

Международный опыт мониторинга устойчивости энергосистем с использованием технологии WAMS

Д. УИЛСОН

**Вице-президент и Технический директор,
Компания Psymetrix (корпорация Alstom), Великобритания
Р.БАРБА**

**Коммерческий директор стран Евразии,
Компания Alstom, Чехия
А.А. НЕБЕРА**

**Технический директор по электроэнергетике,
Компания РТСофт, Россия
douglas.wilson@psymetrix.com**

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Синхронизированные векторные измерения, динамические характеристики энергосистем, устойчивость, межсистемные колебания, демпфирование, разделение, динамические возмущения

1 ВВЕДЕНИЕ

Системы мониторинга переходных режимов (далее – WAMS), основанные на использовании синхронизированных векторных измерений, позволяет проводить прямое наблюдение динамических характеристик энергосистем. Традиционные системы SCADA/EMS обеспечивают относительно невысокую частоту сбора параметров для мониторинга установившихся режимов, а осциллограммы аварийных событий доступны только для коротких периодов и зачастую не синхронизированы во времени. Применение WAMS способствует росту знаний о динамических свойствах и характеристиках устойчивости энергосистем, а также обеспечивает основу для управления рисками в реальном времени и значительное расширение возможностей послеаварийного анализа событий.

Прикладные функции WAMS предоставляют пользователям возможность извлекать ключевую информацию, необходимую им для принятия решений. Компания Psymetrix в составе Alstom Grid работает со многими клиентами по всему миру, предоставляя диспетчерским центрам инструменты для решения задач мониторинга и принятия решений по управлению энергосистемами в режиме реального времени, а также обеспечивая комплексные исследования и настройку системных регуляторов.

В настоящей статье представлены практические прикладные области, иллюстрируемые примерами применения в энергосистемах различных стран, и обеспечивающие решение следующих проблем управления устойчивостью:

- Демпфирование низкочастотных колебаний;
- Сложные виды возмущений и каскадные отключения;
- Деление энергосистем на несинхронно работающие части;
- Ввод в действие и настройка системных стабилизаторов;
- Выявление источников низкочастотных колебаний.

В статье также рассматриваются вопросы интеграции WAMS в комплекс SCADA/EMS применительно к задачам управления устойчивостью энергосистем.

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1 МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ WAMS

2.1.1 Демпфирование межсистемных колебаний

Неустойчивые межсистемные колебания могут стать причиной возникновения серьезных нарушений в энергосистеме или повреждений оборудования, и крайне важно, чтобы риск возникновения неустойчивости находился под контролем. При необходимости введения ограничений на передачу электроэнергии для обеспечения запаса устойчивости, данный запас, как правило, выбирается из очень консервативных соображений, обусловленных неопределенностями при моделировании режимов. Непрерывный мониторинг частоты, амплитуды и коэффициента затухания низкочастотных колебаний в энергосистеме в режиме реального времени используется в Великобритании с 1995 года. Первоначально мониторинг был введен для подтверждения возможности повышения передаваемой мощности между Шотландией и Англией на 300 МВт. [1,2]

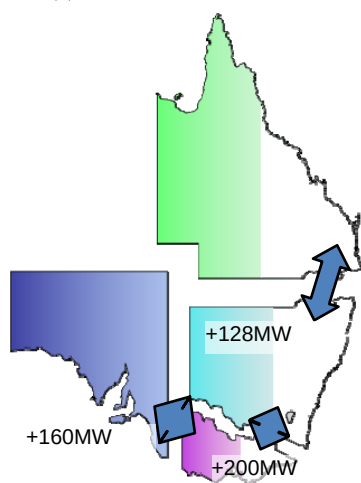


Рис.1:Схема межсистемных колебаний Австралии с учетом применения WAMS

Аналогичный подход был использован в Австралии, где мониторинг динамических характеристик в режиме реального времени входил в состав необходимых мероприятий по вводу в эксплуатацию межсистемной связи между ранее независимыми энергосистемами в Квинсленде и штатах на юге и юго-востоке. С момента первоначальной установки система непрерывного мониторинга динамических характеристик была расширена, и на данный момент охватывает три граничных сечения, где ограничения по условиям динамической устойчивости ослабляются, когда показатели демпфирования низкочастотных колебаний находятся в норме. [3]

В Австралии был зафиксирован ряд нарушений устойчивости связанных с неисправностями оборудования автоматического регулирования, которые были выявлены системой мониторинга устойчивости реального времени с принятием последующих оперативных мер, предотвративших прогрессирующее развитие нарушений.

Возможность мониторинга динамических характеристик широко применяется при вводе в эксплуатацию и настройке автоматических регуляторов, таких как системные стабилизаторы (PSS) и устройств демпфирования низкочастотных колебаний на основе статических компенсаторов (SVC-POD). СПМР с функциями анализа низкочастотных колебаний может применяться для наблюдения за процессом тестирования замкнутого цикла управления и обеспечивает неинвазивную оценку эффективности демпфирования для всех доминирующих колебательных мод, возникающих на протяжении недель или месяцев. Этот подход был успешно использован для настройки системных стабилизаторов на электростанциях в Канаде, Исландии и Австралии.

Следует отметить, что существует несколько типов низкочастотных колебаний, которые фиксируются WAMS. Помимо электромеханических колебаний во многих странах мира наблюдаются существенные низкочастотные моды колебаний, вызванные работой регуляторов турбин и оказывающих влияние на динамическую устойчивость энергосистем. Накоплен успешный опыт применения WAMS для определения соответствующих вкладов разных регуляторов и их настройки для улучшения динамических характеристик энергосистем. [4]

2.1.2 Определение источников низкочастотных колебаний

Важно определить источники вкладов в низкочастотные колебания, особенно в тех случаях, когда происходит ухудшение демпфирования по некоторой моде колебаний. Источники колебаний далеко не всегда очевидны, так как наибольшие вклады не всегда совпадают с наибольшими колебаниями. Выявление источника колебаний в реальном времени приносит дополнительные преимущества, так как перераспределение загрузки генераторов может быть использовано для улучшения характеристик демпфирования, при условии, что диспетчер располагает необходимой информацией для принятия такого решения. В долгосрочной перспективе такие методы анализа могут применяться для определения мест наиболее эффективной настройки регуляторов.

Существует два дополнительных подхода к определению места расположения источников колебаний, разработанных и используемых компанией Psymetrix. Первый основан на фазовых соотношениях между различными модами низкочастотных колебаний, и может применяться для определения контролируемых ПС, которые находятся ближе всех к источникам наибольших вкладов в низкочастотные колебания. Этот подход использует только векторы напряжения и не требует высокой частоты выборок измерений. Второй подход основан на одновременном использовании данных систем SCADA и WAMS, для определения чувствительности моды к изменению активной мощности генератора и линии связи. Этот подход представляет многовариантную чувствительность в виде дерева решений, формирующего основу для выбора оперативных действий, предпринимаемых диспетчером в ответ на предупреждение о появлении определенной моды колебаний.

Эти новые технологии выявления источников колебаний были использованы при проведении исследований в Колумбии, Австралии, Канаде и Исландии, а также включены в программные инструменты для оперативного применения.

2.1.3 Сложные виды возмущений, каскадные отключения и разделение энергосистем

Масштабные возмущения и выделение частей на изолированную работу происходят, время от времени, практически во всех энергосистемах. Системные операторы обычно имеют установленные процедуры холодного пуска и восстановления энергосистем после серьезных нарушений. Тем не менее, масштабные возмущения в энергосистемах могут быть разнообразны и сложны, и зачастую сопровождаются многими событиями, происходящими практически одновременно. При этом для диспетчеров и инженерного персонала важно иметь общую картину, отражающую состояние и динамические события в энергосистеме. Детализированная информация о текущих условиях в энергосистеме, которая охватывает также феномены распределенных переходных режимов, может существенно улучшить способность поддержания устойчивой работы выделившихся частей энергосистемы и последующего восстановления надежной работы.

Приложения Psymetrix обеспечивают прямую и наглядную визуализацию ситуаций выделения частей энергосистемы на изолированную работу. Текущая разность частот по всей системе обозначается заданным набором цветов, в то время, как векторы напряжения непосредственно показывают географическое расположение выделившихся частей. Ключевые диаграммы обеспечивают поддержку стабилизации работы выделившихся частей и ресинхронизации. В фазе восстановления перед попыткой ресинхронизации диспетчер может убедиться в стабильности параметров режима выделившихся частей и, если попытка все же была unsuccessful, непосредственно видеть причины этого. Диспетчер может интерпретировать ключевые характеристики событий разделения энергосистемы в течение нескольких секунд, и обеспечить восстановление системы в более короткие сроки, чем это было бы возможно только с использованием EMS. На рис. 2 показана система коллективного отображения в диспетчерском центре, где значимое место выделено для области отображения информации о фактах разделения энергосистемы (Islanding View) на диспетчерском щите.

Network Ops WAMS view

Generation Dispatcher WAMS view

Islanding View



Рис. 2: Применение WAMS в диспетчерском центре в Исландии. На рисунке показан пример разделения энергосистемы

WAMS также позволяет получить важную информацию в отношении управления аварийными событиями, не приводящими к разделению энергосистемы. Можно определить, какое из мест измерений ближе всех расположено к месту возмущения, на основе следующего критерия: при возмущении первым происходит изменение угла напряжения в точке, ближайшей к возмущающему событию. Точка возмущения отображается на географическом дисплее, и событие классифицируется в зависимости от того, является ли оно «угловым возмущением» (отключение короткого замыкания или плановое отключение ЛЭП) или «частотным возмущением» (отключение генерации или нагрузки). Там, где наблюдается последовательность событий, их порядок и место расположения отображаются с географической привязкой. Такое обзорное представление аварийных событий позволяет диспетчеру быстро определить ключевые характеристики сложных видов возмущений и определить состав необходимых действий с учетом наблюдаемого воздействия и географического распространения возмущений.

Для послеаварийного анализа событий, доступ к полному архиву данных комбинируется с теми же аналитическими функциями и графическим представлением, что и в режиме реального времени, обеспечивая возможность интерпретации событий в контексте распределенных переходных процессов. Простой доступ к синхронизированным динамическим данным с гибко настраиваемыми графиками обеспечивает более быструю и точную интерпретацию событий, чем это было возможно в прошлом. На рис.3 показан график, отражающий три последовательных возмущения в одной из энергосистем Южной Америки, разделение энергосистемы на три области и переход в асинхронный режим с точным определением последовательности указанных событий.

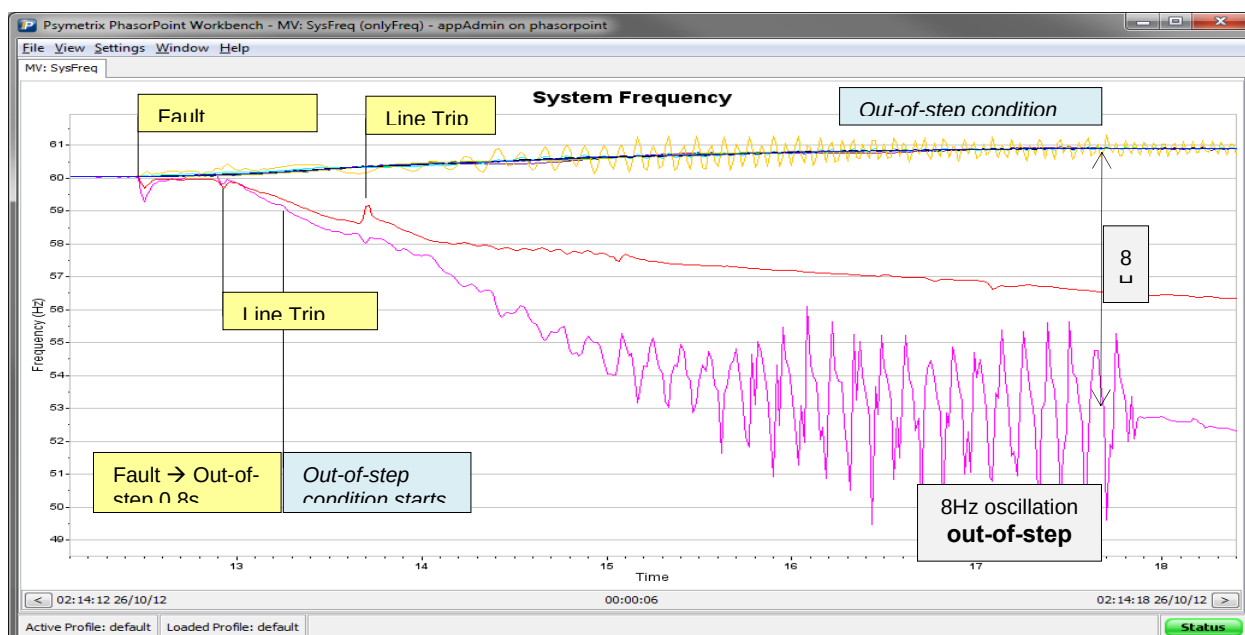


Рис.3: Пример послеаварийного анализа сложного возмущения на основе информации о частоте и фазовых углах.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт применения WAMS в различных странах мира демонстрирует ряд ключевых областей управления энергосистемами, в отношении которых происходят существенные изменения в принятой практике анализа и оперативного управления. С применением расширенных функций анализа и визуализации возможно определение:

- Фактов выделения частей энергосистемы, их положения и устойчивости
- Места возникновения и характеристик аварийного события
- Фактов возникновения низкочастотных колебаний, типа и формы моды колебаний
- Источников низкочастотных колебаний

В настоящее время ведется регистрация решений по оперативному управлению, которые принимаются с использованием средств отображения и аварийных сигналов формируемых WAMS, особенно в случаях динамических событий значительного воздействия. Доступность и системность представления информации позволяют обеспечить уровень наблюдаемости и оперативную реакцию на динамические явления, которые не были достижимы в традиционных системах EMS. Кроме того, наличие высокоточных синхронизированных данных для послеаварийного анализа событий и испытаний систем управления значительно повышает возможности и сокращает время анализа в случае сложного динамического поведения энергосистем.

4 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Carter A.M, et.al. “The Application of Wide Area Monitoring to the GB Transmission System to Facilitate Large-scale Integration of Renewable Generation”, Cigre C2-112, Paris 2010
- [2] IEEE Task Force Report TP462 “Identification of Electromechanical Modes in Power Systems”, June 2012
- [3] Wilson D.H. et al: “Discrete Control for Transient Stability and Oscillations: Applications and Case Studies”, IEEE PES General Meeting, Vancouver, July’13 (pending)
- [4] Arango O.J. et.al. “Low Frequency Oscillations in the Colombian Power System – Identification and Remedial Actions”, Cigre C2-105, Paris 2010