



**Международная конференция и выставка
«Релейная защита и автоматика
энергосистем 2017»**



**Требования к ветряным и солнечным
электроэнергетическим установкам, работающим в
составе энергосистемы**

А.В. Жуков, В.С. Воробьёв, Е.И. Сацук, А.С. Герасимов

(АО «СО ЕЭС», АО «НТЦ ЕЭС», Россия)

Целевые ориентиры на период до 2020 г.

- В качестве целевого ориентира на период до 2020 года указывается необходимость увеличения относительного производства электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт) примерно с 0,5 до 4,5 процента. *(**)
- Для достижения намеченных объемов производства электроэнергии на базе ВИЭ необходимо в указанный период обеспечить ввод генерирующих объектов с суммарной установленной мощностью до 25 ГВт. **

*Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 №1-р «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года»

**Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года»

Возобновляемая электроэнергетика сегодня

- В настоящее время около 100 стран имеют специальные государственные программы освоения ВИЭ и на государственном уровне утвержденные индикативные показатели их развития на среднесрочную и долгосрочную перспективу. Большинство стран ставят своей целью добиться вклада ВИЭ в энергобаланс страны на уровне не менее 15-20% к 2020 г., а страны Европейского Союза – до 40% к 2040 г.
- По данным Энергетического агентства Германии (DENA) установленная мощность генерации в 2012 году составляла 172 ГВт, из которых лишь 97 ГВт составляла традиционная генерация. Установленная мощность ВИЭ составила 75 ГВт, из которых:
 - 42 % ветростанции
 - 45 % фотогальваника
- **Большой опыт использования ветряных и солнечных установок накоплен за рубежом. Опыт послужил основой для разработки требований к установкам такого типа**

Перечень нормативных и нормативно-технических документов, определяющих порядок присоединения и работы электростанций на основе ВИЭ в составе ЭЭС за рубежом:

- подготовленные объединением европейских сетевых операторов ENTSO-E кодексы, регламентирующие требования к примыканию к сети генераторов всех типов и требования к регулированию частоты и резервированию
- стандарт американского института инженеров электриков и электронщиков IEEE 1547 в части требований к присоединению распределенной генерации к электрическим системам
- сетевые кодексы Германии, Великобритании, Ирландии, Дании, Скандинавских стран, Китая, Польши и других стран
- материалы Федеральной комиссии США по регулированию энергетики (Federal Energy Regulatory Commission (FERC) и Североамериканской корпорация по обеспечению электроэнергетической надежности (NERC)
- материалы европейской ассоциации ветроэнергетики «Powering Europe: wind energy and the electricity grid» и материалы СИГРЭ

Основные требования к силовому оборудованию и системам регулирования электростанций в части их параллельной работы с энергосистемой:

Требования к электростанции в условиях нормальной работы:

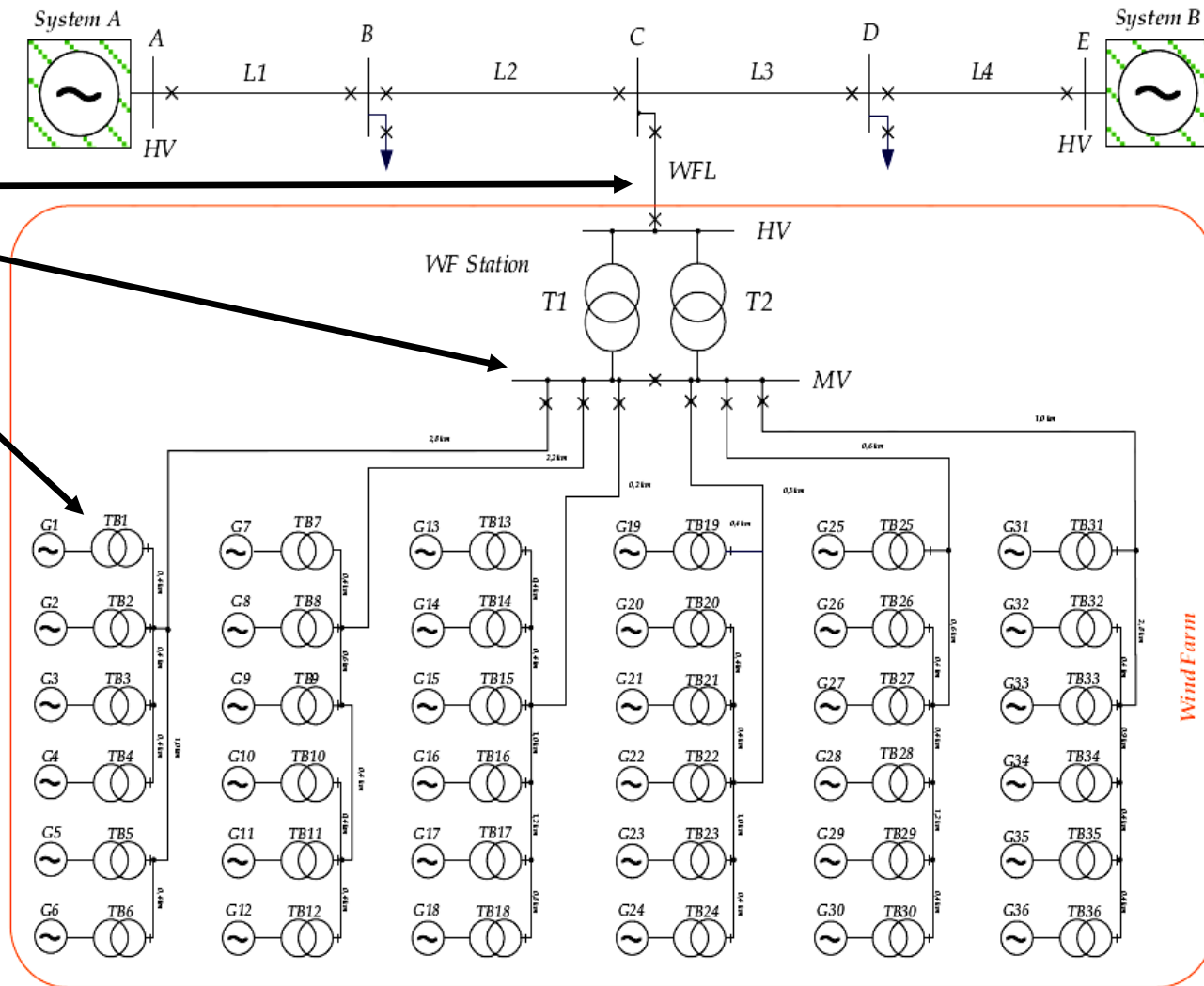
- минимально-допустимые промежутки времени работы при различных диапазонах отклонения частоты и напряжения;
- требования к регулированию активной мощности и частоты;
- требования к регулированию реактивной мощности и напряжения;
- требования к качеству электроэнергии;
- требования по переходу на островной режим работы.

Требования к электростанции в режиме короткого замыкания:

- требование к устойчивости силового оборудования;
- требование к поддержанию напряжения в режиме короткого замыкания.

Основные требования к силовому оборудованию и системам регулирования электростанций в части их параллельной работы с энергосистемой:

Точка
примыкания



Требования к электростанции в условиях нормальной работы:

- минимально-допустимые промежутки времени работы при различных диапазонах отклонения частоты и напряжения;

№	Частота, Гц	Сетевые кодексы		
		ENTSO-E	E.ON	Рекомендация АО «СО ЕЭС»
		Допустимое время работы		
1	46÷47	-	-	1 с
2	47÷47,5	-	-	1 мин.
3	47,5÷48	30 мин.	10 мин.	1 мин
4	48÷48,5	30 мин.	20 мин.	5 мин.
5	48,5÷49	30 мин.	30 мин.	5 мин
6	49÷50	без <u>огр.</u>	без <u>огр.</u>	без <u>огр.</u>
7	50÷50,5	без <u>огр.</u>	без <u>огр.</u>	без <u>огр.</u>
8	50,5÷51	без <u>огр.</u>	30 мин..	3 мин
9	51÷51,5	30 мин.	30 мин.	устанавливается зав.-изготовителем

- ENTSO-E - европейский сетевой кодекс ;
- E.ON - немецкий сетевой кодекс;
- Рекомендация АО «СО ЕЭС»
- Требования, в основном, не зависят от типа оборудования

Требования по допустимым отклонениям напряжения для генераторов, примыкающих к сети 110-300 кВ

Synchronous Area	Voltage Range	Time period for operation
Continental Europe	0.85 pu – 0.90 pu	60 minutes
	0.90 pu – 1.118 pu	Unlimited
	1.118 pu – 1.15 pu	To be decided by each TSO while respecting the provisions of Article 4(3), but not less than 20 minutes
Nordic	0.90 pu – 1.05 pu	Unlimited
	1.05 pu – 1.10 pu	60 minutes
Great Britain	0.90 pu–1.10 pu	Unlimited
Ireland	0.90 pu – 1.118 pu	Unlimited
Baltic	0.85 pu – 0.90 pu	30 minutes
	0.90 pu – 1.12 pu	Unlimited
	1.12 pu – 1.15 pu	20 minutes

Наибольшие рабочие напряжения (наибольшие длительно допускаемые рабочие напряжения) для электрических сетей и оборудования различных номинальных напряжений начиная от 35 кВ

Класс напряжения, кВ	Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ
35	40,5
110	126,0
150	172,0
220	252,0
330	363,0
500	525,0

Требования к электростанции в условиях нормальной работы:

- требования к регулированию активной мощности и частоты;
- От переменной генерации зачастую требуется выдача максимальной электроэнергии из бесплатного источника ветровой или солнечной энергии. Источники генерации не управляются, а работают на уровнях, определяемых коэффициентом готовности оборудования и метеорологическими условиями
- Современные источники генерации позволяют изменять уровень производства электроэнергии в ответ на поступающие инструкции (оператор или ПА), тем самым повышая надежность работы энергосистемы. В качестве требований задается:
 - Скорость разгрузки (иногда и загрузки) по мощности (например, в немецком сетевом кодексе приводится скорость разгрузки по мощности, которая должна быть не менее 10% от номинальной мощности электростанции в минуту)
 - Диапазон изменения мощности (например, в датском сетевом кодексе предусматривается разгрузка ветростанции до 20% от $P_{ном}$)

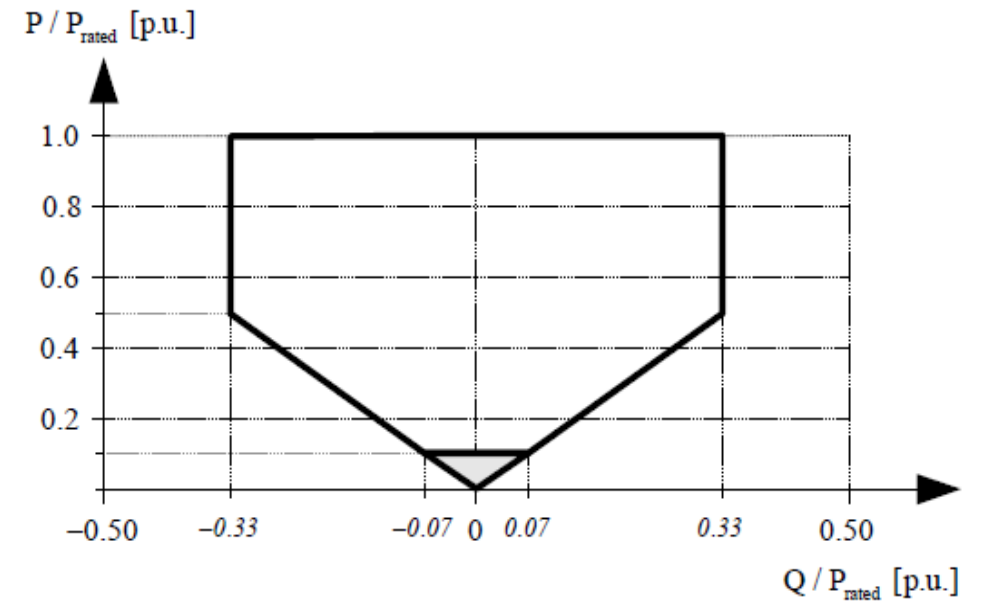
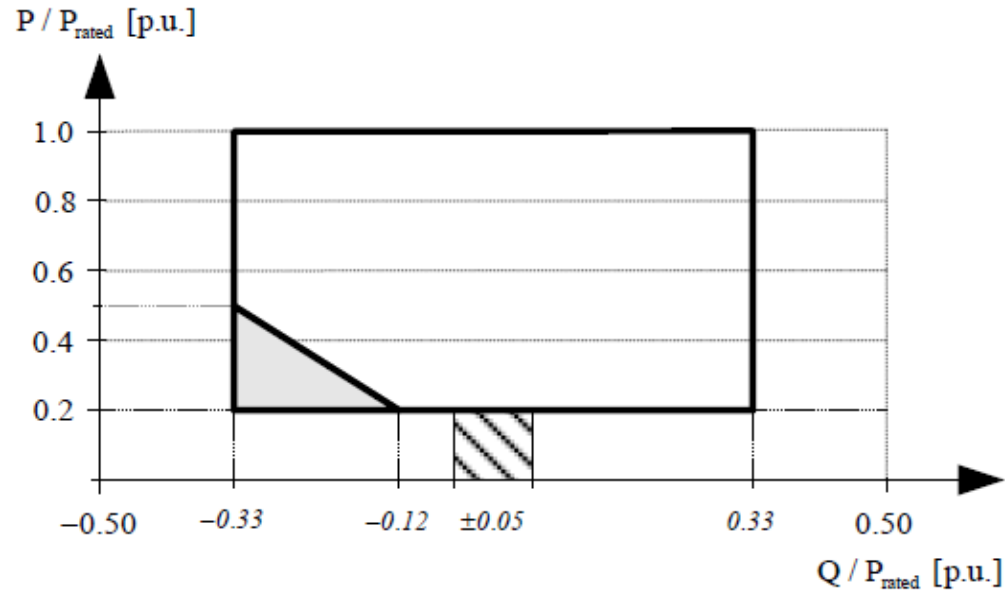
Требования к электростанции в условиях нормальной работы:

- требования к регулированию активной мощности и частоты;
- Участие в регулировании частоты
 - статизм (например, согласно датскому сетевому кодексу должна обеспечиваться возможность задания статизма регулирования частоты в диапазоне от 2 до 12%)
 - диапазон нечувствительности (например, согласно немецкому сетевому кодексу не более 10 мГц)
 - закон регулирования частоты (например, согласно немецкому сетевому кодексу)

$$\Delta P = 20P_{\text{тек}} \frac{50,2\text{Гц} - f_{\text{сети}}}{50\text{Гц}}, \text{ где } 50,2 \text{ Гц} \leq f_{\text{сети}} \leq 51,5 \text{ Гц}$$

Требования к электростанции в условиях нормальной работы:

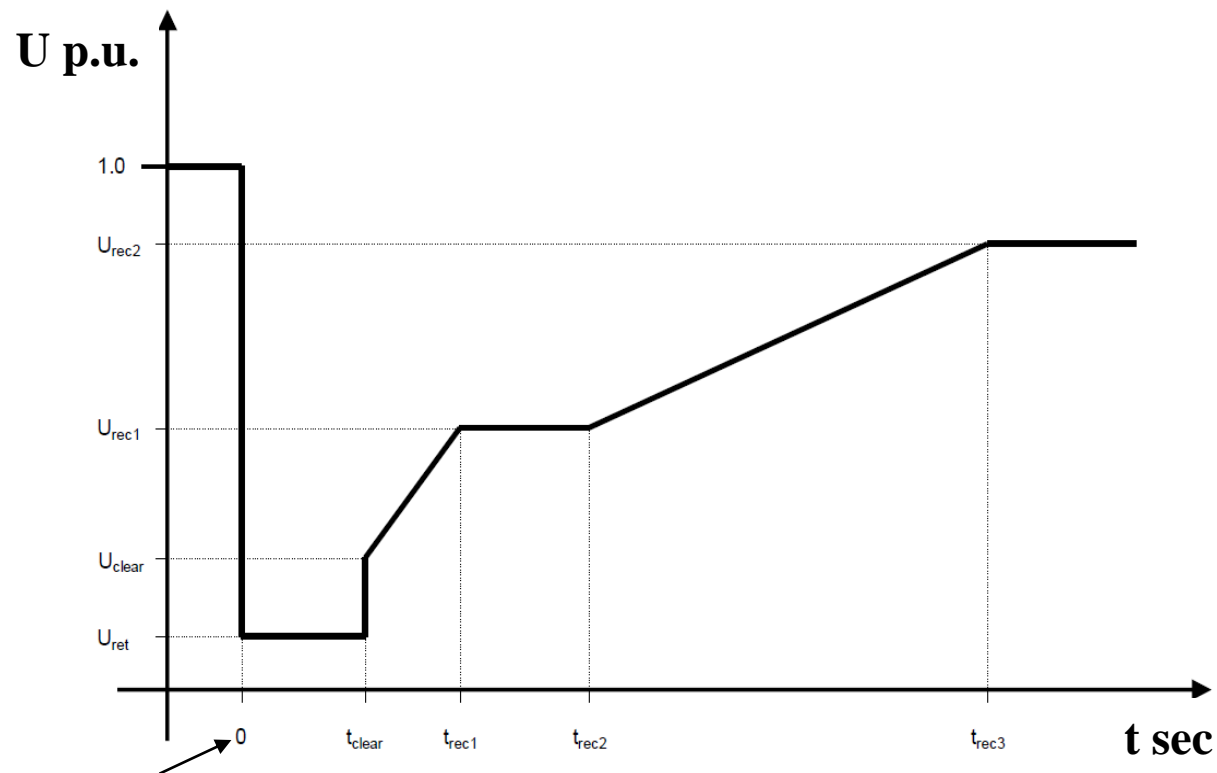
- требования к регулированию реактивной мощности и напряжения;
- Характеристика регулирования реактивной мощности



- Диапазон по скорости отработки реактивной мощности (например, европейски сетевым кодексом предусматривается, что реализация 90% реактивной мощности должна быть осуществлена в диапазоне 1-5 секунд)
- В случае необходимости на электростанции предусматриваются дополнительные источники реактивной мощности

Требования к электростанции в режиме короткого замыкания:

- требование к устойчивости силового оборудования (способность поддержания непрерывности энергоснабжения при возмущениях или способность поддержания непрерывности электроснабжения при низком напряжении (*Fault Ride-Through (FRT)* или *Low Voltage Ride-Through (LVRT) capabilities* соответственно));



Начало КЗ

- В зарубежных сетевых кодексах сформулированы требования о недопустимости отключения генерирующих установок при расчетных типах возмущений
- Диапазоны координат характерных точек зависимости задаются СО
- В российской электроэнергетике принят подход для регламентирования условий устойчивости работы энергосистем в режимах, вызванных возникновением нормативных возмущений, изложенный в «Методических указаниях по устойчивости энергосистем»

Требования к ветряным и солнечным электростанциям в ЕЭС России

- При разработке требований к электростанциям на основе ВИЭ национальные СО учитывают особенности управляемых ими энергосистем. Требования к ветряным и солнечным электростанциям, предполагаемых к интеграции в ЕЭС России, должны учитывать ее особенности, такие как:
 - большая протяженность линий электропередач
 - отсутствие источников реактивной мощности
 - преимущественно радиальный характер электрической сети
- Подключение ветряных и солнечных электростанций в ЕЭС России предполагается производить преимущественно к распределительной электрической сети 35 - 110 кВ. В связи с этим требования к ветряным и солнечным электростанциям дополнительно должны учитывать особенности организации релейной защиты в распределительной электрической сети ЕЭС России, построенной на основе дальнего резервирования
- **АО «НТЦ ЕЭС» (г. Санкт-Петербург) по заказу АО «СО ЕЭС» разработал требования к типовому составу РЗА ВЭС и СЭС, а также проект технических требований к характеристикам силового оборудования и системам регулирования ветряных и солнечных электроэнергетических установок при их работе в составе ЕЭС России**

Заключение

- Зарубежные требования к ветряным и солнечным установкам существенно менялись по мере увеличения доли этого оборудования в энергосистемах. В настоящее время требования к таким установкам по многим показателям не отличаются от требований к традиционной генерации
- Требования к электростанциям на основе ВИЭ со стороны национальных системных операторов заметно различаются как для различных технологий переменной генерации, так и для различных энергосистем. Последнее обусловлено тем, что при разработке требований к электростанциям на основе ВИЭ национальные системные операторы учитывают особенности управляемых ими энергосистем
- В связи с быстрыми темпами развития генерации на основе ВИЭ (как в части совершенствования генерирующего оборудования ВЭС и СЭС, так и в части их систем управления) национальные системные операторы периодически корректируют требования к ним

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ