Совместное заседание секций технического регулирования в электроэнергетике и секции тепловых электростанций Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС», подкомитета ПК-5/ТК016 «Электроэнергетика»
г. Москва, 8 июля 2015 г.

Нормативно-техническое регулирование интеграции источников распределенной генерации, включая ВИЭ, в энергосистему

Кучеров Ю.Н., Березовский П.К. (ОАО «СО ЕЭС»)
Илюшин П.В. (ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС»),
Веселов Ф.В. (ИНЭИ РАН)

Березовский П.К.
berezovskiy-pk@so-ups.ru

Содержание презентации

1. Терминология и Типизация Распределенной Генерации
2. Основные зарубежные НТД регламентирующие вопросы подключения объектов РГ к ЭЭС
3. Общие тенденции в сфере технического регулирования работы источников объектов РГ в ЭЭС
4. Проблемные аспекты широкомасштабной интеграции объектов РГ в ЭЭС
5. Подходы к регламентации требований к объектам РГ (Германия)
6. Подходы к регламентации требований к объектам РГ (Дания)
7. Подходы к регламентации требований к объектам РГ (ENTSO-E)
8. Подходы к регламентации требований к объектам РГ (IEEE 1547)
9. Требования в части допустимых диапазонов работы генерирующих установок по частоте
10. Требования к устойчивости при провалах напряжения
11. Требования к участию в регулировании частоты и перетоков активной мощности в ЭЭС
12. Требования к регулированию напряжения и реактивной мощности
13. Влияние отсутствия должной регламентации требований к объектам РГ на надежность функционирования объединенной ЭЭС континентальной Европы (опыт ENTSO-E)
14. Агрегированная структура требований к объектам РГ
15. Выводы

Терминология Распределенной Генерации

Микроэнергосистема – электрическая распределительная система, содержащая нагрузку и *распределенные источники энергии* (DER), которая может работать скоординированно и контролируемо как будучи присоединенной к основной энергосистеме, так и в изолированном режиме

Распределенные источники энергии - *распределенная генерация*, системы накопления электроэнергии, управляемая нагрузка

Распределенные генерация - генерация подключенная к распределительной сети на среднем или низком напряжении.

Генерация, подключенная к передающей сети высокого напряжения, включая мощные ветропарки к этой категории не относятся

cigré ERCOT EIRGRID EPRI IEEE Advancing Technology for Humanity nationalgrid

Система накопления электроэнергии - система, включающая в себя два основных компонента: накопитель электроэнергии и силовую преобразовательную электронику, а также вспомогательное оборудование: система мониторинга, система управления, электротехническое оборудование, строительные конструкции и др.

Распределенные источники энергиим (DER)
Объекты распределенной генерации (DG)
Системы накопления (ESS) + Электротранспорт (EV)
Управляемая нагрузка (DR)

Типизация Распределенной Генерации

Зарубежные НТД в сфере регулирования источников Распределенной Генерации в составе ЭЭС

1) Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators. // European Network of Transmission System Operators for Electricity // ENTSO-E. EC 2013 – обязательные общеевропейские требования по подключению всех типов генерирующих установок

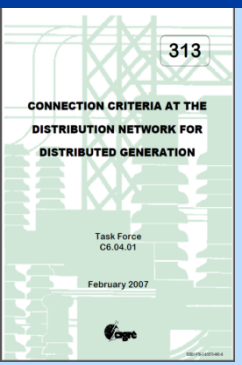
2) IEEE 1547 (2003 – 2014) – серия международных стандартов Института инженеров электротехники и электроники, регламентирующих вопросы присоединения распределенных источников энергии к ЭЭС. К распределенным источникам энергии помимо Распределенной Генерации также относятся системы накопления электроэнергии

3) Generating Plants Connected to the Network Guideline for generating plants' connection to and parallel operation with the Medium-Voltageum-voltage network / BDEW, Германия 2008 – обязательные требования по подключению генерирующих установок (ВИЭ в т.ч. малые ГЭС и когенерация) к сетям среднего напряжения

4) VDE-AR-N 4105 Generators connected to the low-voltage distribution network - Technical requirements for the connection to and parallel operation with low-voltage distribution networks / VDE, Германия 2011 - минимальные технические требования для подключения и параллельной работы генерирующих установок с распределительными сетями низкого напряжения

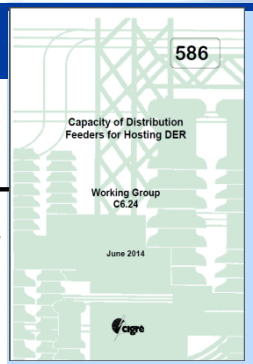
5) Дания: Technical regulation 3.2.1 for electricity-generating facilities of 16 A per phase or lower
Technical regulation 3.2.2 for PV power plants with a power output above 11 kW
Technical regulation 3.2.3 for thermal power station units of 1.5 MW or higher
Technical regulation 3.2.4 for thermal power station units larger than 11 kW and smaller than 1.5 MW
Technical regulation 3.2.5 for wind power plants with a power output above 11 kW

Технические Брошюры CIGRE



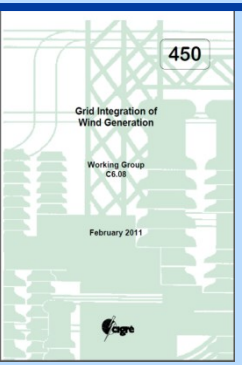
ТВ 313 (2007)

- *Критерии присоединения объектов РГ и оснащения их устройствами РЗ*
- *Международные стандарты в контексте РГ*
- *Упрощенные методики оценки подключения РГ*
- *Международные практики регламентации технических требований: Испания, Германия, Австрия, Франция и др.*



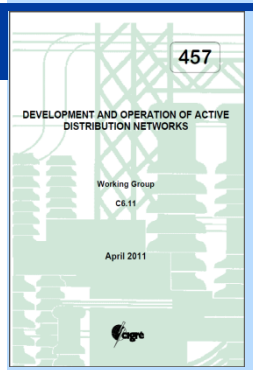
ТВ 586 (2014)

- *Изучение свойств питающих линий распределительной сети при подключении распределенных источников энергии*
- *Изучение факторов, ограничивающих пропускную способность распределительной сети с распределенными источниками энергии*



ТВ 450 (2011)

- *Воздействие ветрогенерации на ЭЭС и функционирование рынков*
- *Появление «запертых» мощностей*
- *Требования по регулированию частоты*
- *Обеспечения стабильности напряжения в передающей сети*
- *Влияние на динамическую устойчивость*
- *Воздействие на традиционную генерацию*

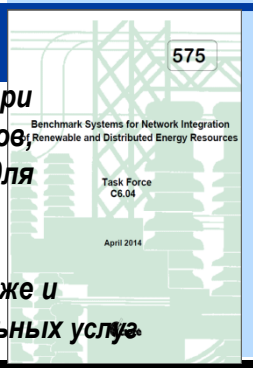


ТВ 457 (2011)

- *Общее определение активных распределительных сетей*
- *Доступные технологии*
- *Определение ограничений / барьеров*
- *Оценка фактического состояния внедрения активных распределительных сетей*
- *Рекомендации и требования для интеграции распределенных энергетических ресурсов*

ТВ 423 (2010)

- *Стандартизация интерфейсов и требований при подключении, а также гармонизация стандартов, охватывающих сертификацию оборудования для Microgrid*
- *Протоколы связи: состояние и управление*
- *Протоколы для передачи информации по продаже и покупке электрической энергии и вспомогательных услуг*



ТВ 575 (2014)

Бенчмаркинг систем для интеграции распределенных источников энергии:

- *со стороны источника (топология и управ-е)*
- *передающей сети*
- *распределительной сети среднего напряжения*
- *сетей низкого напряжения*

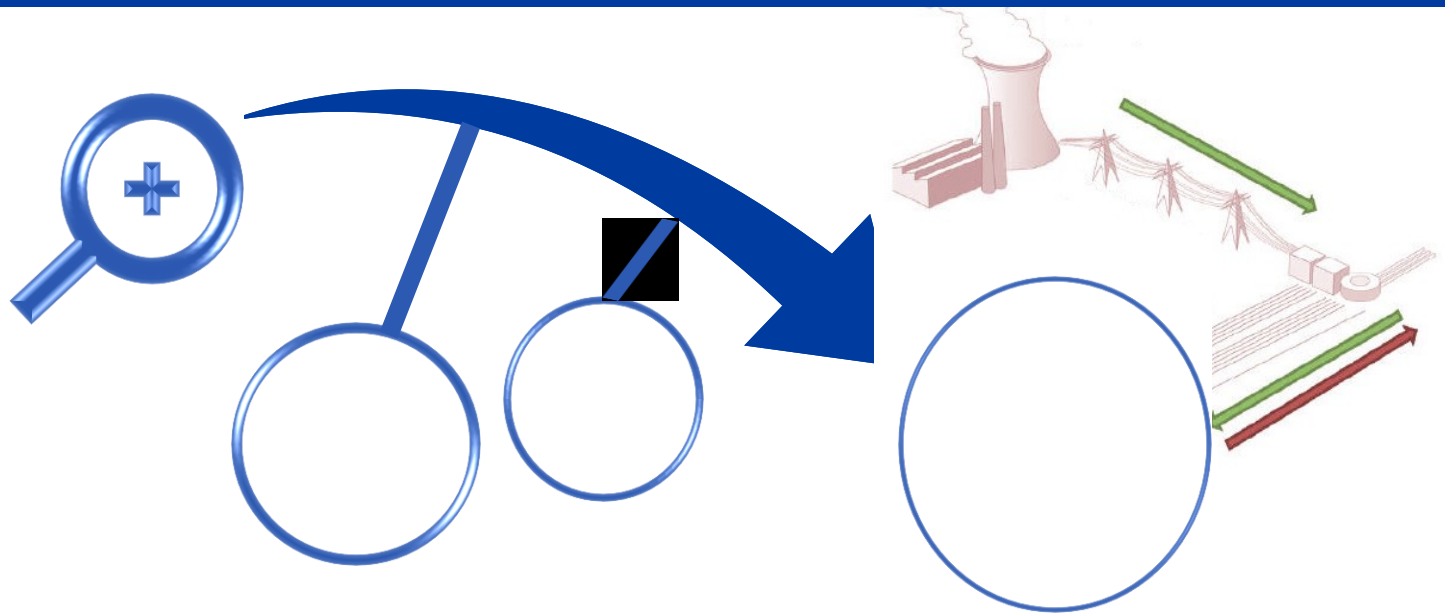
Особенности технического регулирования работы объектов РГ в составе ЭЭС

1. Отсутствие единых критериев отнесения генерирующих объектов к объектам Распределенной Генерации

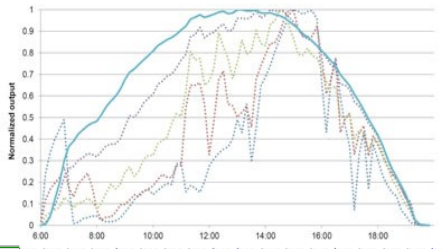
2. В регулирующих документах (кодексах операторов сетей) термин «Распределенная генерация» чаще всего не применяется и используется в материалах научно-исследовательских организаций и институтов

3. Область применения зарубежных НТД, в основном, ранжирует генерирующие установки по типу первичного источника энергии или по напряжению сети, к которой планируется подключить генерирующую установку

4. В большинстве случаев зарубежные НТД направлены на регламентацию технических требований к генерирующим установкам на базе ВИЭ (ВЭС и СЭС)



Глобальные вызовы и задачи при широкомасштабной интеграции объектов РГ в ЭЭС

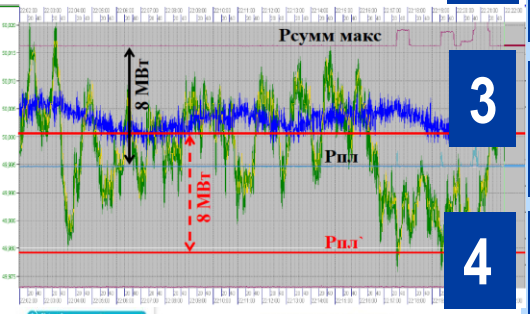


1

Обеспечение надежной работы объектов РГ в составе ЭЭС

2

Нестационарный характер производства электроэнергии РГ на базе ВИЭ и ее резервирование

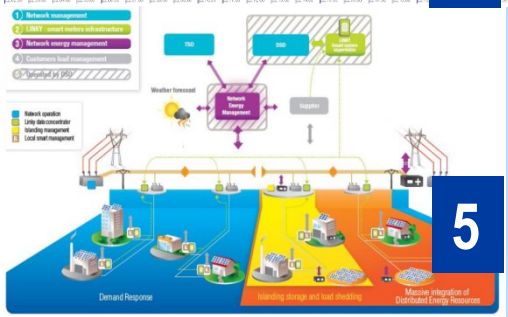


3

Изменение подходов к планированию режимов, в том числе с учетом инструментов прогнозирования выработки электроэнергии

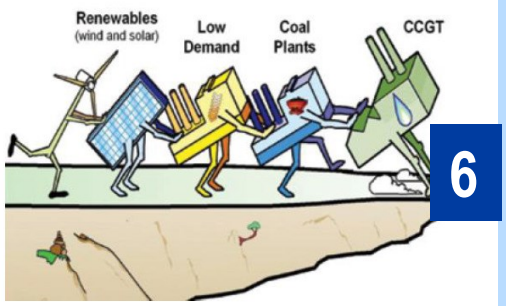
4

Рост взаимозависимости и взаимовлияния передающих и распределительных сетей с появлением обратных и быстроменяющихся перетоков мощности и изменением роли потребителя



5

Усиление координации операторов передающих и распределительных сетей, в том числе изменение принципов их взаимодействия при решении оперативных и рыночных задач, а также задач перспективного развития ЭЭС

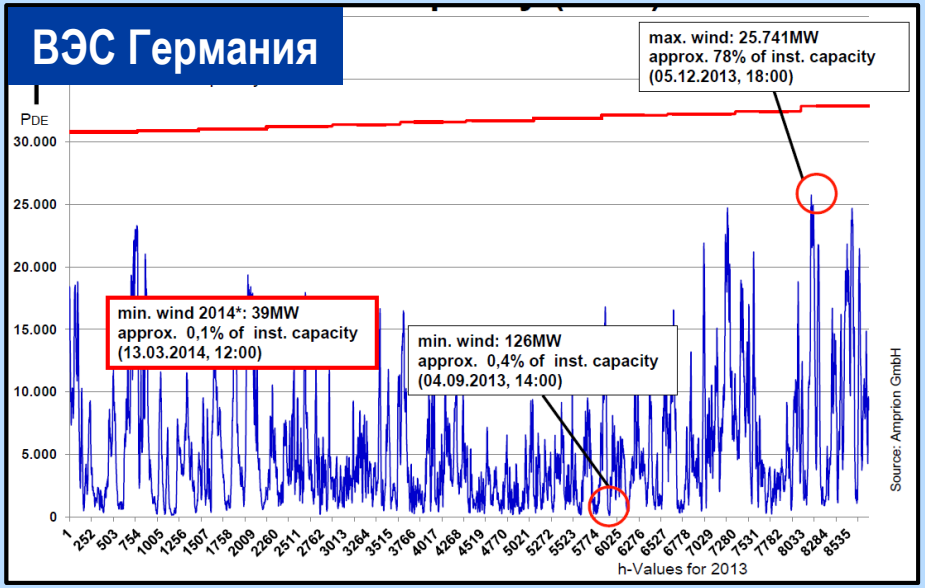


6

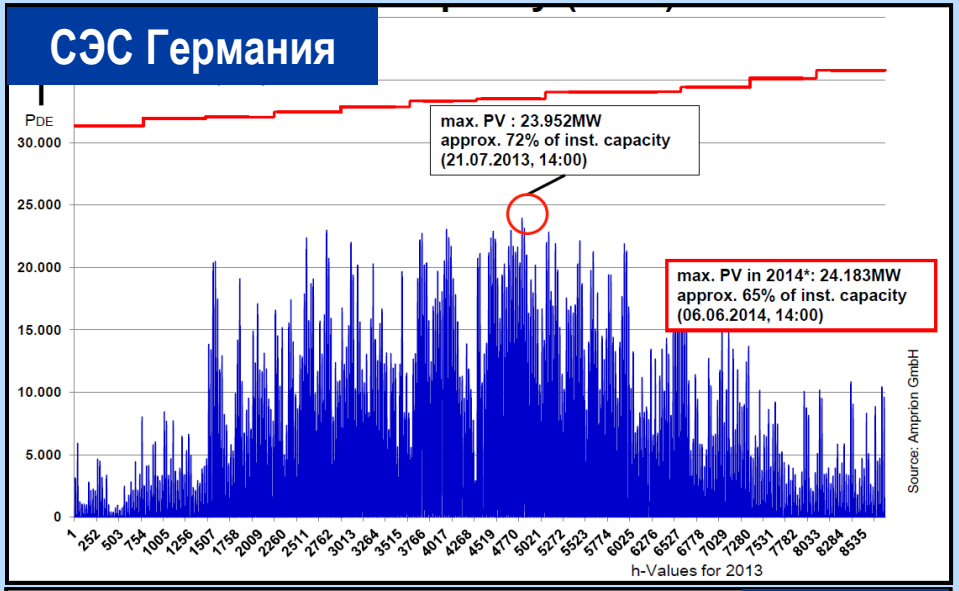
Оптимизация рыночных механизмов, с учетом вытеснения традиционной генерации на рынок оказания услуг по обеспечению системной надежности

Проблемные аспекты широкомасштабной интеграции РГ в ЭЭС (примеры Германии и Дании) (1)

ВЭС Германия

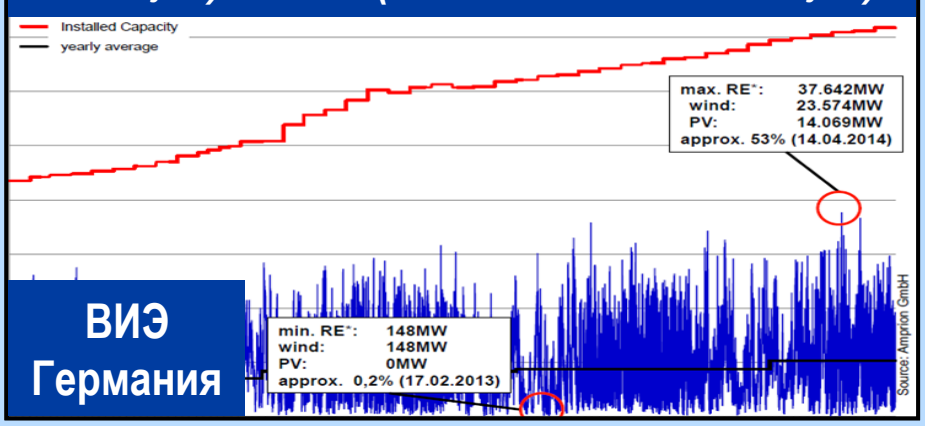


СЭС Германия

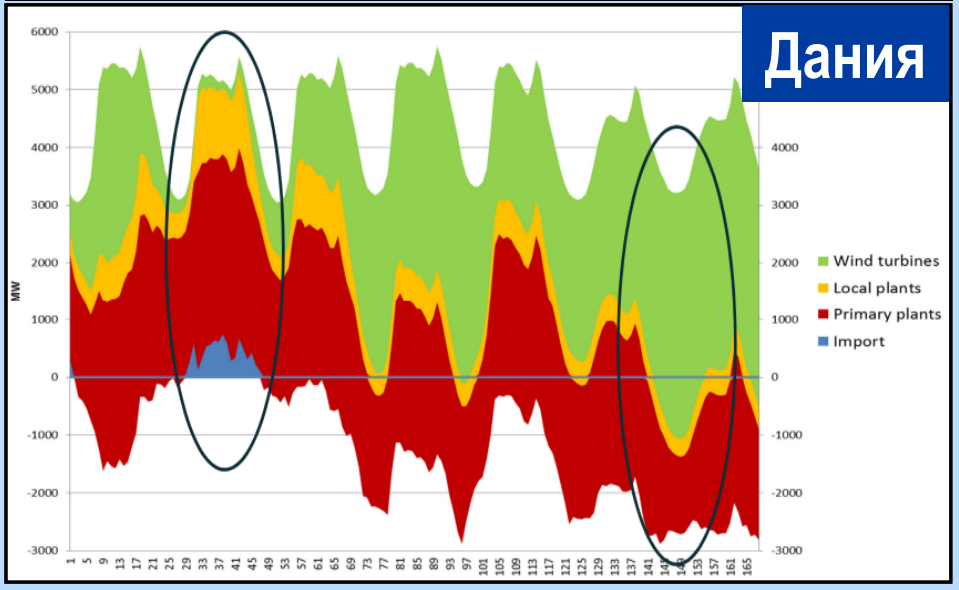


Не стационарный характер выработки ЭЭ на ВЭС (от 04,% до 78% от $P_{уст}$) и СЭС (от 0% до 72% от $P_{уст}$)

ВИЭ Германия

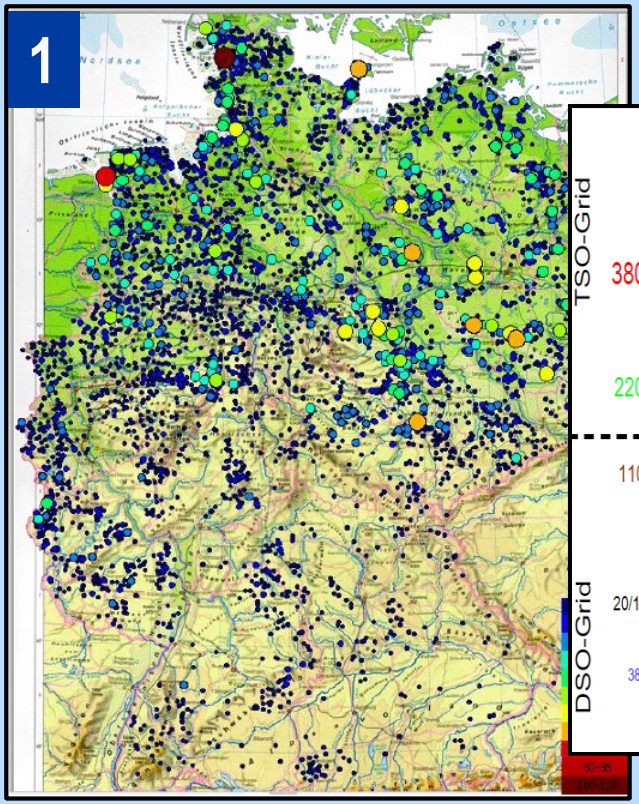


Дания

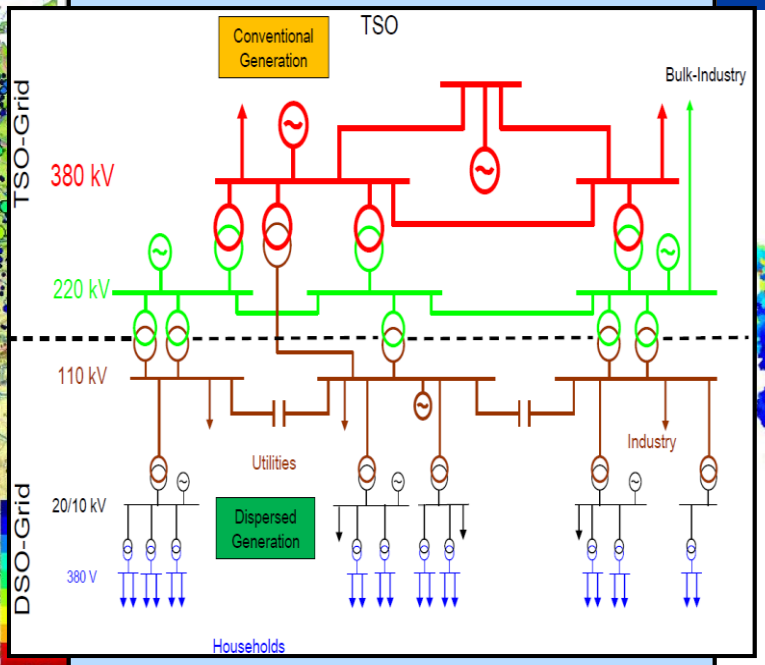


Проблемные аспекты широкомасштабной интеграции РГ в ЭЭС Германии (2)

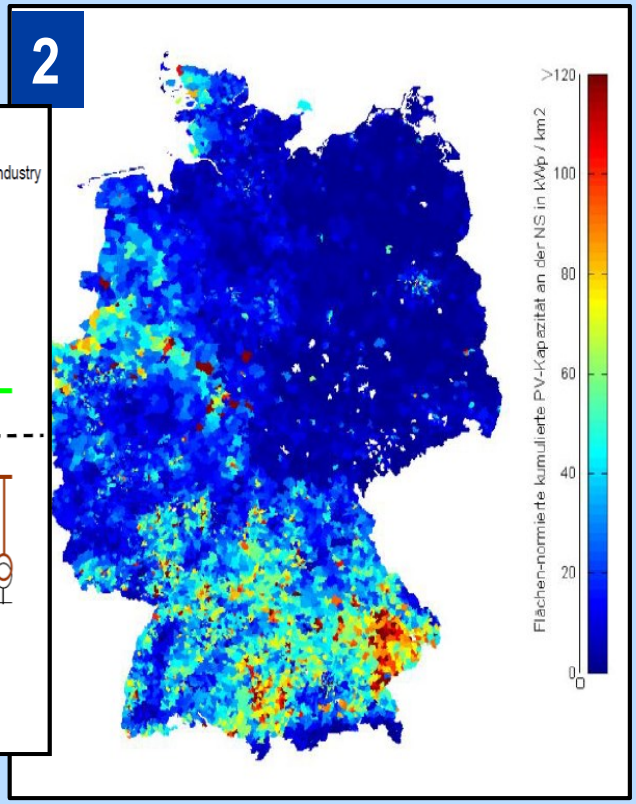
1



Распределение мощностей ВЭС



2

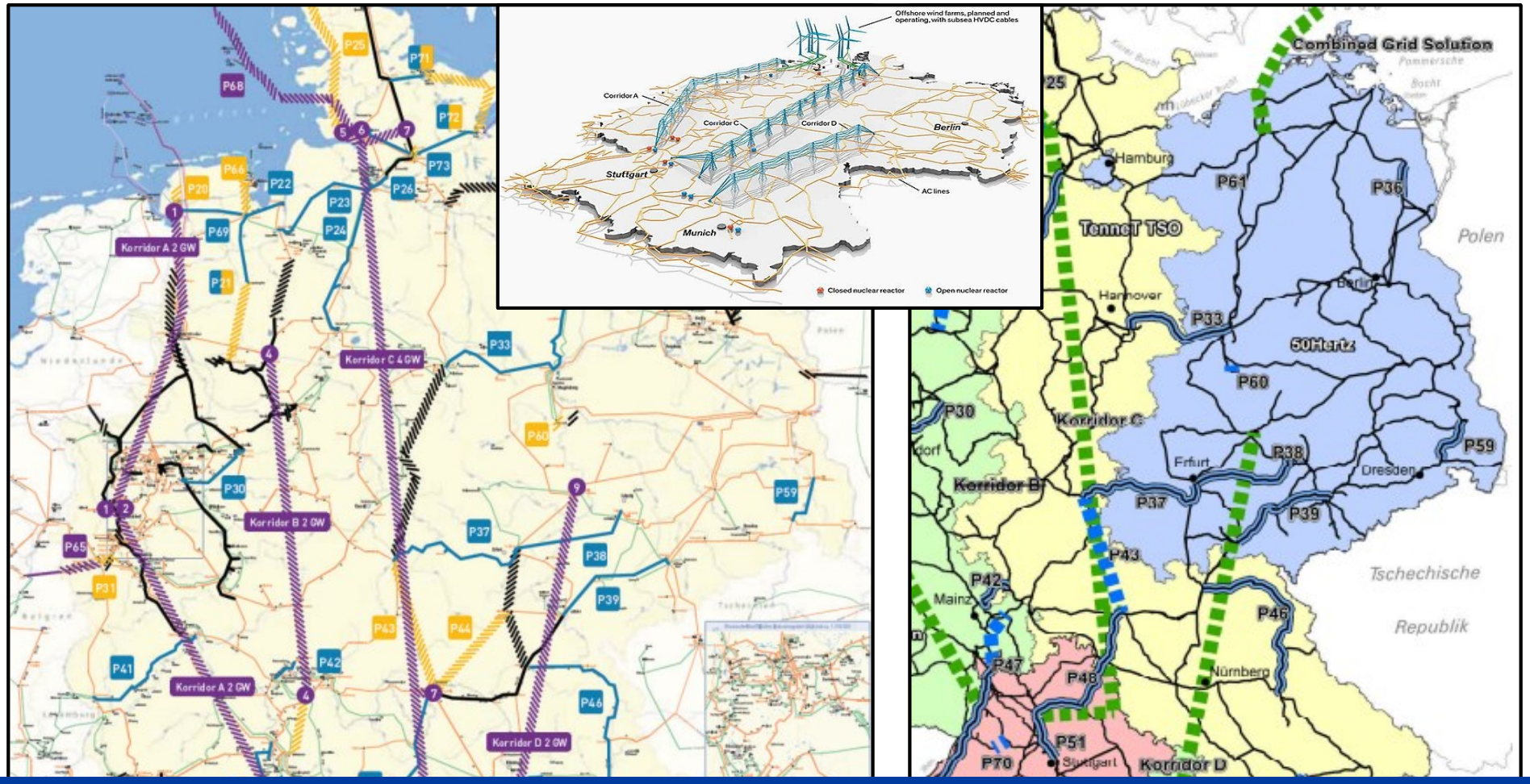


Распределение мощностей СЭС (PV)

ВЭС располагаются преимущественно в северной и восточной части Германии (1), что приводит к большим перетокам мощности с севера на юг, являющийся центром энергопотребления

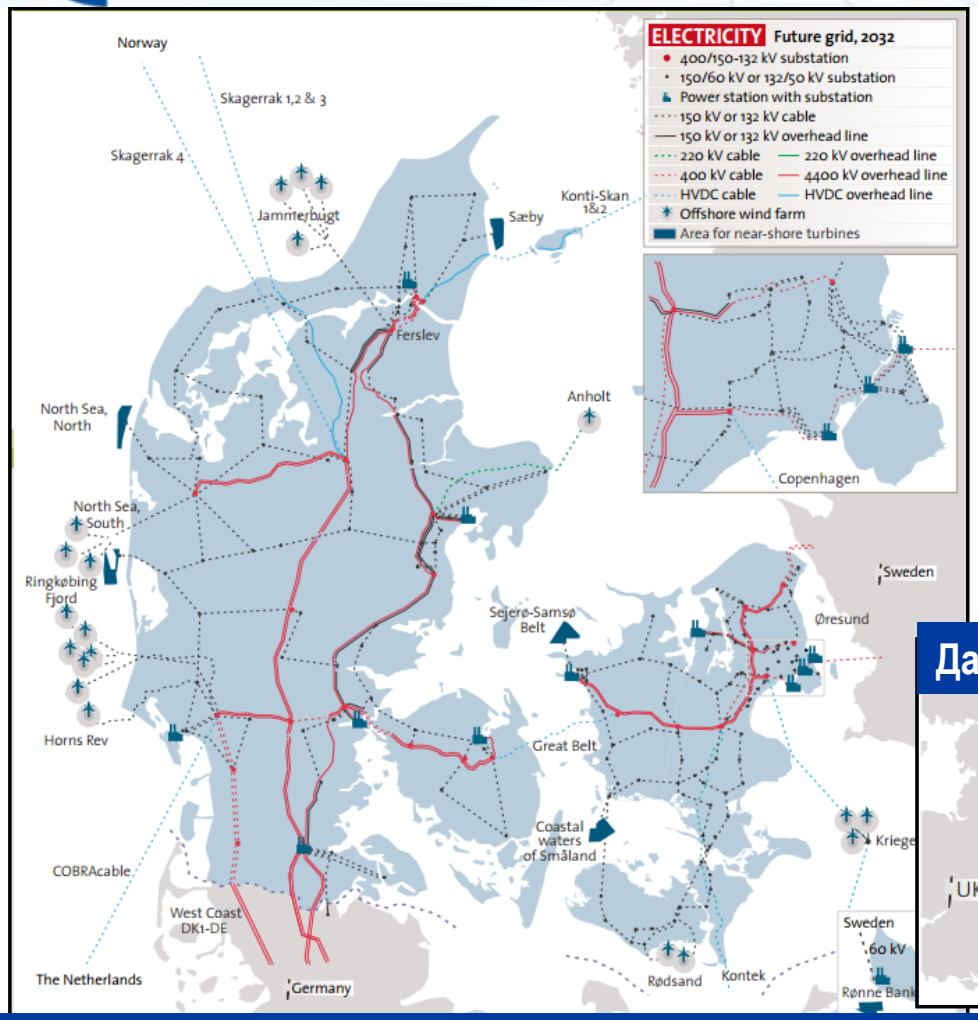
СЭС располагаются преимущественно на юге Германии (2). Широкое распространение СЭС ведет к большим перетокам мощности в распред сетях, и обратным перетокам от DSO к TSO

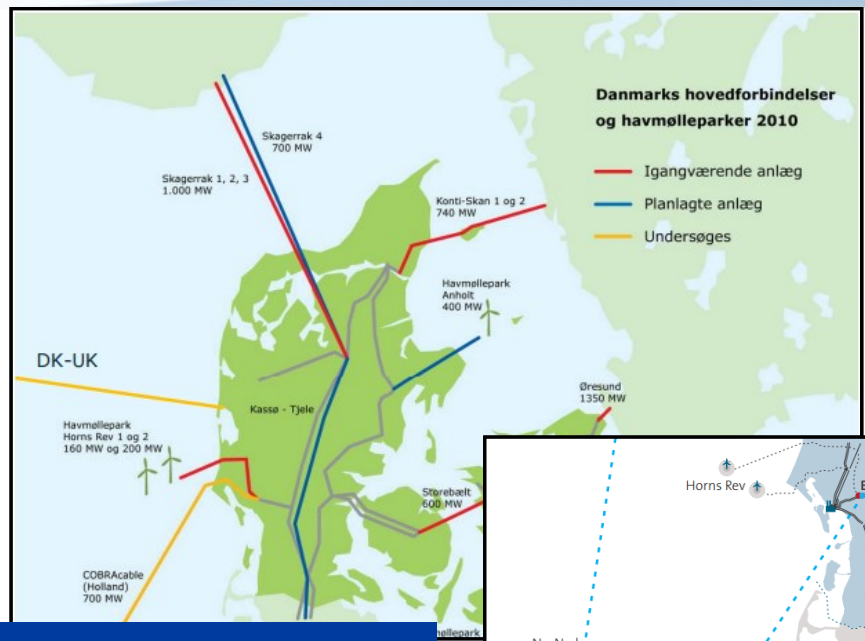
Планы развития сетевой инфраструктуры (Германия)



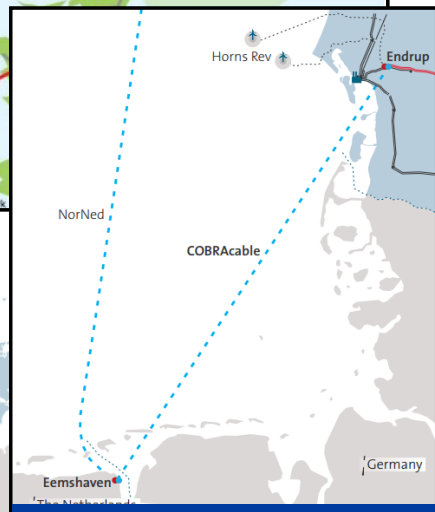
- *Строительство 4-х HVDC коридоров (10 ГВт, 2100 км в сумме)*
- *1700 км новых ЛЭП по новым направлениям будут сооружены*
- *2800 км новых ЛЭП по существующим направлениям будут сооружены*
- *1300 км существующей сетевой инфр-ры будут укреплены*

Планы развития сетевой инфраструктуры (Дания)





Дания - Великобритания



Дания - Нидерланды

Energinet.dk: Дальнейшее решение задач оптимизации стохастического характера выработки электроэнергии на объектах РГ требует усиления сетевой инфраструктуры и развития конкурентных глобальных рынков, для более гибкого использования выработанной электроэнергии

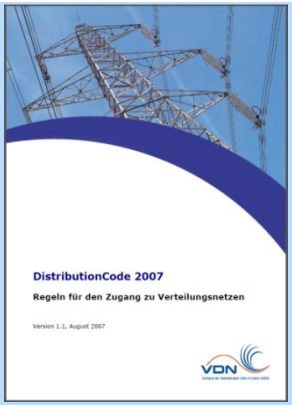
Подходы к регламентации требований к объектам Распределенной Генерации. Германия

Базовые документы системы технического регулирования Германии

Кодекс магистральных сетей

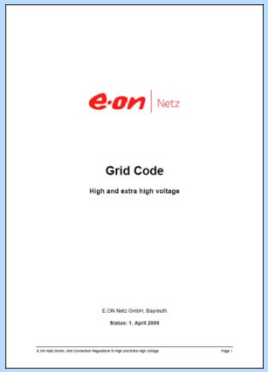
- закладывает общие принципы функционирования энергосистемы, управления режимами, планирования, подключения к ЭЭС

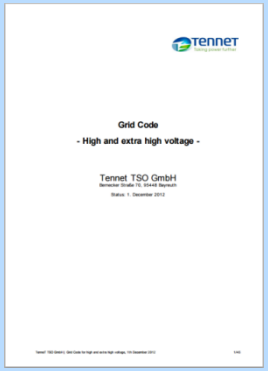
Кодекс распределительных сетей



- закладывает общие принципы работы операторов распределительной сети, функционирования распределительных сетей

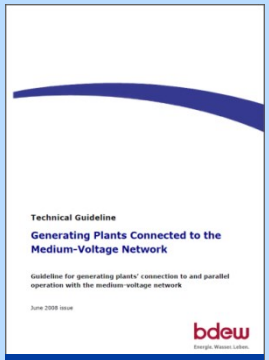
Кодексы операторов





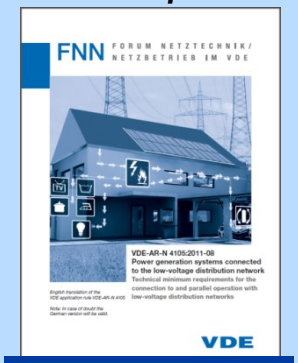
Документы регуляторов

Среднее напряжение



до 1 кВ

Низкое напряжение

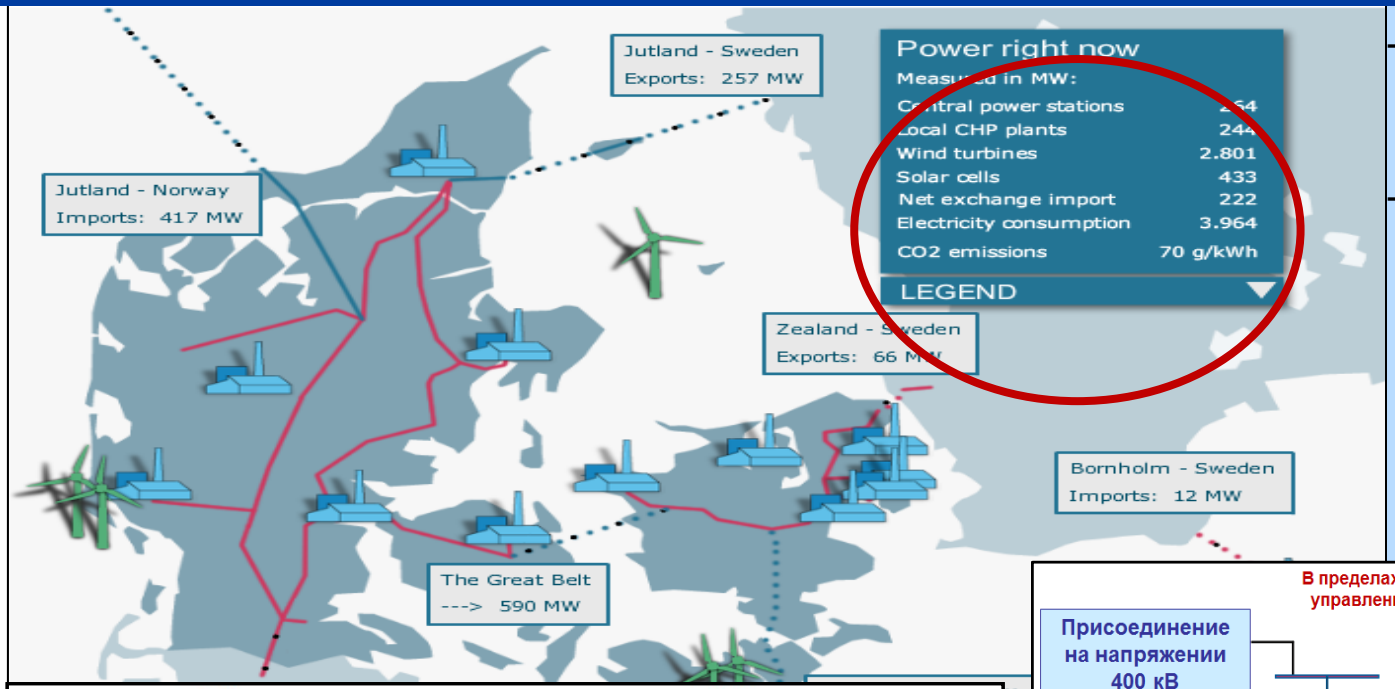


от 1 до 60 кВ

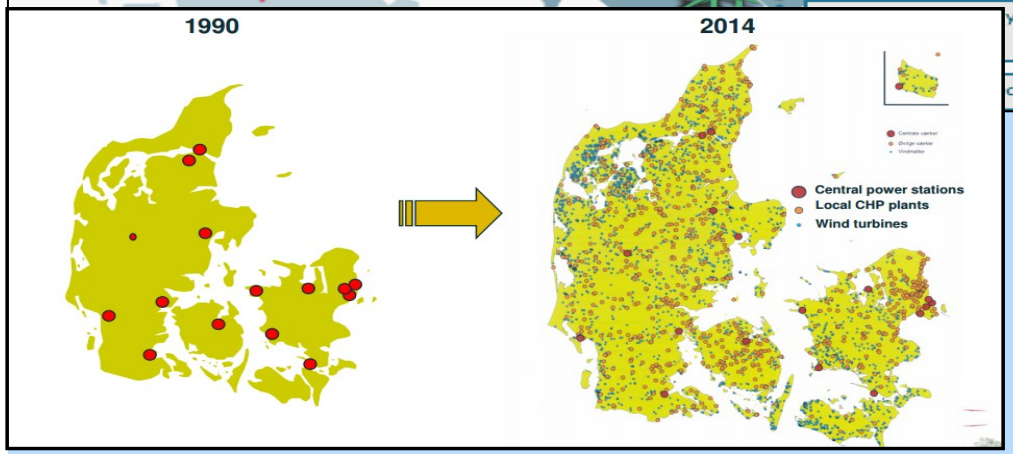
Технические требования при подключении к сетям среднего и низкого напряжения

Подходы к регламентации требований к объектам Распределенной Генерации. Дания (1)

Перетоки мощности в ЭЭС Дании (02.07.2015)



- *До 40% потребления Дании покрывается за счет ВЭС (2015 г.)*
- *Доля пр-ва ЭЭ объектами РГ в Дании сост. 45% от всей, при этом 50% от этого объема было произведено на ВЭС (2009 г.)*



Подходы к регламентации требований к объектам Распределенной Генерации. Дания (2)

Требования к системным параметрам

устанавливают требования и принципы функционирования энергосистемы в целом, в том числе к определению ее параметров, организации разгрузки, системным аспектам регулирования реактивной мощности и др.

1

Требования по присоединению к ЭЭС

устанавливают системные требования, которым электростанции должны удовлетворять для осуществления технологического присоединения, а так же уровень системных возмущений, который электростанции должны выдерживать для обеспечения надежного и продолжительного функционирования

! 2

Направления технического регулирования в электроэнергетике Дании

Требования к сетевым объектам

определяют правила ввода в работу и эксплуатации воздушных и кабельных линий, подстанций, трансформаторов, подстанций постоянного тока высокого напряжения (HVDC), а также устройств защиты, дистанционного управления регистрационной аппаратуры

3

Требования к эксплуатации ЭЭС

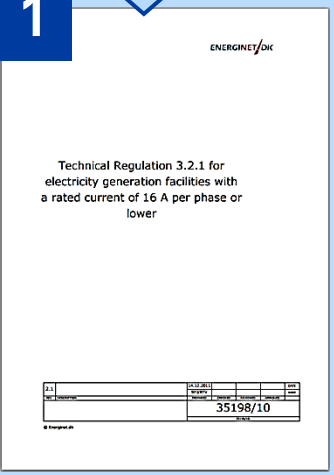
устанавливают правила, регламентирующие порядок взаимодействия собственников электростанций, операторов электростанций, субъектов, ответственных за балансирование энергосистемы, оператора передающей сети, в целях обеспечения надежного и устойчивого функционирования энергосистемы

4

Подходы к регламентации требований к объектам Распределенной Генерации. Дания (3)

Требования по присоединению к ЭЭС

1

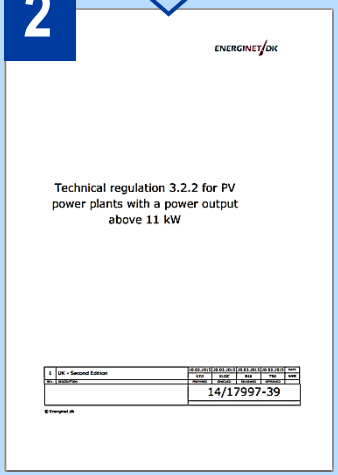

ENERGINET/DK

Technical Regulation 3.2.1 for electricity generation facilities with a rated current of 16 A per phase or lower

35198/10

Technical Regulation 3.2.1

2

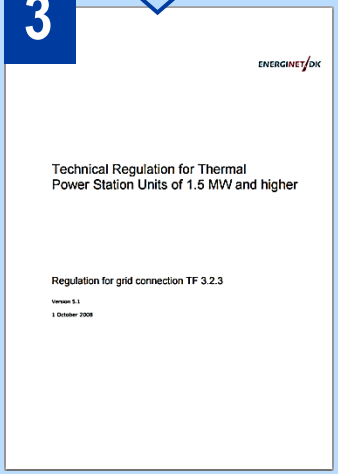

ENERGINET/DK

Technical regulation 3.2.2 for PV power plants with a power output above 11 kW

14/17997-39

Technical Regulation 3.2.2

3


ENERGINET/DK

Technical Regulation for Thermal Power Station Units of 1.5 MW and higher

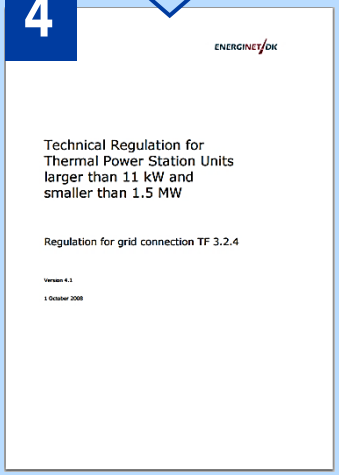
Regulation for grid connection TF 3.2.3

Version 5.1

1 October 2008

Technical Regulation 3.2.3

4


ENERGINET/DK

Technical Regulation for Thermal Power Station Units larger than 11 kW and smaller than 1.5 MW

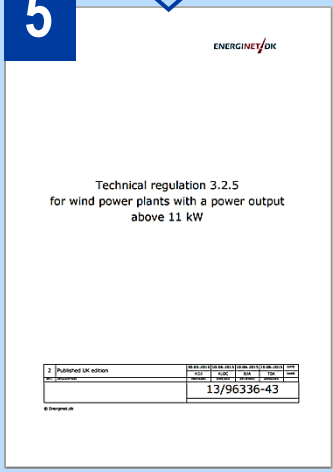
Regulation for grid connection TF 3.2.4

Version 4.1

1 October 2008

Technical Regulation 3.2.4

5


ENERGINET/DK

Technical regulation 3.2.5 for wind power plants with a power output above 11 kW

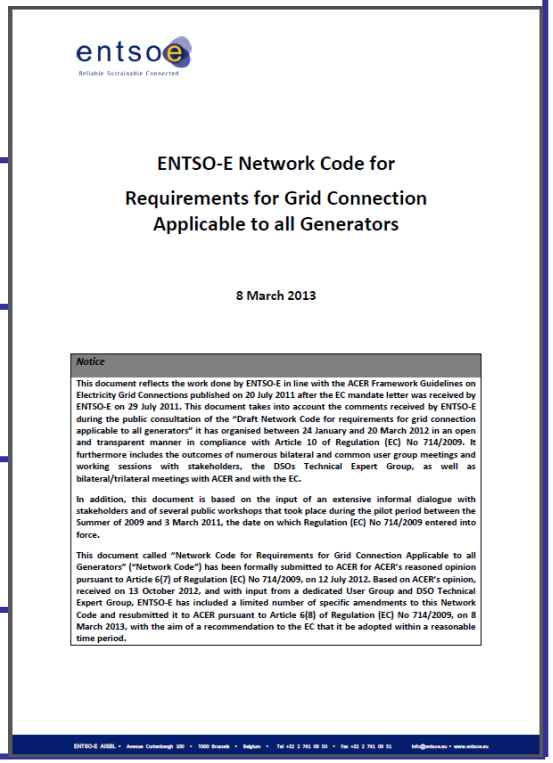
13/96336-43

Technical Regulation 3.2.5

1. *Технические требования к электрогенерирующим установкам, ток на выходе которых не превышает 16 А на фазу*
2. *Технические требования к фотоэлектрическим установкам, мощностью более 11 кВт (A, B, C, D)*
3. *Технические требования к установкам тепловых электрических станций, мощностью 1,5 МВт и больше*
4. *Технические требования к установкам тепловых электрических станций, мощностью от 11 кВт до 1,5 МВт*
5. *Технические требования к ветроэлектростанциям, мощностью от 11 кВт и больше (A, B, C, D)*

Подходы к регламентации требований к объектам Распределенной Генерации. ENTSO-E

Синхронная зона	A (от 0,8 кВт)	B	C	D
Континентальная Европа	1 МВт	50 МВт	75 МВт	>C
Скандинавия	1,5 МВт	10 МВт	30 МВт	>C
Великобритания	1 МВт	10 МВт	30 МВт	>C
Ирландия	0,1 МВт	5 МВт	10 МВт	>C
Балтия	0,5 МВт	10 МВт	10 МВт	>C



entsoe
Reliable Sustainable Connected

ENTSO-E Network Code for
Requirements for Grid Connection
Applicable to all Generators

8 March 2013

Notice

This document reflects the work done by ENTSO-E in line with the ACER Framework Guidelines on Electricity Grid Connections published on 20 July 2011 after the EC mandate letter was received by ENTSO-E on 29 July 2011. This document takes into account the comments received by ENTSO-E during the public consultation of the "Draft Network Code for requirements for grid connection applicable to all generators" it has organised between 24 January and 20 March 2012 in an open and transparent manner in compliance with Article 10 of Regulation (EC) No 714/2009. It furthermore includes the outcomes of numerous bilateral and common user group meetings and working sessions with stakeholders, the DSOs Technical Expert Group, as well as bilateral/trilateral meetings with ACER and with the EC.

In addition, this document is based on the input of an extensive informal dialogue with stakeholders and of several public workshops that took place during the pilot period between the Summer of 2009 and 3 March 2011, the date on which Regulation (EC) No 714/2009 entered into force.

This document called "Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators" ("Network Code") has been formally submitted to ACER for ACER's reasoned opinion pursuant to Article 6(7) of Regulation (EC) No 714/2009, on 12 July 2012. Based on ACER's opinion, received on 13 October 2012, and with input from a dedicated User Group and DSO Technical Expert Group, ENTSO-E has included a limited number of specific amendments to this Network Code and resubmitted it to ACER pursuant to Article 6(8) of Regulation (EC) No 714/2009, on 8 March 2013, with the aim of a recommendation to the EC that it be adopted within a reasonable time period.

ENTSO-E AISBL • Avenue Cortenbergh 100 • 1000 Brussels • Belgium • Tel +32 2 741 09 50 • Fax +32 2 741 09 51 info@entsoe.eu • www.entsoe.eu

Подключаются к сетям, напряжением до 110 кВ (включительно)

Подключаются к сетям, напряжением выше 110 кВ

Подходы к регламентации требований к объектам Распределенной Генерации. IEEE 1547 (1)

Согласно Статье 1254 Федерального Закона об энергетической политике США 2005 г. (Energy Policy Act), услуги по технологическому присоединению распределенных источников энергии должны осуществляться на базе соответствующих стандартов IEEE серии 1547, в т.ч. по причине возможности их периодического обновления

Система присоединения*

Генерирующее об-е

*Распределенный источник энергии (DR)**

Преобразовательное об-е

4.0 Interconnection Technical Specifications and Requirements:
- General Requirements
- Response to Area EPS Abnormal Conditions
- Power Quality
- Islanding

5.0 Test Specifications and Requirements:
- Design Test
- Production Tests
- Interconnection Installation Evaluation
- Commissioning Tests
- Periodic Interconnection

Территориальная или локальная энергосистема

Стандарт формулирует общие требования к распределенным источникам энергии при их интеграции в ЭЭС (синхронизация, регулирование напряжения, качество электроэнергии, заземление и др.)

**Система присоединения – множество оборудования, используемого для подключения DR к энергосистеме, рассматриваемое как группа*

Подходы к регламентации требований к объектам Распределенной Генерации. IEEE 1547 (2)

1. Overview
2. References
3. Definitions and acronyms

Область действия: DR*, мощностью до 10 МВА

4. Interconnection technical specifications and requirements

4.1 General requirements

4.2 Response to Area EPS abnormal conditions

4.3 Power quality

4.4 Islanding

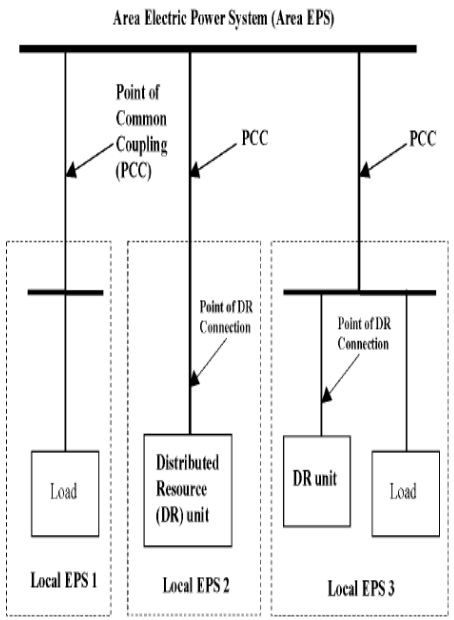
5. Interconnection test specifications and requirements

1)Voltage regulation
2)Integration with Area EPS grounding
3)Synchronization
4)Monitoring provisions
5)Isolation device
6)Protection from electromagnetic interference
7)Surge withstand performance
8)Paralleling device

1) Area EPS faults
2) Area EPS reclosing coordination
3)Voltage
4) Frequency
5) Loss of synchronism
6) Reconnection to Area EPS

IEEE Std 1547™(2003 and 2014 Amendment 1) Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems

- **IEEE Std P1547™(full revision)** Draft Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Power Systems Interfaces
- **IEEE Std 1547.1™(2005)** Standard for Conformance Tests Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
  - **IEEE Std P1547.1a™** Draft Amendment 1
- **IEEE Std 1547.2™(2008)** Application Guide for IEEE 1547 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
- **IEEE Std 1547.3™(2007)** Guide for Monitoring Information Exchange, and Control of Distributed Resources with Electric Power Systems
- **IEEE Std 1547.4™(2011)** Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems
- **P1547.5™** Draft Technical Guidelines for Interconnection of Electric Power Sources Greater than 10MVA to the Power Transmission Grid -- **Withdrawn**
- **IEEE Std 1547.6™(2011)** Recommended Practice for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems Distribution Secondary Networks
- **IEEE Std 1547.7™ (2013)** Guide to Conducting Distribution Impact Studies for Distributed Resource Interconnection
- **IEEE Std P1547.8™** Draft Recommended Practice for Establishing Methods and Procedures that Provide Supplemental Support for Implementation Strategies for Expanded Use of IEEE Std 1547



***Distributed Resources (DR)**: Sources of electric power that are not directly connected to a bulk power transmission system. DR includes both generators and energy storage technologies.

Требования регламентирующих документов Дании в части допустимых диапазонов работы генерирующих установок по частоте

Диапазон по частоте [Гц]	Тип генерирующей установки					
	Тепловые генерирующие установки мощностью от 11 кВт до 1,5 МВт	Тепловые генерирующие установки мощностью более 1,5 МВт	ВЭС мощностью от 11 до 50 кВт	ВЭС мощностью более 50 кВт	СЭС мощностью более 11 кВт	СЭС мощностью более 50 кВт
f < 47	≥ 300 мс	≥ 300 мс	≥ 200 мс	≥ 200 мс	≥ 200 мс	≥ 200 мс
47,0 < f ≤ 47,5	> 10 с	> 10 с	*не откл, мощностные хар-ки не нормированы*	≥ 30 с	*Продолжительная работа в регулировочном диапазоне*	
47,5 < f ≤ 48,0	> 30 мин	> 30 мин		≥ 30 мин		
48,0 < f ≤ 49,0	> 30 мин	> 30 мин		≥ 30 мин		
49,0 < f ≤ 50,2	*Продолжительная работа в регулировочном диапазоне*		*Продолжительная работа в регулировочном диапазоне*			
50,2 < f ≤ 50,5			*не откл, мощностные хар-ки не нормированы*			
50,5 < f ≤ 51,0	> 30 мин	> 30 мин				
51,0< f ≤ 51,5	3 мин	3 мин		≥ 30 мин		
51,5 < f ≤ 52,0	3 мин	3 мин		≥ 30 с		
52,0 < f ≤ 53,0	3 мин	3 мин	≥ 200 мс	≥ 200 мс	≥ 200 мс	≥ 200 мс
f > 53	≥ 300 мс	≥ 300 мс	-	-	-	-

На начальном этапе развития интеграции РГ в энергосистему требования к объектам РГ не регламентировались, вследствие чего к сети было подключено большое количество генерирующих установок, отключающихся при выходе значения частоты из диапазона 49,5 - 50,5 Гц, в то время как стандартным диапазоном работы по частоте для генерирующих установок является 47,5 - 51,5 Гц

Требования регламентирующих документов Германии в части допустимых диапазонов работы генерирующих установок по частоте

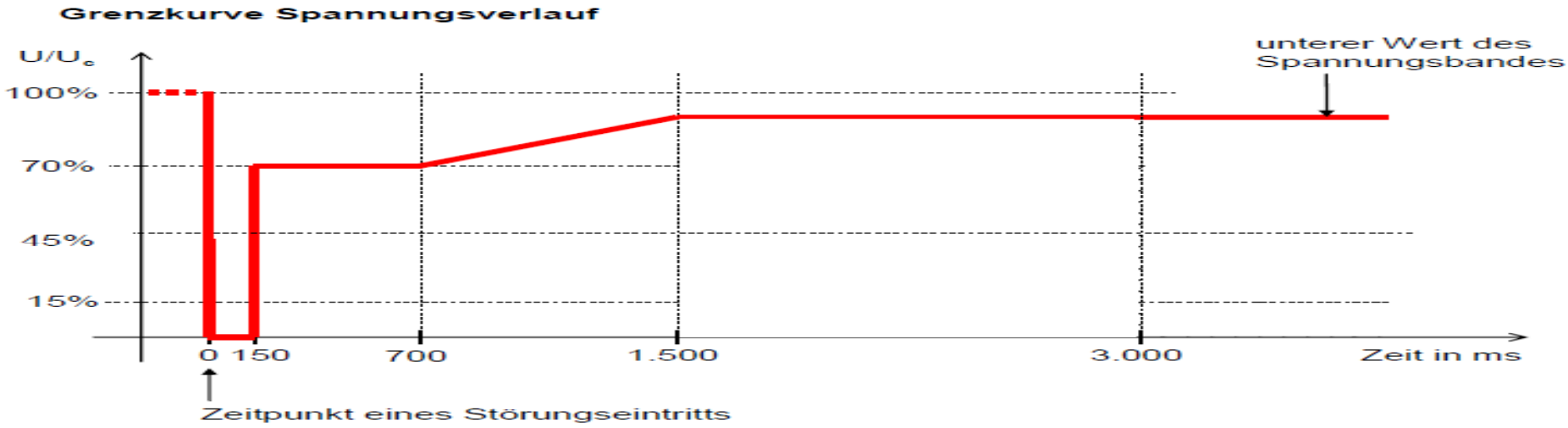
bdew
Energie. Wasser. Leben.

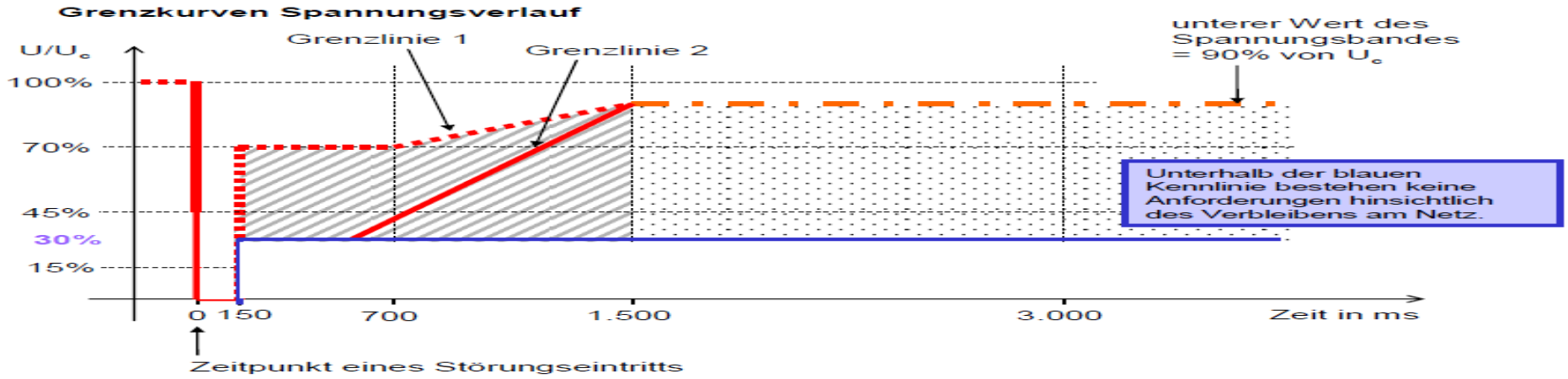
Диапазон по частоте [Гц]	Все типы генерирующих установок
f < 47,5	≤ 200 мс
47,5 < f ≤ 48,0	≥ 10 мин
48,0 < f ≤ 48,5	≥ 20 мин
48,5 < f ≤ 49,0	≥ 30 мин
49,0 < f ≤ 50,2	*Продолжительная работа в регулировочном диапазоне*
50,2 < f ≤ 50,5	
50,5 < f ≤ 51,0	≥ 30 мин
51,0< f ≤ 51,5	≥ 30 мин
f > 51,5	≤ 200 мс

entsoe

Диапазон по частоте [Гц]	Синхронная зона Континентальной Европы	Скандинавская синхронная зона	Синхронная зона Великобритании	Синхронная зона Ирландии	Синхронная зона Балтии
f < 47,0					
47,0 < f ≤ 47,5			20 сек		
47,5 < f ≤ 48,0	≥ 30 мин	30 мин	90 мин	90 мин	≥ 30 мин
48,0 < f ≤ 48,5	≥ 30 мин	≥ 30 мин	90 мин	90 мин	≥ 30 мин
48,5 < f ≤ 49,0	≥ 30 мин	≥ 30 мин	≥ 90 мин	≥ 90 мин	≥ 30 мин
49,0 < f ≤ 50,2	*Продолжительная работа в регулировочном диапазоне*				
50,2 < f ≤ 50,5					
50,5 < f ≤ 51,0					
51,0< f ≤ 51,5	30 мин	30 мин	90 мин	90 мин	≥ 30 мин
51,0< f ≤ 52,0			15 мин		

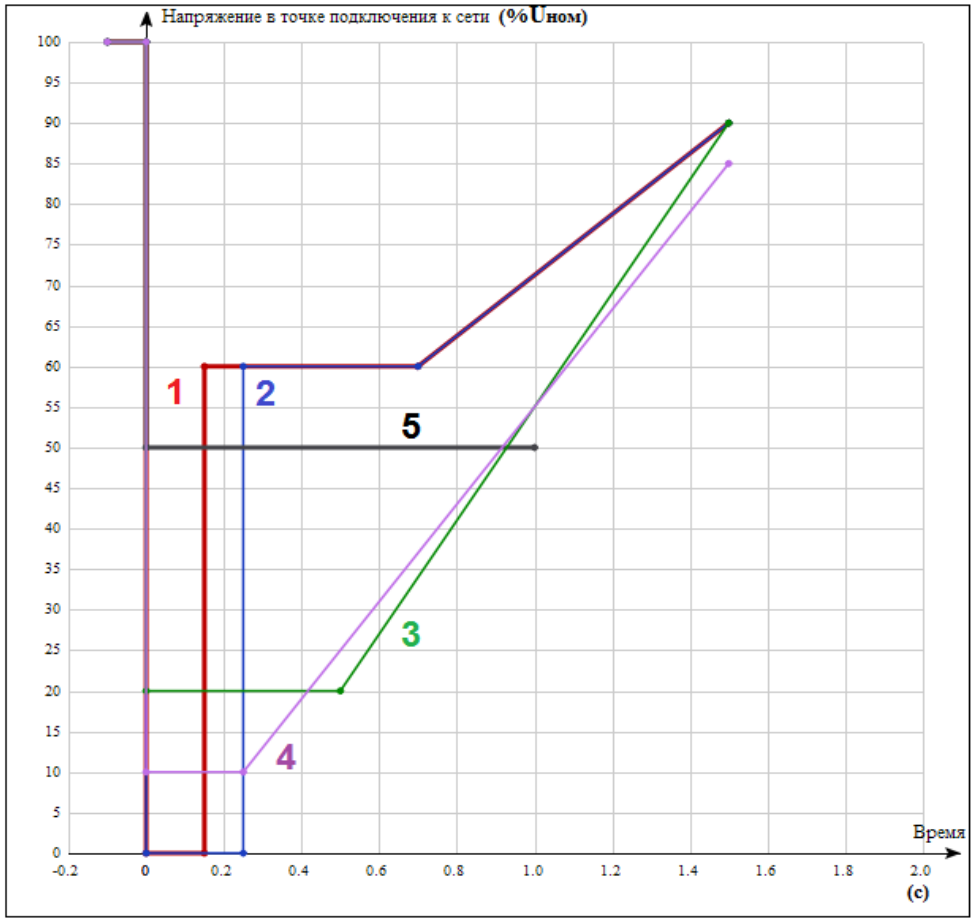
Требования к устойчивости при провалах напряжения *LVRT – Low Voltage Ride Through* в Германии*

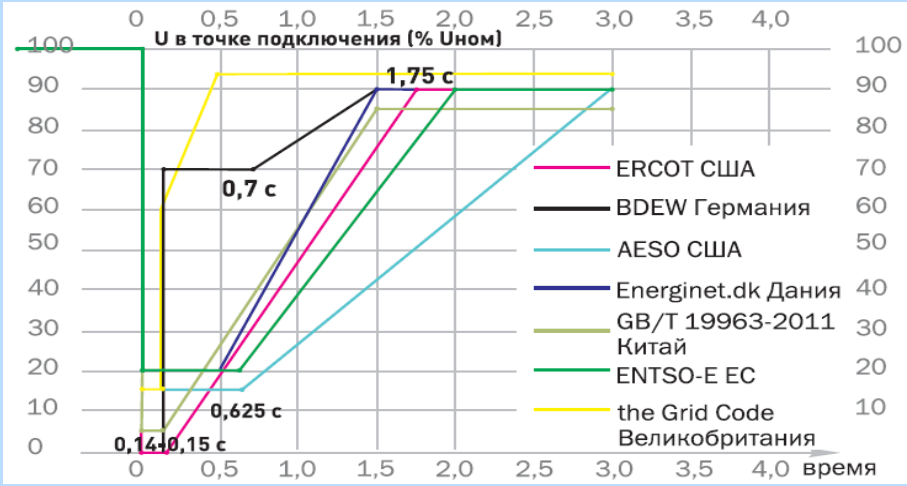


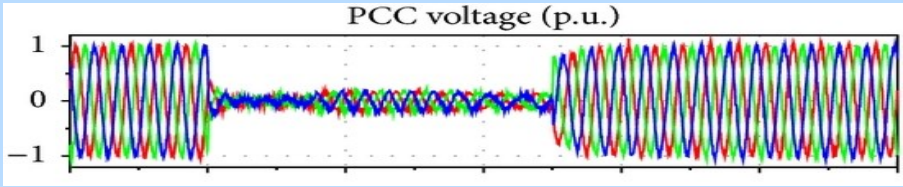


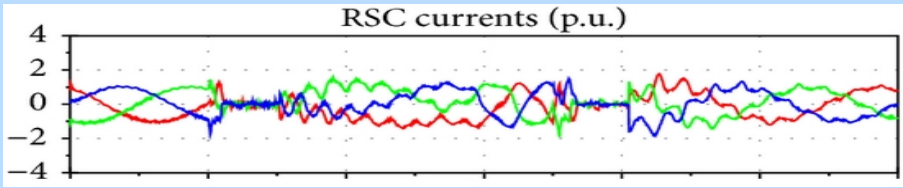
При этом с 1 января 2013 г. электростанции с газопоршневыми установками, должны обеспечивать динамическую поддержку сети вплоть до снижения напряжения в точке подключения до 30% от номинального. После падения напряжения ниже 30% электростанция может отключаться от сети. Для остальных типов генерирующего оборудования не допускается отключаться от сети при снижении напряжения вплоть до нулевого значения

Требования к устойчивости при провалах напряжения в Дании и остальном мире





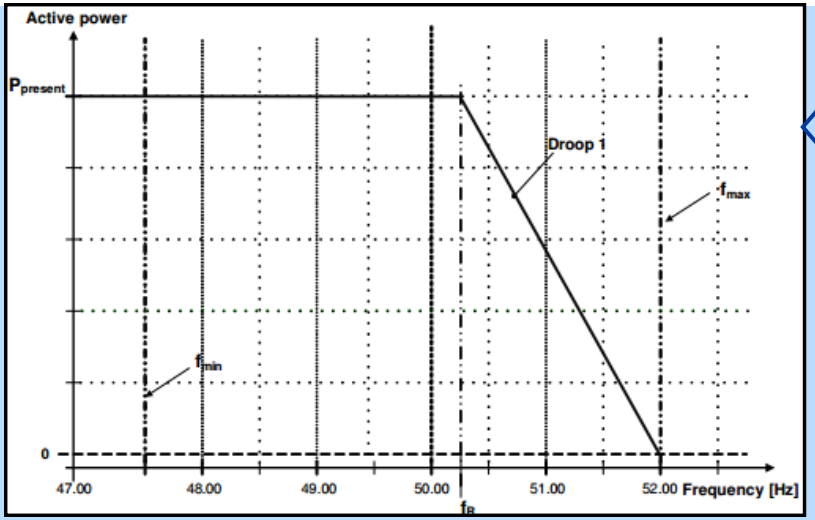




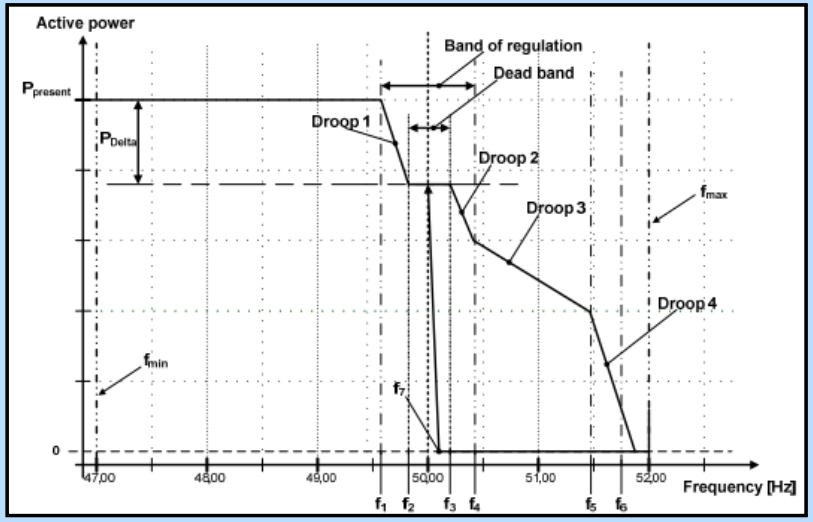
Требования «LVRT capability» регламентирующих документов Дании (1 – для тепловых генерирующих установок более 1,5 МВт выше 100 кВ, работающих в Nordel, 2 – аналогично для UCTE, 3 – для ВЭС, 4 – для СЭС, 5 – для для тепловых генерирующих установок до1,5 МВт)

Режимы работы при пониженном напряжении наиболее вредны (из-за повышенных токов и напряжения в ВПТ преоазователя) для ветроустановок с индукционными генераторами двойного питания (DFIG) – наиболее распространенный тип ветроустановок

Требования к участию в регулировании частоты и перетоков активной мощности в энергосистеме



Дания

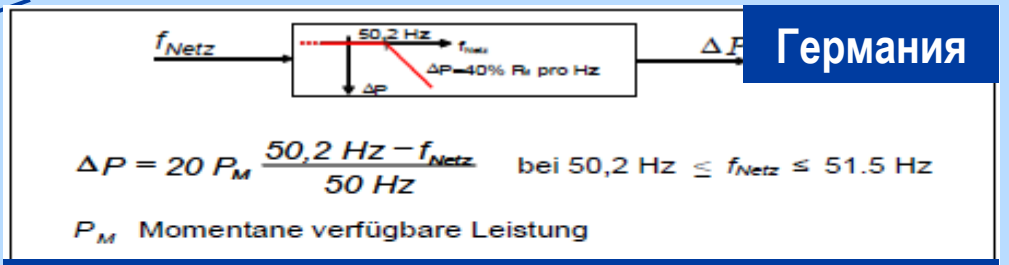


Для СЭС мощностью до 1,5 МВт, и ВЭС до 25 МВт: снижение активной мощности с заданным значением статизма при повышении частоты в энергосистеме выше 50,2 Гц

Для СЭС мощностью от 1,5 МВт, и ВЭС от 25 МВт – полноценное участие в регулировании частоты

ВЭС: отклик - 2с , с реализацией всей требуемой мощности за 15 с. Допускается увеличение времени при значении требуемой первичной мощности, превышающем 10% от Рном

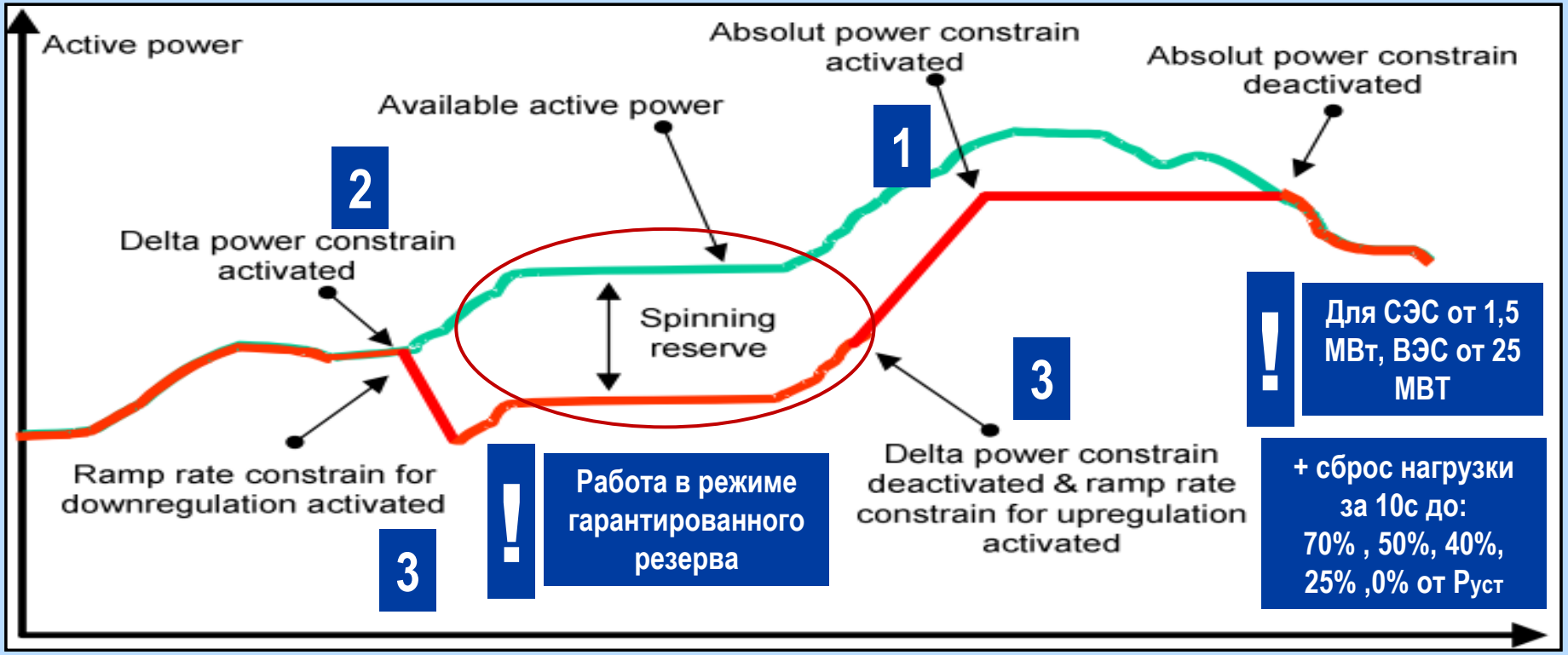
Германия



В Германии регламентировано требование по снижению мощности по сигналу оператора сети до сетпойнтов 0-30-60% от Руст. Снижение до 10% - без авт. отключения от сети.

+ плавное снижение мощности при превышении 50,2 Гц (40% от мгновенного значения на Гц)

Требования к участию в регулировании частоты и перетоков активной мощности в энергосистеме в Дании



1) Абсолютное ограничение отпускаемой мощности (Absolute production constraint) – фиксация отпускаемой с шин станции мощности на заданном значении (для СЭС и ВЭС от 1,5 МВт).

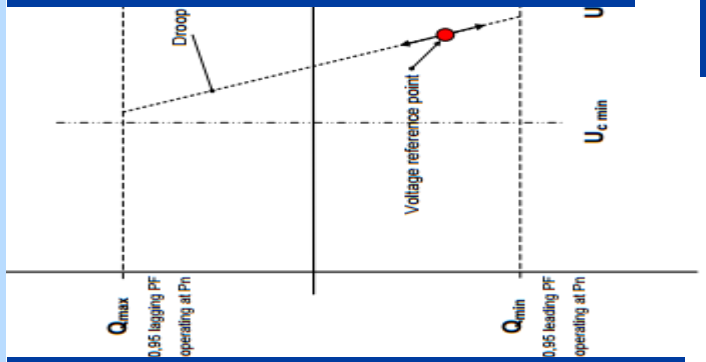
2) Относительное ограничение отпускаемой мощности – вращающийся резерв (Delta production constraint) – ограничение отпускаемой с шин станции активной мощности, с постоянным заданным значением, определяющимся относительно максимально возможной активной мощности (от ВЭС от 25 МВт, и СЭС от 1,5 МВт).

3) Ограничение скорости изменения активной мощности (Gradient production constraint) – применяется с целью ограничения максимальной скорости изменения мощности при изменении скорости ветра (СЭС и ВЭС от 1,5 МВт).

Требования к регулированию напряжения (пример Дании по СЭС)

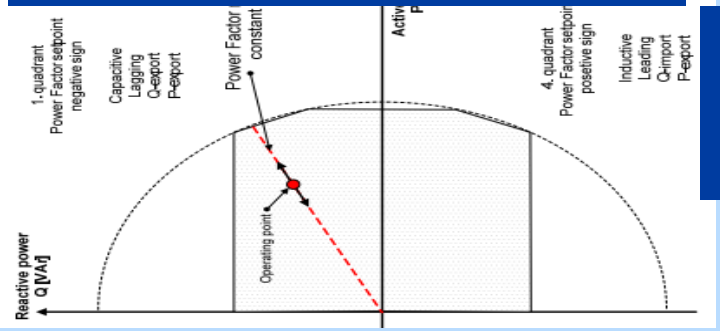
Поддержание напряжения

от 1,5 МВт



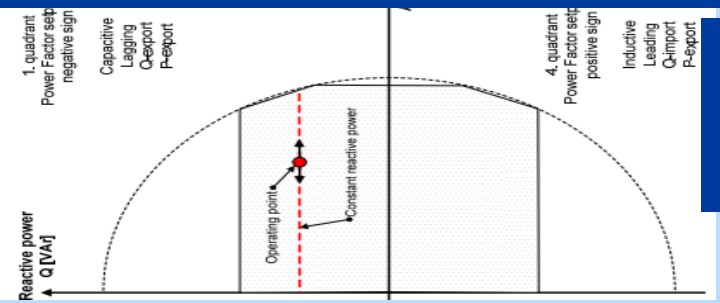
Поддержание коэф.мощности

для всех классов мощности

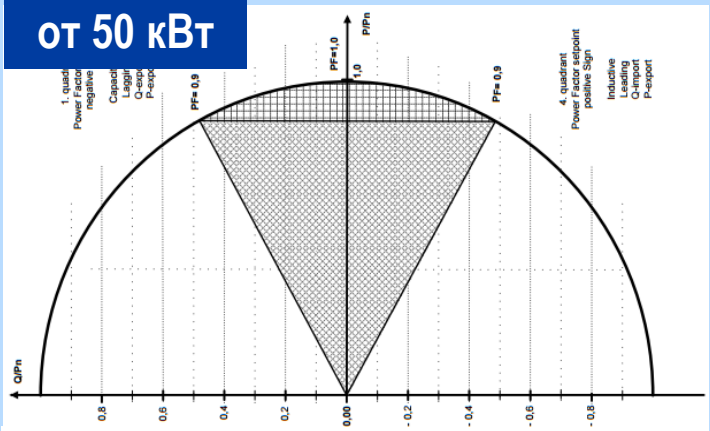


Поддержание реактивной мощности

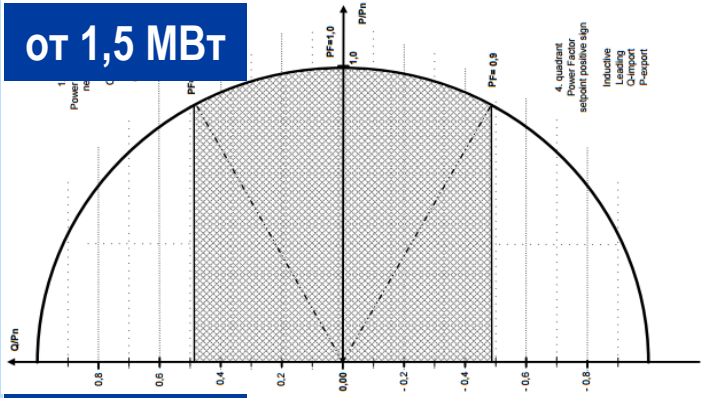
для всех классов мощности



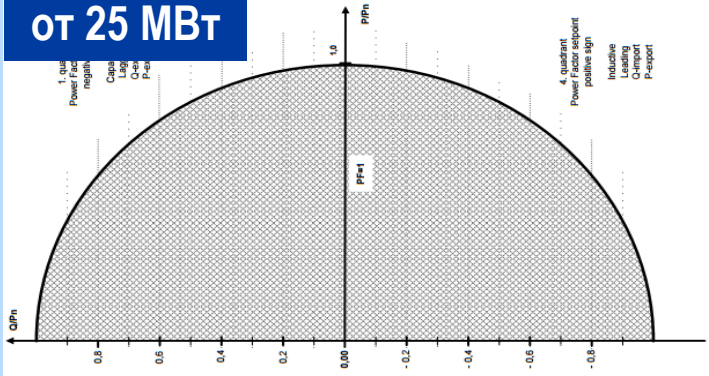
от 50 кВт



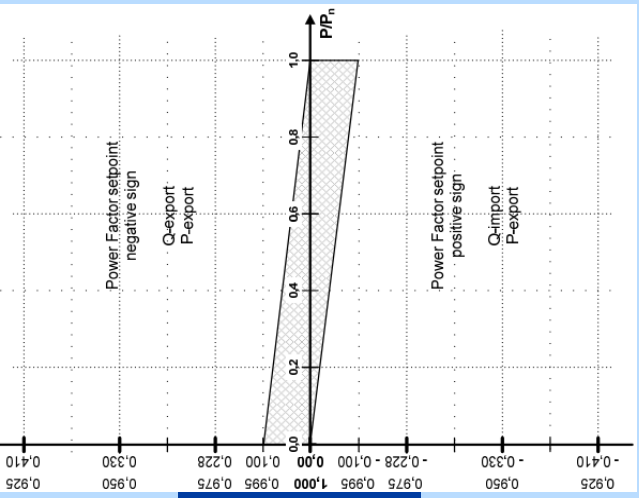
от 1,5 МВт



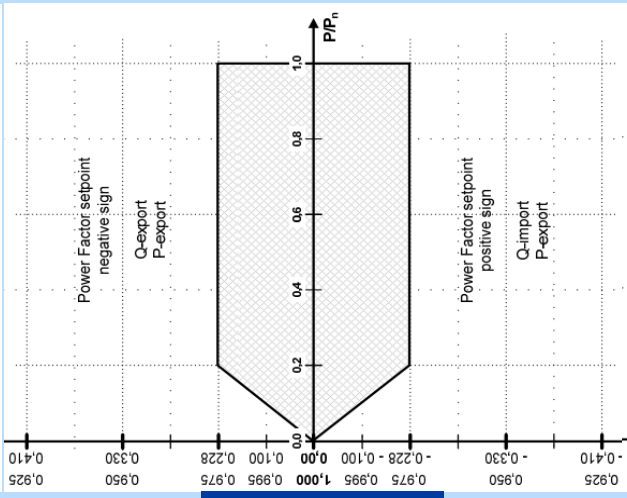
от 25 МВт



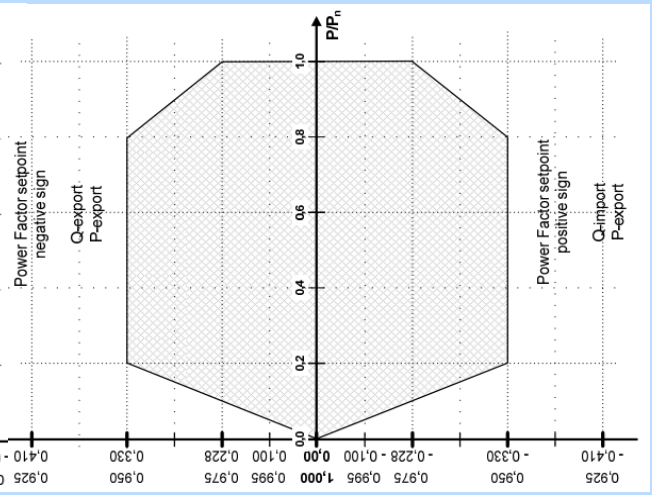
Требования к регулированию напряжения (пример Дании по ВЭС, Германия)



от 50 кВт

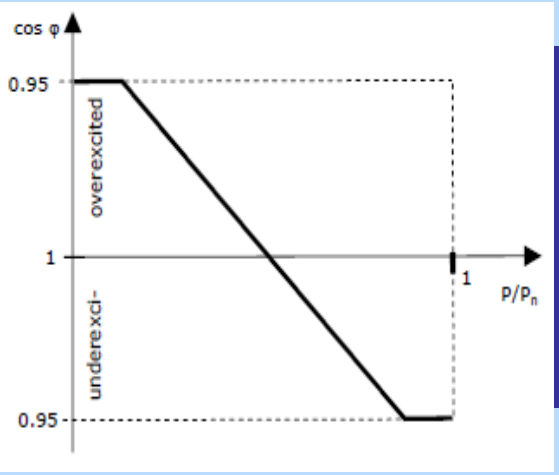


от 1,5 МВт



от 25 МВт

Регулирование напряжения осуществляется ВЭС от 25 МВт



Германия: диапазон регулирования генерирующих установок, подключаемых к сетям среднего напряжения, по реактивной мощности должен, как минимум, соответствовать работе установки в диапазоне от cos ϕ = 0.95 в режиме с недовозбуждением до cos ϕ = 0.95 в режиме с перевозбуждением

Влияние отсутствия должной регламентации требований к РГ на надежность функционирования объединенной ЭЭС континентальной Европы (опыт ENTSO-E) (1)

По мере все более глубокого проникновением ВИЭ, в сочетании с увеличением небалансов мощности в результате переменного характера производства электроэнергии на ВИЭ, амплитуда колебаний частоты в ЭЭС континентальной Европы стала ощутимее больше, что в свою очередь привело к значительному снижению надежности ее функционирования

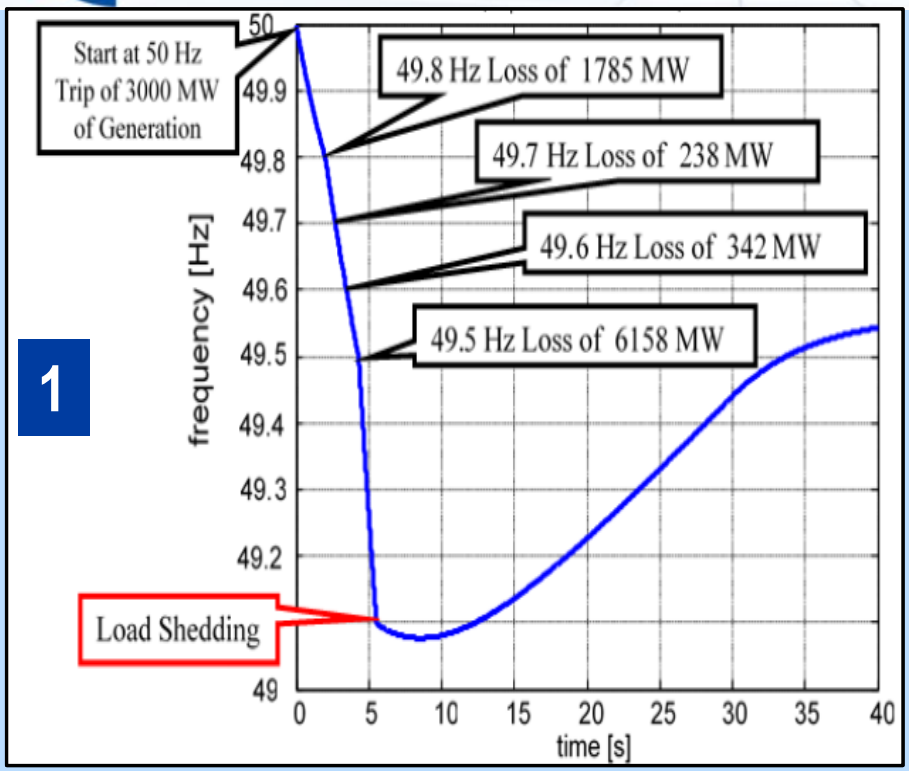
БАЗОВЫЙ ПРИНЦИП ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЭС КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЕВРОПЫ:

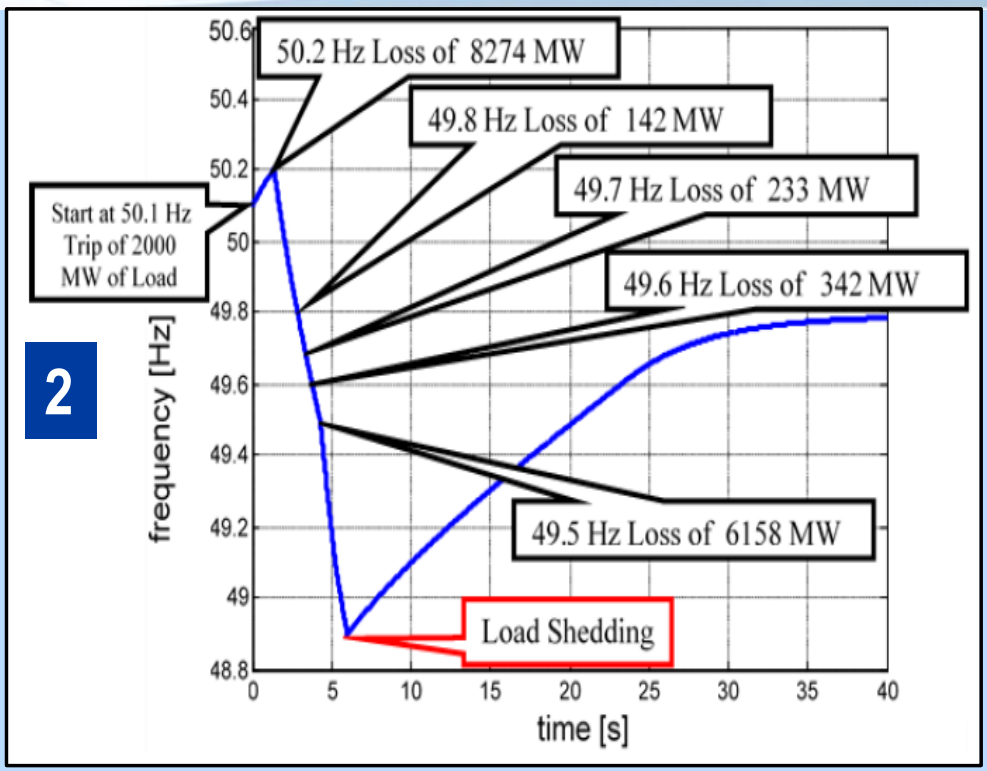
«В случае возникновения расчетных небалансов мощности при потере нагрузки или генерации, ЭЭС должна обеспечивать надежное функционирование без частотной разгрузки (load shedding)»

Расчетным аварийным небалансом для объединенной ЭЭС Европы является отключение 3000 МВт генерирующей мощности (критерий N-2, отключение двух энергоблоков АЭС по 1500 МВт каждый). Потребление континентальной Европы составляет от 220 до 440 ГВт.

В течение последних лет наблюдались отклонения частоты с максимальным значением отклонения +/- 150 мГц в десятиминутном временном диапазоне на границе смены часа в утренние и вечерние пики нагрузки.

Влияние отсутствия должной регламентации требований к РГ на надежность функционирования объединенной ЭЭС континентальной Европы (опыт ENTSO-E) (2)





1. Моделирование потери 3 ГВт генерации, с учетом модернизации установок объектов РГ в Германии и Италии

2. Моделирование потери 2 ГВт нагрузки, с учетом модернизации установок объектов РГ в Германии и Италии

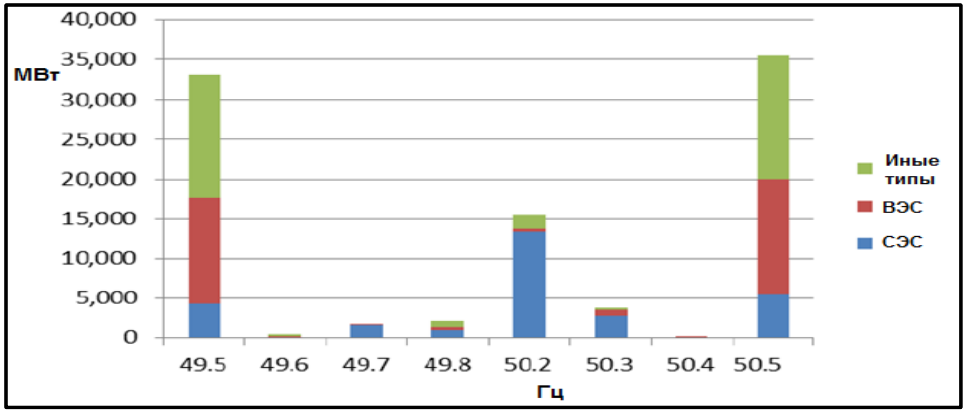
Вероятность возникновения необходимости в резерве, превышающем 3000 МВт, существенно возросла за последние 10 лет.

В 2002 г. - 1 событие в 32,5 года, в 2011 – 1 событие в 20,9 лет. Норма - 1 событие в 20 лет

Увеличение объемов резерва не эффективно, поскольку отклонение частоты происходит слишком быстро.

Влияние отсутствия должной регламентации требований к РГ на надежность функционирования объединенной ЭЭС континентальной Европы (опыт ENTSO-E) (3)

Country	TSO	49..50 Hz	50..50.2 Hz
AL	OST	0	0
AT	APG	39	7
BA	NOS BiH	0	0
BE	Elia	0	273
BG	ESO	0	0
CH	swissgrid	0	0
CZ	CEPS	81	257
DE	German TSOs	1,345	3,161
DK W	Energinet.dk	0	1
ES	REE	0	0
FR	RTE	116	477
GR	IPTO	108	0
HR	HEP-OPS	0	0
HU	MAVIR	0	0
IT	Terna	581	0
LU	Creos	0	0
ME	CES	0	0
MK	MEPSO	0	0
NL	TenneT NL	0	0
PL	PSE	3	0
PT	REN	76	219
RO	Transelectrica	0	0
RS	EMS	0	0
SI	ELES	0	0
SK	SEPS	0	104
TR	TEIAS	0	0
UA W	UKRENERGO	0	0



Германия, Италия, Франция, внесли соответствующие изменения в национальные документы, регламентирующие требования к подключению РГ, приведя их в соответствие с требованиями ENTSO-E.

+ модернизация основной части не соответствующих требованиям генерирующих установок. Программа должна завершиться в 2015 г.

Рекомендации ENTSO:Максимально допустимое значение мощности генерирующих установок объектов РГ, отключающихся при значении частоты 50,2 Гц не должно превышать 4500 МВт (отпускаемая с шин станции мощность, что соответствует около 6000 МВт установленной мощности). Максимально допустимое значение мощности генерирующих установок объектов РГ, отключающихся при значении частоты в диапазоне 49,2 – 50 Гц, не должно превышать 2350 МВт (отпускаемая с шин станции мощность, что соответствует около 3000 МВт установленной мощности).

Агрегированная структура требований к объектам РГ

1 *Общие сведения о документе*……

1.1 Идентификация документа (полное название)
1.2 Область применения (идентификация объектов)
1.3 Термины и определения

2 *Статические эксплуатационные характеристики*……

2.1 Требования к качеству ЭЭ в точке ТП объекта к электрической сети
2.2 Требования к работе объекта в различных диапазонах частоты
2.3 Требования к работе объекта при изменении напряжения
2.3 Допустимые уровни токов КЗ в точке ТП к электрической сети

3 *Динамические эксплуатационные характеристики*……

3.1 Требования к Пуску/Останову
3.2 Требования к работе объекта при просадке напряжения в сети (LVRT)
3.3 Требования к изменению активной мощности объекта (сбросы, изменение, ОПРЧ)
3.4 Требования по реактивной мощности
3.5 Требования по выделению на сбалансированную нагрузку

4 *Интерфейс связи и управления (аспекты ОДУ)*……

5 *Требования к оснащению объекта (в т.ч. устройствами РЗиА)*……

6 *Подтверждение соответствия*……

Выводы

Стремительное развитие источников РГ, в том числе на базе ВИЭ, оказывает все большее влияние на технологические режимы работы и перспективное развитие энергосистем, а также функционирование рынков электроэнергии. Большое внимание при этом уделяется развитию системы регламентации технических требований к источникам РГ.

Зарубежное нормативно-правовое и нормативно-техническое регулирование в аспекте РГ, направлено в первую очередь на обеспечение надежной работы ЭЭС с большой долей ВИЭ в структуре генерирующих мощностей.

Анализ зарубежных документов, регламентирующих технические требования к присоединению объектов РГ к энергосистеме, показал, что структура и содержание этих требований тесно связана с эксплуатационной практикой сложившейся в энергосистеме, в том числе со структурой генерирующих мощностей объектов РГ. Часто применяется пакетный принцип с ранжированием по классу напряжения, типу объектов РГ и их мощности

Наблюдается зависимость между глубиной проникновения ВИЭ в энергосистему, и, количеством и жесткостью технических требований, которые к ним предъявляются, с учетом установленной мощности объекта РГ относительно мощности самой энергосистемы

Опыт объединенной энергосистемы континентальной Европы показал, что несвоевременное регламентация технических требований к объектам РГ может привести к снижению надежности функционирования энергосистемы

Спасибо за внимание

Березовский Петр

berezovskiy-pk@so-ups.ru