

Особенности функционирования СНЭЭ в распределительных электрических сетях

Кононенко В. Ю., к. т. н.

26 – 27 марта 2024

Научно-практическая конференция

Москва

«Российский рынок систем электрохимического
накопления электрической энергии и батарейных
систем электротранспорта.
Проблемы и перспективы»

Увеличение роли распределительных электрических сетей (РЭС)

1) Правила устройства электроустановок

7.1.10. Питающая сеть — сеть от распределительного устройства подстанции или ответвления от воздушных линий электропередачи до ВУ, ВРУ, ГРЩ.

7.1.11. Распределительная сеть — сеть от ВУ, ВРУ, ГРЩ до распределительных пунктов и щитков.

7.1.12. Групповая сеть — сеть от щитков и распределительных пунктов до светильников, штепсельных розеток и других электроприёмников.

2) ГОСТ 30331.1-2013 Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения

Распределительная электрическая сеть — это низковольтная электрическая сеть, состоящая из источника питания и линии электропередачи и предназначенная для питания электроэнергией электроустановок зданий и других низковольтных электроустановок.

В настоящее время структура электропотребления изменяется по сравнению с XX веком. **Доля потребителей низкого напряжения в то время не превышала 4 % в общей структуре нагрузок**, основной была промышленная нагрузка, которая достигала до 76 %. **В настоящее время электрическая нагрузка потребителей низкого напряжения выросла до 15 – 17 %**, промышленная сократилась до 54 – 56 % и продолжает уменьшаться.

Таким образом, сегодня наблюдается снижение загрузки системообразующих сетей и увеличение роли РЭС.

Наблюдается смещение процессов автоматизации от промышленности в сторону бытовой сферы жизнедеятельности человека (конец 80-х XX в. — 80 / 20 %, н.в. — 30 / 70 %).

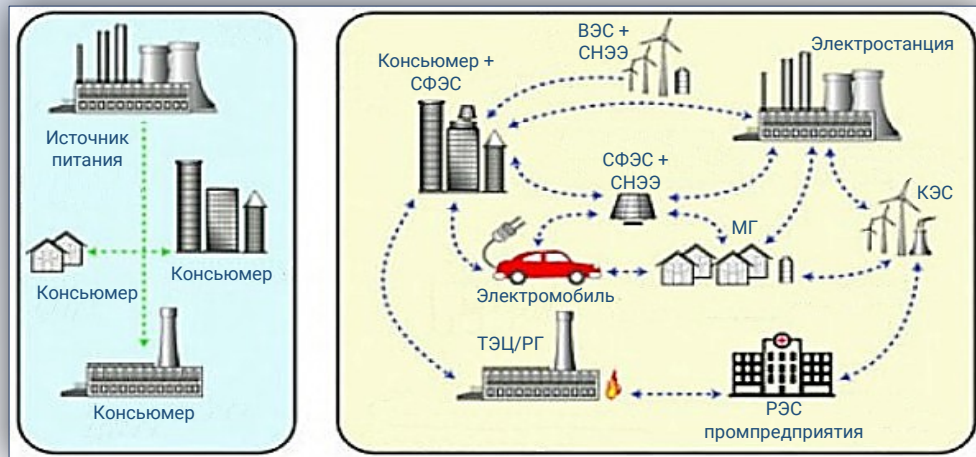
Два важных аспекта изменений в РЭС:

- развития распределенной (децентрализованной) генерации энергии (РГ), микрогенерации (МГ), систем накопления электрической энергии (СНЭЭ), возобновляемых источников энергии (ВИЭ) (СФЭС, ВЭС, микроГЭС), а также процессы электромобилизации и «просьюмеризации»,
- техническое развитие оборудования потребителей (автоматизация, ИНДУСТРИЯ 4.0), которое является более требовательным к качеству электрической энергии.



Потребители электрической энергии: новое качество — «Просьюмеры»

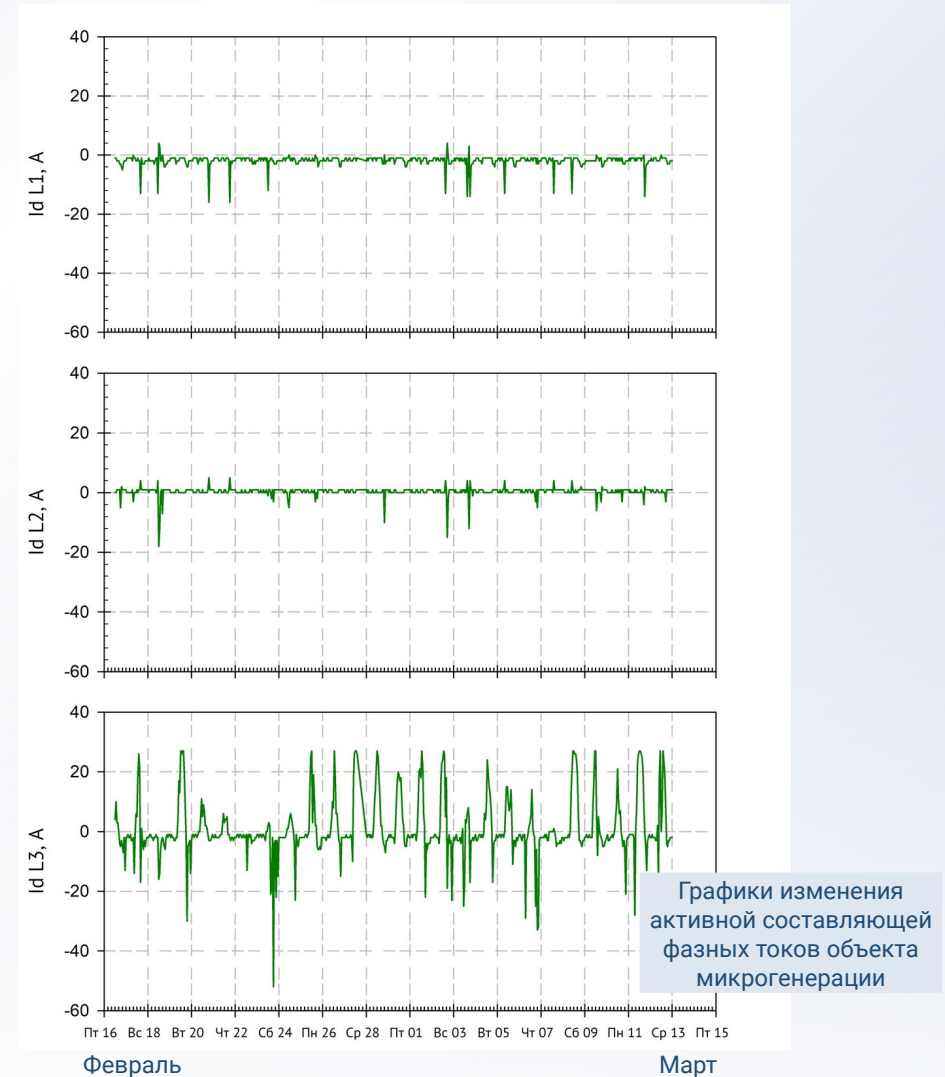
В результате распространения у потребителей электрической энергии децентрализованной генерации (РГ и МГ), СНЭЭ и ВИЭ в электроэнергетических системах происходит переход (трансформация) РЭС от централизованной системы с однонаправленным потоком электрической энергии к децентрализованной системе с разнонаправленными потоками электрической энергии.



Потребители электрической энергии в результате данного процесса приобретают новое качество — производителей электрической энергии. В международной практике подобные потребители (коньюмеры) получили название «просьюмеры».

Явление насыщения электрических сетей «просьюмерами» — «просьюмеризация».

«Просьюмеры» (МГ, ВИЭ), СНЭЭ, электромобили (V2G) представляют собой активно-адаптивные электроустановки (ААЭУ), которые способны не только активно изменять график потребления электрической энергии, но которые также способны выдавать электрическую энергию в РЭС.



Графики изменения активной составляющей фазных токов объекта микрогенерации

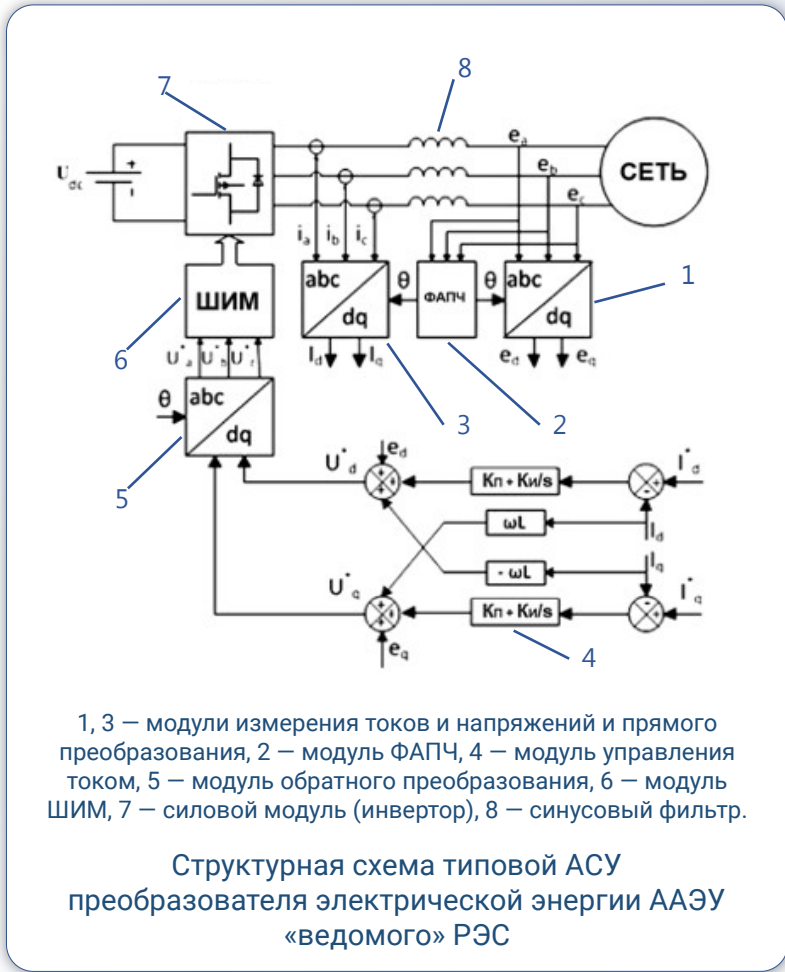
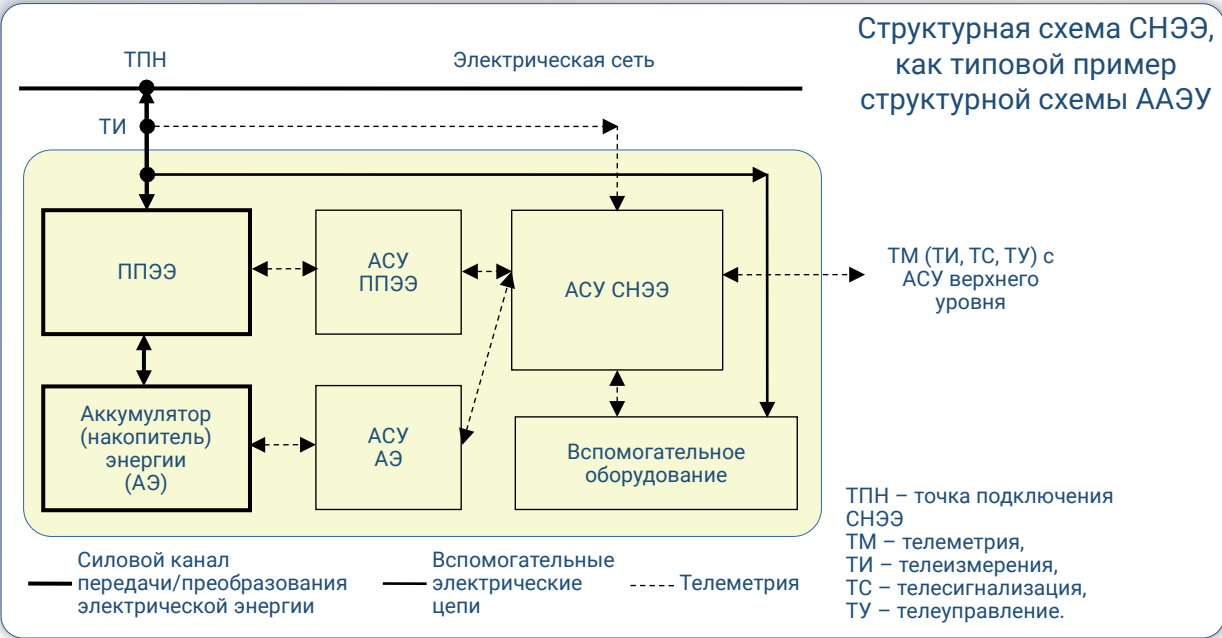
Системы накопления электрической энергии – активно-адаптивная устройство (электроустановка)

Отличительной особенностью активно-адаптивных электроустановок (ВИЭ, СНЭЭ, V2G, МГ) является наличие, так называемого, «инверторного» подключения к РЭС, представляющего собой мощный полупроводниковый преобразователь электрической энергии (ППЭЭ) с микропроцессорной АСУ.

В настоящее время 70 % электрической энергии используется с применением ППЭЭ на основе кремниевых (Si) или карбид кремниевых (SiC) транзисторов.

90 % применяемых ППЭЭ представляют собой, так называемые, ППЭЭ «ведомые» РЭС, режим работы которых сильно зависит от параметров режима работы РЭС.

ППЭЭ в силу своей природы являются быстродействующими устройствами, имеющими предельно низкую инерцию –безынерционный характер работы.



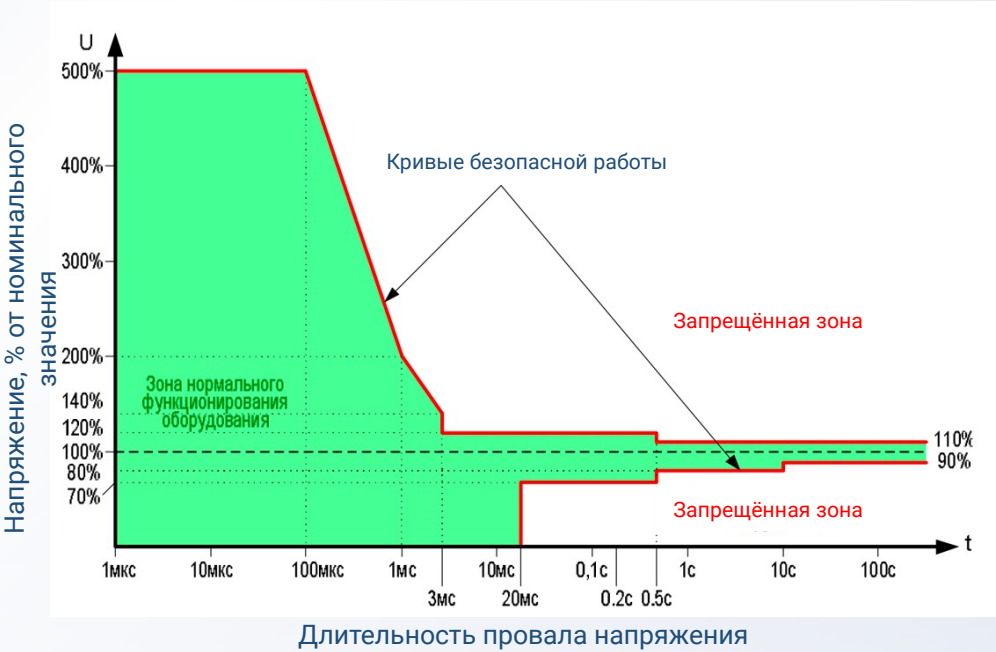
Потребители электрической энергии и «просьюмеры»: требования к качеству электрической энергии

Структура показателей качества электрической энергии, приводящих к отказам в работе технологического оборудования потребителей

Наименование показателя качества электрической энергии	РФ	ЕС	США
Гармонические искажения напряжения	18 %	5,4 %	22 %
Провалы и прерывания напряжения	52 %	23,6 %	48 %
Импульсные напряжения	н.д.	29 %	н. д.
Другие виды	30 %	42 %	30 %

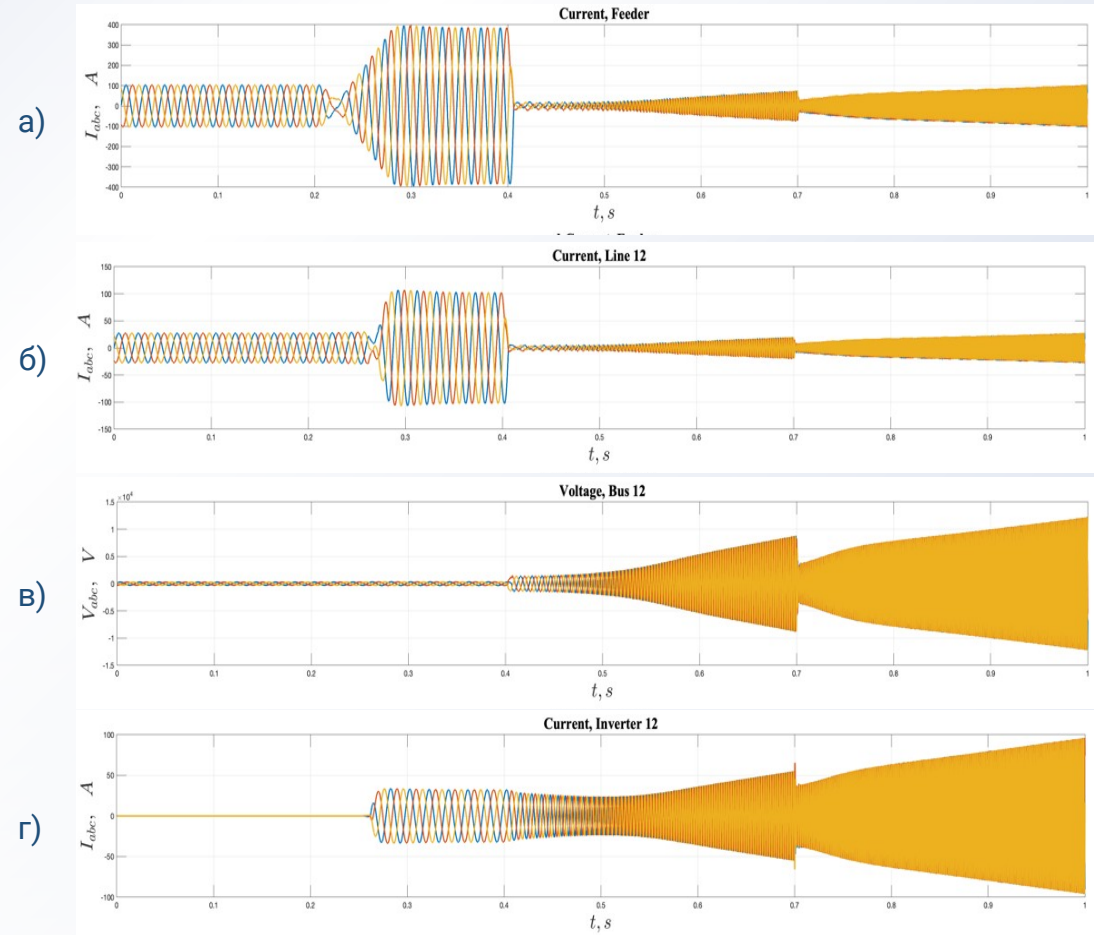
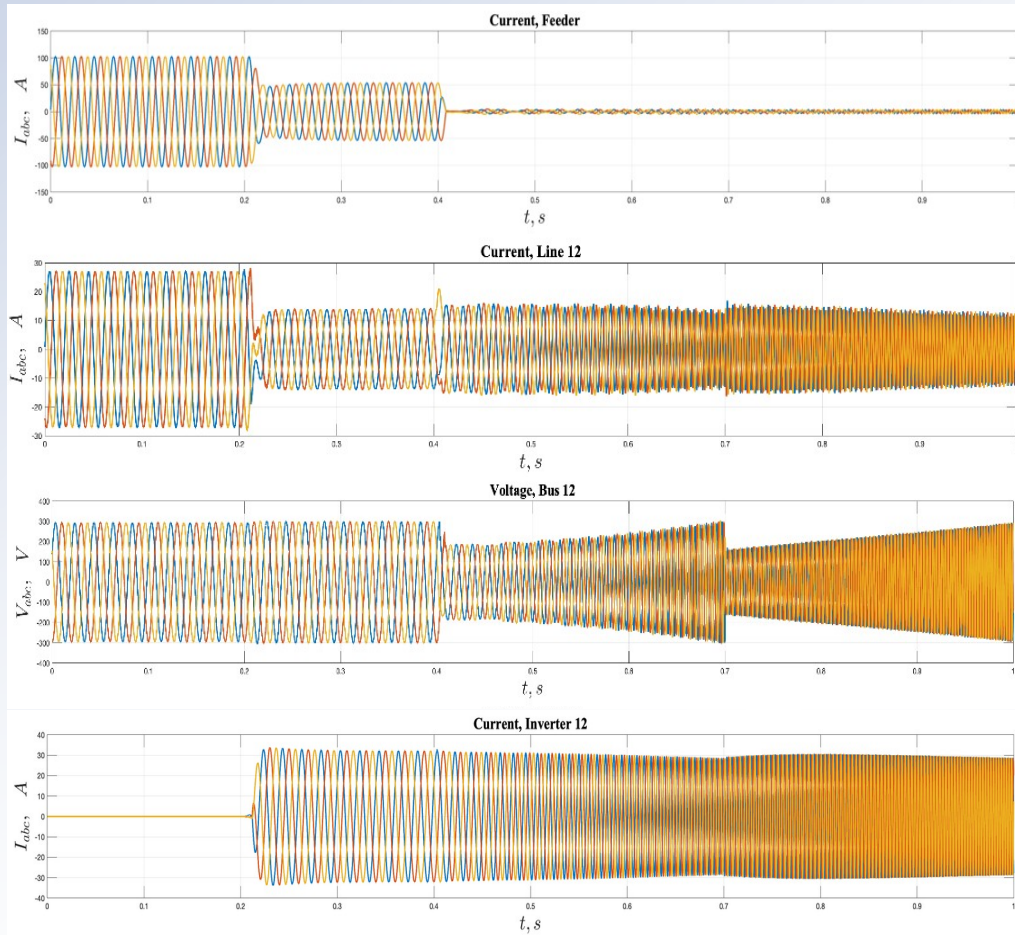
Предельные значения параметров провалов напряжения, приводящих к отказам в работе технологического оборудования потребителей

Наименование технологического оборудования	Величина ПН, %	Длительность ПН, мс
Магнитные пускатели	50	40
Блоки «выпрямитель-инвертор»	15	3
Микропроцессорная техника	30	20
Реле	30	40



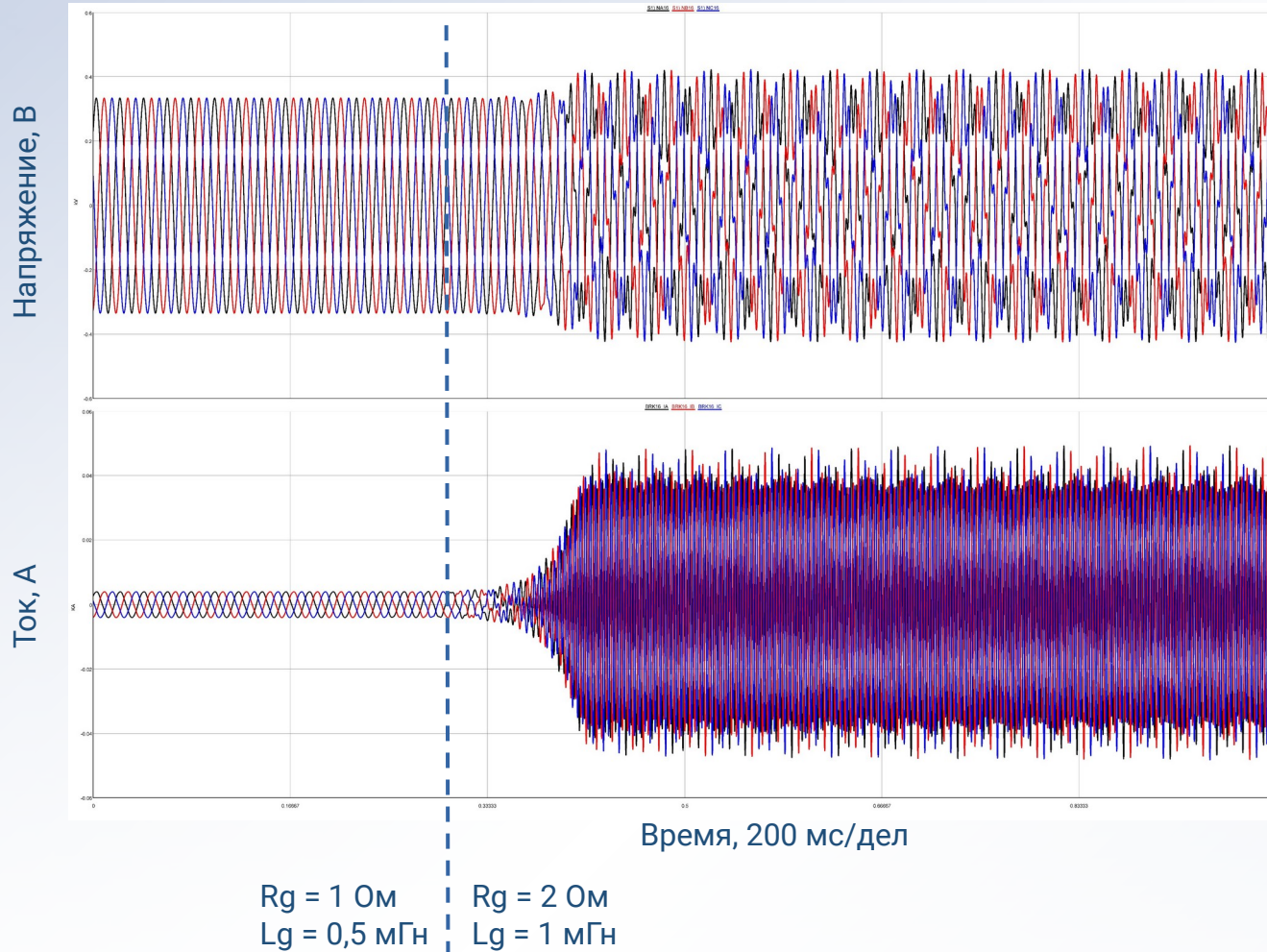
Кривые безопасной работы микропроцессорной техники и оборудования по версии ассоциации CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers Association) – кривые ITIC (Information Technology Industry Council)

«Просьюмер»: Пример нестабильной работы инвертора СНЭЭ, ВИЭ, МГ при «потере» питающей сети (численное моделирование)



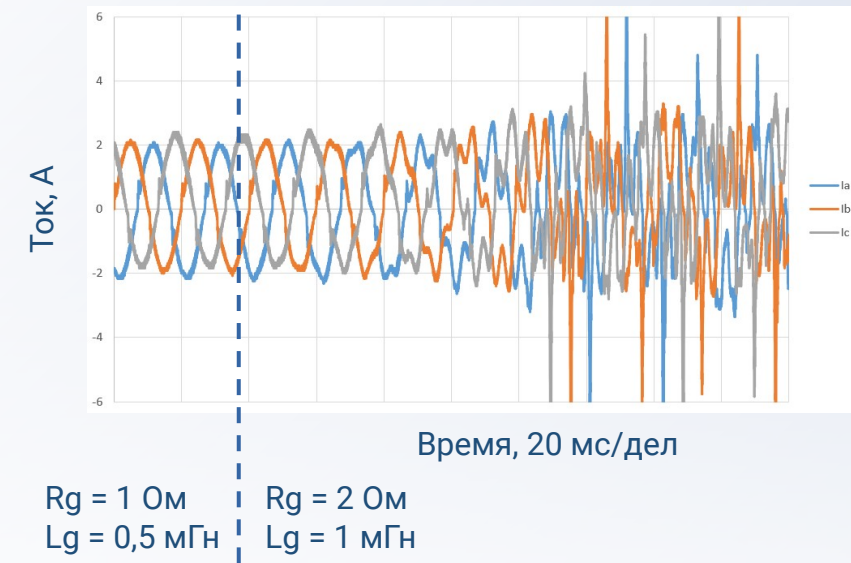
а) — ток на входе в фидер, б) — ток в фидере через узел подключения инвертора, в) — напряжение в узле подключения инвертора, г) — ток на выходе инвертора.

«Просьюмер»: Потеря устойчивой работы инвертора при изменении совокупного импеданса РЭС (численное и PHIL моделирование)



← Численное моделирование

PHIL моделирование



Международная практика. Примеры аварий в результате «ошибок» инверторов

- 1) 2016 г. Южная Калифорния. СФЭС
Отключение значительной доли солнечной генерации (1,2 ГВт).
- 2) 2016 г. Южная Австралия. ВЭС
Девять ветроэлектростанций (445 МВт) полностью отключились от сети, что в итоге привело к «блэкауту» энергосистемы Южной Австралии.
- 3) 2017 г. Южная Калифорния. СФЭС
Повторение аварии 2016 г. Итог: потеря генерации 900 МВт.
- 4) Апрель 2018 г. Южная Калифорния. СФЭС
- 5) Май 2018 г. Южная Калифорния. СФЭС
- 6) 2019 г. Великобритания. ВЭС
Отключение ветровой электростанции (737 МВт). Итого: совокупная потеря генерации составила 1,9 ГВт.



Заключение. Выводы

Распространение в РЭС децентрализованных активно-адаптивных электроустановок (СНЭЭ, МГ, ВИЭ, V2G) с «инверторным» подключением является одной из ключевых причин ряда событий в РЭС, в частности:

- 1) увеличение роли распределительных электрических сетей в технологическом процессе передачи и распределения электрической энергии,
- 2) изменение характера процесса распределения электрической энергии с централизованного, направленного и линейного на децентрализованный, разнонаправленный и сильно нелинейный,
- 3) снижение инерции РЭС с перспективой достижения квазибесынерционного режима работы РЭС,
- 4) увеличение риска снижения устойчивости функционирования РЭС и повышения аварий и нештатных ситуаций.

Быстропротекающие возмущения в РЭС, которые могут быть вызваны функционированием ААЭУ (СНЭЭ), оказывают влияние на режимы работы инверторов ААЭУ (СНЭЭ), параметры которых, в большинстве случаев, определяются на основе параметров режимов работы РЭС (в точке подключения ААЭУ).

Таким образом, принимая во внимание факт того, что происходящий в настоящее время процесс трансформации РЭС традиционного технологического уклада в новый технологический уклад — активно-адаптивная РЭС носит объективный характер, необходимо уже сегодня проводить ряд мероприятий, направленных на:

- (1) анализ идеологии и методологии управления РЭС с ААЭУ (СНЭЭ) и, соответственно, последующую выработку соответствующих методов и принципов управления РЭС с ААЭУ (СНЭЭ),
- (2) анализ методов наблюдения/измерения параметров режимов работы РЭС, потребителей и «просьюмеров»,
- (3) разработку принципов технологического подключения ААЭУ (СНЭЭ) («инверторное» подключение) к РЭС,
- (4) разработку технических требований к инверторам ААЭУ (СНЭЭ),
- (5) анализ показателей качества электрической энергии с учётом текущих и перспективных потребностей потребителей (и «просьюмеров»), в том числе, промышленных потребителей реального сектора экономики,
- (6) разработку методологии взаимодействия РЭС и ААЭУ (СНЭЭ) (телемеханика) с учётом обеспечения требований кибер, информационной и функциональной безопасности.



The background features a series of light blue, wavy, overlapping lines that create a sense of motion and depth. These lines are set against a darker blue gradient at the top, which transitions into a lighter blue and finally into a white gradient at the bottom. A subtle grid of thin white lines is visible, particularly in the upper right quadrant, adding a technical or architectural feel to the design.

Спасибо за внимание!