

ОБЗОР ТРЕНДОВ РАЗВИТИЯ И ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПО СОСТОЯНИЮ НА 2026 г.

На основе исследовательских материалов CIGRE

ИК С6 «Активные распределительные системы и распределенные энергоресурсы»

cigre
For power system expertise

В.О. Самойленко

Предпочтительные темы докладов 51-й сессии CIGRE 2026



Предпочтительные темы 51-й сессии CIGRE 2026 (в переводе РНК СИГРЭ)

1. **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИБКОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ**
   - Эффект предоставления сетевых услуг за счет систем накопления и агрегатов преобразования энергии, в том числе водородных, в распределительных системах.
   - Роль энергетических сообществ, агрегаторов и виртуальных электростанций для повышения гибкости распределительных сетей.
   - Приемлемость рисков в условиях перегрузки сетей и баланс между обеспечением гибкости и расширением эксплуатационных пределов.

2. **ПЛАНИРОВАНИЕ И ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДО И ПОСЛЕ 2030 ГОДА В АКТИВНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**
   - Влияние принципиальных изменений целей и критериев планирования в контексте ускорения электрификации, новых электрических нагрузок и поведения потребителей.
   - Интеграция электротранспорта и влияние дальнейшего развития технологий на распределительную систему.
   - Роль операторов распределительных сетей в управлении и планировании работы систем и повышении отказоустойчивости распределительных систем с учетом доступности для потребителей.

3. **СТАНДАРТЫ, ПРАКТИКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВАРИАНТЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**
   - Микросети и мультимикросети, включая промышленные сети.
   - Применение распределенных энергоресурсов в автономных сетях и изолированных системах, включая соответствующие меры по повышению отказоустойчивости.
   - Применения для подключения «последней мили» в проектах электрификации сельских районов.

Всего 119 докладов, в т.ч. 6 из России

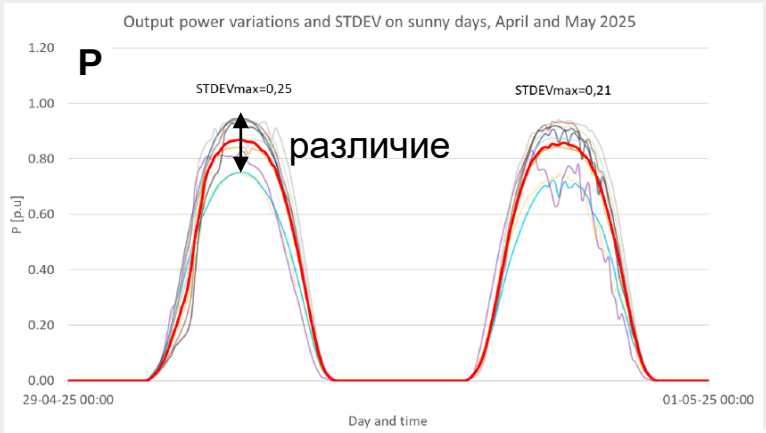
cigre
For power system expertise

Влияние фотоэлектрических станций (ФЭС) на параметры качества электроэнергии и загрузку распределительных сетей среднего (СН) и низкого (НН) напряжений

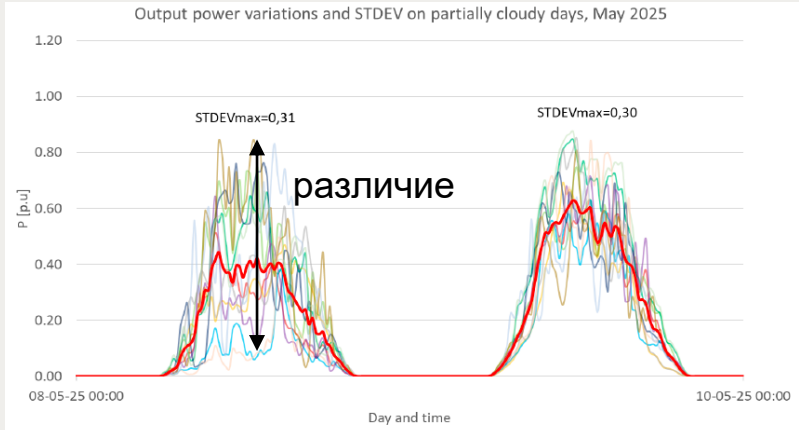


Единовременное различие в мощности ФЭС в Боснии и Герцеговине

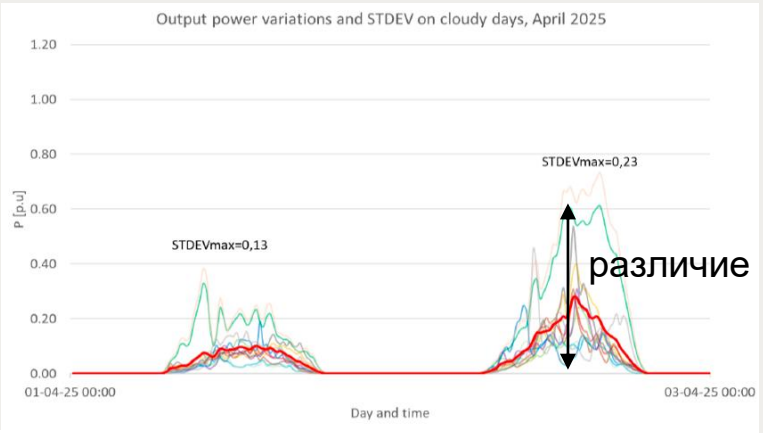
Солнечно, апрель и май



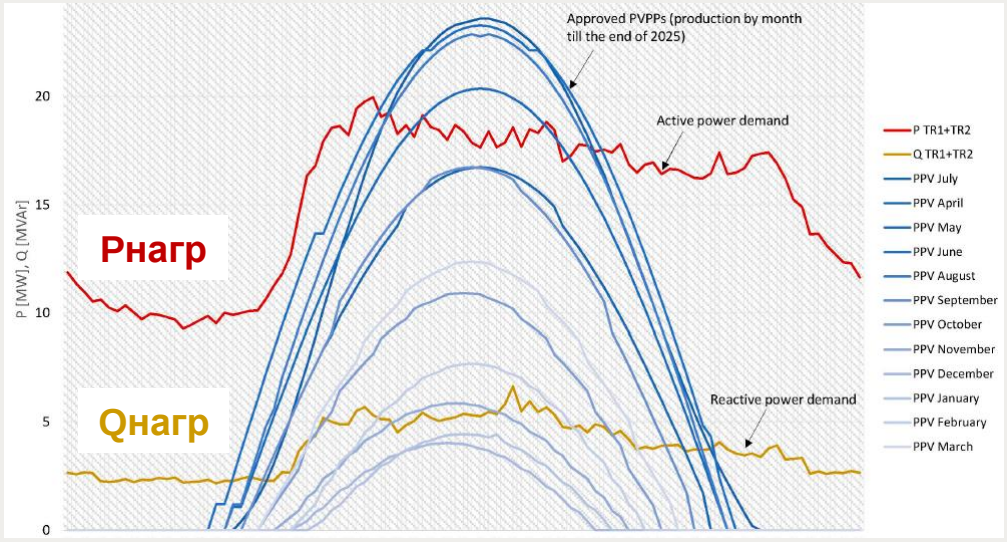
Переменная облачность, май



Пасмурно, апрель

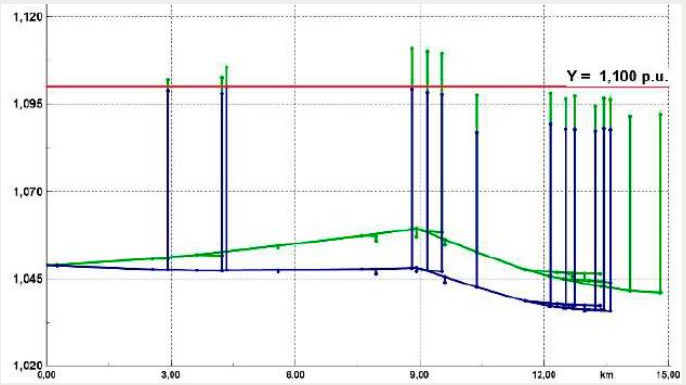


*Цветами обозначены профили различных ФЭС и **суммарный профиль***



← Нормированные профили генерации ФЭС (по месяцам) относительно нагрузки (среднегодовая)

Напряжение: →
без накопителя энергии
с накопителем энергии



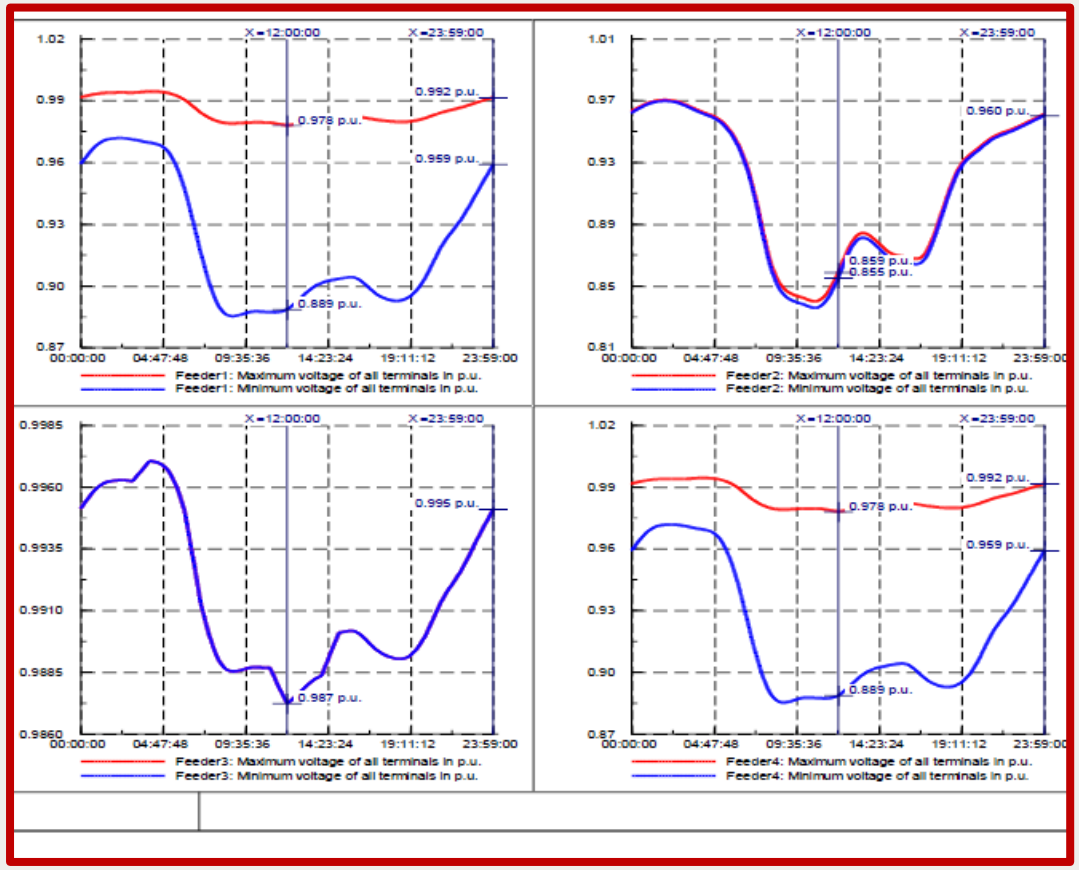
В стране с небольшой площадью 20 тыс. кв. км., но горным рельефом единовременная различие между мощностью отдельных ФЭС может превышать 72 %, что приводит к существенным колебаниям параметров электрического режима

• **PS1-11745, 11747**

cigre
For power system expertise

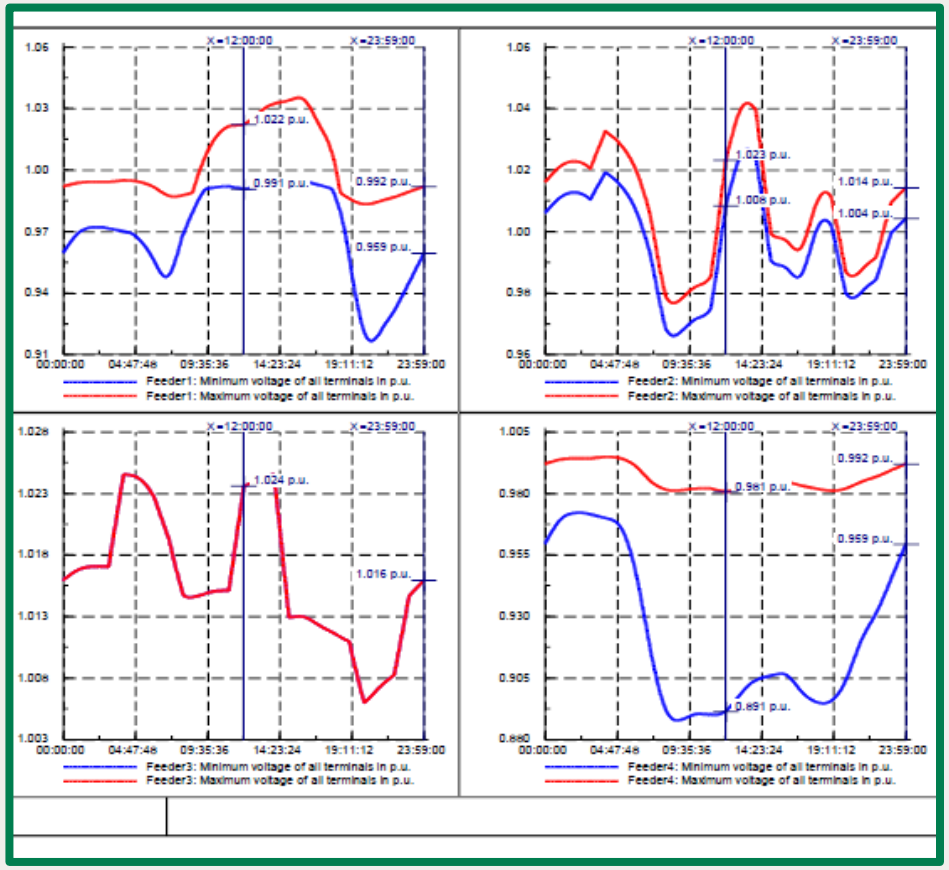
Модуль напряжения до и после подключения фотоэлектрической и ветровой генерации. Саудовская Аравия

Было: модуль напряжения **84 - 99 %** от номинала



Модуль напряжения **+4 … +17 %**

Стало: модуль напряжения **89 - 104 %** от номинала



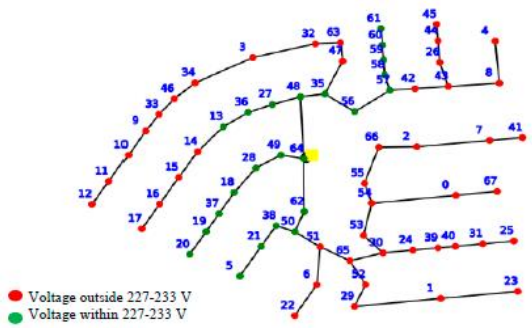
Удачное совпадение дневных нагрузок электрического кондиционирования и дневной выработки фотоэлектрических станций, а также круглосуточная генерация ветровых станций в распределительную сеть среднего напряжения помогли существенно повысить низкий модуль напряжения

- **PS2-11693**

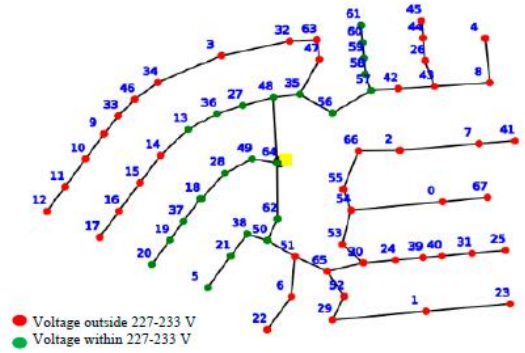
cigre For power system expertise

Переключение режимов выработки реактивной мощности фотоэлектрических инверторов 3 кВт. Таиланд

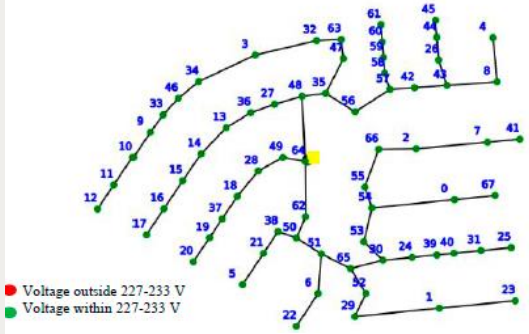
Карта-схема системы электроснабжения с узлами **в пределах** желаемого отклонения напряжения 3 В от номинала и **за пределами**

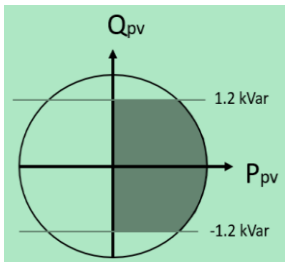


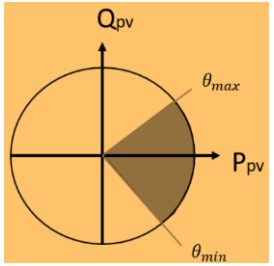
Только активная мощность



Реактивная мощность вырабатывается с коэффициентом мощности 0,8 только при наличии выработки ФЭС ↓







Реактивная мощность вырабатывается в в том числе и ночью ↑ с расходом 1-3 % номинальной активной мощности

Профили напряжения в различных точках системы э/снабж. в зависимости от режима выработки реактивной мощности

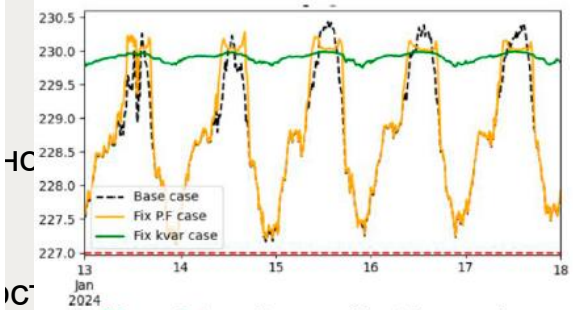


Figure 9a) - voltage profile at bus no. 6

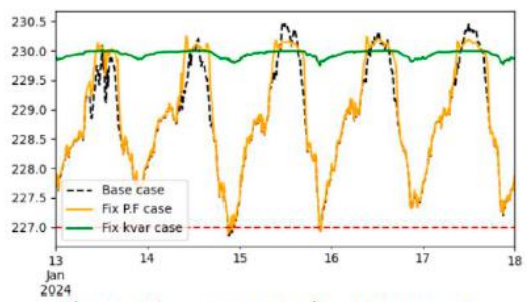


Figure 9b) - voltage profile at bus no. 16

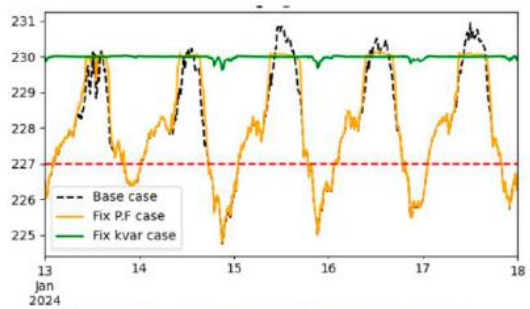


Figure 9c) - voltage profile at bus no. 11

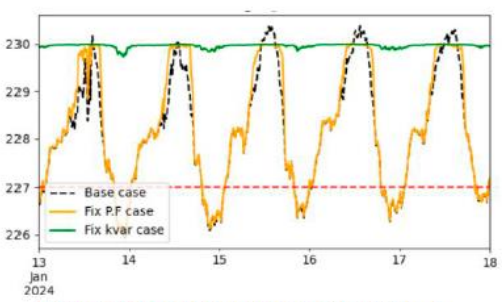


Figure 9d) - voltage profile at bus no. 1

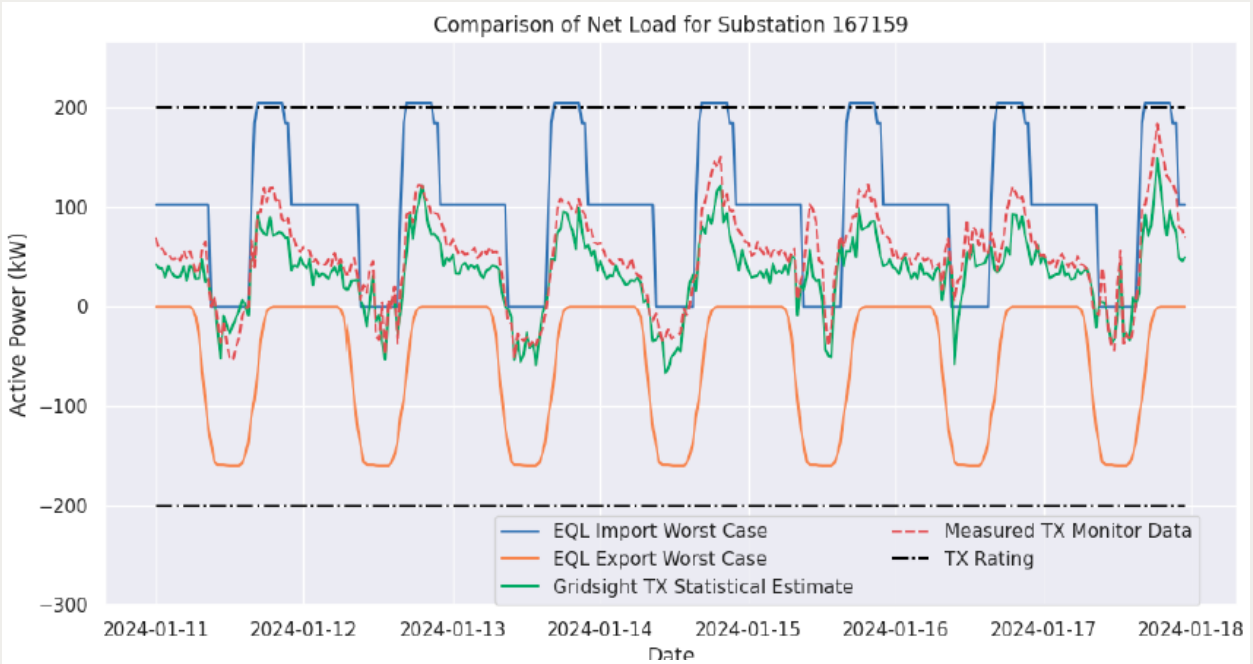
В отличие от солнечных инверторов 2010-х гг., современные двунаправленные преобразователи напряжения способны работать в режиме синхронного выпрямителя, а также получают питание собственных нужд с обеих сторон AC и DC, что дает им возможность вырабатывать реактивную мощность в т.ч. ночью

- **PS1-12066**

cigre
For power system expertise

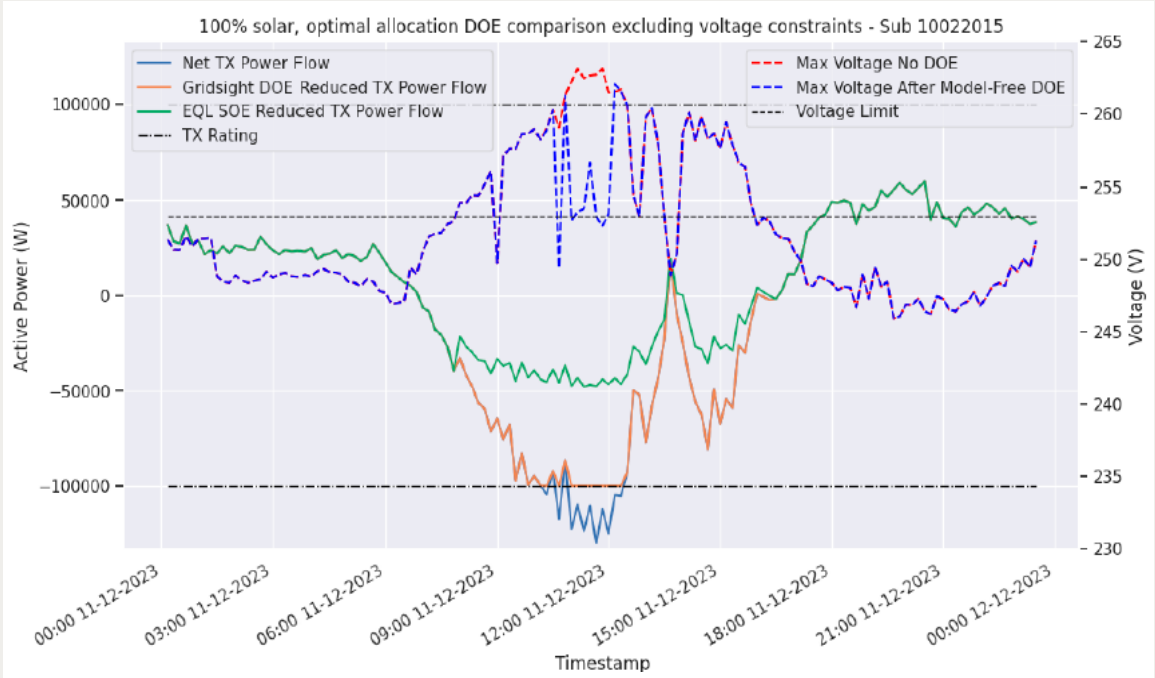
Установившиеся величины превышения максимального напряжения. Австралия

Пример недельного графика нагрузки трансформаторной подстанции (ТП) 250 кВА



Потребление max Прогноз Факт Экспорт max

Пример суточного графика напряжения ТП



Мощность: Без ограничений С ограничениями
Напряжение: Без ограничений С ограничениями

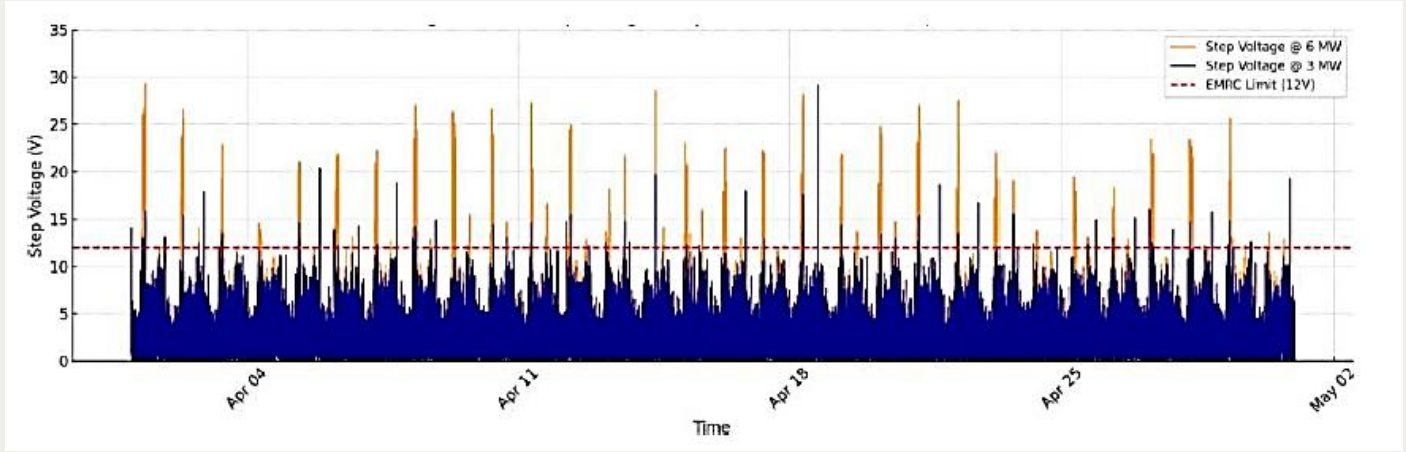
Величины ограничения выработки электроэнергии ФЭС в сеть НН варьируются в Австралии в настоящее время от 0,2 до 3,9 % и в ближайшее время увеличатся до 1,9-5,1 %. Необходимость отслеживания напряжения и регулирования мощности ФЭС приводит также к необходимости оснащения сети НН телеметрией на основе автоматизированных информационно-измерительных систем контроля и учета электроэнергии (АИИСКУЭ) с охватом не менее 20 % узлов сети

- **PS2-12365**

cigre For power system expertise

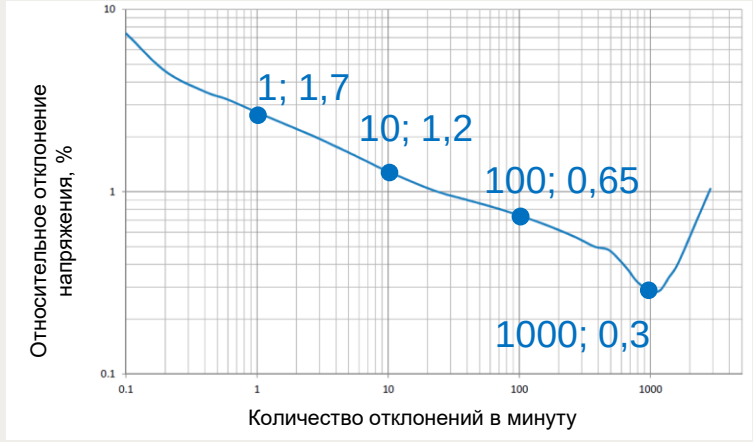
Размах колебания напряжения при работе фотоэлектрических станций в Австралии и Иордании

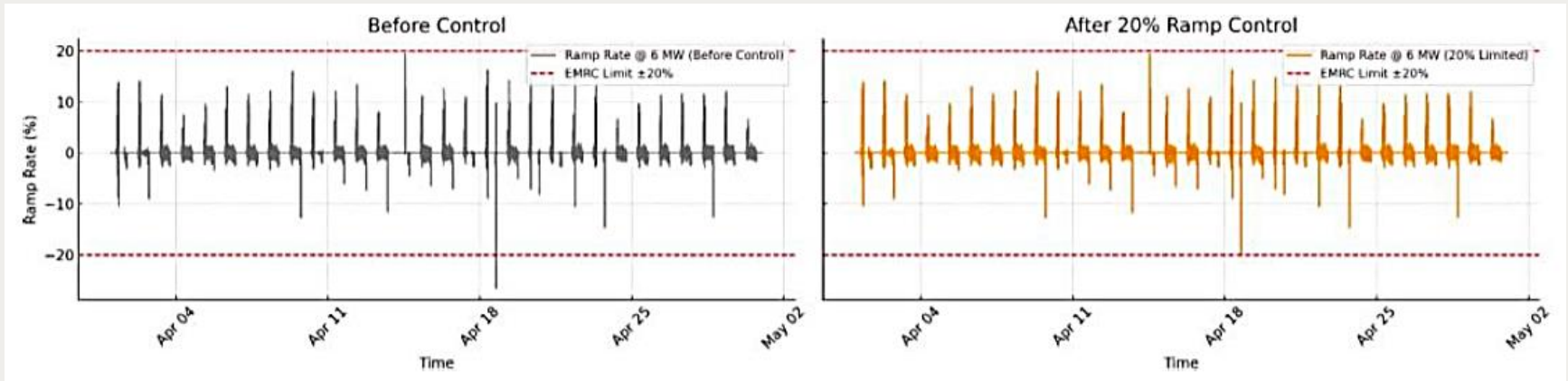
Размах колебания напряжения в сети НН при работе ФЭС в сети СН

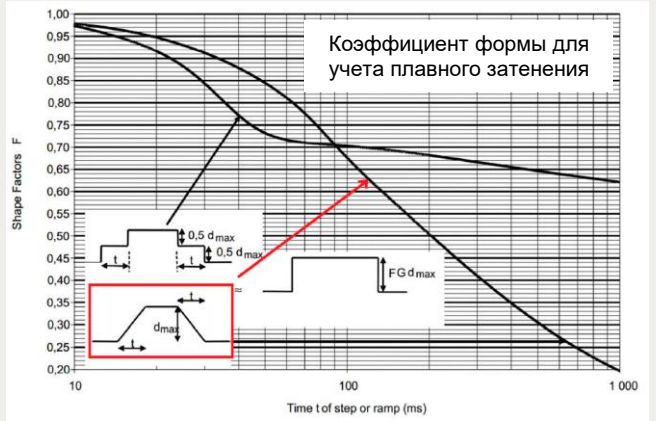


Скорость набора и снижения мощности, % / минуту ↓

Требования МЭК, ГОСТ Р МЭК 61000-3-7







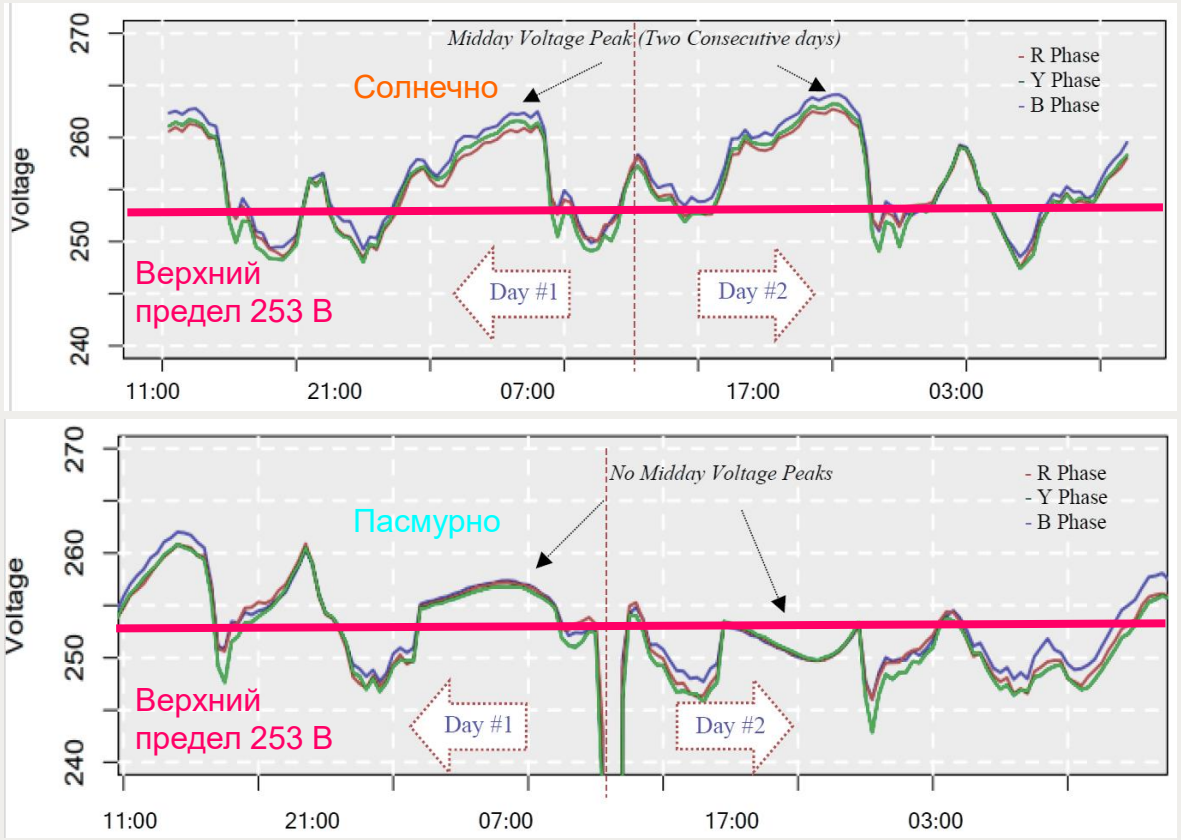
ФЭС создают разовые отклонения напряжения величиной более 14 % от номинала и быстрые колебания напряжения величиной 2-3 % с частотой 8-9 Гц. Для устранения эффекта требуется ограничение рампы на уровне 5-10-20 % не только в зависимости от Z сети, но и от отклика нагрузки

- **PS1-11940, PS2-10337**

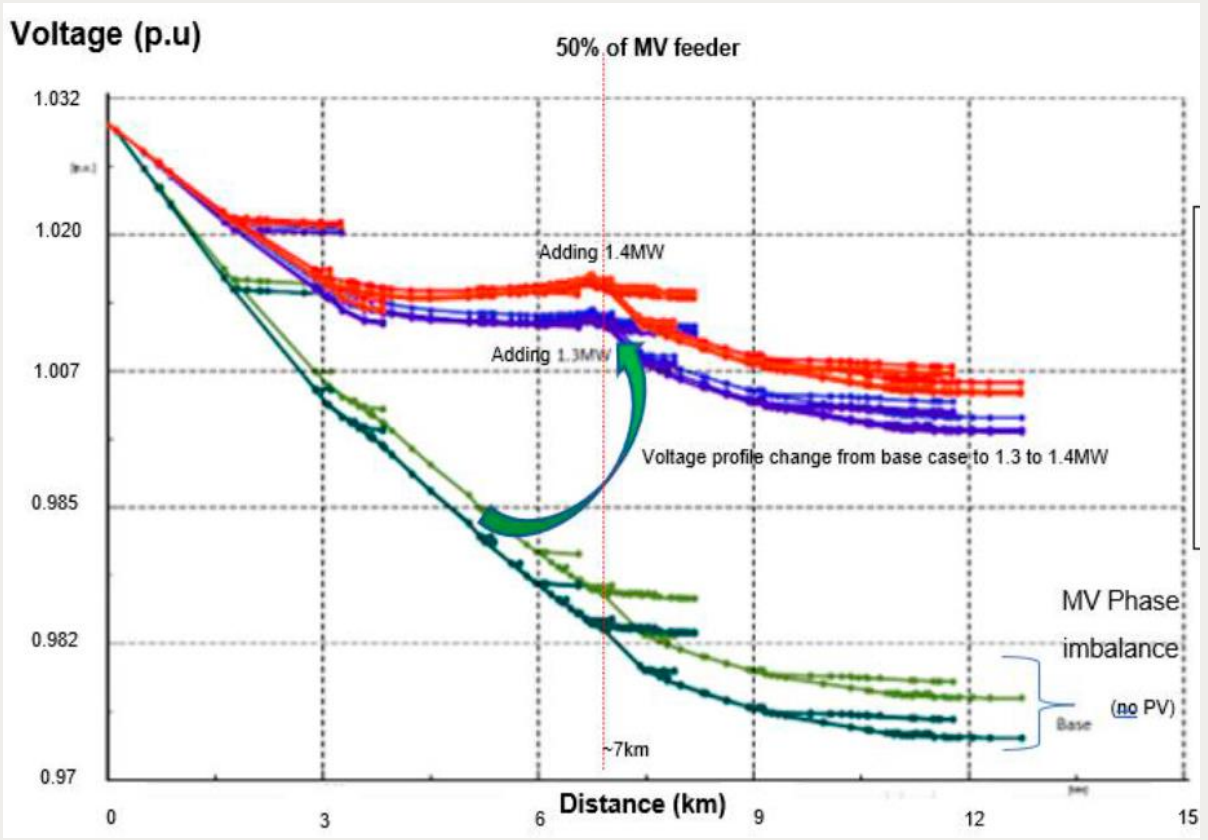
cigre
For power system expertise

Работа ФЭС в зависимости от сопротивления сети и напряжения центра питания

Завышение напряжения в сети НН. Индия



Стабилизация напряжения в сети СН. ЮАР



В публикациях CIGRE 2026 г. рассмотрены все случаи: ФЭС повышают изначально низкое напряжение; завышают изначально высокое напряжение; не оказывают существенного влияния на параметры электрического режима вследствие корреляции с нагрузкой

- **PS2-10620, 11270**

cigre
For power system expertise

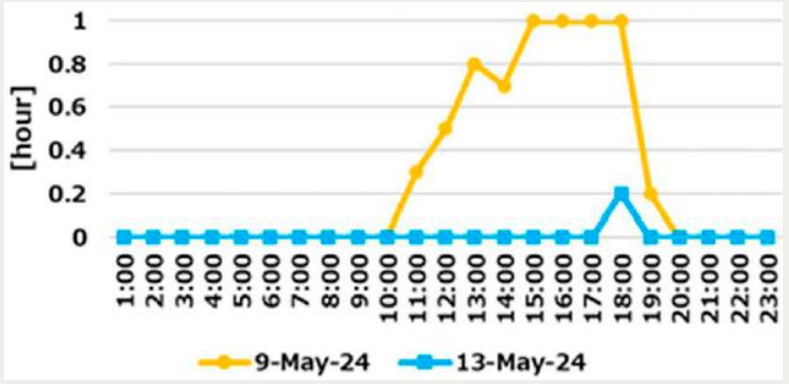
Несимметрия напряжений в распределительной сети среднего напряжения. Япония

Количественные характеристики погоды

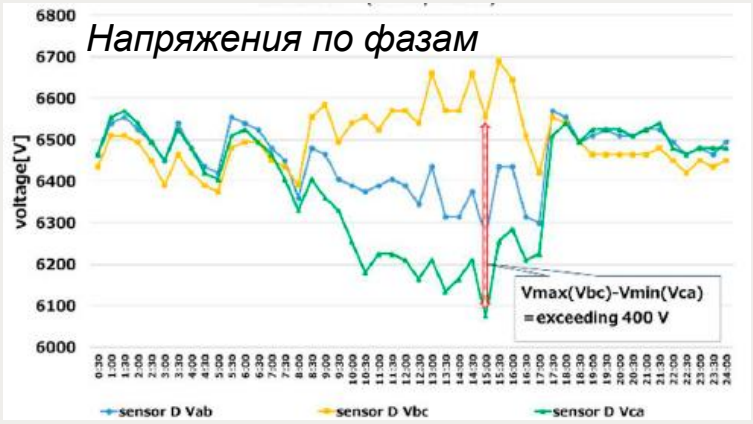
Солнечно

Пасмурно

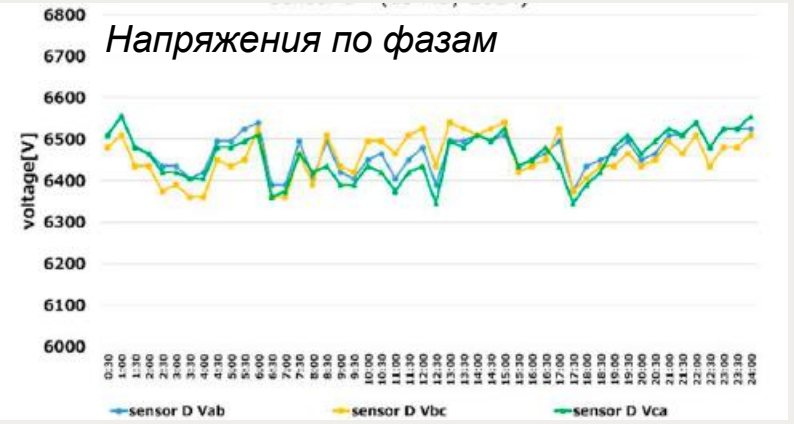
Число часов солнечного сияния



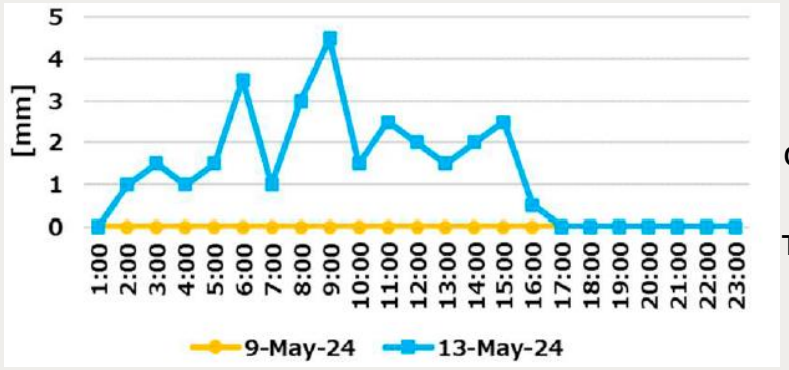
Напряжения по фазам



Напряжения по фазам



Количество осадков



Коэффициент несимметрии по обратной посл-ти



Коэффициент несимметрии по обратной последовательности



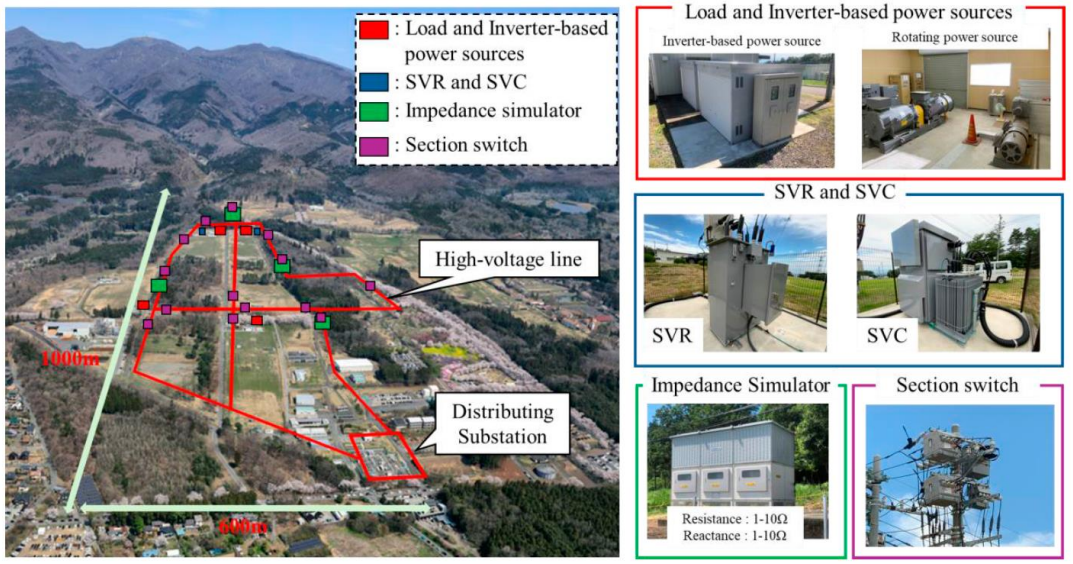
Неравномерное распределение ФЭС по фазам сельской сети НН приводит к существенным различиям модуля напряжения по фазам в этой сети НН и вышестоящей СН. Данные различия приводят к ограничениям на технологическое присоединение новых ФЭС в тех точках сети, где имеется только 1 фаза

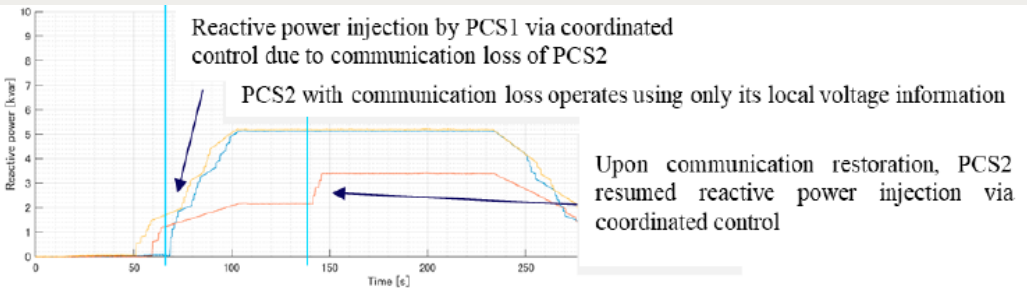
- **PS2-10979**

cigre
For power system expertise

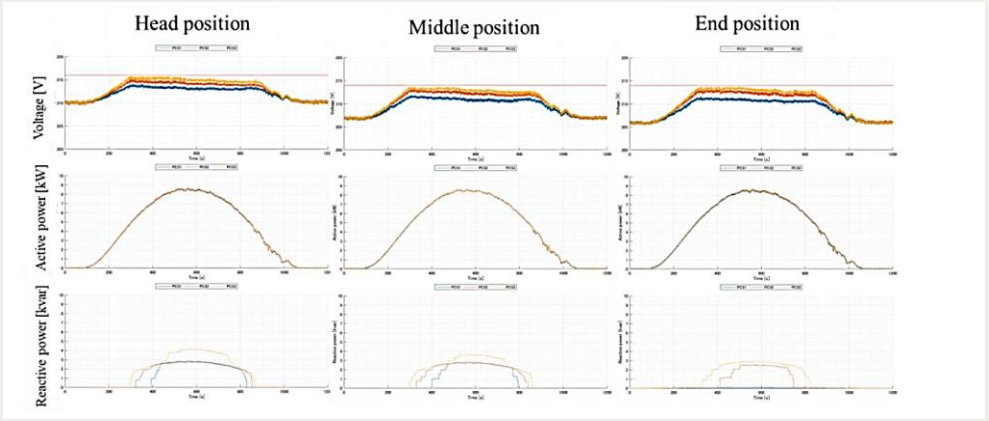
Центральный исследовательский институт электроэнергетики. Япония

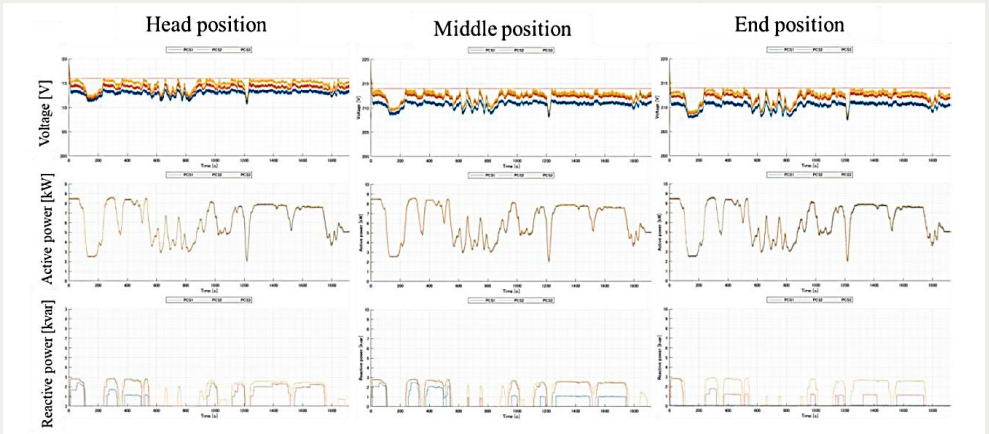
Карта-схема исследовательской сети и виды электрооборудования





Графики величин напряжения, активной и реактивной мощности





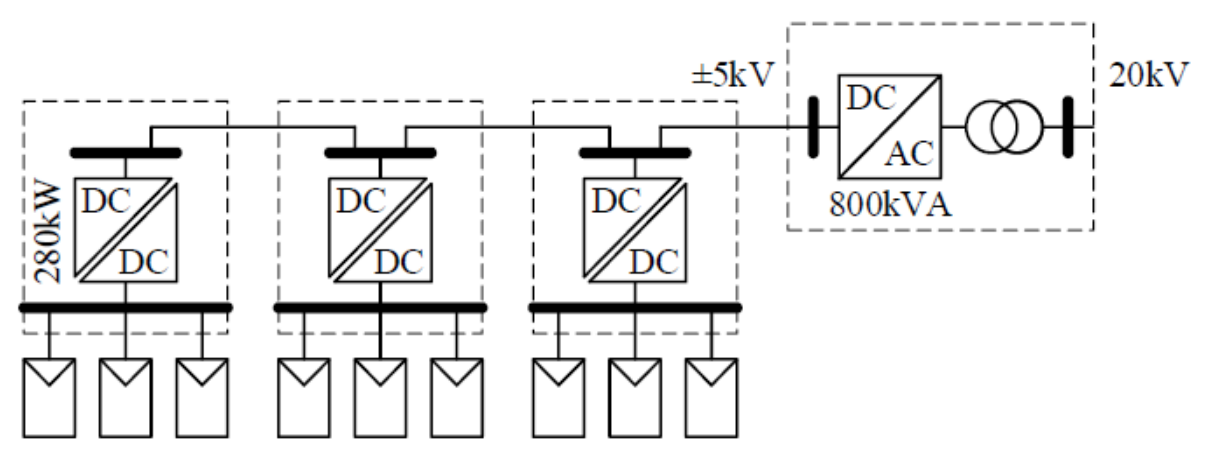
Текущая работа института связана с разработкой законов управления фотоэлектрическими инверторами, которые позволят им координировать выработку реактивной мощности и поддержания напряжения в зависимости от активной мощности, нагрузки, актуальной топологии сети и др.

- **PS2-10978**

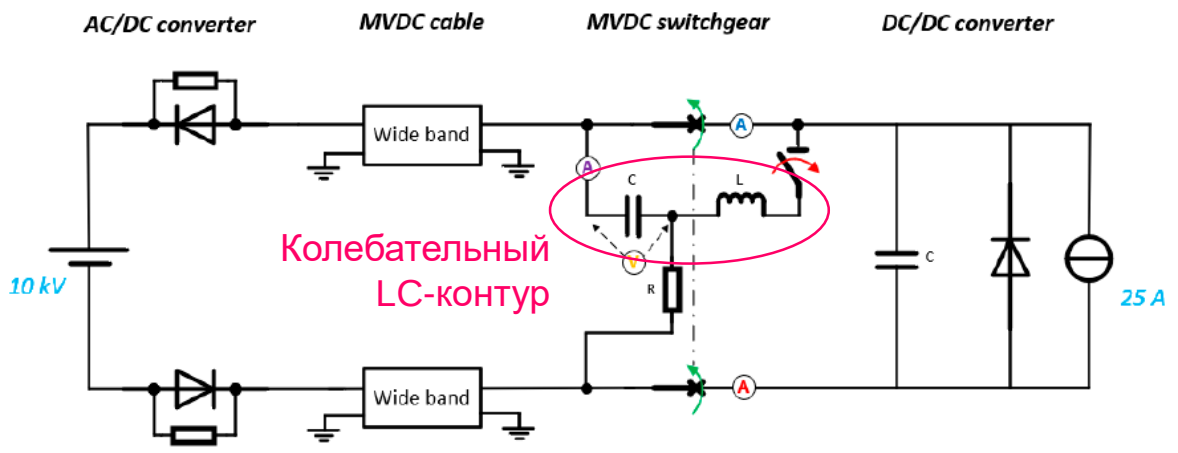
cigre For power system expertise

Исследования в области коммутации линейных фотоэлектрических систем. Франция

Схема линейной ФЭС ±5 кВ



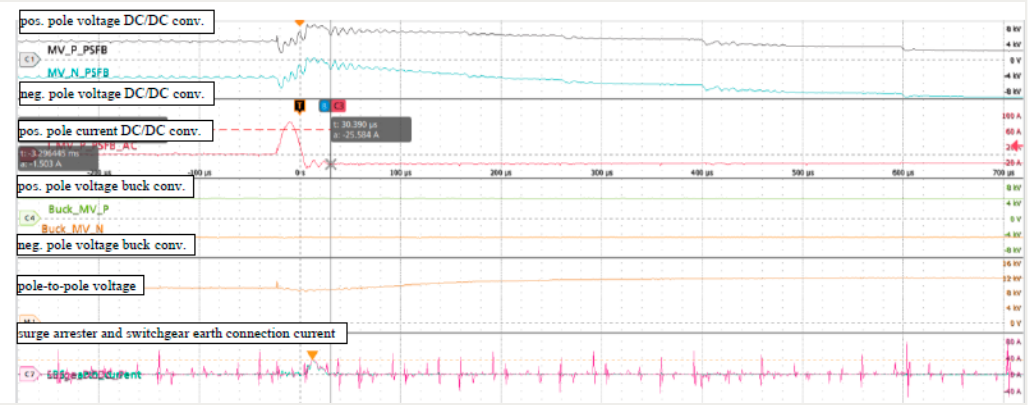
Принципиальная схема коммутации линейной ФЭС





← Внешний вид линейной ФЭС

Осциллограммы → подмешивания переменного тока **150 кГц** из колебательного контура для гашения дуги постоянного тока

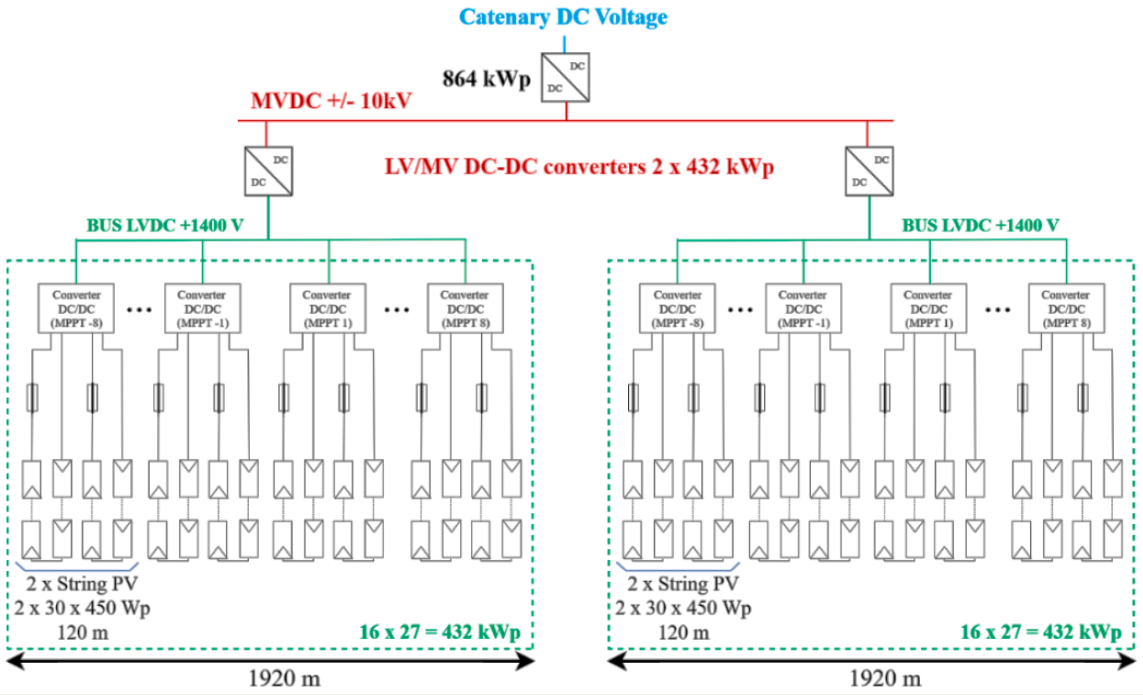


Линейные фотоэлектрические системы установленной мощностью до 1 МВт/км строятся поверх линейных объектов инженерной инфраструктуры (автомобильных и железных дорог, трубопроводов и т.д.). Основное препятствие – создание экономичных коммутационных аппаратов постоянного тока среднего напряжения

cigre For power system expertise

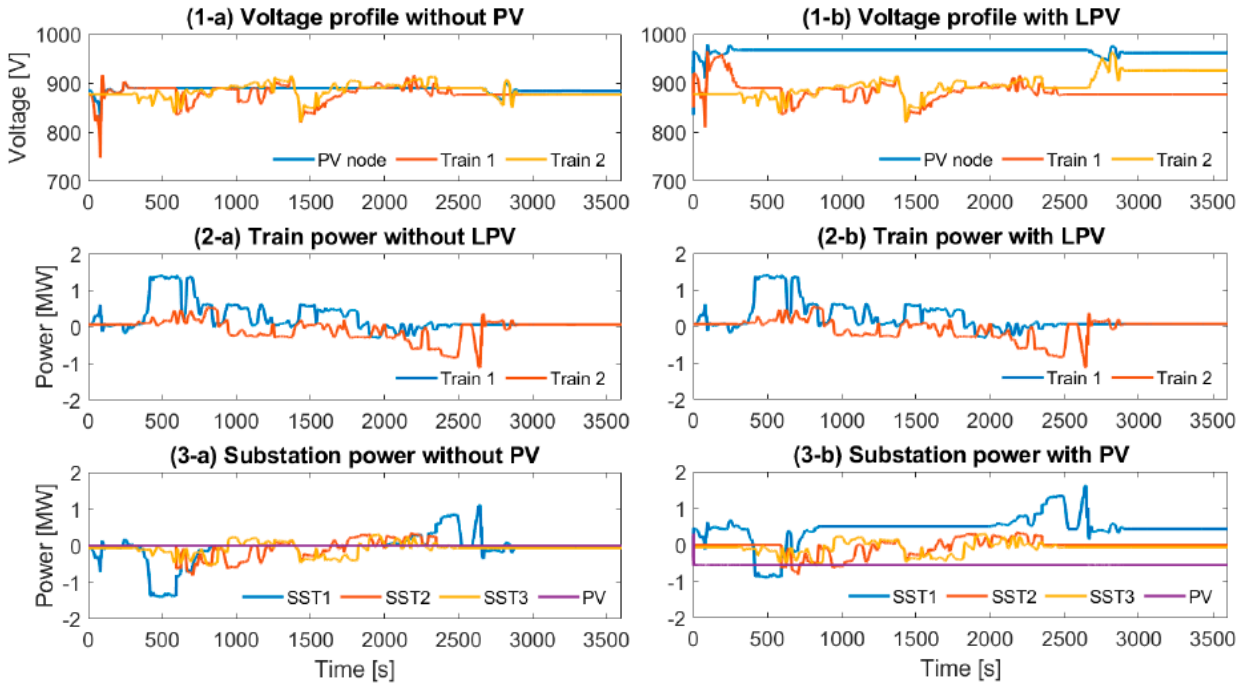
Линейные фотоэлектрические системы в железнодорожной сети. Швейцария

Схема линейной фотоэлектрической системы ±10 кВ в связке с тяговой контактной сетью железной дороги



Профили напряжения и активной мощности при прохождении состава

Без линейной ФЭС | С линейной ФЭС



Линейные фотоэлектрические системы интегрируются непосредственно в тяговую контактную сеть постоянного тока. В Швейцарии действуют частные, региональные и узкоколейные железные дороги с напряжениями тяговых сетей 600 В, 750 В, 900 В, 1000 В, 1200 В и 1500 В постоянного тока

- **PS2-12294**

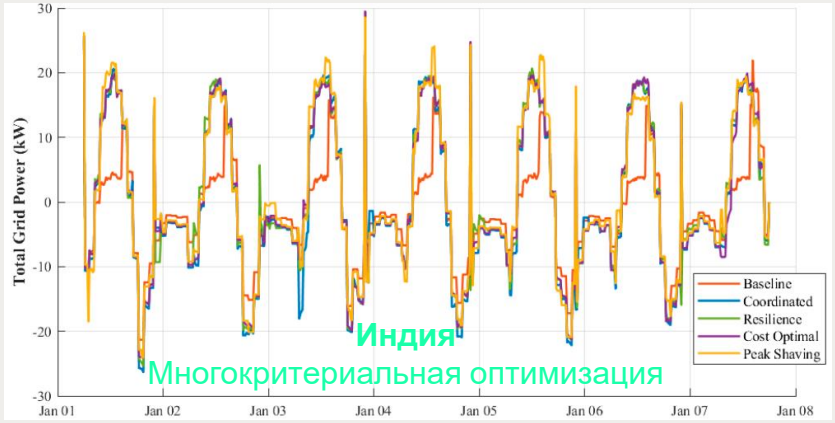
cigre
For power system expertise

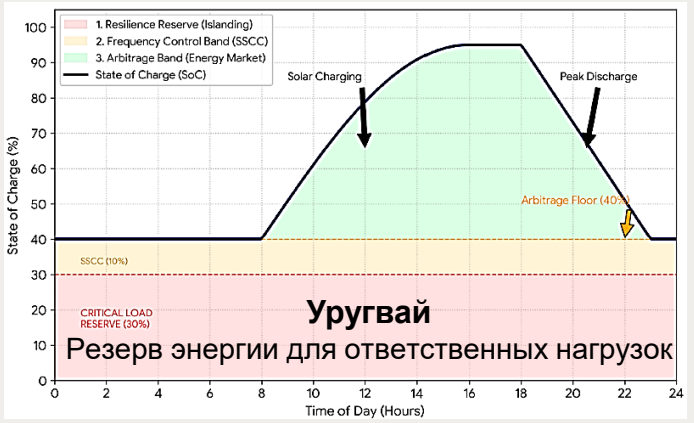
Системы накопления электроэнергии (СНЭЭ)

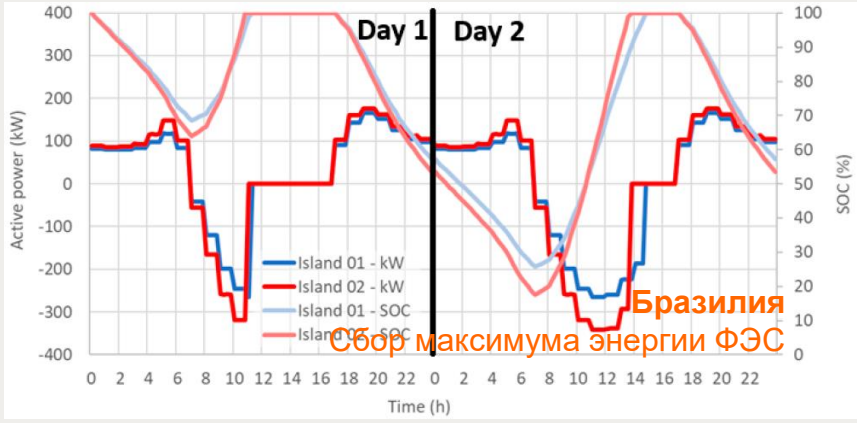


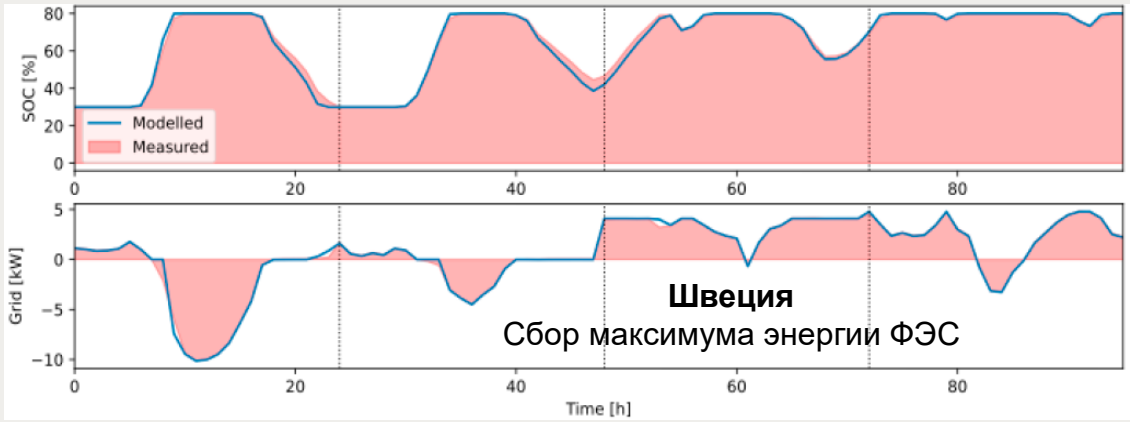
Выбор емкости и графика мощности СНЭЭ в течение суток (недели)

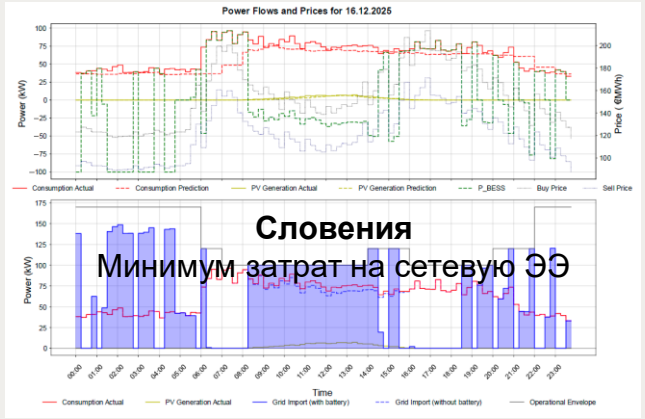
Моделирование состояния заряда СНЭЭ по фактическому графику нагрузки и генерации ВИЭ

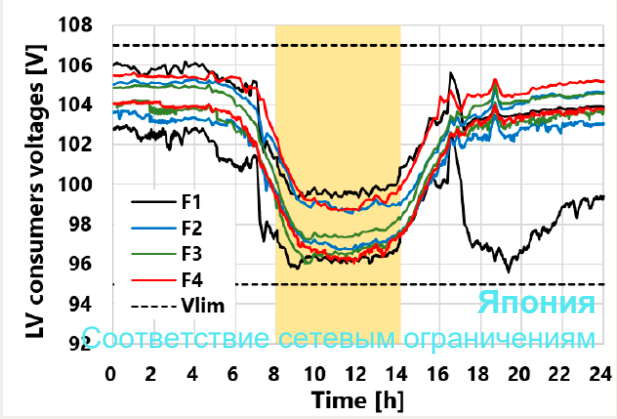












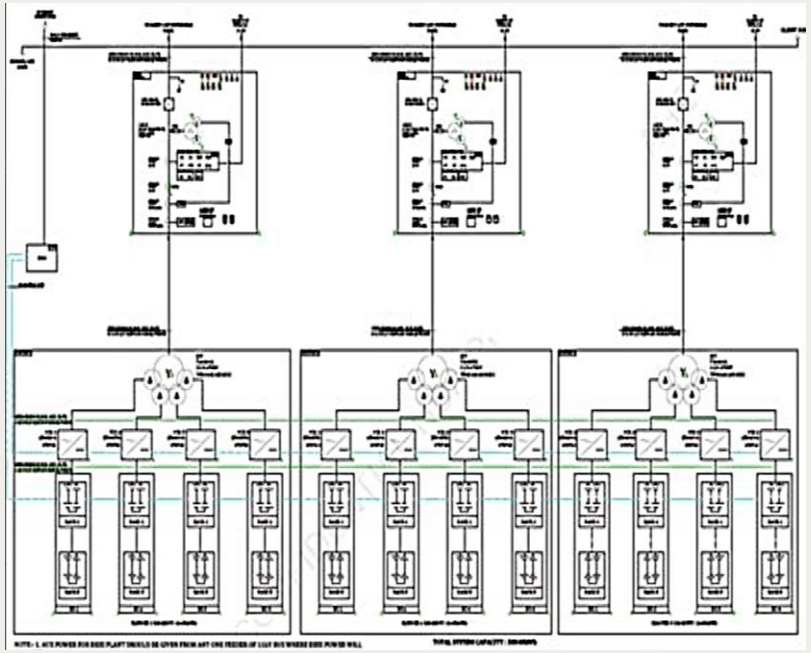
- **PS1-11740, 10975, 10976, 11386, 11414, 11390**
- **PS2-10170**

Наиболее популярная тема в материалах SC C6 CIGRE в 2026 г.

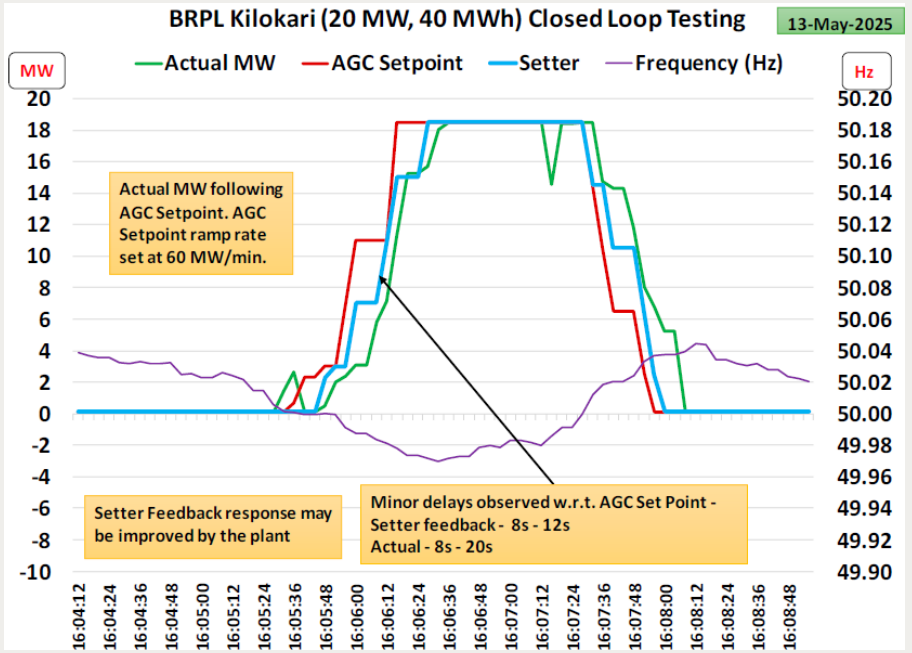
cigre
For power system expertise

Статистика работы накопителя энергии 20 МВт, 40 МВт*ч на основе литий-железофосфатной АКБ на ПС 33/11 кВ Килокари в Ю. Дели, Индия

Принципиальная схема накопителя энергии

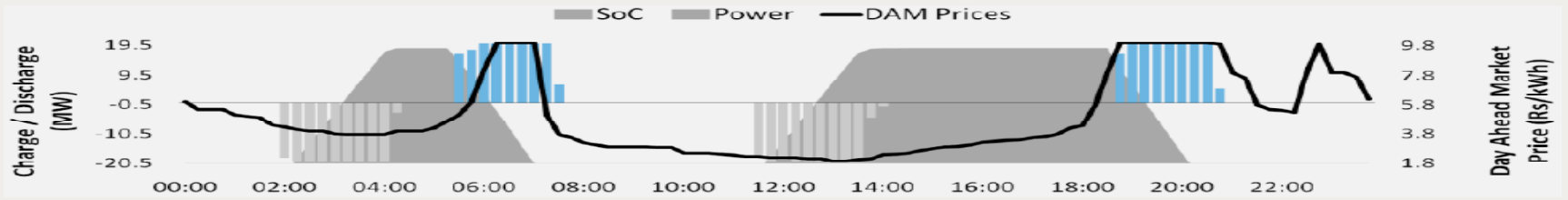


Ограничение рампы нагрузки



Статистика за 04.2025 - 01.2026

Параметр	Знач.
Энергия. Приём, ГВт·ч	20,73
Энергия. Отдача, ГВт·ч	18,52
Сальдо (≈потери), ГВт·ч	2,21
КПД, %	88,9
Цена заряда, руб. / кВт·ч	2,4
Цена разряда, руб. / кВт·ч	5,9



← Типичный график нагрузки относительно **графика цен** на электроэнергию: приём, отдача

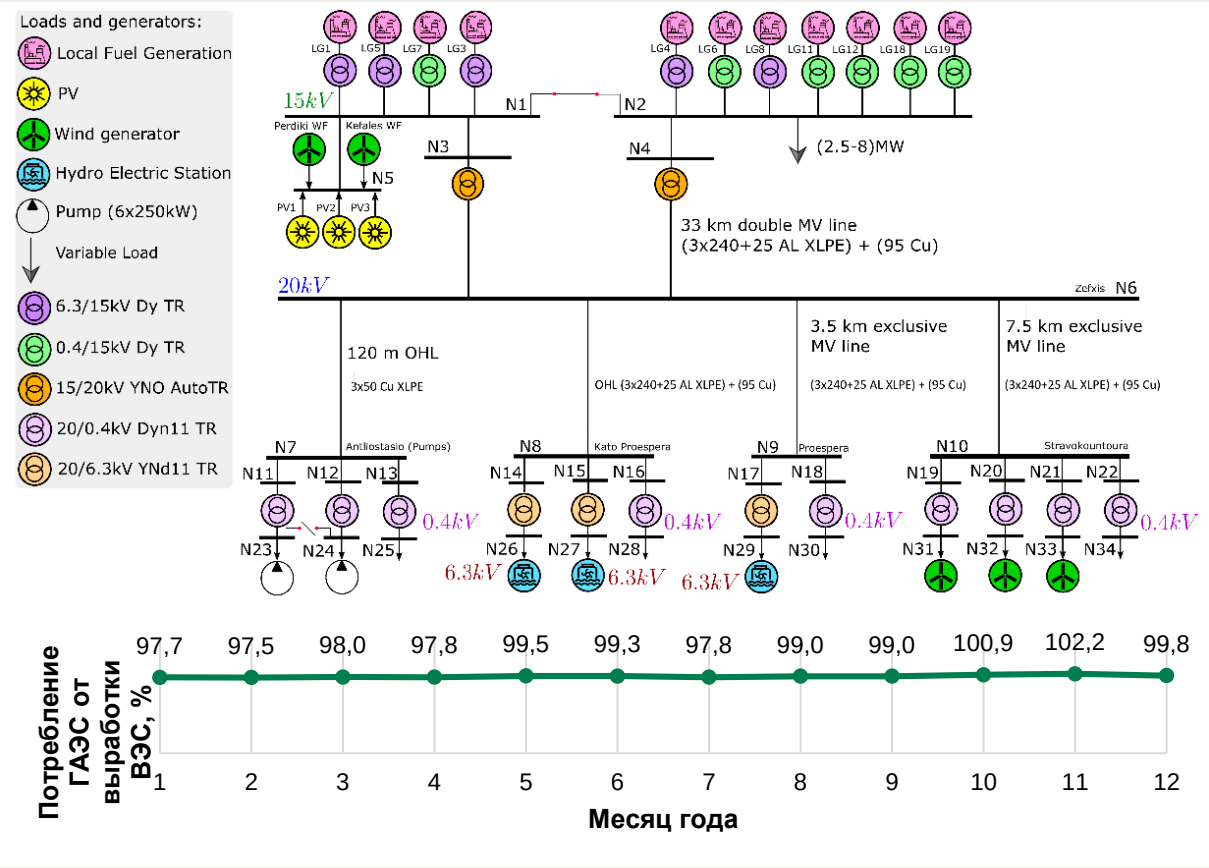
Накопитель энергии показывает высокую техническую и технико-экономическую эффективность. Для накопителя энергии используется задатчиковый принцип

- **PS1-10606**

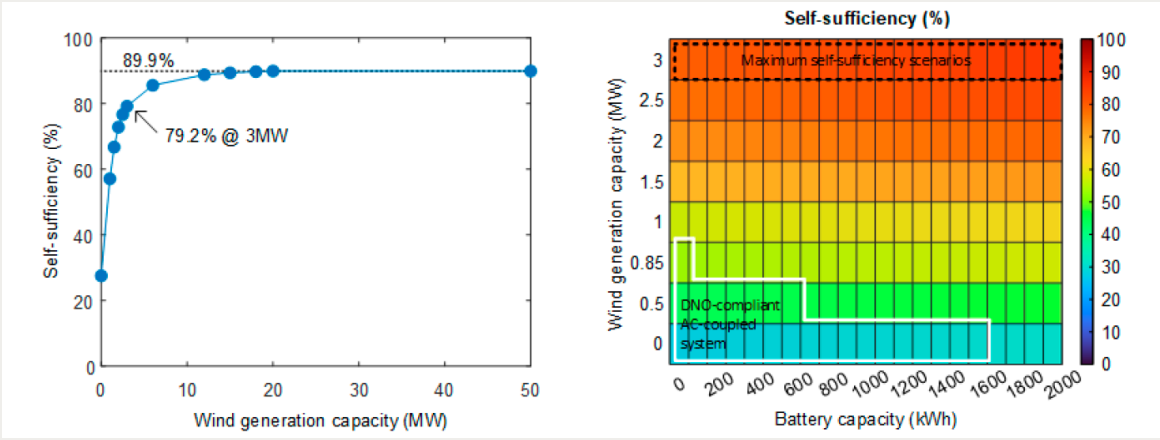
cigre
For power system expertise

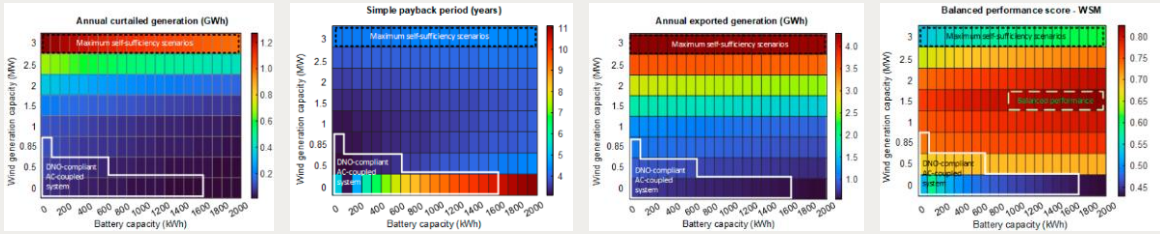
Работа ветроэнергетической генерации на буферный накопитель энергии

ВЭС 7 МВт + ГАЭС 1,5 МВт на о. Икария, Греция



ВЭС 1,5 МВт и АКБ 2 МВт*ч в Уэльсе, Великобритания





↑ Выбор емкости (как следствие, и мощности) накопителя энергии в зависимости от мощности ВЭУ по критериям соответствия требованиям системного оператора, дохода продажи ЭЭ в сеть, минимального ограничения генерации, срока окупаемости и комплексной оценки эффективности проекта

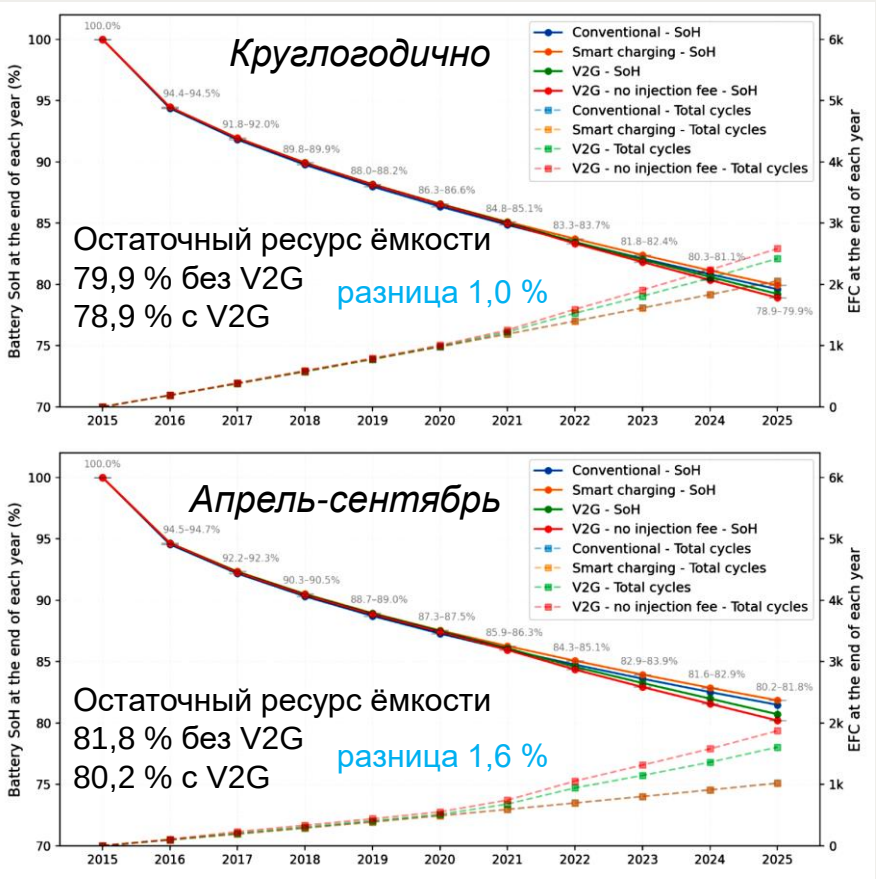
Хотя выработка ВЭУ прогнозируется с погрешностью в 1,5-2 раза меньше, чем фотоэлектрических станций, она является фактически нестационарной в горизонте больше, чем время прохождения погодной системы по территории, и требует буферизации для работы на выделенные нагрузки

- **PS2-11140, 12575**

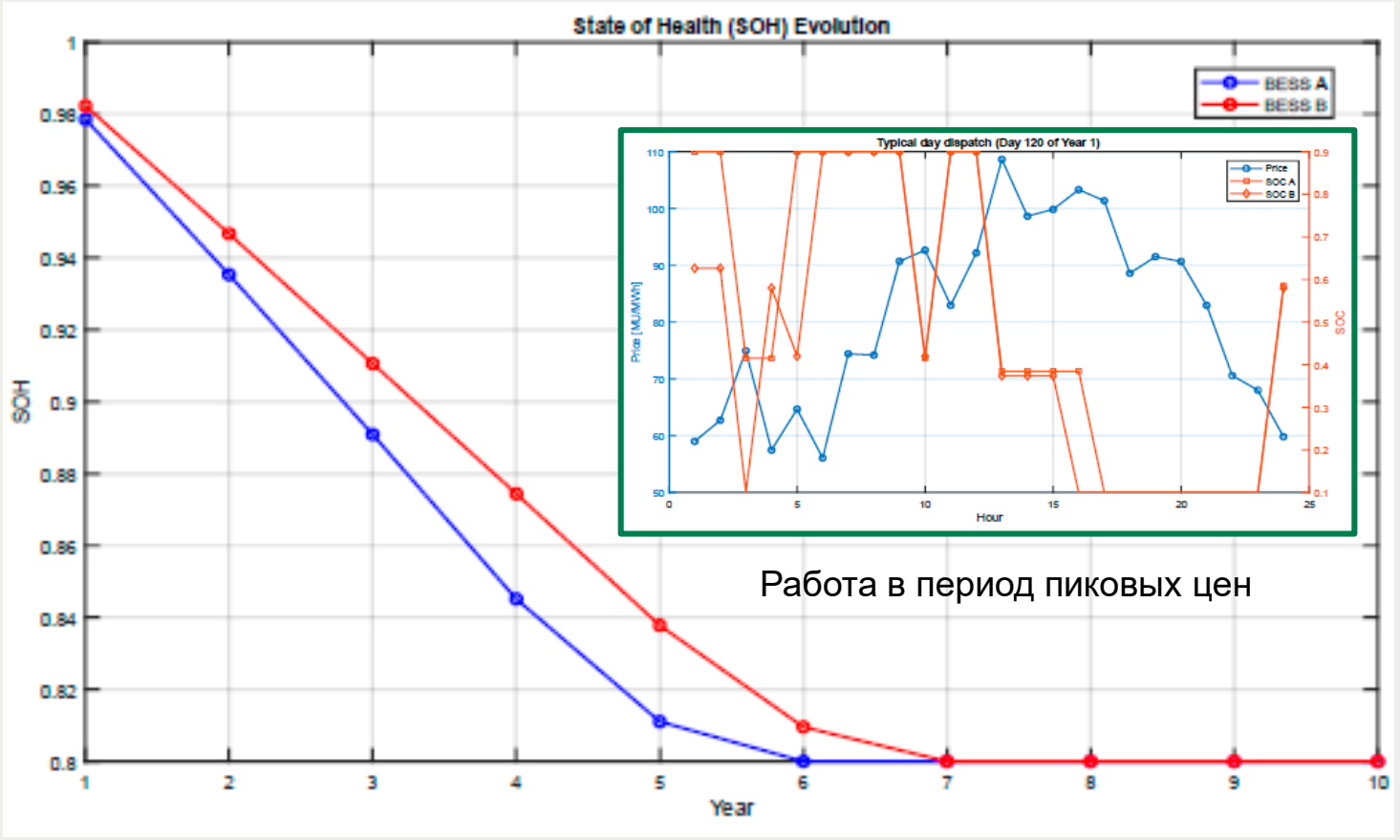
cigre
For power system expertise

Расчет деградации АКБ по фактическим графикам нагрузки

Легкий развозной транспорт, V2G, Австрия



СНЭЭ микрогрид с частотоведущим инвертором в Бразилии



Работа в период пиковых цен

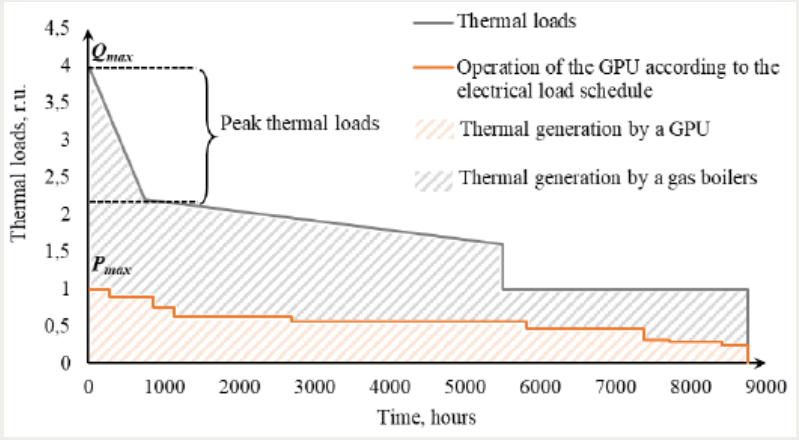
Литий-железофосфатные АКБ являются основным утилитарным типом литиевых АКБ. Они способны выдержать 1,5-6 тыс. эквивалентных циклов заряда-разряда в зависимости от глубины разряда и токов зарядки-разрядки. Дополнительные функции СНЭЭ снижают срок службы АКБ не принципиально

- **PS1-11391**
- **PS2- 11693**

cigre
For power system expertise

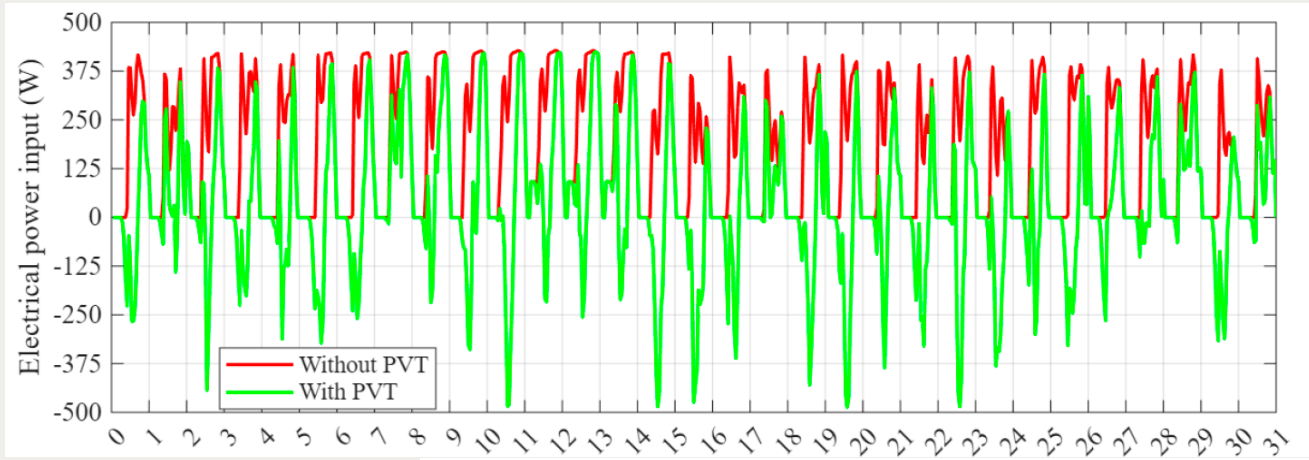
Когенерация. Накопители тепловой энергии

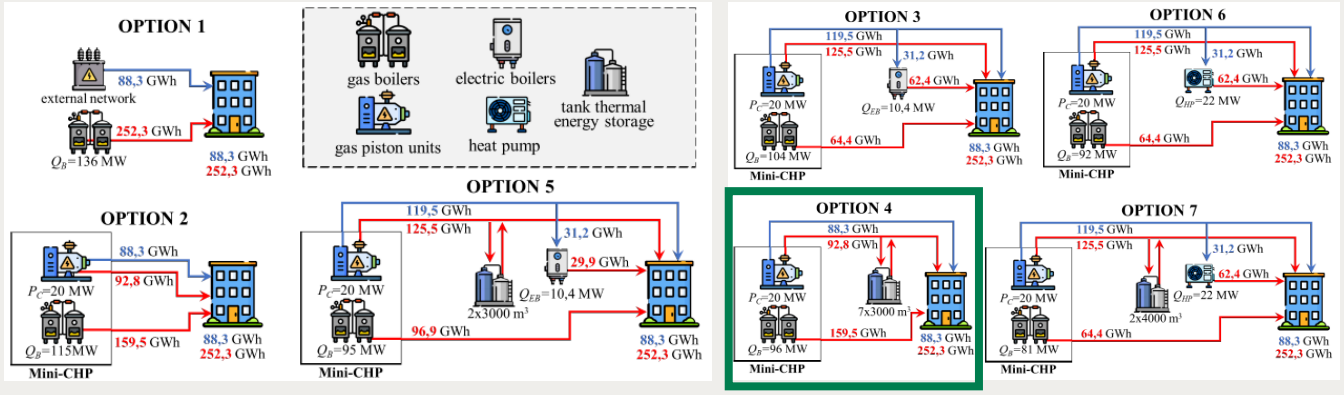
Накопитель тепловой энергии. Новосибирск, Россия

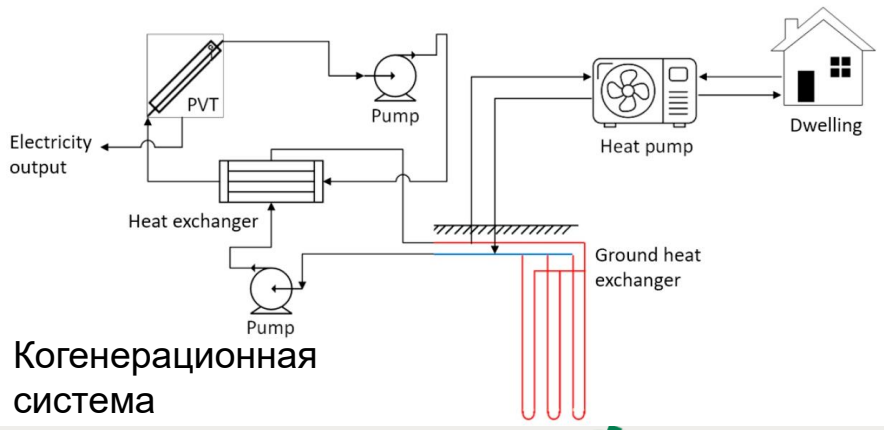


← Технико-экономическое обоснование установки накопителя тепловой энергии и варианты ↓

Гибридная система из тепловых насосов и ФЭС, Уэльс, Великобритания







Когенерационная система

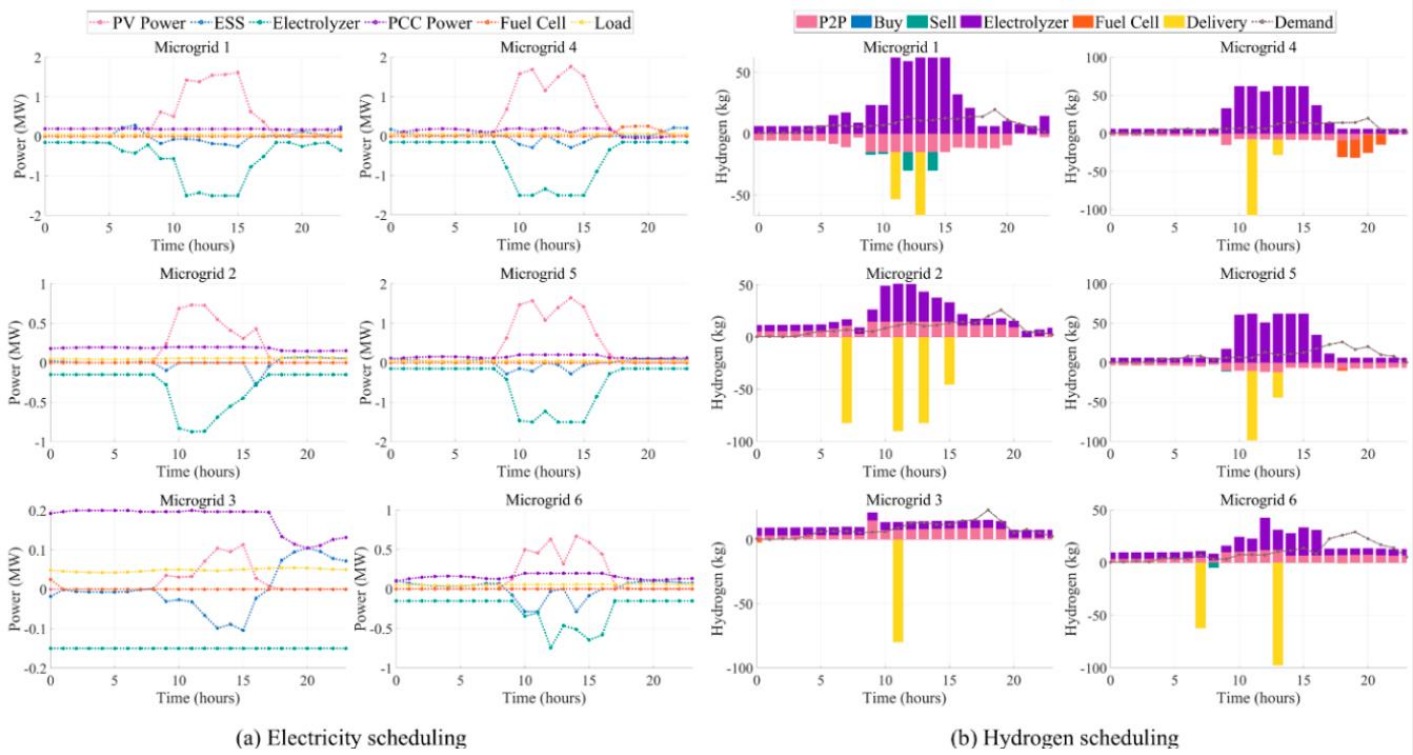
Накопители тепловой энергии и когенерационные системы рассматриваются в рамках интегрированного планирования энергетических ресурсов, для развязки источников тепла и электроэнергии, а также для повышения коэффициента использования топлива

- **PS1-11128, 11129**
- **PS2-11220**

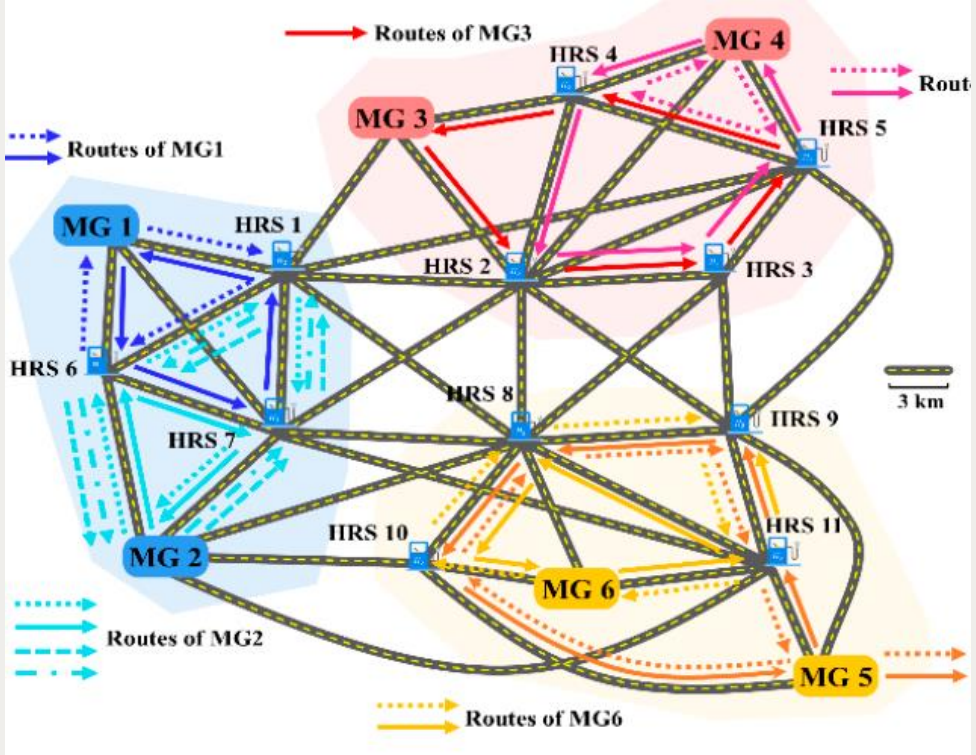
cigre
For power system expertise

Водородные микрогрид и водородные розничные рынки. Ю. Корея

Графики выработки выработки, потребления, покупки, продажи H_2



Маршруты торговли H_2 на розничном рынке энергии



Купля(+) и продажа(-) трубопроводного H_2 у соседних микрогрид

Покупка H_2 у централизованного поставщика

Продажа H_2 централизованному поставщику

Производство H_2 электролизом

Потребление H_2 из топливного элемента

Отгрузка партии H_2

По задумке авторов концепции, водород сможет стать альтернативной энергетической валютой на розничном рынке энергии. Также водородные трубопроводы рассматриваются как альтернатива строительству линий электропередачи, а водородные СНЭЭ – как альтернатива СНЭЭ на основе АКБ

- **PS1-11805**

cigre
For power system expertise

Проблемы и достижения настройки силовой электроники для нужд распределенной энергетики



Риски повышения доли инверторной генерации в энергосистеме о. Чеджу. Ю. Корея

Общая характеристика энергосистемы и основные риски

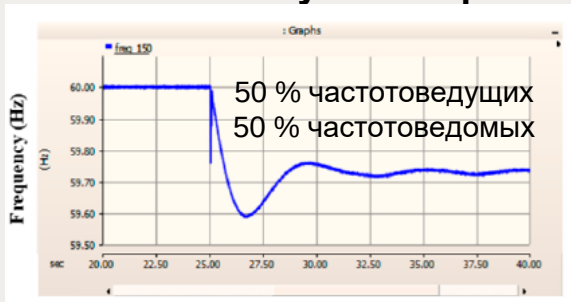
Parameter	Synchronous generator + HVDC lines	Load	RES	
			PV	Wind turbine
Generation capacity [MW]	1,380	-	800	480
Demand load [MW]	-	1,589	-	-

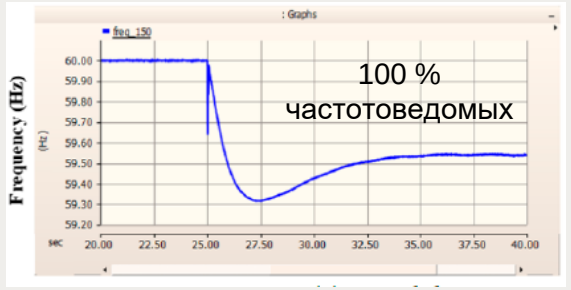
Year	Load demand [MW]	RES penetration ratio [%]	GFM [%]	GFL [%]	Nadir [Hz]
2023	1,160	43.9	0	100	Grid Collapse
			65	35	Grid Collapse
			90	10	59.67
2030	1,353	50.4	0	100	Grid Collapse
			65	35	59.72
			90	10	59.85
2038	1,589	60.0	0	100	Grid Collapse
			65	35	Grid Collapse
			90	10	Grid Collapse

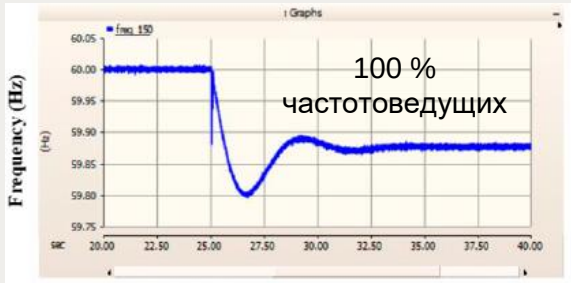


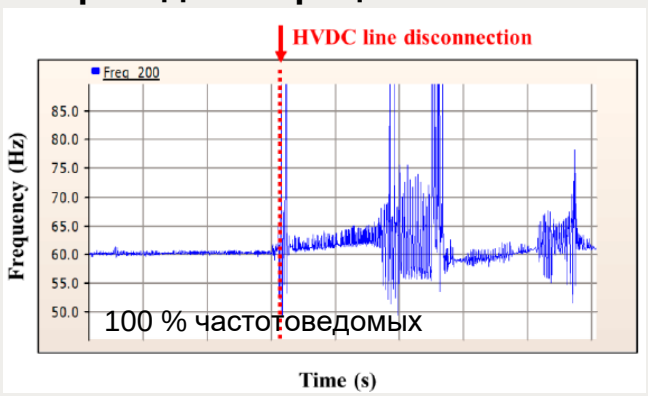
Parameter	GFM standalone	GFM + GFL	GFL standalone
Frequency Nadir [Hz]	59.798	59.586	59.313
RoCoF [Hz/s]	-0.182	-0.363	-0.547

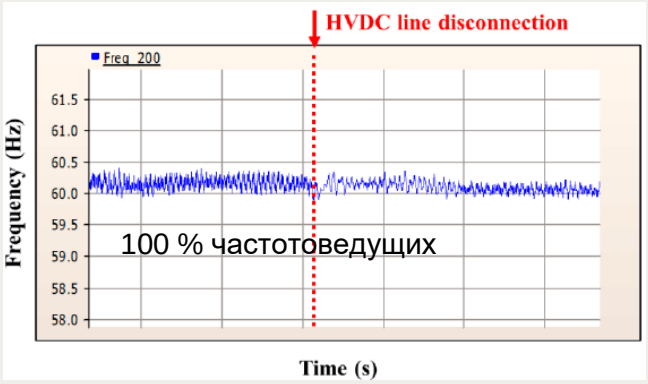
Результаты расчета переходных процессов











↖ Потеря 300 МВт СГ

↑ Отключение линии ПТ 250 МВт

Частотоведущие (GFM) и частотоведомые (GFL) инверторы отличаются в переходных процессах количественно, но не качественно, и не всегда в пользу частотоведущих. Частотоведущие инверторы и ЛЭП постоянного тока пока не способны заменить синхронные машины, поскольку обладают малыми инерцией и перегрузочной способностью, не стойкие к измерительным шумам и склонны к автоколебаниям

cigre For power system expertise

Испытания вставки постоянного тока на ПС 30 кВ Бермео 10 МВА в Испании. Часть 2 (см. обзор 2024 г.)

Внешний вид преобразовательной части ПС 30 кВ Бермео

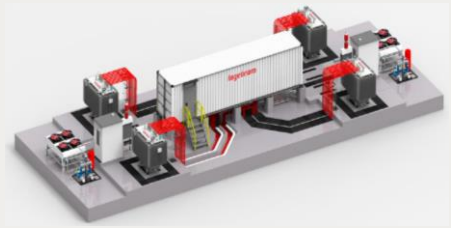
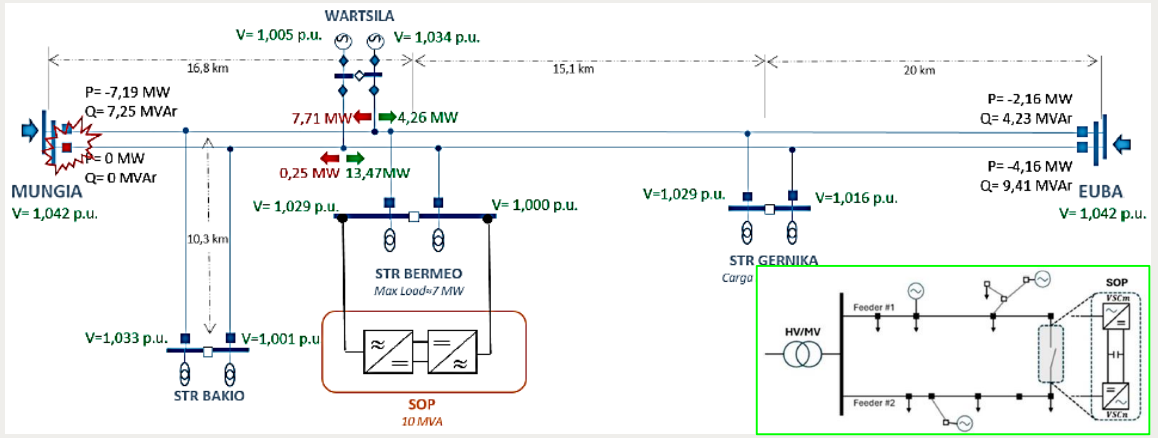
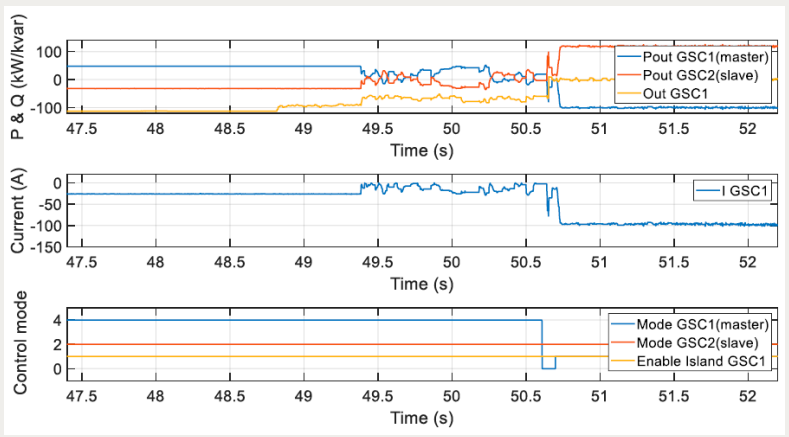
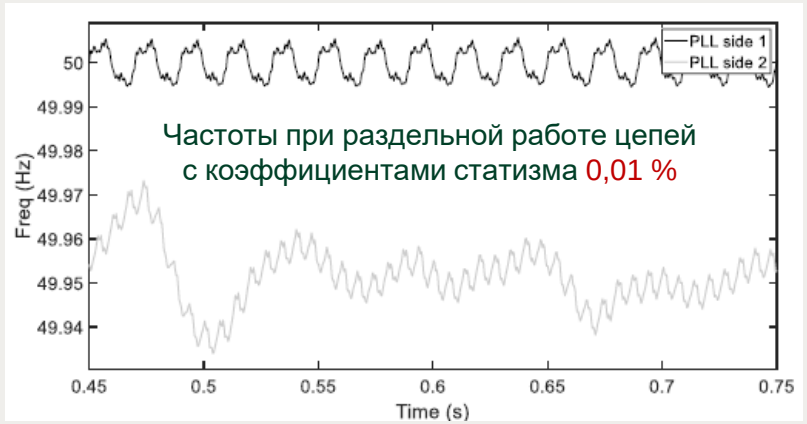


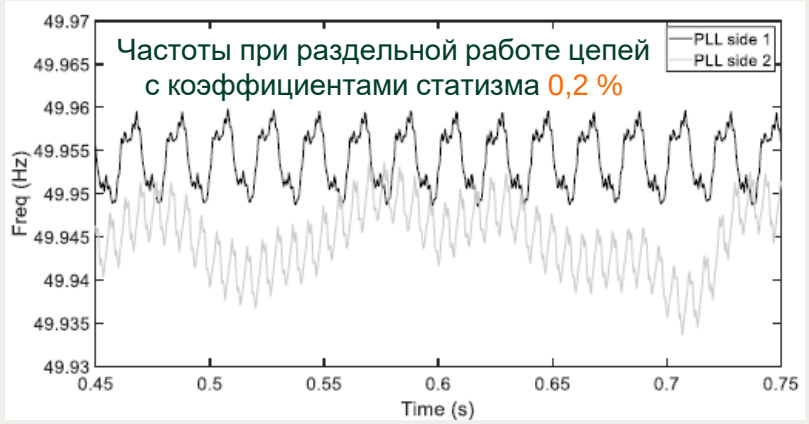
Схема вставки постоянного тока типа Soft Operating Point

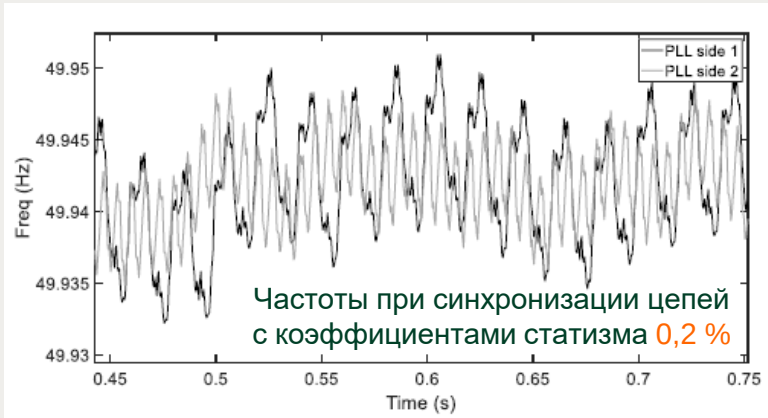


Синхронизация цепей 1 и 2 ЛЭП









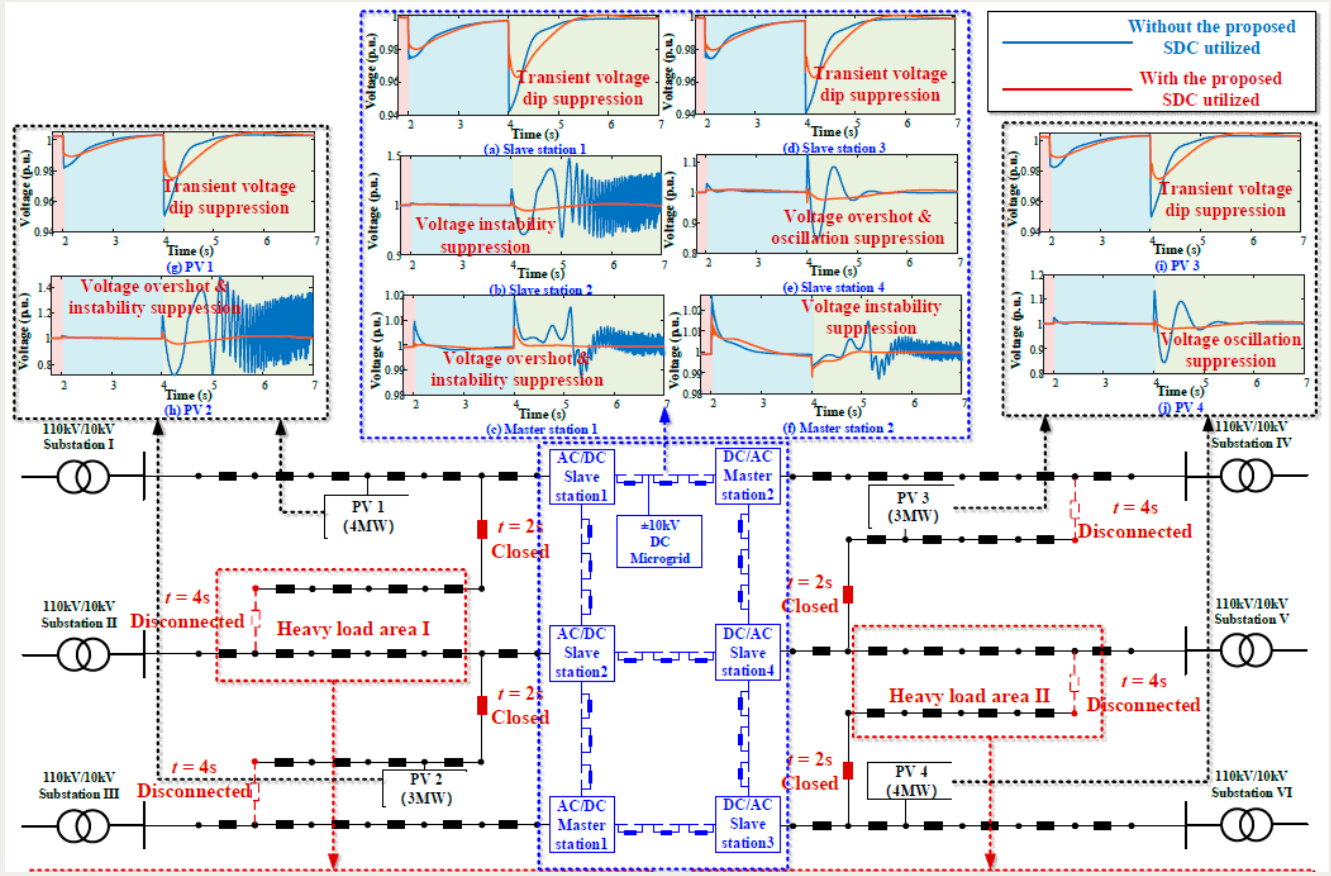
Измерительные шумы, артефакты цифровой оконной обработки сигналов в сочетании с практически астатическим регулированием по частоте и мощности создают автоколебания с частотами и амплитудами, зависящими от характера и величины нагрузки

- **PS1-10109**

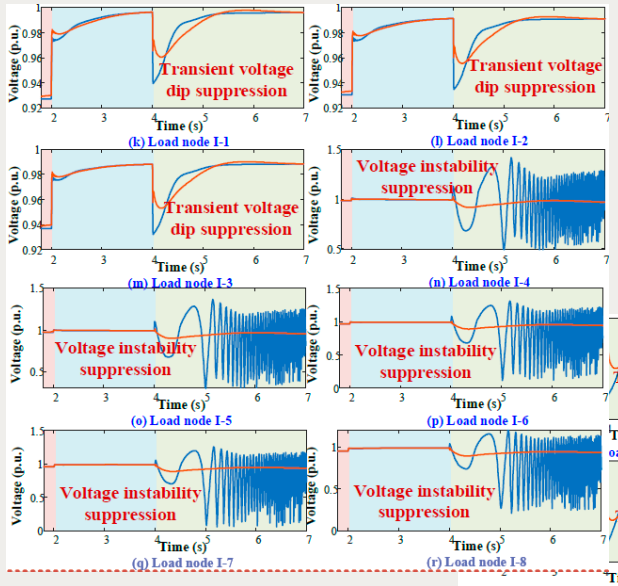
cigre For power system expertise

Алгоритмы демфирования колебаний и резонансов напряжения. Китай

Вставка постоянного тока типа Soft Operating Point на GFM-инверторах

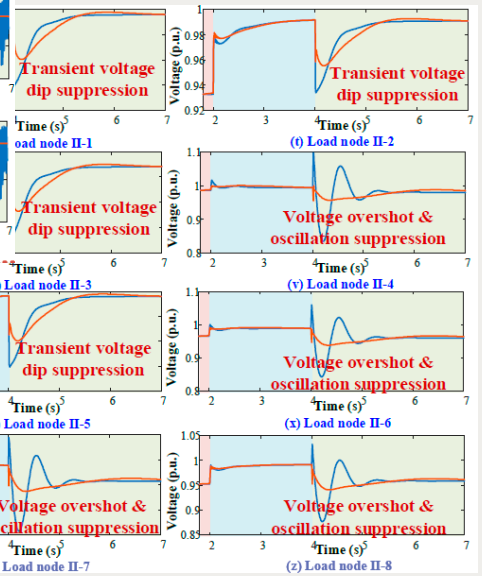


Результаты различных вычислительных экспериментов



Колебания напряжения

Провалы напряжения и индуктивные всплески



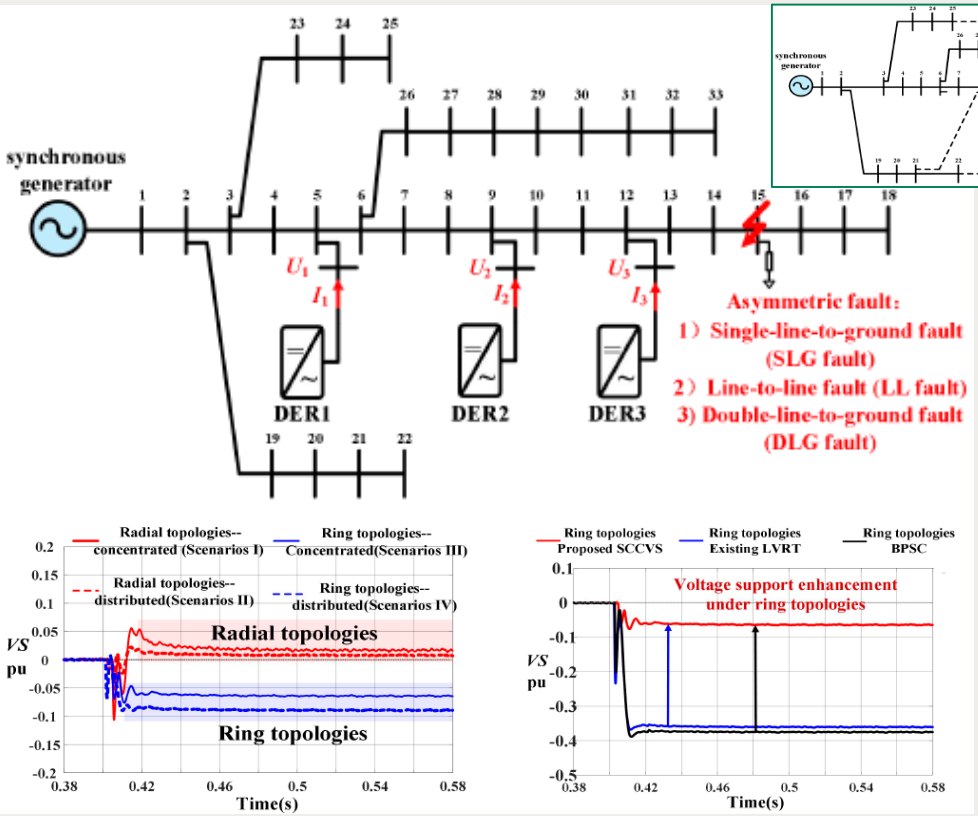
Вставка постоянного тока SOP в случае правильной настройки существенно повышает качество протекания переходных процессов в распределительной сети, а в случае неправильной настройки – является источником автоколебаний, а также надсинхронных и подсинхронных резонансов

- **PS1-12509**

cigre For power system expertise

Алгоритмы подпитки коротких замыканий инверторами. Китай

Карта-схема радиальной и кольцевой (петлевой) сети СН



1. Существующие стандарты LVRT предполагают, что X>>R, и инвертор в режиме источника тока должен выдать I_{K3} с отставанием ровно в 90° от U_{K3}, что некорректно для распредсети с R/X↑;

2. Напряжение прямой пос-ти зависит от тока обратной, и наоборот. Типичные регуляторы прямой и обратной пос-тей в инверторе борются друг с другом за управление.

Однофазное	Двухфазное	Двухфазное на землю

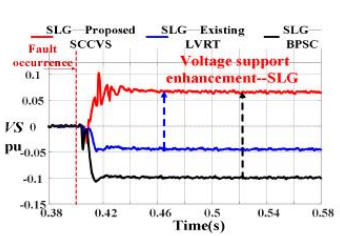


Figure 15 - VS Comparison under SLG Faults.

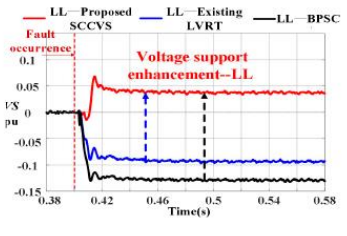


Figure 16 - VS Comparison under LL Faults.

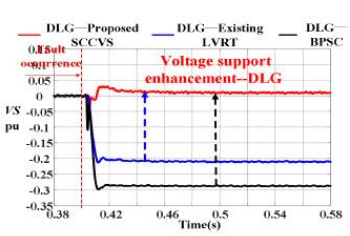


Figure 17 - VS Comparison under DLG Faults.

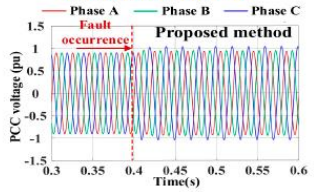


Figure 18 - Three-Phase Voltage under SLG Faults (Proposed Method).

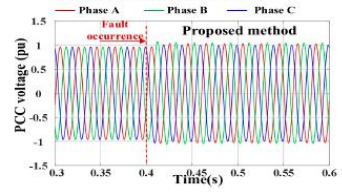


Figure 20 - Three-Phase Voltage under LL Faults (Proposed Method).

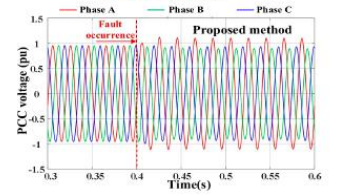


Figure 22 - Three-Phase Voltage under DLG Faults (Proposed Method).

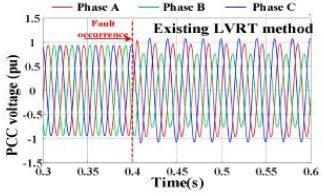


Figure 19 - Three-Phase Voltage under SLG Faults (LVRT).

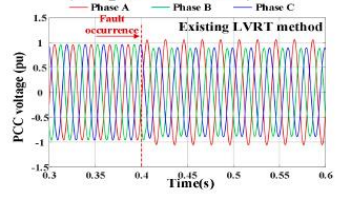


Figure 21 - Three-Phase Voltage under LL Faults (LVRT).

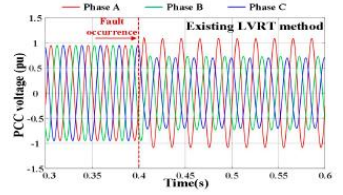


Figure 23 - Three-Phase Voltage under DLG Faults (LVRT).

Современные стандарты, как GB/T 29319-2024 в Китае, требуют от инверторов осуществлять выравнивание фаз, т.е. генерировать напряжения и токи обратной последовательности в нормальном режиме. В перспективе – переходные процессы. Остаточное напряжение при КЗ можно увеличить за счет поиска реального угла вектора добавочного падения напряжения ΔUкз от подпитки инвертором и перераспределения токов прямой и обратной последовательностей

- **PS1-12507**

cigre For power system expertise

Натурные эксперименты по «черному пуску» ЭС 160 кВт о. Архольма, Швеция

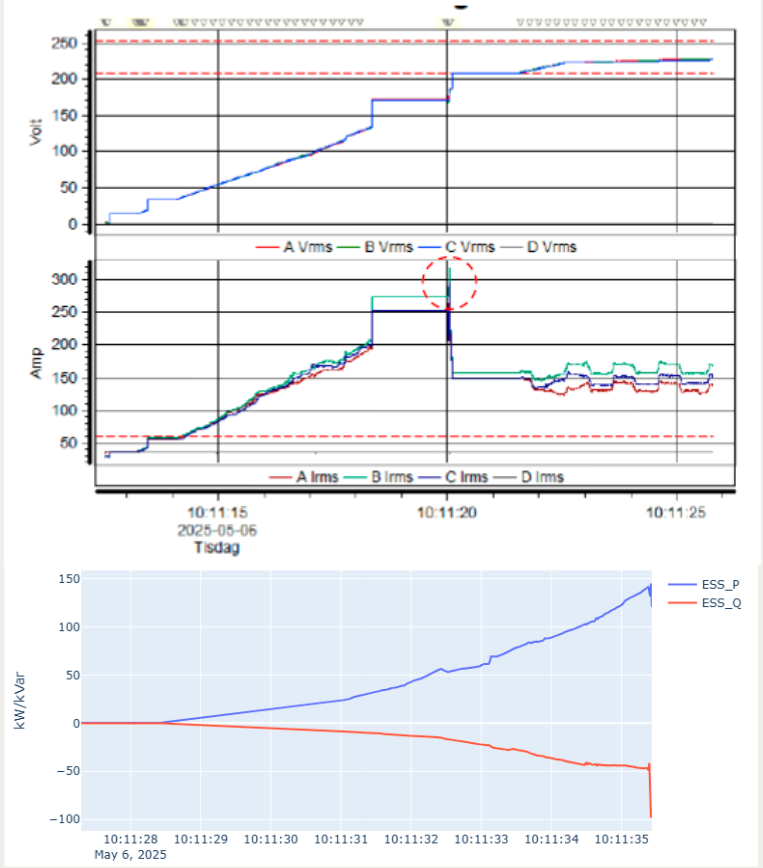
U

I

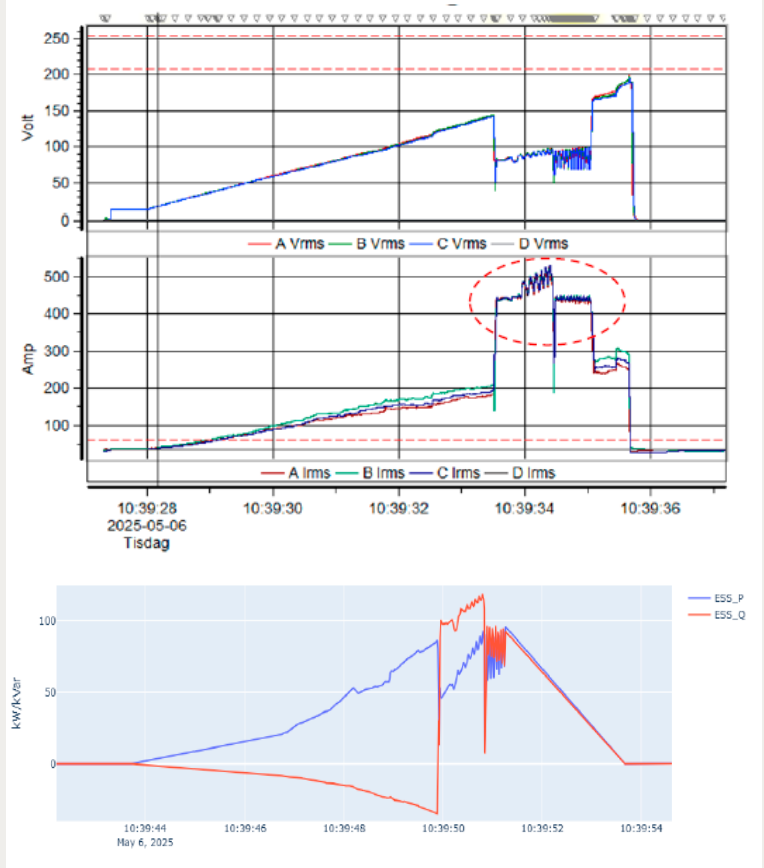
P

Q

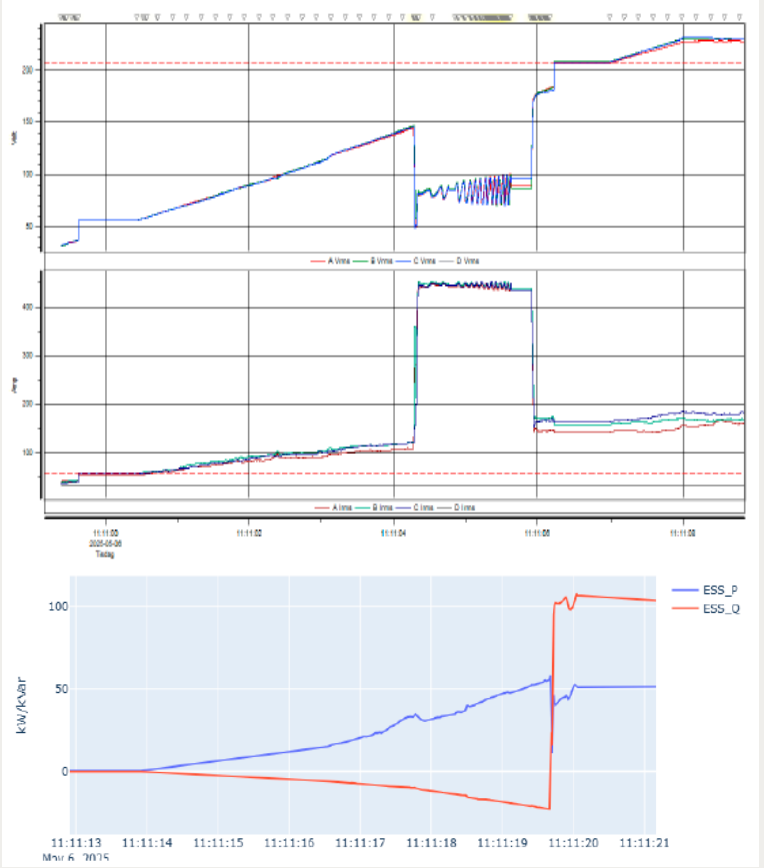
Попытка №1. Потеря данных



Попытка №2. Срабатывание ЗМН



Попытка №3. Успешно



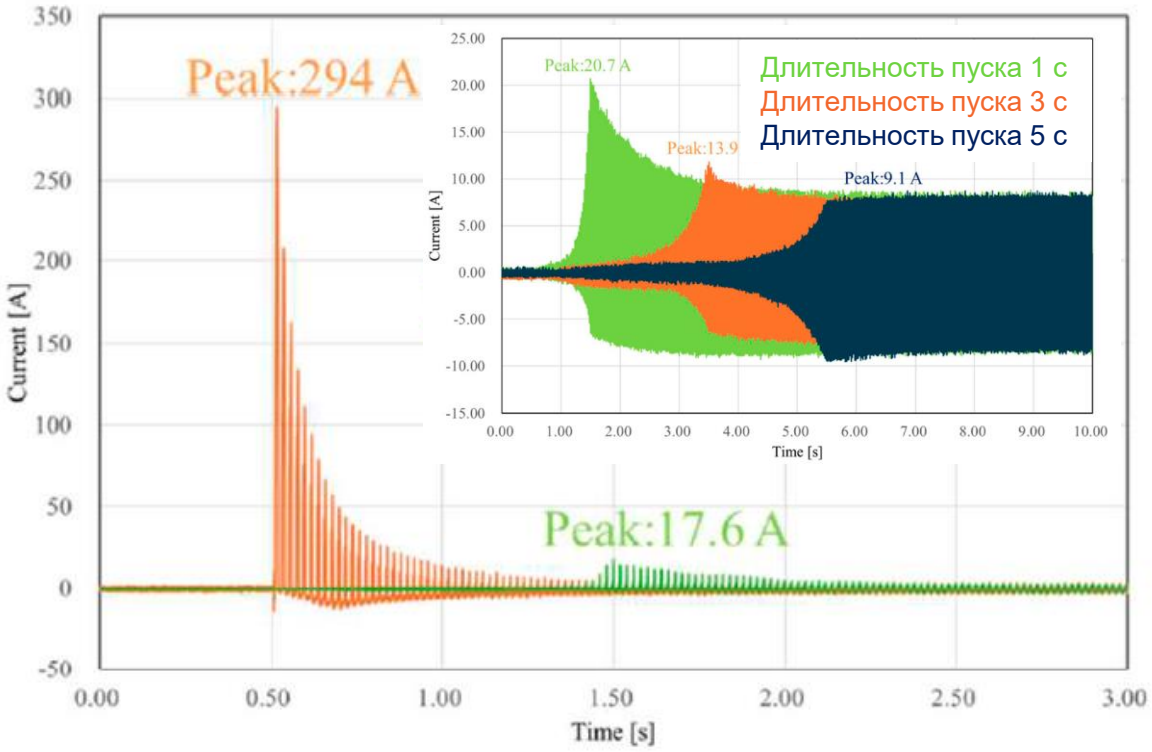
Сложность плавного «черного пуска» состоит в выборе правильной рампы напряжения GFM-инвертора, при которой одновременно ограничен бросок пускового тока и отсутствует срабатывание защит, прежде всего минимального напряжения (по условиям: ненулевые токи, низкое напряжение, длительная выдержка)

- PS3-11695

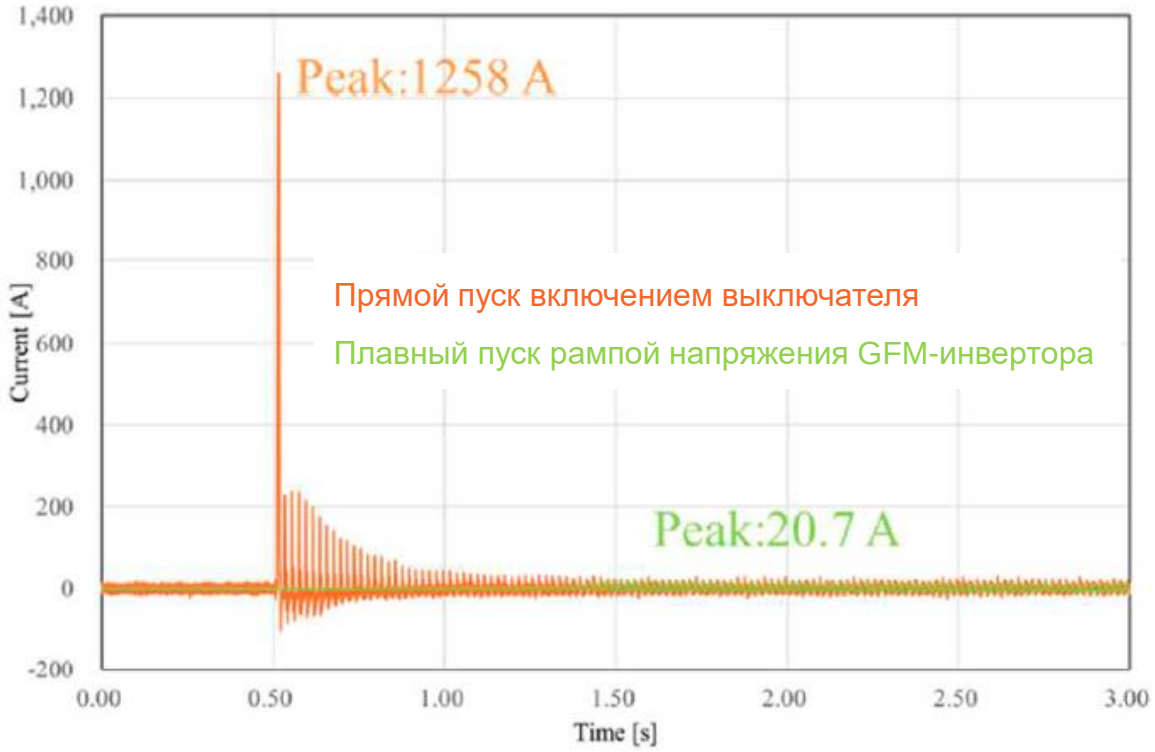
cigre
For power system expertise

Натурные эксперименты по «черному пуску» ЭС 176 кВт о. Курима, Япония

Одна трансформаторная подстанция в сети



Пять трансформаторных подстанций в сети



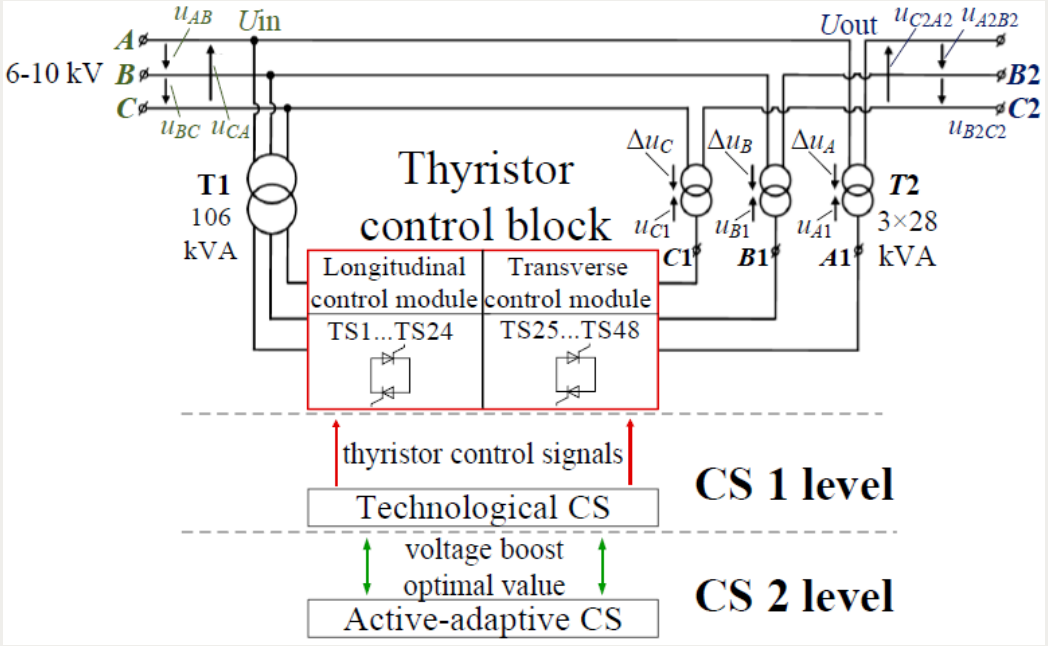
Плавный пуск обесточенной энергосистемы-микрогрид выполняется с помощью частотоведущего (GFM) инвертора в составе системы накопления энергии. В случае прямого пуска включением выключателя отходящего присоединения бросок тока намагничивания ведет к срабатыванию защит

- **PS3-10980**

cigre
For power system expertise

Интеллектуальный регулятор напряжения. Россия, НГТУ им. Р.Е. Алексеева

Схема интеллектуального регулятора напряжения



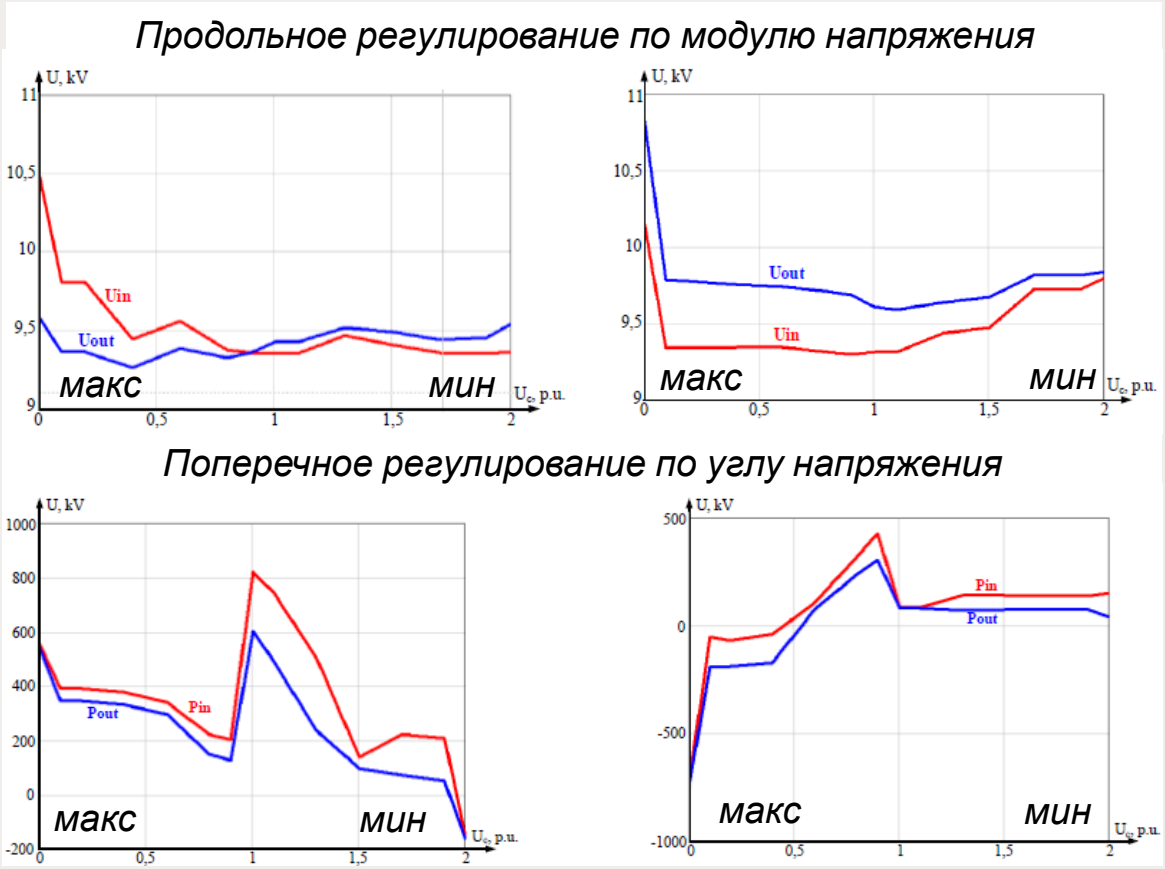






← Внешний вид интеллектуального регулятора

Регулировочные способности устройства



Устройство в зависимости от выбранного режима и задачи может выполнять функции твердотельного вольтодобавочного трансформатора, линейного регулятора или активного стабилизатора напряжения. Диапазоны регулирования модуля напряжения ±10 %, угла напряжения ±5 %

- **PS1-12637**

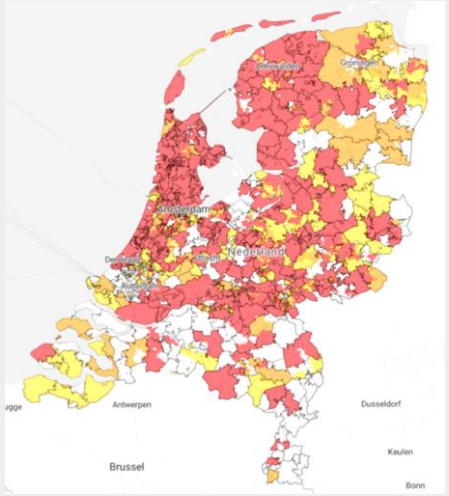
cigre For power system expertise

Вопросы перспективного развития распределительных сетей и систем

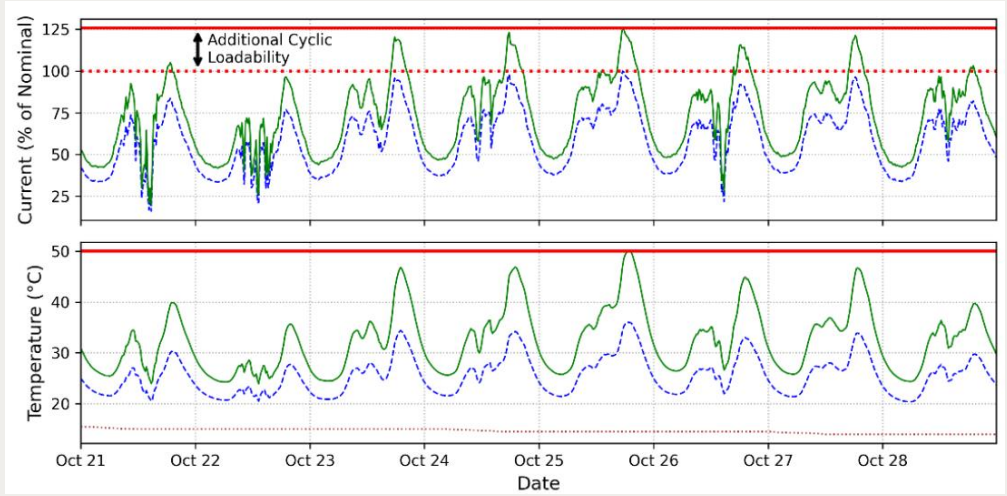


Формальное увеличение пропускной способности кабельных линий электропередачи в Нидерландах

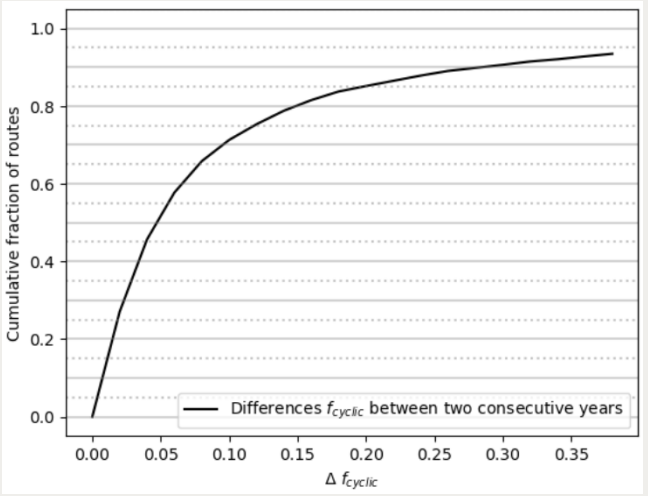
Карта резервов пропускной способности распредсети



Резервы пропускной способности при расчете загрузки кабеля не по току, а по температуре с учетом графика нагрузки



Вариативность загрузки и графиков нагрузок



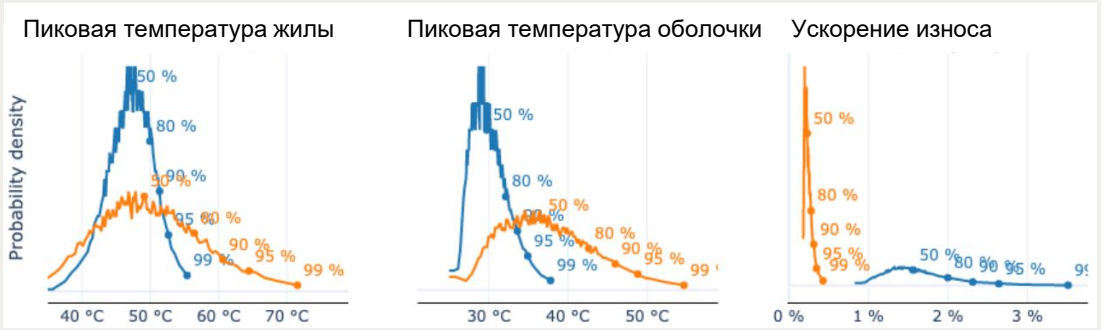


Формальное повышение максимального тока КЛ

Пиковая температура жилы

Пиковая температура оболочки

Ускорение износа



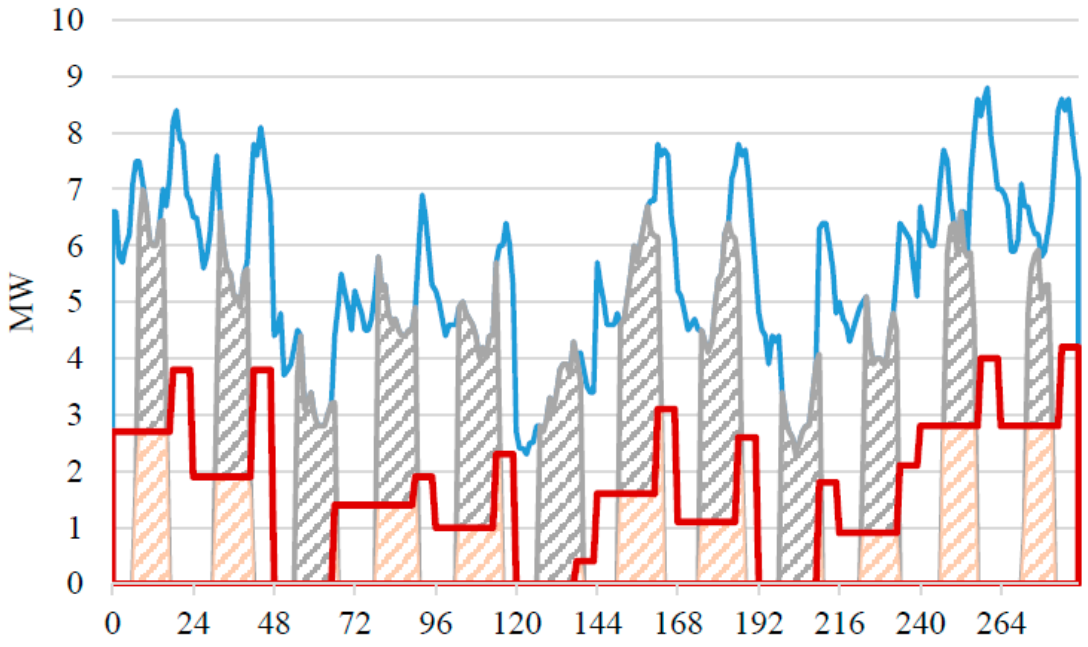
На основе графиков нагрузки из АСКУЭ и моделирования вариативности с помощью метода Монте-Карло авторы устанавливают порог загрузки кабельной линии, при котором температуры не превышают допустимых, без использования прямых измерений. Это позволяет загружать КЛ с изоляцией из бумаги/СПЭ на 105/145 % от номинала с оценочным ускорением износа на 1,5/0,2 %

- **PS1-10314**

cigre
For power system expertise

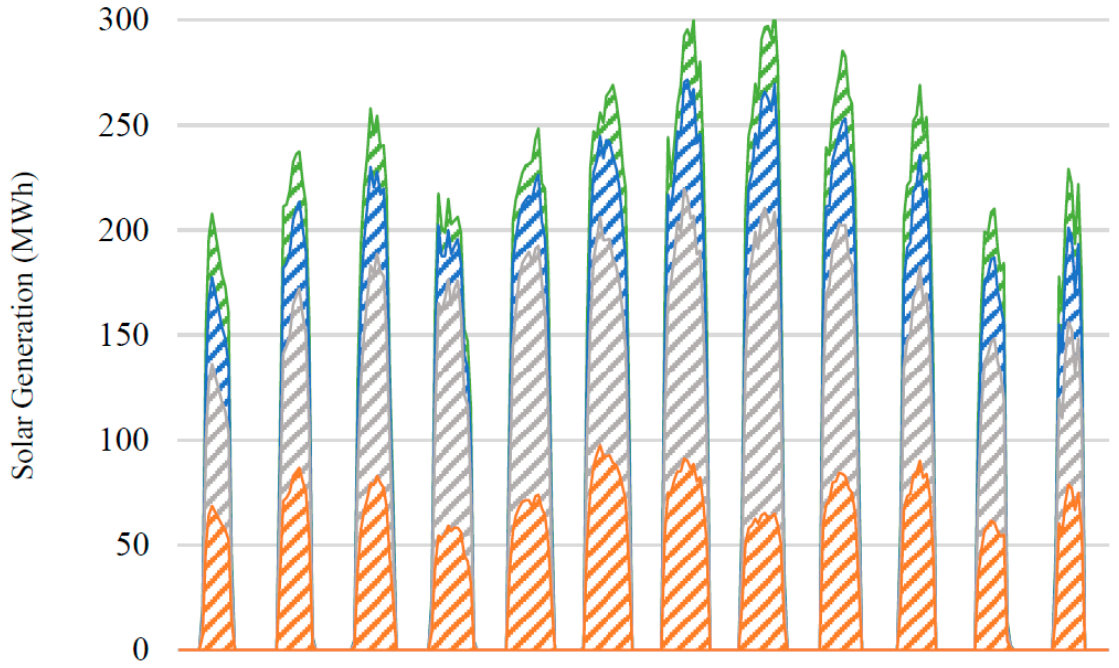
Стратегии ограничения выдачи избыточной мощности ВИЭ. США

Сопоставление пропускной способности распредсети и генерации



Пропускная способность сети
Генерация разнородных распределенных энергоресурсов без ограничений
График ограничений мощности генерации от системного оператора
Генерация разнородных распределенных энергоресурсов с ограничениями

Стратегии ограничения выдачи избыточной мощности



В реальном времени: сначала новые объекты до достижения лимита, потом, все пропорционально мощности до начала ограничения
В реальном времени пропорционально мощности до начала ограничения
В реальном времени: «последним подключился - первым попал под ограничение»
По расписанию: заранее заданная величина

В законодательстве многих стран мира прописан недискриминационный доступ к электрической сети. Де-факто во многих странах этот принцип нарушается как в оперативном/краткосрочном горизонте (в данном случае мощность просьюмеров ограничивается системным оператором в неравных пропорциях), так и в долгосрочном, когда не разрешается технологическое присоединение к сети новых объектов (в данном случае фотоэлектрических станций)

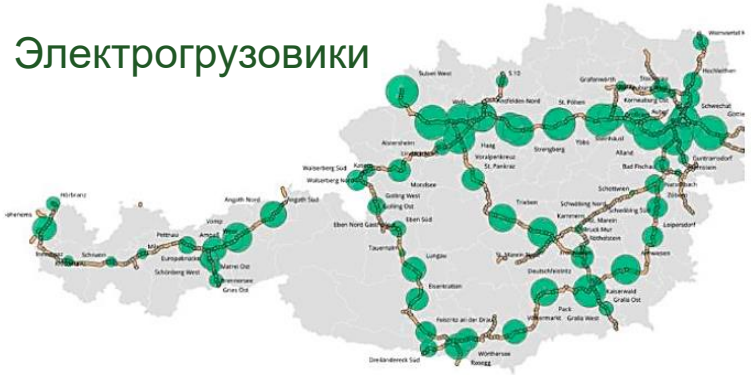
- **PS1-10688, 10807**

cigre
For power system expertise

Перспективная нагрузка зарядной инфраструктуры на питающую сеть. Австрия

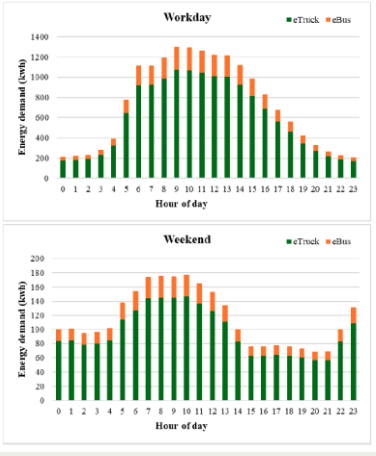
Карта-схема сети с нагрузками перспективных зарядных станций

Электрогрузовики



Электробусы



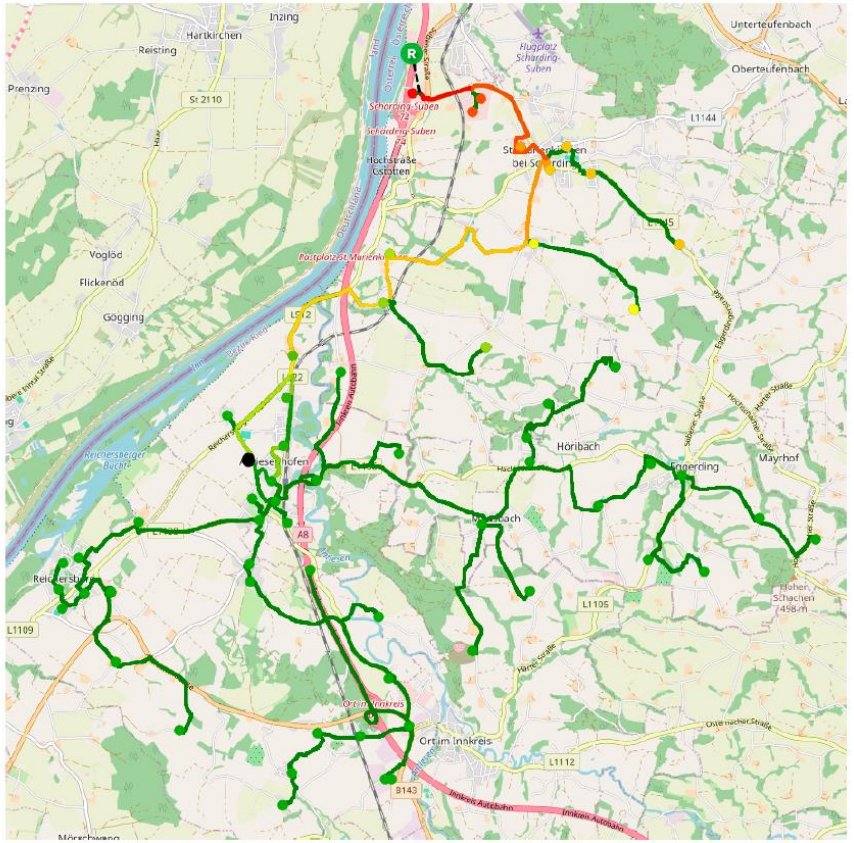


← Пропорции потребления мощности и электроэнергии электрогрузовиками и электробусами

Загрузка фидеров сети по дням недели при зарядке только электробусов или электробусов + электрогрузовиков. Темно-бордовый цвет – загрузка свыше 600 % →



Результаты расчета потокораспределения на карте-схеме



Публикации всех стран мира, в которых интенсивно развивается средний электротранспорт, показывают необходимость кратного увеличения пропускной способности распределительной сети для обеспечения электроснабжения ЭЗС в ближайшие 10-15 лет, что чаще видится авторам нереалистичным

- **PS2-11693**

cigre
For power system expertise

Применение Megawatt Charging System для зарядки электрического водного транспорта. Италия

Карта зарядных станций MCS в озерах севера Италии

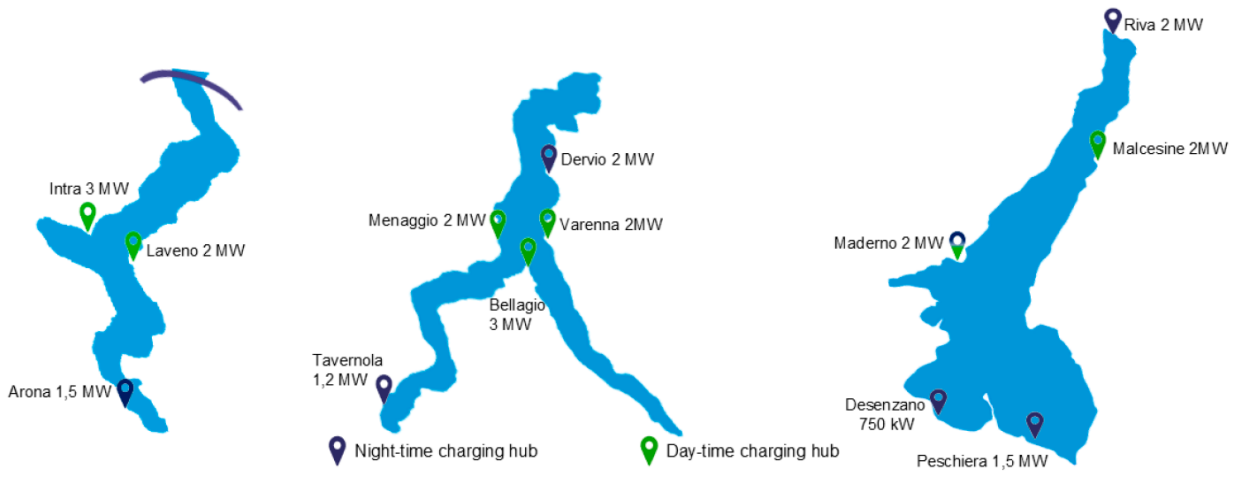
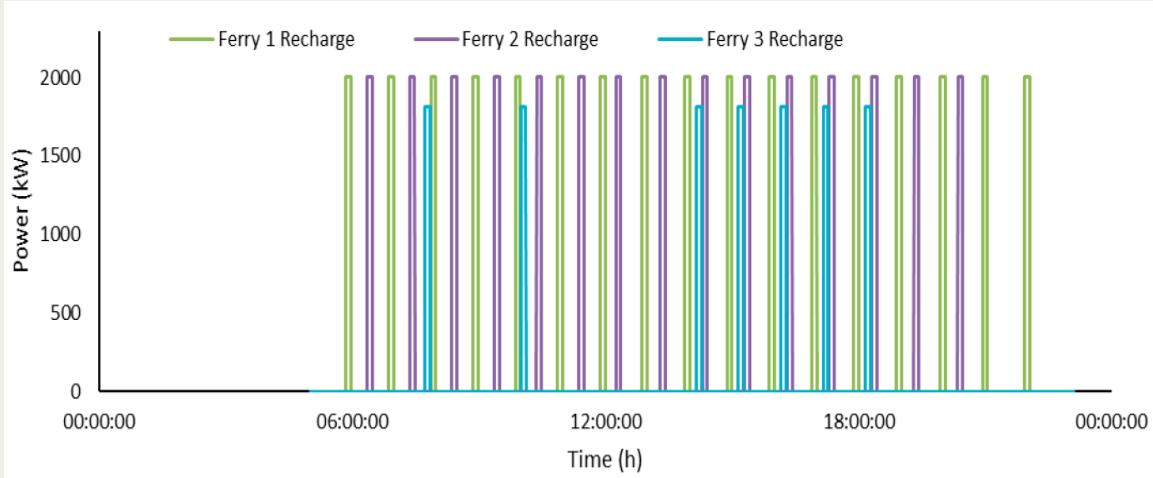
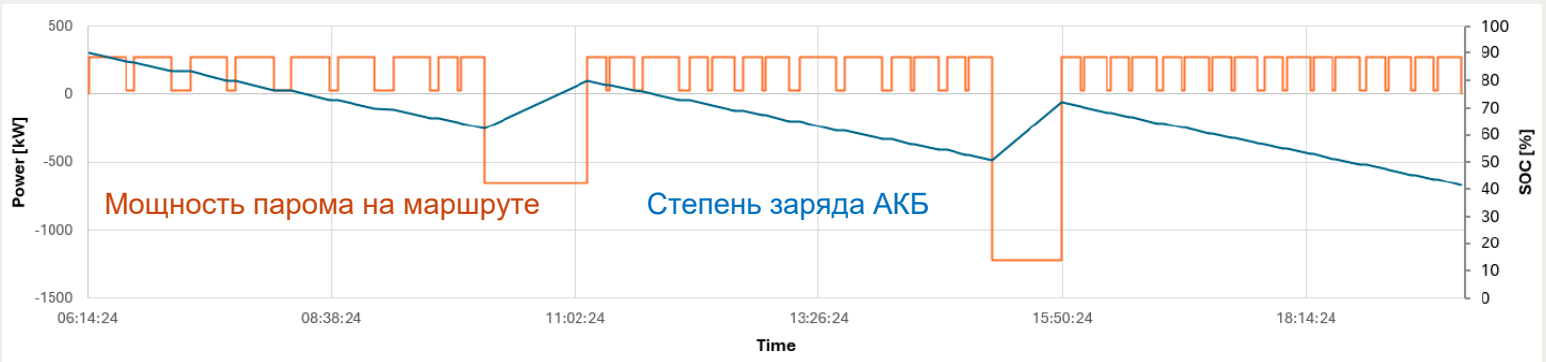


График подзарядки паромов в соответствии с





Category	Batteries [kWh]	Charging power [kW]	Charging system and operations
Ferry	1000	1200	Manual MCS connector
Motor-vessels	1300	450	Manual MCS connector

Емкость АКБ даже небольшого судна – от 1 МВт*ч, мощность – от 0,5 МВт*ч

Масса кабеля + штекера MCS↑ превышает 12 кг и попадает под санитарные нормы EU по ручному перемещению грузов (больше 10 кг) – не для физлиц

В августе 2026 г. в IEC 61851-23-3 утверждены спецификации для мощнейшего зарядного стандарта Megawatt Charging System: 1250 В (форсировка до 1500 В), 3000 А, 3,75 МВт (форсировка до 4,50 МВт). В общем случае для ЭЗС из нескольких колонок требуется подстанция с высшим напряжением СН1-ВН

- **PS2-11127**

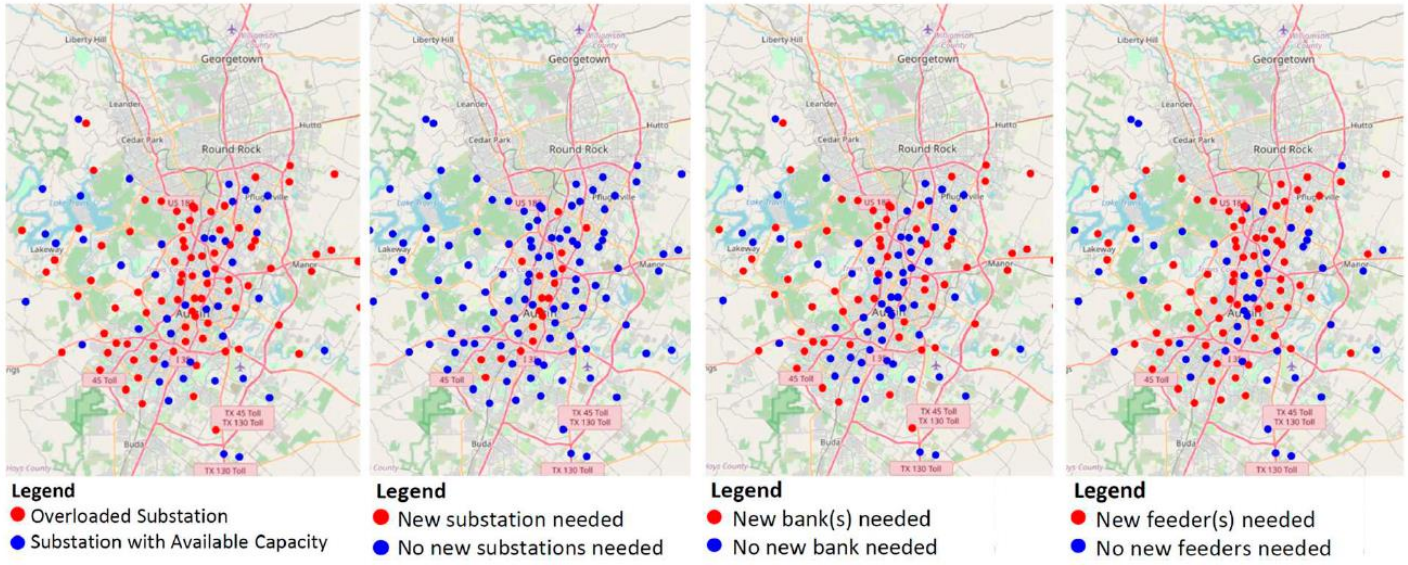
cigre For power system expertise

Развитие геоинформационных систем для распределительных сетей и распределенных энергоресурсов

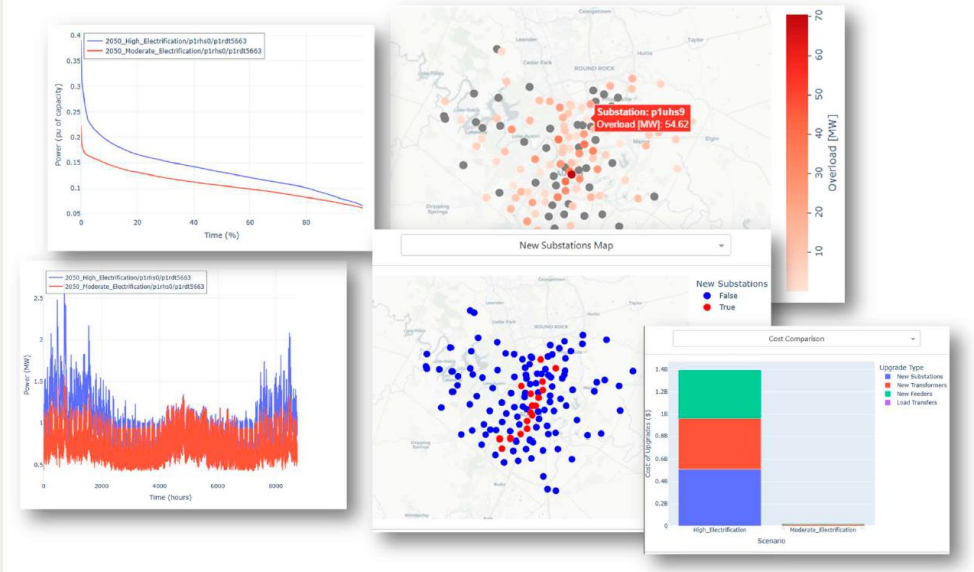


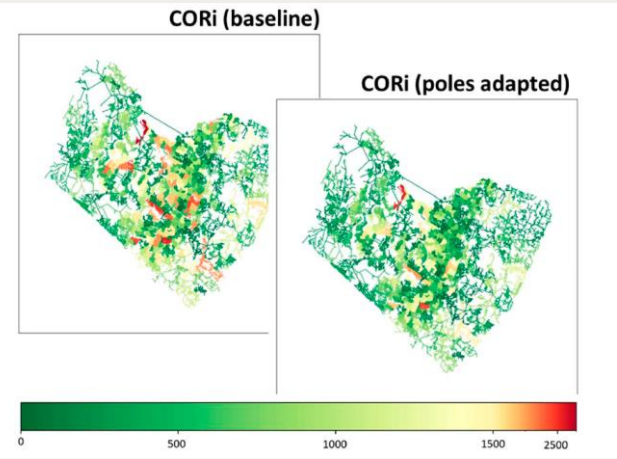
ГИС-системы для задач распределительной электросетевой организации. США

Перегруженные ПС, рекомендуемые новые ПС, СКРМ и фидеры



Резервы пропускной способности в зависимости от мощности





Оценка очагов аварийности и уязвимых опор в зависимости от конструкции опоры, технического состояния, метеопараметров и т.д.

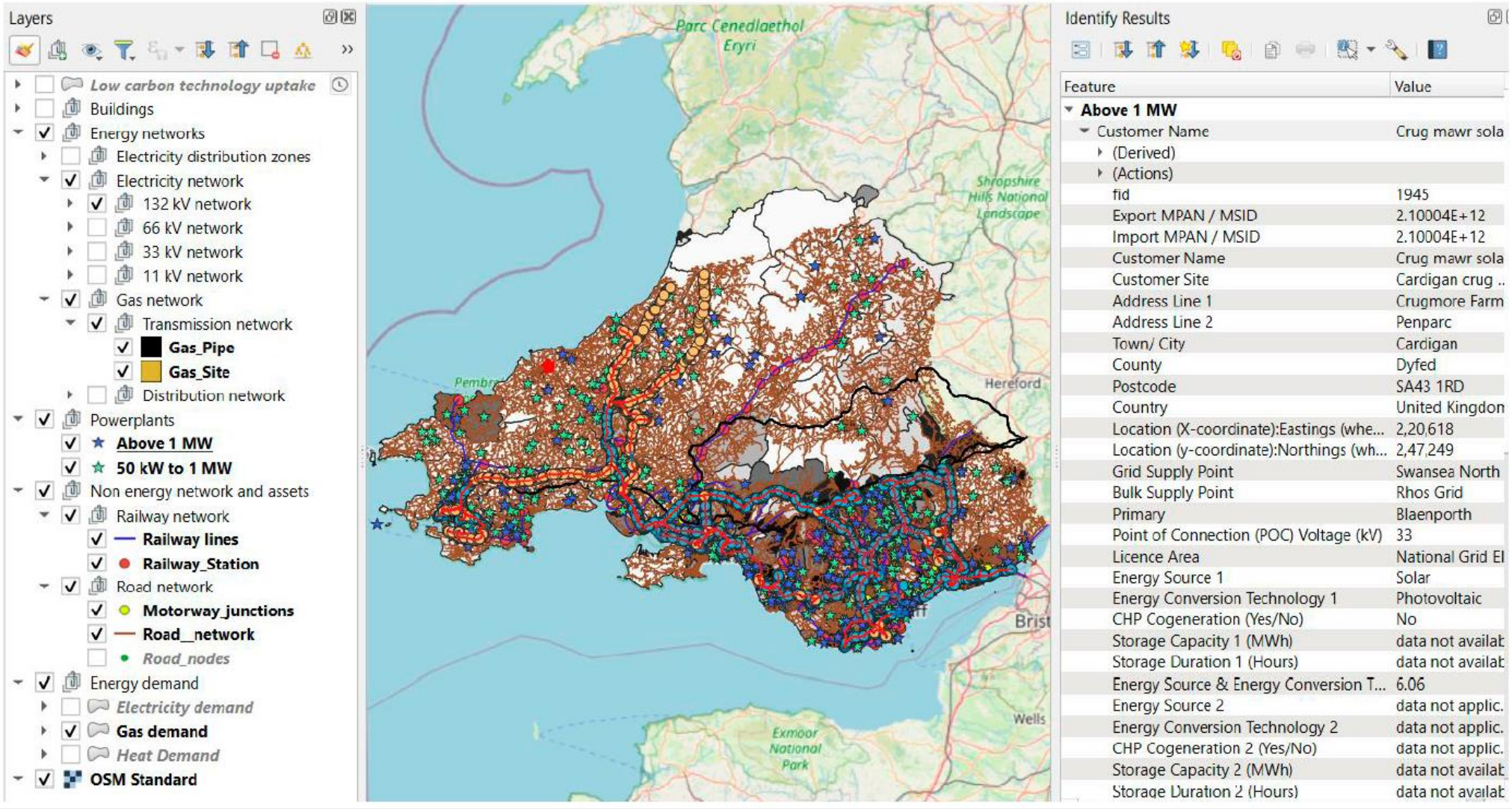
Сотрудники сетевых организаций переходят от работы с текстовыми документами и таблицами к работе с картами и графическим интерфейсом.

Расчетные модули программы предоставляют всю необходимую информацию о статистике функционирования сети, а также являются частью системы поддержки принятия решений о перспективах развития сети как в части топологии, так и электрооборудования

- **PS2-10680, 10681**

cigre
For power system expertise

Реестр и карта распределенных энергетических ресурсов. Великобритания



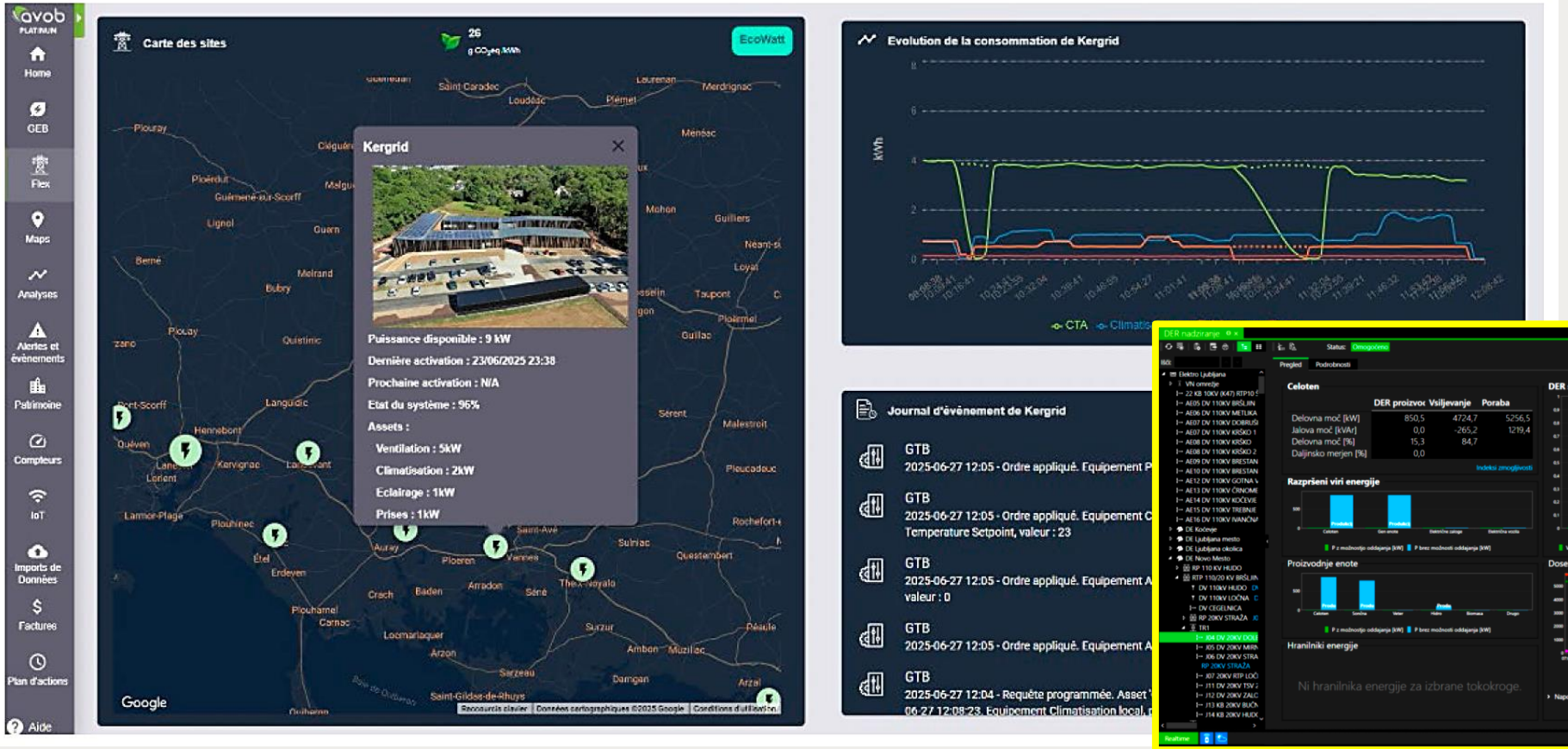
При работе с подобными детальными картами, содержащими множество сведений об объектах критической инфраструктуры и персональных данных частных лиц, первоочередными становятся вопросы информационной безопасности

- **PS1-11745, 11747**

cigre
For power system expertise

Национальная система учета объемов управления спросом. Франция
Система оценки эффективности V2G. Франция, Словения

ГИС типа и мощности потребителя под системой управлением



Модуль оценки эффективности V2G



Как видно из правого верхнего графика трендов SCADA, система периодически теряет связь прямо во время «парадной» демонстрации вследствие неустойчивой работы коммуникационной сети

- **PS1-10913**
- **PS2- 12065**

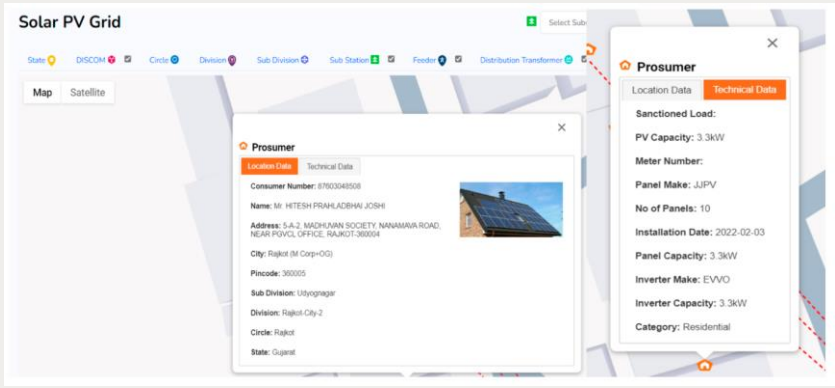
cigre
For power system expertise

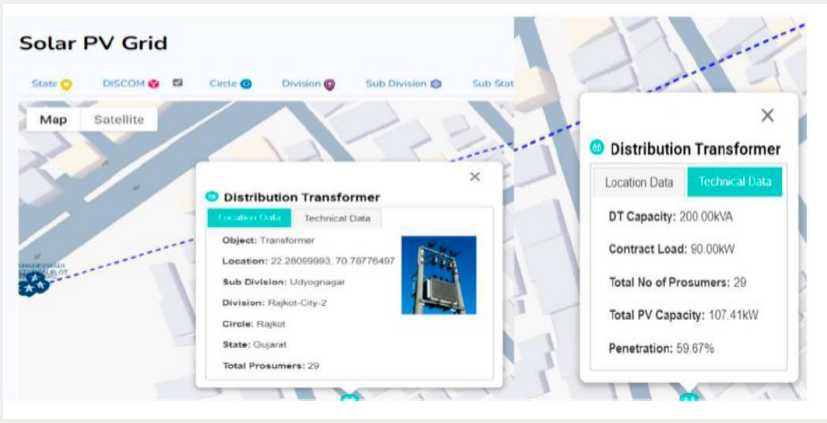
Национальная система учета крышных фотоэлектрических станций в Индии

Пример главного окна программы Solar PV Grid



Примеры окон объектов программы Solar PV Grid





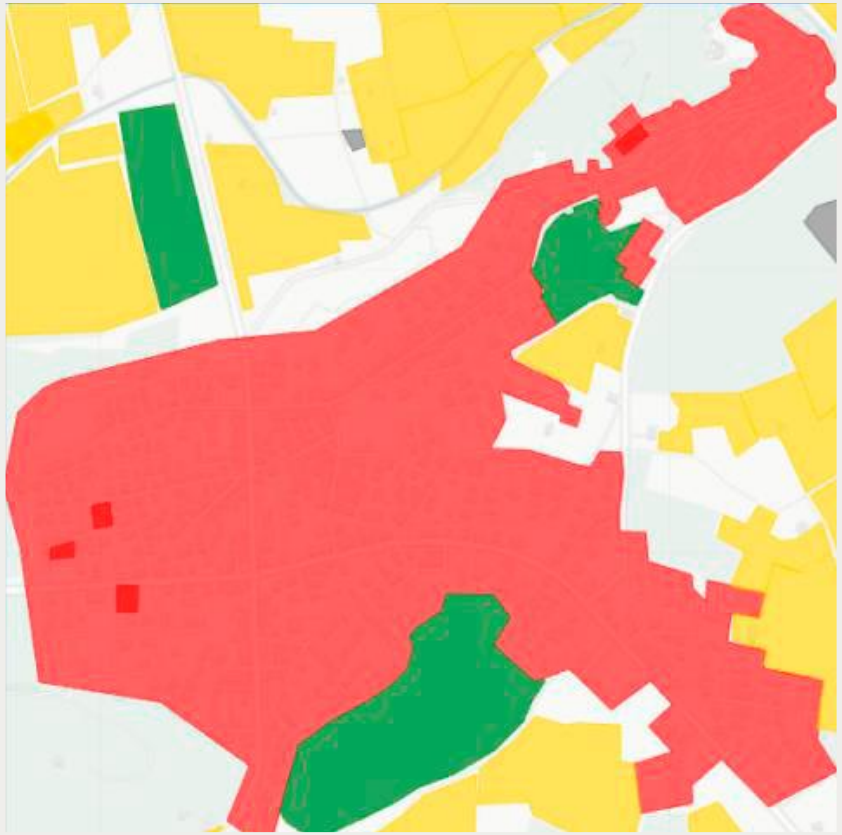
Целью национальной программы является снизить объемы ненаблюдаемых ФЭС. Пользователи регистрируются по договорам и заносят данные в систему самостоятельно, указывая также предполагаемые точки подключения к сети. Стимул – допуск к участию в розничном рынке электроэнергии

- **PS1-10608**

cigre
For power system expertise

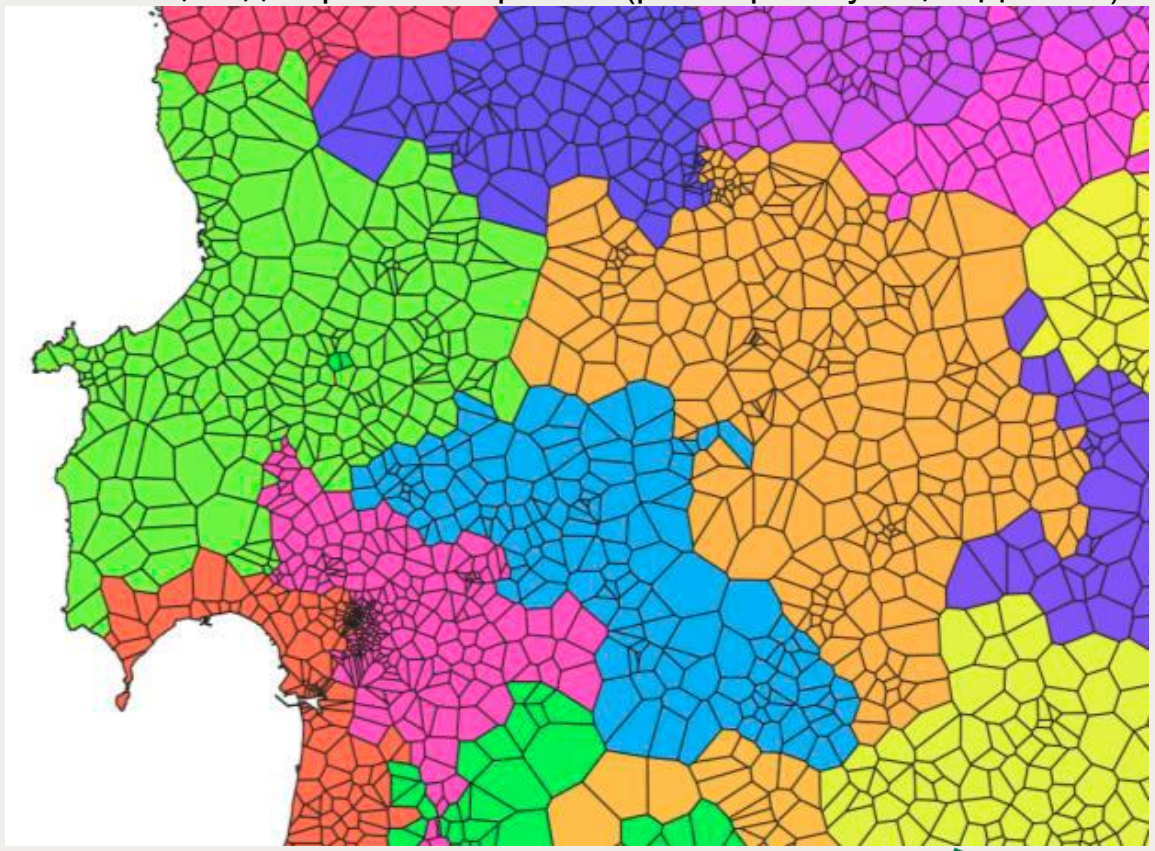
Типовые алгоритмы работы с областями в геоинформационных системах. Италия

Распознавание типов объектов и областей по спутниковым снимкам или картам земельных кадастров



- **PS2-11140**

Разбиение административных областей на зоны вокруг ПС и ТП с помощью диаграммы Вороного (реже триангуляции Делоне)



Основная идея всех ГИС-систем для электроэнергетики заключается в том, что со временем работа с картами-схемами и фото электроэнергетической системы станет первичной, а конвертация содержащейся в них информации в граф сети, матрицы смежности и инцидентности, параметры ЛЭП и оборудования, и т.д., - будет вторичной

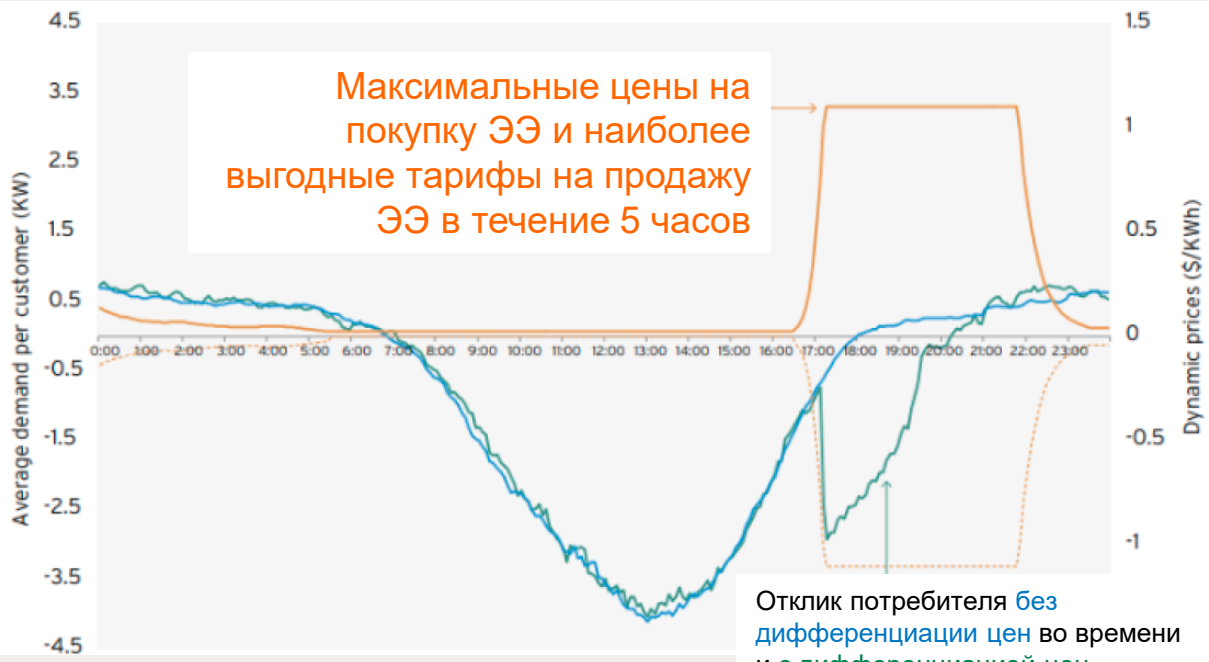
cigre
For power system expertise

Информационное обеспечение балансовых задач и оценивание состояния



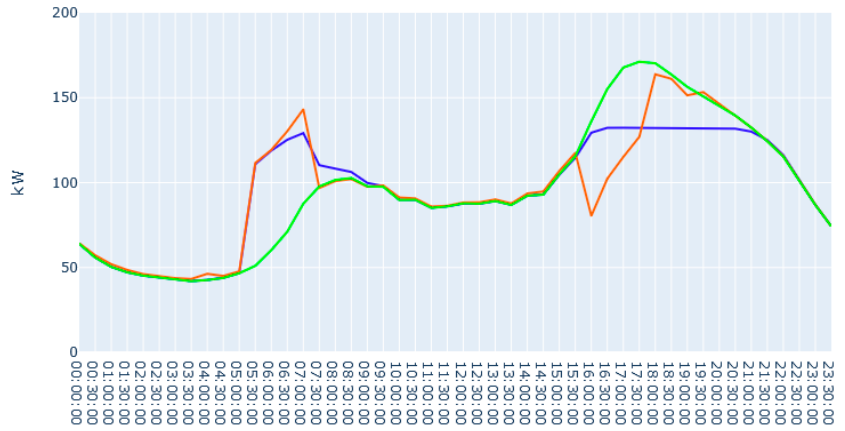
Потребительская дисциплина при осуществлении управления спросом

Австралия



Отклик потребителя без дифференциации цен во времени и с дифференциацией цен

Великобритания

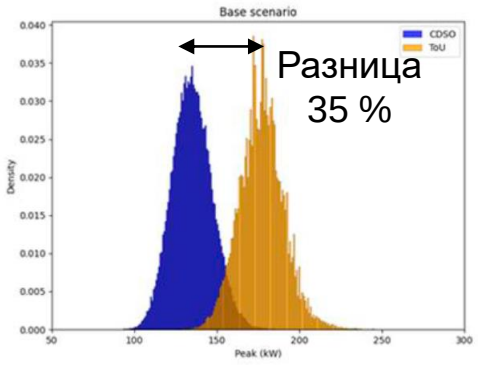


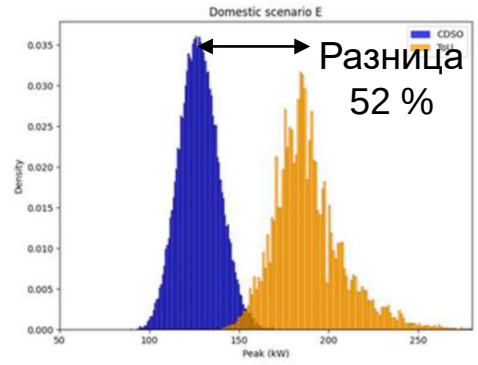
Отклик потребителя:

без дифференциации цен

с дифференциацией цен

с агрегацией спроса





При наступлении периода дорогих цен на электроэнергию бытовые потребители заметно снижают потребление электроэнергии, но делают это с задержкой и ненадолго, а также вскоре стремятся возместить упущенное время простоя электроприемников. Это подходит для снижения коротких пиков в энергосистеме, но непригодно для плато продолжительностью в несколько часов. Вместо этого предлагается вовлекать потребителей в агрегацию спроса со скидкой на электроэнергию в любое время взамен на возможность прямого автоматического управления агрегатором нагрузкой систем «Умного дома», потребительскими электромобилями и накопителями энергии

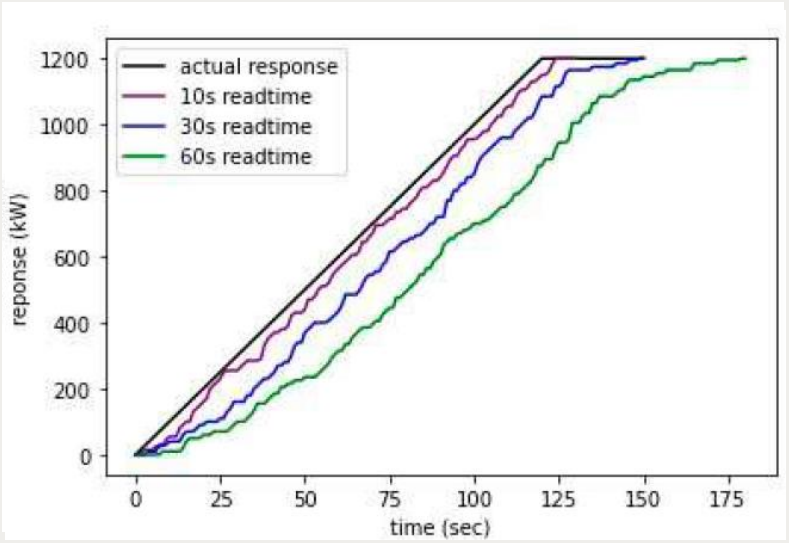
- **PS1-11978**
- **PS1-11759**

cigre
For power system expertise

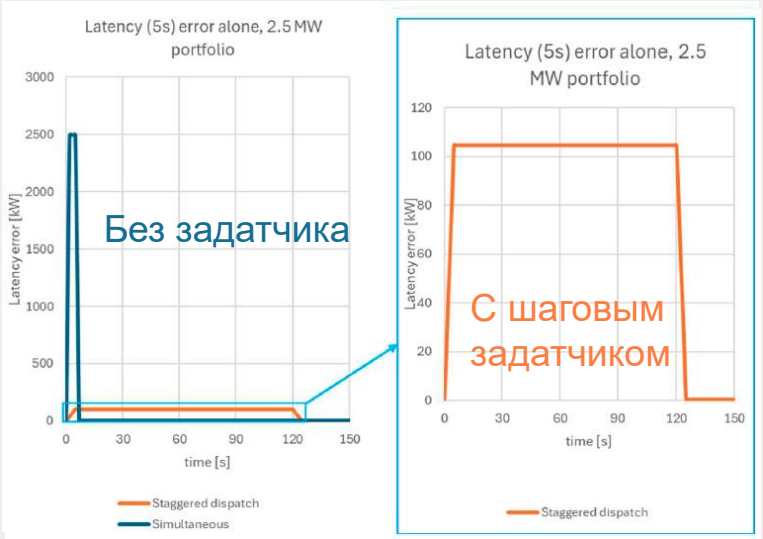
Требования к информационному обеспечению агрегации спроса. Великобритания – Нидерланды

Погрешность отслеживания выполнения команд агрегатора спроса в зависимости от:

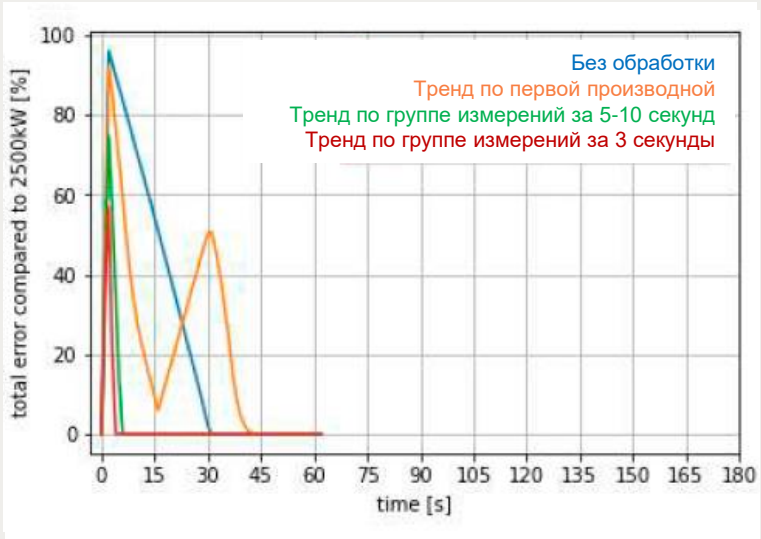
частоты опроса счетчиков электроэнергии



использования шагового задатчика мощности



подходов к обработке тренда



Даже при идеальной телеметрии для достижения целевой погрешности в 1 % мощности агрегатору требуется:

- не менее 25 сравнительно крупных электроприемников (ЭЗС, СНЭЭ, ФЭС) при классе точности **2** измерительных трансформаторов;
- не менее 315 крупных электроприемников – при классе точности **10P** измерительных трансформаторов.

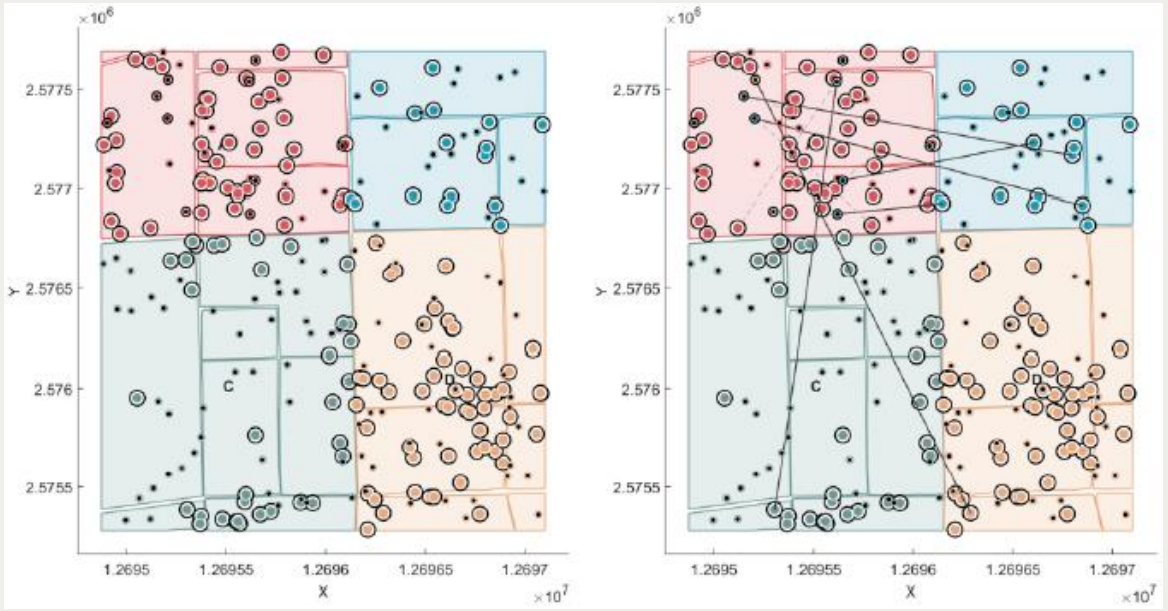
Для агрегаторов с набором договоров 1 МВт измерительная погрешность составляет 0,17-0,84 %, с набором 30 МВт – 0,03-0,15 %.

В распределительных сетях многих стран мира диспетчерский интервал задан равным 10-15 минутам, и оценивается средняя мощность на интервале (для сравнения, в России – 1 час, мощность оценивается *на конец часа*). Агрегаторам спроса для эффективной работы на принятие решений и контроль исполнения команд отводятся секунды или максимум десятки секунд, в связи с чем типовые системные настройки телеметрии для них не подходят по критериям задержки и погрешности

cigre
For power system expertise

Алгоритмы равномерной загрузки зарядной инфраструктуры электромобилей и снижения нагрузки на питающую сеть. Шэнчжень, Китай

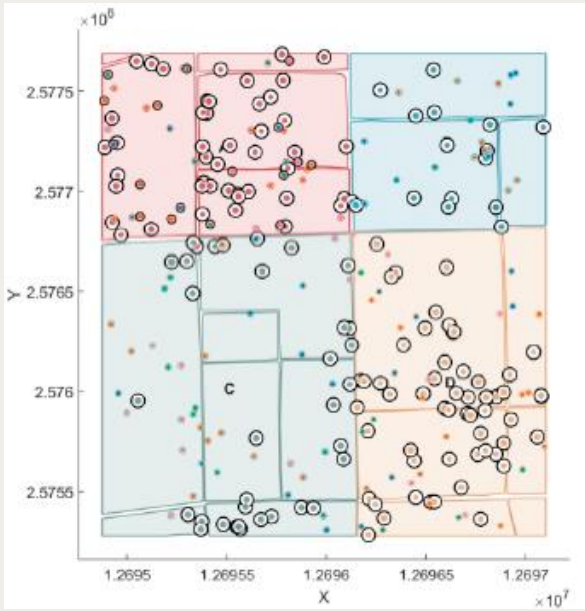
Дифференциация по зоне, нет дифференциации по пользователю



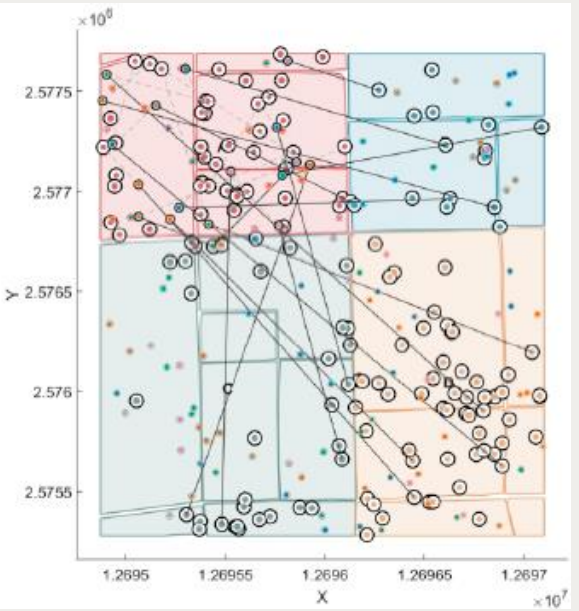
До маршрутизации пользователей

Маршрутизация пользователей

Дифференциация и по зоне, и по пользователю



До маршрутизации пользователей



Маршрутизация пользователей

Зона с высокой загрузкой ЭЗС и питающей сети

Дифференцированные по пользователю тарифы при одинаковом эффекте на 19,24 % дешевле

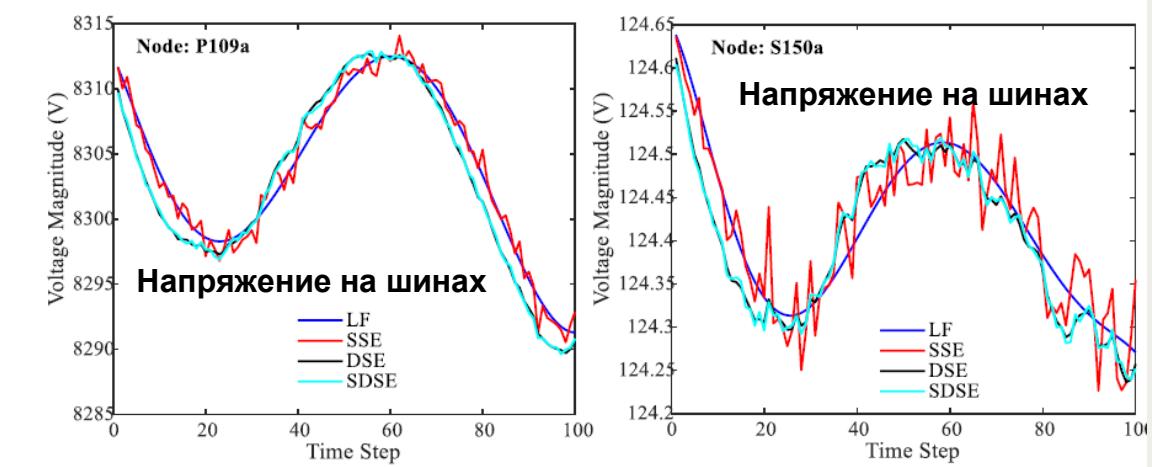
Согласно данному исследованию, на предпочтение выбора ЭЗС психология влияет сильнее остальных факторов. Выделено 4 основных психотипа водителя электромобиля:

1. «Рационал» (36,7 %) – любит детальную информацию о ценах, мощности ЭЗС, текущей степени загрузки и отказах. Принимает взвешенное решение с упором на цену;
2. «Тревожник» (23,3 %) – боится остаться с пустой АКБ посреди дороги. Не любит стресс, едет на ближайшую по расстоянию ЭЗС;
3. «Торопыга» (21,0 %) – не любит терять время ни в пробках, ни на ЭЗС. Любит мощные ЭЗС, едет на далекую ЭЗС, если свободна и нет пробок;
4. «Гедонист» / «Качественник» (19,0 %) – две разновидности пользователя со схожим влиянием на систему. Едет на ЭЗС с высоким уровнем сервиса (заправщик, кафе, развлечения) / высоким уровнем надежности ЭЗС

cigre
For power system expertise

Динамическое оценивание состояния (ОС) распределительной сети

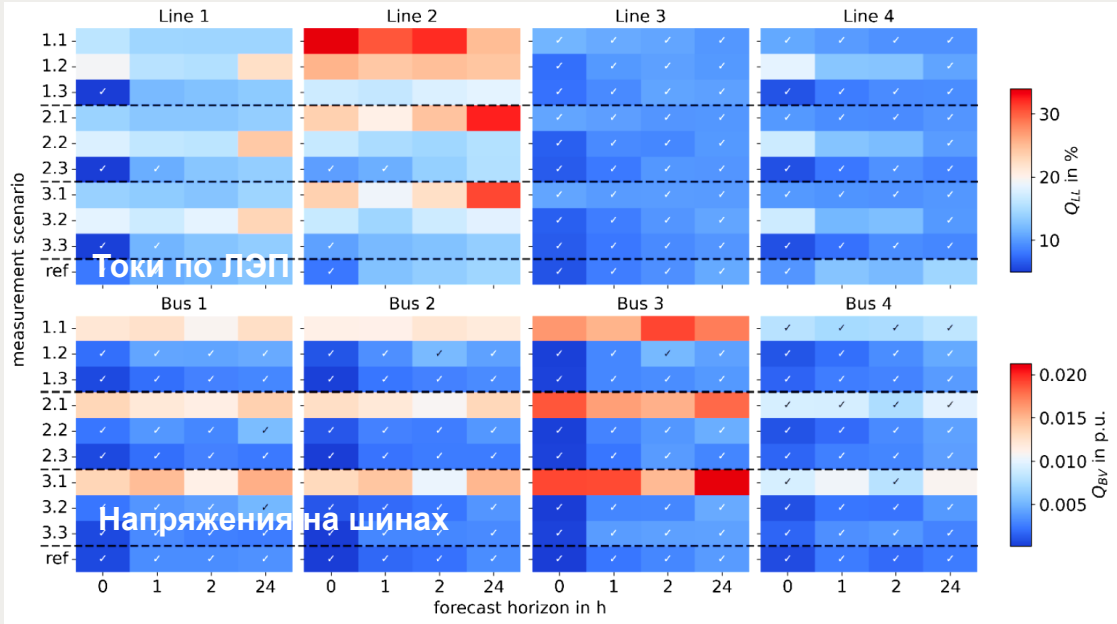
Великобритания. Снижение вычислительной затратности ОС



Что сохранили: метод наименьших квадратов, псевдоизмерения и фильтр Калмана

Что нового: методики понижения степени заполненности матриц Калмана и размерности прогнозного Якобиана. В частности, фильтр Калмана и алгоритмы сглаживания применяются не к измерениям напряжения (которых мало в распредсети), а к графикам нагрузок. Якобиан измерений малозатратно приводится к вырождению в единичную матрицу.

Германия. Нейросетевое оценивание состояния



Что сохранили: идею оценивания состояния

Что нового: классический квазилинейный ковариационно-корреляционный аппарат полностью заменен на нейросетевой гибрид оценивания и прогноза изменения величин, в т.ч. для сильно нелинейных и дискретных процессов.

По мере совершенствования информационного обеспечения распредсетей эволюция оценивания состояния уходит от классических аналитических и ковариационных моделей в сторону подходов Больших данных, методов машинного обучения и искусственного интеллекта

- **PS2- 11127, PS2- 12434**

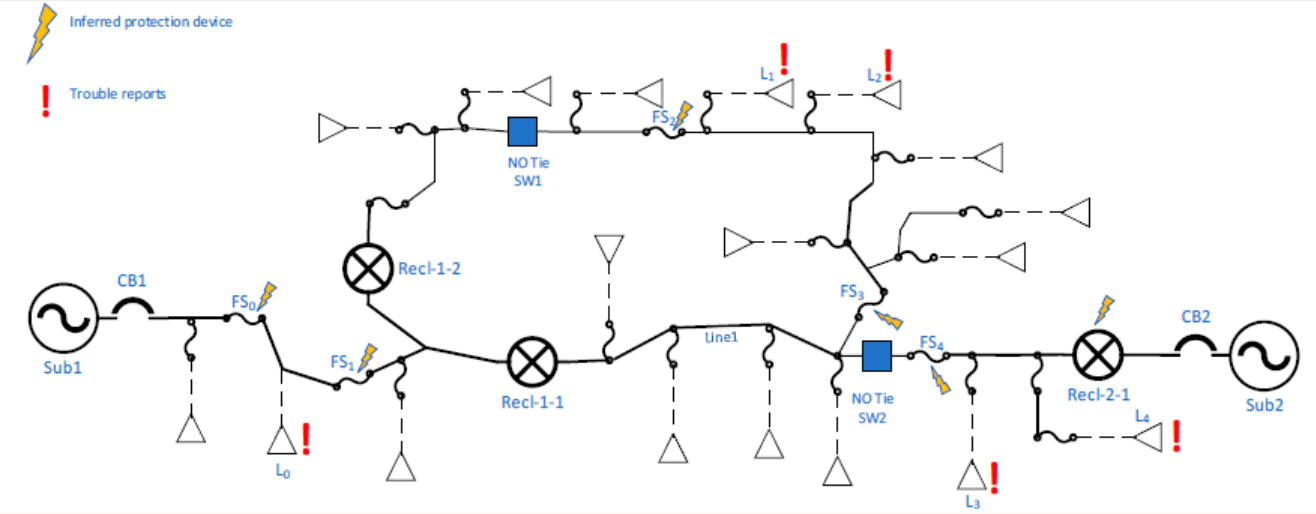
cigre For power system expertise

Релейная защита и автоматика. Определение места повреждения

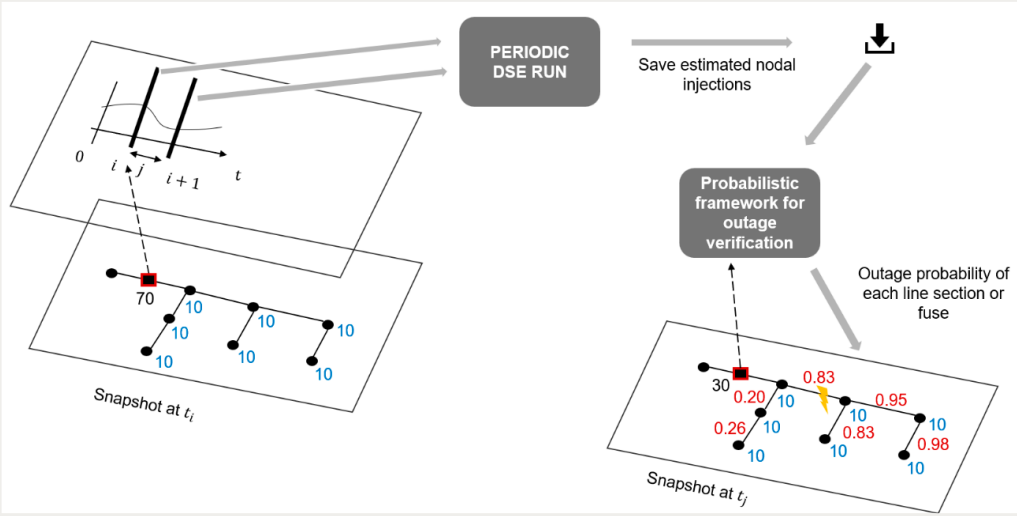


Динамическое оценивание состояния графа электрической сети по параметрам электрического режима. Польша

Пример схемы сети со множественными отчетами о срабатывании РЗА



Динамическое оценивание состояния графа сети



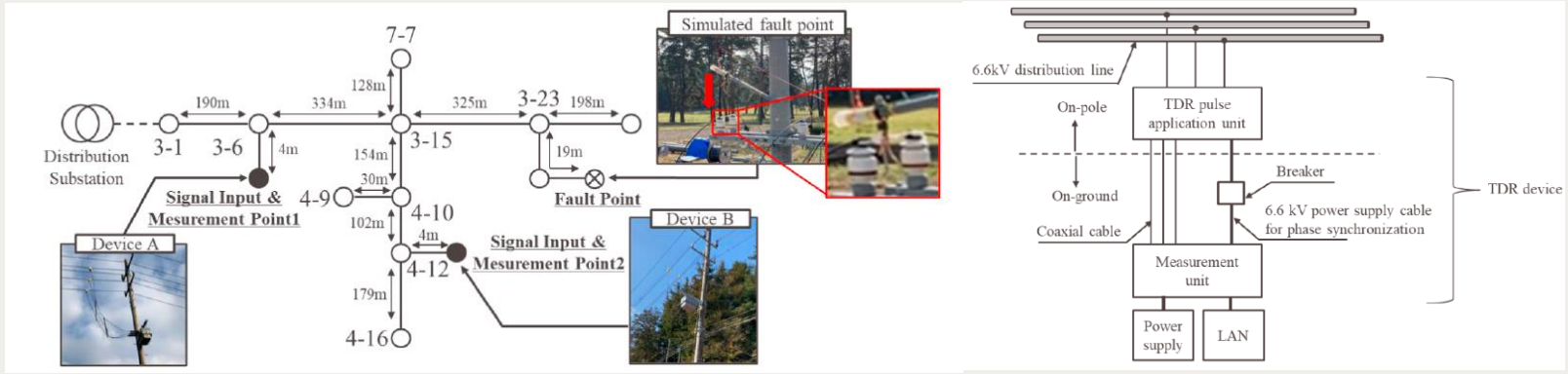
Помимо множественных отключений и несинхронных неупорядоченных вследствие разных задержек в каналах связи предупреждений о срабатывании устройств РЗА, проблема определения места повреждения в распределительной сети усложняется для диспетчера ненулевой телеметрией *V,I,f,P,Q* в на самом деле обесточенных участках сети вследствие артефактов оценивания состояния. В публикации авторы решают задачу, обратную по постановке традиционной задаче оценивания состояния: по параметрам электрического режима и отчетам о срабатывании восстанавливают актуальный граф сети и вероятность нахождения в отключенном состоянии тех или иных участков сети, а также вероятность того, что участок является первопричиной отключений

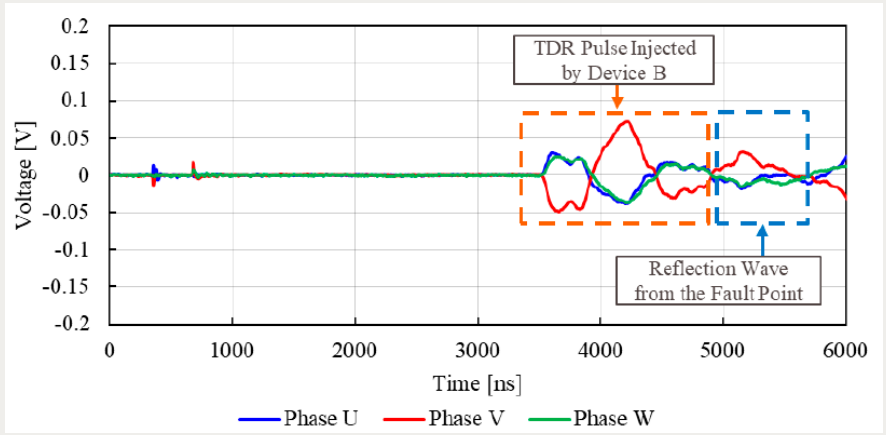
- **PS2-11563**

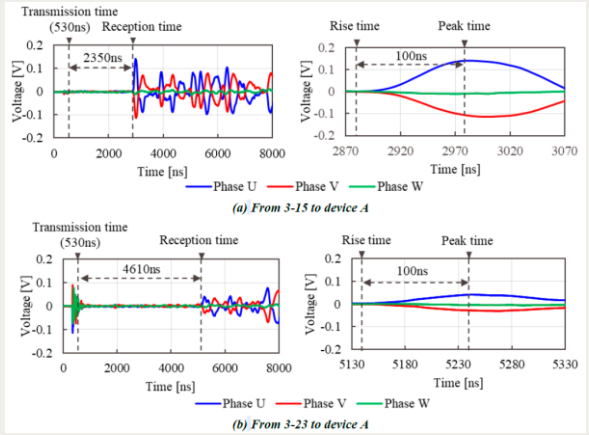
cigre
For power system expertise

Волновое определение места повреждения. Япония

Схема сети





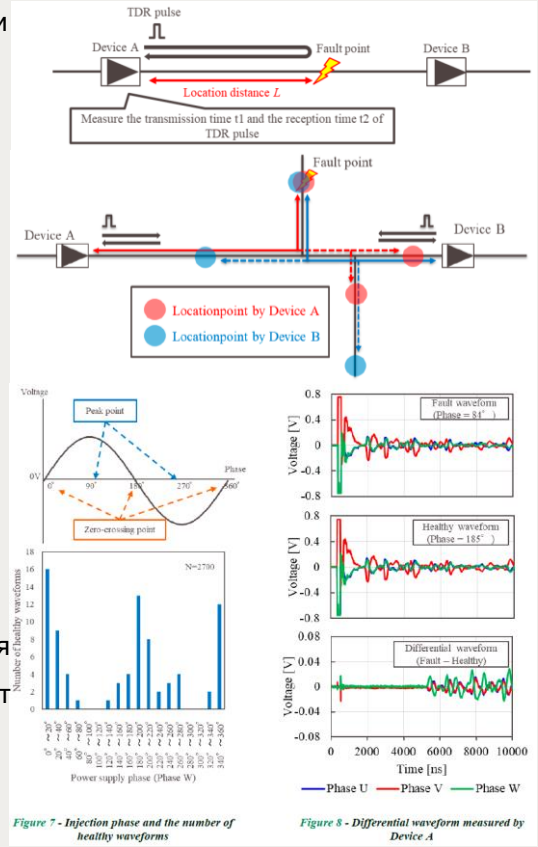


Принцип действия

1. В момент аварии система делает серию быстрых зондирований из 90-100 импульсов амплитудой 200-600 Вольт за 0,08-0,10 с →

2. В районе нуля синусоиды напряжения отраженная волна от КЗ пропадает вследствие погасания дуги. В моменты пика напряжения дуга горит, и волна ←отражается от места повреждения

3. Прибор вычитает один график из другого прямо во время аварии и выполняет ОМП→



В тестах на реальной электрической сети 6.6 кВ достигнута погрешность определения места повреждения 4,76 - 6,42 м на длинах сети ~1000 м. ВременнОе разрешение прибора составляет 10 нс, за которые электромагнитная волна проходит по проводам 2,87 м. Приборы умеют учитывать взаимное влияние и определять погрешность по совместным измерениям

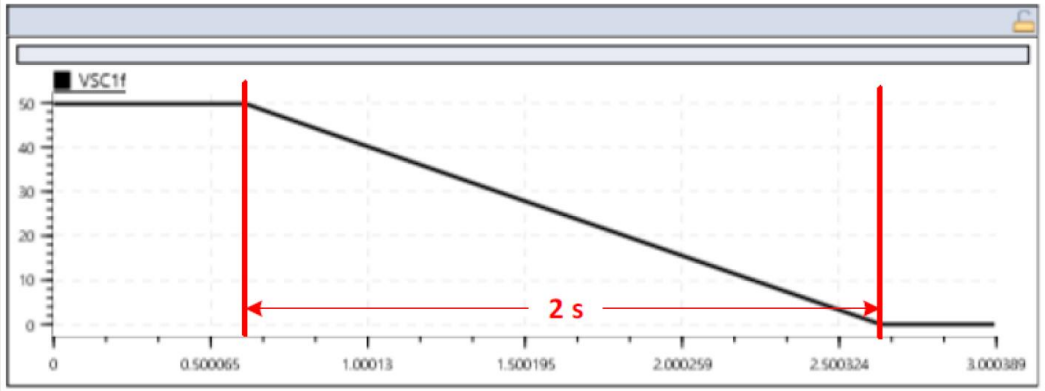
- **PS2-10977**

cigre For power system expertise

Выбор варианта уставок АЧР для микрогрид ~50 кВт в ЮАР

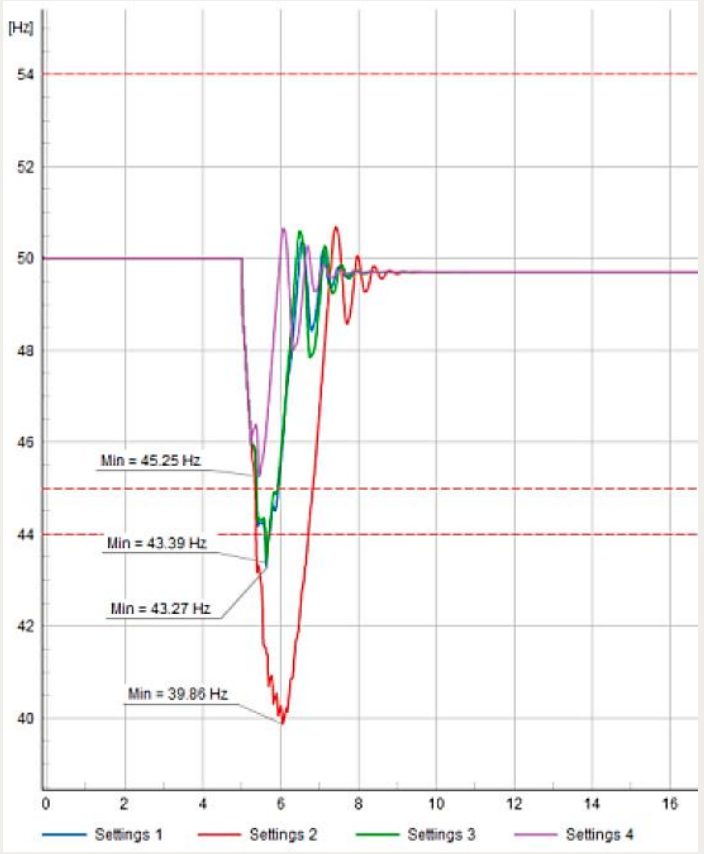
Таблица вариантов уставок ступеней АЧР

UFLS Setting	Stage 1 Freq. (Hz)	Stage 1 Delay (s)	Stage 2 Freq. (Hz)	Stage 2 Delay (s)	Stage 3 Freq. (Hz)	Stage 3 Delay (s)	Stage 4 Freq. (Hz)	Stage 4 Delay (s)
1	48.45	0.5	48.35	0.25	48.25	0.125	48.15	0.1
2	48.45	1	48.35	0.5	48.25	0.25	48.15	0.125
3	48.45	0.5	48.4	0.25	48.35	0.125	48.3	0.1
4	48.45	0.25	48.4	0.125	48.35	0.125	48.3	0.1



- Рабочий диапазон от 44 до 54 Гц
- Нормальное отклонение от 50 Гц:
  - ↕ Установившееся ±1 Гц
  - ↕ Переходное ±1,5 Гц
- Ступени АЧР настраиваются ниже 48,5 Гц и работают «кучно»
- Постоянная инерции GFM-инвертора 0,4 с (5τ = 2 с)

Отклонение частоты при отключении дизель-генератора



В микроэнергосистемах настраивать АЧР на высокие значения ~49,2 Гц, как в крупных энергосистемах, не имеет смысла в связи со значительными отклонениями частоты в квазиустановившемся режиме. Но для предотвращения аварии необходима максимально быстрая последовательная работа ступеней АЧР

- **PS2-11164**
- **PS3-11271**

cigre
For power system expertise

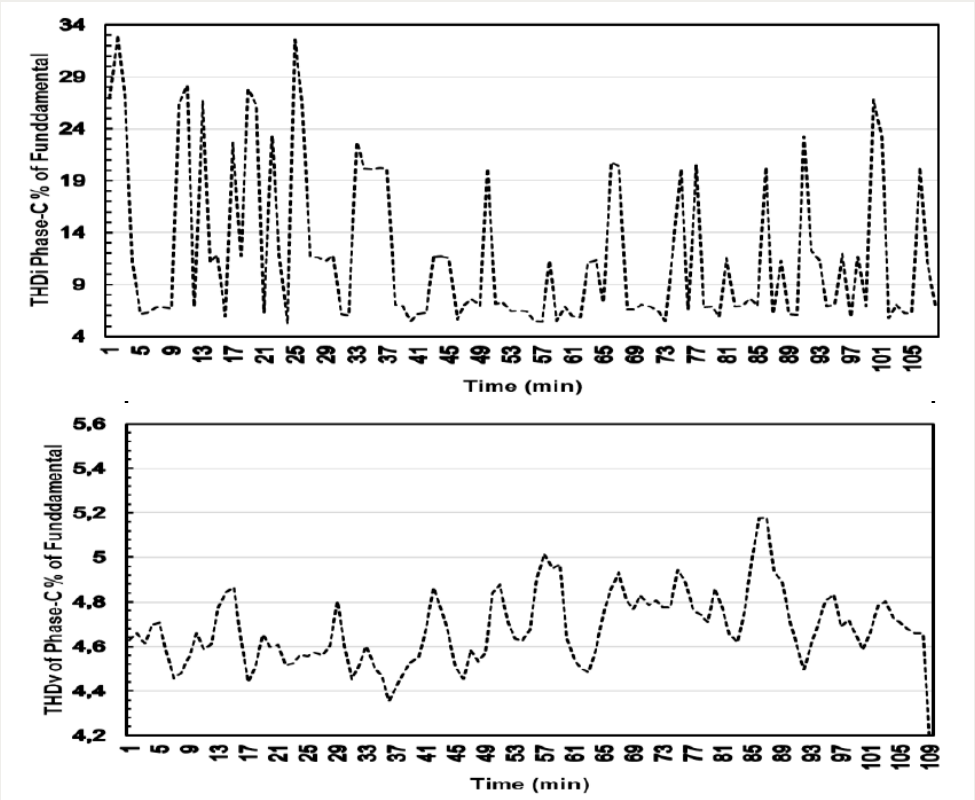
Высшие гармоники тока и напряжения при работе зарядной инфраструктуры электромобилей



Борьба с несинусоидальностью напряжения вследствие работы электрозаправочных станций переменного тока. Финляндия, Таиланд

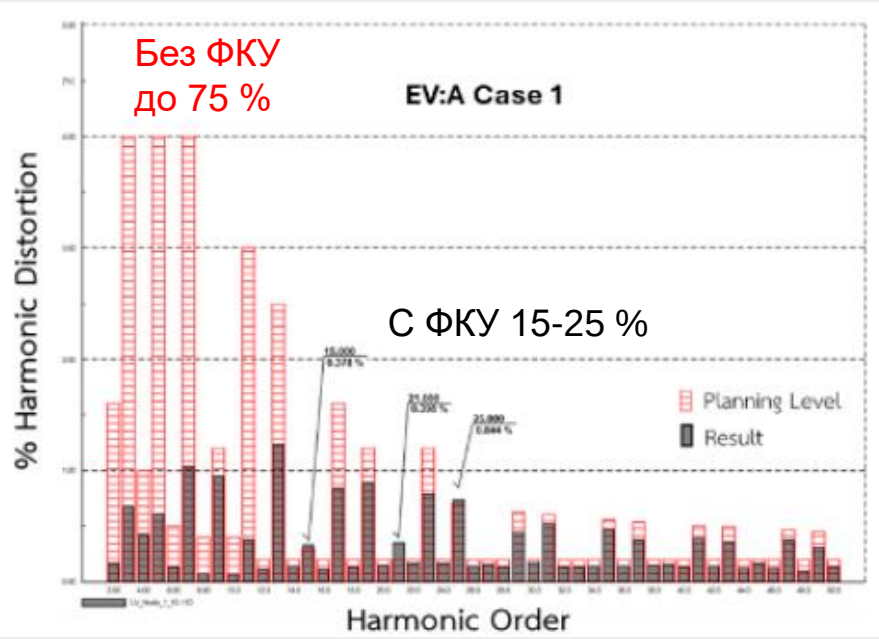
Финляндия

Пример изменения коэффициента гармонических искажений во времени



- Электрозаправочная станция АС не выпрямляет ток, а только подаёт напряжение.
- При использовании станций АС сетевым каскадом выступает бортовое зарядное устройство с ограничениями по массе, размерам и эффек-ти;
- Бортовое зарядное устройство спроектировано под к-т несинусоидальности по току ~5 % при загрузке 80-100 %. При снижении нагрузки и переходе процесса заряда в стадию CV к-т несинусоидальности по току возрастает до 40 %. Причины:

Таиланд



1. «Рваная» работа преобразователя
2. Компромиссные конструкция и топология действия фильтра
3. Работа систем балансировки ячеек BMS с постоянным включением-отключением шунтов
4. Динамическое терморегулирование АКБ
5. Алгоритмы поиска точки стабильности слабой сети

Изготовить эффективный активный корректор коэффициента мощности для уровня мощностей 11-22 кВт несложно, но для автопроизводителя это сложнейший компромисс, точка которого, как правило, смещается в пользу низких себестоимости производства и снаряженной массы авто

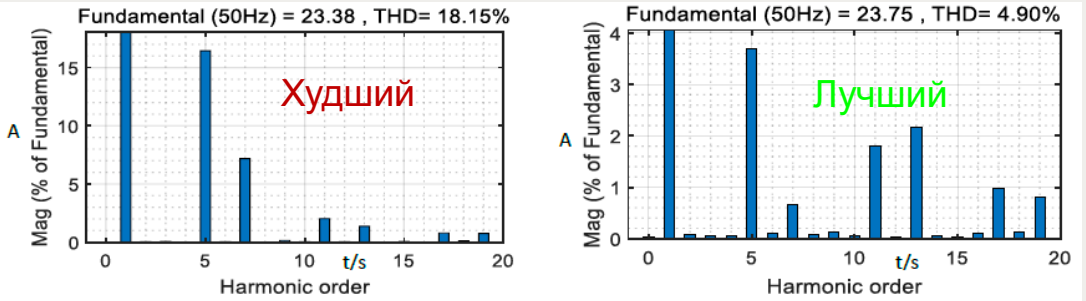
- **PS2-12065, 12626**

cigre
For power system expertise

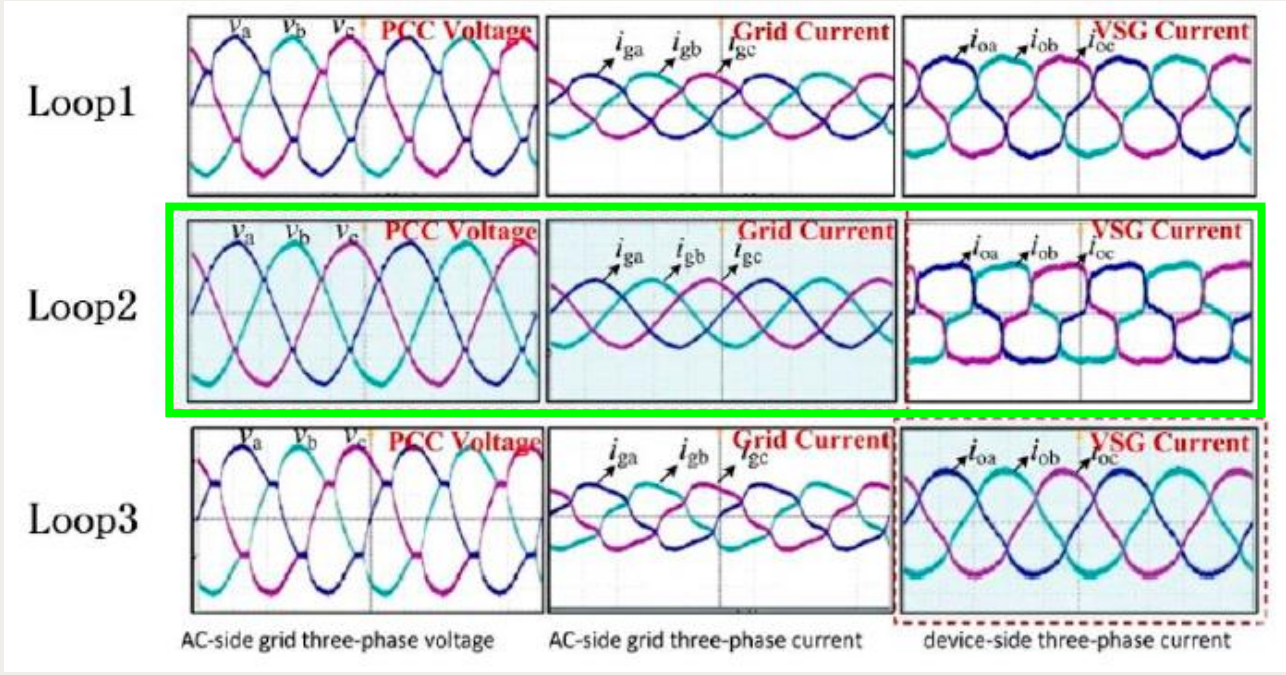
Борьба с несинусоидальностью напряжения вследствие работы электрозаправочных станций переменного тока. Китай

Типовые параметры электрозаправочной станции

Parameter	Value
Power	20kW
DC-side voltage	750V
Grid voltage	380V
Inverter-side filter inductor	1mH
Grid-side filter inductor	0.5mH
Filter capacitor	20uF
Switching frequency	10kHz
Equivalent load of charging pile	28 Ω



Результаты испытаний различных законов системы управления преобразователями напряжения в составе зарядной станции для уменьшения несинусоидальности вследствие работы ЭЗС



Если в сети уже имеются гармонические искажения (от промышленности, бытовой техники или других ЭЗС), активный корректор коэффициента мощности может начать работать некорректно, пытаясь устранить несинусоидальность сети, тем самым генерируя в нее новые гармоники

- **PS1-11535**

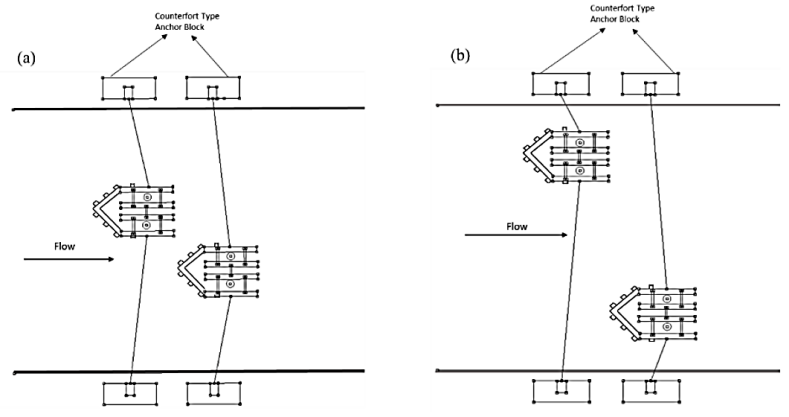
cigre
For power system expertise

Национальный колорит



Разработка Индией сети малых ГЭС полупогружного (островного) типа для паводковых рек Гималаев

↓ Схема динамического позиционирования двух гидроагрегатов



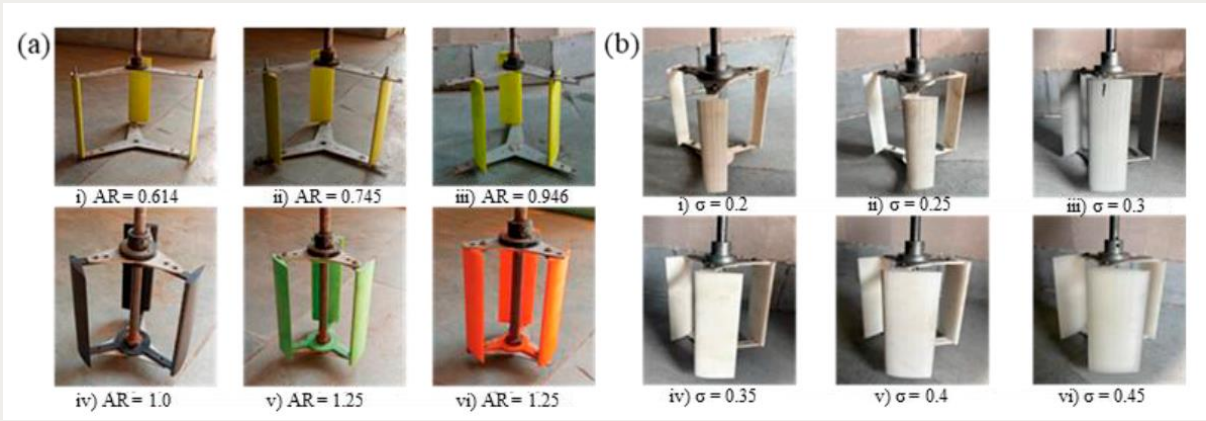
↓ Вычислительная гидродинамическая модель

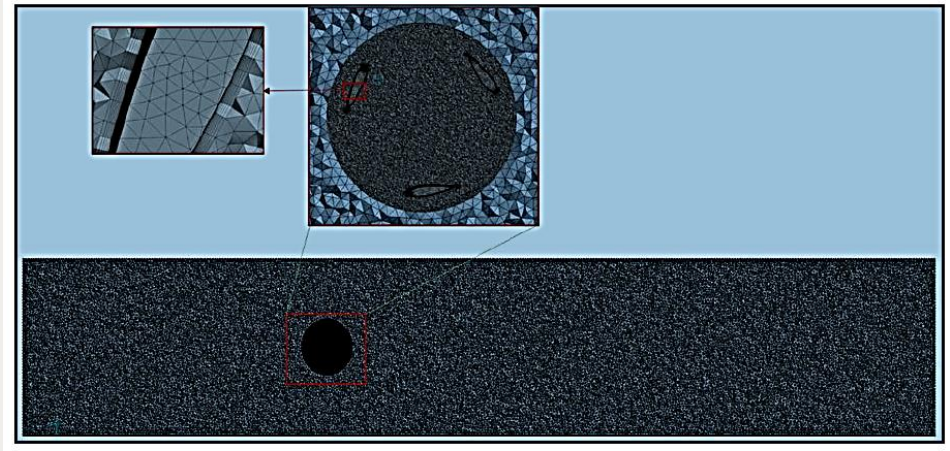
Разница модели и измерений

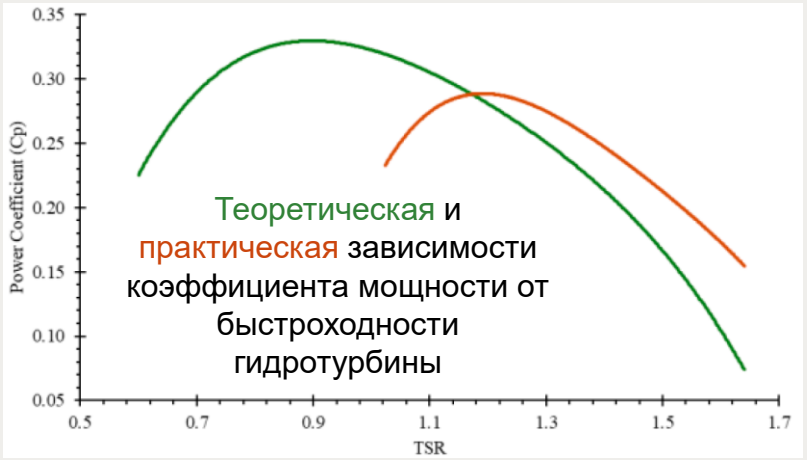
↓

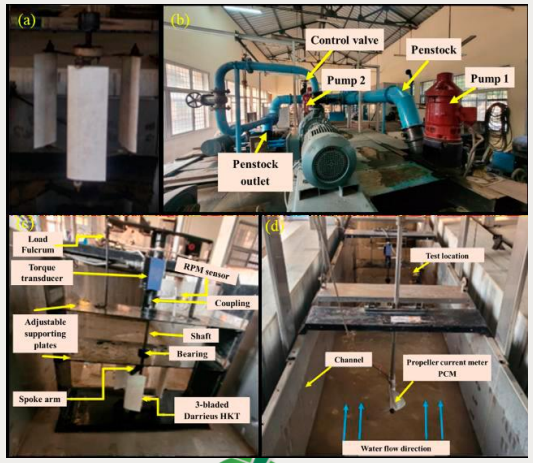
Испытательная лаборатория ↓

Экспериментальные образцы роторов Дарье с разной геометрией ↓









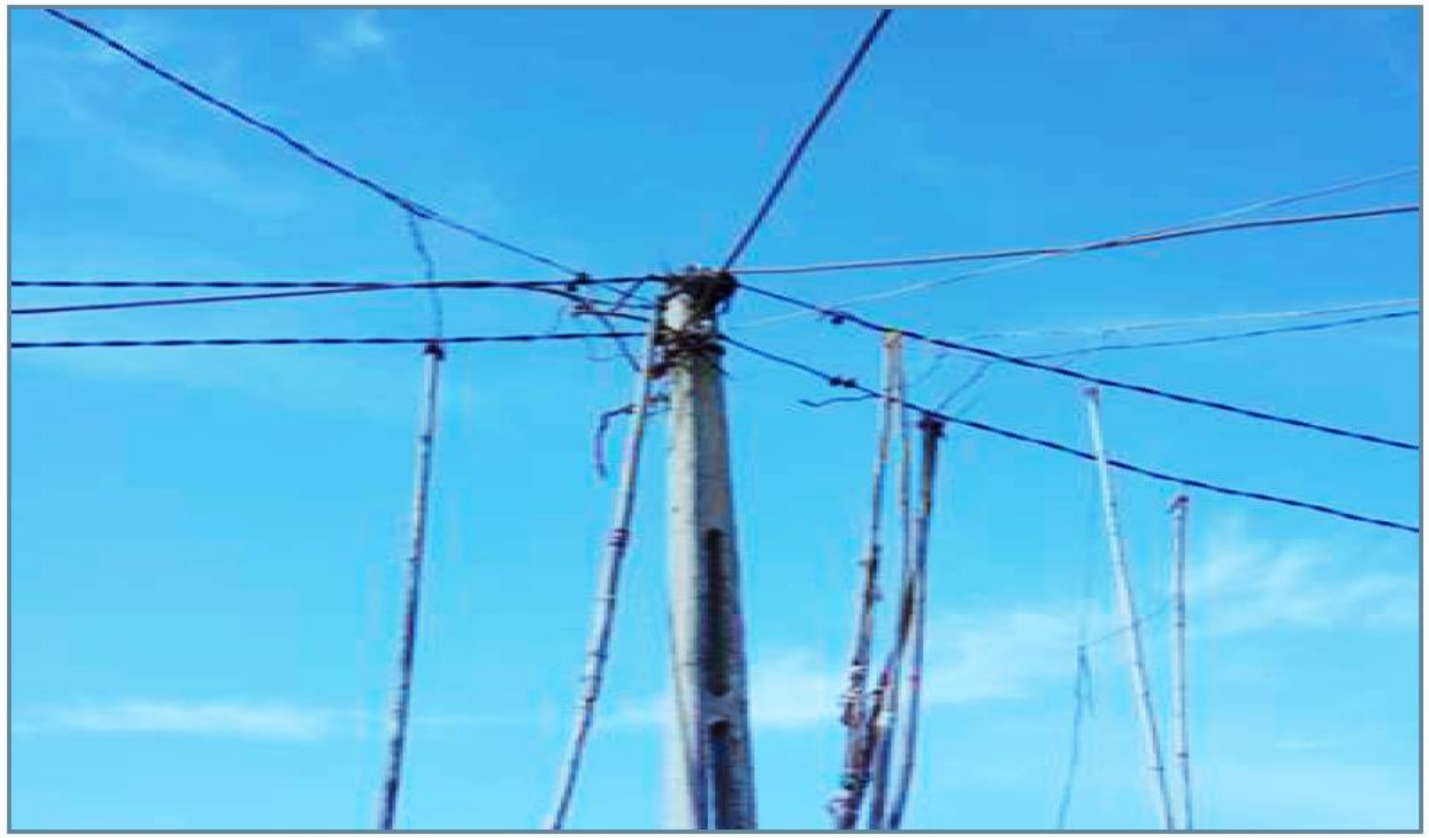
Планируется применение малых ГЭС на реках со скоростью течения 1,5 - 2,5 м/с и объемным расходом воды 60 - 1000 м^3/с. Гидротурбина на основе ротора Дарье, мощность гидроагрегата ~5 кВт

- **PS3-10625**

cigre
For power system expertise

Борьба с нетехническими потерями электроэнергии в Индии. Наиболее распространенные способы хищения электроэнергии в распредсетях

Самодельные изолирующие штанги с токосъемниками



Лестницы и вышки к выводам НН тр-ра столбовой ТП



В Индии по состоянию на 2026 г. доля нетехнических потерь электроэнергии варьируется в зависимости от штата в диапазоне **от 6,61 % до 48,86 %** со средним показателем по стране **15,04 %.** Нетехнические потери снижаются в среднем на 1,5 % в год

- **PS3-10258**

Раскрытие информации об использовании систем искусственного интеллекта (СИИ) при подготовке доклада



Раскрытие информации об использовании систем искусственного интеллекта при подготовке доклада

1. Системы искусственного интеллекта **НЕ ИСПОЛЬЗОВАЛИСЬ** для формулировки тезисов и автоматического создания слайдов доклада. Применение СИИ носило вспомогательный характер, не отразившись на содержании результатов доклада;
2. Доклад и презентация разработаны автором самостоятельно, в т.ч. научные выводы и рекомендации по результатам рассмотрения публикаций;
3. Системы искусственного интеллекта использовались при подготовке доклада для следующих задач:

Задача	Система ИИ
Раскрытие аббревиатур, расшифровка которых не приведена в тексте публикации	Google Gemini
Пояснение рисунков и таблиц, описание которых приведено в тексте публикации в объеме, недостаточном для понимания их сути	Google Gemini
Поиск публикаций аналогичной тематики для выборочной проверки научной новизны (по мировым меркам) отдельных публикаций	Google Gemini
Оценка гипотетической допустимости результатов публикации с точки зрения требований российских нормативных документов	СБЕР GigaChat
Обработка отдельных изображений для использования в презентации доклада	СБЕР GigaChat

Спасибо за внимание!

В.О. Самойленко
vvsamoylenko@yandex.ru

