

**Противоаварийное управление в ЭЭС  
Назначение и принципы построения  
системы ПАУ ЕЭС России**



# Статическая и динамическая устойчивость

## Статическая устойчивость ???

Устойчивость в малом. Устойчивость при малых возмущениях. Применительно к ЭЭС, статическая устойчивость - это способность электроэнергетической системы восстанавливать исходное состояние (режим) после малых его возмущений.

## Динамическая устойчивость ???

Устойчивость в большом. Устойчивость при больших возмущениях. Применительно к ЭЭС, динамическая устойчивость - это способность электроэнергетической системы восстанавливать исходное состояние (режим) после больших возмущений.

# Виды устойчивости

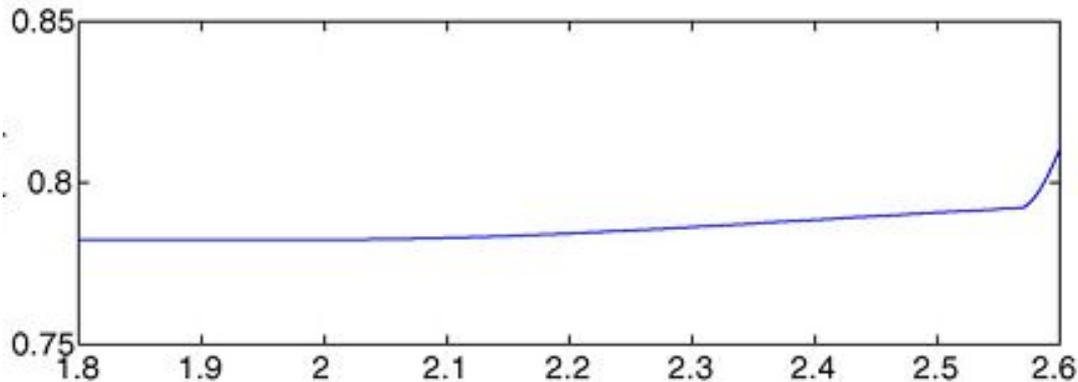
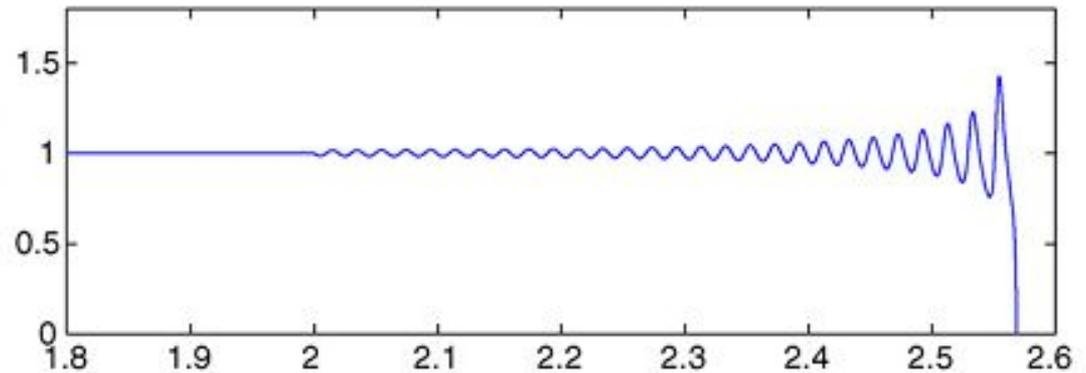
## Устойчивость параллельной работы генераторов:

- Статическая периодическая (колебательная) устойчивость
- Динамическая устойчивость при больших возмущениях
- Устойчивость узлов нагрузки (устойчивость по напряжению)
  - Статическая апериодическая устойчивость (сползание напряжения).
  - Динамическая устойчивость узла нагрузки при больших возмущениях.
- И т.д. ...

## Виды устойчивости

- **Устойчивость параллельной работы генераторов:**
  - **Статическая периодическая (колебательная) устойчивость.** Данный вид устойчивости, как правило, напрямую связан с настройкой автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) генераторов. АРВ должны быть настроены таким образом, чтобы исключать возможность самораскачивания системы в широком диапазоне режимов работы. В данном случае нарушению устойчивости параллельной работы не предшествует какое-либо возмущение, что свидетельствует о нарушении именно статической, а не динамической устойчивости.
  - **Динамическая устойчивость при больших возмущениях.** Данный вид устойчивости связан с необходимостью сохранять устойчивость параллельной работы генераторов при нормативных возмущениях. В данном случае нарушению устойчивости параллельной работы генераторов предшествует возмущение.

# Устойчивость параллельной работы генераторов. Статическая периодическая (колебательная) устойчивость.

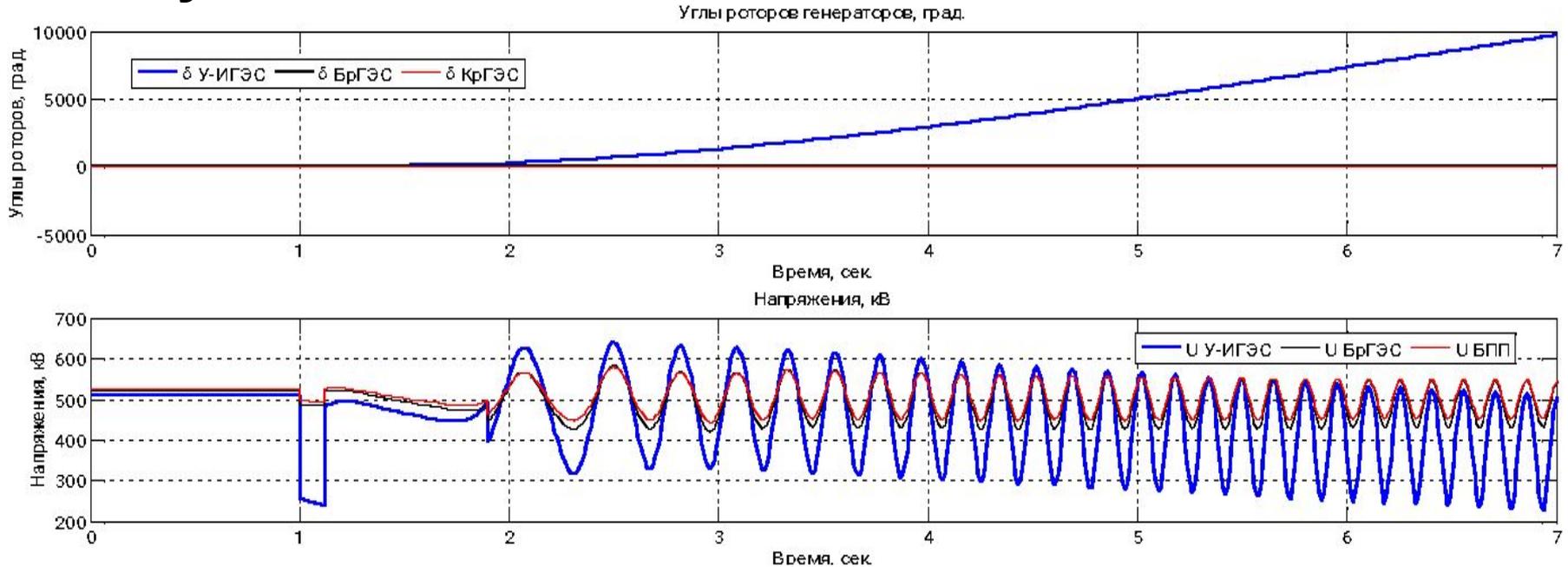


Характерное изменение напряжения и угла ротора генератора при самораскачивании.

Нарушение статической периодической (колебательной) устойчивости ЭЭС.

- Обратите внимание, что в данном случае нарушению устойчивости параллельной работы генераторов не предшествует возмущение, что свидетельствует о нарушении статической, а не динамической устойчивости.

# Устойчивость параллельной работы генераторов. Динамическая устойчивость при больших возмущениях.



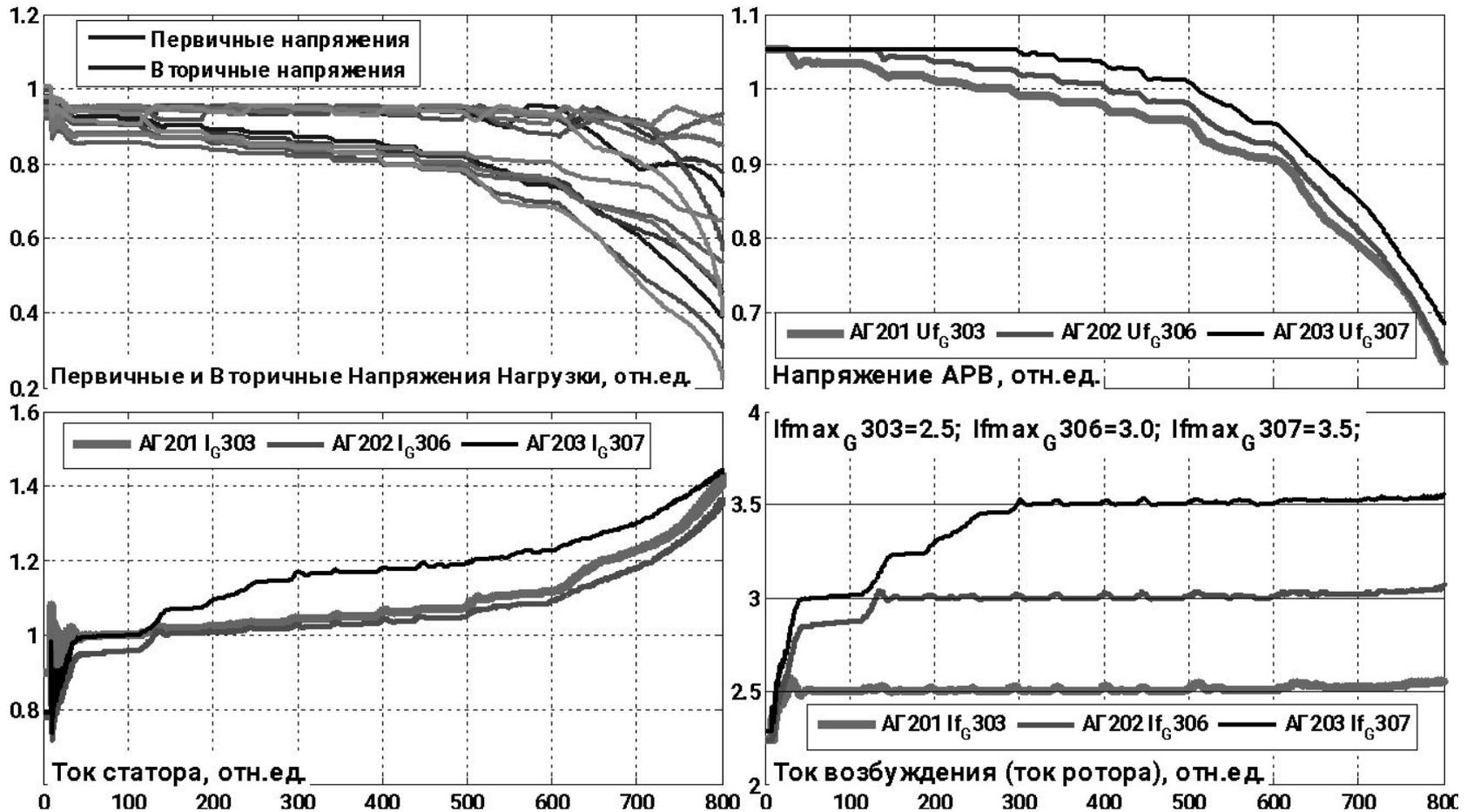
Характерное изменение напряжения и угла ротора генераторов Усть-Илимской ГЭС при нарушении динамической устойчивости. Однофазное КЗ на ВЛ 500 кВ вблизи РУ Усть-Илимской ГЭС с ликвидацией повреждения в цикле с успешным ОАПВ.

- Обратите внимание, что нарушению устойчивости параллельной работы генераторов *предшествует возмущение* (однофазное КЗ с успешным ОАПВ), о чем свидетельствует временный провал напряжения. **Динамическая устойчивость при больших возмущениях всегда нормируется!!!!**

# Виды устойчивости

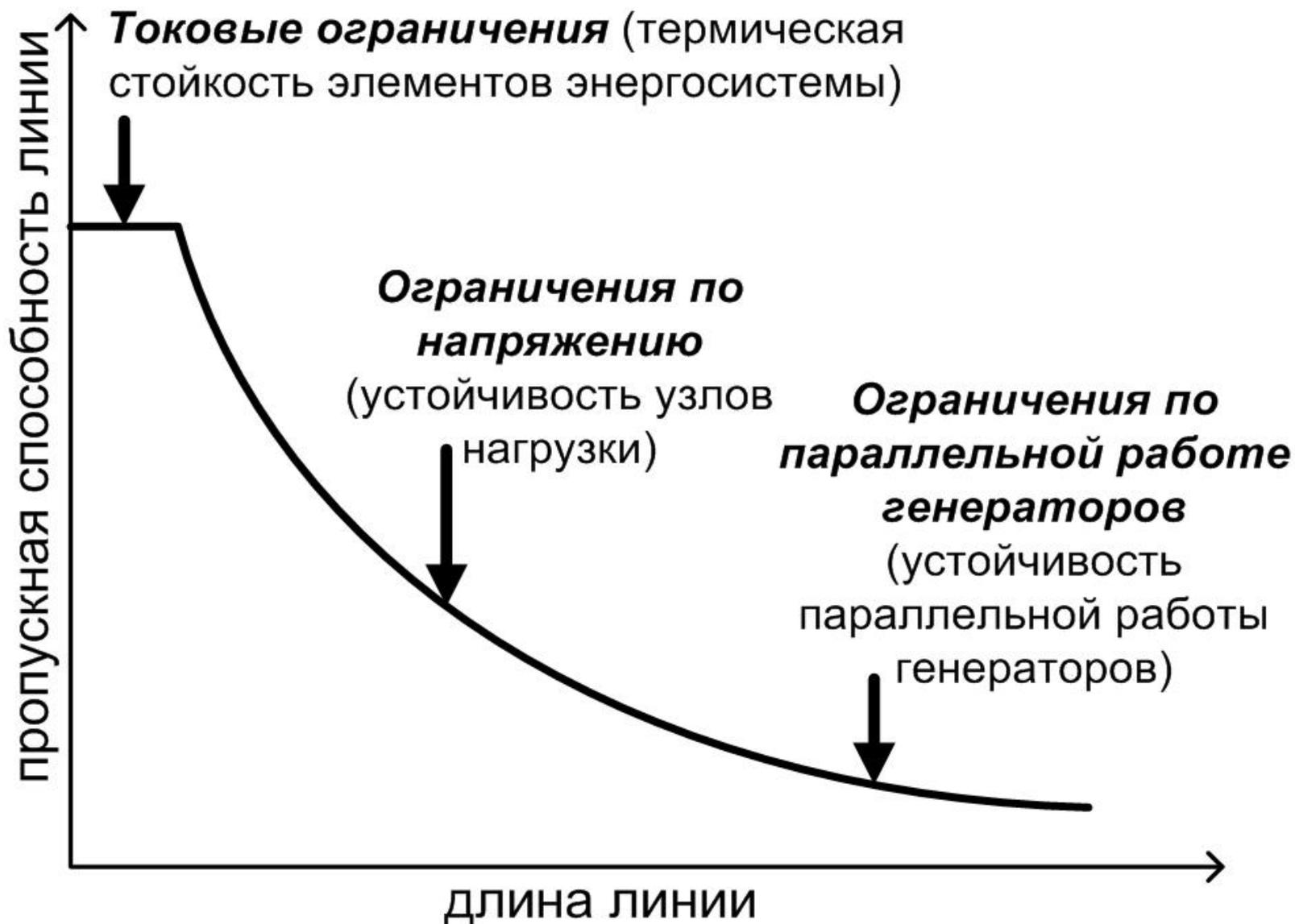
- **Устойчивость узлов нагрузки (устойчивость по напряжению):**
  - **Статическая апериодическая устойчивость (сползание напряжения).** Данный вид устойчивости напрямую связан с балансом реактивной мощности в системе. В случае недостатка реактивной мощности, в узле нагрузки происходит апериодическое сползание напряжения с одновременным возрастанием тока.
  - **Динамическая устойчивость узла нагрузки при больших возмущениях.** Данный вид устойчивости крайне важен при рассмотрении таких вопросов, как самозапуск двигателей, т.е. восстановление нормальной работы узла нагрузки после возмущения.
- **и т.д. ...** Например, устойчивость по частоте, которая приводит к лавине частоты. В некотором смысле, можно также рассматривать термическую устойчивость элементов сети, нарушение которой может приводить к эффекту каскадного отключения линий. Можно отдельно рассматривать устойчивость вставок и передач постоянного тока и т.д. и т.п.

# Устойчивость узлов нагрузки. Статическая апериодическая устойчивость (сползание напряжения).



**Характерные изменения параметров режима при нарушении статической апериодической устойчивости узлов нагрузки. Сползание напряжения.**

# Структурные особенности ЭЭС. Преобладание различных видов устойчивости.



# Структурные особенности ЭЭС. Преобладание различных видов устойчивости.

**УСТОЙИВОСТЬ  
УЗЛОВ НАГРУЗКИ И  
ТОКОВАЯ ПЕРЕГРУЗКА  
ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ**



**УСТОЙИВОСТЬ  
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ  
ГЕНЕРАТОРОВ**

# Структурные особенности ЭЭС. Преобладание различных видов устойчивости.



Interconnected  
network of  
**UCTE**

01.07.2008

0 50 100 150 200 250 km  
Scale 1 : 2 500 000

**Legend**

**Plants and stations:**

- Hydro Power Plant
- Nuclear Power Plant
- Coal
- Gas
- Oil
- Wind
- Other

**Lines:**

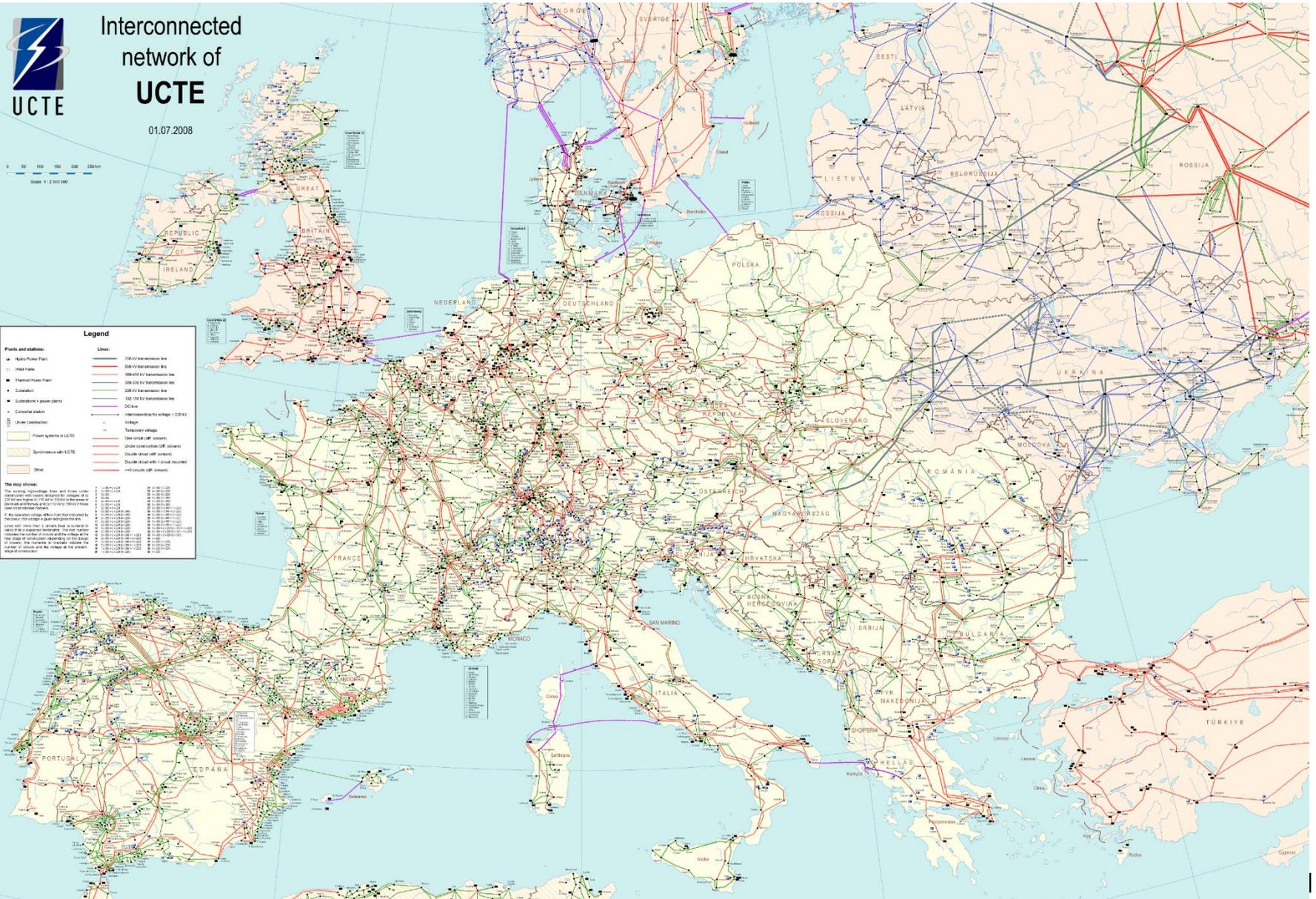
- 700 kV transmission line
- 500 kV transmission line
- 380-400 kV transmission line
- 220-230 kV transmission line
- 150-160 kV transmission line
- DC line
- Interconnector for energy > 200 MW
- Village
- Temporary village
- One-line (OH) station
- Double circuit (DC) station
- Double circuit (OH) station
- Double circuit (OH) station (not included in the map)

**UCTE:**

- France system UCTE
- Spain system UCTE
- Other

**The map shows:**

The map shows the electrical grid of Europe and the Mediterranean region. The grid is composed of various types of lines and stations, as indicated in the legend. The map also shows the geographical location of the grid and the interconnection of different systems.



# Структурные особенности ЭЭС. Преобладание различных видов устойчивости.

- Преобладание того или иного ограничения напрямую связано со структурными особенностями рассматриваемой ЭС.
- Токовые ограничения и ограничения по напряжению являются определяющими для систем со сложной многоконтурной структурой, в которых преобладают линии средней протяженности (крупные промышленные центры, сети мегаполисов). Характерными примерами таких ЭС являются большинство западных энергообъединений (ЭО).
- Устойчивость параллельной работы генераторов является основным ограничивающим фактором при исследовании протяженных межсистемных связей и ЭС, для которых характерно наличие длинных линий. В связи с географической протяженностью территории, удаленностью производителей и потребителей электрической энергии основополагающей для ЕЭС России является устойчивость параллельной работы генераторов.
- *Современное развитие экономики России в условиях рынка способствует формированию крупных промышленных и деловых центров, свойства электросетевой структуры которых схожи со свойствами западных ЭО. Можно ожидать, что в ближайшем будущем системные аварии в сетях мегаполисов и крупных промышленных центров России будут протекать по «западному» сценарию, при этом определяющим фактором будет устойчивость узлов нагрузки потребителей и перегрузка элементов сети, а не устойчивость параллельной работы генераторов. Первой крупной системной аварией по «западному» сценарию, произошедшей в ЕЭС России, была авария в Московской ЭС в мае 2005 года.*

# Общая характеристика принципов построения ПАУ ЕЭС России

- Системы противоаварийного управления (ПАУ) призваны не допускать нарушения устойчивости.
- Противоаварийное управление в ЕЭС России строится по принципу эшелонированной системы, на каждом рубеже которой используются определенные средства управления для прекращения или ослабления неблагоприятного развития аварийного процесса и обеспечения перехода к новому установившемуся режиму.

# Общая характеристика принципов построения ПАУ ЕЭС России

1. Быстродействующие средства  
РЗ, АРВ, ФВ, ИРТ и т.д.

2. Сохранение устойчивости  
АПНУ(КСПА, ЦСПА, ЛАПНУ)

3. Предотвращение АХ и  
ресинхронизация(АЛАР)

4. Предотвращение лавины  
частоты (АЧР)

5. ЧДА для сохранения в работе  
хотя бы отдельных районов

## РУБЕЖИ СИСТЕМЫ ПАУ ЕЭС РОССИИ

3-4 Устройства ПА  
предотвращения недопустимых  
для оборудования режимов  
работы (АОПО, АОПЧ, АОСЧ,  
АОПН, АОСН, и т.д.)

# Общая характеристика принципов построения ПАУ ЕЭС России

- *На первом рубеже* используются наиболее быстродействующие средства (релейная защита, регулирование возбуждения и некоторые другие) для максимального ослабления аварийного возмущения путем сокращения длительности к.з., форсировки возбуждения генераторов и т.п.
- *На втором рубеже* используется комплекс средств, направленных на сохранение устойчивости (как правило, параллельной работы). Это так называемые системы предотвращения нарушения устойчивости (автоматика АПНУ).
- *На третьем рубеже* решается задача прекращения асинхронного хода путем разделения энергосистемы, либо путем осуществлением ресинхронизации. Тем самым обеспечивается локализация развития аварийного процесса в случае нарушения устойчивости. Здесь основную роль играет локальная автоматика АЛАР.

# Общая характеристика принципов построения ПАУ ЕЭС России

- *На четвертом рубеже* решается задача предотвращения лавины частоты в отделившихся дефицитных частях энергосистемы главным образом за счет АЧР, с привлечением некоторых других средств.
- На третьем и четвертом рубежах используются устройства ПА предотвращения недопустимых для оборудования режимов и обеспечения живучести энергосистемы (АЛАР, АОПЧ, АОСЧ, АОПН, АОСН, АОПО и т.д.).
- на последнем *пятом рубеже* в случае дальнейшего развития аварийного процесса применяется частотное деление (автоматика ЧДА) для сохранения в работе хотя бы отдельных энергоблоков с выделенной нагрузкой.

# Типовой сценарий развития аварии

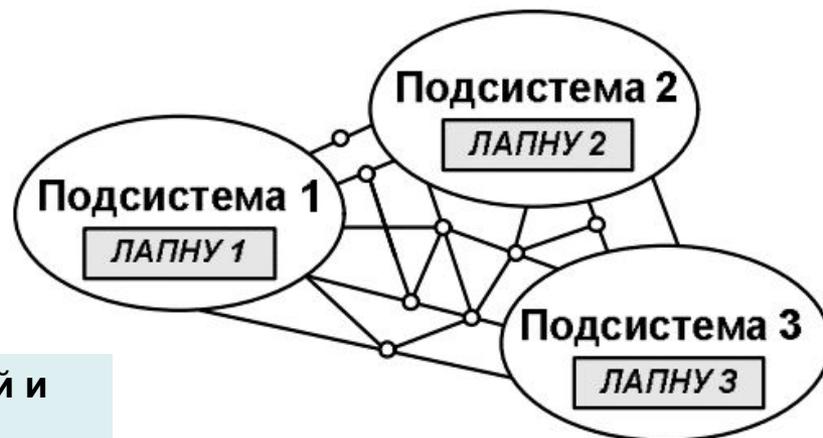


# Общая характеристика принципов построения ПАУ ЕЭС России

- Устройства управления, используемые на каждом следующем рубеже в структуре системы ПАУ ЕЭС России, фактически резервируют устройства предыдущего рубежа на случай их отказа, а также недостаточности управляющих воздействий (УВ) из-за неправильной дозировки или при возникновении нерасчетной аварийной ситуации.
- Возможность построения подобного рода системы также связана со структурными особенностями ЕЭС России. Усложнение структуры сети может привести к невозможности резервирования сложных централизованных комплексов локальными автоматами нижних уровней иерархии.



Существующая структура. Возможность быстрой и селективной изоляции подсистемы, в которой произошло нарушение устойчивости локальными средствами ПАУ (АЛАР)



Будущая структура.