



# Организация в ЕЭС России автоматического ограничения снижения частоты при дефиците активной мощности



## Частотная делительная автоматика

Докладчик: Чусовитин Павел Валерьевич

# Структура доклада

2

- Цели и задачи изучения дисциплины
- Содержание теоретической части дисциплины
- Применяемые образовательные технологии
- Содержание практической части дисциплины

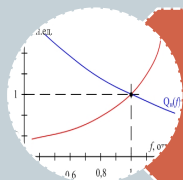
# Цели изучения дисциплины

3

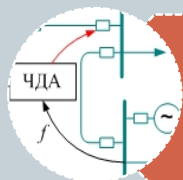
- Формирование у студентов представления об организации средств поддержания частоты в энергосистеме; представления о физике процессов, происходящих в энергосистеме при отклонении частоты
- Приобретение студентами практических навыков определения параметров срабатывания автоматики ограничения снижения частоты, анализа и моделирования переходных процессов, связанных со снижением частоты

# Задачи изучения дисциплины

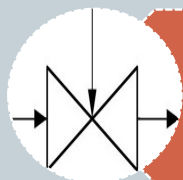
4



Изучение средств поддержания частоты в в энергосистеме в нормальных и аварийных режимах; изучение динамических свойств энергосистемы в процессах, связанных со снижением частоты



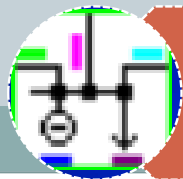
Изучение вопросов, связанных с выделением электростанций на изолированную работу при глубоком снижении частоты



Освоение методик настройки автоматики, предотвращающей аварийное снижение частоты и полное погашение энергорайона



Приобретение практических навыков анализа небалансов и связанных с ними аварийных ситуаций, сопровождающихся снижением частоты



Приобретение практических навыков моделирования переходных процессов в энергосистеме, связанных со снижением частоты и выделением энергоблоков на изолированную работу

# Содержание теоретической части дисциплины

5

- **Регулирование частоты**
  - Принципы регулирования частоты, первичное регулирование
  - Организация АРЧМ ЕЭС России
- **Противоаварийное управление**
  - Обзор системы противоаварийного управления ЕЭС России, примеры крупных аварий
  - Автоматика ограничения снижения частоты
- **Частотная делительная автоматика (ЧДА)**
  - Работа тепловой автоматики, собственных нужд энергоблока
  - Схемы выделения ЧДА, допустимый небаланс
  - Алгоритмы работы, настройка ЧДА
  - Выделение на автономную работу источников малой мощности
  - Адаптивный принцип ЧДА

# Применяемые образовательные технологии

6



## Проблемное обучение

- В ходе выполнения домашнего задания и лабораторных работ студенты решают задачи эксплуатации энергосистемы, свойства которой приближены к реальной энергосистеме



## Проектная работа

- В ходе выполнения домашнего задания студенты определяют настройки АЧР, принципы выполнения и схемы работы ЧДА



## Практическая ориентированность

- Расчеты при выполнении домашнего задания и лабораторных работ выполняются в соответствии с существующими стандартами отрасли
- При выполнении лабораторных работ проводятся расчеты в программном комплексе для моделирования электромеханических переходных процессов



## Бально-рейтинговая система

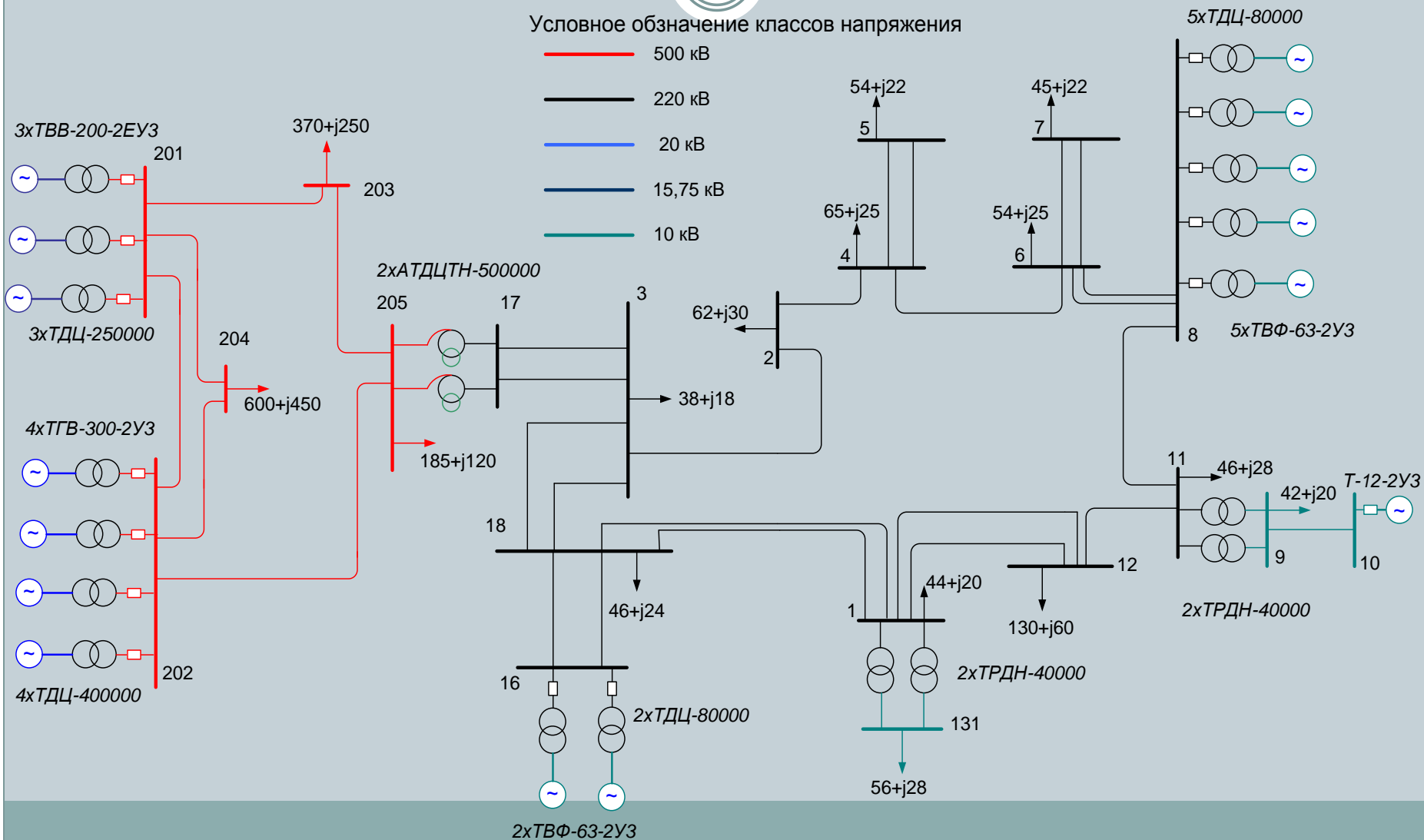
# Применяемые образовательные технологии

7

1 неделя	<b>Лекции</b>	<b>Расчетный пример</b>				
2 неделя						
3 неделя			<b>Домашнее задание</b>			
4 неделя						
5 неделя					<b>Лабораторные работы</b>	
6 неделя						
7 неделя						
8 неделя						
9 неделя						
10 неделя						
11 неделя						
12 неделя						
13 неделя						
14 неделя						
15 неделя						
16 неделя						

# Содержание практической части дисциплины

8





# Построение эквивалентных статических характеристик, расчет изменения частоты во времени

9

## Домашнее задание

- Размещение резерва вторичного регулирования
- Определение загрузки электростанций
- Построение эквивалентных статических характеристик генерирующего оборудования и нагрузки
- Определение объема реализации резерва вторичного регулирования при отключении генератора
- Расчет отклонения частоты во времени при отключении генератора и разделении сети  
без учета АРС 
$$\Delta f_*(t) = -\frac{\Delta P^*}{K_{HЭ}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K_{HЭ} \cdot t}{\tau_{JЭ}}}\right)$$
- и с учетом АРС 
$$\Delta f_*(t) = \frac{-\Delta P^*}{K_{HЭ} + \frac{1}{s_2}} \cdot (1 - e^{-\alpha \cdot t} \cdot \cos(\omega_{собр} \cdot t))$$

## Лабораторные работы

- Создание модели энергосистемы в программном комплексе для расчета электромеханических переходных процессов
- Моделирование тестовых возмущений для верификации модели
- Моделирование отключения генератора и отделения сети 220 кВ от сети 500 кВ

# Построение эквивалентных статических характеристик, расчет изменения частоты во времени

10

Эквивалентные статические характеристики генерирующего оборудования

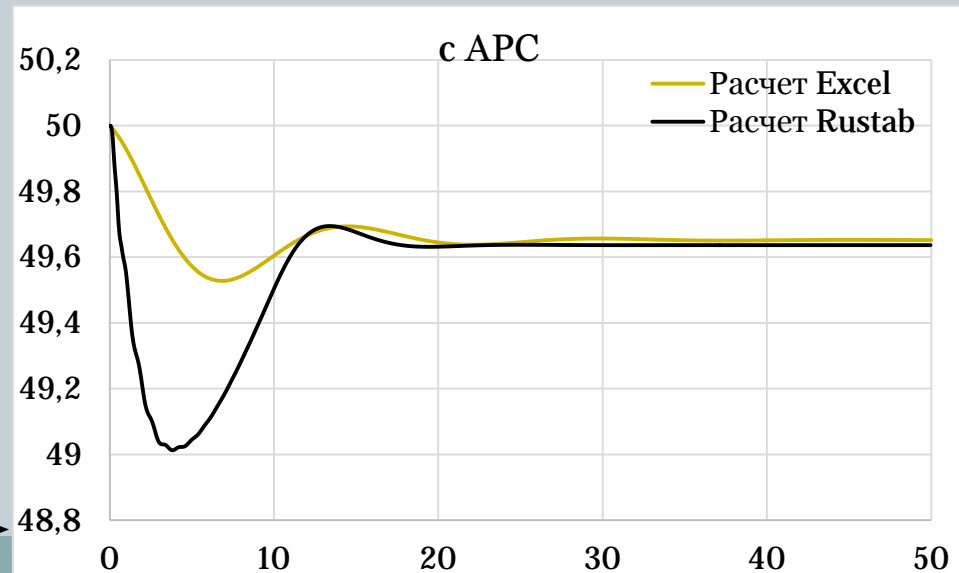
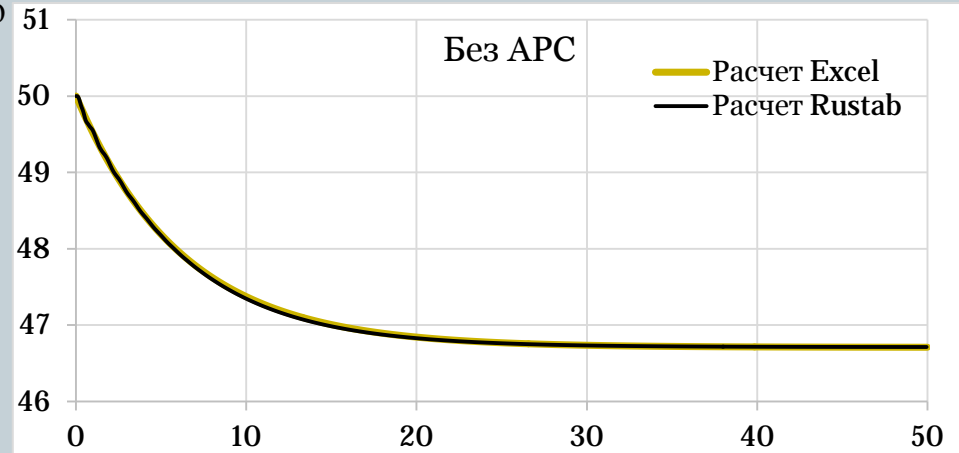
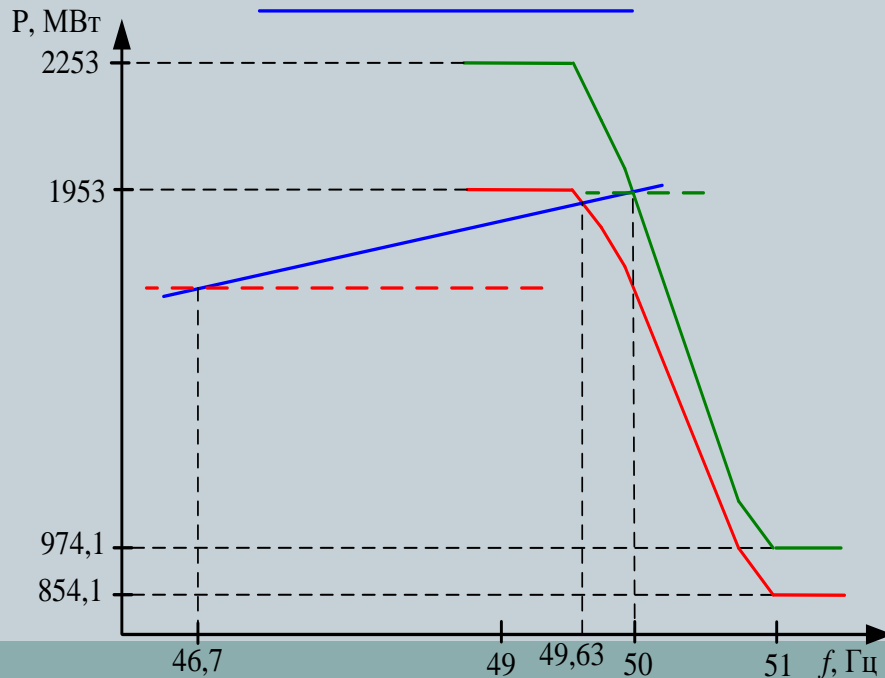
Исходный режим  
с учетом APC

Отключение генератора 300 МВт  
с учетом APC

без учета APC

без учета APC

Эквивалентная статическая характеристика нагрузки



# Выбор параметров срабатывания АЧР и расчет отклонения частоты во времени

11

## Домашнее задание

- Определение объема АЧР для сети 220 кВ
- Распределение объема АЧР по ступеням, очередям и подстанциям
- Определение уставок срабатывания

- Расчет отклонения частоты во времени при различных небалансах:
  - Отделение сети 220 кВ
  - Отключение генератора 63 МВт + отделение сети 220 кВ
  - Отключение двух генераторов 63 МВт + отделение сети 220 кВ

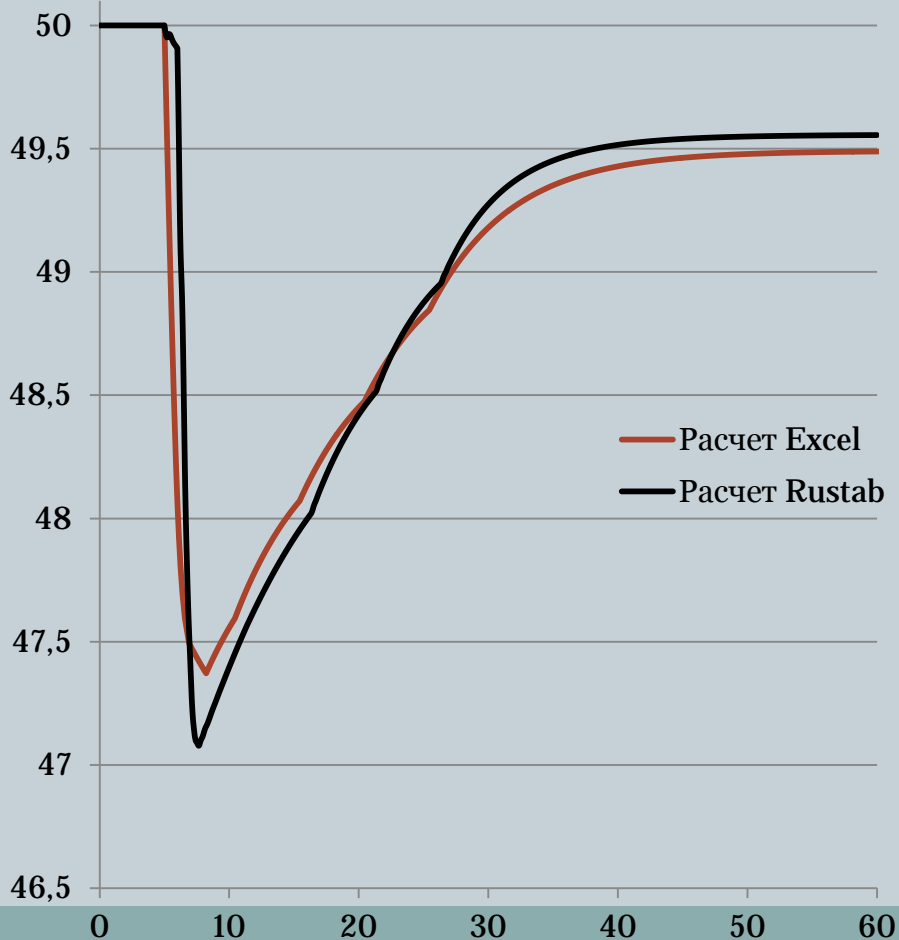
## Лабораторные работы

- Создание модели АЧР в программном комплексе для расчета электромеханических переходных процессов и задание параметров модели в соответствии с расчетами домашнего задания
- Моделирование аварийных событий:
  - Отделение сети 220 кВ
  - Отключение генератора 63 МВт + отделение сети 220 кВ
  - Отключение двух генераторов 63 МВт + отделение сети 220 кВ

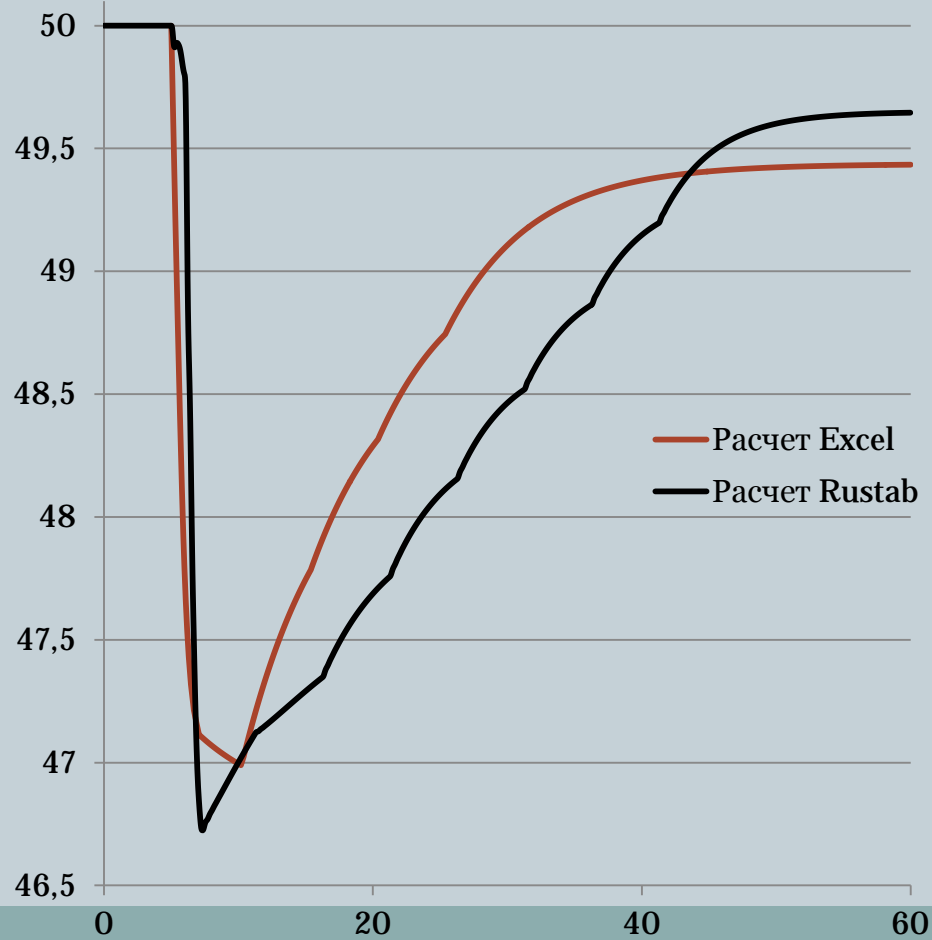
# Выбор параметров срабатывания АЧР и расчет отклонения частоты во времени

12

## Отключение генератора 63 МВт и отделение от сети 500 кВ



## Отключение двух генераторов 63 МВт и отделение от сети 500 кВ



# Выбор параметров срабатывания ЧДА и моделирование процесса выделения и синхронизации

13

## Домашнее задание

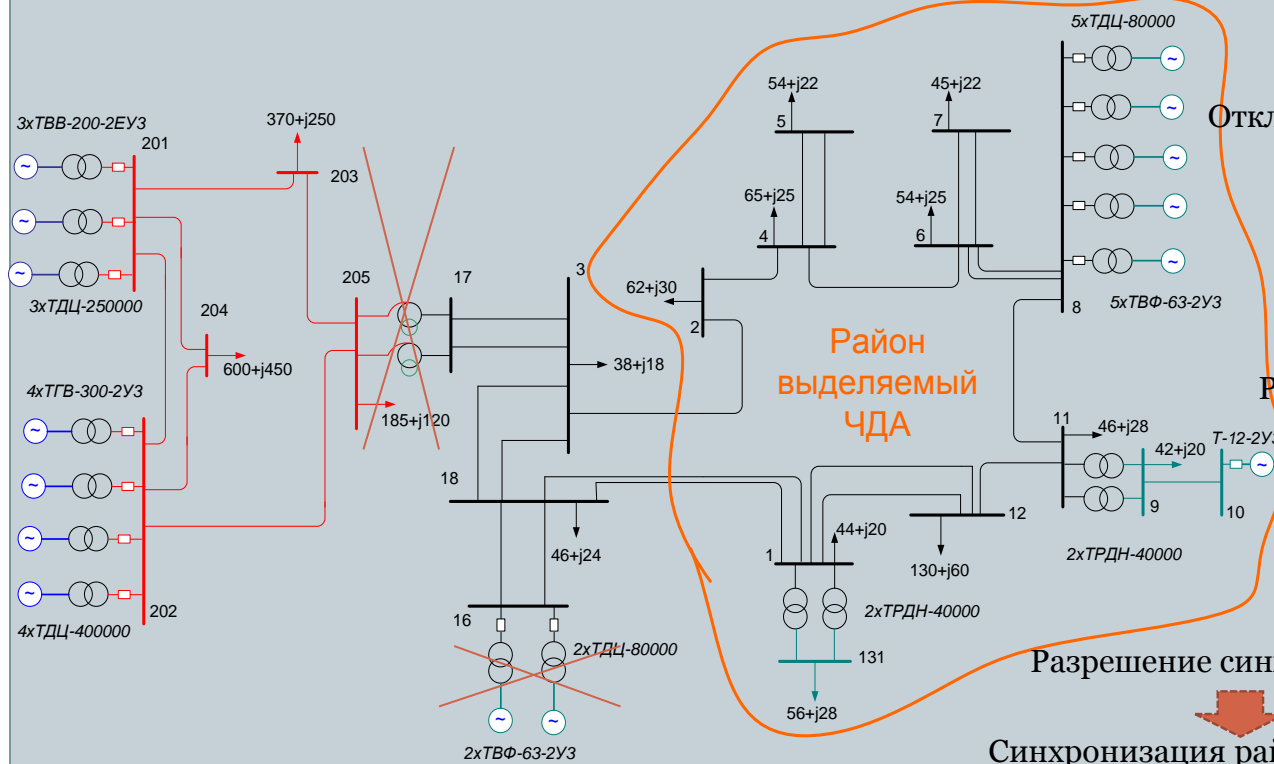
- Анализ баланса активной мощности в сети 220 кВ после работы АЧР
- Выбор схемы выделения электростанций на автономную работу
- Определение последовательности восстановления системы при отделении
- Определение величины разгрузки генераторов сети 500 кВ для восстановления частоты с учетом последующего подключения части потребителей сети 220 кВ

## Лабораторные работы

- Создание модели ЧДА
- Создание модели устройства синхронизации
- Создание модели ЧАПВ
- Задание управляющих воздействий:
  - Разгрузка генераторов сети 500 кВ
  - Восстановление схемы
  - Разрешение синхронизации района, выделенного ЧДА
  - Загрузка генераторов сети 500 кВ
  - Разрешение ЧАПВ
  - Подключение потребителей
- Моделирование процесса протекания аварийной ситуации при отключении двух генераторов 63 МВт и отделении сети 220 кВ

# Выбор параметров срабатывания ЧДА и моделирование процесса выделения и синхронизации

14



Один автотрансформатор связи 500/220 кВ в ремонте

5 секунд

Аварийное отключение двух генераторов 63 МВт в узле 16

+1 секунда

Отключение второго автотрансформатора связи 500/220 кВ из-за перегрузки

Работа АЧР

Работа ЧДА

Разгрузка генераторов сети 500 кВ для восстановления частоты

+10 секунд

Включение автотрансформатора связи 500/220 кВ

+5 секунд

Разрешение синхронизации района, выделенного ЧДА

Ожидание синхронизации  
Синхронизация района, выделенного ЧДА

+2 секунды

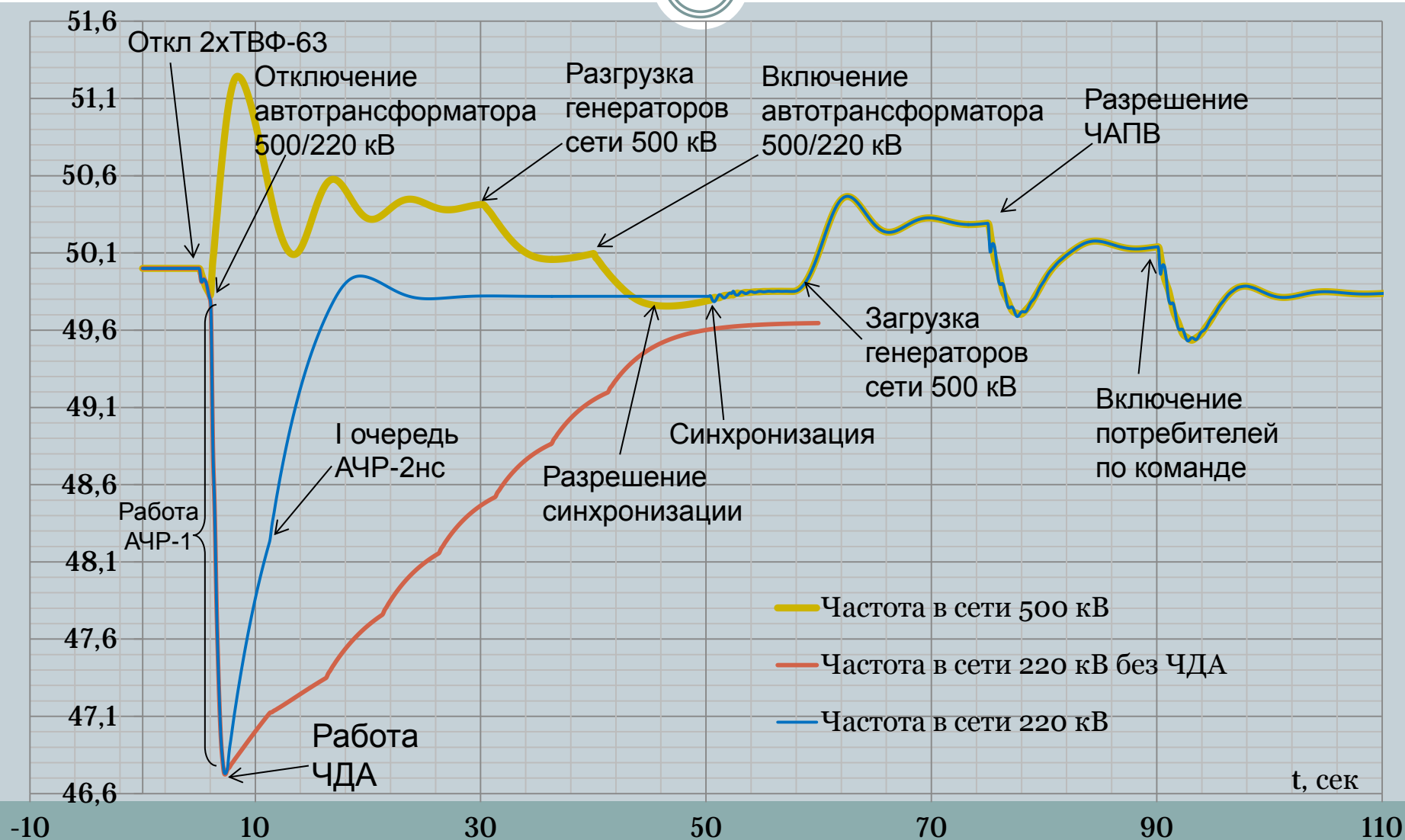
Загрузка генераторов сети 500 кВ для восстановления частоты и подключения потребителей

+10 секунд

Разрешение ЧАПВ и подключения потребителей, послеаварийный режим

# Выбор параметров срабатывания ЧДА и моделирование процесса выделения и синхронизации

15



# Лабораторный стенд

16





# Самостоятельная работа студентов

17

- Методические рекомендации по изучению курса
- Методические рекомендации по выполнению домашнего задания
- Методические указания по выполнению лабораторных работ
- Методические рекомендации по прохождению практики в службе электрических режимов филиала СО ЕЭС

Спасибо за внимание!  
Вопросы?!

# Бально-рейтинговая система

1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0,3		
Текущая аттестация на лекциях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
Посещение лекций (12)	X, 1-12	40
Тесты по материалам лекций	X, 3,5,7,10	60
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0,4		
Промежуточная аттестация по лекциям – экзамен		
Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям - 0,6		
2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0,3		
Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
Домашняя работа Ч1	X, 6	25
Домашняя работа Ч2	X, 9	45
Домашняя работа Ч3	X, 13	30
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – 1		
Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – не предусмотрена		
Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям - 0		
3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – 0,4		
Текущая аттестация на лабораторных занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
Посещение лабораторных работ (ЛР) (12)	X, 4-16	10
Выполнение ЛР №1	X, 5	20
Выполнение ЛР №2	X, 8	20
Выполнение ЛР №3	X, 12	20
Выполнение ЛР №4	X, 14	15
Выполнение ЛР №5	X, 16	15
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям – 1		