



PS5 – S2-04



Глобальная система мониторинга переходных режимов

Т. БАБНИК¹, К. ГЕРНЕР², Б. МАХКОВЕЦ¹, К. ПЕТАНЦ²
ELPROS¹, TU Dortmund University²
Словения¹, Германия²
tadeja.babnik@elpros.si

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СМНР, векторные регистраторы параметров режима ЭЭС, глобальная система мониторинга переходных режимов.

1 ВВЕДЕНИЕ

Большинство энергосистем было построено в шестидесятых-семидесятых годах прошлого века. Основной целью межгосударственных линий передачи является обмен резервами мощности и обеспечение наилучших частотных характеристик, нормальных режимов работы по напряжению и, как следствие, обеспечение высокого качества энергоснабжения.

Рынок электроэнергии и возможность закупки электроэнергии в Восточной Европе привели к тому, что линии передач объединенной системы в рамках Европейской сети операторов систем передачи электричества (ENTSO-E) превысили свои проектные возможности.

Кроме сложившегося рынка электроэнергии в энергосистему включаются все больше и больше новых и возобновляемых источников энергии, таких как ветроэнергетика и источники фотоэлектрической энергии. Возобновляемые источники энергии представляют собой недетерминированные источники энергии, и они приносят новые проблемы в устойчивость работы энергосистемы.

Рынок электроэнергии и желание использовать энергосистему «по максимуму» приводят к тому, что надежность энергосистем находится на пределе своих возможностей. Недавние аварийные отключения электроэнергии демонстрируют, что высокий уровень надежности и устойчивости в работе объединенных энергосистем недостижим без глубокого знания системы и полного мониторинга всей системы в целом. Надежная работа системы достигается только в том случае, если системные операторы линий передачи (TSOs) обладают достоверной информацией о состоянии всей системы.

Стандартная система SCADA ограничена (диспетчерская система управления и сбора данных) обеспечением устойчивой информацией о несинхронно работающих частях системы с разрешением от 1 до 10с. Стандартные системы SCADA ограничены измерениями в стационарном режиме и не могут использоваться для отслеживания состояния системы в динамическом режиме. Использование СМНР (Глобальная Система Мониторинга Переходных Режимов) позволяет проводить постоянной мониторинг динамических характеристик системы. СМНР обеспечивает подачу синхронизированной во времени информации каждые 20 мс (в системах с частотой 50 Гц); причем каждой выборке данных присвоена метка универсального глобального времени (UTC). Кроме того данные синхронизированы с точностью до 1 мс.

Для крупных объединенных систем, таких как ENTSO-E RG Continental Europe и IPS/UPS очень важной является надежная работа межсистемных связей. В каждом объединении

энергосистем имеется несколько системных операторов. Информация от всех системных операторов в реальном времени необходима для отслеживания текущего состояния объединенной энергосистемы. Для объединенных энергосистем необходимы Глобальные системы мониторинга переходных режимов (LS) WAMS).

В данной статье представлена работа, осуществленная в рамках проекта ICOEUR (Интеллектуальная Координация Оперативного и Противоаварийного Управления Энергообъединениями Европейского Союза и России) [1] относительно совместного использования концентратора данных (PDC) в системе глобального мониторинга переходных режимов.

В первой части документа дается краткое описание концепции Глобальной системы мониторинга переходных режимов (LS-WAMS). Во второй части представлена система мониторинга переходных режимов 230В (Ввиду того, что система связи сетевого оператора закрыта для внешних пользователей и, естественно, отсутствует доступ к данным векторных регистраторов (PMU), для проведения испытаний была построена низковольтная система мониторинга (230В) на базе регистраторов, расположенных в различных странах Европы и комплексном концентраторе данных, который был установлен в Словении. В третьей части документа рассматриваются события, зарегистрированные СМПП 230В. Четвертая часть посвящена сопоставлению данных, полученных на базе событий, отслеженных на сети низкого напряжения (230В) и высоковольтной сети (400кВ). В работе представлены выводы по сравнению данных колебаний частоты энергосистемы по низкому и высокому напряжениям, а также низкочастотные колебания с учетом разности фазовых углов напряжения.

2 КОНЦЕПЦИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ СМПП

2.1 Централизованная ГСМПП

В централизованную СМПП входит только один концентратор данных измерения угла, который производит сбор данных со всех источников. Такими источниками могут быть:

- Устройства PMU (Векторный регистратор параметров режимов (устройство измерения фазовых углов))
- Местные концентраторы СМПП независимых системных операторов.

Преимущества

- Доступ ко всем данным возможен из одного места. Имеется возможность проведения широкомасштабного анализа устойчивости.
- Проведение скоординированных аварийных и восстановительных мероприятий при обнаружении событий (аварийный режим)
- Удобство координирования административных мероприятий, поскольку организация обмена данными между сетевыми операторами и централизованными СМПП устанавливается только один раз.

Недостатки

- В случае выхода из строя концентратора происходит отказ всей системы (Это устраняется при помощи системы резервирования).
- Вся система выходит из строя в случае повреждения связи.

2.2 Распределенные ГСМПП

Распределенные ГСМПП включают несколько концентраторов данных измерения угла, которые могут работать на следующих уровнях:

- Системный оператор
- Регион, состоящий из нескольких стран

Источниками данных могут быть:

- Устройства PMU
- Местные концентраторы данных СМПП от независимых сетевых операторов.

Преимущества

- Повышенная надежность при отказе отдельного устройства, поскольку остальные устройства продолжают работать на ограниченном объеме информации.

Недостатки

- Меньший объем данных не позволяет проводить анализ устойчивости в широком масштабе.
- Ускоренная передача данных благодаря тому, что на несколько распределенных СМПР передаются одни и те же данные.
- Сложность проведения координированных действий при регистрации аварийных событий.
- Повышенные издержки при внедрении.

3 НИЗКОВОЛЬТНЫЕ СМПР

Ввиду недоступности линии связи сетевого оператора для внешних пользователей и, естественно, отсутствия доступа к векторным регистраторам параметров режима (PMUs), установленным на линии передачи электроэнергии, для проведения испытаний была построена централизованная низковольтная СМПР 230В. Векторные регистраторы подключаются к сетевым розеткам (230В) в университетах и институтах. На Рис.1 представлен принцип действия СМПР:

- Устройства сбора данных PMU установлены в различных местах по всей Европе. Эти приборы (PMU) согласно межсетевым объединениям принадлежат различным региональным группам (РГ), например, РГ Континентальная Европа, РГ Страны Балтии, РГ Великобритания.
 - Континентальная Европа:
 - Дортмунд (Германия)
 - Алмело (Нидерланды)
 - Любляна (Словения)
 - Бухарест (Румыния)
 - Страны Балтии:
 - Рига (Латвия)
 - Великобритания:
 - Глазго
 - Манчестер
 - Лондон
 - Бирмингем
- В качестве концентратора данных (PDC) использовалась система WAProtector установленная в Любляне. Она производила сбор данных от устройств PMU по стандартному интернет-соединению. Для связи между PMUs и PDC использовалась общественная связь по Интернету.
- Просмотр данных производился по ПО SCADA, которое является неотъемлемой частью WAProtector.

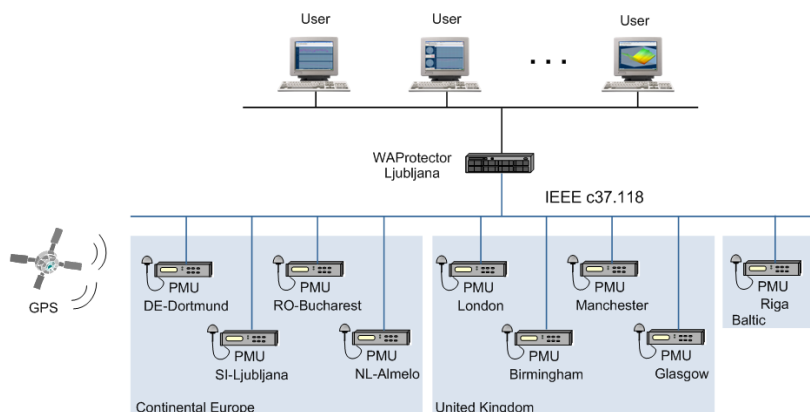


Рис. 1: Конфигурация низковольтной системы WAMS

Кроме функций концентратора данных система WAProtector способна производить:

- Сбор данных от устройств PMU,
- Мониторинг разности фазовых углов,
- Отслеживание низкочастотных колебаний на основании разности фазовых углов и частоты,
- Отслеживания понижения/повышения частоты,
- Обнаружение понижения/повышения напряжения,
- Архивирование данных в циклической базе. Archiving of data into cycling data base. Хранение производится за последние 14 суток с частотой выборки 20мс.
- Визуализация данных с возможностью экспорта. На Рисунке 2 представлен пример визуализации.

4 СОБЫТИЯ, ЗАФИКСИРОВАННЫЕ СИСТЕМОЙ LV-WAMS

Проект LV-WAMS начался в марте 2009 года. С того времени было зафиксировано несколько незначительных событий. Ниже приведены три отслеженных события:

- Незатухающие низкочастотные колебания.
- Повторное включение линии 400кВ.
- Низкочастотные колебания, вызванные синхронизацией Турецкой энергосистемы с объединенными системами Континентальной Европы.

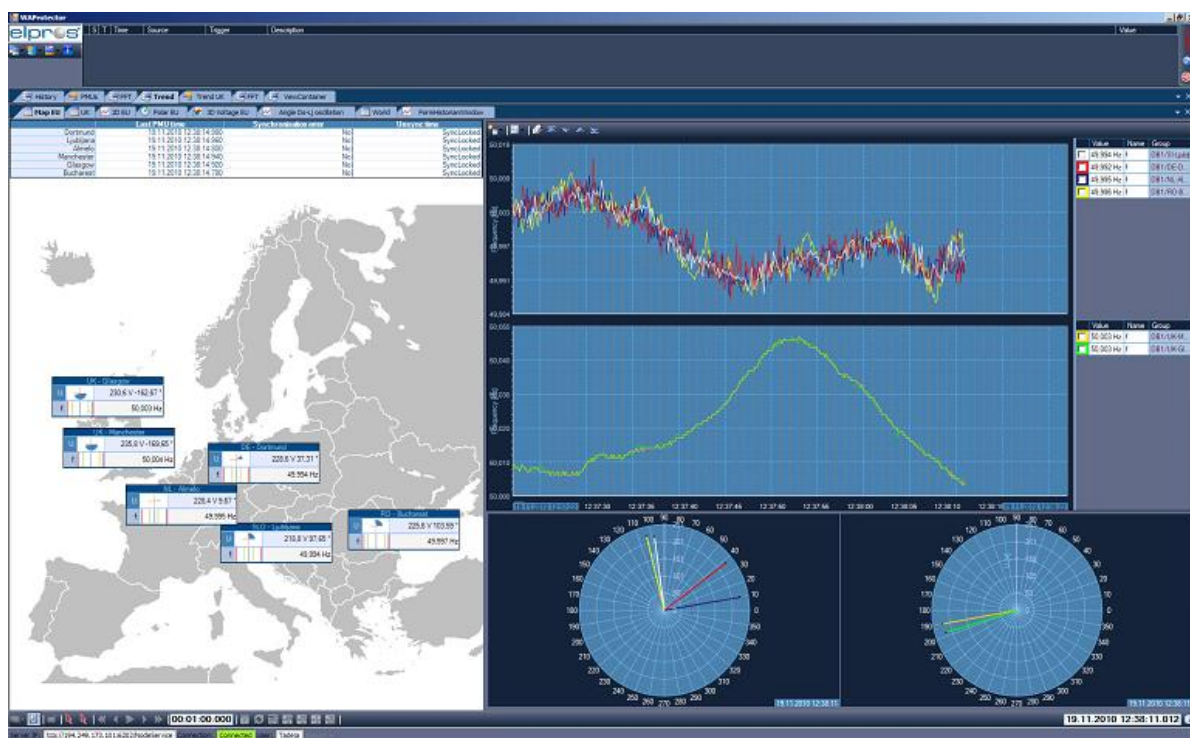


Рис. 2: Пример визуализации WAProtector

4.1 Регистрация незатухающих низкочастотных колебаний

22 сентября 2009г. в 03.02:10 утра были зафиксированы незатухающие колебания разности фазовых углов напряжения между энергосистемами Дортмунда и Любляны. Колебательные явления также наблюдались и на частоте энергосистемы. Доминирующая частота колебаний составляла около 0,5 Hz. Продолжительность незатухающих колебаний составила не более 2 минут. Регистрация события представлена на Рисунке 3. Здесь представлено значение напряжения, разность величины фазовых углов между системами Дортмунда и Любляны, доминирующая частота колебаний, величина колебаний и частота. Временное окно 3 минуты.



Рис. 3: Временное окно регистрации 3 минуты. На первом графике представлена разность фазовых углов напряжения между Дортмундом и Любляной. На второй – величина колебаний фазовых углов напряжений между Дортмундом и Любляной. Третий график показывает доминирующую частоту колебаний фазовых углов напряжения между Дортмундом и Любляной. На четвертом графике представлены зафиксированные частоты для Дортмунда (красная кривая) и для Любляны (белая кривая)

На основании ранее проведенных экспериментов [2] можно судить о том, что причиной незатухающих низкочастотных колебаний может быть нештатная работа генераторного блока. Вышеуказанные данные показывают, что величина колебаний частоты в системе Дортмунда выше, чем в системе Любляны. Отсюда можно сделать вывод, что источник аномального режима находится в той части Европы, которая ближе к Дортмунду.

На основании зарегистрированных событий мы можем сделать вывод, что события (низкочастотные колебания), возникающие в одной части сети электропередачи, оказывают негативное влияние на всю систему в целом, и могут быть с успехом отслежены со стороны низкого напряжения.

4.2 Регистрация повторного включения линии 400кВ Словения-Италия

На рисунке Figure 4 показана запись, произведенная во время повторного включения линии 400кВ между Словенией и Италией. Временное окно – одна минута. На первом графике – разность фазовых углов напряжения между системами Дортмунда и Любляны. На втором – величины напряжений в энергосистемах Любляны, Дортмунда, Алмело и Бухареста. На третьем – частоты систем Любляны (белая кривая), Дортмунда (красная), Алмело (синяя) и Бухареста (зеленая).

Повторное включение линии оказывает сильное влияние на величины напряжения и частоты энергосистемы Словении. Кроме того оно вызвало изменение разности фазовых углов напряжения между системами Дортмунда и Любляны величиной примерно 7°.

Такое явление как повторное включение линии может быть интерпретировано как ступенчатая характеристика (отклик на скачок) и может использоваться для проверки во время моделирования элементов энергосистемы.

4.3 Отслеживание синхронизации Турецкой энергосистемы с объединенными системами Континентальной Европы.

Низкочастотные колебания объединенной энергосистемы Центральной Европы можно подразделить на четыре доминирующих межсистемных режима (общие режимы) в диапазоне частоты от 0,2 до 0,5Гц [3]. После запланированного объединения с энергосистемой Турции ожидается новый Общий режим (Турецкий) с частотой в районе 0,15Гц.

18 сентября 2010г. в 9:25 утра турецкая энергосистема была синхронизирована с объединенными энергосистемами Континентальной Европы [4]. После объединения ENTSO-E с турецкой энергосистемой были зарегистрированы новые низкочастотные колебания,

показанные на Рисунке 5, и которые представлены в анализе Фурье по разности фазовых углов напряжения между энергосистемами Дортмунда и Любляны. Временное окно составило 2 дня. До синхронизации с энергосистемой Турции мы можем увидеть наличие постоянных доминирующих частот в диапазоне 0,2 и 0,3 Гц и в диапазоне 0,3 и 9,4 Гц. После синхронизации наблюдались постоянные колебания в диапазоне 0,1-0,2 Гц.

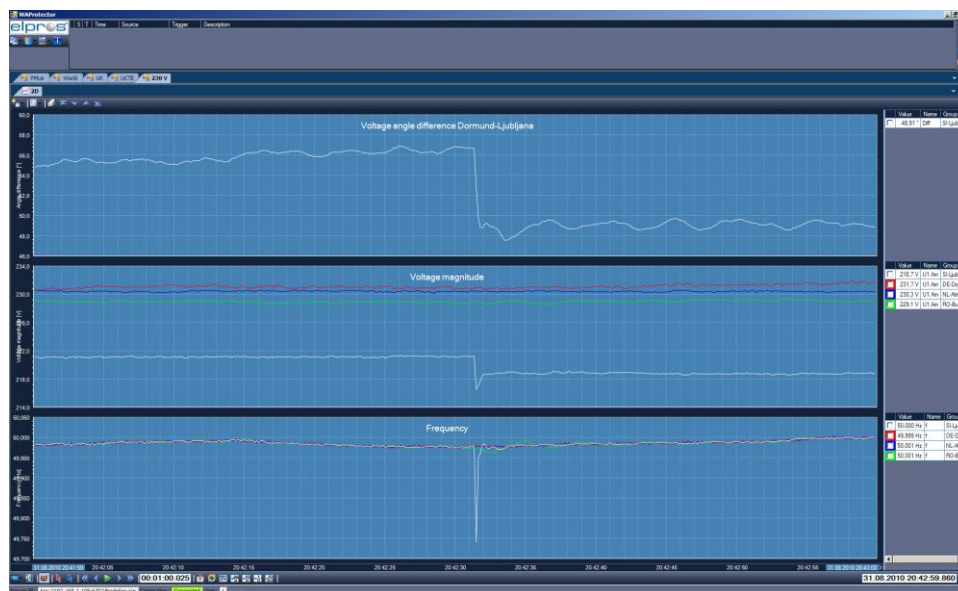


Рис. 4: Повторное включение линии 400кВ между Любляной и Италией. Временное окно - 1 минута. На первом графике показана разность фазовых углов напряжения между энергосистемами Дортмунда и Любляны. На втором дается величина напряжения в энергосистемах Дортмунда, Любляны, Алмело и Бухареста. Третий график - это частота в энергосистемах Дортмунда, Любляны, Алмело и Бухареста

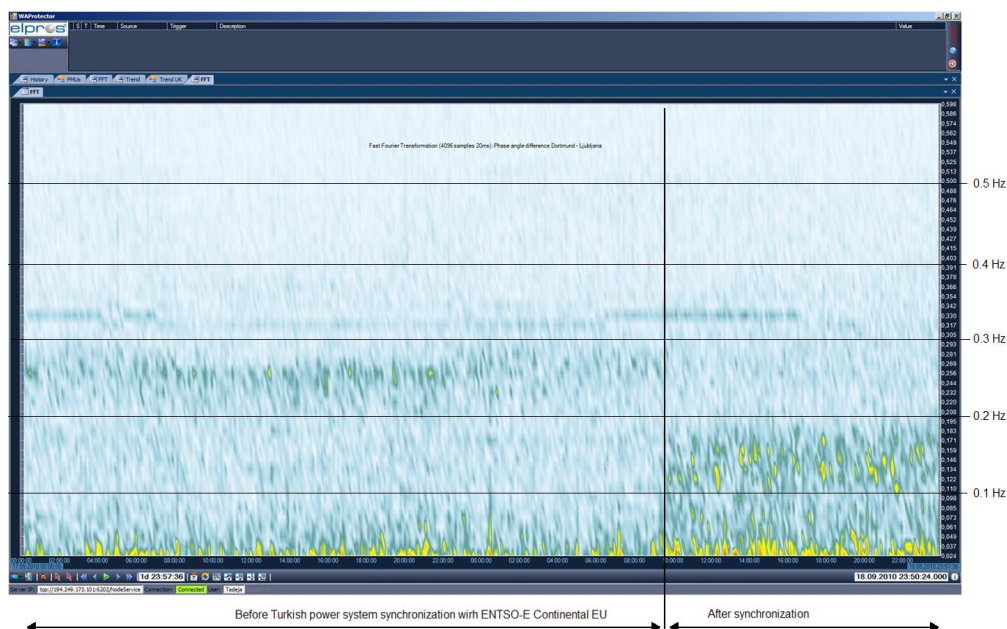


Рис. 5: Постоянные доминирующие низкие частоты до и после синхронизации Турецкой энергосистемы с объединенными энергосистемами Континентальной Европы. Анализ Фурье проводился на разности фазовых углов напряжения между энергосистемами Дортмунда и Любляны

Один из примеров низкочастотных колебаний (0,15 Гц) приведен на Рисунке 6. Он представляет собой разность фазовых углов напряжения между энергосистемами Дортмунда и

Бухареста, величины колебаний и частоты в системе Дортмунда (красная кривая), Любляны (белая кривая) и Бухареста (зеленая кривая). Временное окно - одна минута.

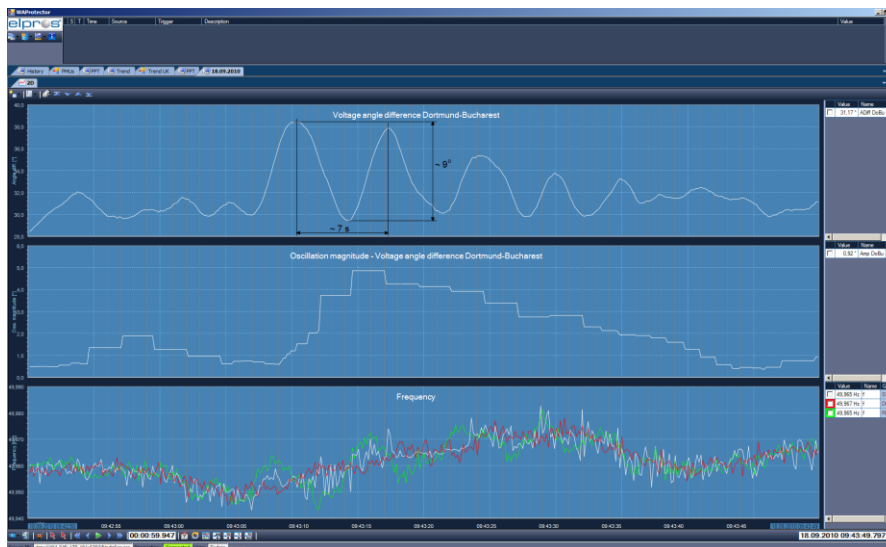


Рис. 6: Низкочастотные колебания ($\sim 0,15$ Гц) зафиксированные на разности фазового угла напряжения между энергосистемами Дортмунда и Бухареста.

5 СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ НИЗКОВОЛЬТНОЙ (230В) И ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ (400 КВ) СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ СОБЫТИЙ

5.1 Событие: незатухающие колебания

Зарегистрированные незатухающие колебания частоты представлены на Рисунке 7. Первый график представляет собой частоту в энергосистемах Дортмунда и Любляны, отслеженную СМРР 230В, а второй график – частоту на подстанции 400кВ Дивац в Словении, отслеженную СМРР 400кВ.

Выводы: мы можем видеть, что колебания, зарегистрированные в энергосистемах 400кВ и 230В в Словении, находятся в строгой зависимости от величины колебаний и частоты.

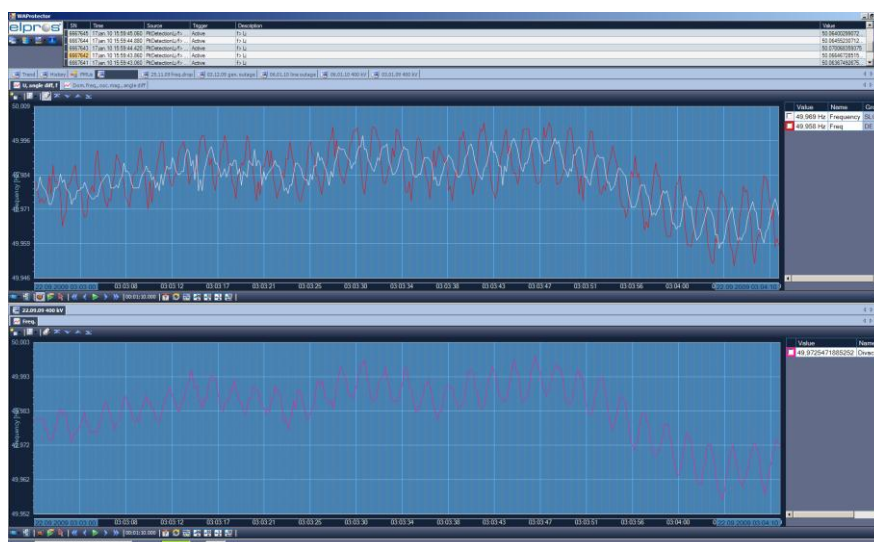


Рис. 7: Незатухающие колебания. Временное окно - одна минута 10 секунд. Первый график представляет собой частоту, отслеженную СМРР 230В. Второй график – частота на подстанции Дивац (Словения), зарегистрированная СМРР 400кВ.

5.2 Событие: повторное включение линии передачи 400кВ Словения-Италия

На Рисунке 8 приводится сравнение данных по частоте высокого и низкого напряжений во время повторного включения линии передачи 400кВ Словения-Италия. Первый график представляет собой частоту в энергосистемах Дортмунда, Любляны, Алмело и Бухареста, отслеженную СМПР 230В. На втором графике – колебания частоты, зарегистрированные на трех подстанциях 400кВ Словении (Диваца, Берисево и Крско) СМПР 400кВ.

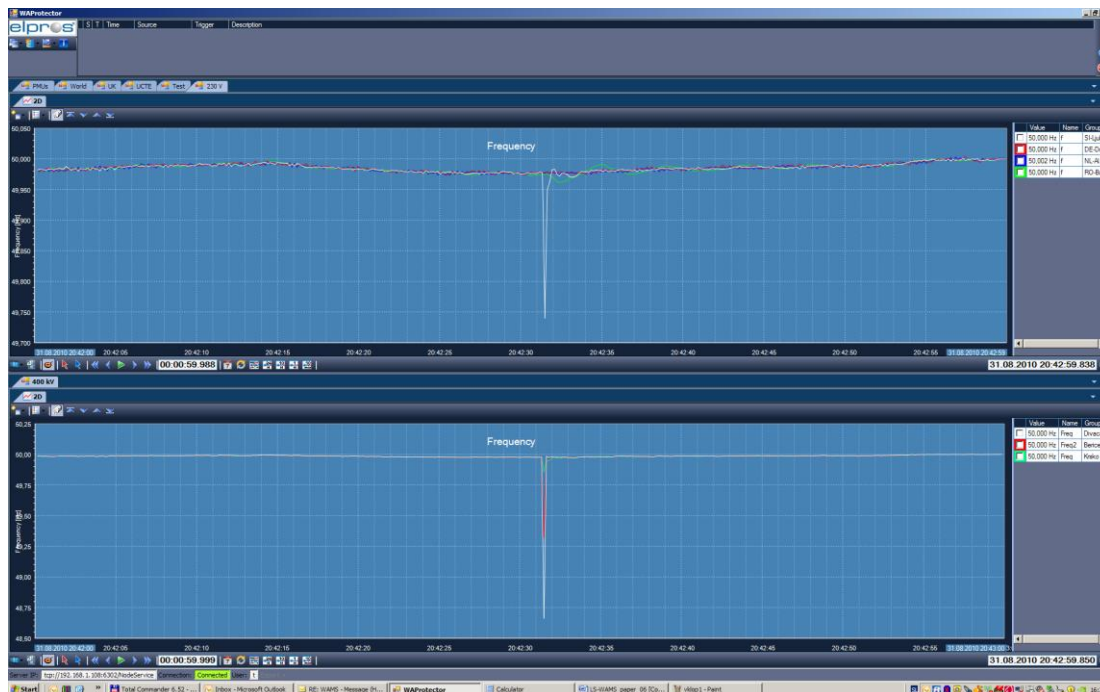


Рисунок 8: Повторное включение линии передачи 400кВ Словения-Хорватия. Период регистрации – одна минута. Первый график – частота, отслеженная СМПР 230В. Второй – частота, отслеженная СМПР 400кВ.

Аналогично рисунку 7, на рисунке 8 также показана хорошая взаимосвязь между измерениями, полученными при помощи СМПР 230В и СМПР 400кВ.

6 ВЫВОДЫ

На основании данных, полученных с энергосистемы 400кВ при помощи низковольтной СМПР, мы вправе сделать вывод, что:

- Некоторые события имеют сильное влияние на устойчивость системы на общем и региональном уровнях.
- Центральная система глобального мониторинга, встроенная в объединенную электрическую сеть типа ENTSO-E, оказывается весьма полезной для повышения устойчивости всей сети в целом.
- Для надежной работы ГСМПР требуется сеть передачи данных, управляемая системным оператором. По особому соглашению внутри сети ENTSO-E может использоваться скоростная линия (шина) передачи данных (Electronic Highway). Сети общего пользования, такие как Интернет, недостаточно надежны для таких целей.
- Устойчивость энергосистемы можно повысить путем мониторинга разности фазовых углов напряжения и частоты. На основании этого можно отслеживать межсистемные качания мощности и секционирование энергосистемы при аварии.
- Данные системы низкого напряжения строго взаимосвязаны с данными системы высокого напряжения. Данные системы низкого напряжения, такие как векторы частоты и напряжения, не могут считаться конфиденциальными, поскольку они раскрыты для широкой общественности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] IСOEUR (Интеллектуальная Координация Оперативного и Противоаварийного Управления Энергообъединениями Европейского Союза и России)
- [2] Бабник Т., Габриэль Ю., Махковец Б., Перко М., Ситар Г.: «От СМПП (WAMS) к СЗКПР (Система защиты и контроля устойчивости энергосистемы в переходных режимах) (WAPCS)» Коллоквиум Группы В5, СИГРЭ, 19-24 октября, 2009г., Чеджу, Корея.
- [3] Гребе Е., Кабурис Дж., Лопес Барба С., Саттингер У., Уинтер У.: «Низкочастотные колебания объединенной энергосистемы Континентальной Европы», Общее собрание сообщества энергетиков (PES), 2010 IEEE.
- [4] Европейская сеть операторов систем передач электричества (ENTSO)
<https://www.entsoe.eu/>