

Компания Vattenfall переходит на реальное время

Динамическая оценка линий электропередачи в сочетании с регулированием ветрогенерации позволяет шведскому системному оператору более эффективно использовать пропускную способность сети.

Арне Бергстром (Arne Bergstrom), Урбан Аксельсон (Urban Axelsson) и Виктория Нейман (Viktoria Neimane), компания Vattenfall

Швеция обладает благоприятными географическими условиями для использования возобновляемых источников энергии. Исторически примерно половина электроэнергии страны производится на гидроэлектростанциях, но теперь в дополнение к этому правительство поставило амбициозные планы по развитию ветроэнергетики. Разработка возобновляемых ресурсов представляет собой набор технологических задач, включая вопросы пропускной способности сети, а воздушные линии шведских сетей грозят стать узким местом из-за быстрого роста количества ветроэнергетических установок.

Пропускная способность воздушной линии ограничена температурой проводника и соответствующей величиной стрелы провеса. Исторически пропускная способность рассматривается как статический параметр, определяемый с учётом наихудших погодных условий как следствие воздействия охлаждающего эффекта на линию. Это консервативный, но безопасный метод определения предельной пропускной способности по току проводника.



Бригада монтажников из компаний Pöyry Swedpower/Vattenfall/USi производит сборку метеостанции в полевых условиях.

В районах с сильными ветрами кажется целесообразным учитывать местные погодные условия и охлаждающий эффект ветра в качестве основы для расчёта пропускной способности линии. При наличии системы оперативных измерений параметров местной погоды, а также температуры и стрелы провеса расчётного участка линии можно определить динамическую оценку линии электропередачи (DLR). С внедрением DLR появляется возможность измерения и контроля производства ветровой энергии. Такой метод позволяет не превышать пропускную способность воздушной линии в районах с сильными ветрами выше предельных значений.

Пропускная способность воздушной линии

Компания Vattenfall Distribution Nordic является крупнейшим оператором распределительной системы (DSO) Швеции и ей принадлежит почти половина распределительной сети высокого напряжения. Она также является собственником 20% сетей среднего и низкого напряжения. Распределительная сеть высокого напряжения включает 15 тысяч километров воздушных линий и почти 900 подстанций. Vattenfall получает многочисленные запросы на подключение ветрогенераторов к сетям среднего и низкого напряжения. Анализ потоко-распределения часто подтверждает, что при высокой ветрогенерации одна или несколько воздушных линий находятся под угрозой перегрузки.

В Швеции зимы сравнительно холодные, и мощность электрических сетей рассчитана на относительно бесперебойное энергоснабжение. Исключение составляют промышленные нагрузки; график нагрузки известен и имеет такую кривую, которая отрицательно коррелирует с температурой во время пиковых нагрузок в зимний период. Обнадеживает то, что низкая температура окружающего воздуха достаточна для охлаждения проводов воздушных линий в зимний период.

Подключение к сети воздушных линий чрезмерного количества ветрогенераторов в тёплый летний период при высоком уровне ветрогенерации может привести к ограничению пропускной способности, а не в зимний

УПРАВЛЕНИЕ Перетоками мощности

период, когда становится высоким уровень нагрузки. Пропускная способность воздушной линии (статическая оценка) основана на довольно консервативном предположении, что при самой высокой ветрогенерации скорость ветра, который дует перпендикулярно проводу, составляет всего 0,6 м/сек. Однако даже при небольшом увеличении силы ветра выше 0,6 м/сек произойдет значительное повышение пропускной способности линии.

Vattenfall произвела конкретные исследования, во время которых данные о силе ветра с обтекателя ветротурбины сравнивались с данными силы ветра по трассе воздушной линии. На основании этих исследований DSO сделал вывод, что эффект охлаждающего действия ветра на линию может учитываться с большей точностью. Это может помочь при разработке бизнес-проекта по модернизации воздушных линий со статическими параметрами в районах с развитой ветроэнергетикой для планирования и реализации систем измерения на базе DLR для эксплуатации сетей.

Технологии динамической оценки

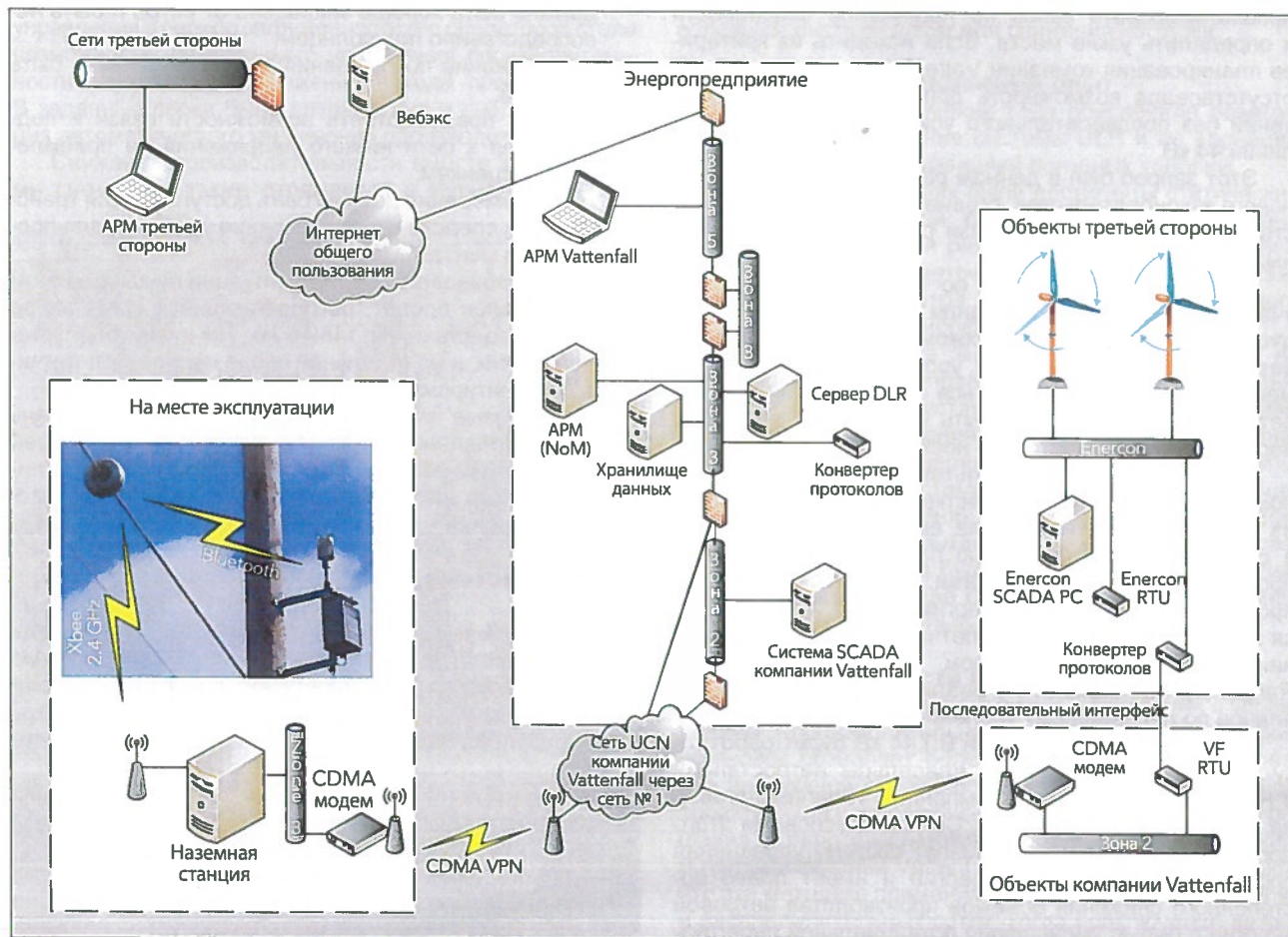
Практика определения динамической оценки линий электропередачи, которая учитывает погодные условия, не нова. Для этих целей уже более 30 лет используются метеостанции. На рынке уже присутствуют различные технологии оценки и много еще находится в процессе разработки. Алгоритмы, используемые для определения динамических оценок, обычно основаны на методах СИГРЭ и IEEE.



Маркус Ауствик устанавливает датчик Power Donut2 на проводе воздушной линии.

Одни системы поставляются в виде полного концептуального решения вместе с программным обеспечением, другие разрабатываются под требования покупателя. Основное различие систем от разных производителей заключается в измеряемых и используемых для расчетов параметрах.

В некоторых системах за основу принимаются перепады температур по сети, которые включают в себя более одного погодного аспекта, в других измеряются все погодные условия. Другое отличие состоит в том, какой параметр измеряется для представления температуры провода; температура провода может быть



Для пилотного проекта динамической оценки пропускной способности линий компания Vattenfall разработала систему связи.

УПРАВЛЕНИЕ Перетоками мощности

измерена в одном месте или в нескольких местах, распределённых вдоль линии. Натяжение, стрела провеса, угол наклона или методика, основанная на колебаниях, также могут быть использованы для представления температуры воздушной линии. Эти различные системы находятся на разных стадиях разработки, некоторые для внедрения требуют физического вмешательства на линии, в то время как другие могут быть установлены под напряжением без отключения линии.

Пилотный проект компании Vattenfall

Цель пилотного проекта компании Vattenfall заключалась в проведении полномасштабных испытаний концепции динамической оценки одной из трёх воздушных линий 44 кВ, проходящей в район с мощной ветроэнергетикой, образованной при объединении ветрогенераторов с установленной мощностью около 80 МВт. Пиковая нагрузка в этом районе составила 47 МВт.

После получения запроса на подключение ещё четырёх ветротурбин типа 2,05 МВт Enercon E82 в районе Rangeltorp (сначала было две) было необходимо проанализировать запас по пропускной способности и определить узкие места. Если исходить из критериев планирования компании Vattenfall, то в этом районе отсутствовала возможность дополнительных подключений без предварительного усиления существующих линий 44 кВ.

Этот запрос был в данном районе последним из-за нового законодательства, ограничивающего строительство ветрогенераторов вблизи расположения воздушных ЛЭП.

Данные моделирования по нагрузке и генерации участка Rangeltorp подтвердили перегруженность воздушной линии 44 кВ при высоком уровне производства ветровой энергии и низком уровне нагрузки. Тем не менее, если будет учитываться охлаждающий эффект ветра на ВЛ, риски могут быть уменьшены, поскольку перегрузка возникает только несколько раз в году.

В качестве временной альтернативы по немедленному усилению сети на участке Rangeltorp на одной из 44-киловольтных ВЛ была внедрена система DLR в сочетании с возможностью постепенного снижения производства ветровой энергии. Контроль и снижение производства ветровой энергии будут производиться в качестве услуги из диспетчерского центра компании Vattenfall, таким образом, подключение участка Rangeltorp не повлияет на реализацию существующих планов по дальнейшему усилению сетей района.

На то время, пока на сети ВЛ 44 кВ будет работать система мониторинга DLR, владельцы ветростанций в Rangeltorp заключили с компанией Vattenfall договор на поставку электроэнергии. Согласно условиям этого договора Vattenfall устанавливает систему управления производством ветровой энергии и имеет право постепенного снижения объёмов производства ветровой энергии с целью уменьшения потенциальной перегрузки воздушных линий сети 44 кВ.



Специалисты компании Underground Systems Дункан Бриз (Duncan Breese) и компания Vattenfall Мэтс-Аке Веттергрэн (Mats-Åke Wettergren) задают параметры наземной станции.

Система измерений DLR

Компания Vattenfall разработала перечень наиболее важных требований к системе мониторинга DLR:

- линейные датчики должны подходить для установки на имеющуюся ВЛ 44 кВ;
- обеспечение возможности установки под напряжением;
- обеспечение измерений параметров погоды;
- должен быть включён расчёт динамической оценки пропускной способности линии;
- измеренные и расчётные значения должны передаваться и выводиться на экран диспетчерского пункта Vattenfall с использованием систем SCADA;

- связь между пунктами замеров и системой SCADA должна соответствовать требованиям безопасности компании Vattenfall.

После анализа рынка и оценки характеристик компания решила использовать систему Power Donut2 DLR компании Underground Systems Inc.

Для точек измерений были разработаны следующие внутренние критерии:

- место измерения должно находиться как можно ближе к «горячей точке» на воздушной линии, оно должно быть хорошо защищено от ветра и быть непосредственно под солнцем;
- во избежание повреждений это место должно быть укрытым;
- следует предусмотреть возможность связи и подключения к сети низкого напряжения по приемлемым расценкам;
- место измерений должно быть доступным для транспортных средств и с точки зрения удобства для проведения монтажных работ.

После проведения анализа ситуации лучшим местом был определён пролёт, располагающийся сразу же за питающей подстанцией 145/44 кВ. На линии был установлен датчик, а на отдельной опоре недалеко от датчика были смонтированы метео- и наземная станции.

Измеряемые параметры включали в себя уровень силы и направление ветра, температуру окружающей среды, уровень солнечной радиации, температуру линии, ток и угол наклона линии. Все измеренные и расчётные значения направлялись в диспетчерский центр.

Система управления мощностью ветрогенерации

Постепенное изменение мощности ветрогенерации зоны Rangeltorp должно было производиться вручную из диспетчерского центра на основании значений мощности, полученных от системы DLR по схеме с открытым контуром управления. Это означает, что необходимости в проведении дополнительных работ на ветростанциях не требуется, за исключением связи. Для обеспечения безопасности связи поставщик ветротурбин компания Enercon предусмотрела установку отдельного дистанционного терминала конвертера протоколов между своим оборудованием и оборудованием компании Vattenfall. Измеренные данные от ветротурбин (суммарная активная и реактивная мощности, скорость и на-

УПРАВЛЕНИЕ Перетоками мощности

правление ветра и количество активных турбин) передаются в систему SCADA.

Интеграция центра управления

Постепенное изменение мощности ветрогенерации в качестве нового инструмента снижения перегрузок явилось новым видом деятельности для центра управления; поэтому к центру управления были предъявлены следующие новые требования:

- для системы мониторинга DLR и управления ветрогенерацией не применяются отдельные автономные системы. Производительность ограничивается существующей системой SCADA;
- все операторы центра управления должны пройти соответствующее обучение и должны быть в состоянии оперировать системами мониторинга DLR и системой управления ветрогенерацией;
- обработка сведений о производительности, аварийных сигналах и документации должна отвечать обычным стандартам центра управления. Новые процедуры должны быть строго документированы;
- необходимо разработать инструмент поддержки принятия решений на основе системы SCADA.

Задачей стратегии становится управление быстрыми изменениями производительности ветрогенерации, а также определение того, когда должны происходить эти снижения или повышения производительности. Также необходимо было задать зону нечувствительности по частоте.

Ещё одной предполагаемой проблемой для центра управления в период загруженности его операторов стала возможность немедленного увеличения производительности во избежание снижения дохода производителя. В заданные сроки была разработана и внедрена функция автоматического увеличения производительности.

Снижение производительности вместе с аварийными сигналами также отражается в журнале событий.



Монтажники компании Vattenfall устанавливают метеостанцию вблизи датчика Power Donut2.

В соглашении о поставках электроэнергии с владельцами ветрогенераторов предусмотрена подготовка и передача отчёта после каждого факта по изменению производительности.

Инструмент принятия решения и презентация

В основе инструмента принятия решений в системе SCADA лежит информация от системы DLR и ветротурбин района Rangeltorp. На перегрузку указывают два отдельных значения: предельное значение и температура линии. Предельное значение представляет собой расчётное значение, подразумевающее остаточную пропускную способность линии на базе расчётов DLR. Нулевое или отрицательное предельное значение указывают на перегрузку линии. Температура линии выше 50°C (122°F) также указывает на перегрузку линии с учётом профиля и максимального провеса провода.

Для активации функции изменения было разработано отдельное меню. Это меню поддерживает два вида изменений производительности: заданная уставка (изменение производительности в пределах 20% полной мощности) и определяемая вручную уставка (в ней по умолчанию присутствует расчётное значение на базе предельного). При возникновении одной из аварийных ситуаций операторы центра управления должны проверить состояние сети ВЛ 44 кВ для подтверждения того, что превышение нагрузки явилось следствием высокого уровня производства электроэнергии ветрогенераторами. Функция изменения производительности является полезным инструментом для снижения нагрузки.

Накопленный опыт

Эксплуатация в течение года обеспечила возможность изучить поведение системы DLR и её вариаций на фоне локальных изменений погодных условий.

В нескольких случаях были достигнуты статические параметры пропускной способности, зафиксирована относительно большая разница между статическими и динамическими параметрами линии благодаря охлаждающему эффекту ветра. В течение одного короткого периода была зафиксирована разница в 180%.

В течение периода эксплуатации система ещё не использовалась для управления производительностью ветроэнергетических установок, но согласно условиям действующего соглашения с владельцами ветроустановок три раза в год в целях обеспечения функциональных возможностей системы и проверки рабочих процедур в центре управления предусмотрено проведение эксплуатационных испытаний. Система DLR также создаёт возможности для будущего анализа информации, который позволит более глубокое изучение поведения самой системы и локальных погодных условий.

Области применения

Концепция использования DLR в сочетании с управлением производительностью ветроэнергетических установок позволяет более эффективное использование пропускной способности сети. В данном пилотном проекте были исследованы и испытаны технические решения, отработаны режимы работы центра управления. В группе компаний Vattenfall Distribution Nordic считают, что эта методика применима в профилактических целях в распределительных сетях, когда подключение ветрогенераторов может привести к узким местам в пропускной способности сетей. TDWR