



PS5 – S6-01



Система мониторинга переходных режимов Эстонии – создание и опыт эксплуатации

Я. КИЛТЕР¹, А.Н. ГОЛОЩАПОВ², Б. МАХКОВЕЦ³
Elering OÜ¹, ООО «ПАРМА»², ELPROS³
Эстония¹, Россия², Словения³
edlund@parma.spb.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

WAMS, WAProtector, PMU, СМПП, РПП.

1 ВВЕДЕНИЕ

Надежная и безопасная работа электроэнергетических систем – одно из основных требований в современных обществах. Возрастающая сложность связей между энергосистемами приводит к серьезным сложностям в автоматизации процессов и управлении функционированием для поддержания надежной, безопасной и стабильной работы крупных энергосистем.

Мониторинг переходных режимов в энергосистеме может предотвратить или уменьшить последствия крупных системных аварий. Регистраторы переходных процессов (РПП, англ. PMU – устройства измерения фазоров) обеспечивают измерения параметров токов и напряжений для мониторинга переходных режимов в энергосистеме [1]. Сбор данных в режиме реального времени о параметрах режима в различных сечениях энергосистемы на центральный сервер делает возможным организовать мониторинг переходных режимов, создать основу для управления и защиты в режиме реального времени. Обзоры WAMS систем и их использования опубликованы в литературе [2], [3], [7].

Для наблюдения за работой энергосистемы Эстонии в различных условиях и получения более достоверной информации Системный Оператор (СО) Эстонии решил создать систему WAMS. Была поставлена цель - обеспечить измерения основных переменных режима на всех межсистемных соединениях с Россией, Латвией и Финляндией, а так же на отдельных важных внутренних линиях в Эстонии. Используемая в настоящее время система SCADA не может обеспечить получение точной информации с удовлетворительным разрешением данных измерений. Кроме того, необходимость понимания характеристик возможных внутрисистемных колебаний и эффектов стабильности напряжения, а так же получения информации для верификации динамической модели энергосистемы Эстонии были достаточными для обоснования создания системы WAMS. В долгосрочной перспективе запланировано изучение системной защиты с использованием системы WAMS.

Настоящий доклад представляет обзор системы WAMS созданной СО Эстонии. Устройства PMU установлены в различных точках на линиях 330кВ и служат устройствами сбора данных. Комплексный концентратор данных фазоров используется для:

- Непрерывного сбора данных фазоров от всех PMU,
- Реализации функций мониторинга и обнаружения,
- Хранения измеренных и вычисленных величин в базе данных,
- Визуализации данных при помощи многопользовательской Web SCADA в режиме реального времени и послеаварийного анализа.

Доклад также описывает опыт, который Системный Оператор Эстонии (компания Elering) получил в ходе эксплуатации системы и представлены несколько примеров событий, таких как авария на крупном объекте генерации в России и ее влияние на системную частоту, а так же несколько интересных случаев, произошедших в энергосистемах России и их влияние на энергосистему Эстонии и межсистемные связи.

В заключении приведены рекомендации по использованию системы WAMS в будущем. Акцент сделан на верификацию динамической модели, расширение системы мониторинга, международном сотрудничестве и интеграции систем WAMS и оценки состояния SCADA.

2 ЭНЕРГОСИСТЕМА ЭСТОНИИ



Рис. 1: Энергосистема Балтии

Энергосистема Эстонии является частью энергосистемы Балтии, которая расположена на пересечении трех больших синхронных объединений – бывшего UCTE, Nordic и ОЭС/ЕЭС (рис. 1). Энергосистема Эстонии находится в Северо-Западной части так называемого энергетического кольца и связана с другими системами пятью ВЛ 330кВ (3 линии в Россию и две в Латвию) и одной линией электропередачи высокого напряжения постоянного тока в Финляндию. На данный момент на этапе строительства находится вторая линия высокого напряжения постоянного тока в Финляндию (650МВт), которая будет запущена в работу в 2014 году. Отличительная характеристика энергосистемы Эстонии – ее конфигурация. В основном вся генерация располагается в Северо-Восточной части Эстонии, но в то же время более 60% потребления находится в Северном регионе. Связи постоянного тока Эстонии с энергообъединением Nordic так же располагаются в Северном регионе. По этим причинам существуют крупные перетоки энергии между Северной и Северо-Восточной частями энергосистемы Эстонии. Дополнительно существуют достаточно крупные перетоки энергии, зависящие от режима работы кольца, по коридору Север-Юг Эстонской энергосистемы

обусловленные передачей мощности из района Санкт-Петербурга в Литву и Беларусь и в обратном направлении.

СО Эстонии управляет сетью 110кВ и 330кВ. Имеется 10 ПС 330кВ протяженность ВЛ 330кВ - 1514км и 133 ПС 110кВ с протяженностью ВЛ и кабельных линий 110кВ - 3415 км. Установленная емкость около 2,2ГВт (80% горючий сланец, 7% ветер, 7% природный газ, 6% другие), пиковая нагрузка около 1,5 ГВт и годовое потребление около 8 ТВт/ч.

3 СИСТЕМА WAMS ЭСТОНИИ

Система WAMS Эстонии состоит из центрального концентратора данных и 10 устройств PMU. PMU установлены на 5 подстанциях 330кВ: Harku, Tartu, Püssi, Eesti и Balti для измерения параметров воздушных линий 330 кВ в сечениях, представленных на рисунке 2.

Реализованная архитектура системы WAMS представлена на рисунке 3.

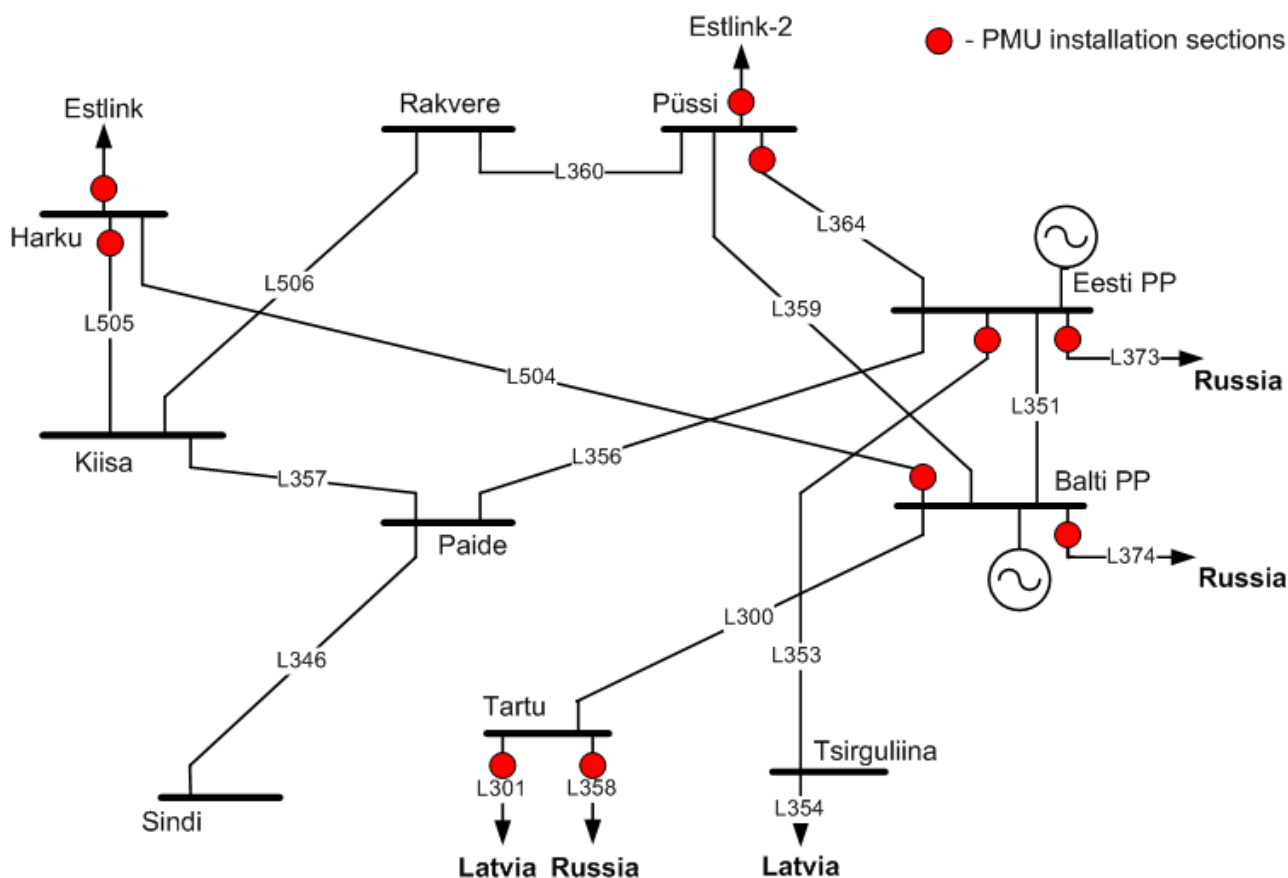


Рис. 2: Сечения установки устройств РПП в энергосистеме Эстонии.

3.1 Регистраторы переходных процессов

Установленные PMU модели 1133A Power Sentinel производства Arbiter Systems Inc. [1], обеспечивают синхронизированные точные измерения параметров режима энергосистемы в соответствии с требованиями стандарта IEEE C37.118: фазовых углов и амплитуд напряжений и токов, частоты, активной и реактивной мощности и т.д. Все данные от PMU передаются на сервер WAMS по волоконно-оптическим линиям связи в формате протокола C37.118. Синхронизация времени измерений обеспечивается встроенным в один из PMU приемником GPS на каждой подстанции. От этого PMU происходит синхронизация времени второго устройства векторных измерений на подстанциях по интерфейсу IRIG-B.

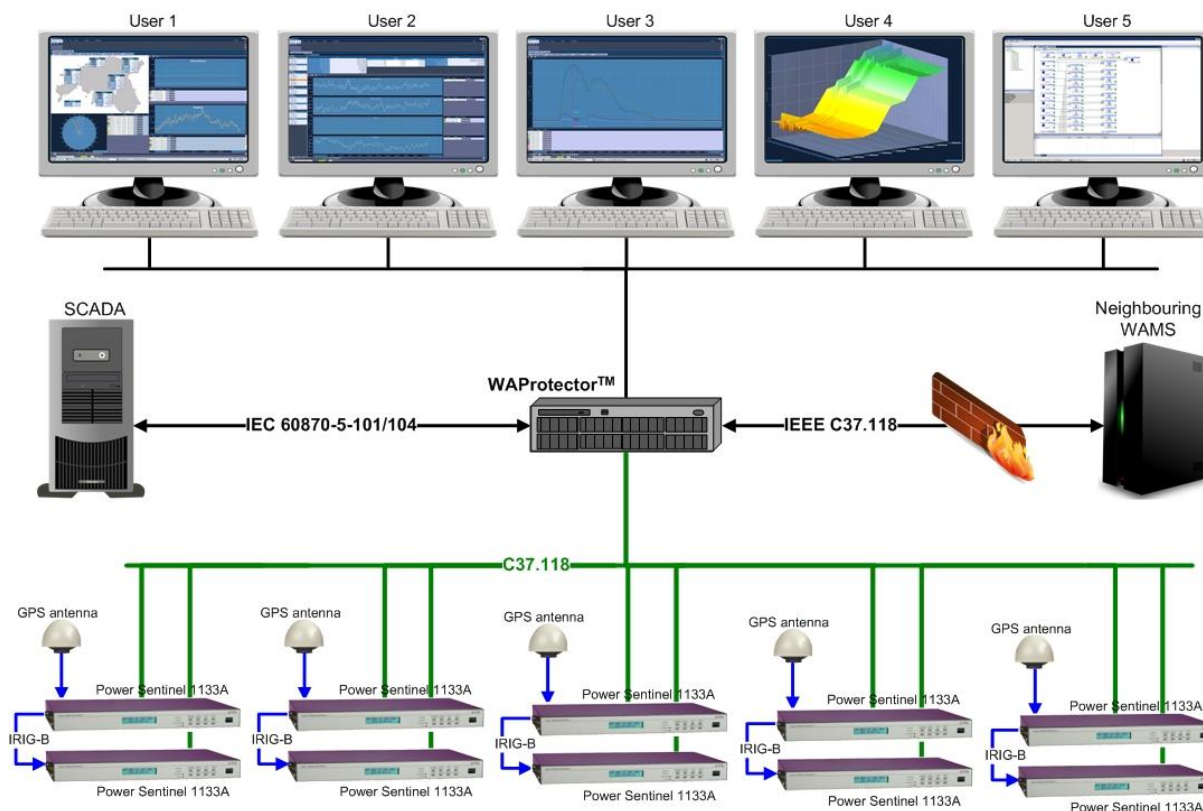


Рис. 3: Архитектура СМПР Эстонии.

3.2 Специализированное ПО WAProtector

WAProtector [2] – многофункциональная система мониторинга переходных режимов, защиты и управления в энергосистемах.

Обладает следующим функционалом:

- Комплексный концентратор данных фазоров
- Анализ в режиме реального времени
- Обнаружение аварийных режимов работы энергосистемы
- Архивация данных
- Отображение информации
- Обмен данными в режиме реального времени

В системе WAMS Эстонии реализованы следующие функции.

3.2.1 Сбор и обмен информацией

WAProtector обеспечивает поддержку широкого спектра протоколов сбора и передачи данных фазоров. Система поддерживает:

- Подключение устройств PMU по протоколам стандартов IEEE c37.118/IEEE 1344 (клиент).
- Связь с другими концентраторами данных фазоров по протоколам IEEE c37.118/IEEE 1344 (сервер).
- Связь с другими системами, например SCADA/EMS по протоколам стандартов IEC 60870-5-101/104, и т.д.

3.2.2 Анализ данных в режиме реального времени

Функции анализа данных обеспечивают широкий комплекс вычислений в режиме реального времени, требующихся для надежной работы энергосистемы.

Функции обнаружения стабильности:

- Обнаружение разности фазовых углов, для обнаружения разности углов между двумя объектами (например, подстанциями);

- Обнаружение низкочастотных колебаний, для обнаружения незатухающих низкочастотных колебаний мощности, частоты или разности углов;
- Обнаружение превышения/снижения величины, для обнаружения перехода величин выше/ниже пороговых значений;

Функции обработки сигналов:

- Быстрое преобразование Фурье, для обнаружения постоянных колебаний.

Функции, программируемые пользователем, используются для настройки пользовательских алгоритмов и включают:

- Логические функции (and, or,...),
- Арифметические операции (+, -, *, /,...),
- Функции сравнения (>, <, =, ...),
- И т.п.

3.2.3 Архивация данных

Хранение данных включает в себя циркуляционную базу данных реального времени, базу данных событий и базу данных аварийных процессов (осциллограмм).

- база данных реального времени позволяет хранить данные измеренных и вычисленных величин (например, токи, напряжения, мощности, различные показатели стабильности) с максимальным разрешением 1 запись за цикл (50 записей в секунду). В базе данных реального времени обычно хранятся данные за 14 суток.
- В базу данных событий заносятся обнаруженные события, сообщения и тревоги.
- База данных событий и базу данных аварийных процессов (осциллограмм) состоит из отдельных записей данных аварий, запускающихся при возникновении определенных ситуаций. Эти записи используются для послеаварийного анализа.

3.2.4 Отображение данных

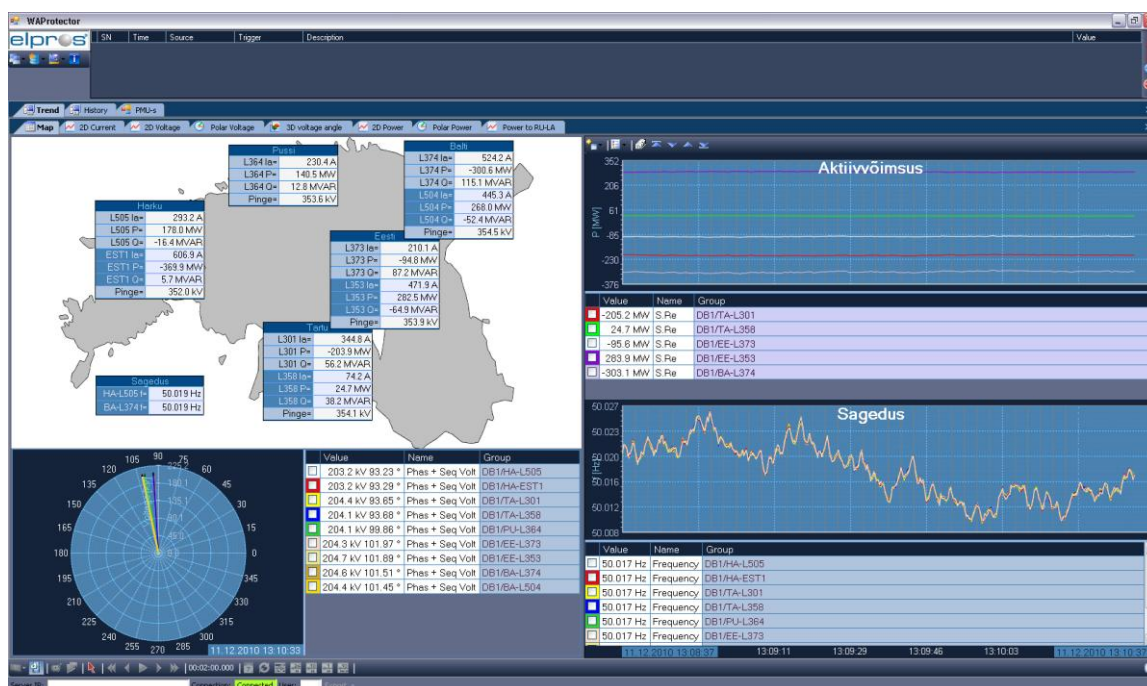


Рис. 4: Пример отображения данных в системе WAMS Эстонии.

Дружественный пользователю интерфейс с настраиваемыми видами и отображением данных наиболее важный инструмент для диспетчеров энергосистем и аналитиков.

Основные свойства системы отображения данных:

- Многопользовательский графический интерфейс (GUI) выполненный в виде WEB SCADA системы.
- Доступ к данным через Internet посредством Internet браузера.

- GUI предоставляет возможности отображения и контроля в соответствии с правами пользователя.

Система отображения обеспечивает представление:

- Измеренных и вычисленных величин в режиме реального времени,
- Данных, сохраненных в циркуляционной базе данных,
- Событий и тревог,
- Записей аварийных процессов,
- Данных, сохраненных локально на рабочей станции пользователя.

Пользователь может выбирать отображение в виде двух- и трехмерных графиков, привязанных ко времени, графиков фазоров, гистограмм и т.д.

Пример отображения данных в системе WAMS компании Elering представлен на рис. 4.

4 ПРИМЕРЫ ОБНАРУЖЕННЫХ СОБЫТИЙ

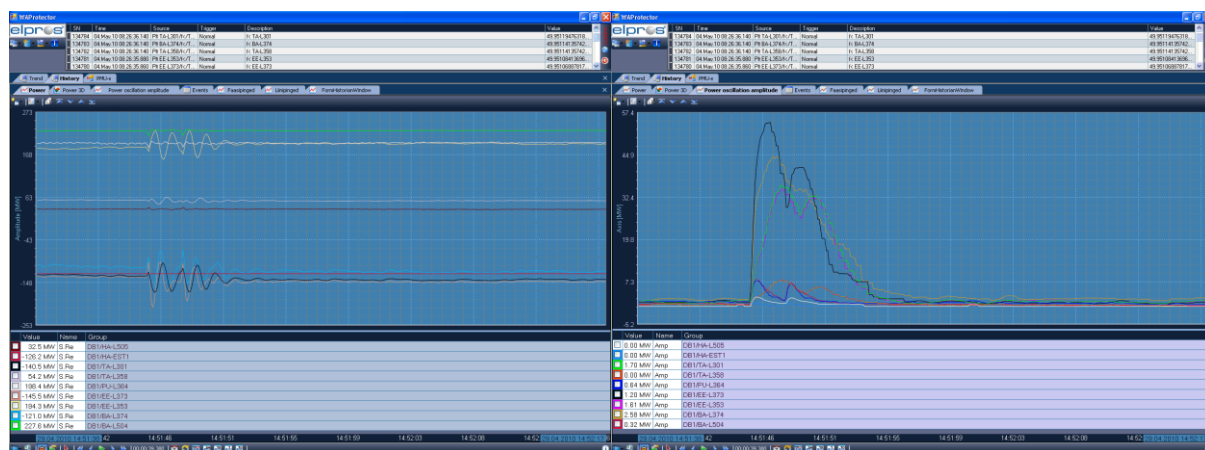


Рис. 5: Колебания на линиях после аварии за пределами Эстонии

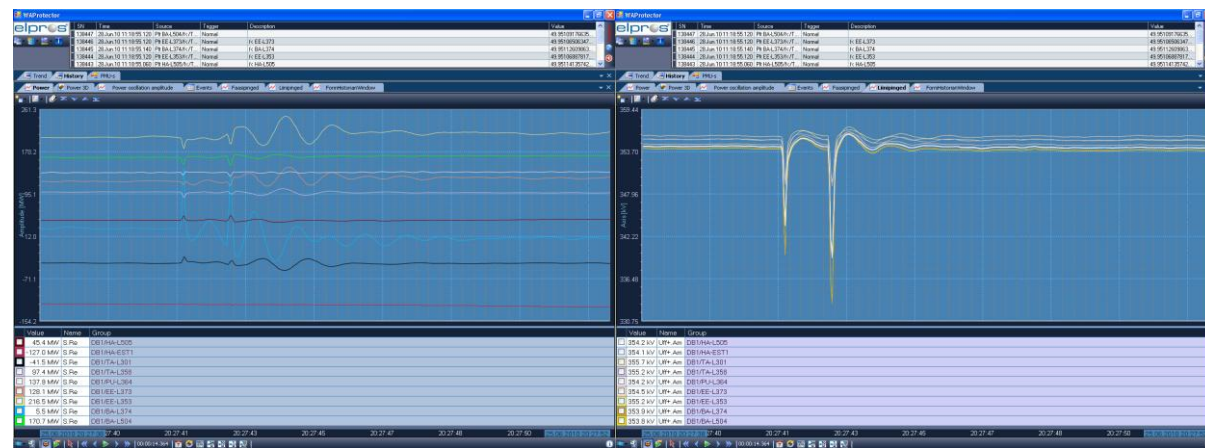


Рис. 6: Работа энергосистемы Эстонии после аварии ВЛ L372 в России

Система WAMS Эстонии работает с июня 2010 года. С этого времени было записано много событий, в настоящем докладе приведены самые интересные из них. Пример аварии за пределами Эстонии, где заметные колебания активной мощности видны на всех межсистемных связях представлен на рисунке 5. Как можно заметить колебания затухают, и дальнейших проблем не возникло. Пример аварии ВЛ L372 в России и ее влияние на энергосистему Эстонии показан на рисунке 6. На рисунке 7 приведен пример, где одна из двух межсистемных связей между северной частью Эстонии и Россией отключается. Как можно увидеть перетоки мощности между соединениями изменились и в энергосистеме Эстонии не произошло изменений. Пример записи величин изменения частоты в ходе аварии электростанции в России

представлен на рисунке 8 (Саяно-Шушенская ГЭС, 640МВт). Для сравнения приведены результаты измерений системы СМПР, полученные на Российской стороне соединения.

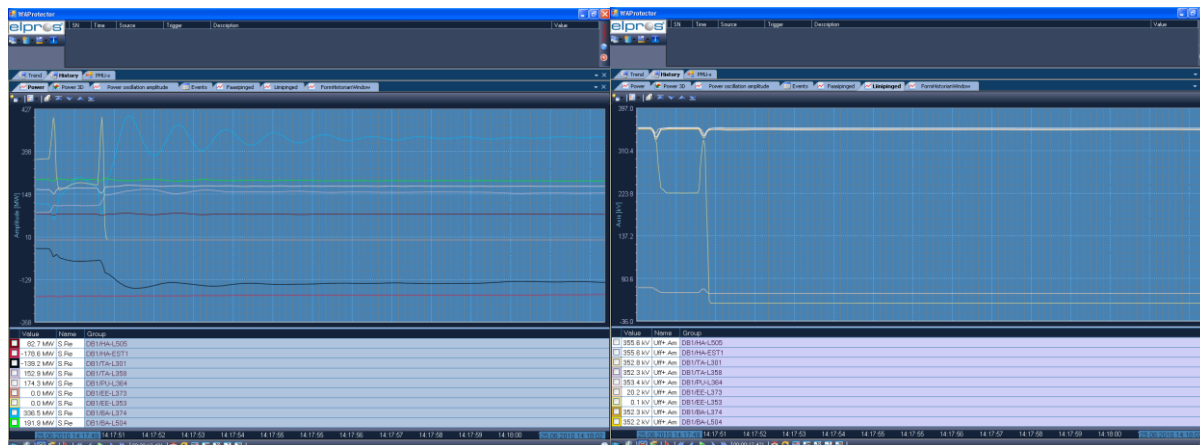


Рис. 7: Работа энергосистемы Эстонии после аварии ВЛ L373

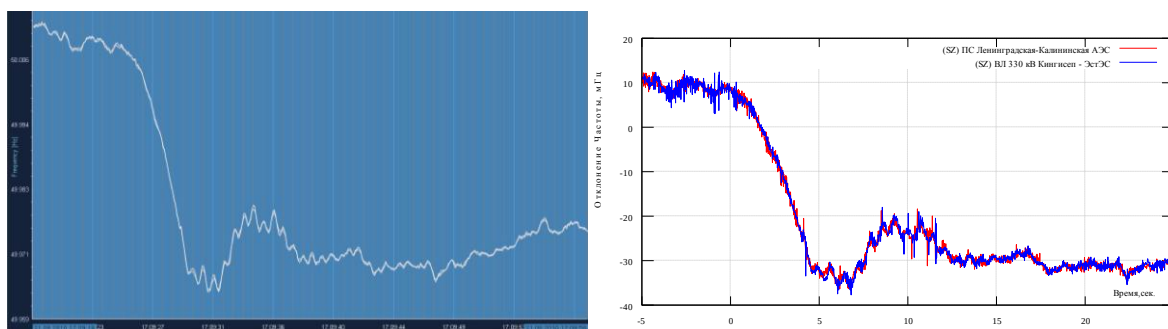


Рис. 8: Отклонения системной частоты в случае аварии на электростанции

5 ПЛАНИРУЕМЫЕ РАБОТЫ

На данный момент система WAMS используется только для целей измерения и системного анализа. Основываясь на полученной информации, возможно оценить работу системы и проанализировать влияние различных аварий на работу энергосистемы. Этот подход предоставляет хорошую базу для продолжения разработки WAMS. Для увеличения эффективности системы мониторинга запланирован обмен данными между соседними государствами. С Латвией и Литвой он может быть организован в режиме реального времени, а с Россией данными возможно обмениваться в режиме off-line.

Следующей фазой проекта должна быть интеграция измерений WAMS в модуль вычисления состояния SCADA для того, что бы повысить точность и как следствие увеличить эффективность планирования работы системы. Важно так же использовать имеющиеся данные для разработки и верификации динамической модели энергосистемы. Предварительное изучение в этой области уже было проведено, и результаты показали, что необходима корректировка имеющихся моделей.

При рассмотрении будущего необходимо так же принимать во внимание возможность использования WAMS в целях защиты энергосистемы. Данная задача включает в себя (i) предупредительные и корректирующие процедуры с привлечением активизации контроля РПН, реактивных шунтирующих реакторов, контроль перетоков мощности по высоковольтным линиям постоянного тока, контроль частоты и (ii) резервную защиту системы для классических схем защиты. Это особенно интересно в контексте Эстонии, учитывая работу энергосистемы и возможность защиты от системных аварий после создания второй высоковольтной линии постоянного тока, соединяющей с Nordic [6]. В связи с этим, существующие схемы защиты будут перенастраиваться и система WAMS перспективное решение в области. Тем не менее,

прежде чем могут быть реализованы функции защиты системы, должны быть решены вопросы резервирования, связи, задержки данных, надежности системы и т.п.

6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Безопасность энергосистемы зависит от различных критериев, таких как конфигурация системы, используемое оборудование, системы мониторинга и т.д. Перетоки мощности изменяются со временем, а так же с изменением сети электропередачи и обычно мы подходим все ближе к эксплуатационным пределам. Используемые обычно SCADA системы не имеют возможности наблюдать быстрые системные процессы, поэтому необходима более совершенная система мониторинга. Системы мониторинга переходных режимов и управления предоставляют новые возможности для всестороннего мониторинга и управления режимами работ энергосистем.

В данном докладе приведены обзор, и примеры работы системы WAMS, реализованной в энергосистеме Эстонии. Создана современная и мощная система WAMS, работающая в режиме реального времени, которая обеспечивает точные измерения параметров режима энергосистемы, сбор всей информации, обработку данных, отображение и хранение информации – весь спектр функционала WAMS систем.

Система WAMS Эстонии состоит из центрального концентратора данных и 10 устройств PMU с возможностью в будущем подключиться к соседним системам WAMS и обмена данными с модулем вычисления состояния SCADA. Сейчас основная задача системы – наблюдение работы межсистемных и внутрисистемных связей и использование доступных данных для системного анализа. Это уже дало достаточный объем информации и понимание системных процессов. Верификация динамической модели системы обеспечивает понимание того, что необходима дополнительная настройка моделей. В будущем планируется использовать другие функции и возможности системы WAMS, такие как обмен информацией со SCADA и соседними WAMS системами, защиты энергосистемы, поддержание стабильности напряжения и т.д. Особенно в области защиты энергосистемы, возможно решение многих проблем, что важно при развитии системы (второе соединение с Финляндией, повышение нагрузки и т.д.) и требований по повышению надежности системы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Phadke, A. G. Synchronized Phasor Measurements – A Historical Overview”. In. Proc. IEEE PES T&D Conf. Asia Pacific. Yokohama, Japan, Oct. 2002. Vol. 1, pp 476-479.
- [2] Sattinger, W., Bertsch, J., Reinhardt, P. Operational Experience with Wide Area Monitoring Systems. In Proc. CIGRE 2006 Session, Paris, 27 August – 1 September 2006, paper no. SC B5-216.
- [3] CIGRE Technical Brochure nr 330. “Wide Area Monitoring and Control for Transmission Capability Enhancement”. 2007, 116 pp.
- [4] Model 1133A Power Sentinel™ operation manual, Arbiter Systems.
- [5] WAProtector user manual, Elpros.
- [6] Kilter, J., Reinson, A., Kraav, R. Influence of system protection to Estonian power system security. Proc. of 2010 Power Quality and Supply Reliability Conference PQ2010, Estonia. 2010, 6 pp.
- [7] Babnik T., Gabrijel U., Mahkovec B., Perko M., Sitar G.: “The road from WAMS to WAPCS”, Paper PS3-304, CIGRE B5 Colloquium October 19-24, 2009, Jeju, Korea