

Создание системы синхронизированных векторных измерений в интеллектуальных кластерах ОЭС Востока

И.А. ТЕЛЬГАЕВ
ЗАО «НОВИНТЕХ»
Российская Федерация
i.telgaev@nit-energo.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

WAMPAC, СВИ, цифровая подстанция, энергокластер

1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в энергосистеме России технология синхронизированных векторных измерений находит все более широкое применение. Это обусловлено тем, что, благодаря точной временной синхронизации, системы СВИ предоставляют информацию значительно более высокого качества по сравнению с существующими системами телеизмерений. Синхронизированные замеры параметров режима в реальном времени в различных узлах системы и передача их на центральный сервер позволяет организовать мониторинг переходных режимов, а также сформировать основу для систем распределенного управления и защиты в режиме реального времени.

В общем случае система СВИ представляет собой трехуровневую структуру: нижний уровень сбора данных и формирования кадров С37.118, средний уровень концентрации и первичной обработки данных С37.118 и верхний уровень приложения синхронизированных измерений к определенным алгоритмам анализа. Проанализировав доступные решения можно отметить, что нижний и средний уровень принципиально схожи для всех реализованных систем СВИ, верхний же уровень определяется функциональными требованиями для каждого конкретного случая. На данный момент производители предлагают ограниченный набор алгоритмов обработки и анализа синхронизированных векторных измерений для реализации на верхнем уровне системы, функционал которого зачастую ограничивается визуализацией и средствами послеаварийного анализа. Внедрение более сложных алгоритмов анализа таких, как верификация измерений, оценка состояния энергосистемы, мониторинг устойчивости системы с учетом нескольких границ устойчивости и других, позволит более эффективно использовать ресурсы энергосети и приблизить системы СВИ к концепции WAMPAC.

С повышением требований к наблюдаемости и оптимизации режимов работы энергосистемы, а также с появлением цифровых подстанций (шина процесса, высокоточные протоколы синхронизации) стали очевидны некоторые проблемы в принципах организации систем СВИ и новые задачи, требующие решения на каждом из уровней системы.

В данном докладе будут приведены описания систем синхронизированных векторных измерений на примере реализуемых ЗАО «НОВИНТЕХ» проектов энергокластеров «Эльгауголь» и «Ванино», с указанием особенностей организации каждого из уровней системы.

Также будет произведен анализ актуальных «пробелов» и новых задач, требующих решения, для организации полнофункциональных систем WAMPAC.

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Описание системы синхронизированных векторных измерений энергокластера «ЭЛЬГАУГОЛЬ»

Система синхронизированных векторных измерений (WAMS) в энергокластере «Эльгауголь» создается для измерения и визуализации характеристик транзита между ПС «Призейская» и ПС «Эльгауголь», обработки и хранения полученной информации на серверах

ЦУГП, а также для мониторинга воздействий автоматизированных активно-адаптивных алгоритмов управления СКРМ, в том числе и для дополнительной верификации параметров автоматической адаптивной системы оптимального управления напряжением и реактивной мощностью (ААСОУ). В долгосрочной перспективе рассматривается возможность создания системной защиты на базе WAMS.

Главным отличием WAMS энергокластера «Эльгауголь» от уже реализованных аналогичных систем является ее интеграция в шину процесса по протоколам МЭК61850-9-2 и МЭК61850-8-1, что соответствует общей стратегии внедрения принципов «цифровой подстанции».

Энергетический кластер «Эльгауголь» включает в себя двухцепный транзит ВЛ 220 кВ с подстанциями: ПС 220 кВ «Эльгауголь», ПС 220 «А», ПС 220 «Б», ПС 220 кВ «Призейская»). Проектируемая подстанция 220/110/35 кВ Эльгауголь размещается на территории Эльгинского угольного месторождения, расположенного в юго-восточной части республики Саха (Якутия) и предназначена для электроснабжения Эльгинского угольного комплекса (ЭУК) ОАО ХК "Якутуголь". Проектируемая подстанция 220/35/10 кВ А размещается на северо-востоке Амурской области, проектируемая подстанция 220/35/10 кВ Б размещается в юго-восточной части республики Саха (Якутия), на расстоянии примерно 102 и 217 км соответственно от существующей ПС 220 кВ Призейская (Амурская энергосистема). Подстанции А и Б предназначены для электроснабжения потребителей подъездного железнодорожного пути от ж.д. станции Улак к Эльгинскому угольному месторождению (ж.д. станции А и Б). Подстанция 220/35/10 кВ Призейская размещается в п.Верхнезейск Амурской области, в 180 км севернее г.Зей и предназначена для электроснабжения потребителей района Байкало-Амурской магистрали (БАМ).

Система WAMS энергокластера состоит из 8 устройств синхронизированных векторных измерений (PMU) и 4 концентраторов векторных данных (PDC). На каждой из подстанций устанавливается по 2 PMU и 1 PDC. Установленные PMU производят замеры параметров транзита (напряжения на линиях и шинах, тока в линиях, активная и реактивная мощность, частота и т.д.) в соответствии с протоколом С37.118. Получение информации от измерительных трансформаторов и коммутационной аппаратуры происходит по шине процесса от специальных устройств сопряжения (МЭК 61850). Синхронизация измерений осуществляется по протоколу РТР так же посредством шины процесса, что позволяет избавиться от отдельной сети синхронизации. Полученную информацию PMU отправляют подстанционному концентратору, где происходит их корреляция, обработка, а также архивация полученных значений как в нормальном режиме с частотой 2 раза в секунду, так и в переходном режиме с частотой 200 раз в секунду. Сообщения от подстанционного концентратора передаются в ЦУГП и ААСОУ группы подстанций.

На верхнем уровне планируется реализация системы визуализации и анализа полученных данных на базе специализированного ПО концентраторов векторных измерений. Функции системы:

- расчет параметров режима на основании полученных данных (разность фазовых углов, перетоков мощностей и т.д.),
- определение отклонения величин от установленного номинального значения,
- оценка запаса реактивной мощности,
- определение и сигнализация ненормальных режимов,
- визуализация измеренных и рассчитанных параметров (графики, столбчатые диаграммы, мнемосхемы, векторные диаграммы и т.д.) в реальном времени,
- воспроизведение данных из архива,
- разграничение уровней доступа пользователей.

Таким образом, в энергокластере «Эльгауголь» будет создана полноценная, полностью цифровая система WAMS, позволяющая в реальном времени осуществлять мониторинг транзита, переходных режимов и работы системы автоматического адаптивного оптимального управления напряжением и реактивной мощности. Благодаря этому точность, а соответственно и эффективность планирования работы системы значительно возрастет.

При наличии полного покрытия сети СВВ определение режима может быть упрощено.

Возможно два способа определения режима по результатам векторных измерений:

1. Оценка состояния по параметрам системы прямой последовательности.
2. Оценка состояния по трехфазным параметрам системы. Данный метод оценки состояния сводится к составлению систем линейных уравнений, которые легко разрешимы современными методами. Это выгодно отличает ОС по данным векторных измерений от обычной оценки, которая сводится к нелинейным уравнениям.

Первый способ является более простым, но требует более высокой точности векторных измерений. Выбор между этими подходами может быть произведён на основе опытной эксплуатации.

В сети энергокластера обеспеченность векторными измерениями достаточная для определения режима. Однако для оптимизации потерь необходимо также определение режима в прилегающих участках сети (цепочка Тынды - Призейская – Февральская и ВЛ Зейская ГЭС-Призейская). В данных участках сети устройства РМУ отсутствуют, поэтому определение режима с помощью векторных измерений для всего участка сети невозможно.

В связи с этим, определение режима по данным векторным измерениям будет производится только для сети энергокластера. Результаты этих расчётов будут использованы для сравнения с результатами обычной оценки состояния и приобретения опыта работы с СВИ. С развитием сети, прилегающей к энергокластеру, и увеличением количества установленных устройств РМУ, станет возможным использовать определение режимов по векторным измерениям может вместо классических методов оценки состояния.

Описание системы синхронизированных векторных измерений энергокластера «ВАНИНО»

Система синхронизированных векторных измерений энергокластера «Ванино» для определения и визуализации параметров режима, транзита мощности, повышения пропускной способности линий, а также обеспечения информацией системы комбинированного мониторинга состояния ВЛ и районных систем распределенного управления.

Энергокластер представляет собой группу из пяти подстанций: ПС 500 кВ Комсомольская, ПС 220 кВ Селихино, ПС 220 кВ Уктур, ПС 220 кВ Высокогорная, ПС 220 кВ Ванино. В качестве места размещения АСУТП ЭК «Ванино» выбрана ПС 500 кВ Комсомольская.

Устройства СВИ подключаются к измерительным ТТ/ТН и производят измерение следующих параметров линий: U_a , U_b , U_c , I_a , I_b , I_c , f , df/dt , P , Q . На основе полученной информации устройства формируют кадры синхронных измерений в соответствии с протоколом С37.118 (МЭК 61850-90-5) с частотой 50 сообщений в секунду. Устройства СВИ должны быть синхронизированы с сервером точного времени по протоколу РТР.

Передача измерений концентратору СВИ осуществляется по подстанционной шине (МЭК 61850-8-1) в соответствии с протоколом С37.118.

Подстанционный концентратор синхронизированных векторных измерений получает данные от устройств РМУ, выполняет их обработку и архивацию. После обработки обобщенная информация передается в локальную ССПИ по подстанционной шине МЭК 61850-8-1 и центральному PDC на ПС Комсомольская по единой станционной шине ЭК в соответствии с протоколом С37.118 (МЭК 61850-90-5) с частотой 50 сообщений в секунду. При потере связи с центральным PDC подстанционный PDC буферизирует передаваемые данные и выполняет их передачу по ее восстановлению.

Выравнивание полученных данных в концентраторе осуществляется по метке времени кадра; в случае ошибки синхронизации РМУ и отсутствия метки времени данные в суммарном кадре выравниваются по принципу “upon arrival” (по прибытию).

PDC имеет устройство хранения, позволяющее производить архивирование, получаемых данных. Система архивирования состоит из двух частей: архив нормального режима и архив аварийного режима. Архив нормального режима представляет собой циклический архив, в который заносятся все получаемые данные с настраиваемым разрешением по времени. В архив аварийного режима заносится определяемый пользователем объем данных с настраиваемым разрешением по времени только в условиях возникновения ненормального режима (при выполнении определенных условий).

Взаимодействие с PDC осуществляется с помощью специализированного ПО, установленного на АРМ оператора. С помощью него возможна визуализация получаемых измерений как в реальном времени, так и из архива. Формы и параметры визуализации настраиваются пользователем.

Верхний уровень системы СВИ ЭК организуется на ПС 500 кВ Комсомольская на отдельном сервере, оборудованном устройством хранения повышенной надежности, с установленным специализированным модульным ПО – центральным PDC.

Помимо сбора информации с локальных PMU, центральный концентратор осуществляет прием синхронизированных векторных измерений от концентраторов четырех других подстанций энергокластера, их обработку и передачу в SCADA. Передача данных центральному PDC осуществляется с частотой 50 сообщений в секунду по единой станционной шине энергокластера в соответствии с протоколом С37.118 (МЭК61850-90-5). Протокол, состав и частота передачи обобщенных измерений от центрального PDC в SCADA определяется на этапе проектирования.

Описание функций ПТК верхнего уровня системы СВИ

ПТК верхнего уровня системы СВИ энергокластера обеспечивает визуализацию и анализ измеряемой PMU информации, предусматривает возможность использования информации СВИ в качестве исходной для выполнения оценки состояния энергокластера и сигнализации степени активных или потенциальных нарушений в энергосистеме, таких как колебание или возмущение.

ПТК верхнего уровня системы СВИ энергокластера предоставляет возможность для решения следующих задач:

- динамическая идентификация параметров схем замещения ВЛ и трансформаторов

На основании синхронизированных векторных измерений по концам линии ПТК в реальном времени точно определяет такие распределенные параметры самой линии, как активное и индуктивное сопротивление, емкость, отслеживает динамику их изменения. Данная информация используется, например, для динамического определения допустимых пределов загрузки линии или уточнения уставок устройств релейной защиты.

- расчет средней температуры проводов ВЛ

Синхронизированные векторные измерения и определенные на их основе параметры используются ПТК для мониторинга ВЛ по температуре в реальном времени. Это позволяет более точно оценивать загруженность линии передачи относительно допустимых пределов.

- расчет и структурирование технических потерь мощности в ВЛ и трансформаторах

ПТК верхнего уровня определяет в реальном времени значения активной и реактивной мощности по концам линии, а также ее распределенные параметры. На основании полученных данных производится оценка потерь в линии с возможностью структурирования их по типам.

- динамическая оценка состояния энергокластера

ПТК верхнего уровня производит синхронные измерения в нескольких узлах энергокластера каждый период промышленной частоты. На основании полученных параметров ПТК производит динамическую оценку состояния энергокластера в реальном времени, что может быть использовано для решения задач оперативного управления.

- обнаружение возможного разделения системы с последующей ресинхронизацией отделенных участков

На основании мониторинга отклонения частоты и динамики изменения взаимного угла между напряжениями разных узлов ПТК определяет несинхронные части энергокластера и места возможного разделения системы. Средства визуализации «проблемных» узлов с отображением фазных углов напряжения и частоты в реальном времени позволяют оператору более точно и надежно восстановить синхронную работу несинхронных частей энергосистемы.

- обнаружение качаний мощности с определением источника качаний

На основании мониторинга взаимного отношения частоты и мощности ПТК верхнего уровня способен выделять составляющие качаний мощности, влияющие на возникновение

качаний ротора генератора. Осуществляется отслеживание пути моды, вызывающей качание генератора, тем самым определяется ее источник. Благодаря визуализации результатов анализа, оператор может наглядно оценить ситуацию и принять соответствующие меры.

- послеаварийный анализ

Благодаря настраиваемым функциям архивирования и визуализации ПТК верхнего уровня СВИ предоставляет широкие возможности для послеаварийного анализа событий.

Средство визуализации синхронизированной векторной информации имеет трехуровневую структуру, позволяющую визуализировать измеряемые параметры на уровне региона, узла, присоединения. Пользователь имеет возможность визуализировать как измеренные, так и рассчитанные параметры в различной форме: круговые диаграммы, графики зависимостей, столбчатые диаграммы, диаграммы с привязкой к географической карте. Возможна настройка допустимых пределов с визуальной сигнализацией их нарушения. Доступна визуализация измеренных и рассчитанных параметров из архива.

Результаты обработки синхронизированных векторных измерений передаются в специализированный ПТК для реализации комбинированного мониторинга параметров ВЛ 220 кВ. Специализированный ПТК осуществляет сравнительный анализ расчетных и измеряемых величин от системы СВИ и от системы мониторинга ВЛ 220 кВ. Протокол связи, состав и частота обновления информации уточняется на этапе проектирования.

Результаты обработки векторных измерений передаются в ЦУС МЭС Востока (ЦУС г. Хабаровск) и Хабаровское РДУ. Протокол связи, состав и частота обновления информации уточняется на этапе проектирования.

Характеристика стандарта МЭК 61850-90-5

В качестве одного из вариантов организации передачи данных синхронизированных векторных измерений в интеллектуальной сети ЭК «Ванино» рассматривается использование протокола МЭК 61850-90-5. Данный стандарт был опубликован Международной Электротехнической Комиссией (МЭК) в мае 2012 года. Протокол описывает передачу данных о дискретном состоянии и синхронизированных по времени электрических измерений в распределенных сетях, а также позволяет организовать системы распределенного мониторинга, защиты и управления (WAMPAC) на базе протоколов группы МЭК61850, широко используемых сегодня в автоматизации подстанции. Действующий стандарт С37.118 определяет требования к технологии и качеству синхронизированных векторных измерений в переходных режимах, технологии их передачи по UDP/IP, а также форматы используемых сообщений. Несмотря на длительное существование стандарта, в нем по-прежнему имеются некоторые «пробелы»: стандарт не определяет средства защиты передаваемого трафика, отсутствие единого набора средств при конфигурировании передаваемых наборов данных, отсутствие стандартных имен данных, отсутствие возможности отправки отрицательного ответа от сервера. Привязка структуры кадров С37.118 к службам GOOSE и SV позволит осуществлять обмен информацией СВИ, не нарушая принципов, заложенных стандартом С37.118, а также повысить надежность и унифицированность таких систем в рамках цифровых подстанций. МЭК 61850-90-5 позволяет также осуществлять маршрутизацию передаваемых данных, для чего в нем даются определения новым службам R-GOOSE для маршрутизации данных о событиях и R-SV для маршрутизации периодических данных.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация проектов энергокластеров «Эльгауголь» и «Ванино» позволит получить ценный опыт в создании и эксплуатации систем WAMS. Проект энергокластера «Эльгауголь» позволит получить практические знания в сфере организации системы синхронизированных векторных измерений на базе шины процесса МЭК 61850-9-2, а также использования данных СВИ в алгоритмах активной адаптивной системы оптимального управления напряжением и реактивной мощностью. Система синхронизированных векторных измерений энергокластера «Ванино» предоставляет возможность для опробования новых технологий передачи данных СВИ, предлагаемых стандартом МЭК 61850-90-5, и оценки эффективности использования

векторных измерений в алгоритмах анализа системы мониторинга состояния ВЛ. В будущем полученный опыт послужит полноценной базой для создания систем распределенного мониторинга, защиты и управления WAMPAC.

4 ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE Std C37.118.1-2011. IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems. 28 December 2011.
2. IEEE Std C37.118.2-2011. IEEE Standard for Synchrophasor Data Transfer for Power Systems. 28 December 2011.
3. IEC/TR 61850-90-5. Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-5: Use of IEC 61850 to transmit synchrophasor information according to IEEE C37.118. May 2012.