



Saft установила литий-ионные электрохимические аккумуляторы в Ла Адеа де Сан Николас на острове Гран Канария.

Канарские острова извлекают пользу из модернизированных сетей

Проект STORE решает сложные задачи, присущие изолированным электрическим системам

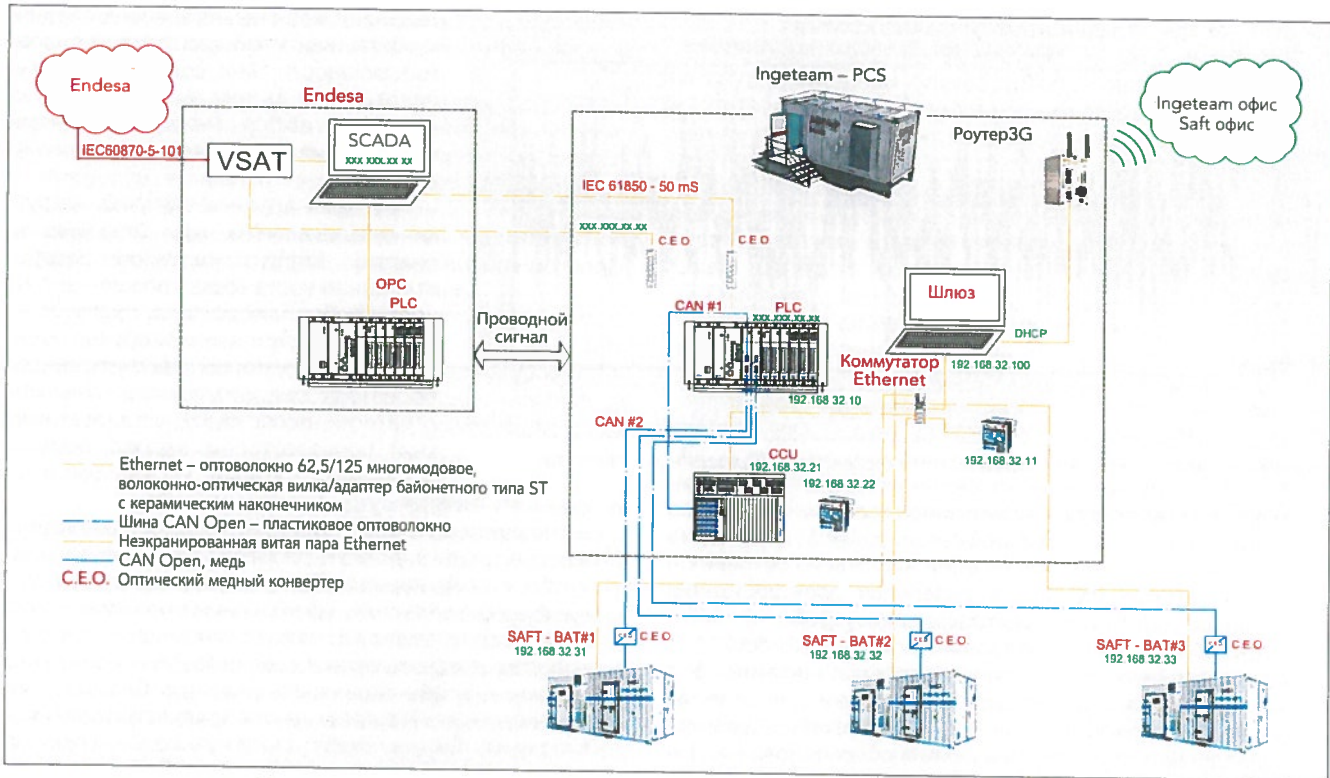
Пабло Фонтела (Pablo Fontela), Хорхе Мартинес (Jorge Martinez), Альберто Баррадо (Alberto Barrado), Хуан Карлос Баллестерос (Juan Carlos Ballesteros), Endesa Generacion

Технологии накопления энергии в сочетании с передовыми силовыми электронными системами являются ключом к сохранению надёжности электрических систем в условиях увеличения количества устанавливаемых источников возобновляемой энергии. Испания поставила целью перевод более 40% генерации электроэнергии на источники возобновляемой энергии к 2020 году. Endesa, крупнейшее в стране энергетическое предприятие, является лидером проекта «технологии хранения надёжной энергии» (STORE), состоящего из матрицы режимов испытания при ужесточённых условиях на ряде европейских изолированных энергосистем.

Расположенные у северо-западных берегов континентальной Африки, Канарские острова — группа из семи островов — были выбраны как место реализации проекта STORE. Обычно на стабильность энергосистемы Канарских островов оказывают влияние неуправляемые технологии, например возобновляемые ресурсы, и стоимость стандартной выработки электроэнергии выше, чем на материке.

Проект STORE запускается для обеспечения лучшего понимания интеграции накопления энергии при условиях, присущих изолированным энергосистемам. Более того, он предоставит аналитическую базу, которая, как предполагается, обеспечит большой интерес к

АККУМУЛИРОВАНИЕ Энергии



Высокоуровневая схема, демонстрирующая систему управления литий-ионных батарей.

дальнейшему развитию технологий хранения электроэнергии.

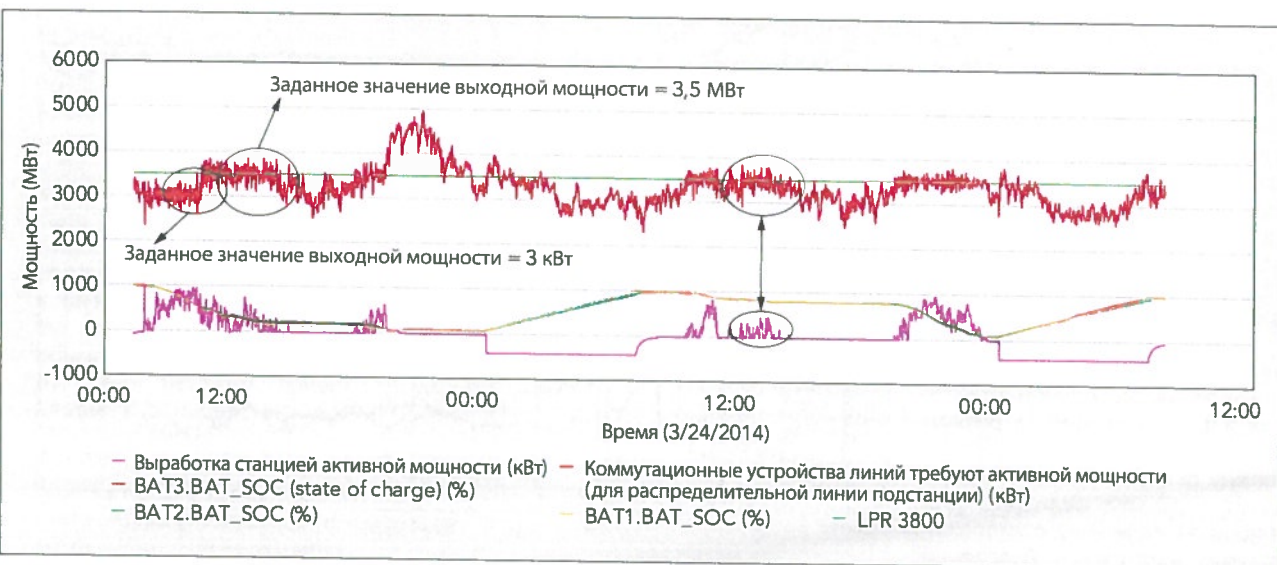
Три технологии

На электростанциях Endesa на Канарских островах были установлены три вида технологий накопления энергии:

- в Ла Адея де Сан Николас на острове Гран Канариа — станция с литий-ионными электрохимическими батареями (1 МВт/3 МВт•ч), предоставленными

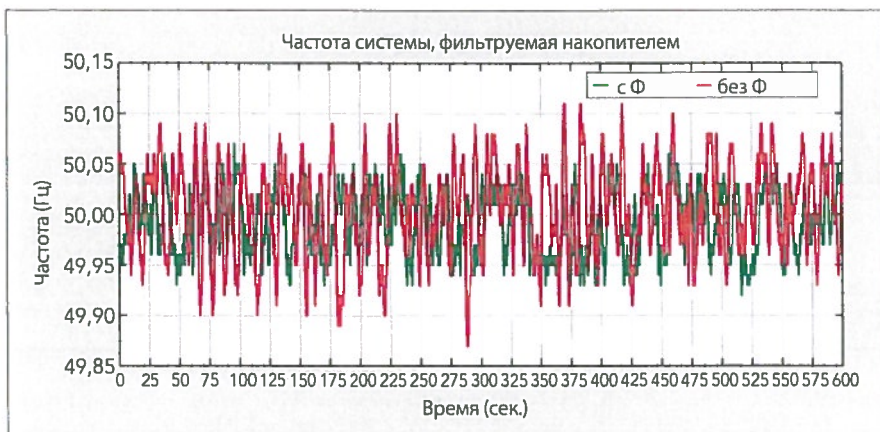
Saft и установленными для обеспечения ёмкости блока выработки электроэнергии в процессе эксплуатации. Это позволяет управлять нагрузкой путём подачи инерционной и активной мощности в сеть, регулировки напряжения и участия во вторичной регулировке, обеспечиваемой автоматической системой контроля выработки;

- в Аладжеро на острове Ла Гомера — инерционное накопительное оборудование в виде инерционного накопителя (0,5 МВт/18 МВт•ч), предоставленное



Работа литий-ионной батареи на Гран Канариа, запущенной в режиме предельной активной мощности, которая демонстрирует начальные точки выходной мощности.

АККУМУЛИРОВАНИЕ Энергии



Сглаживающий эффект, оказываемый инерционным накопителем на частоту.

АВВ. Оно предоставляет инерциальную и активную мощность для первичной регулировки в дополнение к непрерывной стабилизации частоты на острове;

- на острове Ла Палма дизельная электростанция была оснащена ультраконденсатором (4 МВт/20 МВт·ч), предоставленным Ingeteam и Endesa, для поддержания стабильности частоты системы. Эта технология была использована также для возможности избежать потерь энергоснабжения от непредвиденных пробоев, тем самым обеспечивая надёжность системы и качество энергоснабжения.

Оборудование, установленное на Ла Гомера и Ла Палма, использует технологии накопления энергии быстрого реагирования, таким образом оно подходит для предотвращения непредвиденных ситуаций в малых энергосистемах, таких как частичная потеря мощности или полное отключение. В то же время станция на Гран Канариа располагает большей накопительной ёмкостью и может служить как группа управляемых генераторов, так что возможно составлять график нагрузки станции ежедневно.

Литий-ионные батареи

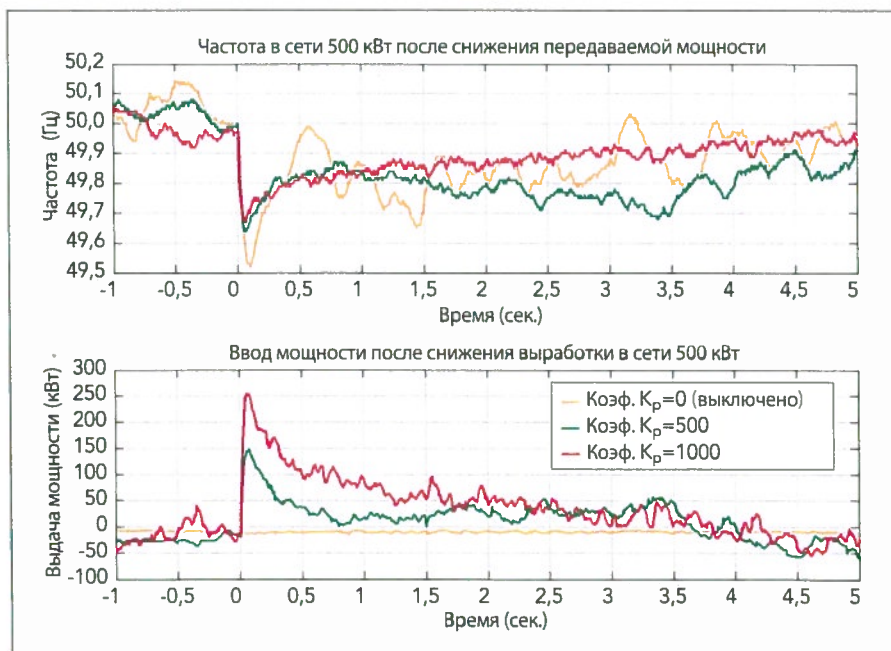
Литий-ионная электрохимическая накопительная система состоит из трёх литий-ионных батарей контейнерного типа, каждая с 17 ячейками (756 В, 90 А максимум). Они смонтированы в отдельном контейнере с силовой электроникой — трансформатором постоянного-постоянного тока, трансформатором постоянного-переменного тока и трансформатором для подачи и забора энергии из сети.

Система может работать либо в автоматическом режиме, следуя выбранной стратегии управления, либо в ручном режиме. Она может выбирать между активной (с использованием заданной величины или заданной величины с отслеживанием частоты) и пассивной (с использованием заданной величины или с отслеживанием

заданной величины по мощности или коэффициенту мощности) регулируемой мощностью, или совместной регулировкой. В автоматическом режиме возможен выбор между функциями ограничения пика нагрузки и её сглаживания.

Функция ограничения пика нагрузки предназначена для ограничения пиковой нагрузки на линии распространения и для предотвращения случаев пробоя генераторных установок. Некоторые стратегии требуют оценки запроса, который рассчитывается по методу среднесуточного тока. Эти стратегии используют устанавливаемый пользователем период зарядки и разрядки батарей, управляемый по выбранному алгоритму:

- **минимальный заряд батареи.** Цель этого алгоритма — позволить полную разрядку в каждый период, чтобы в конце периода батарея разряжалась до минимального значения, установленного производителем. Предел разрядки, называемый чередующимся порогом, рассчитывается сверх этого минимального значения, чтобы ограничить разрядку батареи. Начальное значение предела определяется путём повторений, пока не будут достигнуты определённые показатели, задаваемые в системе SCADA;
- **минимальный заряд батареи с динамическим обновлением.** Этот алгоритм имеет ту же задачу, что и предыдущий, благодаря чему оценка нагрузки производится в начале каждого повторения. Этот способ предоставляет большую точность в регулировке энергопотребления и оптимизации разрядки батареи;
- **ограничение мощности.** Этот алгоритм устанавливает предел нагрузки, по достижении которого начинается разрядка батареи. Метод имеет низкую



Частотный отклик и выходные характеристики мощности установки с инерционным накопителем.

точность, так как он не рассчитан на полную разрядку батареи, поэтому зависит от знания оператором этого предела;

- **переменный порог.** Этот алгоритм использует минимальный заряд батареи и метод ограничения мощности для определения наиболее применимого. Алгоритм вычисляет используемую каждым методом энергию и процент задаваемого переменного порога. Он динамически выполняет число повторений, необходимое для получения порога разрядки для оптимального функционирования.

Функция сглаживания нагрузки использует календарь для фиксирования характеристик зарядки и разрядки батарей в течение 15 минут еженедельно. Для каждого периода впоследствии возможно установить начальную точку для активного или реактивного коэффициента мощности.

Инерционный накопитель

Инерционный накопитель включает в себя низкоскоростной маховик (3600 об/мин при 100% нагрузке) и два инвертора твёрдотельных биполярных транзисторов с изолированным затвором, которые формируют высокопроизводительный стабилизатор напряжения. Система способна понижать или повышать напряжение до номинального значения и позволяет реагировать на изменения в энергосистеме в течение примерно 5 миллисекунд. Система может работать в ручном режиме с активным (с начальной точкой, пропорциональным или инерционным откликом) или реактивным (с начальной точкой или отслеживанием по напряжению) контролем мощности или с комбинацией режимов.

Основная задача инерционного накопителя — стабилизировать энергосистему для увеличения энергии от возобновляемого источника и качества энергоснабжения:

- **контроль заряда накопителя.** Уровень заряда, при котором маховик работает в нормальном режиме, может быть установлен между полным и нулевым с управляющей системой. Нормальный уровень заряда устанавливается для обеспечения достаточного уровня энергии для поддержания частоты для сглаживания колебаний в нагрузке энергосети, а также запаса для покрытия потерь генераторной установки, такой как дизельный генератор;
- **отклик на скачки нагрузки.** Инерционный накопитель обладает быстрой реакцией на заряд и разряд. В случае потери установки в энергосистеме (к примеру, при отказе генератора) обычно в системе возникает скачок нагрузки, приводящий к большой разнице частот. Инерционный накопитель способен реагировать на это изменение в нагрузке, разряжаясь до номинального значения мощности за миллисекунды.

Ультраконденсаторная система

Ультраконденсаторная система (STORE-U) состоит из двух одинаковых блоков преобразователя питания и соответствующего ультраконденсатора. Преобразователь питания состоит из трансформатора (переменный-постоянный ток). Это требуется для статического синхронного компенсатора (STATCOM), системы накопления энергии (ESS) и трансформатора (постоянный-постоянный ток), который запускается только в режиме ESS.

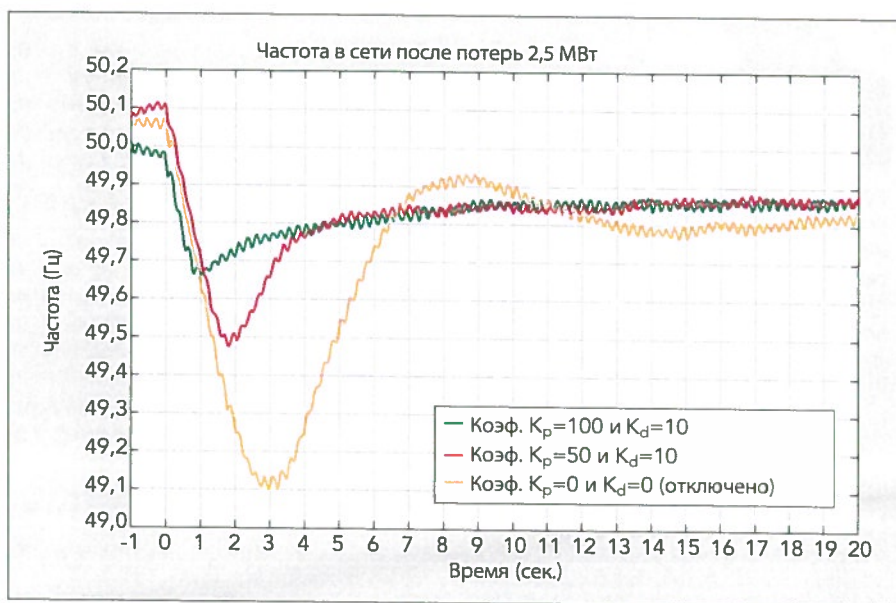
Оператор конфигурирует ультраконденсаторную систему для активации на определённой частоте, включая её производную на определённый период времени. Ультраконденсатор сработает, если частота упадёт ниже определённого предела (Flim) с производной (DFlim). Подача питания в сеть начинается, если оба условия выполняются одновременно. Два блока могут работать независимо либо в режиме STATCOM (контроль напряжения/мощность напряжения), либо в режиме ESS (первичный отклик/активная мощность).

Результаты тестов на месте

Endesa провела различные тесты для ратификации отклика сети на установленные хранилища. Эти тесты зависят от типа установленного оборудования хранения (а именно батарей, инерционных накопителей и ультраконденсаторов) и ожидаемого отклика на выравнивание нагрузки, а также задержки как побочного результата регулировки.

Результаты тестов батареи

Литий-ионные батареи использовались для проверки возможности обеспечения переноса нагрузки, а также регулировки напряжения и частоты. Алгоритмы были проверены в реальном времени путём регистрации электрической нагрузки на воздушной линии электропередачи Гран Канария — Анзофе, на подстанции-источнике. На основе информации о нагрузке система управления батареи вычисляет необходимую выходную мощность в реальном времени.



Влияние ультраконденсаторов на частоту сети и отклик мощности после потери 2,5 МВт выработки. (Примечание: K_p — пропорциональный рост, K_d — инерционный)

АККУМУЛИРОВАНИЕ Энергии



Установка с инерционным накопителем, предоставленная ABB на Ла Гомера.

Результаты тестов инерционного накопителя

Энергосистема острова Ла Гомера отличается малой задержкой и низким уровнем токов короткого замыкания. Инерционный накопитель позволяет быстро поставлять энергию в систему для увеличения частотного отклика генераторов. Это оборудование было способно на протяжении долгого времени фильтровать отклонения частоты, так что максимальное отклонение частоты уменьшилось.

Эти тесты были проведены для определения преимуществ инерционного накопителя в части частотного отклика после потери одного 500-киловаттного генератора при пиковой нагрузке в сети острова в 8000 кВт. Для каждого теста значение отклика пропорционального коэффициента усиления (K_p) изменялось от $K_p = 0$ кВт/Гц до $K_p = 1000$ кВт/Гц.

По мере увеличения значения K_p наблюдалось существенное улучшение поведения частоты сети. Однако финальное значение K_p — компромисс между улучшением частоты сети и стабильностью системы. Кроме того, тесты подтвердили необходимость проверки поведения заряда в накопителе. Когда он достигает

нижнего значения, он провоцирует отключение в виде остаточной разрядки, снижая мощность по экспоненте по той причине, что высокое значение K_p может спровоцировать внезапное отключение, когда подача энергии в энергосистему полностью рассеивается.

Результаты тестов ультраконденсатора

Энергосистема острова Ла Палма имеет схожие электрические характеристики с островом Ла Гомера, а именно низкий уровень токов короткого замыкания, хотя пиковая нагрузка в сети вчетверо выше.

Назначение ультраконденсаторов — подача высокой мощности во время временных происшествий, пока дисбаланс нагрузки между генератором и нагрузкой не будет устранён. Энергия, подаваемая ультраконденсаторами, предназначена для компенсации падения частоты быстрее, чем генераторами, минимизируя возможность сброса нагрузки. Проведённые тесты демонстрируют эффект увеличения K_p ультраконденсаторов от 0 до 100 МВт/Гц, что в результате даёт более быстрое восстановление частоты сети.

Ратификация

В результате проекта Endesa на Канарских островах были ратифицированы некоторые из разнообразных способов хранения энергии, представленных на рынке и разработанных для обеспечения эффективности и надёжности энергосистем в изолированных сетях, установленных на островах. Проверенные в разнообразных условиях технологии доказали способность работать при интеграции в генераторную систему.

Благодаря проекту STORE было продемонстрировано применение этих технологий для обеспечения дополнительной выработки энергии при повышении качества, эффективности и надёжности сети. TDWR

КОММЕНТАРИЙ

Павел Илюшин, заместитель генерального директора — главный инспектор ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС»



В представленной статье приводится информация

об использовании трёх технологий накопления электрической энергии в энергосистеме Канарских островов для решения вопросов сохранения надёжного электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных ситуациях.

В ряде случаев представляется целесообразным комбинированное использование различных видов накопителей с выбором соответствующих алгоритмов и параметров настройки регуляторов для управления переходными процессами. При этом особое значение имеет правильный

выбор мощности накопителей с учётом возможных возмущений и режимов работы электростанций на базе ВИЭ.

Важно учитывать наличие устройств противоаварийной автоматики (автоматики частотной разгрузки и автоматики ограничения снижения напряжения) в энергосистемах России, чтобы быстрое действие систем управления накопителем позволяло обеспечить стабилизацию режимов по частоте и напряжению до срабатывания данных устройств или, в случае невозможности этого, с учётом их алгоритмов и параметров срабатывания.

Помимо поддержания частоты важной функцией накопителей, особенно в узлах промышленной нагрузки со значительной долей

асинхронных электродвигателей, является поддержание напряжения в допустимых пределах для исключения возникновения «лавины напряжения», которая может быть востребована.

Безусловно, данные технологии накопления электрической энергии являются достаточно дорогими и, следовательно, в зоне централизованного электроснабжения России практического применения не найдут, однако в регионах Крайнего Севера и Дальнего Востока, где имеются зоны изолированного электроснабжения (стоимость электроэнергии значительно выше), они могут найти своё достойное применение в комбинированных источниках энергии совместно с ВИЭ.