

ОБЗОР ТРЕНДОВ РАЗВИТИЯ И ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПО СОСТОЯНИЮ НА 2022 г.

На основе исследовательских материалов CIGRE

ИК С6 «Активные распределительные системы
и распределенные энергоресурсы»



cigre

For power system expertise

Представитель РФ в SC С6, к.т.н.

В.О. Самойленко

Предпочтительные темы докладов 49-й сессии CIGRE 2022



cigre

For power system expertise

Предпочтительные темы 49-й сессии CIGRE 2022

3

1. РЕШЕНИЯ И НАРАБОТКИ В СФЕРЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИСТОНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА И ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

- Конфигурирование и эксплуатация электрозарядной инфраструктуры
- Регулирование спроса и интеллектуальное конфигурирование нагрузок для расширения возможностей потребителей
- Электрификация транспорта, отопительных систем и промышленных процессов

2. ИННОВАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ АКТИВНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

- Платформы агрегации и управления для активных распределительных систем
- Стратегии и инструменты для интеграции распределенных источников энергии, определения максимальной мощности подключаемой распределенной генерации, управления перегрузками и предоставления системных услуг с помощью распределенных источников энергии
- Экологические аспекты электрификации сельских и неосвоенных районов, изолированные распределительные системы и промышленные системы с нулевым выбросом.

3. ОБЪЕДИНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИСТОНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

- Конфигурация локальных систем накопления энергии для управления неопределенностями
- Координация многоресурсных энергосистем (multi-energy systems) при поддержке современных технологий, включая интеллектуальные инверторные системы управления
- Индивидуальные микрогриды переменного и постоянного тока, множественные микрогриды, управление виртуальными электростанциями и локальными энергетическими сообществами и их интеграция в сеть

Опыт моделирования, проектирования и эксплуатации систем накопления электроэнергии



cigre

For power system expertise

Двухлетний опыт работы гибридной системы электроснабжения с накопителем энергии 400 кВт, 1400 кВт*ч на острове Тилос, Греция 5

- PS1-10712

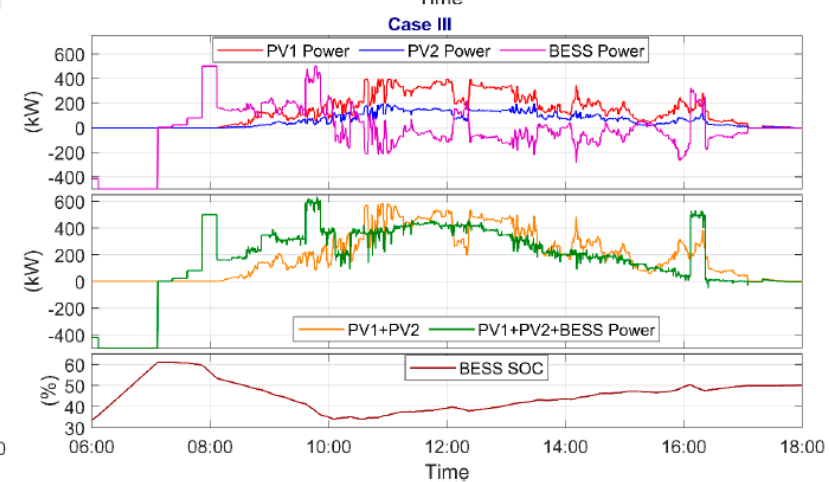
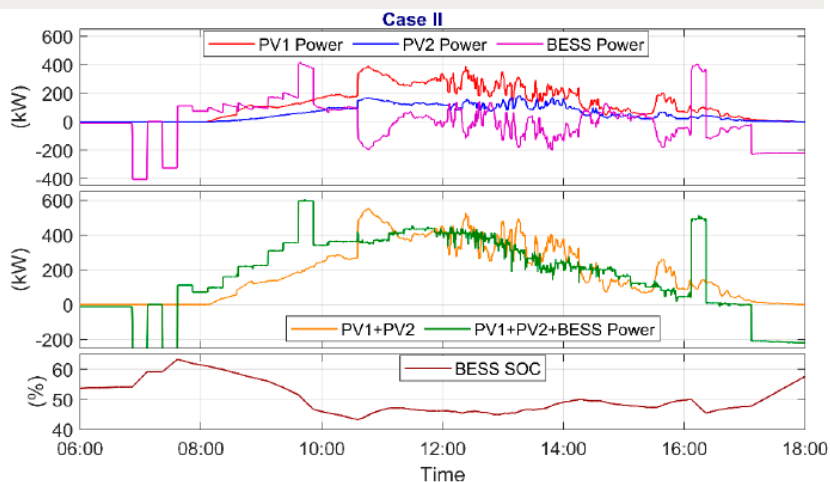
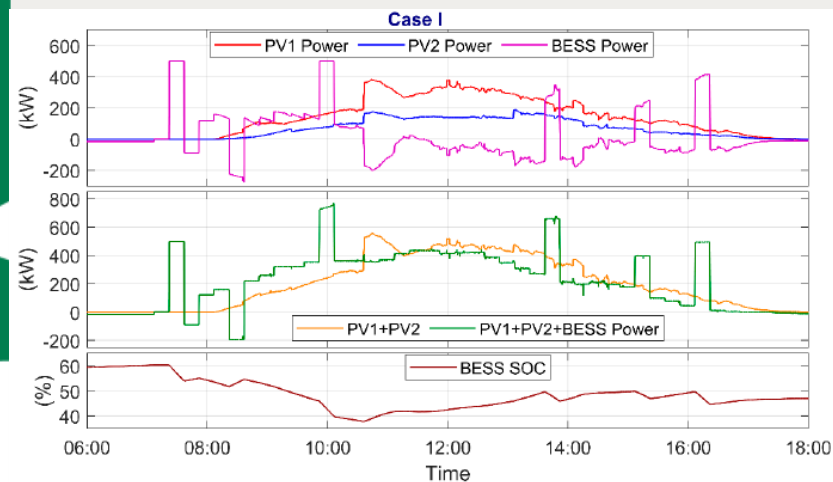
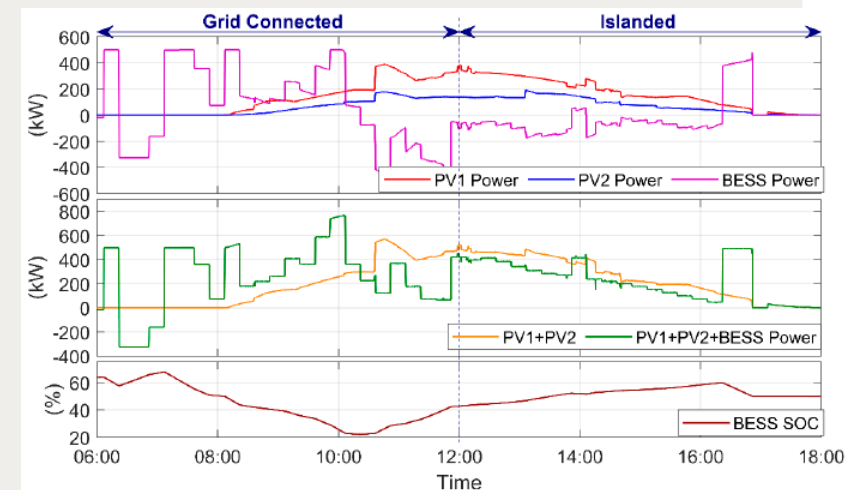
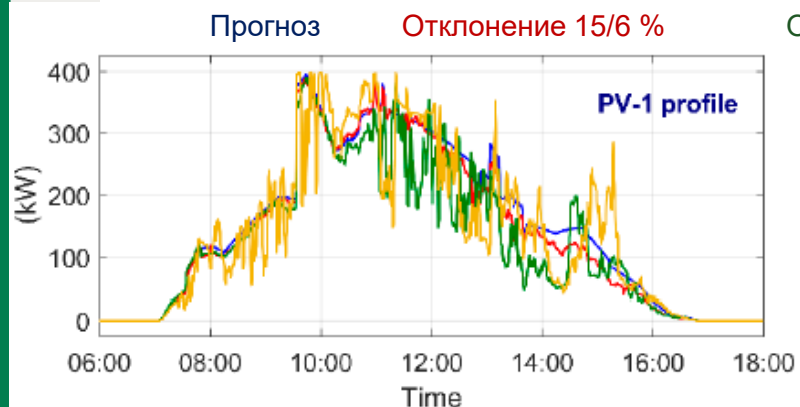


+ связь с соседней энергосистемой



! В публикации приводятся сведения о снижении ежегодных выбросов CO₂ до 1000 т/год за счет простоя дизель-генераторов. Также система применяет динамическое ценообразование для электроэнергии в зависимости от доступности ВИЭ, но абсолютные значения €/кВт*ч не афишируются

Тестирование алгоритмов сглаживания сетевого перетока с помощью накопителя энергии 500 кВт, 2000 кВт*ч в США 6



! Мощность накопителя энергии выбирается таким образом, чтобы обеспечивать не превышение ДДТН сечения связи с энергосистемой. Емкость – чтобы степень заряда составляла от 10 % до 90 % на момент окончания суток в не зависимости от погрешности прогноза за предыдущие сутки

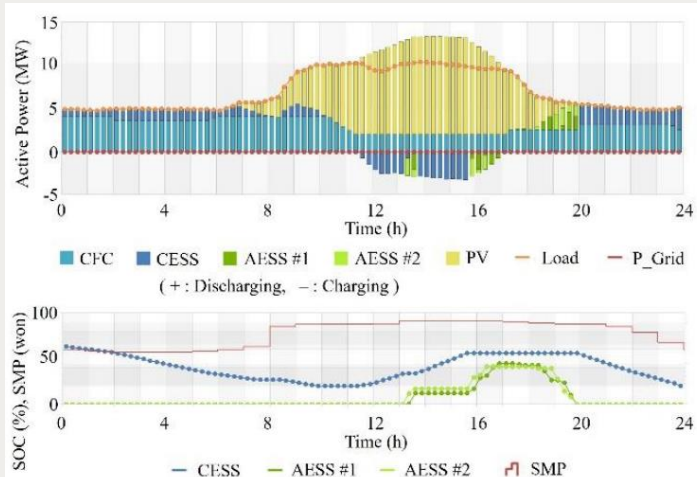
• PS3-10396



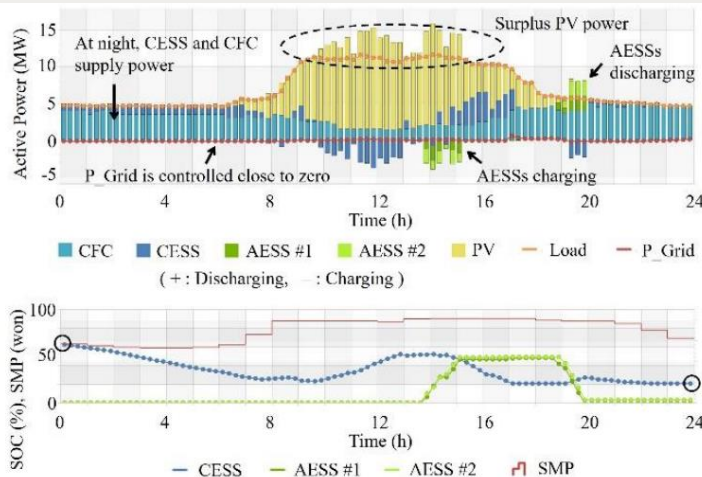
Работа накопителей энергии 2-5 МВт, 4-25 МВт*ч в условиях погрешности прогноза баланса мощности (Ю. Корея)

7

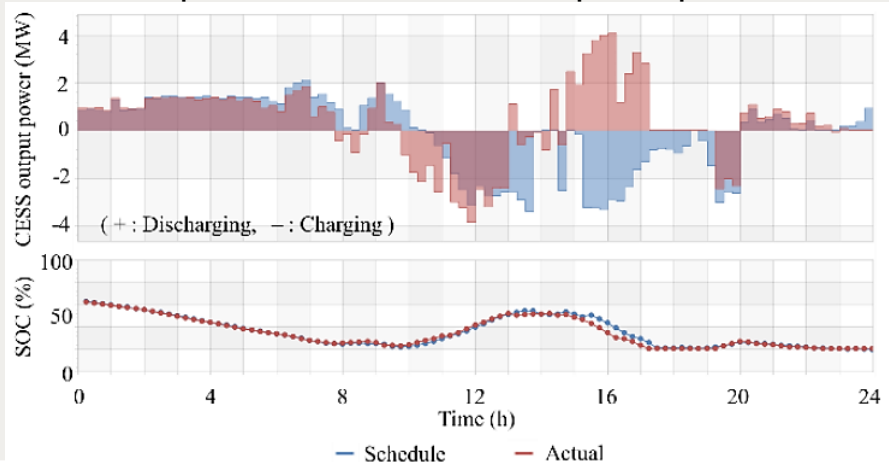
Прогнозные графики мощности



Фактические графики мощности



Прогнозный и фактический графики степени заряда накопителя электроэнергии



! Погрешности прогноза ВИЭ и недостаточная дискретность прогноза приводят к тому, что накопитель не может поддержать баланс мощности. Баланс энергии за сутки выполняется, но накопитель заряжается/разряжается не в оптимальные по рынку электроэнергии часы

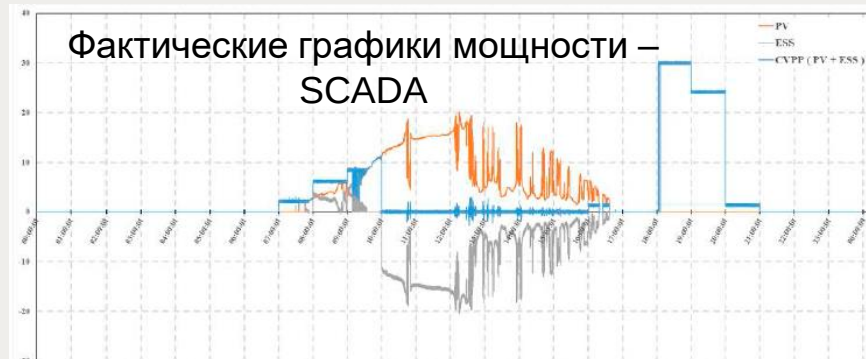
Прогнозные графики мощности



Фактические графики мощности – интегрально за час



Фактические графики мощности – SCADA

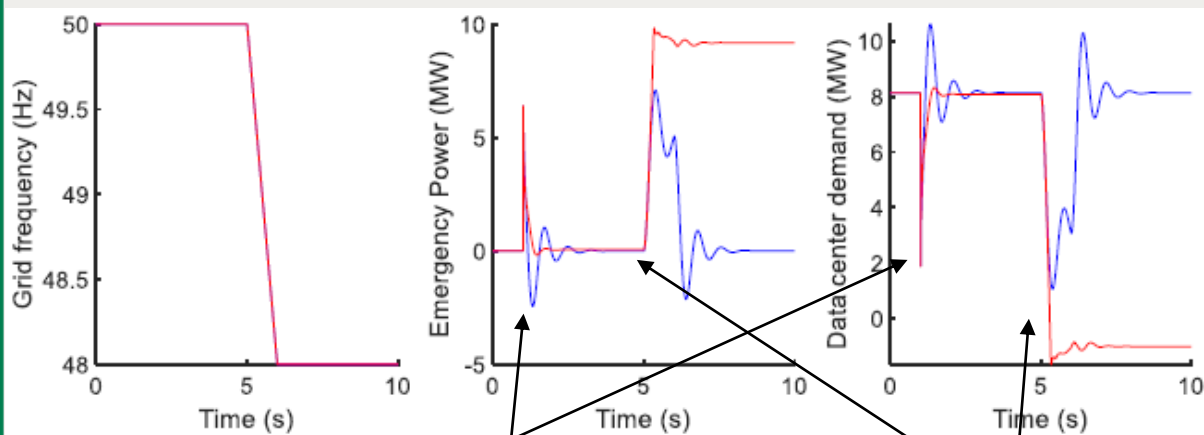


- PS2-10281
- PS3-10331

Анализ возможностей накопителя (лей) энергии 6 МВт, 6 МВт*ч дата-центра в Германии

8

Поддержание частоты



Возмущение: угол напряжения сети -10° мгновенно

Возмущение: снижение частоты в сети -2 Гц/с

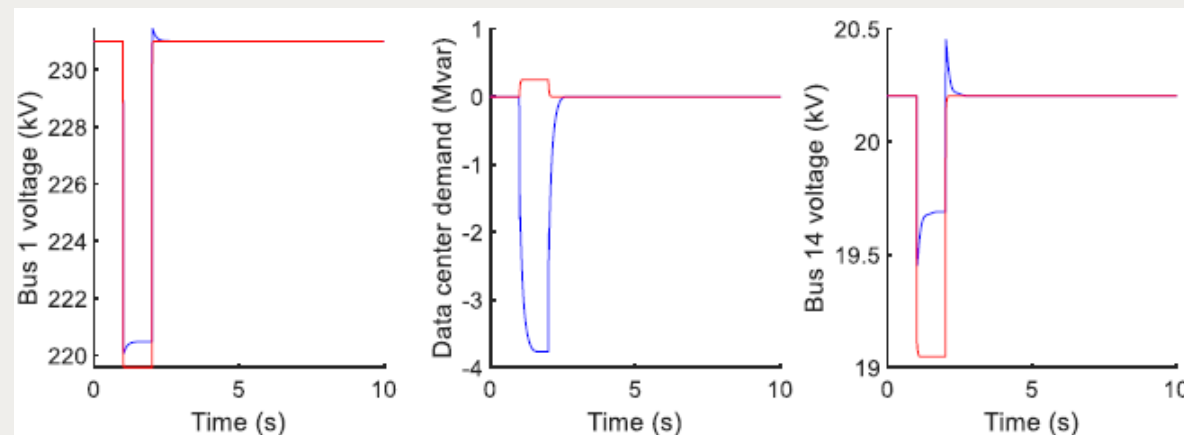
Режим искусственной инерции без статизма по частоте

Регулирование с большим статизмом
(вплоть до безынерционного и астатического)

Для реализации данных функций должны быть перенастроены защиты по частоте и скорости изменения частоты, защиты по напряжению, а также реализованы функции ГРАМ и ГРАРМ

! Встроенные системы резервирования электроснабжения потребителей I категории могут быть настроены для выполнения сетевых задач без ущерба для основной функции

Поддержание напряжения



Провал напряжения 5 %

С выдачей реактивной мощности накопителем

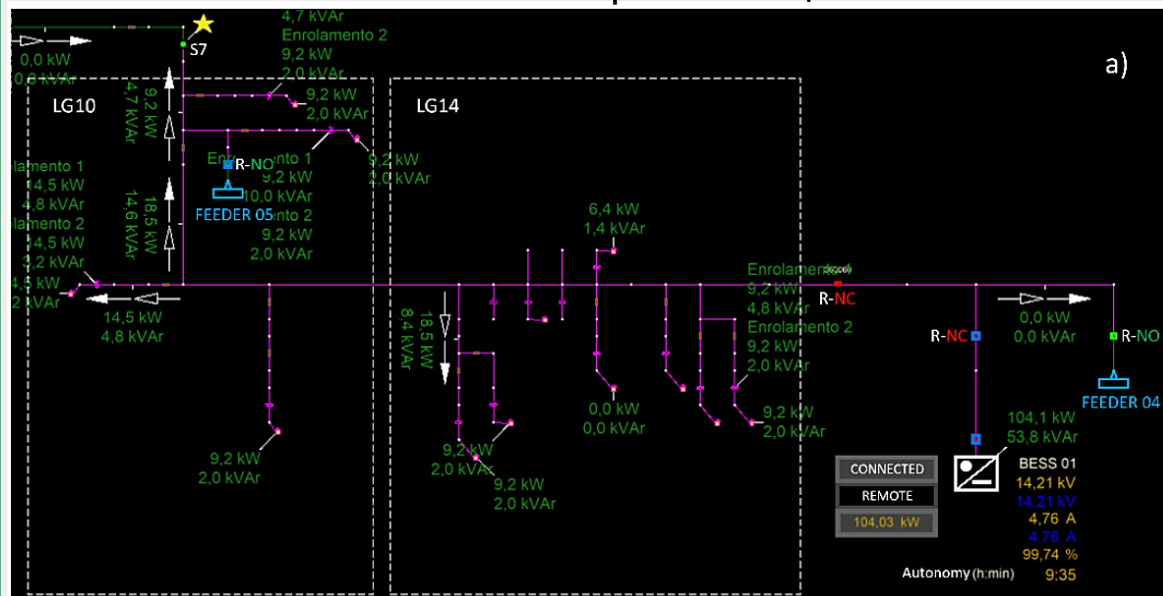
Без выдачи реактивной мощности

• PS3-10825

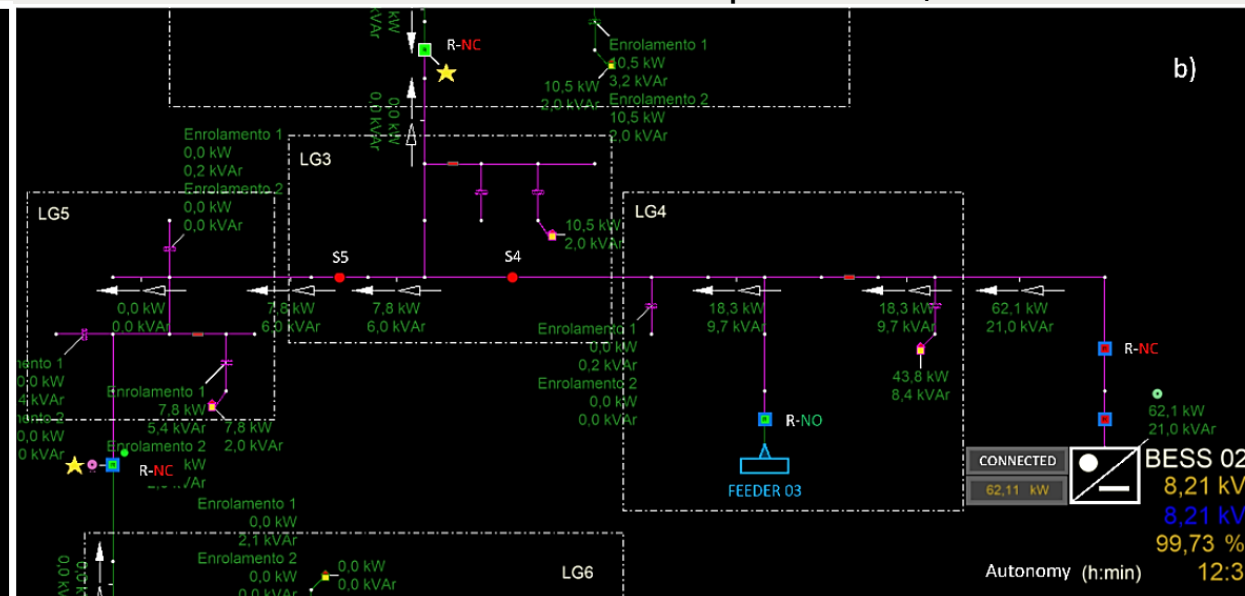
Опыт автономной работы накопителей энергии 1,15 МВт, 1,75 МВт*ч в системах электроснабжения 13,8 кВ в Бразилии

9

Накопитель №1 и прилегающая сеть



Накопитель №2 и прилегающая сеть



Набор потребителей	Накопитель энергии	Количество потребителей	$P_{\text{нагрузки}}$, кВт	$Q_{\text{нагрузки}}$, кВАр	Автономность (чч:минмин)
МИН	№ 1	09	111,3	53,8	08:36
	№ 2	15	65,8	21,0	11:15
МАКС	№ 1	25	149,4	90,6	06:25
	№ 2	32	260,6	89,7	02:50

• PS2-10175

! Происходит успешное выделение системы на автономную работу, работа в течение нескольких часов и возврат на параллельную работу с ЭС

10

График активной мощности (кВт) в зависимости от времени. На графике показаны три кривые: Генератор (синяя), Нагрузка (зеленая) и Потери (красная). Мощность генератора и нагрузки увеличивается ступенчато, а потери остаются относительно низкими.

• **PS3-10271**

! Практически всё первичное регулирование частоты и напряжения, по эффективности близкое к безынерционному и астатическому, обеспечивает накопитель энергии. Генератор обеспечивает вторичное регулирование

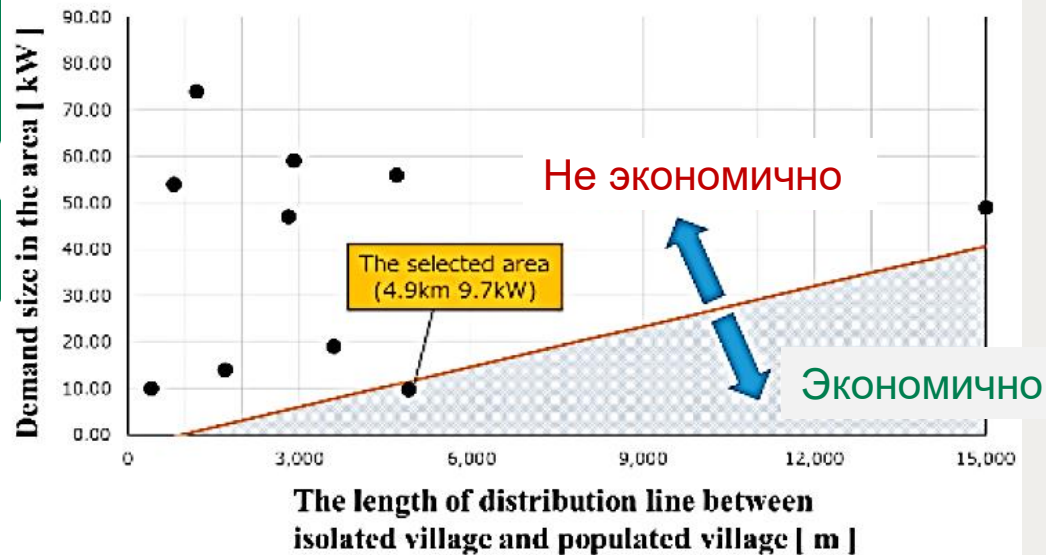


Расчеты эффективности автономных систем электроснабжения в Японии. Накопитель энергии 60 кВт, 28 кВт*ч 11



Пример удаленного поселения в Японии

Зона эффективности автономных систем электроснабжения



Расчеты переходных процессов при «черном пуске» автономной системы электроснабжения

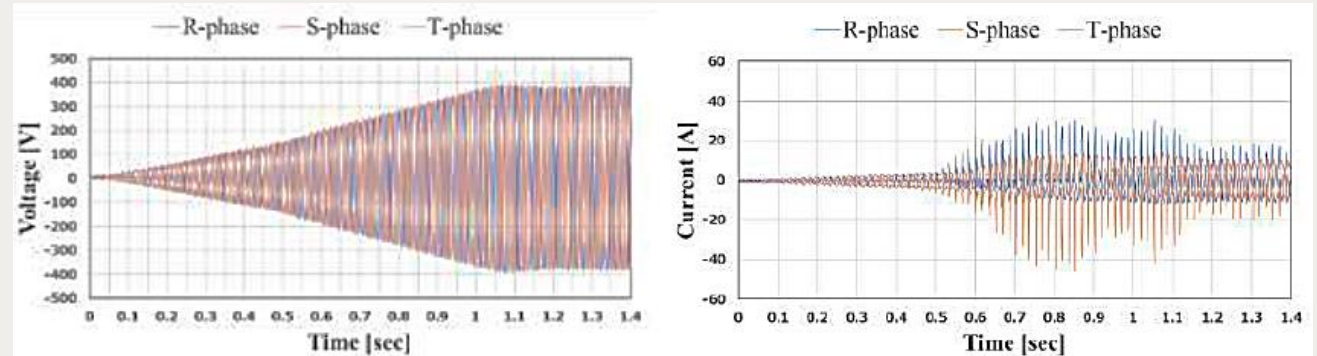


Fig. 16 PCS behavior after black start (Soft-start interval: 1 s, Left: Voltage, Right: Current)

Table I

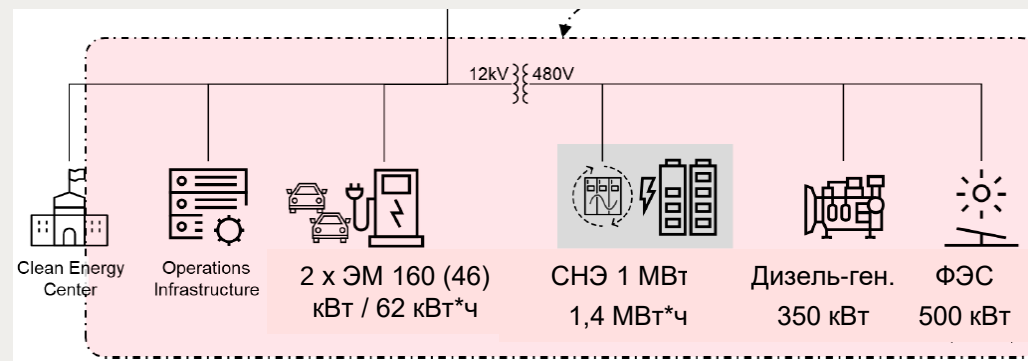
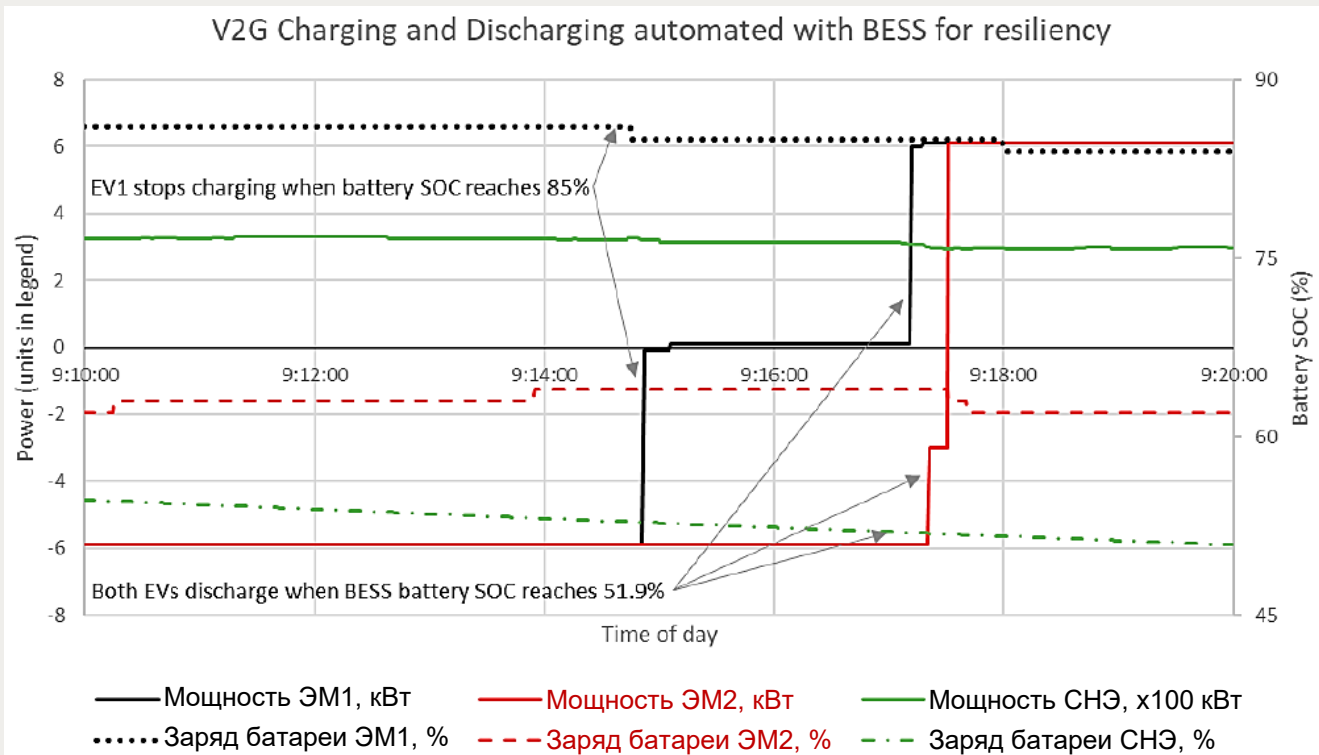
Soft-start interval	Peak inrush current value
8 s	21.0 A (3.68 sec)
4 s	26.3 A (3.28 sec)
1 s	46.0 A (0.85 sec)

! «Черный пуск» – самый тяжелый для автономных систем электроснабжения режим ввиду разовой постановки под напряжение большинства электроустановок потребителя. Чтобы упростить его, напряжение должно нарастать плавно 0-100 %

• PS1-10594

Опыт использования технологии V2G совместно с накопителем энергии для электроснабжения ответственных потребителей в США

12



! Батареи электромобилей автоматически заряжаются до 85 % и оставляют неиспользованную емкость для возможного приема фотоэлектрической энергии. При разряде системы накопления энергии в автономного режиме менее чем до 52 % автоматически начинается выдача электроэнергии из батарей электромобилей в сеть

• PS3-10237

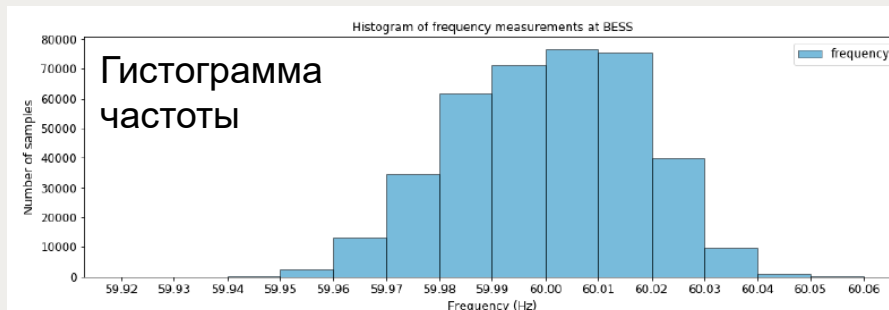
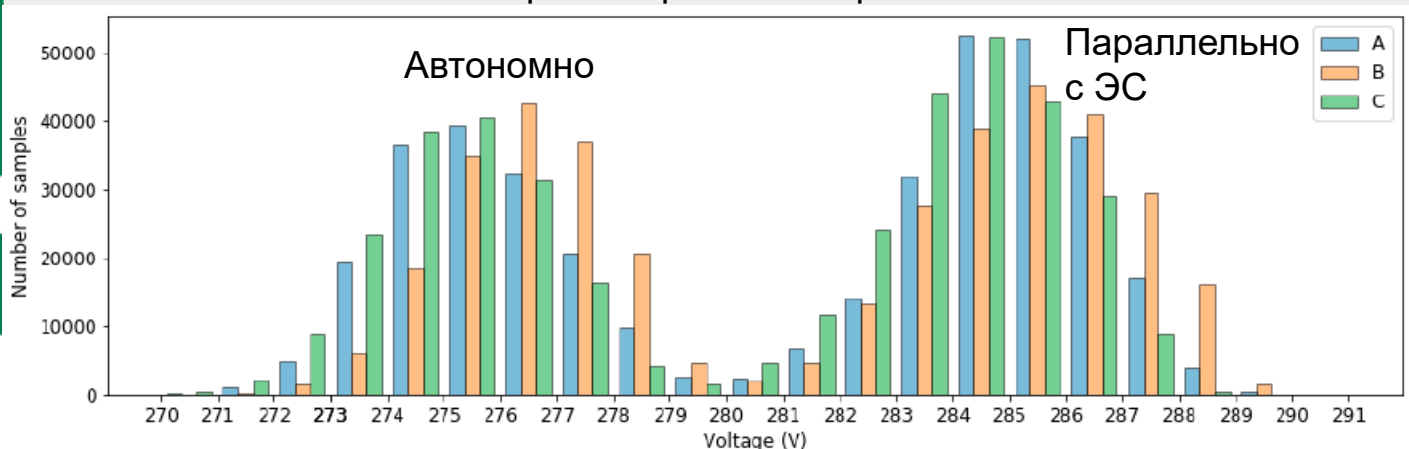
Испытание накопителя энергии 3050 кВт, 4825 кВт*ч в автономном режиме в США

13

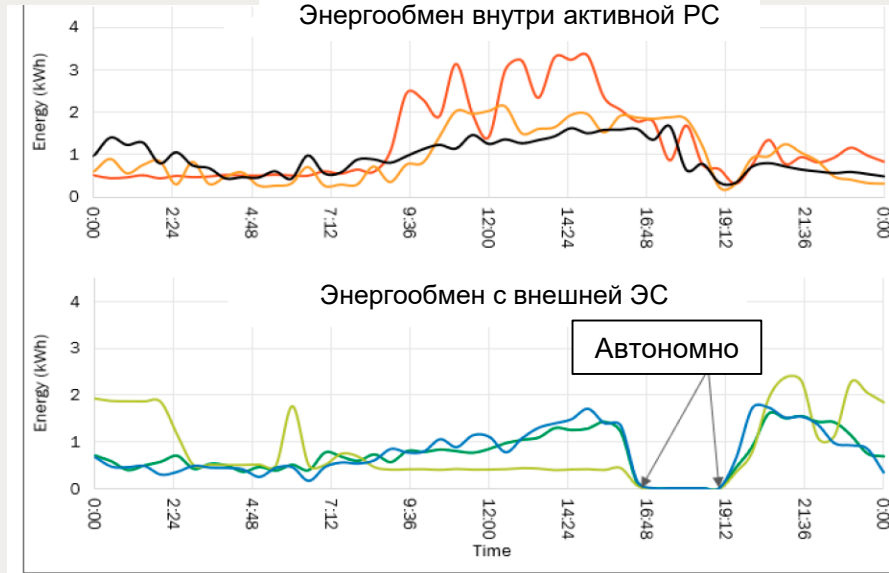
Профиль фазных напряжений



Гистограмма фазных напряжений



Энергообмен внутри активной РС



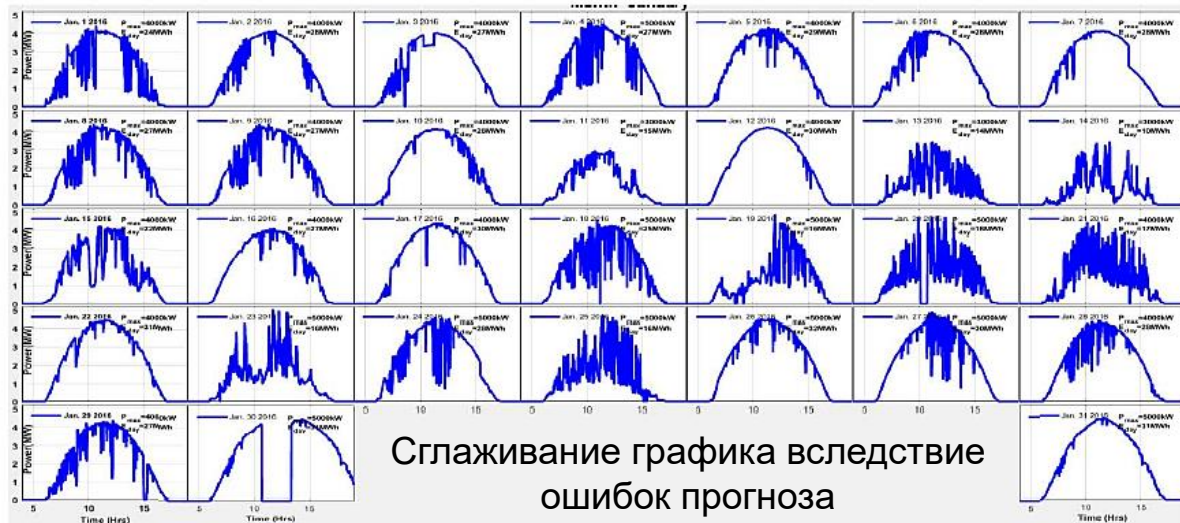
! Эффект по уменьшению размаха колебания напряжения в реальных сетях СН составляет 1,2-4,0 %

• PS3-10238

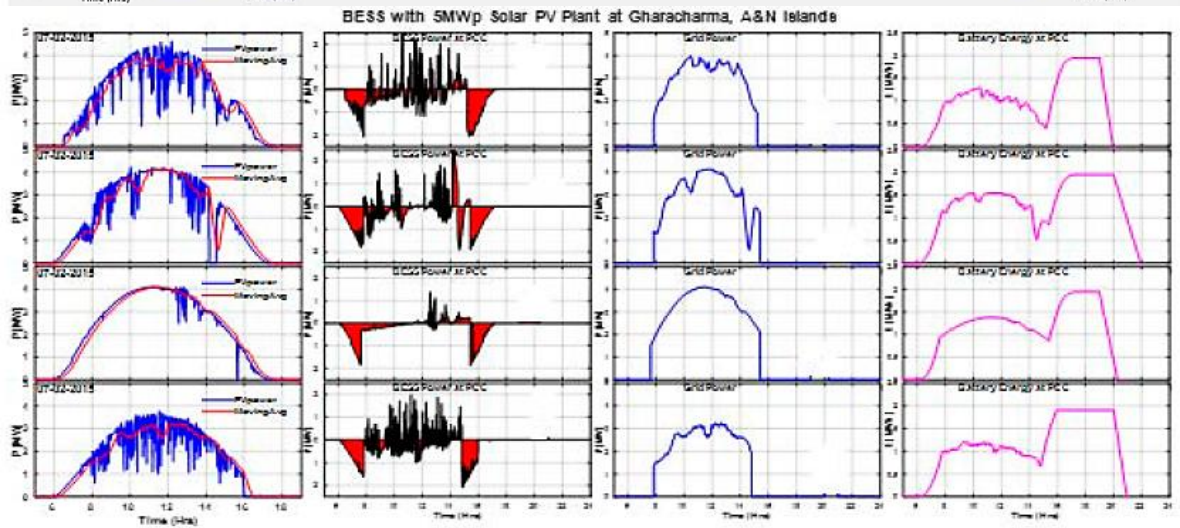
Проектирование накопителя энергии 30 МВт, 120 МВт*ч (!) для сглаживания набросов мощности на ГПУ 5x9,73 МВт. Андаманские острова, Индия

14

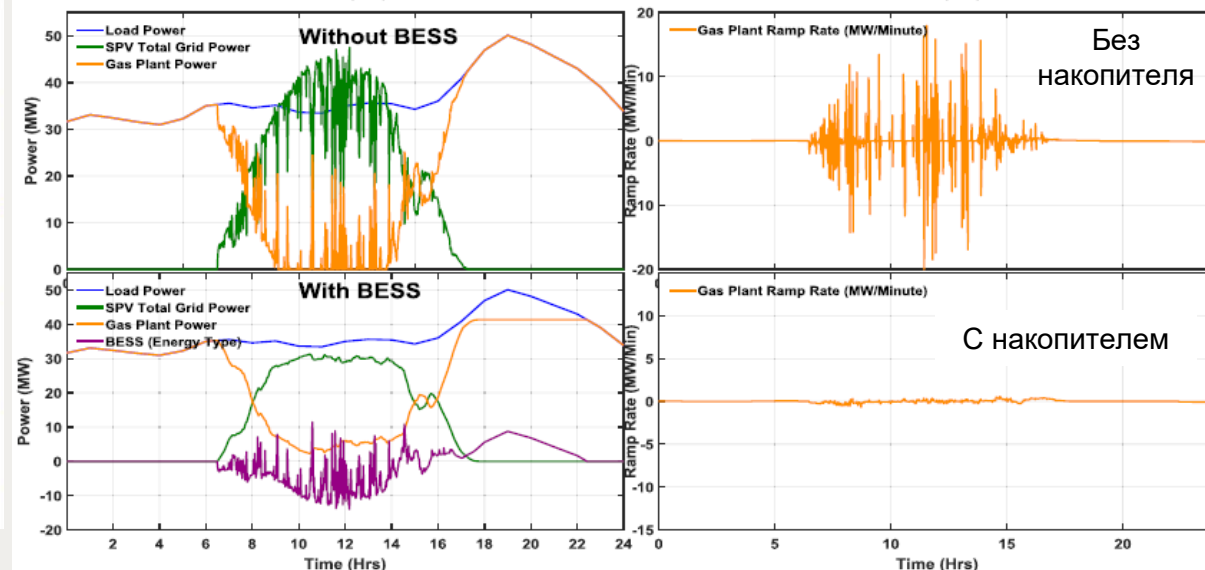
Профили мощности ФЭС



Сглаживание графика вследствие ошибок прогноза



Работа совместно с ГПУ



! Проблема обеспечения баланса мощности в изолированной энергосистеме заключается не только в ограничениях по скорости набора и снижения нагрузки традиционных источников при флуктуациях выработки ФЭС. Проблема заключается также в недостаточной дискретности прогнозного (диспетчерского) интервала и настройке SCADA-систем

• PS3-10497

Вопросы перспективного развития энергосистем

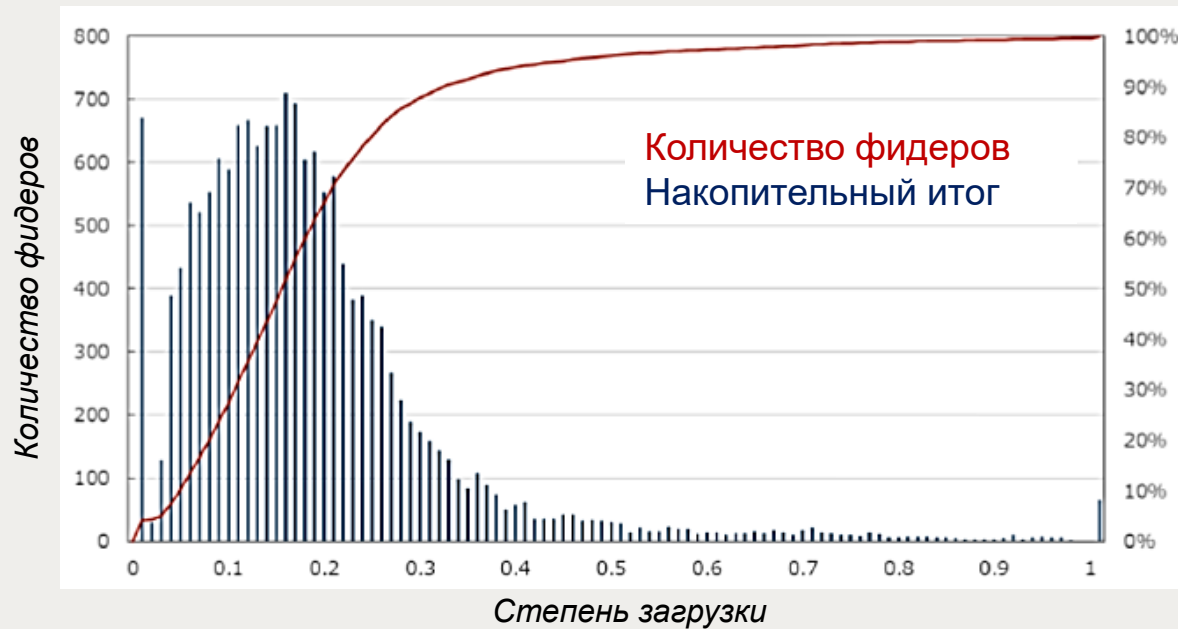


cigre

For power system expertise

Мода на технические условия на технологическое присоединение с 16 нефиксированной мощностью: Япония, Германия, Швеция

Степень загрузки фидеров распределительной сети в энергорайоне Токио

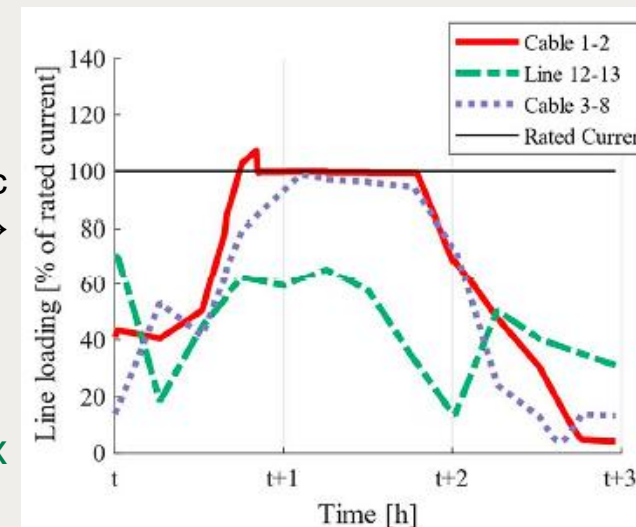


Ограничение генерации распределенных энергоресурсов с помощью АОПО кабельных линий в Германии →

! В условиях неопределенности инвестиционных программ и балансовой ситуации в распределительных сетях системные операторы и электрические сети предпочитают выдавать технические условия на технологическое присоединение, в которых выдача всей мощности объекта генерации не гарантируется

Статистика ТУ на ТП с нефиксированной мощностью

Параметр	Энергорайон Токио	Всего в Японии
Количество точек техприсоединения с нефиксированной мощностью	29	50
Суммарный объем генерации с нефиксированной мощностью, МВт	83,7 (ФЭС 83,7)	226,1 (ФЭС 221,4)
Недоотпуск генерации в сеть, МВт*ч	16 195	34 601 (ФЭС 34 426)
Относительная величина недоотпуска, %	15,2	11,2 (ФЭС 12,1)

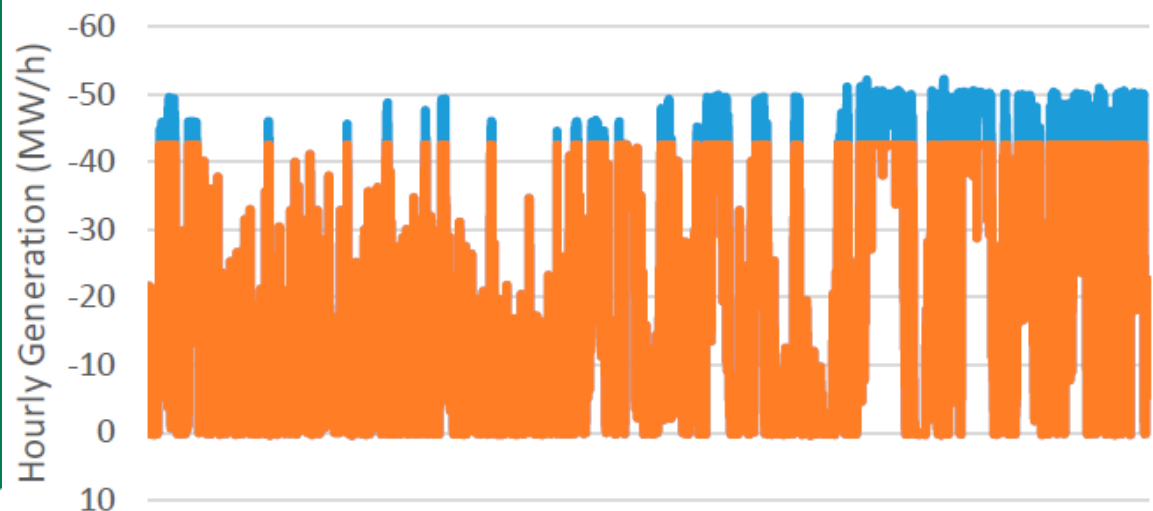


- PS2-10595
- PS2-10826

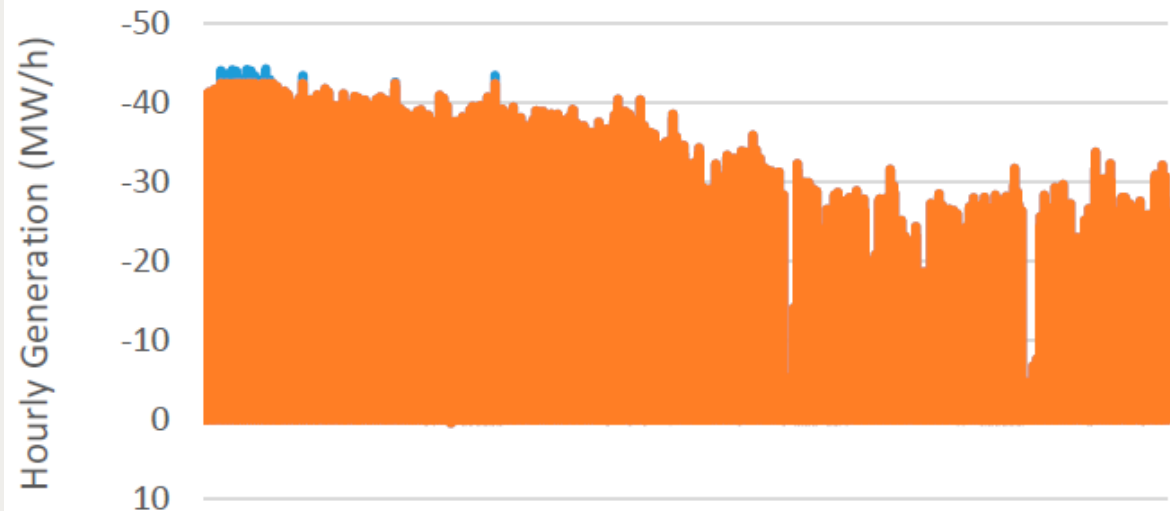
Мода на технические условия на технологическое присоединение с нефиксированной мощностью. Системный оператор i-DE, Испания

17

Ветроэлектрическая станция 50 МВт
с гарантированной мощностью 42,5 МВт



Солнечная фотоэлектрическая станция с установленной
мощностью модулей 50 МВт, инверторов 43,5 МВт и
гарантированной мощностью 42,5 МВт



Выработка в пределах гарантированной по ТУ мощности

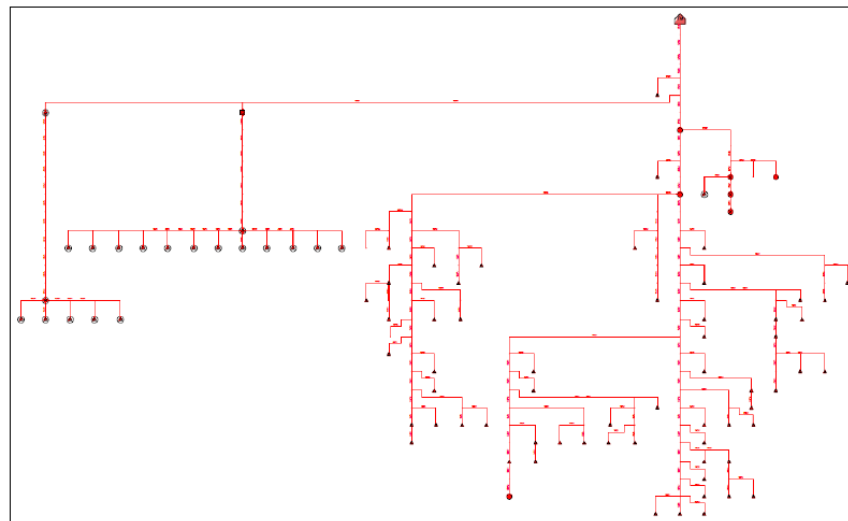
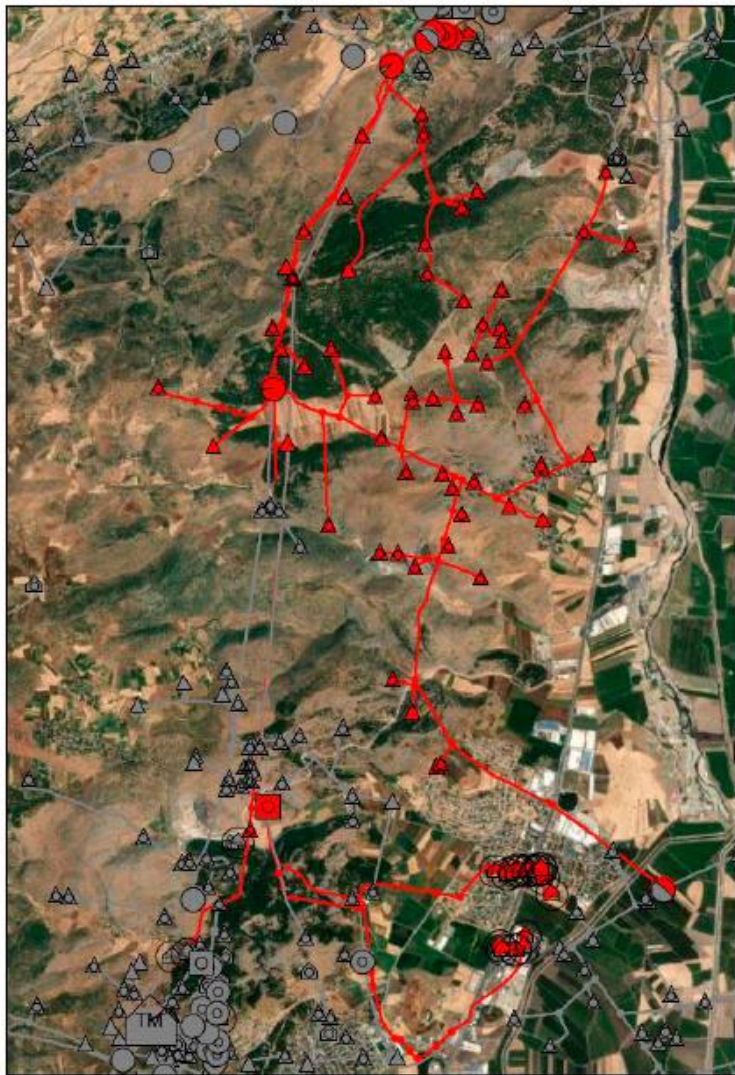
Выработка свыше гарантированной по ТУ мощности, возможная по схемно-режимной ситуации в конкретный момент времени

! На практике редко складываются ситуации, когда ВИЭ работают с максимальной мощностью в сочетании с минимальной мощностью нагрузки в энергосистеме. Имеется выраженный сезонный тренд и особенности нормирования номинальной мощности ВИЭ. В связи с этим на практике вышестоящую сеть можно не усиливать, а обойтись АОПО с управляющим воздействием на ограничение генерации

• PS2-11044

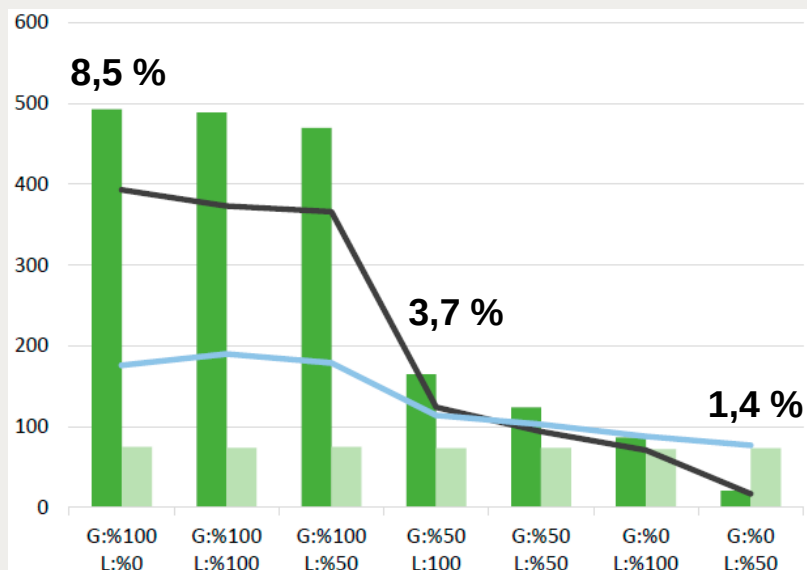
Нормирование потерь в электрических сетях Турции в зависимости от схемно-режимной ситуации

18



• PS2-10858

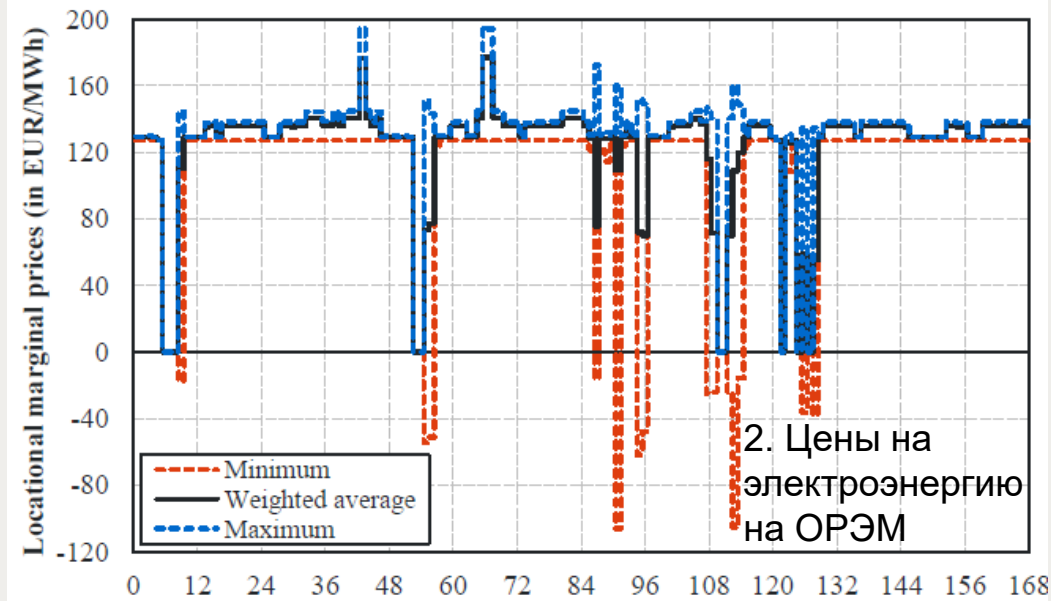
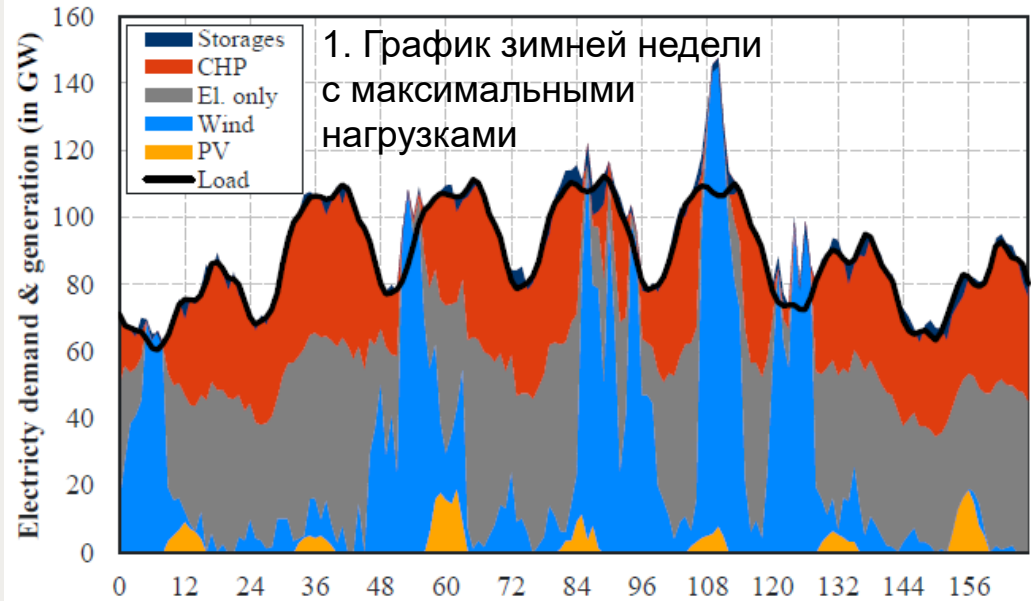
Класс напряжения, кВ	380
Протяженность сети, км	85,5
Кол-во ПС нагрузки, шт.	69
Макс. нагрузка, кВт	6844
Кол-во ФЭС, шт.	16
Установленная мощность ФЭС, кВт	17033



! Несовпадение электросетевых центров питания нагрузки и ФЭС приводит к необходимости передачи энергии по ВН на существенные расстояния, что снижает технико-экономическую эффективность РГ

! Разбор концепции и стратегии развития электроэнергетики Германии и ЕС до 2050 г.

19



- PS2-11105
- PS2-11106

! Технические специалисты и экономисты констатируют противоречивость и практическую невыполнимость положений концепции



Ключевые вопросы по концепции:

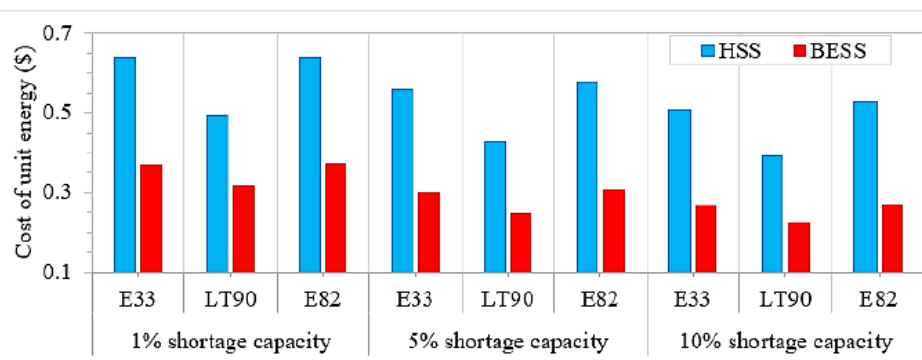
1. Базовое и полупиковое производство электроэнергии и **когенерация** должны выполняться из «экологически чистого» водорода или его смеси с синтез-газом. При этом отмечается, что собственные производственные мощности Германии составят только 2,6 % от необходимых 80 %. Где, кем/чем и с помощью какой энергии этот водород будет производиться?
2. Какой ценой дается внедрение технологий? В 2021 г. цены на ОРЭМ в Германии начинались с 3 руб/кВт*ч, а планируется 8 руб/кВт*ч. В 2022 цены ~17 руб/кВт*ч, фьючерсы на 2023 до 65 руб/кВт*ч.
3. Положения принятых концепций абсолютной децентрализации энергоресурсов, углубления интеграции стран Евросоюза, минимизации воздействия на климат и электрификации всех отраслей промышленности противоречат друг другу.

Анализ технико-экономической эффективности водородных систем накопления энергии в Германии, Швейцарии, Турции

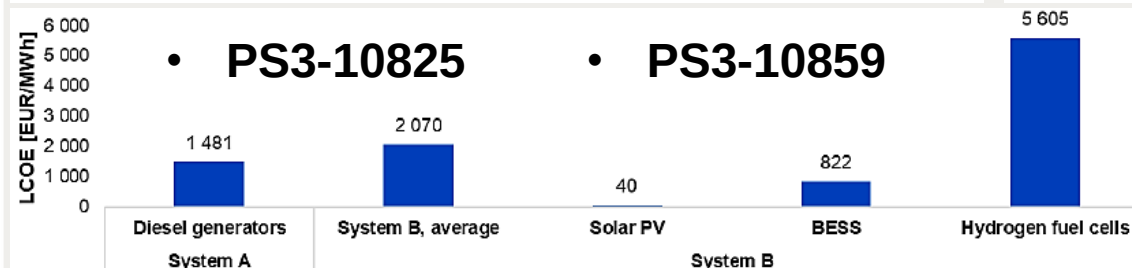
20

Мощность, МВт		Ёмкость, МВт*ч
Установки электролиза	Электрохимического генератора	
4 - 5	1,3 - 3	4,5 - 9
5,5 - 6	2,1 - 3	11 - 14
6,5	3,5	16
10	4,8 - 5	20

- Постоянная времени набора мощности от 3 сек (ЭХГ) до 30 сек (ГПУ);
- КПД H₂ накопителей с ЭХГ ~50 %, а с ГПУ ~25 %;
- H₂ накопители по расчетам выходят в 2-3 раза дороже литиевых как по CAPEX, так и по OPEX



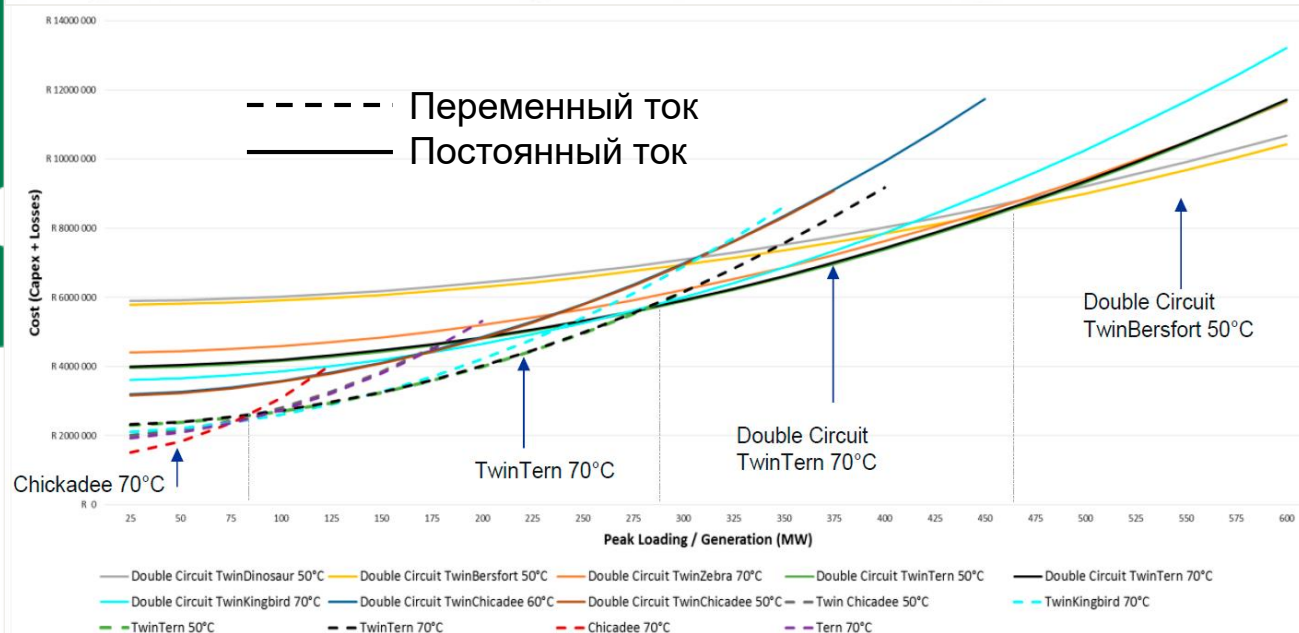
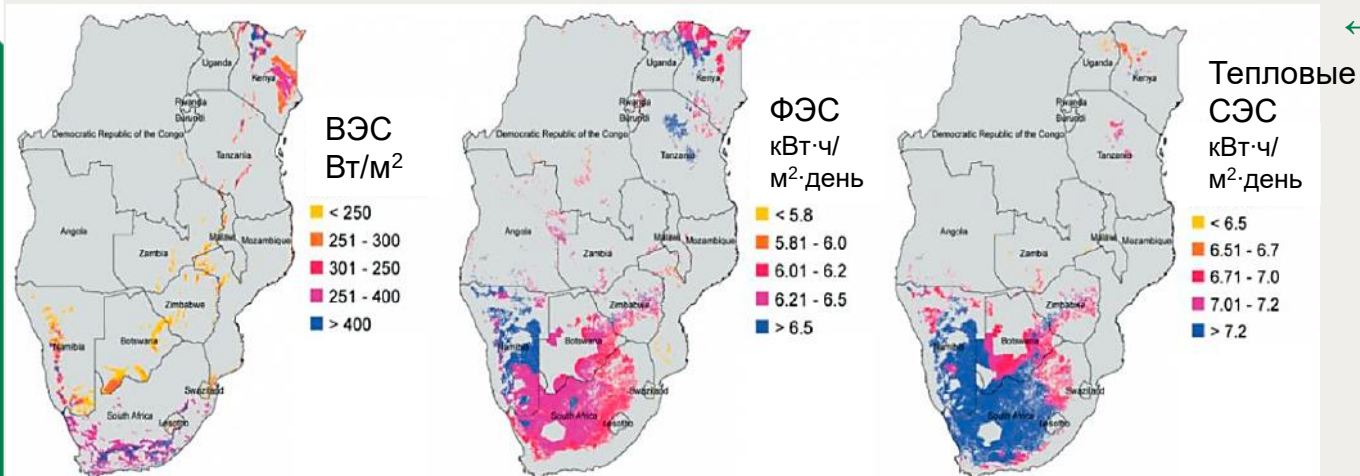
Source	CAPEX	OPEX	OPEX	Fuel/energy	Fuel/energy
		Annual, fixed	Annual, variable	2021 level	2041 level
Diesel generators	600 €/kW	34.5 €/kW	0.02 €/kWh	1.6 €/l	2.4 €/l
Fuel cell system	2 500 €/kW	34.5 €/kW	0.0006 €/kWh	5 €/kg	3.3 €/kg
Fuel cell system refurbishment	750 €/kW	-	-	-	-
BESS	400 €/kW	9 €/kW	0.0003 €/kWh	0.13 €/kWh	0.19 €/kWh
BESS refurbishment	240 €/kW	-	-	-	-
Solar PV	750 €/kW	17 €/kW	-	-	-



ESS	NPC (M\$)	CoE (\$)	OC (M\$)	IC (M\$)
HSS	173.0	0.889	4.00	121
BESS	51.7	0.269	1.40	33.6

! На данном этапе неэффективны

Выбор решений по передаче энергии ВИЭ в ЮАР



← Карта обеспеченности ВИЭ ЮАР

- Центры потребления электроэнергии не совпадают с областями с наибольшим потенциалом ВИЭ;
- Ветровые ресурсы оцениваются как мощность на единицу ометаемой площади, солнечные – по приходу энергии за световой день;
- Тепловые солнечные электростанции (башенные гелиоконцентраторы и параболоцилиндрические концентраторы) по выработке превосходят фотоэлектрические станции.

← Метод экономических сечений для ЛЭП 132 кВ в ЮАР

- Провода – сталеалюминиевые;
- Передачи переменного тока – одноцепные и двухцепные;
- Передачи постоянного тока – биполярные.

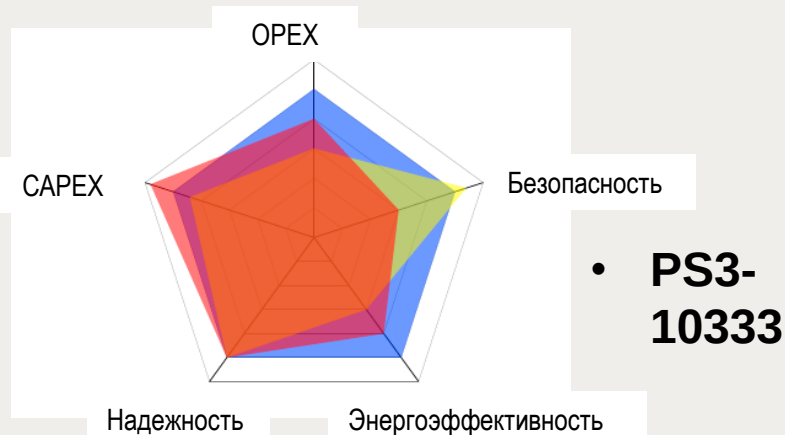
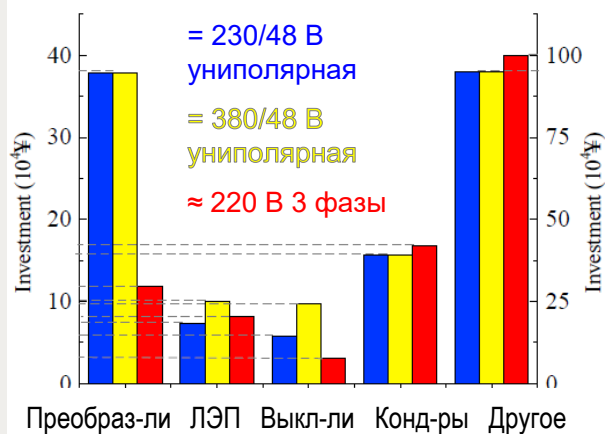
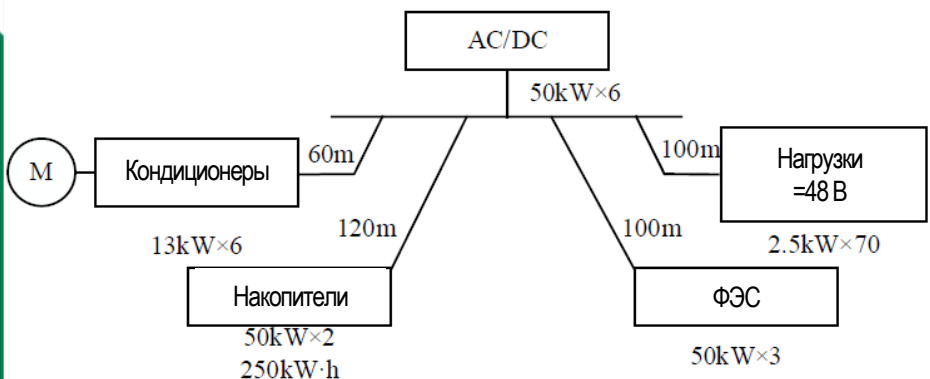
! В ЮАР на классе напряжения 132 кВ постоянный ток выигрывает у переменного при расстояниях по трассе ЛЭП свыше 290 км

- **C6-11130**

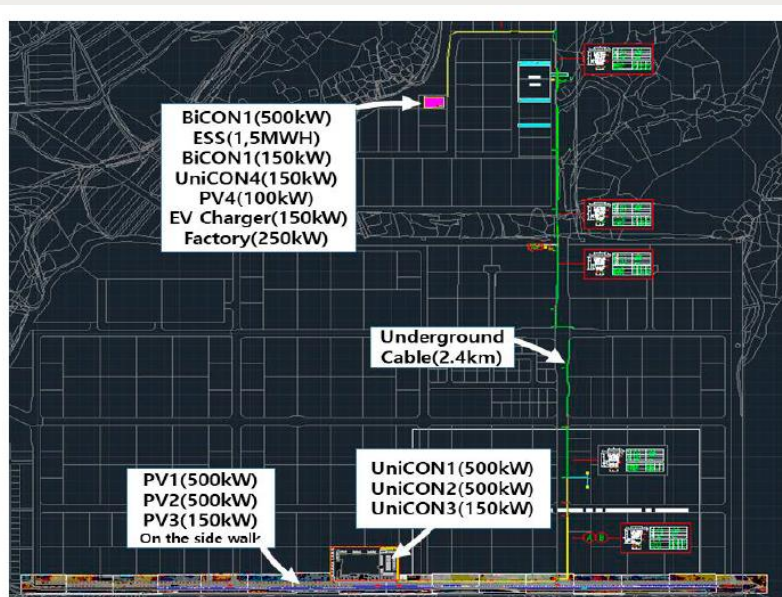
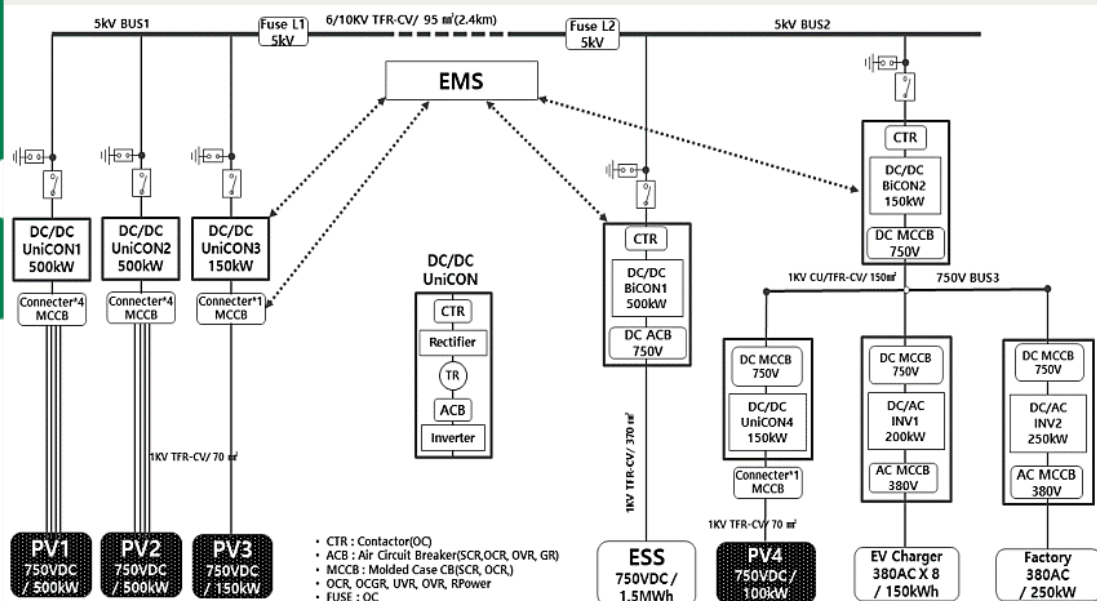


Примеры реализации распределительных систем постоянного тока 22

Высотное здание в г. Шеньчжэнь, Китай



Промышленная площадка в г. Наджу, Ю. Корея

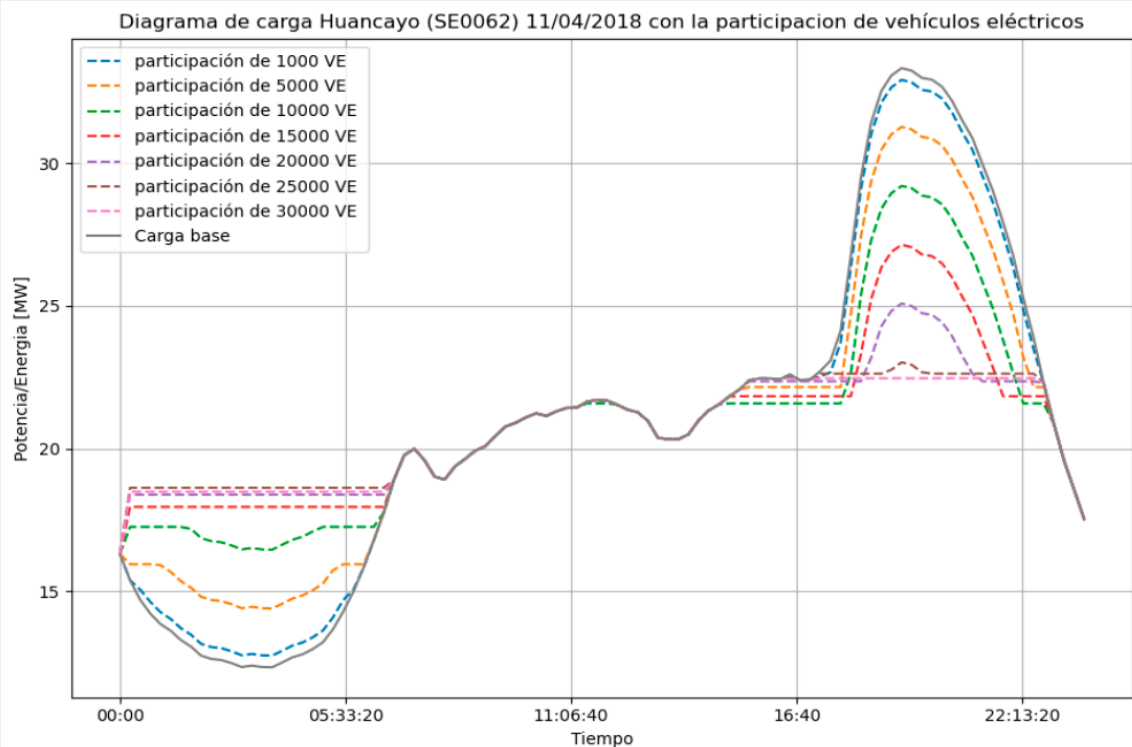


• PS3-10652

! Ежегодно в странах мира реализуется несколько десятков проектов СН и НН на постоянном токе. Важно интегрированное управление энергоресурсами

Схемы перспективного развития электромобилей в Перу 23

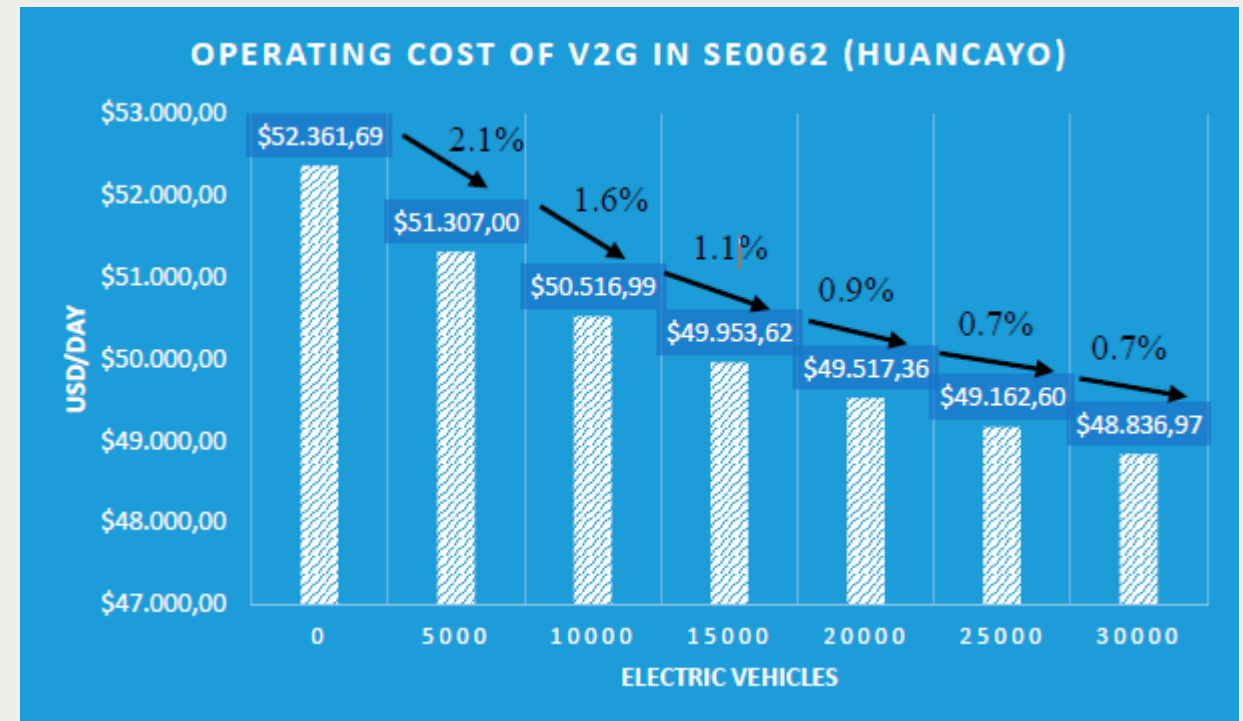
Гипотетическое сглаживание кривой нагрузки небольшой ЭС с помощью 1000 – 30000 электромобилей



• **PS1-11083**

! Страны Латинской Америки, обладающие базовыми запасами разнообразных полиметаллов, разрабатывают серьезные планы по массовому внедрению электромобилей

Затраты на реализацию технологии V2G в зависимости от количества электромобилей



V2G – Vehicle to Grid, технология выдачи мощности АКБ электромобилей обратно в сеть

Регулирование напряжения в распределительных сетях и активных распределительных системах



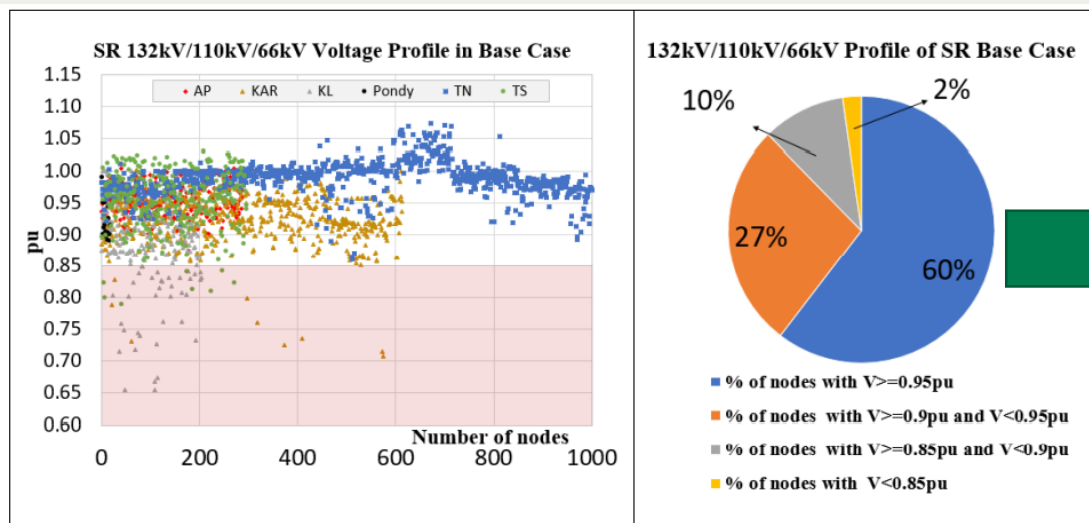
cigre

For power system expertise

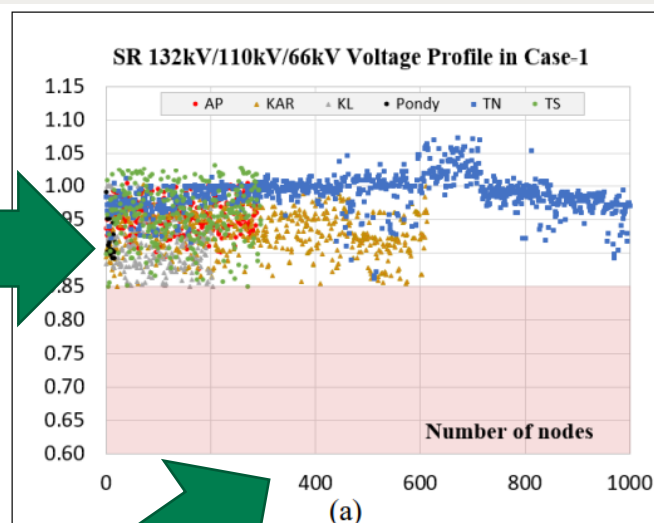
Борьба с низким напряжением в распределительных сетях Индии. 25

Оптимизация расстановки источников реактивной мощности

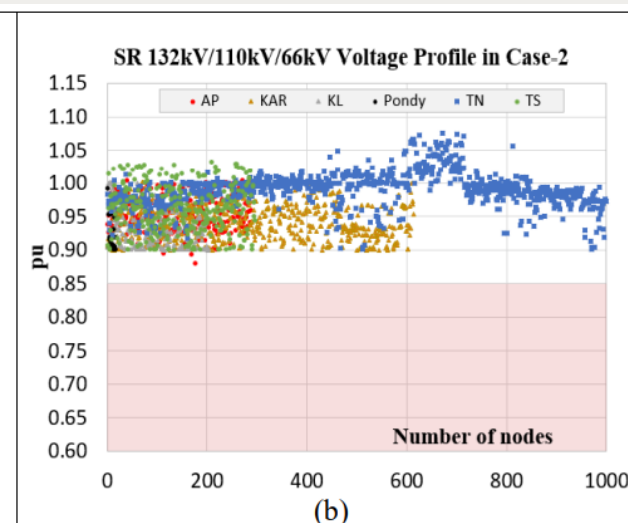
Замеры напряжения в сети относительно номинального



После оптимизации, $U > 85\%$



После оптимизации, $U > 90\%$



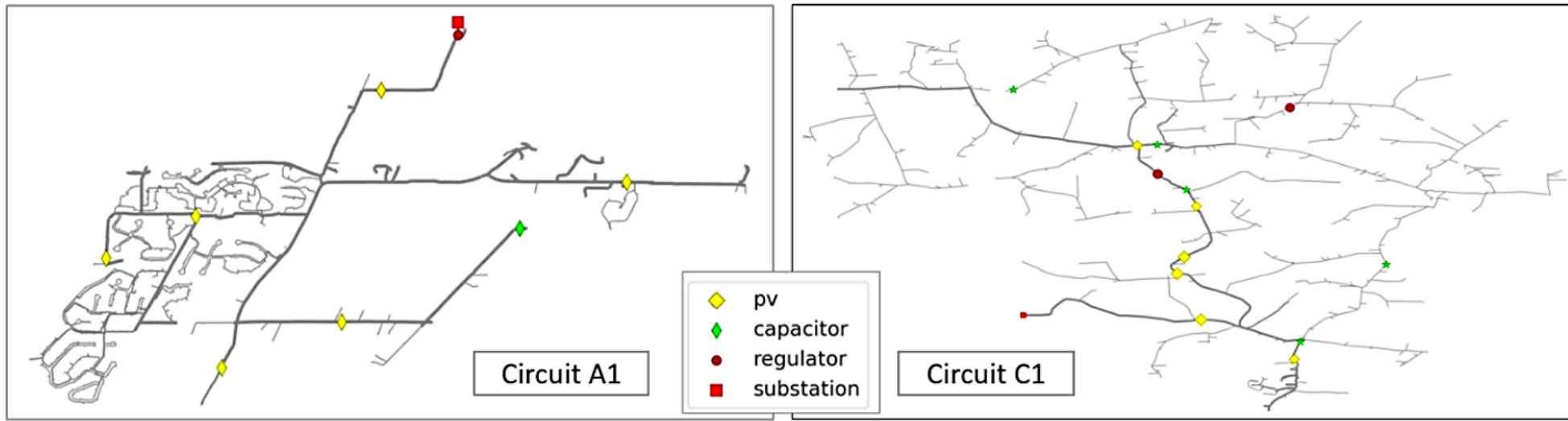
Район (штат)	Напряжение минимум 85 %		Напряжение минимум 90 %	
	Перебор	Оптимизация	Перебор	Оптимизация
Телингана	33	33	128	114
Тамилнад	0	0	27	25
Пондичерри	0	0	8	7
Керала	129	109	338	274
Карнатака	50	46	325	212
Андхра-Прадеш	0	0	35	0
Всего, МВАр	212	188	861	632

! В Индии на 12 % ПС не выполняются нормативы по U_{min} . В сложноразветвленной сети оптимизация мощности и места расстановки источников реактивной мощности в сравнении с направленным перебором по 1 МВАр (начиная с самых проблемных узлов) позволила сэкономить до 27 % капиталовложений

• PS2-10496

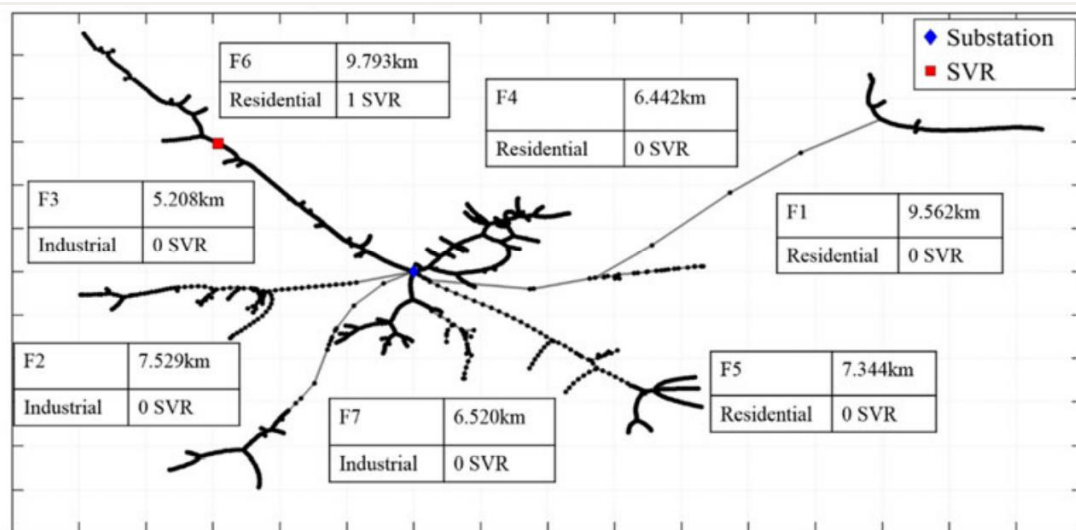
Оснащенность зарубежных распределительных сетей вольтдобавочной и регулировочной техники (США, Германия)

26



- PS2-10524
- PS2-10593
- PS2-10596

Места
расположения
вольтдобавочной
трансформаторной
техники



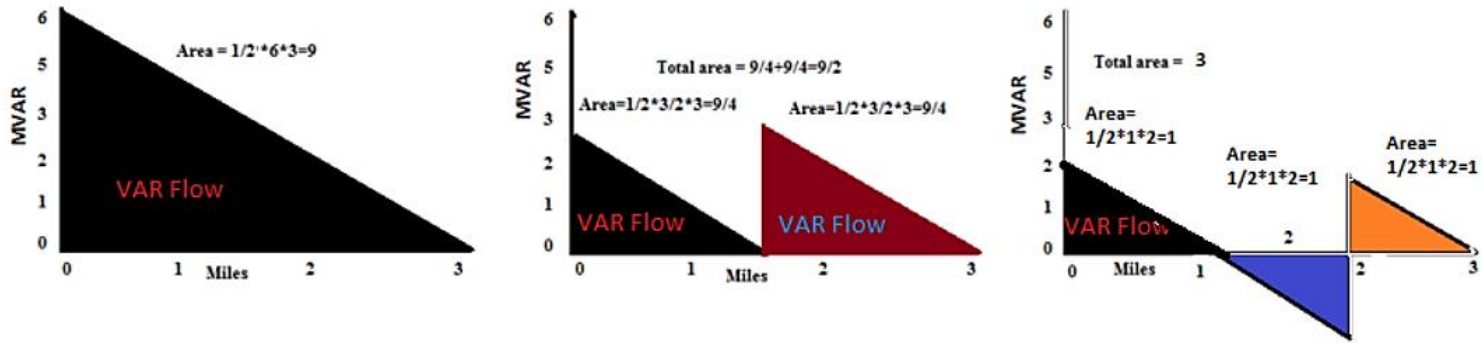
! В зарубежных разветвленных распределительных сетях 6-35 кВ широко используется трансформаторная техника:

- на вводах в крупные распределительные пункты;
- на воздушных линиях после ответвлений на удаленных потребителей.

Как правило, столбового (мачтового) исполнения с ПБВ

Простые и/или эмпирические правила размещения источников реактивной мощности в сети (США, Индия)

27



Графическая оптимизация по реактивной мощности с помощью «правила треугольников»

- PS2-10523

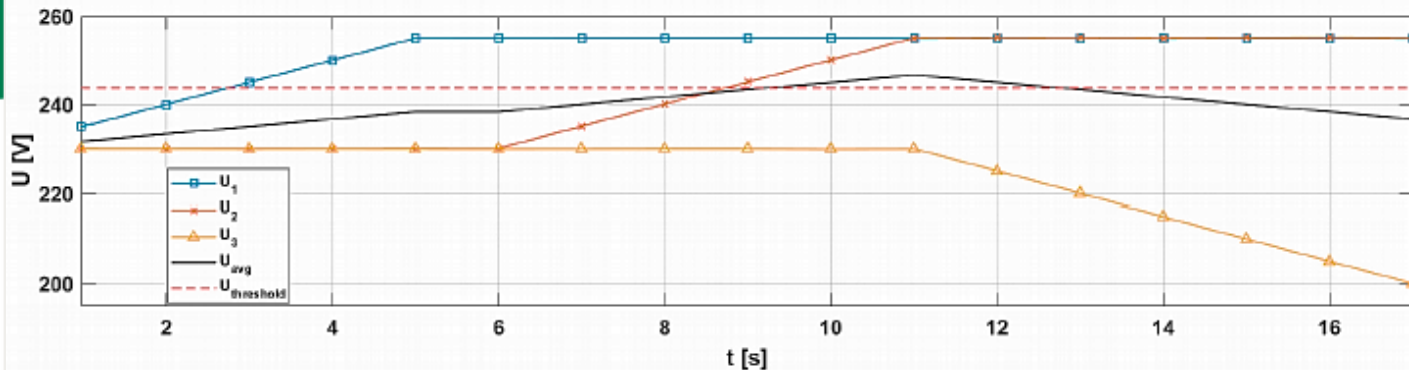
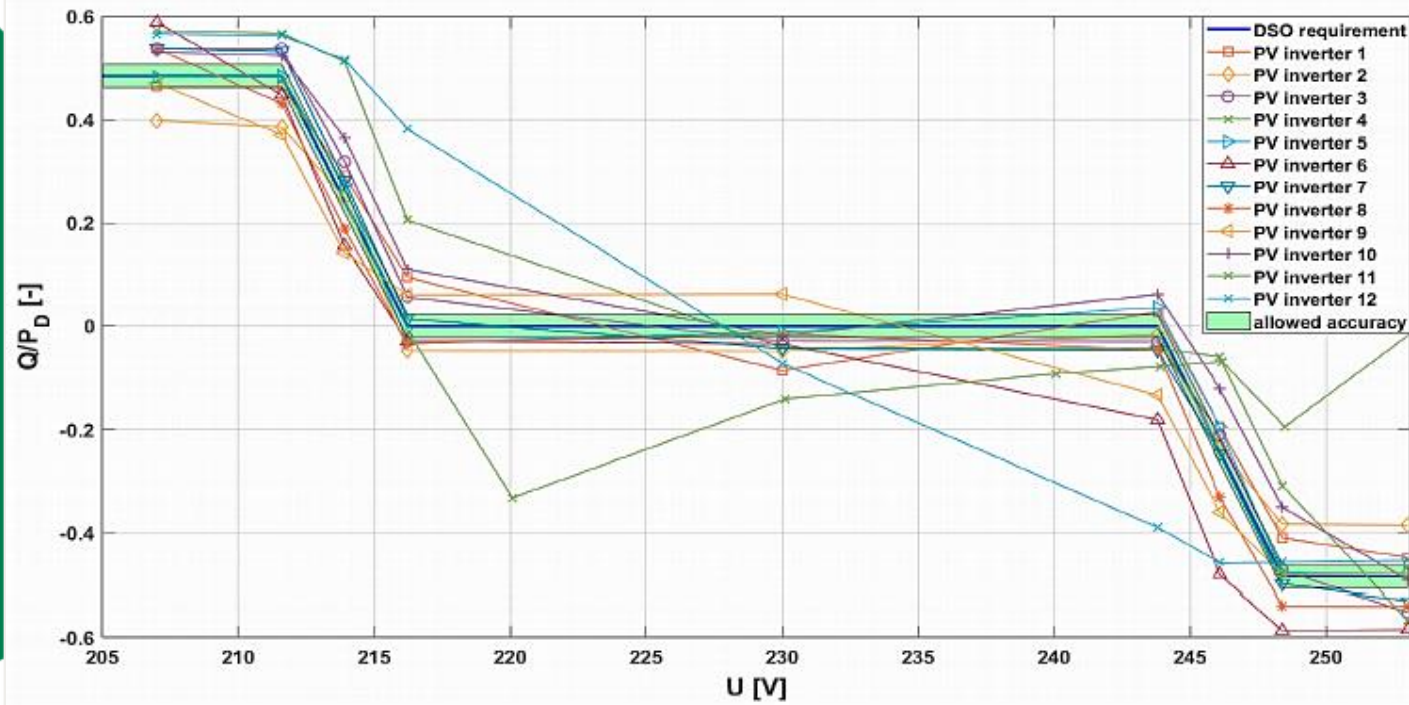
Графическая оптимизация мощности и размещения источников реактивной мощности:

1. На карту-схему сети наносятся длины ВЛ и величины реактивной мощности нагрузок;
2. Выбирается суммарная мощность источников реактивной мощности и делится между отдельными источниками;
3. Источники реактивной мощности расставляются по сети;
4. На основе простого баланса и 1-го закона Кирхгофа (потокная модель) определяются перетоки в ветвях схемы;
5. Подсчитывается площадь многоугольников, образованных областями в координатах «расстояние перетока реактивной мощности» – «величина перетока реактивно мощности»
6. Оптимальным является тот вариант, у которого сумма площадей многоугольников меньше;

! Также широко применяется «Правило 2/3»: источник реактивной мощности величиной 2/3 от суммарной реактивной нагрузки фидера должен быть подключен на расстояние 2/3 электрической длины фидера от его начала

Испытание 40 моделей инверторов для фотоэлектрических станций от 20 производителей в Польше

28



← Результаты испытаний на $\tan \phi$

- Многие инверторы не выдерживают заданную мертвую зону, статизм и погрешность регулирования, хотя выдерживают предельные точки;
- Для ряда инверторов получен обратный наклон кривой или невоспроизводимость результатов;
- Результат ухудшается при зашумлении кривых напряжения и тока гармониками.

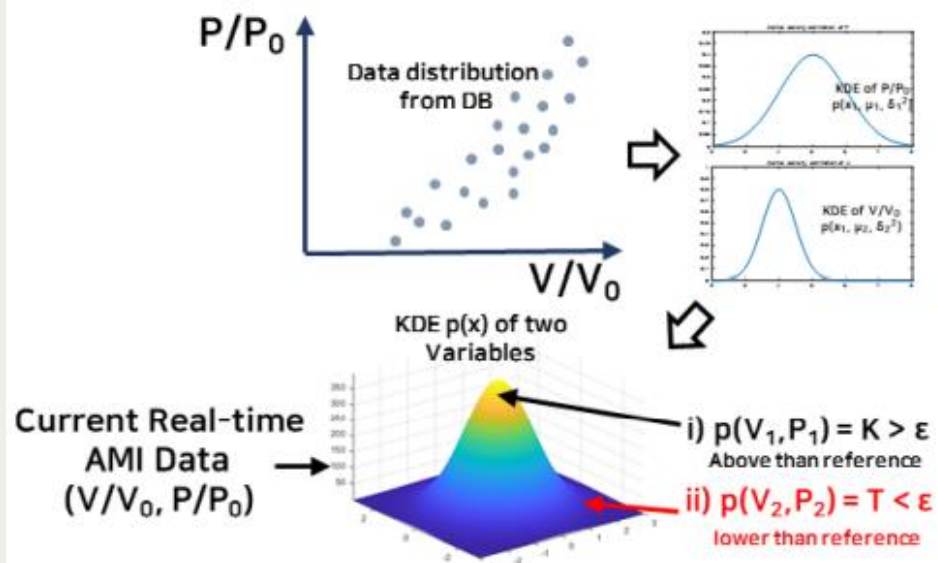
! 12 из 40 инверторов (30 %) не удовлетворяют требованиям НТД.

← Результаты испытаний на поддержание U

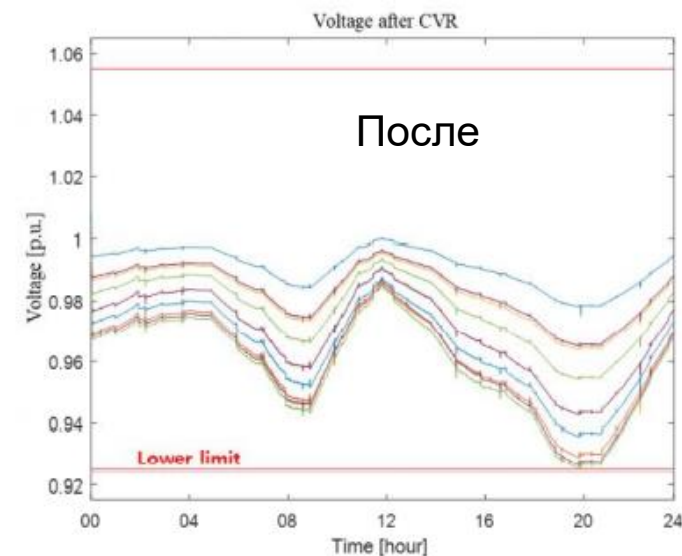
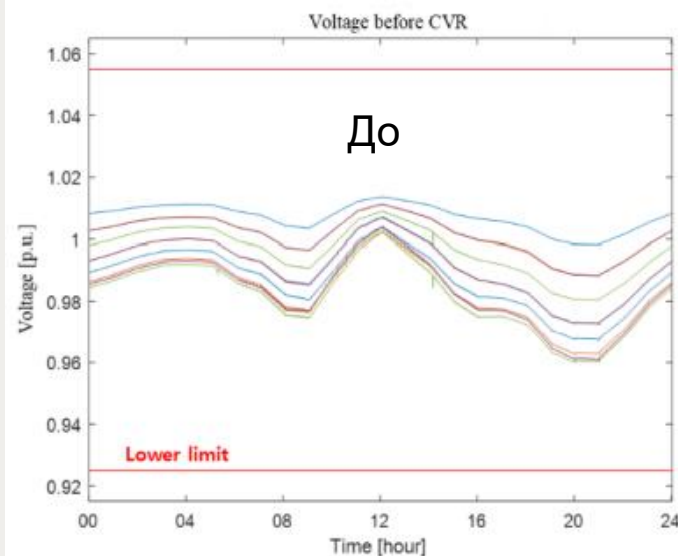
- Рекомендуемый в НТД способ измерения напряжения – по прямой последовательности;
- Допустимо измерение по среднему значению трех фаз, но приводит к перенапряжениям в одной или двух фазах.

Экономия электроэнергии в КЕРСО (Ю. Корея) за счет снижения напряжения инверторами ФЭС в соответствии со СХН 29

Измерение СХН
по напряжению



Снижение напряжения до минимально допустимого по
нормативам качества электроэнергии



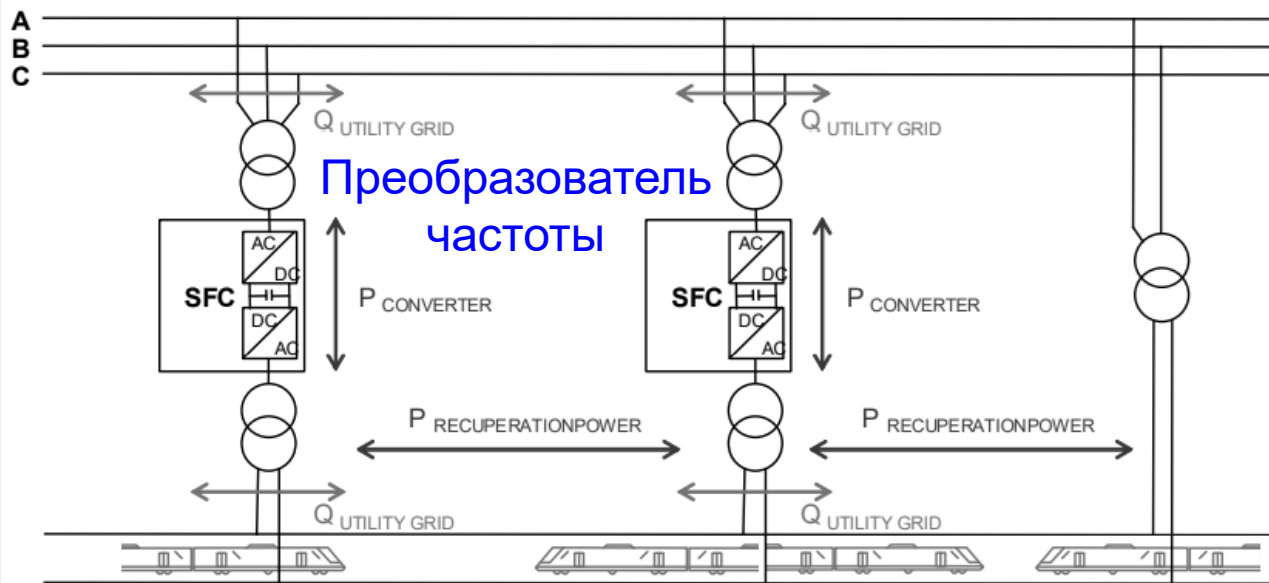
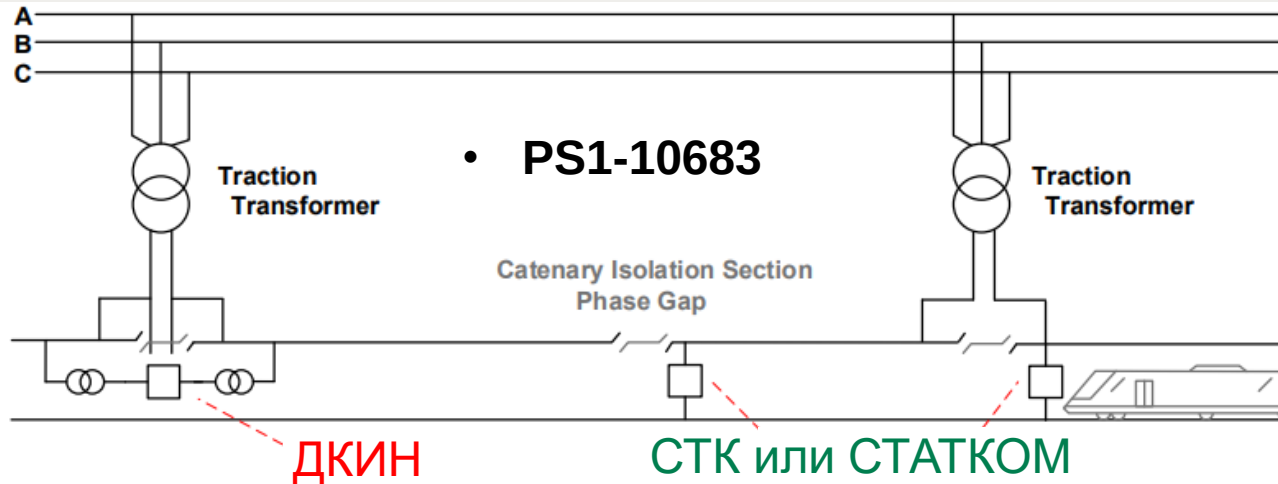
→ Снижение отпуска электроэнергии, прежде всего, пассивной шунтовой нагрузке (электрическим отопителям, обогревателям)

• PS1-10311

! Декларируемая цель – экономия энергоресурсов за счет снижения потребления электроэнергии населением. Результат также дискуссионный: снижение отпуска составляет 0,8 %

Силовая электроника в железнодорожных сетях стран мира

• PS1-10683



1. Динамический регулятор искажения напряжений (ДКИН), он же объединенный регулятор перетока мощности, – последовательно-параллельный регулятор напряжения по модулю и по углу.

- Применяется в высокоскоростной железнодорожной сети Синкансэн, Япония.

2. Параллельные шунтовые компенсаторы – статические тиристорные (транзисторные) компенсаторы (СТК), статические компенсаторы на основе преобразователей напряжения (СТАТКОМ) для регулирования напряжения по модулю.

- Применяется в высокоскоростной железнодорожной сети High-Speed 1, Великобритания.

3. Во многих странах мира сооружаются железнодорожные линии с полной развязкой с питающими распределительными сетями по частоте с помощью преобразователей частоты по принципу вставки постоянного тока.

- Строятся в Германии, Швейцарии, Австрии, Швеции, Норвегии, Чехии, Литве, США и Индии.

! Мощность одной группы устройств (3ф) ~20 МВА

Информационное обеспечение балансовых и рыночных задач электроэнергетики

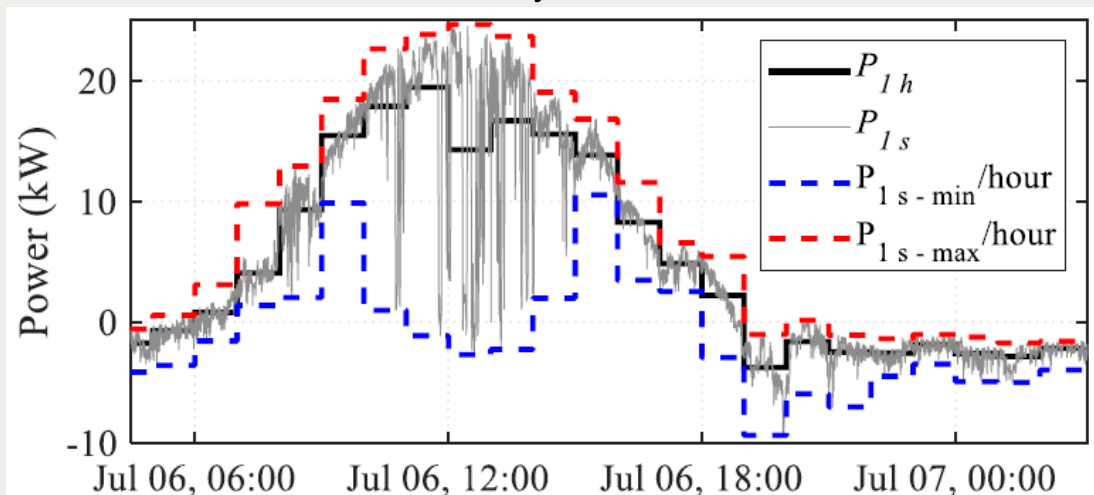


cigre

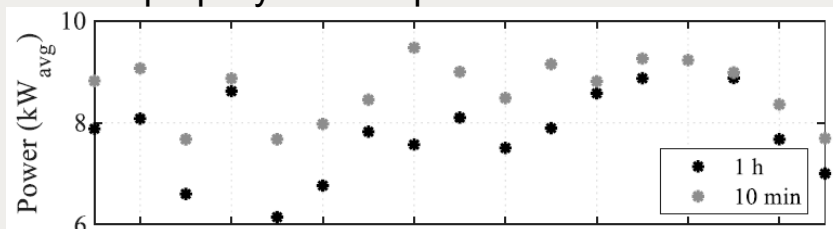
For power system expertise

Недостаточная дискретность SCADA/EMS в Швеции

Сопоставление графиков мощности, усредненных на интервале 1 ч и 1 с, также показаны ступенчатые минимакс-оглавающие



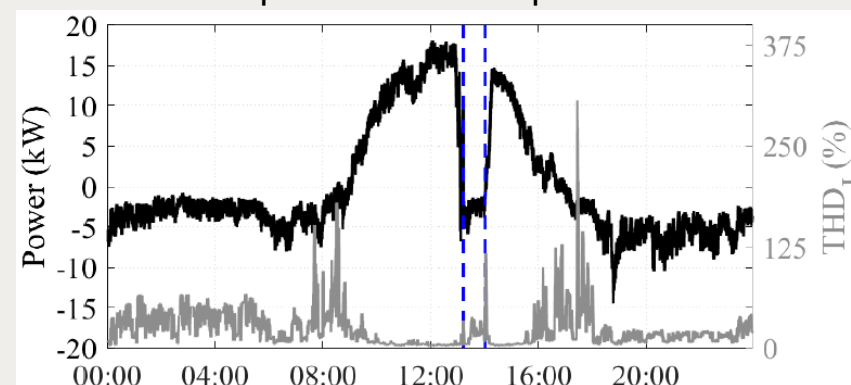
Значения максимальной мощности, усредненные по графику на интервалах 1 ч и 10 мин



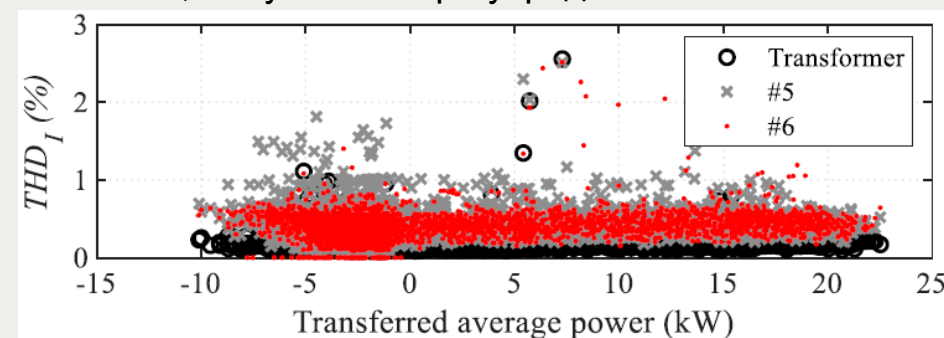
• PS2-10827

! При работе с распределенными энергетическими ресурсами в ЭС мощностью порядка нескольких МВт информационное обеспечение балансовых задач должно поддерживать дискретность порядка 1-5 мин, задач ЭМС – дискретность 1-3 с

Уровни гармонических составляющих тока, измеренные на интервале 3 с



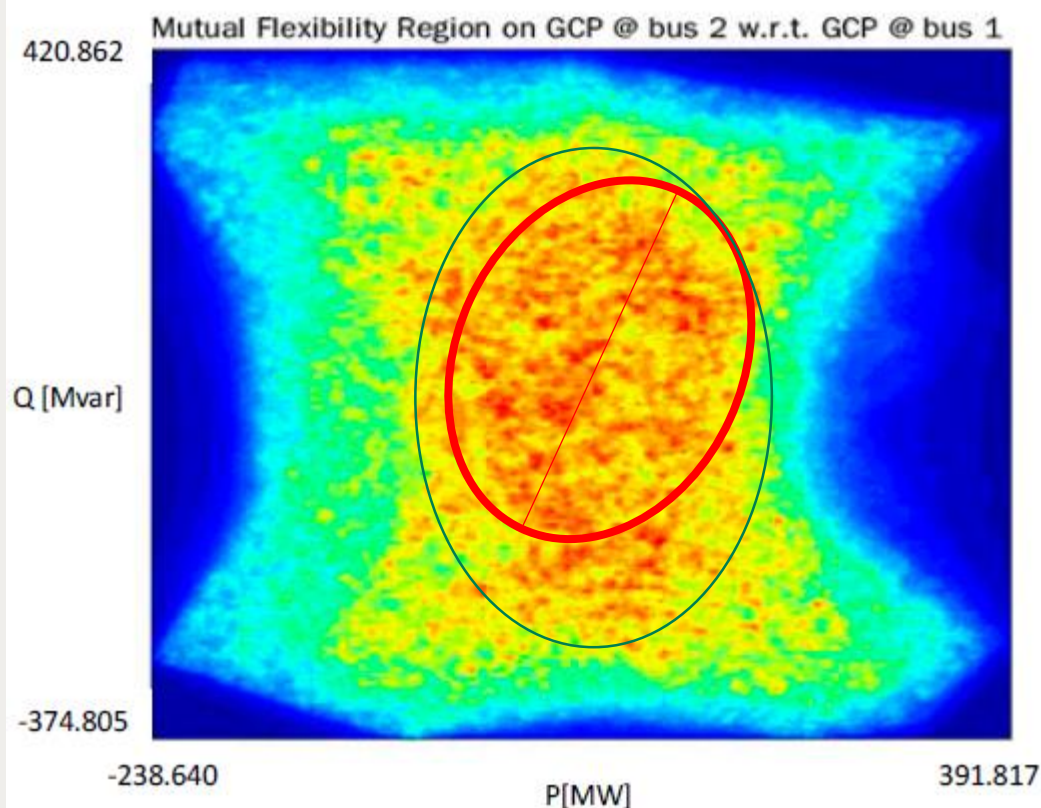
Трехкратная разница в оценке доли высших гармоник на шинах, полученная при усреднении 3 с и 10 мин



Тепловая карта режимов активной распределительной системы в Германии 33

Максимум генерации P
максимум потребления Q

Максимум нагрузки P и Q ,
минимум генерации P и Q

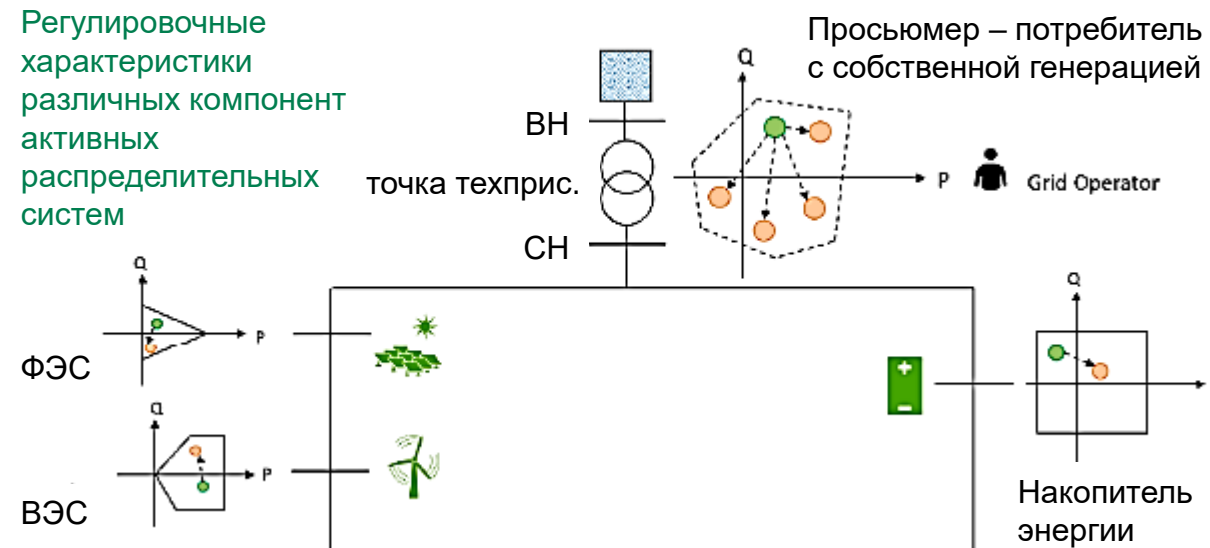


Максимум генерации P и Q
минимум нагрузки P и Q

Максимум генерации Q ,
максимум потребления P

• PS2-11108

Регулировочные
характеристики
различных компонент
активных
распределительных
систем



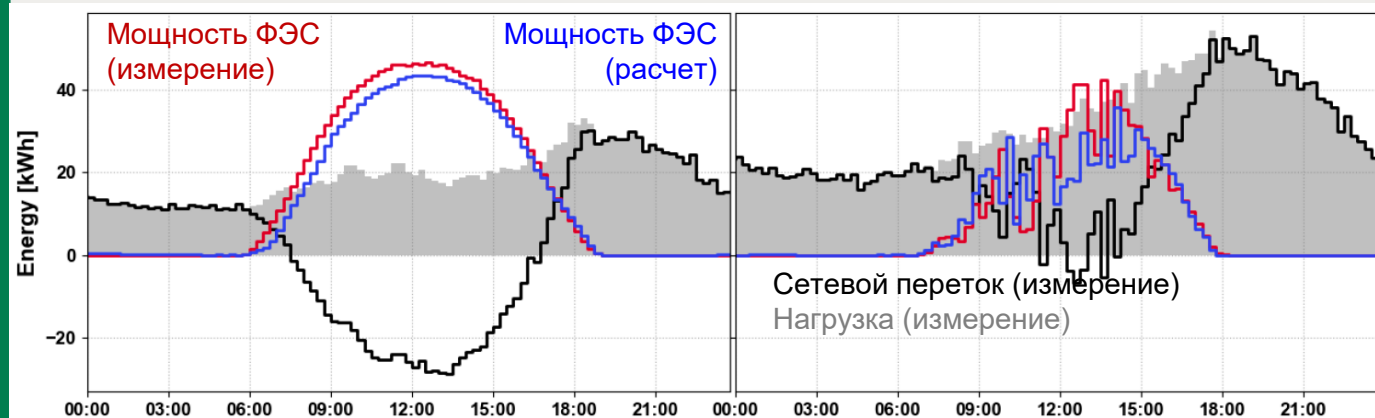
! В традиционных энергосистемах, особенно при отсутствии диспетчеризации или ценозависимого потребления субъекта энергетики, на тепловой карте прослеживается эллипс, иногда слегка наклонный (сильная взаимная корреляция между P и Q) в области средних значений результирующего перетока мощности. В активных распределительных системах появляется «золотое руно» со следами запросов диспетчера (автоматики) на граничные по регулировочной характеристике режимы, а на распределениях P и Q появляются «тяжелые хвосты»

Оценка величины ненаблюдаемой фотоэлектрической генерации в США

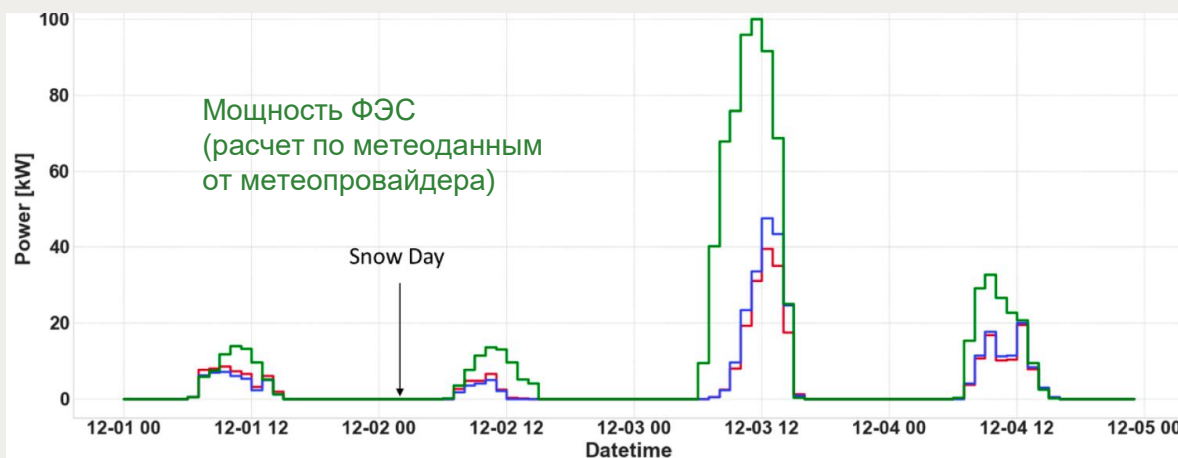
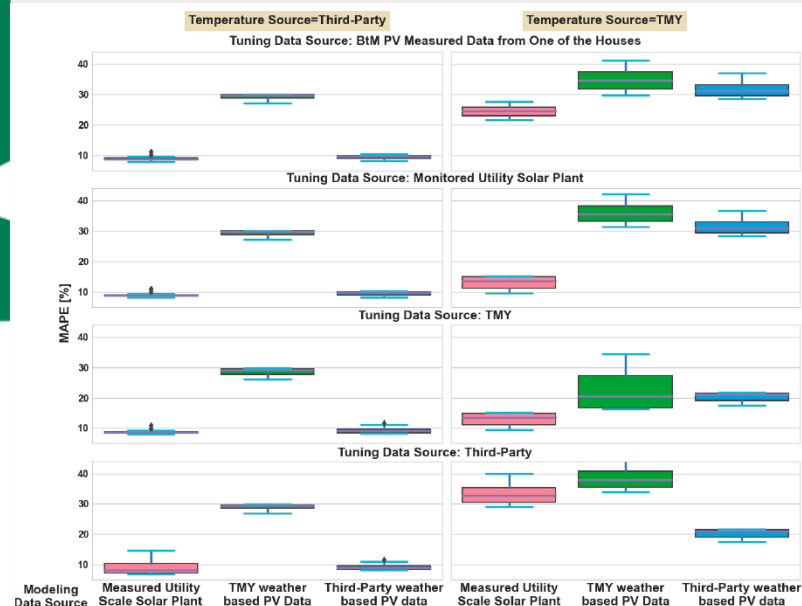
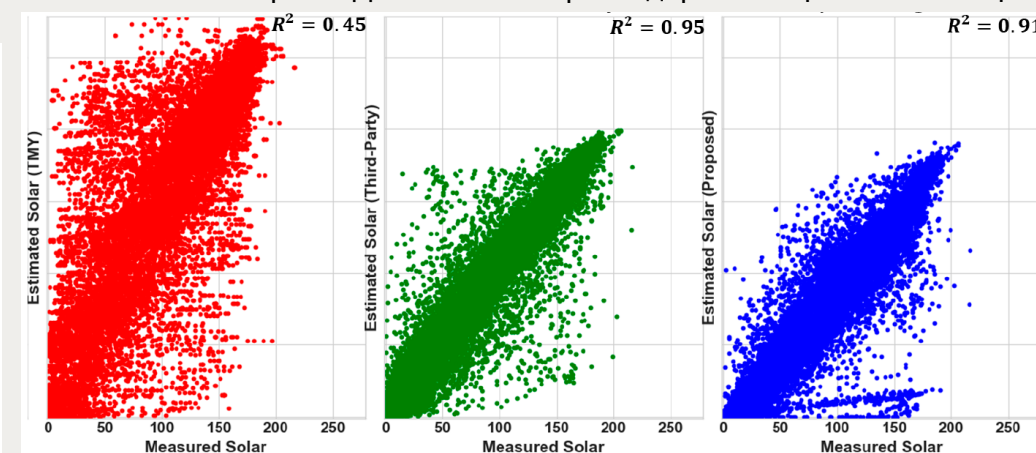
34

Солнечно

Облачно



Климатическая норма Данные метеопровайдера Эмпирический алгоритм



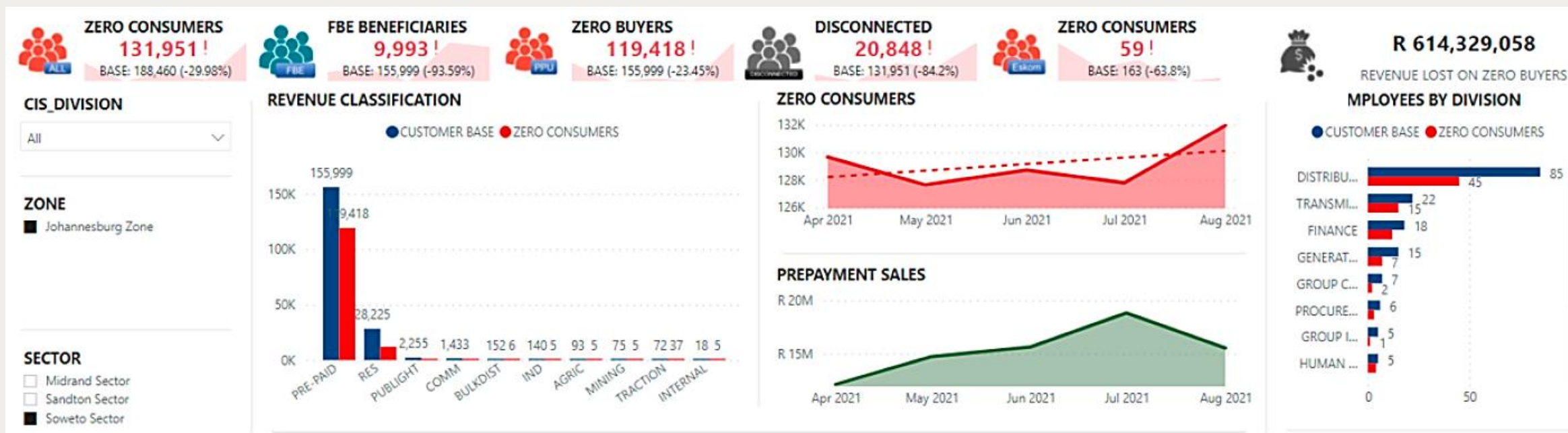
← Погрешность расчета мощности ФЭС в зависимости от источника данных о температуре и данных о мощности солнечного излучения

• PS2-11158

! Минимальная погрешность составляет 10-12 %, и не всегда ориентир на крупные сетевые ФЭС оправдан

Провал внедрения Smart Grid и активных распределительных систем в ЮАР по причине неразвитости телекоммуникаций

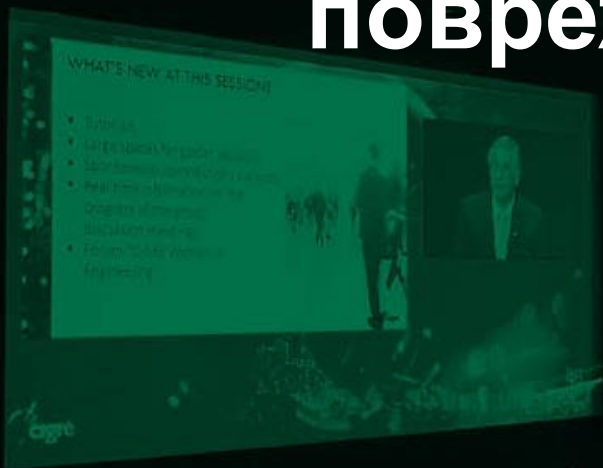
35



- 90 % населения ЮАР имеет доступ к электрической сети. Принята авансовая система доступа к электроэнергии;
- Охват связью составляет ~88 %, 54 % населения умеет пользоваться выходом в Интернет. Цены на связь в 2-3 раза выше мировых;
- Финтех для населения развит относительно слабо. Личные кабинеты от электросетевых организаций широко не используются;
- Оплата услуг производится в кассе. Для сельских жителей необходимо приехать в город. В период COVID-2019 это небезопасно;
- В результате 132 тыс. из 188,5 тыс. (70,0 %) отключены от сети, проект терпит убытки, кражи электроэнергии растут.

! Недостаточно создания объектовых систем сбора и передачи информации. Необходимо развитие телекоммуникационных систем, информационных сервисов и финтеха

Идентификация параметров схемы замещения и электрического режима. Определение места повреждения электрической сети

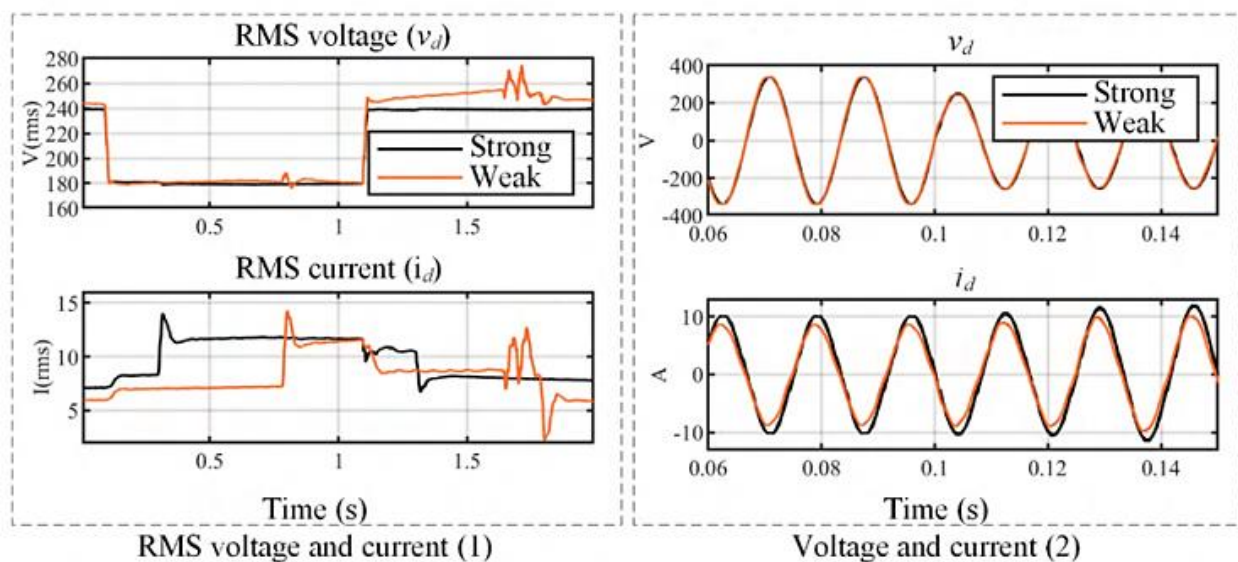


cigre

For power system expertise

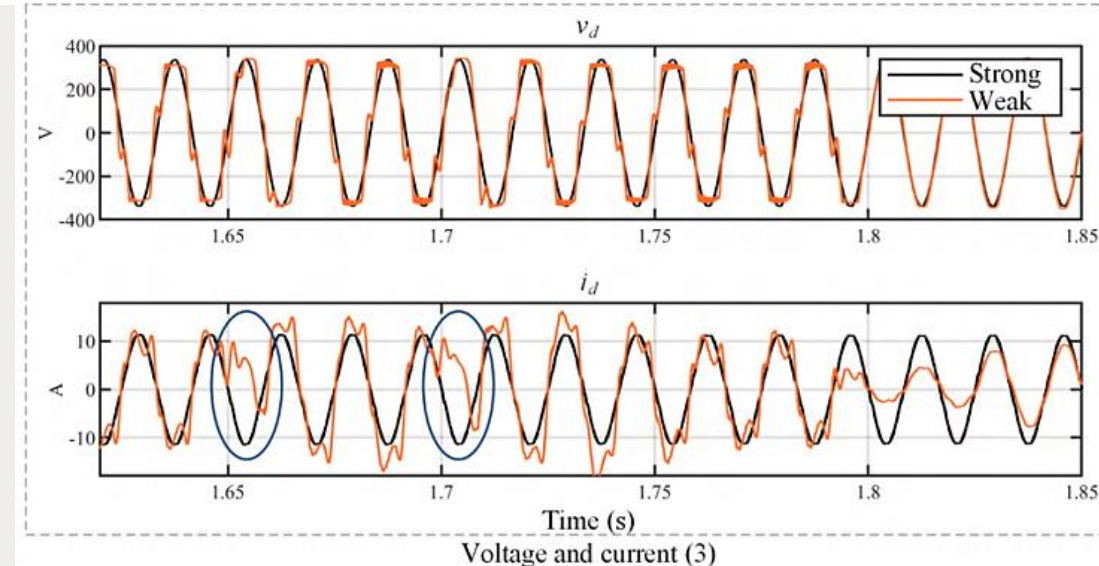
Верификация RTDS-моделей и реальных сопротивлений в Канаде 37 в Египте. Эквивалентные удельная проводимость и индуктивность

Переходный процесс в распределительной сети с паспортными (сильная сеть) и реальными (слабая сеть) параметрами



• PS2-10268

- Верификация расчетных моделей, в том числе моделей симуляторов реального времени, показывает, что реальные параметры схемы замещения сетей НН и СН очень далеки от паспортных;
- Верификация выполняется путем электрических замеров и идентификации электрических параметров.



• PS2-10767

! Поскольку переходные процессы с распределенными энергетическими ресурсами происходят в очень широкой части частотного спектра, а не только при 50/60 Гц, при идентификации стремятся получить первичные эквивалентные параметры как $\rho_{(0)}$, L и C ; а не вторичные типа R , X , G и B

Определители величины и направления перетока мощности в Норвегии и Великобритании для оперативно-выездной бригады

38

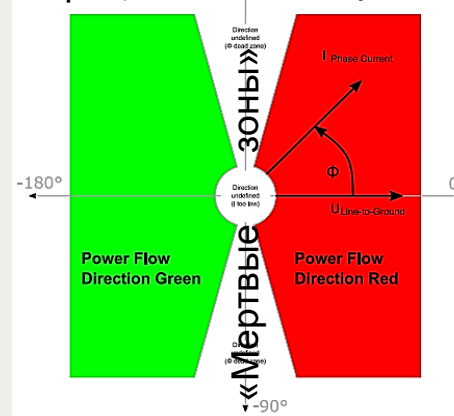
Чувствительность и погрешности устройства



Внешний вид устройства

- PS2-10206

Генерация P Потребление P



Генерация Q

Потребление Q

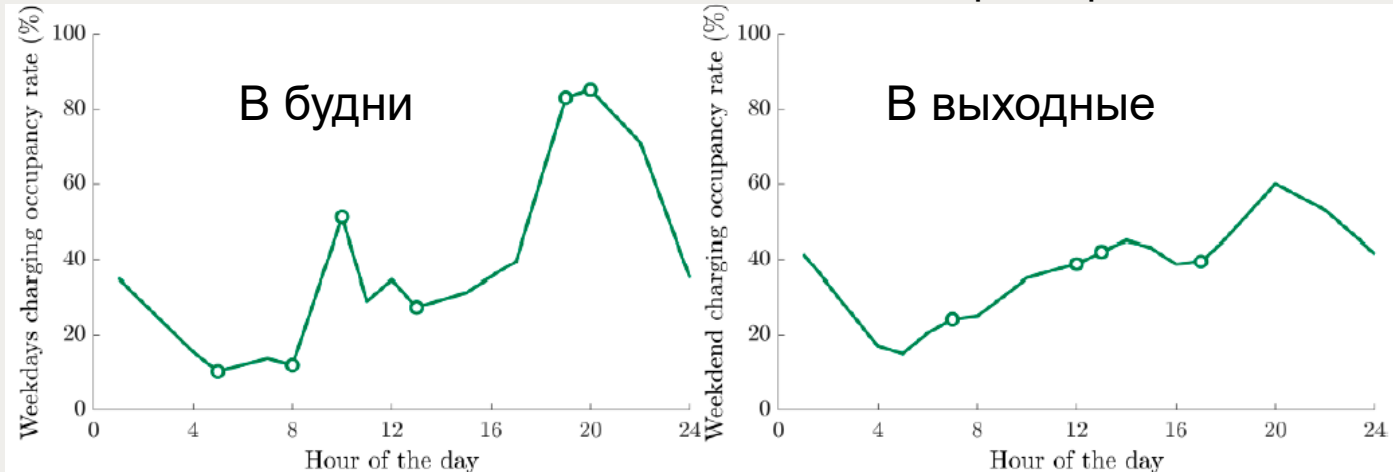
Угловая характеристика устройства

! Простой констатации «под напряжением/без напряжения» в сложной разветвленной сети с распределенными энергоресурсами уже недостаточно

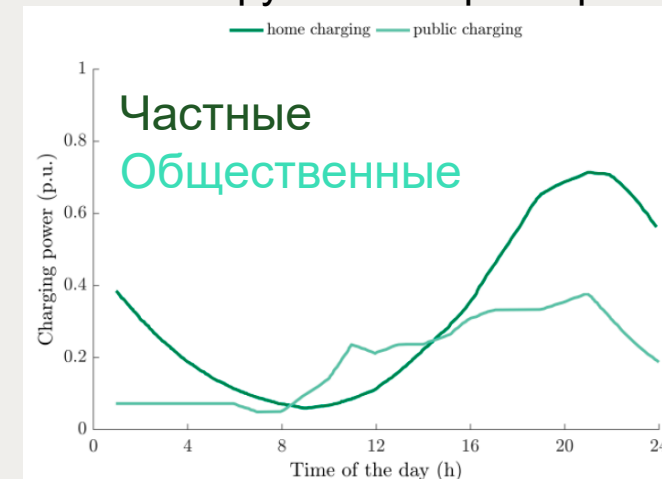
Определение места повреждения ЛЭП в зависимости от количества подключенных электромобилей и ФЭС в Испании

39

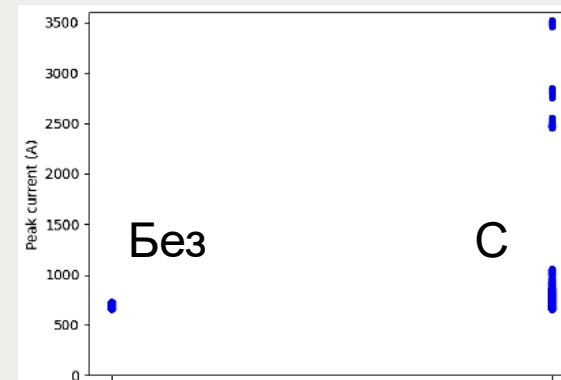
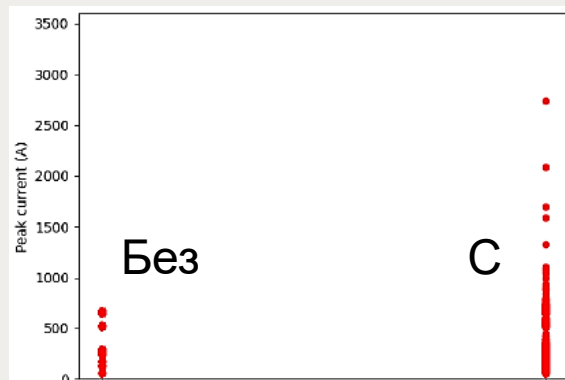
Степень занятости машиномест электрозаправок



Степень загрузки электрозаправок



Примеры расчетных ТКЗ фидеров 5-13 МВт городской системы электроснабжения без/с электромобилями и ФЭС



• PS1-10920

! Погрешность определения места повреждения составляет около 3,5 % по трассе ЛЭП при использовании методов искусственного интеллекта. Схемотехническими методами – кратно выше

Обзор деятельности рабочих групп CIGRE SC C6



cigre

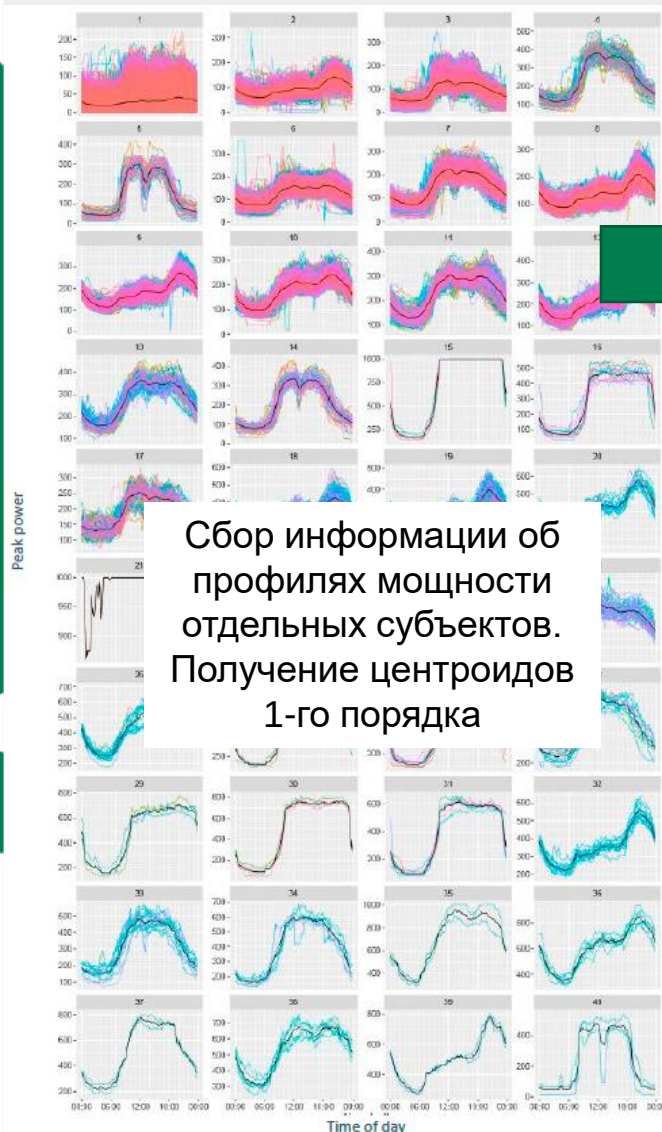
For power system expertise

Рабочие группы CIGRE SC C6. До 2020 и 2020-2022

Номер	Год	Название	Руководитель	Про что группа?
C1.C6.37	2018	Optimal transmission and distribution investment decisions under increasing energy scenario uncertainty	led by C1	Проектирование развития электрических сетей в условиях неопределенности
JWG D2/C6.47	2018	Advanced Consumer Side Energy Resource Management Systems	led by D2 ! <i>RTSoft</i>	Платформы для агрегации энергоресурсов на стороне потребителя
JWG C6/C1.33	2018	Multi-energy system interactions in distribution grids	Birgitte Bak-Jensen (Denmark)	Технологии преобразования энергии для распределительных сетей
JWG C6/C2.34	2018	Flexibility provision from distributed energy resources	Pierluigi Mancarella (Australia)	Распределенные энергоресурсы на рынке системных услуг
C6.35	2018	DER aggregation platforms for the provision of flexibility services	Alexandre Oudalov (Switzerland)	Платформы для агрегации энергоресурсов на стороне энергосистемы
C6.36	2019	Distributed Energy Resource Benchmark Models for Quasi-Static Time-Series Power Flow Simulations	Jason Taylor (USA)	Модели распределенных энергоресурсов для учета их влияния на функционирование ЭС
C6/B4.37	2018	Medium Voltage DC distribution systems	James Vu (UK)	Распределительные системы постоянного тока среднего напряжения
C6.38	2018	Rural electrification	Kurt Dedekind (South Africa)	Электрификация сельской местности
C6.39	2018	Customer Empowerment	Michael Ross (Canada)	Собственная генерация потребителей электроэнергии
C6.40	2019	Electric Vehicles as Distributed Energy Resource (DER) systems	Joao Peças Lopes (Portugal)	Малый электротранспорт в распределительных сетях и системах
C6.41	2020	Technologies for Railway Distribution Systems	Pablo Arboleya (Spain)	Электрификация железных дорог
C6.42	2020	Electric Transportation Energy Supply	Liana Cipcigan (UK)	Электрификация транспорта
C6.43	2020	Aggregation of battery energy storage and DER, including Solar PV	Nikos Hatziaargyriou (Greece)	Интеграция распределенных энергетических ресурсов
C6.44	2021	Nodal value of Distributed Renewable Energy Generation	Kilian Reiche (Germany)	Идентификация МИН-МАКС мощности распределенных энергетических ресурсов в узлах сети
C6.45	2022	The impact of DER on the resilience of Distribution Networks	Nasser Usman (New Zealand)	Влияние распределенных энергетических ресурсов на отказоустойчивость энергосистемы
Предлагаемая	2022	DSO customer communication interface	TBA (Draft)	Стандартизированный интерфейс энергообмена и управления субъекта энергетики и субъекта оперативно-диспетчерского управления

Брошюра С1.С6.37 Планирование капиталовложений в магистральные и распределительные сети в условиях неопределенности сценариев развития

42

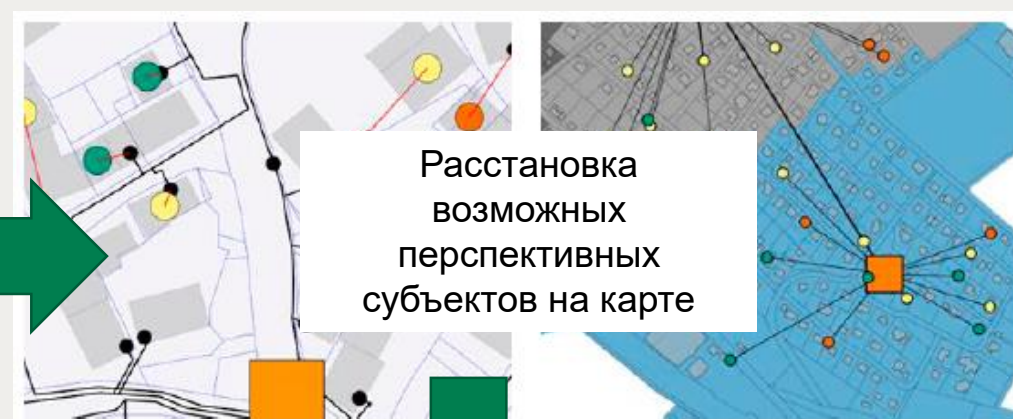
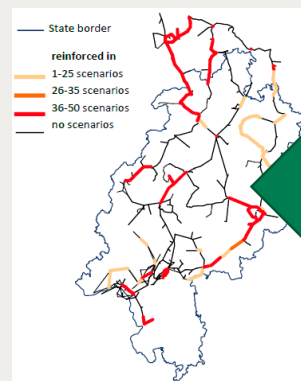


Сбор информации об
профилях мощности
отдельных субъектов.
Получение центроидов
1-го порядка

Типизация субъектов.
Получение центроидов
2-го порядка



Сценарные расчеты с
перебором возможных
комбинаций профилей
и динамики их роста.
Выявление наиболее
часто перегружаемых
объектов



Расстановка
возможных
перспективных
субъектов на карте



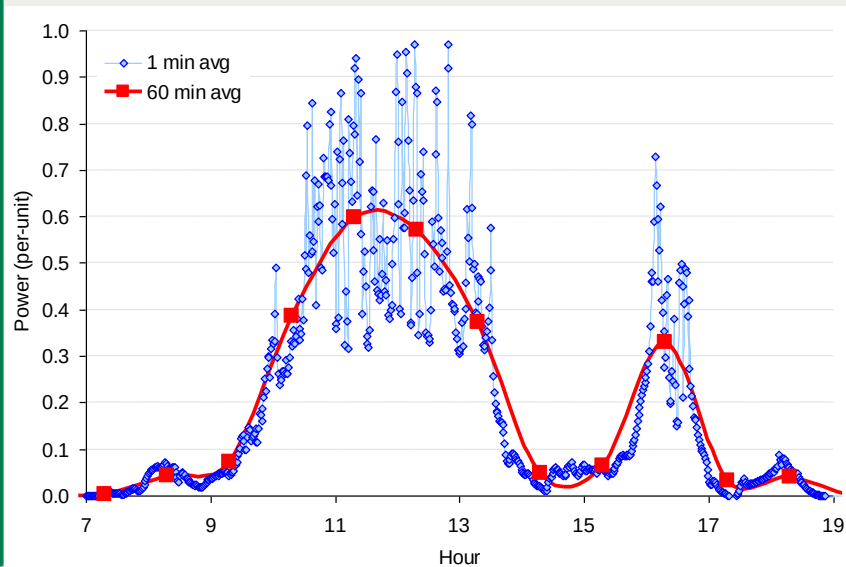
Привязка к схеме
замещения

! Научная составляющая минимальна –
кропотливая (полу)ручная работа и инженерный подход

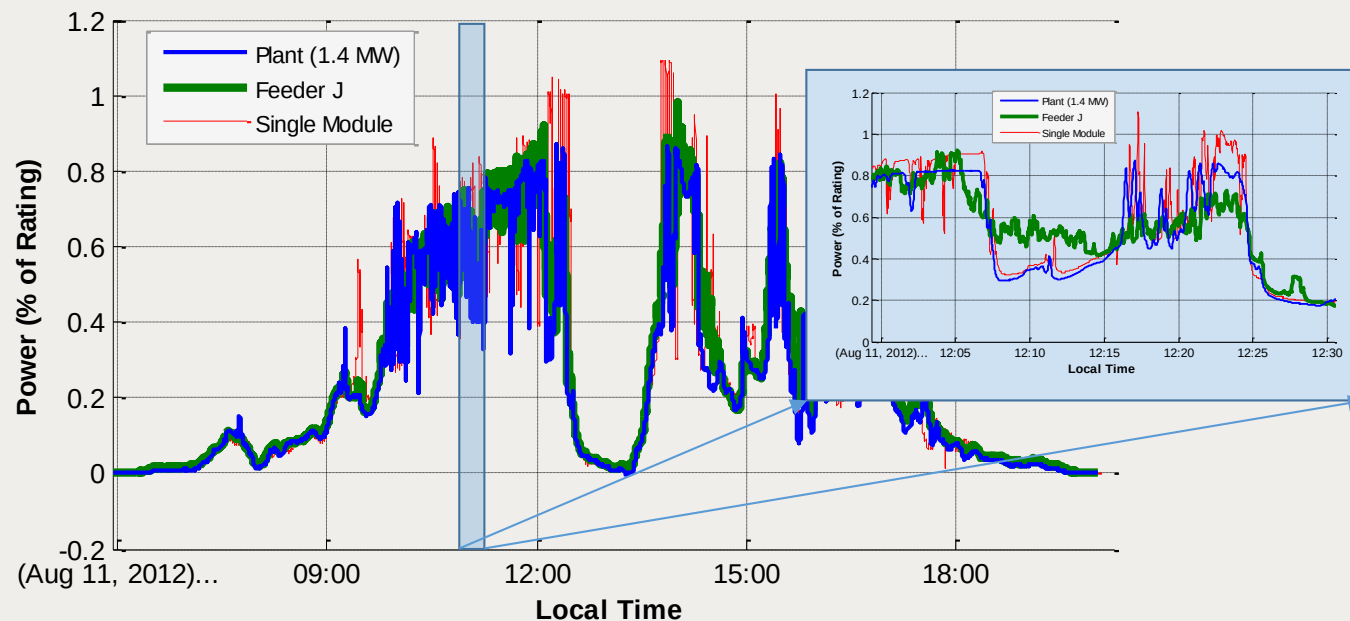
Брошюра С6.36 Модели распределенных энергетических ресурсов для моделирования временных рядов квазиустановившихся режимов

43

Пример выбора дискретности моделирования



Пример выбора степени агрегированности ФЭС для моделирования и подстановки метеоданных



Пример выбора функций ограничений инвертора по току и напряжению

Напряжение:

Ток:

- | | | |
|-----------------|--|-------------------------------------|
| 1. $P = f(V)$; | 1. $\text{tg } \varphi = \text{const}$; | 4. $P, Q = f(I)$; |
| 2. $Q = f(V)$; | 2. $P = \text{const}$; | 5. $P, \text{tg } \varphi = f(I)$. |
| 3. $Q = f(t)$; | 3. $Q = \text{const}$; | |

! По мнению авторов, распределенные энергоресурсы должны моделироваться квазиустановившимися временными рядами ввиду зависимости напряжения, тока, активной и реактивной мощности от времени и внешних физических параметров, а также сложного характера систем управления

Спасибо за внимание!

В.О. Самойленко
vvsamoylenko@yandex.ru



cigre

For power system expertise