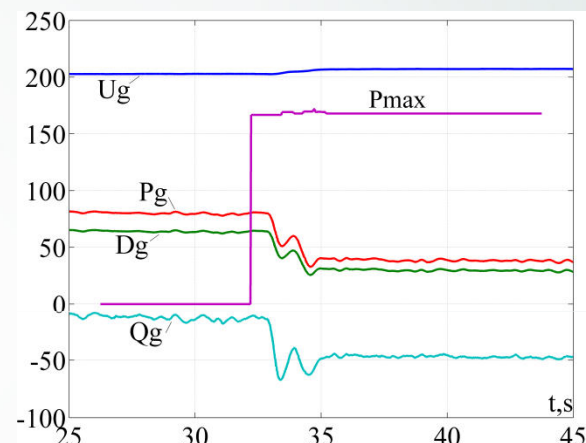
$$\underline{A} \cdot \underline{y} = \underline{S}^*$$

Контроль статической устойчивости по данным синхронизированных векторных измерений. Теоретическая база

Условия идентификации актуальной матрицы СВП



При спорадическом возмущении

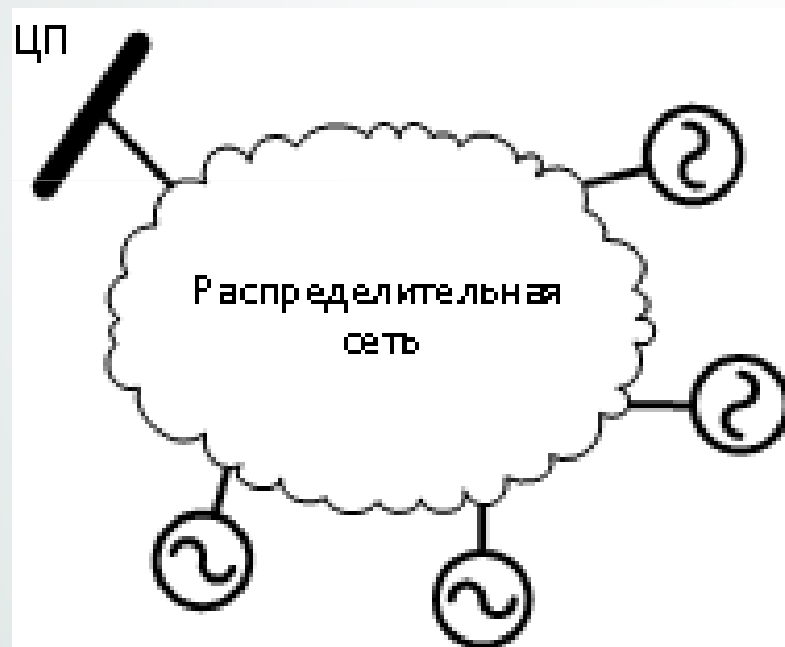


При оперативном управлении

Контроль статической устойчивости по данным синхронизированных векторных измерений.

Теоретическая база

Структура системы контроля ограничений
в сетях разного назначения



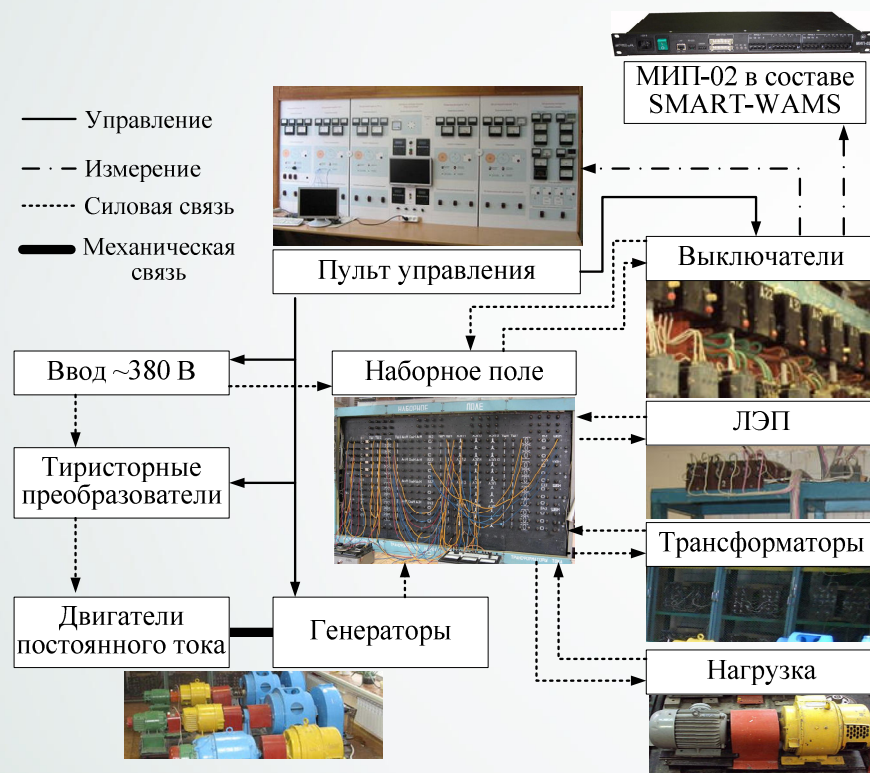
Одноуровневая система контроля



Двухуровневая система контроля

Макет системы контроля статической устойчивости по данным синхронизированных векторных измерений

Оборудование электродинамической модели (ЭДМ) НГТУ



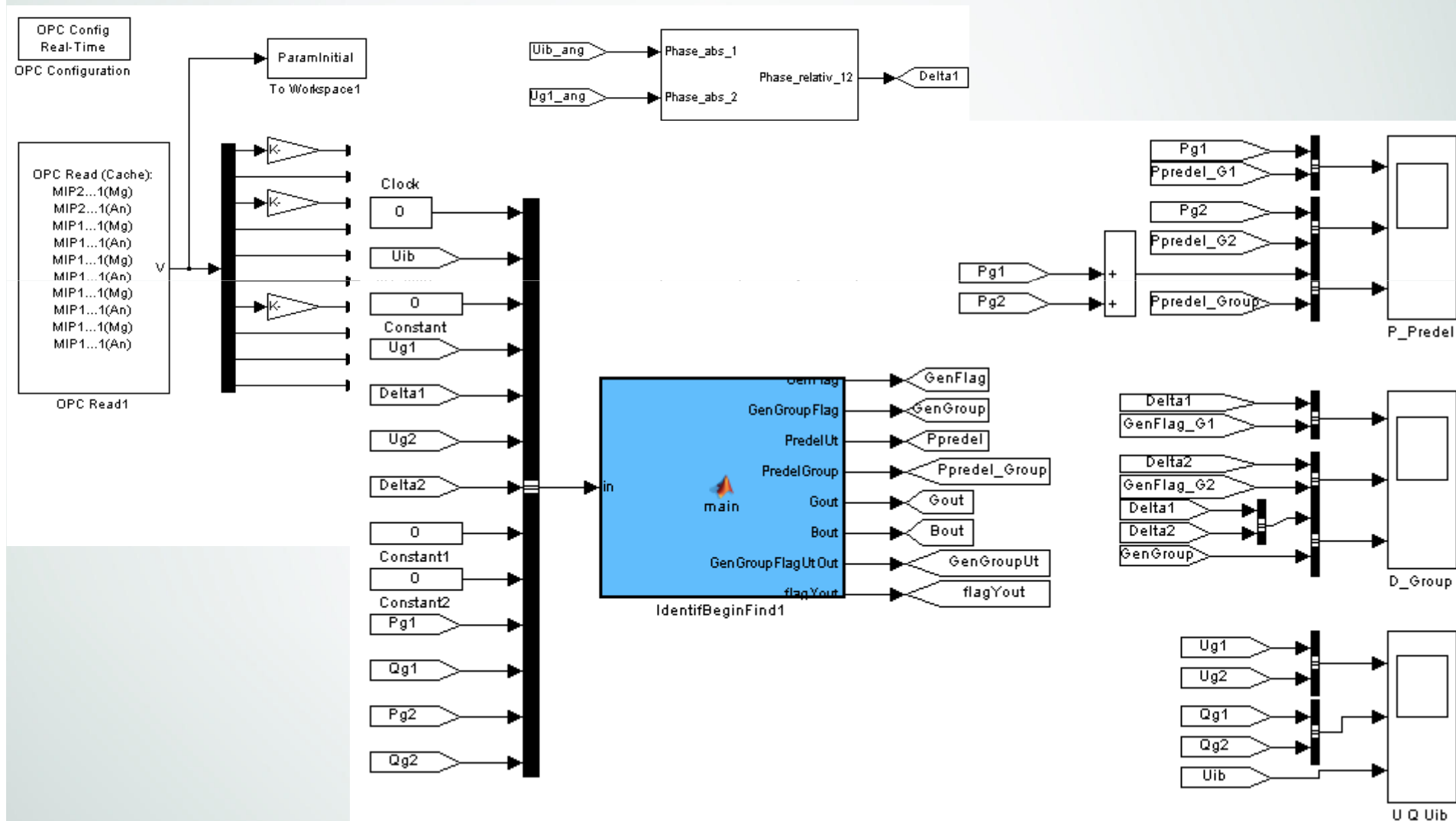
Основное оборудование ЭДМ



Функциональная схема системы SMART-WAMS

Макет системы контроля статической устойчивости по данным синхронизированных векторных измерений


Расчетная модель Simulink



Макет системы контроля статической устойчивости по данным синхронизированных векторных измерений

Блок-схема основного алгоритма





Макет системы контроля статической устойчивости по данным синхронизированных векторных измерений

Задачи при реализации

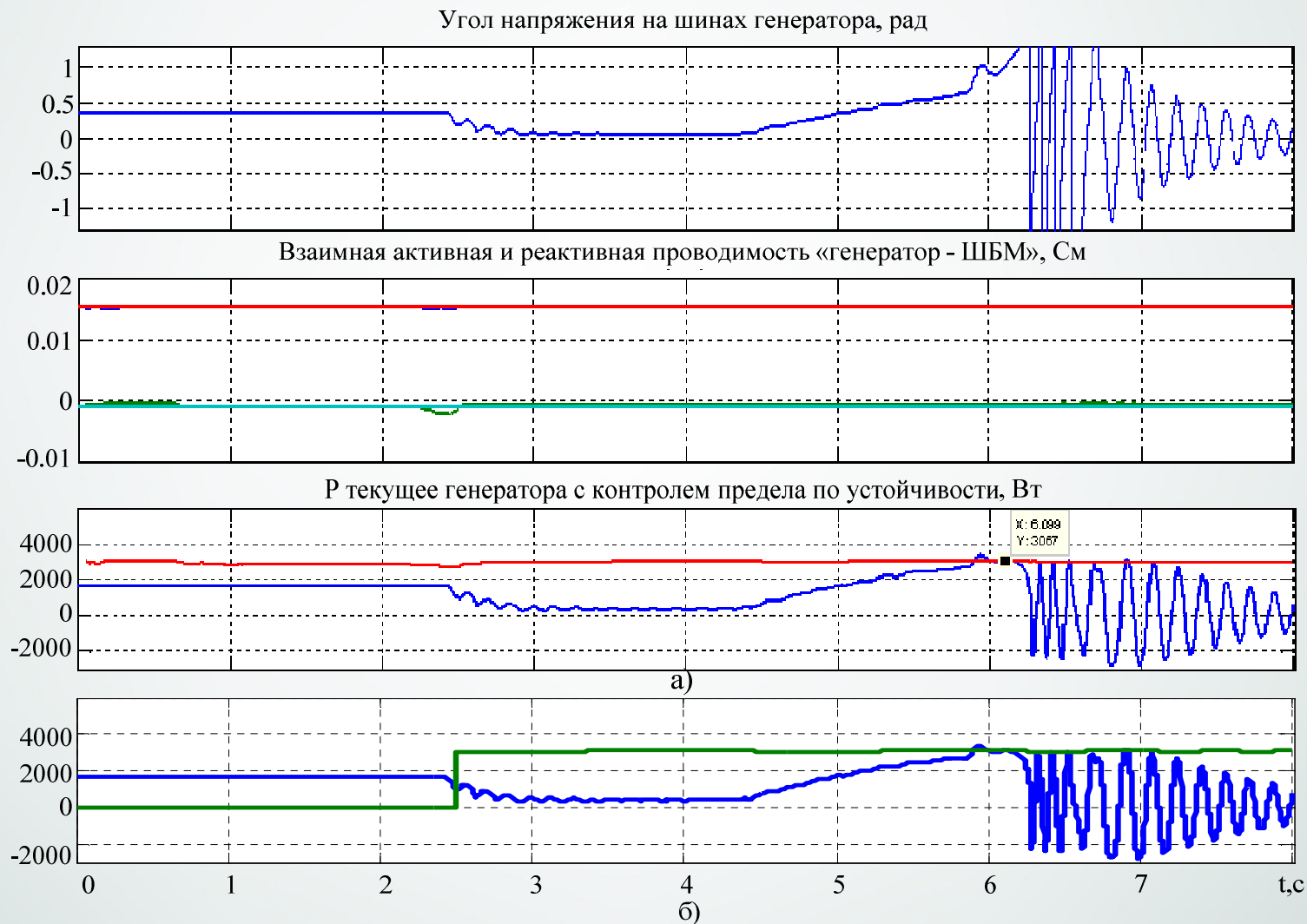
- Формализация условия выбора срезов режимных параметров для дополнения системы уравнений, приводящие к наилучшему с точки зрения точности результату решения системы уравнений.
- Учет возможную нестационарность системы.
- Принятие мер для борьбы с плохой обусловленностью матрицы коэффициентов системы уравнений.

Решение

- «Планирование эксперимента» (критерий D-оптимальности)
- Применение взвешенного метода наименьших квадратов
- Центрирование зависимых и независимых переменных

Макет системы контроля статической устойчивости по данным синхронизированных векторных измерений

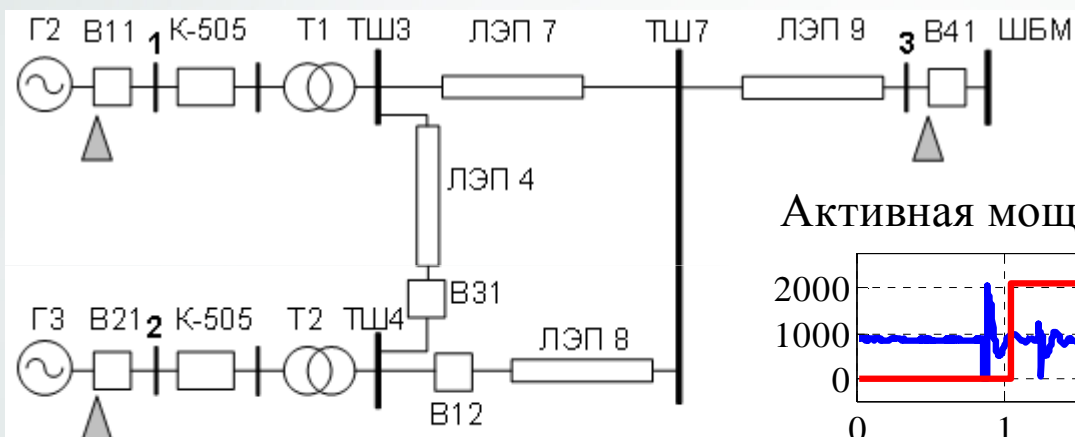
Расширение окна идентификации



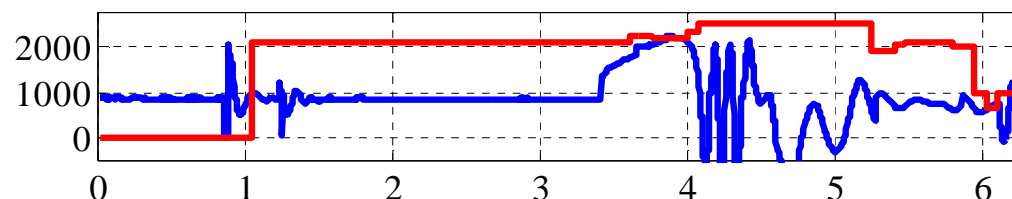
Макет системы контроля статической устойчивости по данным синхронизированных векторных измерений

Результаты испытаний

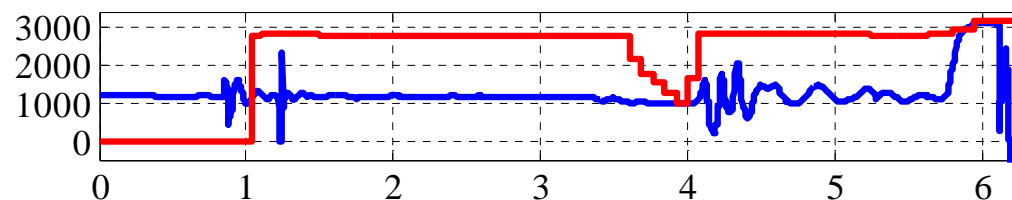
Опыт №1. Полная схема на рисунке 4, все выключатели включены
Возмущение режима: АПВ на выключателе В11, АПВ на выключателе В21



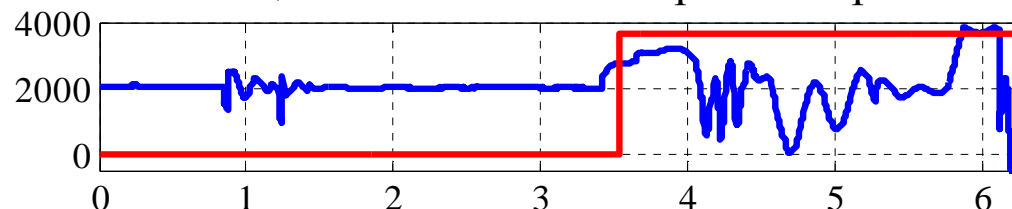
Активная мощность Г2 с контролем ограничения, Вт



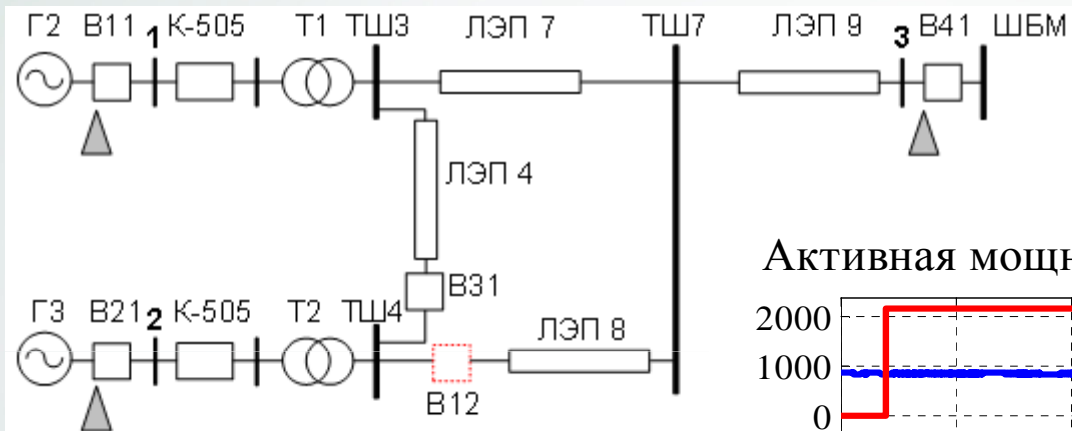
Активная мощность Г3 с контролем ограничения, Вт



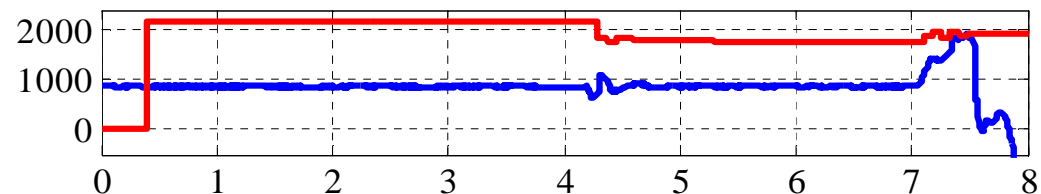
Активная мощность Г2+Г3 с контролем ограничения, Вт



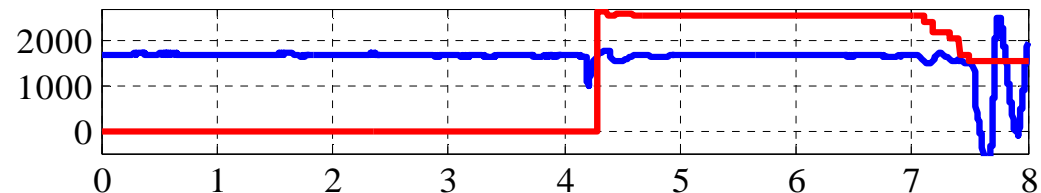
Опыт №2. Полная схема на рисунке 4,
все выключатели включены
Возмущение режима: отключение выключателя В12,
переход к цепочечной структуре



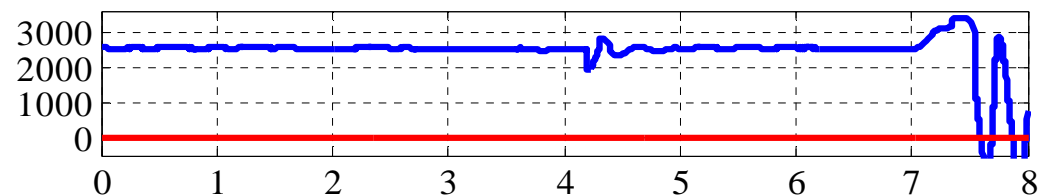
Активная мощность Г2 с контролем ограничения, Вт



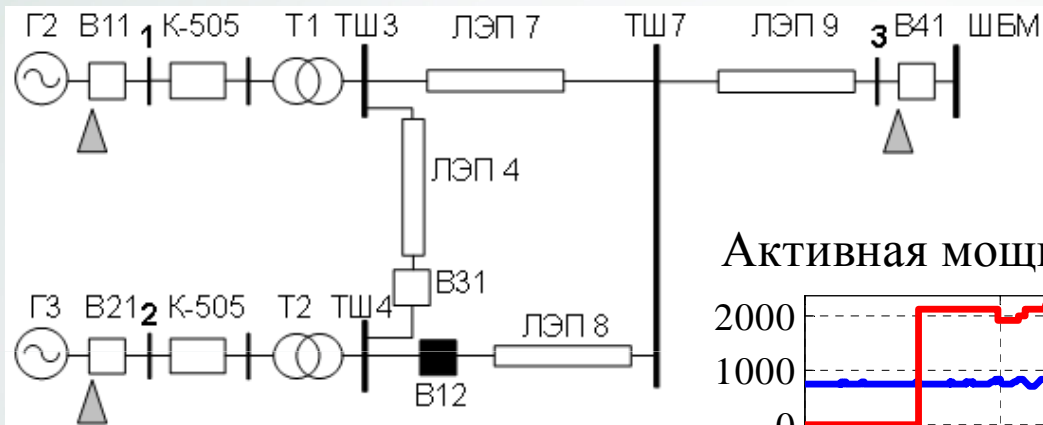
Активная мощность Г3 с контролем ограничения, Вт



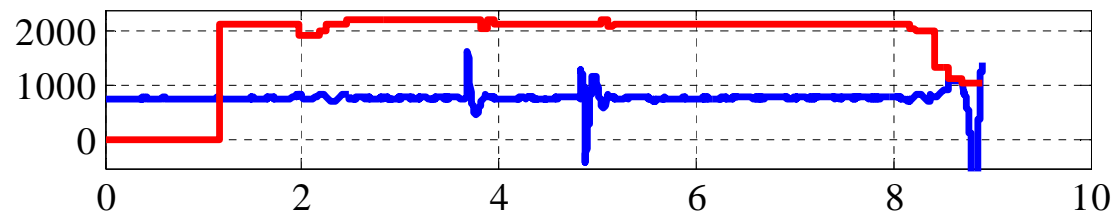
Активная мощность Г2+Г3 с контролем ограничения, Вт



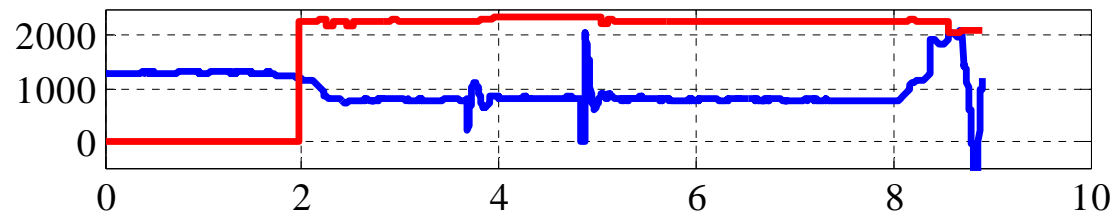
Опыт №3. В схеме на рисунке 4, В12 отключен,
цепочечная структура сети
Возмущение режима:
разгрузка Г3, АПВ на выключателе В11,
АПВ на выключателе В21



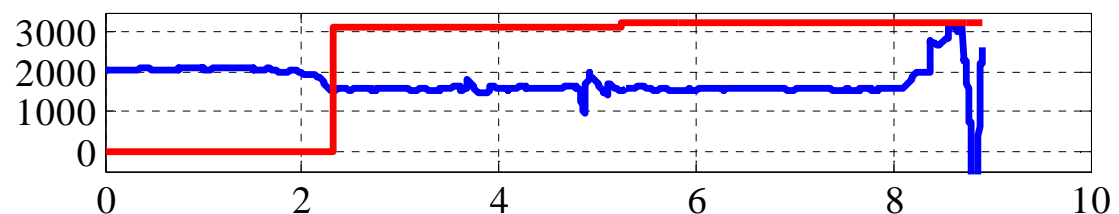
Активная мощность Г2 с контролем ограничения, Вт



Активная мощность Г3 с контролем ограничения, Вт



Активная мощность Г2+Г3 с контролем ограничения, Вт





Заключение

- Результаты испытаний макета подтверждена работоспособность разработанной технологии контроля статической апериодической устойчивости режима электроэнергетической системы и возможность ее реализации в режиме реального времени.
- Дополнительно выданы рекомендации: 1) провести испытаний с реальными сетями передачи данных или при их моделировании; 2) рассмотреть возможность корректировки алгоритма в части учета ложной гипотезы о структуре идентифицируемой модели при принятии решения об использовании для расчета ограничений по устойчивости (контроль ошибки определения структуры движения генераторов).
- Задача контроля статической устойчивости актуальна в рамках концепции построения локальных энергосистем, работа которых предполагается как локально, так и параллельно с энергосистемой; при наличии в распределительной сети нескольких удаленных друг от друга источников

ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЯ

Цель проведения испытаний - подтверждение работоспособности разработанной технологии контроля статической апериодической устойчивости режима электроэнергетической системы, возможности ее реализации в режиме реального времени.

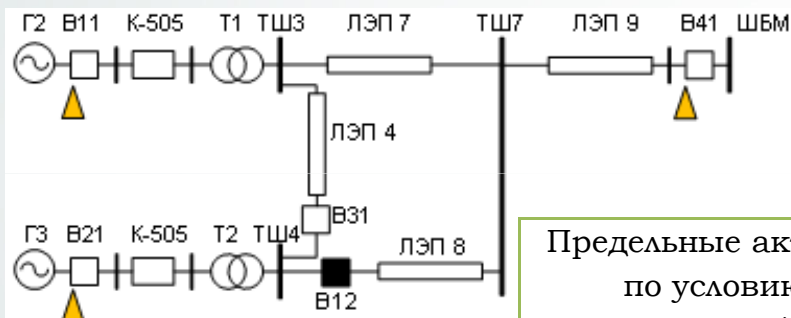
В ходе проведения испытаний выполняется:

1. проверка правильности распознавания вида режима по интенсивности изменения параметров с фиксацией условий для определения взаимных проводимостей между ЭДС генераторов или их синфазных групп;
2. проверка согласованности элементов матрицы СВП, определяемых по данным переходных процессов (при электромеханических колебаниях, при оперативных изменениях режима, при стохастических колебаниях установившихся режимов), с предварительно рассчитанными путем эквивалентирования схемы замещения для ЭЭС различной структуры;
3. проверка точности определения предельных активных мощностей генераторов по условию статической апериодической устойчивости
 - при спорадическом возмущении по данным затухающего электромеханического переходного процесса;
 - при оперативном управлении мощностью генераторов путем проведения опытов последовательного нагружения включенных в схему генераторов до выхода из синхронизма;
4. проверка без аварийной работы системы.

Влияние точности синхронизации измерений на точность определения ограничения по статической устойчивости

Согласно [1] погрешность присвоения меток времени составляет ± 1 мс.

Согласно [2] для минимизации погрешности синхронизации применяется оборудование (источники точного времени, устройства СВИ), функционал которых предусматривает компенсацию задержки времени передачи сигнала PPS, а также многоканальные волоконно-оптические линии задержки.



Предельные активные мощности по условию статической устойчивости	При точной синхронизации	При смещении измеренных угловых величин в 1 мс
$P_{Г1}/P_{Г2}$ измер	1284/2195	1284/2195
$P_{Г1}/P_{Г2}$ расчет	1274/2190	1231/2144
$\sigma_P, \%$	0.7/0.2	4.3/2.4
$P_{Г2}+P_{Г3}$ измер	3460	-
$P_{Г2}+P_{Г3}$ расчет	3551	-
$\sigma_P, \%$	-2.6	-

Источники:

[1] – Преобразователи измерительные многофункциональные МИП-02(Е)А-40.01 Руководство по эксплуатации ЛКЖТ2.721.004-44 РЭ, 2001 ЗАО «РТСофт»

[2] – А.В. Жуков, Д.М. Дубинин Внедрение ПТК СМПР на объектах электроэнергетики: эффективный инструмент повышения надежности энергосистем // Релейщик.- Москва: Издательский дом «Вся электротехника», 2013. - №3(16). – С.36-42