

Особенности реализации первичного и вторичного регулирования параметров электроэнергетических режимов микроэнергосистем

Главный специалист отдела оперативного
контроля энергообъектов

ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС»

С.Г. Музалев

Ялта, 2016





Управляемая нагрузка – нагрузка, электроснабжение которой может быть отложено или перераспределено во времени в течение суток или части суток.

Распределенная генерация – электрогенерирующая система, состоящая из электростанций, подключаемых к распределительным, по функциональной принадлежности, сетям или сетям внутреннего электроснабжения потребителей электроэнергии и имеющих в точке присоединения установленную мощность, не превышающую 25 МВт, за исключением:

- электростанций, использующих в качестве энергоресурса продукты основного промышленного производства
- электростанций, работающих на автономную нагрузку

для которых верхняя граница по установленной мощности не нормируется, а также электростанций, основное энергетическое оборудование которых работает по циклу Ренкина с использованием водяного пара.

Система накопления электрической энергии – энергоустановка, предназначенная для преобразования электрической энергии в вид энергии, подходящий для накопления, непосредственного накопления и хранения энергии с последующим преобразованием обратно в электрическую энергию.



Цели и задачи создания управляемых распределительных сетей

Снижение неконтролируемого влияния существующих и вновь вводимых объектов распределенной генерации на балансовые характеристики режимов

Создание технической основы обеспечения недискриминационной интеграции как диспетчируемых, так и недиспетчируемых гетерогенных распределенных энергоресурсов (включая ВИЭ) в электроэнергетические системы

Создание технической основы управления энергопотреблением на стороне потребителя (в том числе ценозависимое потребление)

Создание технической основы предоставления распределенными энергоресурсами системных услуг, потенциал которых, с точки зрения управления режимами, увеличивается пропорционально объемам интеграции последних



Модели агрегации и управления распределенных энергоресурсов и приемников электрической энергии

Микроэнергосистема (Microgrid) – часть распределительной сети НН, имеющая фиксированные границы, включающая распределенные энергоресурсы и приемники электрической энергии, технологические режимы которых являются управляемыми и скоординированными как в параллельном режиме работы с электроэнергетической системой, так и в изолированном.

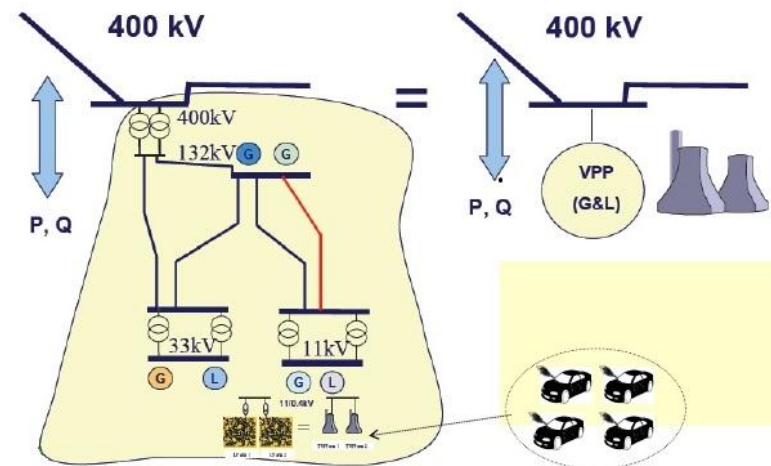
Выделяемые границы микроэнергосистем:

- сеть внешнего электроснабжения НН
- фидер НН
- сеть внутреннего электроснабжения НН объекта

Мульти-микроэнергосистема (Multi-Microgrid) – совокупность электрически соединенных отдельных микроэнергосистем, объектов распределенной генерации и нагрузки, подключенных к сетям более высоких уровней напряжения.

Виртуальная электростанция (VPP) – квазиединый элемент электроэнергетической системы, агрегирующий распределенные энергоресурсы, в общем случае, имеющие точки присоединения в разных частях электрической сети (географически разнесены), путем их группового управления в параллельном режиме работы с системой.

Virtual Power Plant (VPP)





Общие отличительные характеристики концепций микроэнергосистем и виртуальных электростанций

Географическое и электрическое разнесение точек присоединения объединяемых общностью управления элементов: микроэнергосистема – точки присоединения находятся в одной электрической сети; виртуальная электростанция – могут располагаться в разных электрических сетях

Функциональная позиция локальной нагрузки: микроэнергосистемы – ориентация на экономически эффективное (с учетом технических, экологических ограничений) снабжение местной нагрузки; виртуальная электростанция – локальная нагрузка используется в качестве ресурса, регулирующего продаваемую на рынке электроэнергию и мощность (DSI)

Величина установленной мощности: микроэнергосистемы – до нескольких МВт (обычно кВт); виртуальные электростанции – много большие значения

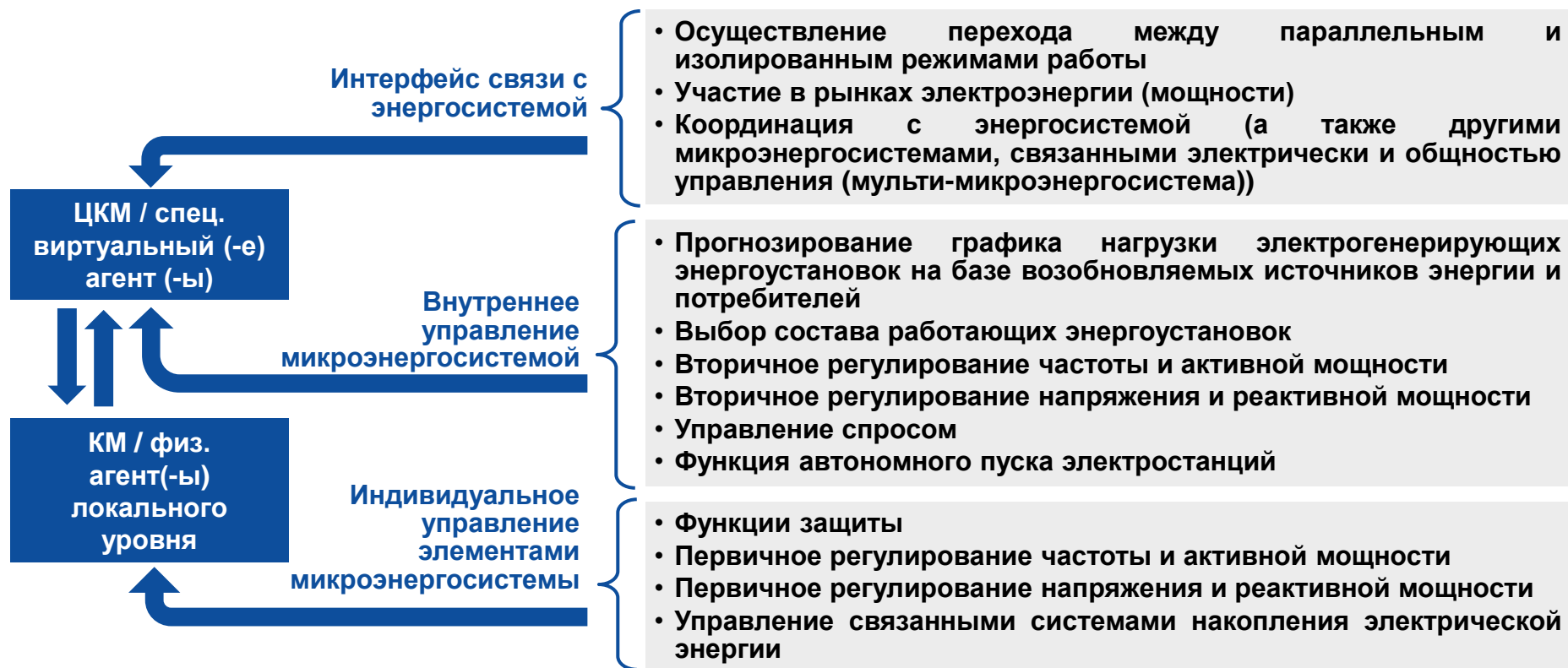
Режим работы с системой: микроэнергосистемы – возможны как параллельный (наблюдается на протяжении большего промежутка времени), так и изолированный; виртуальная электростанция – только параллельный

Рыночная виртуальная электростанция (CVPP) – виртуальная электростанция, обеспечивающая участие распределенных энергоресурсов в операциях на рынках электроэнергии и мощности с максимизацией экономических показателей объектов, входящих в ее состав.

Техническая виртуальная электростанция (TVPP) – виртуальная электростанция, сформированная из распределенных энергоресурсов, имеющих точки подключения в одной сети и обеспечивающая их участие в управлении режимами электрических сетей, а также оптимизацию участия отдельных элементов, входящих в ее состав, с учетом режимных параметров, конфигурации и имеющихся ограничений локальной сети в каждый момент времени.



Функции САУ микроэнергосистемы в нормальном режиме работы



Низкий уровень телемеханизации распределительных сетей: имеющиеся устройства обеспечивают лишь телесигнализацию и телеизмерения с полным отсутствием телеуправления.



Организация каналов связи и ПАК определяет экономическую рентабельность проекта.



Централизованная система управления:

- Незначительное число целей и ограничений оптимизационной задачи (общие цели субъектов микроэнергосистемы или общая операционная среда (система внутреннего электроснабжения предприятия))
- Незначительное число и разнесенность включенных в САУ узлов
- Наличие обслуживающего персонала
- Недопустимостимость погрешности решения оптимизационной задачи (опционно)

Децентрализованная система управления:

- Значительное число целей и ограничений оптимизационной задачи (различные цели субъектов; требования рыночной системы к применению независимых (в некоторой степени) систем управления различными объектами микроэнергосистемы; работа по тепловому графику нагрузки, требование поддержания напряжения на определенном уровне некоторыми объектами распределенной генерации и т.д.)
- Значительное число и/или разнесенность включенных в САУ узлов, низкая пропускная способность существующей системы передачи информации
- Отсутствие обслуживающего персонала при высокой степени автономности индивидуальных контроллеров объектов микроэнергосистемы
- Допустимость погрешности решения оптимизационной задачи



Цели и задачи первичного и вторичного регулирования электроэнергетических режимов микроэнергосистем

Первичное регулирование электроэнергетических режимов микроэнергосистем:

- Ограничение отклонений частоты и напряжения от номинального значения для безопасной эксплуатации электростанций и минимизации риска отключения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии действием противоаварийной автоматики
- Обеспечение оптимального распределения активной и реактивной мощности между электрогенерирующими энергоустановками как в установившемся изолированном режиме, так и при кратковременных переходных процессах последнего

Вторичное регулирование электроэнергетических режимов микроэнергосистем:

- Обеспечить поддержание в пределах допустимых значений частоты и напряжения в изолированном режиме
- Обеспечить восполнение ограниченных резервов первичного регулирования, выполняемого преимущественно СНЭЭ
- Обеспечить переход между параллельным и изолированным режимами как микроэнергосистемы в целом, так и сетей внутреннего электроснабжения объектов микроэнергосистемы
- Обеспечить предоставление системные услуг в параллельном режиме работы с энергосистемой (регулирование внешних перетоков/ограничение перетоков)



Особенности состава генерирующих установок и параметров элементов распределительных сетей НН

1. Обширное применение ГУ инверторного включения:

- Микротурбины и ГТУ сверхмалой и малой мощности: наибольший КПД газовой турбины как отдельного элемента ГУ достигается за счет увеличения числа оборотов до значений, допустимых по условиям механических усилий, возникающих в элементах конструкции, что требует организации либо механической развязки с генератором (редукторного звена), либо инверторного включения последнего, где последнее может быть приоритетным с точки зрения ТЭО для номинальных мощностей сетей НН
- Топливные элементы
- Солнечные элементы (различные физические принципы прямого преобразования энергии солнечного излучения)
- Гибридные электростанции

Низкая инерция

Различные передаточные функции ГУ, СНЭЭ, различные параметры фильтров присоединения

2. Применения СНЭЭ, в том числе электромеханических (маховиков)

3. Резистивный характер сопротивления протяженных элементов электрической сети ($r/x \approx 6$)

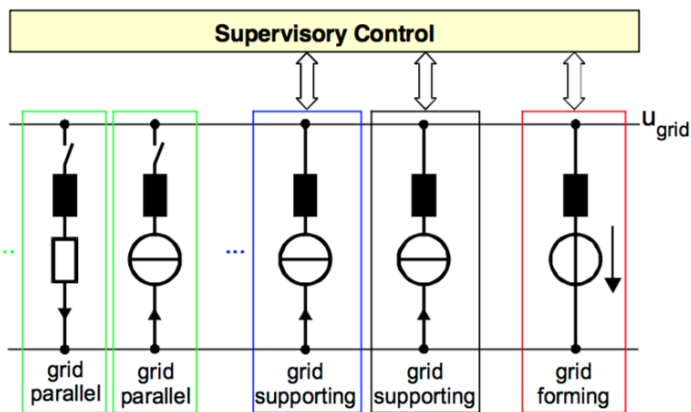
Изменение характеристики мощности системы

4. Малые расстояния между источниками энергии: возникновение значительных циркуляционных токов даже при малых отклонениях амплитуды и/или фазы напряжения от установочных значений

Астатическое регулирование невозможно

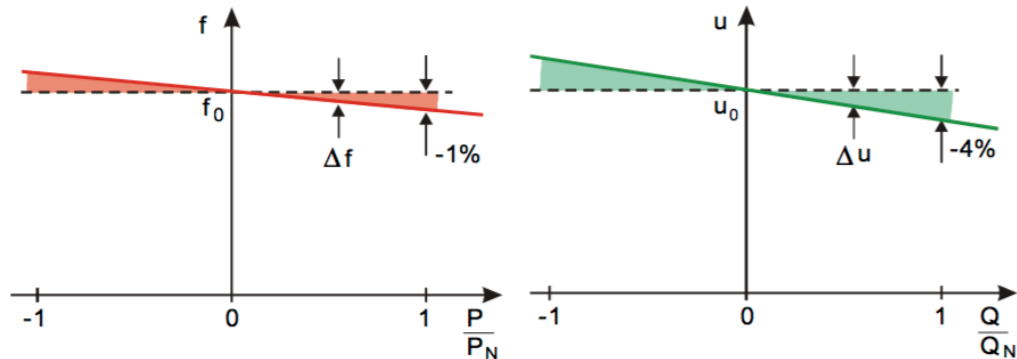


Master-slave/ Single Master Operation



- Необходимость каналов связи высокой пропускной способности – простота структуры CAP компонентного уровня
- Сложность масштабирования
- Обширный (географически) мониторинг работоспособности, что определяется наличием каналов связи, имеющих самую низкую надежность среди компонентов CAP

Статизм/ Multi-Master operation

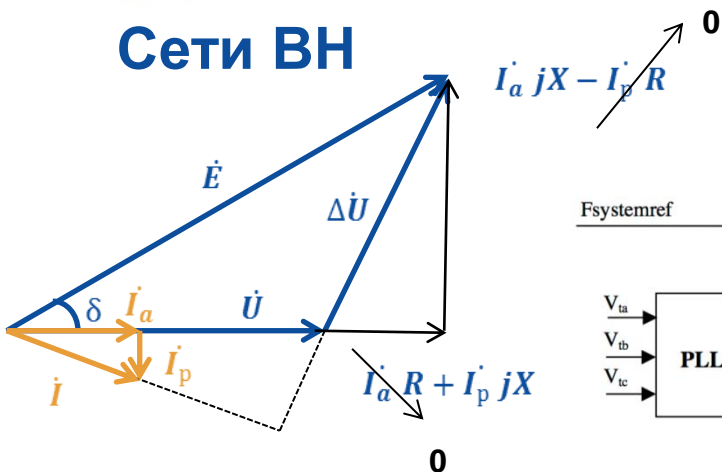


- Допустимость каналов связи малой пропускной способности для выделенных инверторов (изменение параметров статизма первичного регулирования / вторичное регулирование) – усложнение структуры CAP компонентного уровня
- Простота масштабирования
- Высокая надежность: отказы каналов связи как элемента системы не приводят в продолжительном режиме работы микросистемы к отказу всей системы
- Локализация мониторинга работоспособности
- Увеличение резервирования генерирующих мощностей в изолированном режиме работы микросистемы (~числу инверторов напряжения)



Организация статического регулирования частоты, напряжения, активной, реактивной мощностей

Сети ВН

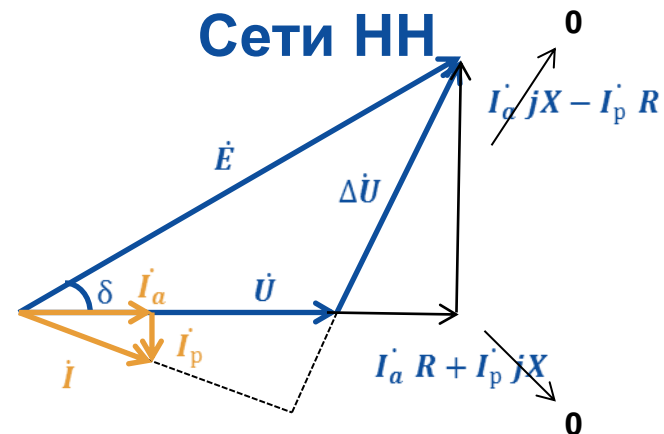


$$P = \frac{EU}{X} \sin \delta$$

$$Q = \frac{E^2}{X} - \frac{EU}{X} \cos \delta$$

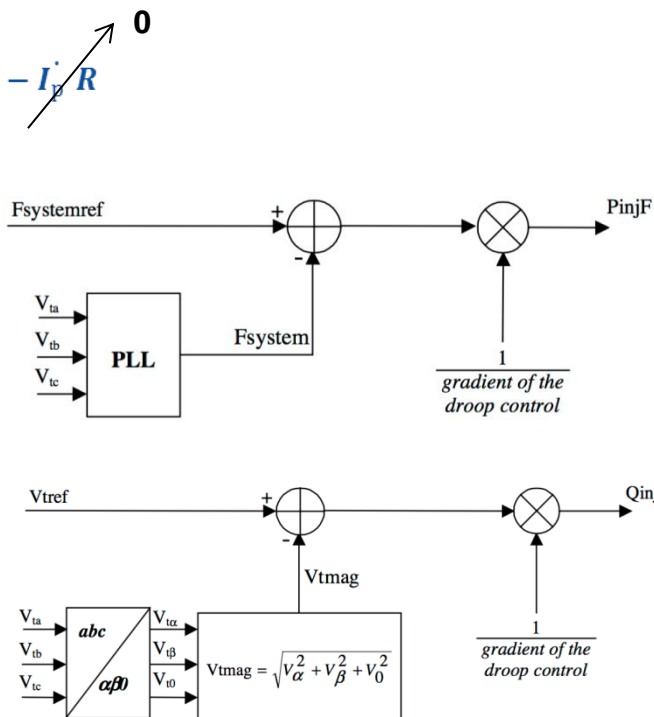


Сети НН



$$P = \frac{E^2}{R} - \frac{EU}{R} \cos \delta$$

$$Q = \frac{EU}{R} \sin \delta$$



Классический статизм:

- Связанное регулирование реактивной мощности, недопустимое ввиду близкого расположения генерирующих мощностей

Обратный статизм:

- Потеря возможности экономического распределения нагрузки (ГРАМ по расходным характеристикам)
- Потеря алгоритмической общности регулирования с вращающимися электрическими машинами прямого включения сети НН
- Потеря алгоритмической общности регулирования с внешней сетью



Первичные электрические сети

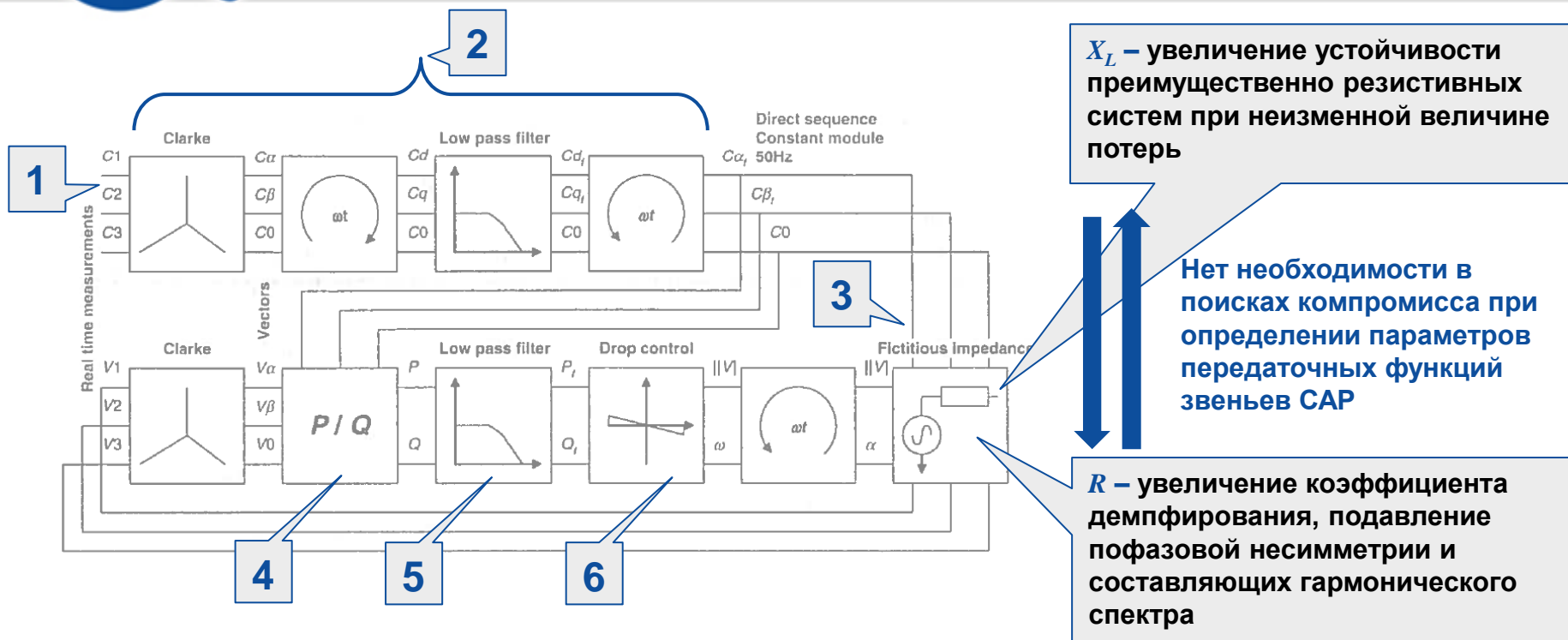
- Проектирование распределительных сетей НН и сетей внутреннего электроснабжения объектов исходя из необходимости поддержания напряжения во всех возможных схемно-режимных ситуациях в пределах допустимых значений при организации классического статизма инверторов
- Увеличение нормальной индуктивности сети путем установки сосредоточенных элементов накопления магнитной энергии

Вторичные электрические сети

- Алгоритмическое решение, отвечающее классически применяемому статизму и обеспечивающее:
 - разделение каналов управляющих воздействий P/f , Q/U
 - загрузку ГУ в зависимости от установленной мощности
 - универсальность применения в сетях с различными r/x
 - эмулируемую механическую инерцию вращающихся масс
 - адаптацию к динамическим характеристикам ГУ (включая фильтры присоединения)
 - по возможности, легкость параметризации с исключением компромиссного анализа областей параметрической устойчивости изолированной микроэнергосистемы



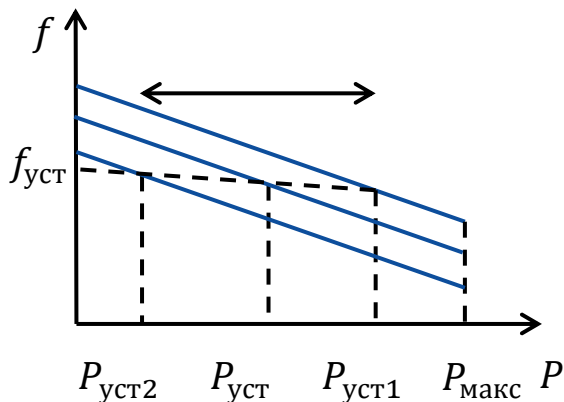
Алгоритм «виртуального внутреннего сопротивления» САР частоты и напряжения инверторов



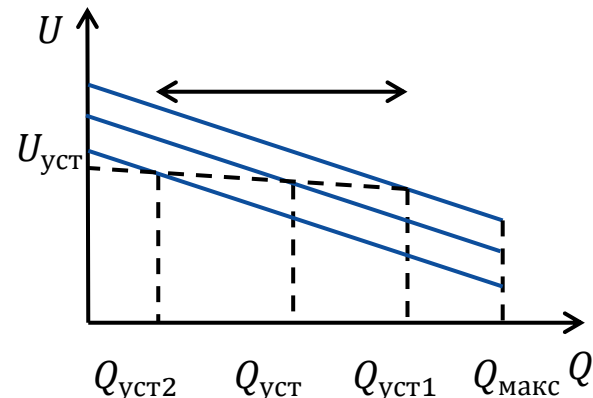
1. Измерение мгновенных значений выходного тока инвертора
2. Выделение прямой последовательности с целью исключения составляющих гармонического спектра и пофазовой несимметричности
3. Вычисление напряжения за виртуальным внутренним сопротивлением
4. Расчет активной и реактивной мощности в полярной системе координат (стационарная двумерная)
5. Фильтрация сигнала ФНЧ, АЧХ которого используется для эмулирования механической инерции ГУ
6. Статизм, определяющий выходные частоту и напряжение



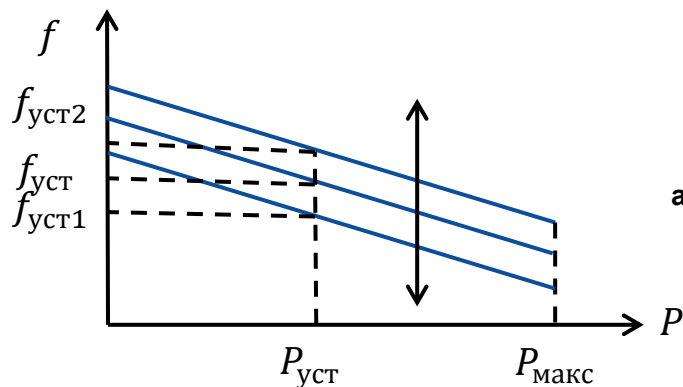
Горизонтальное смещение внешних характеристик регулируемого объекта (f/U-control)



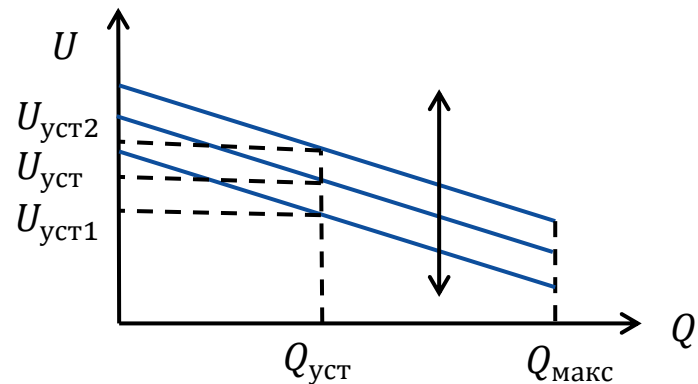
1. Предоставление системных услуг:
 - вращающийся (горячий) резерв активной мощности
 - динамическая поддержка системы в режимах со снижением напряжения в точке общего присоединения (длинный фидер)
2. Обеспечение нулевого перетока с системой в момент, предшествующий превентивному выделению
3. Синхронизация с внешней сетью
4. Возвращение рабочих точек частоты и напряжения к номинальным значениям после изменения схемно-режимной обстановки в изолированном режиме микроэнергосистемы: запасы энергии СНЭЭ ограничены.



Вертикальное смещение внешних характеристик регулируемого объекта (PQ-control)



Астатическое регулирование активной и реактивной мощностей выделенных инверторов





Выводы

Технико-экономически эффективным подходом к организации автоматического регулирования электроэнергетических режимов ГУ, СНЭЭ микроэнергосистем является статизм

Необходимо учитывать индивидуальные динамические характеристики источников энергии при организации регулирования параметров электроэнергетических режимов

Поставленная проблема отдельного регулирования напряжения в преимущественно резистивных сетях НН, характеризующихся также близким расположением генерирующих мощностей, решается в сторону применения классического статизма, что обеспечивает ГРАМ и общность регулирования с ГУ прямого включения

Решение проблемы связанного регулирования напряжения и поддержание последнего в пределах диапазона допустимых значений может решаться за счет целевого проектирования сетей НН и сетей внутреннего электроснабжения объектов, путем повышения нормальной физической индуктивности сети – интеграцией сосредоточенных элементов накопления магнитной энергии, или виртуальной индуктивности сети – алгоритмически

Вторичное регулирование микроэнергосистем помимо общих задач, характерных для объектов централизованного электроснабжения электроэнергетических систем, также решает задачи выделения и синхронизации разной масштабности, поэтому должно выполняться преимущественно централизованно

**Главный специалист
отдела оперативного контроля энергообъектов
ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС»
Сергей Геннадьевич Музалев**

ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС»

Москва, Славянская площадь, д. 2/5, стр. 5

Тел./факс: +7 495 727 38 76

E-mail: post@ti-ees.ru

